

GUIDE D'ACCOMPAGNEMENT POUR LA MISE EN ŒUVRE DU ZONAGE PLUVIAL À PARIS



LE PLAN 100% PLUIE UTILE

EDITO



© Bruno Lévy

Célia Blauel

Adjointe à la Mairie de Paris, chargée de l'environnement, du développement durable, du Plan Climat Énergie Territorial, de l'eau et de la politique des canaux.



© DR

Mao Peninou

Adjoint à la Mairie de Paris, chargé de la propreté, de l'assainissement et de l'organisation et du fonctionnement du Conseil de Paris.



Notre principal défi pour le XXI^e siècle : préparer notre ville à faire face aux effets du dérèglement climatique. D'abord en repensant son aménagement mais aussi en apprenant à utiliser au mieux ses propres ressources naturelles, en particulier l'eau de pluie.

Ville dense, minérale, imperméabilisée au fil des époques, Paris doit renouer avec la capacité naturelle d'absorption ou de rétention de l'eau par le sol : les eaux de pluie considérées hier comme une contrainte et rejetées à l'égout, deviendront demain une véritable ressource écologique et urbaine au service de la ville, de ses habitants et usagers. C'est toute l'ambition du plan ParisPluie.

Par cette nouvelle approche, la Ville de Paris, poursuit son engagement pour une ville plus respectueuse de l'environnement et de la biodiversité, une ville qui allie ambition et innovation pour protéger la ressource en eau.

L'objectif du plan ParisPluie est ainsi de gérer et valoriser la pluie au plus près de là où elle tombe. Cela implique une nouvelle conception de la Ville en privilégiant des techniques qui constituent dans un tissu urbain dense comme celui de Paris, des solutions alternatives au rejet dans le réseau d'assainissement. Si les techniques de végétalisation sont très largement favorisées (noues, jardins de pluie, toitures végétalisées...), il est aussi possible d'agir sur la voirie en innovant avec des matériaux de revêtement alternatifs absorbants l'eau de pluie.

Annexé au Plan Local d'Urbanisme, le Plan ParisPluie s'applique donc désormais à tous les projets de construction ou d'aménagement éligibles, mais chacun à son niveau, même modeste, peut contribuer à mieux utiliser l'eau de pluie.

Le présent guide est le fruit d'un travail mené par différentes Directions de la Ville de Paris en collaboration avec l'Atelier Parisien d'Urbanisme et Paris Habitat. En fournissant les clés de compréhension des prescriptions du zonage pluvial et des exemples de solutions durables, il s'adresse aux aménageurs, maîtres d'œuvres, bureaux d'études, bailleurs mais aussi particuliers pour les accompagner dans la conception de leurs projets.

PRÉAMBULE :
POURQUOI CE GUIDE, POUR QUI ET COMMENT L'UTILISER ?

5

7

GÉRER ET VALORISER LES EAUX PLUVIALES
À LA SOURCE

LES RÈGLES DU ZONAGE PLUVIAL À PARIS

11

21

LE CHOIX DES DISPOSITIFS DE GESTION PLUVIALE
À LA SOURCE

FICHES PRATIQUES

29

87

GLOSSAIRE

INDEX

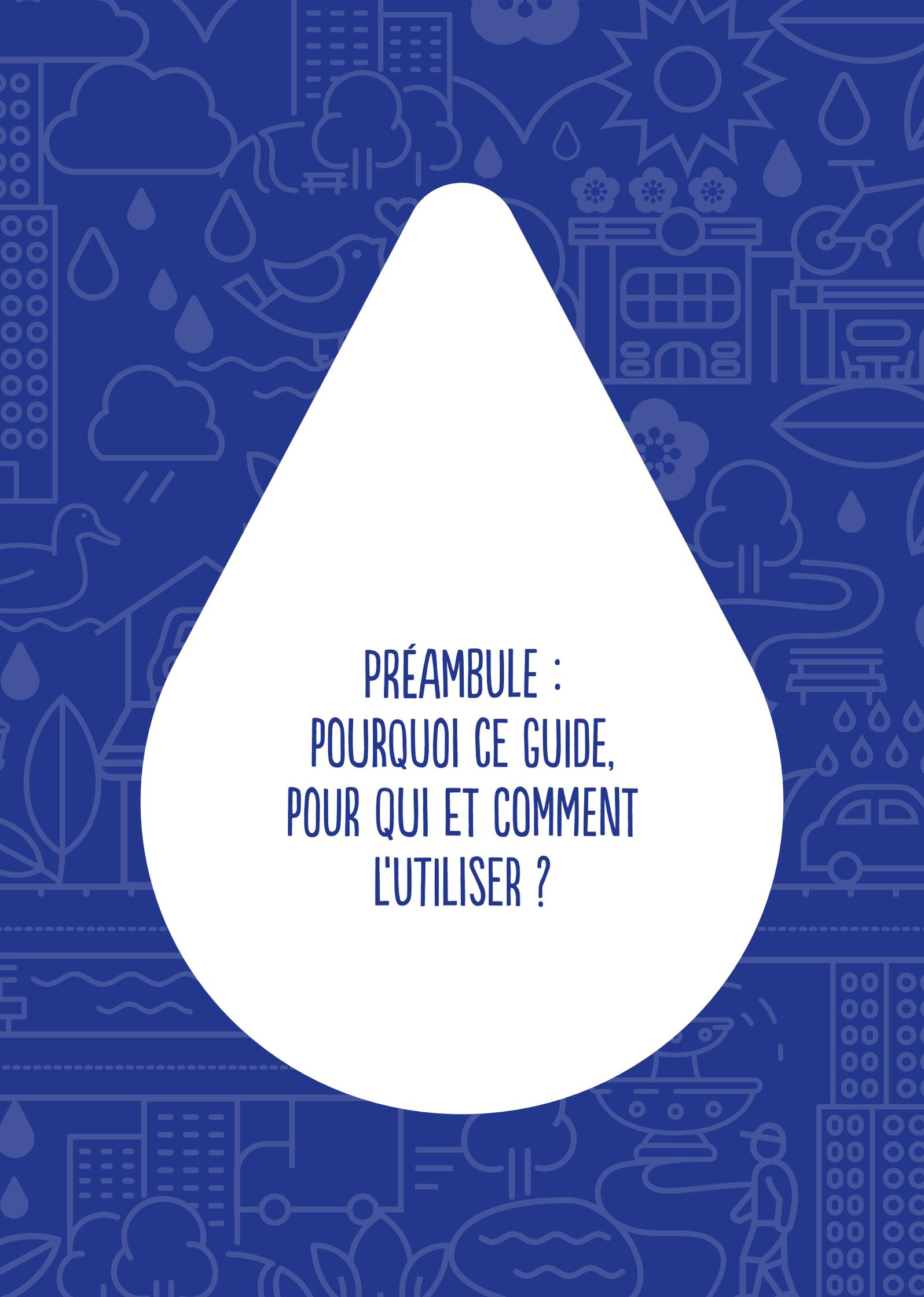
91

93

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

95

The background is a solid blue color with a repeating pattern of white line-art icons. These icons represent various environmental and urban themes, including buildings, trees, clouds, raindrops, a sun, a bicycle, a car, a person, a water tap, a leaf, a bird, and a recycling symbol. In the center of the page is a large, white, teardrop-shaped graphic that contains the text.

PRÉAMBULE :
POURQUOI CE GUIDE,
POUR QUI ET COMMENT
L'UTILISER ?

Ce guide¹ a pour ambition d'accompagner la compréhension et la mise en œuvre du zonage pluvial aux stades de la conception, de la vérification de conformité des projets et de l'entretien. Ainsi, il vise à :

- ◆ Comprendre, partager les enjeux pour la ville et contribuer aux objectifs du zonage pluvial chacun à son niveau
- ◆ Soumettre systématiquement toutes les situations à la question de la gestion des eaux pluviales à la source :
 - Lors de travaux de réhabilitation du bâti
 - Lors de réaménagement de surfaces bâties ou non bâties
 - Dès la conception d'un projet
- ◆ Accompagner la mise en œuvre
 - Pour vérifier la conformité du dispositif retenu au règlement ;
 - Pour faire le choix de dispositifs les plus appropriés
 - en accord avec le contexte parisien ;
 - en cohérence avec les objectifs et contraintes propres au projet ;
 - Pour assurer la pérennité des dispositifs et valoriser l'impact bénéfique de la gestion des eaux pluviales à la source.
- ◆ Inviter à se questionner lorsque des modifications pourraient impacter le bon fonctionnement d'un dispositif de gestion pluviale existant
- ◆ Inciter toutes les initiatives volontaires et opportunistes de gestion des eaux pluviales à la source
 - grands propriétaires fonciers (SNCF, La Poste, Hôpitaux de Paris (APHP)...) capables d'enclencher des moyens généraux suffisants pour porter ce type de politique à grande échelle ;
 - syndics et associations syndicales libres (ASL) en fonction des opportunités de travaux (toitures terrasses, descentes d'eaux pluviales, repavage de cours, ancien puits pour réutilisation en tant que puits d'infiltration selon étude d'opportunité et avec trop-plein sous certaines conditions, pour éviter d'inonder) ;
 - gestionnaires des espaces publics (écoles, stade, jardins) disposant souvent de capacités d'infiltration sur site permettant la déconnexion des eaux de toiture du réseau d'assainissement ;
 - concessionnaires et entreprises de travaux soucieux de leur impact environnemental et/ou désireux de se démarquer.

Il s'adresse aux :

- ◆ **pétitionnaires*, concepteurs, maîtres d'ouvrage porteurs de projets** : directions de la Ville aménageant l'espace public bâti et non bâti, aménageurs, bailleurs et promoteurs,

concessionnaires, grands propriétaires fonciers et bureaux d'étude-conseil et leurs assistances techniques : maîtres d'œuvre, bureaux d'études spécialisés, comme support d'accompagnement technique pour la mise en œuvre du zonage pluvial aux stades de la conception des solutions et de l'instruction de la conformité des projets.

- ◆ **propriétaires* et mandataires** : gestionnaires de la voirie, des espaces verts, de la propreté, des bâtiments publics, des espaces sportifs publics et syndics/associations syndicales libres (ASL) en vue de leur permettre d'assurer la pérennité des solutions mises en place.

- ◆ **tous les acteurs** souhaitant adopter une démarche volontariste pour des résultats allant au-delà des exigences réglementaires minimales du zonage pluvial.

Plusieurs organismes sont susceptibles d'apporter leur soutien financier à la mise en œuvre de la gestion des eaux pluviales à la source :

- L'Agence de l'Eau Seine Normandie accorde, à la demande, des aides aux différents dispositifs permettant de diminuer les volumes d'eau apportés aux réseaux d'assainissement : www.eau-seine-normandie.fr
- La Région Île-de-France accorde des subventions pour les projets de gestion des eaux pluviales à la source afin de contribuer au Plan Climat et à l'amélioration du cadre de vie. Elle s'applique en rénovation urbaine comme en extension et est orientée vers le « zéro rejet » : www.iledefrance.fr

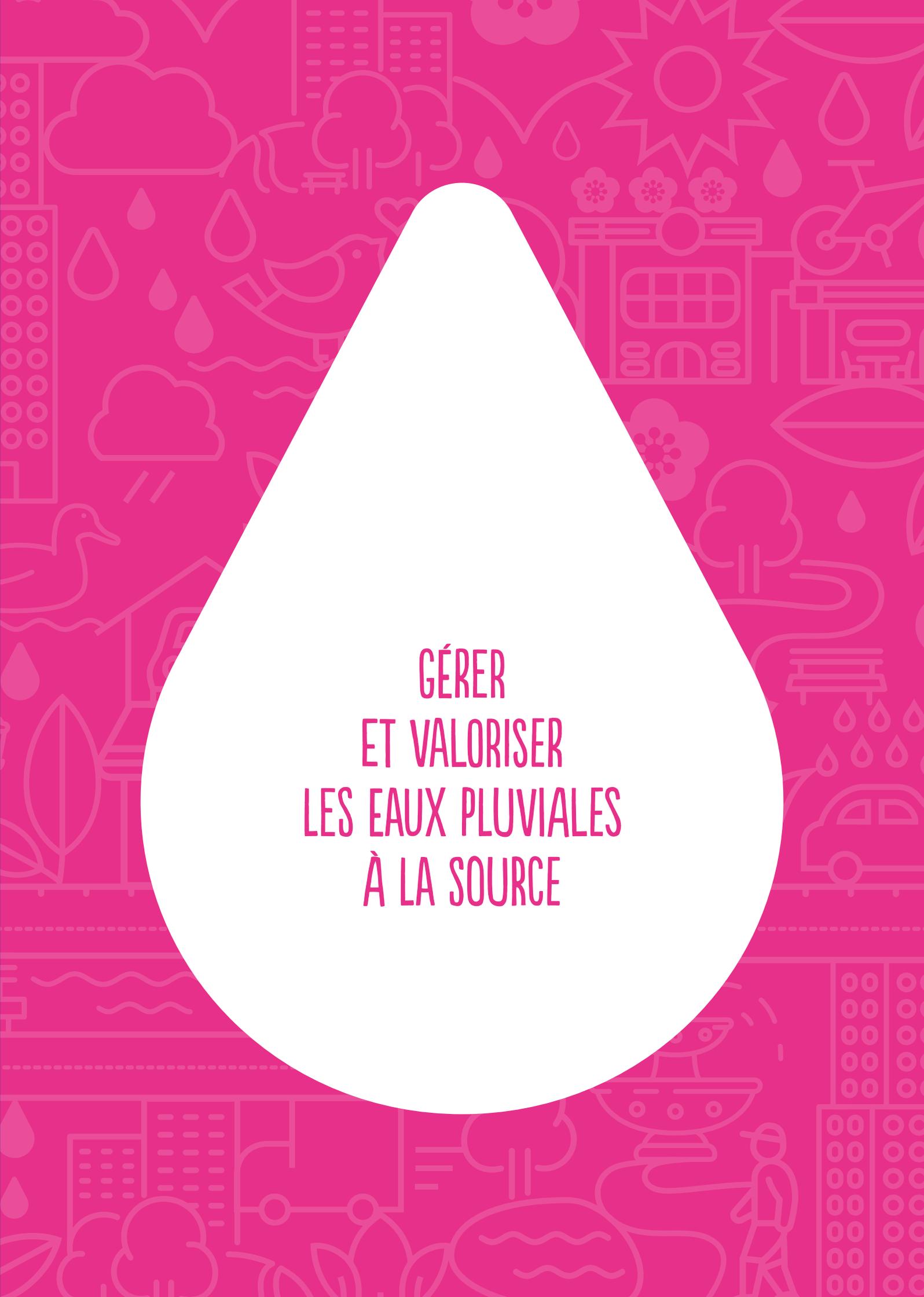
Les subventions de l'AESN et de la Région Île-de-France reposent sur les mêmes critères et permettent de financer des techniques vertes paysagères et multifonctionnelles. À noter que le montant cumulé des subventions (AESN + Région IdF) ne peut dépasser 80 % du coût total des travaux.

- La Direction du Logement et de l'Habitat de la Ville de Paris encourage financièrement la végétalisation des bâtiments à l'intention **des bailleurs sociaux pour** des travaux de réhabilitation (végétalisation de toitures ou de murs et rénovations énergétiques de logements) et **des copropriétés privées** (le dispositif « Éco-rénovons Paris » accompagne 1 000 immeubles dans la rénovation énergétique dont environ 500 avec projet de végétalisation).

Bien que promues par l'ADEME dans ses 33 fiches d'actions d'adaptation au changement climatique (juin 2017), les dispositifs de gestion pluviale à la source demeurent dans le champ de financement des agences de l'eau.

1/ L'Agence de l'Eau Seine-Normandie a également édité un guide méthodologique (AESN, et al., 2013) ciblant la maîtrise des pollutions dès l'origine du ruissellement.

*Les notions fondamentales utilisées dans le présent guide, marquées d'un astérisque dans le texte, sont définies dans le glossaire, le règlement de zonage d'assainissement ou le règlement de service d'assainissement de Paris (RAP).



GÉRER
ET VALORISER
LES EAUX PLUVIALES
À LA SOURCE

LES BÉNÉFICES PLURIELS DU ZONAGE PLUVIAL

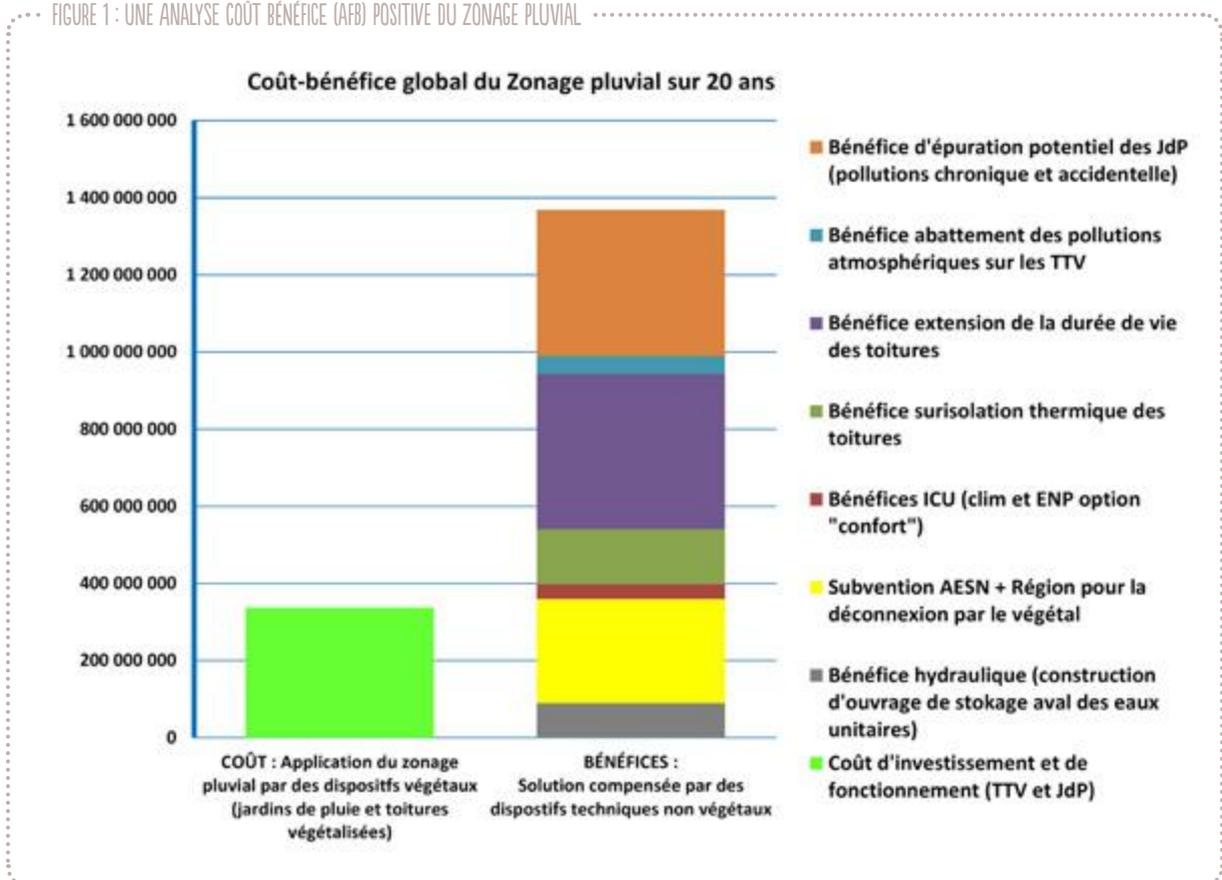
Valoriser l'eau de pluie à la source vise à la fois :

- ◆ à désaturer le réseau d'assainissement,
- ◆ à réduire en conséquence la pollution de la Seine en réduisant la fréquence et les volumes de surverse du réseau d'égout en Seine à l'occasion des pluies (eaux de pluie et eaux usées se mélangent dans le même réseau de collecte à Paris),
- ◆ à redessiner un paysage urbain moins minéral en désimperméabilisant et en végétalisant la ville,
- ◆ à rafraîchir la ville,

- ◆ à développer sa biodiversité,
- ◆ à économiser l'eau potable en privilégiant l'eau de pluie pour l'arrosage et le lavage des sols en complément du réseau d'eau non potable,
- ◆ à retrouver du lien social à travers de nouveaux espaces récréatifs, un jardin partagé, ou un espace d'agriculture urbaine, etc.

Une analyse coût-bénéfice (SEPIA, 2013) montre des bénéfices globaux très positifs du zonage pluvial :

FIGURE 1 : UNE ANALYSE COÛT BÉNÉFICE (AFB) POSITIVE DU ZONAGE PLUVIAL



Un certain nombre de documents recommande et incite à la gestion intégrée des eaux pluviales au regard des bénéfices multifonctionnels et sociétaux qu'elle apporte.

Ainsi, la stratégie d'adaptation au changement climatique du bassin Seine-Normandie, document à portée de recommandation, encourage les opérations de dés-artificialisation, dés-imperméabilisation et renaturation des emprises et délaissés de voirie.

Les normes NF Habitat HQE Construction et NF Habitat HQE Rénovation promeuvent également la récupération et l'utilisation des eaux pluviales à l'intérieur comme à l'extérieur

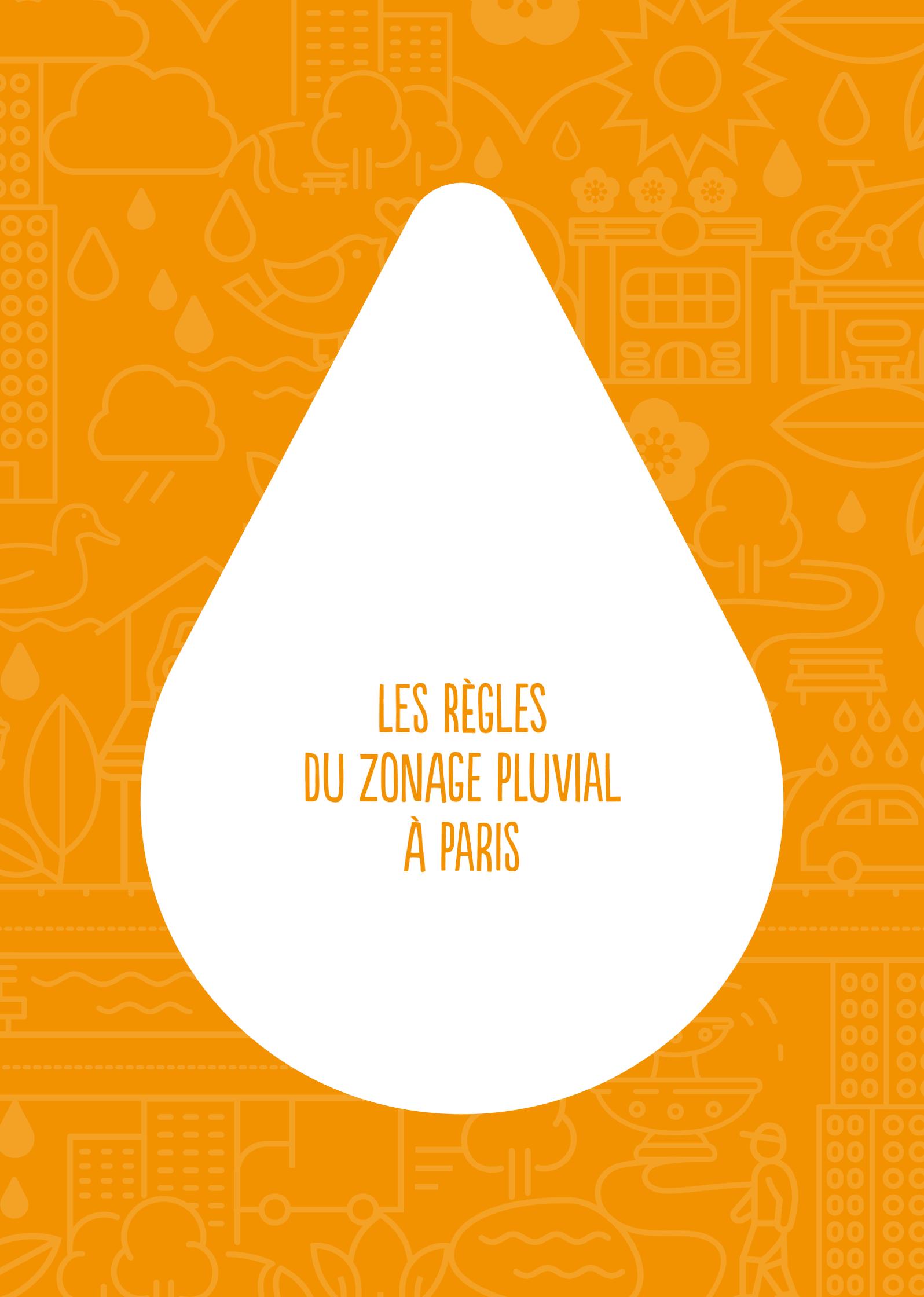
des logements, ainsi que la dés-imperméabilisation des sols pour « favoriser la percolation des eaux pluviales dans les sols et permettre de raccourcir le chemin de l'eau au plus près de son cycle naturel ».

Certains labels même (ex. EcoJardin) intègrent des objectifs de dés-imperméabilisation et d'alternatives à l'usage d'eau potable pour l'arrosage et viennent compléter le panel des outils incitatifs.

LE CADRE RÉGLEMENTAIRE EXISTANT

- ◆ La **Directive Cadre sur l'Eau** (DCE) du 23/10/2000 fixe des objectifs de résultat sur la qualité des masses d'eau souterraines et superficielles et sa déclinaison française en **Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux** (SDAGE) 2016-2021 traite comme axe prioritaire la gestion des eaux pluviales à la source sur le bassin Seine-Normandie ;
 - ◆ Les projets d'aménagement soumis à autorisation ou à déclaration sous la **rubrique 2.1.5.0 de l'article R. 214-1 du code de l'environnement**, doivent répondre dès leur conception, à un objectif de régulation des débits des eaux pluviales avant leur rejet dans les eaux superficielles. En l'absence d'objectifs précis fixés par une réglementation locale (SAGE, règlement sanitaire départemental, SDRIF, SCOT, PLU, zonages pluviaux...) ou à défaut d'étude hydraulique démontrant l'innocuité des volumes d'eaux pluviales sur le risque d'inondation, le débit spécifique issu de la zone aménagée doit être inférieur ou égal au débit spécifique du bassin versant intercepté par l'emprise du projet avant l'aménagement (litre/seconde/par hectare) ;
 - ◆ **Dans le cadre de la directive européenne sur les eaux résiduelles urbaines** (DERU), **l'arrêté du 21 juillet 2015** pose des prescriptions sur l'autosurveillance des réseaux d'assainissement et la fréquence des rejets d'eaux non traitées par les déversoirs d'orage au milieu naturel. L'article 5 stipule que les solutions de gestion des eaux pluviales sont étudiées le plus en amont possible dans la conception des projets ;
 - ◆ Selon **l'article L. 2224-10 du code général des collectivités territoriales**², les communes ou leurs établissements publics de coopération délimitent les zones sur lesquelles des mesures doivent être prises pour limiter l'imperméabilisation des sols et maîtriser le débit et l'écoulement des eaux pluviales et de ruissellement ;
 - ◆ Le **Règlement d'Assainissement de Paris** (RAP*) dans sa version de 2018 prévoit dans ses articles 28 et 29 la possibilité de limiter les rejets d'eaux pluviales au réseau d'assainissement et les modalités afférentes ;
 - ◆ Le Service* en charge de la gestion des eaux pluviales peut également imposer depuis 2016 des mesures au titre du **PLU** modifié en 2016, modifications qui prévoient en particulier :
 - **Art.13.1.1** : La végétalisation des toitures avec 10 cm minimum de substrat (hors couche drainante) sur toute toiture de pente < 5 % dégageant une surface supérieure à 100 m² hors installations techniques. Et pour toute toiture supérieure à 500 m², le substrat doit permettre de reproduire au mieux les qualités des sols naturels ou permettre l'installation d'une agriculture urbaine
- (cf. logigramme sur les toitures végétalisées au chapitre choisir un dispositif) ;
- **Art.13.1.2** : Le terrain doit comprendre après travaux une surface active au moins égale à 20 % de sa surface obligatoirement en pleine terre, et une surface complémentaire de 10 ou 15 % selon le secteur ;
 - **Art.15.1** : Les aménagements et dispositifs favorisant la récupération et la rétention des eaux pluviales, au sol par la pleine terre, hors sol par la végétalisation des toitures, terrasses, façades ou murs, doivent être privilégiés ;
 - **Art.15.31** : L'isolation thermique des murs pignons, des façades et des toitures est recommandée chaque fois qu'elle est possible en intégrant les effets positifs de la végétalisation du bâti ;
 - Des zones non bâties.
- ◆ Le **Plan de Gestion du Risque Inondation (PGRI) d'Île-de-France** de 2016 cite parmi ses objectifs de « Ralentir le ruissellement des eaux pluviales sur les zones aménagées » ;
 - ◆ Le **Schéma Régional de Cohérence Écologique** (SRCE) d'Île-de-France de 2013 pose les enjeux de continuité écologique, en particulier sur le cœur urbain de l'agglomération parisienne (Tome II Enjeux et plan d'action chap.3.3.2 p.15) ;
 - ◆ Pour les projets soumis à une autorisation d'exploitation commerciale mentionnés à **l'article L. 752-1 du code de Commerce**, la loi autorise la construction de nouveaux bâtiments uniquement s'ils intègrent :
 1. Sur tout ou partie de leurs toitures, et de façon non exclusive, soit des procédés de production d'énergies renouvelables, soit un système de végétalisation basé sur un mode cultural garantissant un haut degré d'efficacité thermique et d'isolation et favorisant la préservation et la reconquête de la biodiversité, soit d'autres dispositifs aboutissant au même résultat.
 2. Sur les aires de stationnement, des revêtements de surface, des aménagements hydrauliques ou des dispositifs végétalisés favorisant la perméabilité et l'infiltration des eaux pluviales ou leur évaporation et préservant les fonctions écologiques des sols. Cette disposition s'applique aux permis de construire dont la demande est déposée à compter du 1^{er} mars 2017.

2/ La responsabilité de l'État et des collectivités est engagée en cas de non-conformité au zonage pluvial. Ainsi, le 18 octobre 2012, la cour de justice de l'Union européenne a condamné le Royaume-Uni pour non-respect des objectifs de la directive Eaux Résiduaires Urbaines (91/271/CE). C'est la première condamnation d'un pays européen visant des rejets excessifs d'eaux usées non traitées au niveau de déversoirs d'orage et ce, bien qu'à l'aval la qualité du milieu soit bonne au regard des critères de la directive baignade (2006/7/CE).



LES RÈGLES
DU ZONAGE PLUVIAL
À PARIS

LE DOMAINE D'APPLICATION DE LA GESTION PLUVIALE À LA SOURCE À PARIS

Tel que le règlement le précise (www.paris.fr), le zonage d'assainissement de Paris est opposable dès qu'il s'agit de construire, restructurer, aménager ou réaménager un espace public ou privé occasionnant le rejet direct ou indirect des eaux de pluie au réseau d'assainissement (trop plein, surverses de dispositifs de gestion des eaux de pluies non abattues, ruissellement) :

- a. Toute construction nouvelle ou partie nouvelle de construction d'une emprise au sol supérieure à 20 m² ;
- b. Toute restructuration de construction existante d'une emprise au sol supérieure à 20 m² ;
- c. Tout nouvel aménagement ou réaménagement d'espace de voirie de plus de 1 000 m², hors travaux d'entretien courant ;
- d. Tout aménagement d'espace vert en pleine terre ou toute rénovation d'un espace vert en pleine terre de plus de 1 000 m², hors travaux d'entretien courant ;

e. Tout aménagement d'équipement sportif non bâti ou réaménagement d'équipement sportif non bâti de plus de 500 m², hors travaux d'entretien courant ;

f. Toute opération volontaire opportuniste ou proactive en-deçà des seuils est encouragée par la Ville de Paris et ouvre également droit à l'ensemble des aides. La Ville de Paris fait en sorte d'appliquer le zonage pluvial à tous ses projets.

En complément,

g. Les opérations de construction, de réhabilitation et d'aménagement sur une surface de référence* de plus de 2500 m² située en zone hachurée (protection du réseau d'assainissement en cas de forte pluie), doivent prendre toutes dispositions pour que le débit d'eaux pluviales rejeté au réseau d'assainissement n'excède pas 10 litres/seconde/hectare (l/s/ha).

LES SPÉCIFICITÉS DU CONTEXTE PARISIEN

Paris est une ville ancienne et particulièrement dense, avec un important patrimoine bâti protégé au titre du patrimoine et des sites inscrits ou du Plan Local d'Urbanisme (PLU), des Zones Extraterritoriales (Jardin du Luxembourg hors PLU) ou des Plans de Sauvegarde et de Mise en Valeur (PSMV dont les annexes prévoient d'intégrer l'équivalent de l'art.15.1 du PLU et le zonage pluvial).

En surface, Paris fait l'objet d'une compétition intense des usages et en son sol, Paris est traversé par nombre de réseaux de toute nature sur lesquelles les interventions récurrentes requièrent des ouvertures fréquentes de la voirie. Le sous-sol parisien est quant à lui constitué d'anciennes carrières de calcaire, de remblais parfois épais et de mauvaise qualité, de gypse ou d'argiles qui rendent certaines zones sensibles à l'infiltration. Il héberge enfin un ensemble de galeries visitables dans lesquelles cohabitent notamment le réseau d'assainissement et les réseaux d'eau potable ou d'eau non potable utilisée pour l'arrosage des espaces verts, le lavage des rues, le curage des égouts...). Son sous-sol est enfin traversé par les galeries du métro et du RER.

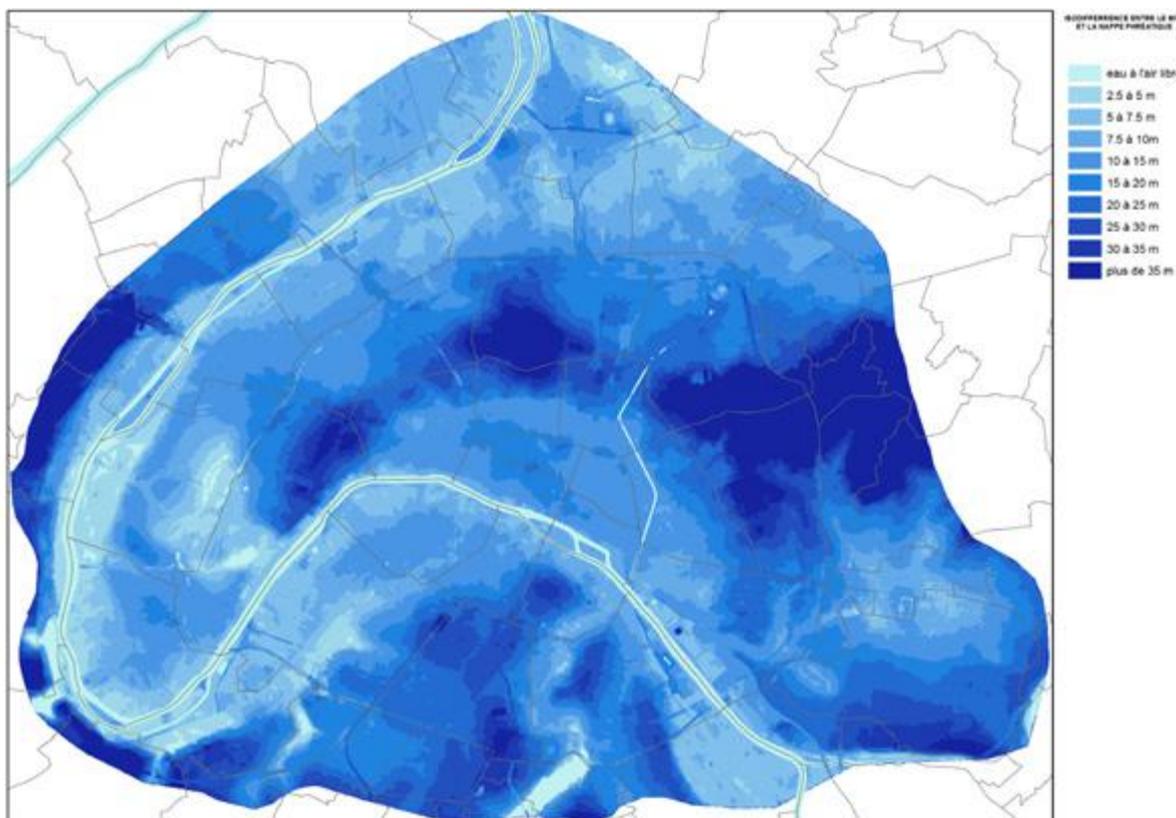
Les dispositions à prendre dépendent donc :

- ◆ Des capacités d'abattement liées à la part des surfaces actives sur le terrain et de la nature des sols et sous-sols (capacité d'infiltration/coefficient de perméabilité minimal, de stockage, de portance en fonction des usages, stabilité...).
- ◆ De l'occupation du sous-sol qui peut comporter des carrières et des ouvrages (réseaux ferrés, canalisations et conduites, parc de stationnement, caves et autres programmes enterrés...).

La carte des zones sensibles établie par l'Inspection générale des carrières (IGC) précise les niveaux de sensibilités à l'infiltration liés à la présence de gypse et aux remblais de mauvaise qualité. Pour ces zones, une étude de sol est obligatoire afin de qualifier les possibilités d'infiltration.

L'infiltration est envisageable dès lors que la nappe phréatique se situe à plus d'un mètre du fond de l'ouvrage infiltrant ou du sol perméable. C'est la situation la plus courante à Paris.

PROFONDEUR DE LA NAPPE PHREATIQUE ET LOCALISATION DES NAPPES PERCHÉES EN 2012



© Aurélie Lamé – © Mathieu Fernandez – Apur

Source : Aurélie LAME, Modélisation hydrogéologique des aquifères de Paris et impacts de aménagements du sous-sol sur les écoulements souterrains, Thèse, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris, 2013

Ainsi, ce guide s'attachera à présenter une sélection diversifiée de dispositifs de gestion pluviale à la source (cf. Fiches pratiques en page 29) qui vise dans ce contexte particulier, à concilier les usages au cas par cas tout en fournissant les spécifications techniques permettant de ne pas générer de risque sur le sous-sol :

- ♦ des dispositifs d'abattement **plutôt végétalisés** (espaces végétalisés infiltrants, toitures végétalisées...)
 - sur les espaces verts, publics et privés, orienter les eaux des gouttières moyennant la conception d'un trop-plein sous certaines conditions pour éviter de noyer ces espaces ;
 - sur des boulevards ou avenues disposant de l'espace pour végétaliser sans sacrifier aux autres usages urbains, grâce à des espaces verts voisins préexistants
- ♦ des dispositifs d'abattement **plutôt minéraux**
 - sur des espaces de chaussée contraints en termes d'usages ;
 - sur de nombreuses cours privées

Des surfaces en terre, pavées ou en dalles clivées avec joints perméables, résines perméables pour les aires de jeu ou les pistes cyclables, structures réservoir simples de type graves non traitées poreuses sont susceptibles de retenir à elles seules les 4 premiers millimètres d'une pluie, et plus selon la perméabilité des matériaux de la couche d'assise sous-jacente.

Dans le cas d'un sol contraint il pourra être possible d'infiltrer les premiers millimètres de pluie à condition de ne pas concentrer (rapport surface active/surface d'infiltration de 1/1 ce qui signifie que la surface d'infiltration ne reçoit et n'infiltrer que ses propres eaux pluviales), dans certains cas l'infiltration pourra être interdite et d'autres solutions devront être retenues (stockage/restitution, récupération/utilisation).

- ♦ des dispositifs de **récupération** pour la réutilisation des eaux de pluies (arrosage, nettoyage des sols...)

LA CARTE DU ZONAGE PLUVIAL À PARIS

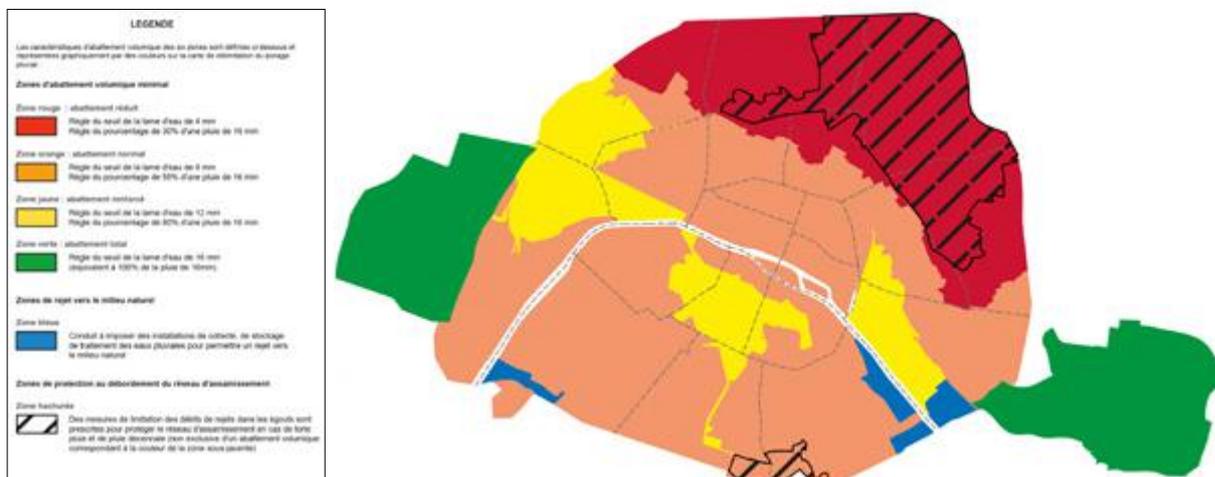


Figure 2 : Carte simplifiée du zonage pluvial de Paris

© STEA

Les cartes du zonage pluvial sont présentées en annexe 1. Les règles du zonage pluvial distinguent les pluies courantes, les fortes pluies jusqu'à la pluie décennale et le cas de la pluie décennale ou au-delà.

Les pluies de moins de 8 mm représentaient à Paris en 2013, 83 % des pluies enregistrées et les pluies de plus de 16 mm moins de 6 %.

Le zonage pluvial à Paris repose sur la règle du seuil*. Concrètement, une partie de l'eau de pluie tombée sur un terrain ou un ensemble de terrains doit s'infiltrer dans le sol et/ou s'évaporer, s'évapotranspirer (par les végétaux), être réutilisée sur place.

L'ensemble des dispositifs de gestion des eaux pluviales mis en place sur un terrain doit être capable d'abattre à la source un volume de pluie compris entre un seuil minimum et un optimum (c'est à dire la déconnexion totale sans aucun rejet au réseau) correspondant à tous les types de pluies donc au-delà de 16 mm et jusqu'à la pluie d'orage décennale 48 mm (qui pourra ruisseler en surface jusqu'à un exutoire branché au réseau d'assainissement).

La superficie à considérer pour le calcul du volume de pluie minimum à abattre constitue la « surface de référence unitaire ». Elle se définit comme la projection sur un plan horizontal des parties en élévation, au sol ou en sous-sol modifiées par le projet de construction ou d'aménagement.

$$V_u \text{ (litres)} = S_{\text{refu}} \text{ (m}^2\text{)} \times H_p \text{ (mm)}$$

Le volume de pluie minimum à abattre toutes les 24 heures (V_u) est le produit de la surface de référence unitaire (S_{refu}) par la hauteur de pluie à abattre prescrite (H_p) dans la zone où se situe le projet.

Ce volume est à mettre en relation avec la surface active du projet, c'est à dire la surface qui produit des volumes d'eau de ruissellement, variables selon son niveau d'imperméabilité.

♦ Pluies courantes : 4 zones selon l'abattement volumique* prescrit

La carte du zonage pluvial (Annexe 1), divise Paris en quatre zones sur lesquelles **le cumul de pluie (ou lame d'eau*) à retenir par 24h sur la surface de référence*** (S_{refu}) du projet, est variable. Ces 4 zones concernent les pluies courantes, inférieures à la pluie décennale. Elles sont déterminées en fonction des caractéristiques du sous-sol et du réseau d'assainissement :

♦ En zone **verte** : l'objectif minimum visé est de ne pas rejeter au réseau d'assainissement les **16 premiers millimètres** de pluie. On parle d'**abattement volumique*** de la pluie 16 mm (1 mm=1 litre de pluie par m²)

La pluie 16 mm³ qui sert à dimensionner les dispositifs de gestion pluviale à la source, sert également de **pluie de référence**.

Sur les 3 autres zones, l'abattement volumique minimum doit être en :

♦ zone **rouge** : les **4 premiers millimètres**

♦ zone **orange** : les **8 premiers millimètres**

♦ zone **jaune** : les **12 premiers millimètres**

Exemple : pour une S_{refu} de 150 m² située dans la zone orange, le volume minimum de pluie à abattre sur place toutes les 24 heures sera de : 150 x 8 = 1 200 litres

3/ La pluie dite de projet « 16 mm » est définie comme une pluie de période de retour 6 mois, de type « simple triangle », de durée 4 heures et d'intensité de pointe 8 mm/h.

Lors d'aménagements urbains présentant de fortes contraintes (constructions en sursol, imbrication de bâtiments neufs et existants...), il est possible sous certaines conditions de mutualiser l'abattement pluvial requis à plusieurs parcelles (ayant un objectif d'abattement en propre) pour apprécier la conformité au règlement du zonage pluvial de façon globale.

♦ Exemple d'un cas pratique :

Exemple d'un terrain sur lequel un bâtiment existant est restructuré (ex : extension, surélévation...) et un nouveau bâtiment construit. Le terrain, d'une surface (S_t) de 1 500 m², est occupé par un bâtiment transformé en hôtel et salle de

séminaire. Le bâtiment existant est restructuré avec une extension attenante modifiant son enveloppe extérieure. Un second bâtiment non contigu sera construit à côté, sur ce même terrain. Un réaménagement d'une partie des espaces libres les imperméabilisant (terrasse, voie d'accès) sera aussi réalisé.

Le cumul des surfaces de références élémentaires du bâtiment restructurées S₁, de son extension S₂ du bâtiment créé S₃ et un réaménagement imperméabilisant le sol S₄, permet de déterminer la surface de référence unitaire : S₁+S₂+S₃+S₄ = S_{réfu} = 1 000 m²

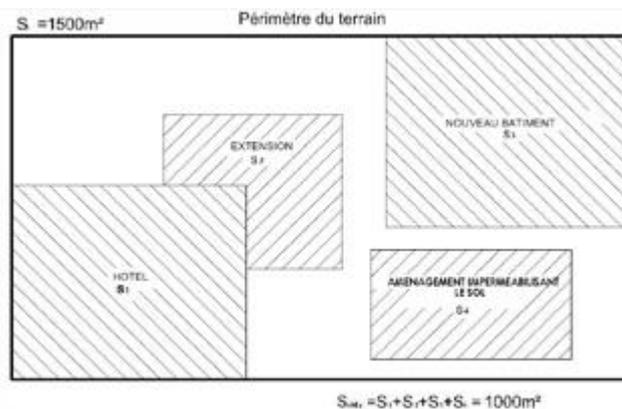


Tableau 1 : Calcul, selon la zone d'implantation du projet, de l'abattement volumique unitaire minimal pour la surface de référence (S_{réfu}) de 1 000 m² selon la règle du seuil :

Zone d'abattement (H _z en mm)	Volume minimum abattu sur la surface de référence unitaire Règle du seuil (V _u en Litres)	Volume rejeté au réseau (V _{rejet} en Litres)
	4 000	0 litre ; rejet possible au-delà de 4 mm de hauteur de pluie
	8 000	0 litre ; rejet possible au-delà de 8 mm de hauteur de pluie
	12 000	0 litre ; rejet possible au-delà de 12 mm de hauteur de pluie
	16 000	0 litre ; rejet possible au-delà de 16 mm de hauteur de pluie
Formules	- Si H _p ≤ H _z alors V _u = S _{réfu} × H _p - Si H _p > H _z alors V _u = S _{réfu} × H _z	- Si H _p ≤ H _z alors V _{rejet} = 0 - Si H _p > H _z V _{rejet} = S _{réfu} × (H _p - H _z)
Application pour H _p = 9 mm	9 000	0
Application pour H _p = 22 mm	12 000	10 000

H_p : Hauteur de pluie tombée sur le terrain (mm)
 H_z : Hauteur de la lame d'eau pour la zone considérée, définie dans le règlement (mm)
 H_% : Fraction de la pluie de 16 mm (mm)
 S_{réfu} : Surface de référence unitaire (m²)

S_t : Surface du terrain (m²)
 V_u : Volume abattu sur la surface de référence unitaire (litres)
 V_{rejet} : Volume rejeté autorisé au réseau d'assainissement (litres)

À titre dérogatoire,

- ◆ lorsqu'il n'est pas possible d'abattre la pluie 16 mm
- ◆ **et** que la règle du seuil est jugée infaisable, le règlement autorise une autre approche. Il s'agit de **la règle du pourcentage*** d'abattement de la pluie de référence 16 mm. Sans supprimer totalement le rejet des premières pluies, elle permet un partage au prorata d'une pluie, entre l'abattement sur le terrain et le rejet au réseau d'assainissement.

Le pourcentage dépend de chaque zone :

- ◆ 30 % en zone rouge,

- ◆ 55 % en zone orange,

- ◆ 80 % en zone jaune,

- ◆ Les deux règles du seuil et du pourcentage se confondent pour la zone prescrivant l'abattement de 16 mm soit : 100 % en zone verte.

Toutefois, moins performante pour les faibles pluies, cible prioritaire du zonage pluvial, le recours à cette règle du prorata doit être motivé par des éléments techniques et soumis à l'accord du Service*.

Pour le même exemple que celui traité ci-avant,

Tableau 2 : Calcul de l'abattement volumique unitaire minimal pour une surface de référence (S_{réfu}) de 1 000 m² selon la règle du pourcentage

Pourcentage d'abattement de la pluie de 16 mm (H _% en %)	Volume minimum abattu sur la surface de référence unitaire Règle du seuil (V _u en Litres)	Volume rejeté au réseau (V _{rejet} en Litres)
30%	Ex pour H _p = 4 mm : 1 200 litres	2 800 litres
55%	Ex pour H _p = 8 mm : 4 400 litres	3 600 litres
80%	Ex pour H _p = 12 mm : 9 600 litres	2 400 litres
100%	Ex pour H _p = 16 mm : 16 000 litres	0 litre
Formules	- Si H _p ≤ 16 x H _% alors V _u = H _p x S _{réfu} x H _% - Si H _p > 16 x H _% alors V _u = 16 x S _{réfu} x H _%	V _{rejet} = (H _p x S _{réfu}) - V _u
Application pour H _p = 9 mm	7 200	1 800
Application pour H _p = 22 mm	12 800	9 200

◆ Fortes pluies jusqu'à la pluie décennale⁴ dans la zone hachurée

Dans la **zone hachurée**, 2 obligations se superposent : l'obligation d'abattement volumique de la zone colorée correspondante et une limitation **à 10 l/s/ha** du débit d'eaux pluviales rejeté au réseau d'assainissement pour les fortes pluies jusqu'à la pluie décennale.

◆ Cas des pluies au-delà de la pluie décennale

En cas de pluie exceptionnelle, il appartient au propriétaire de se prémunir des conséquences d'un tel phénomène en prévoyant les dispositifs nécessaires.

Il est interdit d'implanter un système direct de trop-plein enterré vers le réseau d'assainissement depuis un dispositif de stockage. Tout trop-plein doit être accessible, son écoulement visible et apte à signaler tout dysfonctionnement du dispositif de gestion pluvial associé. Pour assurer

sa fonction en tout temps, il doit être entretenu par son propriétaire ou son gestionnaire. Une fiche dédiée présente les différents systèmes de trop-plein envisageables sur Paris (fiche 12).

Sur certains secteurs (ZAC, lotissements...), au cas par cas, le Service chargé de l'assainissement pluvial peut, pour cette nature de pluie, décider de dispenser le propriétaire de la limitation du débit pluvial rejeté. Si elle le juge nécessaire pour assurer la protection contre le risque d'inondation à l'aval, la Ville de Paris pourra choisir de construire, d'exploiter et d'entretenir à sa charge un ouvrage public de stockage des eaux excédentaires. Les autres prescriptions de zonage du règlement restent applicables.

^{4/} La pluie décennale est définie comme une pluie de type « double triangle », de durée 4 heures et de cumul 48 mm. Son hyétogramme, servant de base de calcul, est présenté en annexe 4 du règlement du zonage d'assainissement parisien.

◆ Cas particulier des zones bleues en réseau séparatif : traitement exigé

Ces zones situées en bord de Seine sont équipées d'un réseau séparatif conduisant directement au milieu naturel les

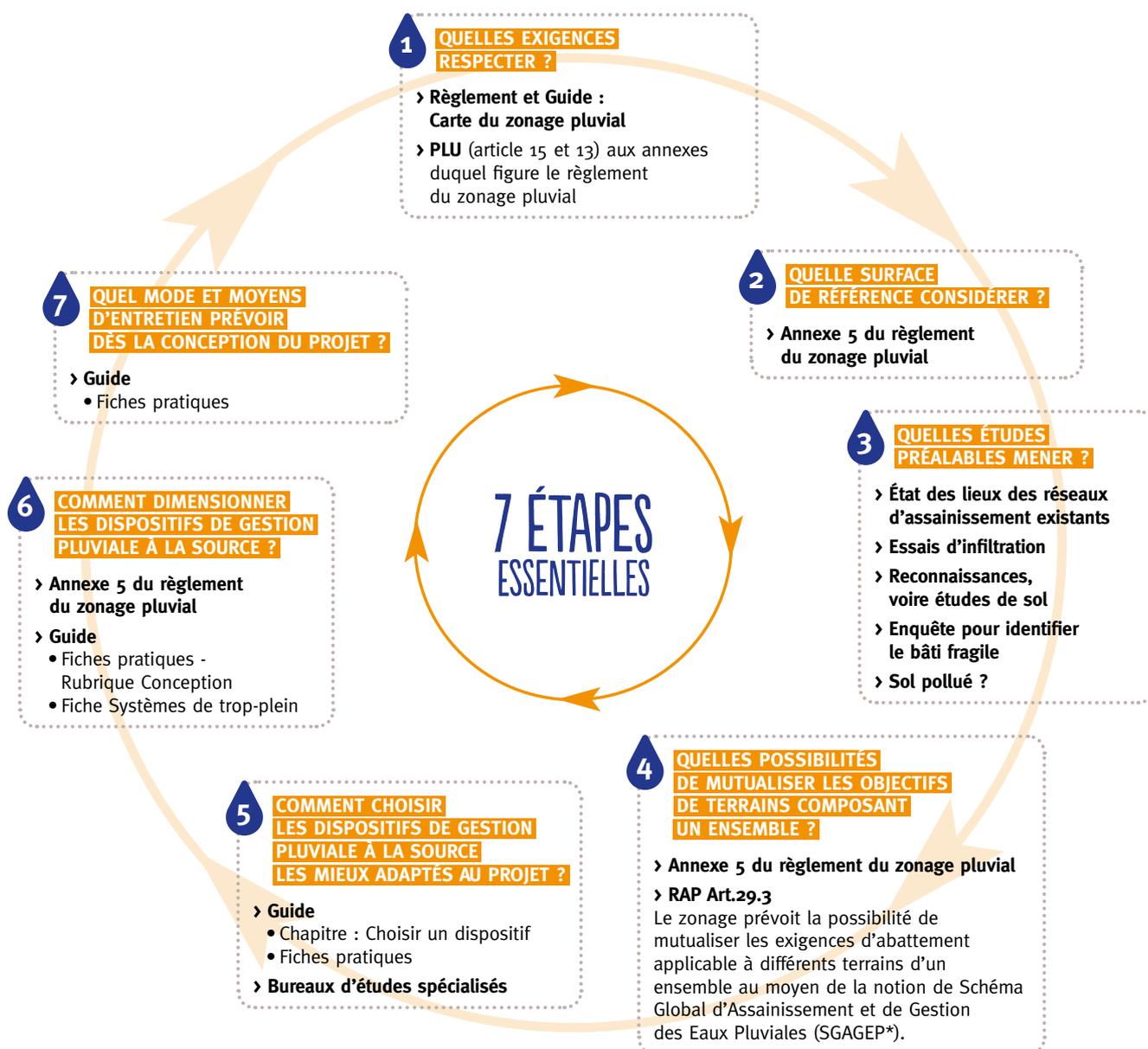
eaux pluviales collectées sur ces zones. Le zonage impose sur ces zones des installations de collecte, de stockage et de traitement des eaux pluviales.

MÉTHODOLOGIE D'APPLICATION DU ZONAGE À PARIS

À l'échelle de la Ville de Paris, *l'autorisation de rejet pluvial* est **un préalable** nécessaire **à toute demande de raccordement au réseau, et** le cas échéant **à l'instruction du permis de construire.**

À cette occasion, la conformité au règlement du zonage pluvial est instruite par le Service* en charge de la gestion de l'assainissement et des eaux pluviales.

◆ Application du zonage pluvial en 7 clés



◆ Procédure à suivre

Le pétitionnaire*, public ou privé, dépose sa demande d'autorisation de rejet des eaux pluviales dans le réseau d'assainissement au Service municipal en charge de la gestion des eaux pluviales et du réseau d'assainissement (autrement appelé le Service* dans le règlement de service d'assainissement de Paris) qui se chargera de son instruction. Le Service* s'engage à fournir une réponse sous 2 mois dès lors que le dossier est complet.

Le pétitionnaire dépose sa demande le plus tôt possible de façon à ne pas affecter les délais de réalisation du projet soit :

- ◆ au stade de l'avant-projet
- ◆ ou au plus tard à l'occasion du dépôt de la déclaration ou de l'autorisation d'urbanisme, quand celui-ci est imposé.

Le Service* se tient prêt à l'accompagner le plus en amont possible dans la construction de son projet. Le pétitionnaire

pourra également faire appel à des bureaux d'étude spécialisés.

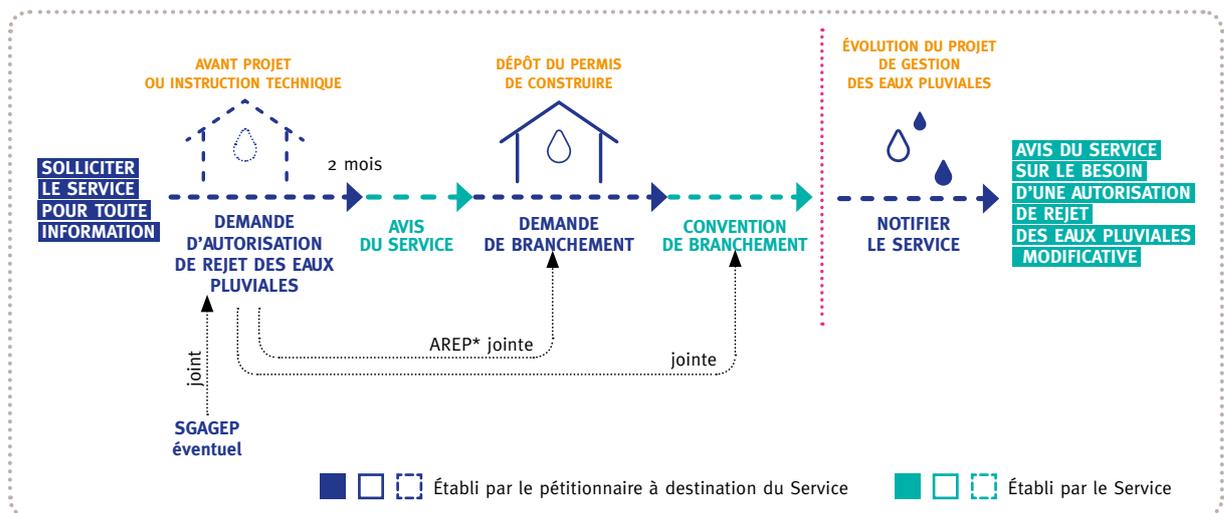
La demande décline de manière opérationnelle les éléments d'information spécifiés à l'annexe 3 du règlement du zonage pluvial et au RAP* (ex. dimensionnements des canalisations et des dispositifs de gestion des pluies, des ouvrages et de leurs équipements associés comme les régulateurs de débit, trop-pleins...).

Le formulaire de demande est à transmettre au Service* par voie électronique (parispluie@paris.fr) ou par courrier suivant les modalités précisées sur paris.fr.

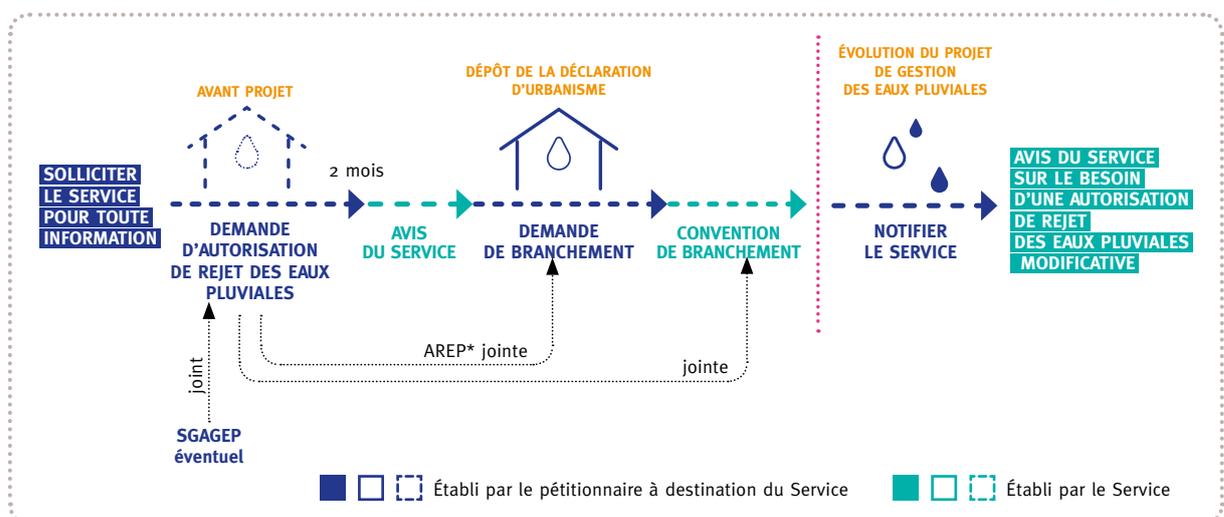
Les trois cas à distinguer,

- ◆ Construction ou aménagement soumis au zonage ET à permis de construire,
- ◆ Construction ou aménagement soumis au zonage ET non soumis à permis de construire,
- ◆ Aménagements publics de voirie, d'espaces verts et d'espaces sportifs non bâtis, sont présentés ci-après :

Construction ou aménagement soumis au zonage ET à permis de construire

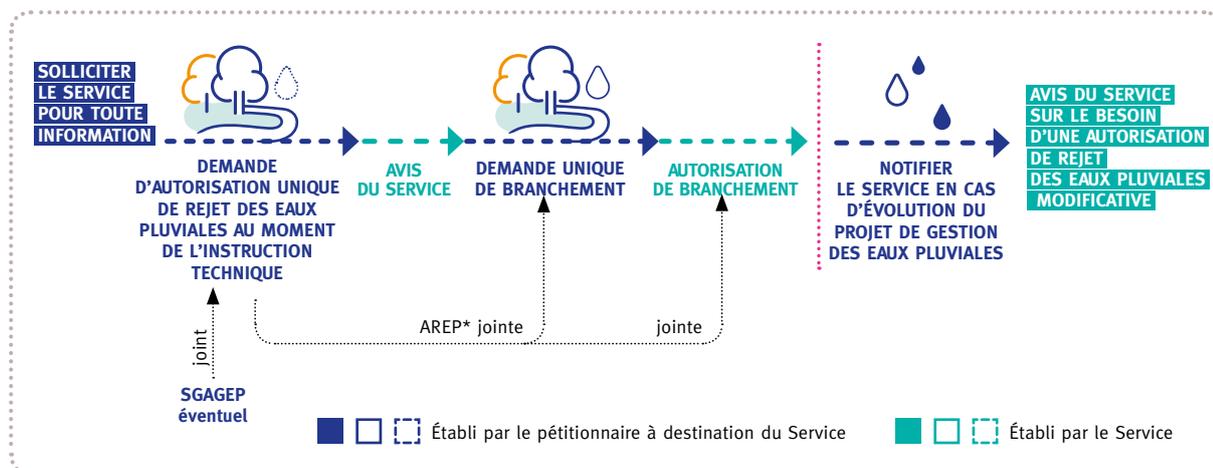


Construction ou aménagement soumis au zonage ET non soumis à permis de construire



Aménagements publics de voirie, d'espaces verts et d'espaces sportifs non bâtis

La procédure est unique quels que soient les rejets d'eaux pluviales sur le périmètre global de l'aménagement considéré.



♣ Cas particuliers

Projet de travaux porté par un concessionnaire

Au-delà de 1 000 m², le projet et son dossier seront transmis au service de la Voirie concerné qui transmettra la demande d'autorisation au Service*. L'autorisation de rejet pluvial sera nécessaire pour commencer les travaux. Le procès-verbal de la Réunion d'Ouverture de Chantier (ROC) sera conditionné à l'autorisation de rejet pluvial.

Projet où l'abattement des eaux pluviales est total

Dans le cas d'aucun rejet d'eaux pluviales au réseau d'assainissement, l'autorisation établie attestera du traitement intégral des eaux pluviales par le dispositif mis en place et précisera également les dispositions adoptées pour toutes pluies supérieures à la pluie de référence telles que précisées à l'article 29.1 du règlement d'assainissement.

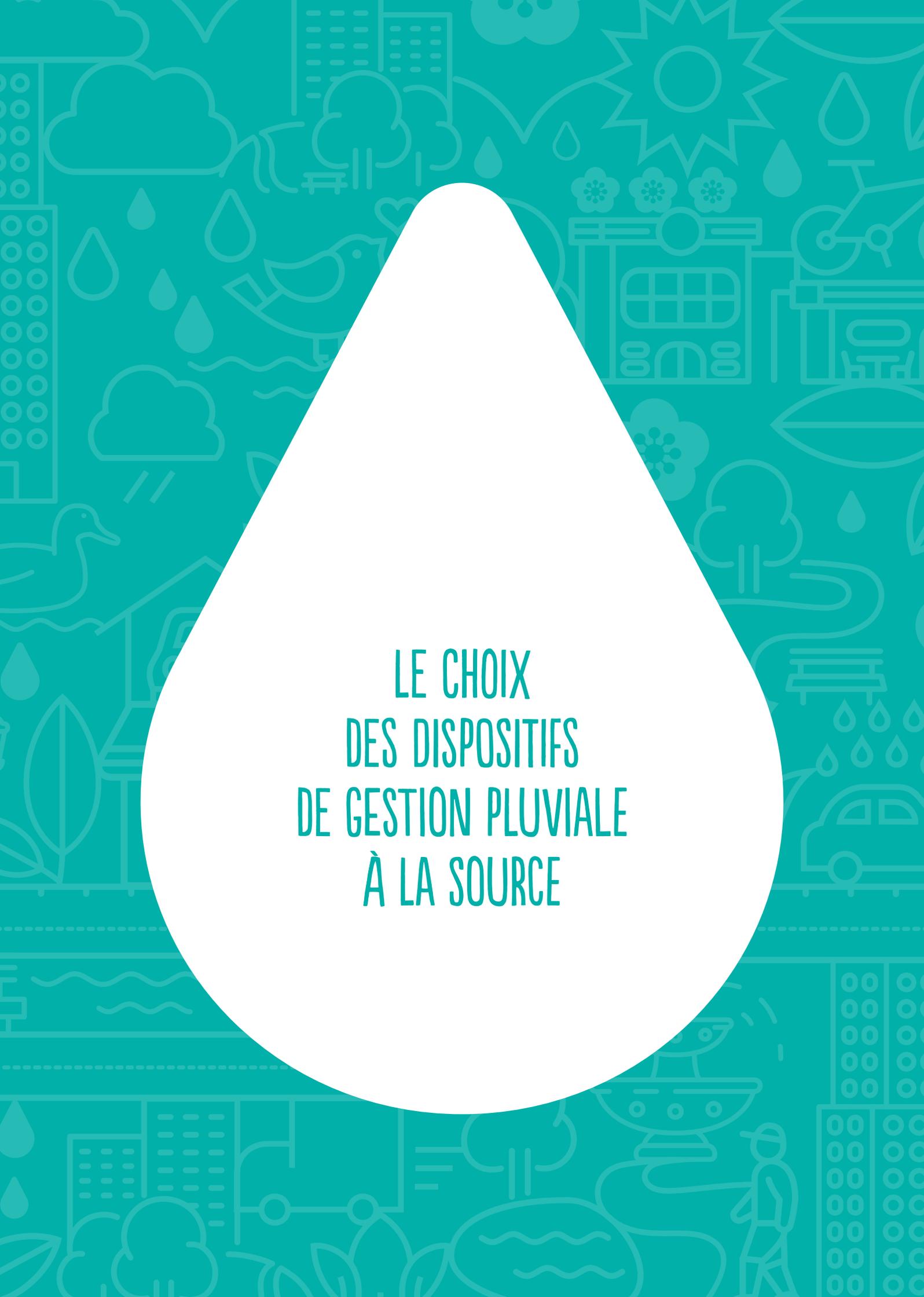
Évolution de la gestion des eaux pluviales en cours de travaux

Comme illustré précédemment, en cas d'évolution du projet de gestion des eaux pluviales au cours de la réalisation du projet de construction ou d'aménagement, le pétitionnaire prendra l'attache du Service à qui revient de juger du caractère substantiel et de la nécessité de soumettre à l'instruction une demande modificative d'autorisation de rejet pluvial.

Démarche volontaire hors du cadre réglementaire

Il s'agit d'opérations facultatives à titre civique ou volontaire, valorisables en termes d'image, dans le cadre d'une politique de responsabilité sociétale des entreprises (RSE), des objectifs de développement durable (ODD) mondiaux et territoriaux des Nations Unies, ou tout autre politique environnementale. Bien que non soumis aux procédures mentionnées ci-dessus, le porteur de projet est invité à se rapprocher du Service* pour déclarer son projet et obtenir de l'aide pour faciliter par exemple l'élaboration des demandes d'aides financières.





LE CHOIX
DES DISPOSITIFS
DE GESTION PLUVIALE
À LA SOURCE

Les dispositifs de gestion des eaux pluviales mettent en œuvre une ou plusieurs techniques d'abattement volumique* à la source de tout ou partie des eaux de pluies. Leurs principes sont basés sur l'infiltration, l'évapotranspiration, l'évaporation, la récupération et réutilisation des eaux pluviales.

Les principes généraux de la gestion pluviale à la source, portés notamment par la DRIEE et l'AESN, sont les suivants :

- Éviter le ruissellement grâce à des sols perméables,
- Réduire les rejets d'eaux pluviales vers les réseaux d'assainissement (zéro pour les petites pluies),

- Compenser, par exemple par une régulation du débit de fuite à 10 L/s/ha,
- Faciliter l'entretien et le suivi des dispositifs, grâce notamment à une gestion à ciel ouvert des pluies courantes,
- Rechercher les autres bénéfices grâce à :
 - une réutilisation des eaux de pluie là où elles tombent,
 - la mise en place d'espaces multifonctionnels intégrant plusieurs des principes cités précédemment

PLUSIEURS CRITÈRES À CONSIDÉRER

Le sol et le sous-sol parisien présentent une très grande hétérogénéité du fait des remaniements successifs qu'ils ont subis au cours des étapes d'aménagement de la capitale. Les voiries, notamment, peuvent être disposées sur une superposition de couches de fondation variées, et la couverture des infrastructures du métro a également pu engendrer des remaniements du sol sur de grandes profondeurs.

Le règlement du zonage pluvial interdit de concentrer les eaux pluviales en zone très sensible.

Toutefois, l'installation de plantations peut moduler la concentration des eaux dans un ouvrage, compenser la faible perméabilité des sols et limiter les risques liés au sous-sol : selon le nombre de strates végétales intégrées il est possible de gérer une plus ou moins forte concentration d'eau de pluie. En zone géologique très sensible (présence de gypse ludien avéré) on considère qu'un sol sans présence végétale (ou très faible) accepte une concentration de 1 pour 1. La superposition de strates végétales permet d'augmenter le coefficient de concentration d'autant que le nombre de strates (herbacée, arbustive, arborée). Ainsi, une première strate permet d'obtenir une concentration de 2 pour 1 (exemple herbacée ou arbustive). L'ajout d'une seconde strate permet d'obtenir une concentration de 3 pour 1 (exemple arbustive ou arborée). La superposition des trois types de strates permet ainsi d'aller jusqu'à une concentration de 4 pour 1. Ce principe repose sur le fait que les végétaux vont à la fois pour partie « pomper » de l'eau du sol et pour une autre partie retenir et grandement évaporer la pluie.

◆ Perméabilité du sol

Pour chaque projet d'aménagement de gestion des eaux pluviales, il convient donc de s'assurer que celles-ci puissent s'infiltrer au niveau des structures supérieures du sol, puis qu'elles puissent ensuite s'évacuer facilement (pas de nappe affleurant, matériaux perméables).

Le choix des dispositifs d'infiltration, conditionné par la **perméabilité du sol**, nécessite donc des essais d'infiltration que le pétitionnaire réalisera dès le stade de faisabilité.

Ces essais décrits en annexe 3 visent à estimer la capacité du sol à évacuer les eaux pluviales et à déceler des indices d'inaptitude du sol et du sous-sol, du fait par exemple de

la présence d'horizons artificiels imperméables ou de risque de cheminements de l'eau préjudiciables au bâti ou aux infrastructures voisines.

Leur mise en œuvre doit s'adapter au cas par cas, en fonction des configurations identifiées au préalable ou découvertes au moment de leur mise en œuvre.

◆ Stabilité du sous-sol

La carte de caractérisation générale du sous-sol parisien s'accompagne de prescriptions techniques à l'égard de la **stabilité du sous-sol**, dont celles de l'**Inspection Générale des Carrières** (IGC) en annexe 1. Elles reposent sur des reconnaissances de sol destinées à préciser la base des remblais de mauvaise qualité, des argiles ou du gypse ludien ;

Elles ont pour objet de valider les dispositifs proposés au regard des risques de déstabilisation du sol en raison de la présence en sous-sol de gypse antéludien et/ou d'anciennes carrières de calcaire grossier. Par exemple la concentration du flux au voisinage de la surface ne devra pas avoir un impact supérieur à celui des pluies standard en profondeur (ce qui peut notamment être le cas si un fontis de dissolution du gypse antéludien en cours de remontée est détecté et que l'on concentre l'infiltration à son aplomb).

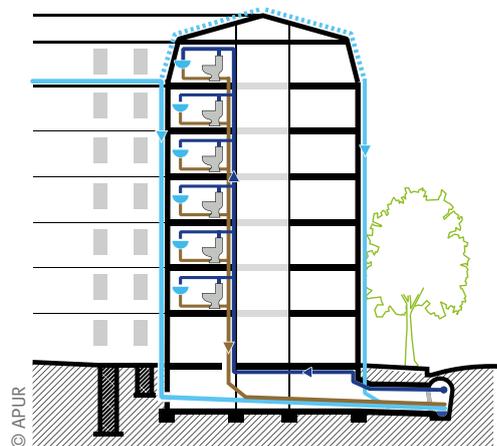
Ces préconisations n'ont pas vocation à définir les conditions d'acceptabilité d'ouvrages d'infiltration des eaux pluviales qui doivent relever de la responsabilité des maîtres d'œuvre des projets.

◆ Proximité du bâti

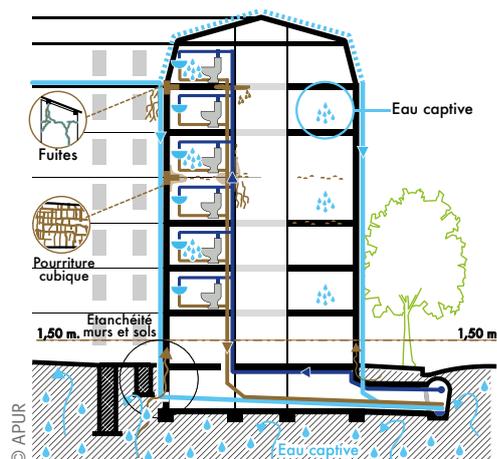
Les désordres les plus courants liés à l'eau sont dus à des fuites de réseaux d'eau et/ou à un mauvais entretien des dispositifs d'écoulement (gouttières, avaloirs par exemple). Toutefois, les caractéristiques constructives et la vulnérabilité des bâtiments existants sont à examiner au cas par cas, infiltration dans le sol **à proximité des bâtis** vieillissants ne devant pas à terme provoquer de déstabilisation des fondations ni d'éventuelles inondations au niveau des caves. La désimperméabilisation des sols (cours perméables en pavés, végétation...) dans le cadre d'une réduction des rejets pluviaux au réseau d'assainissement va dans le sens d'une restauration des échanges sol-air : l'eau peut s'infiltrer dans

les sols mais aussi s'évaporer ce qui permet de réduire les risques de nappes captives à proximité des fondations du bâti et par conséquent de sa dégradation par remontées capillaires.

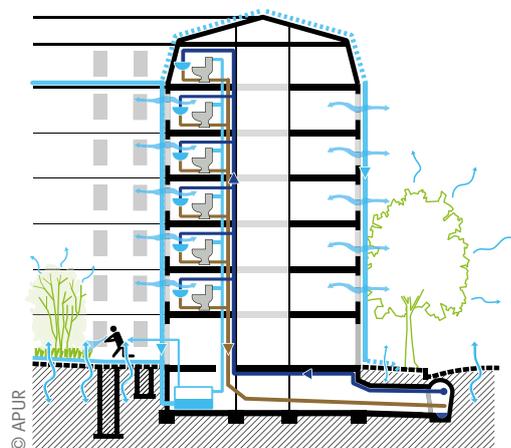
LE CYCLE DE L'EAU À L'ÉCHELLE DU BÂTI. ÉTAT ACTUEL ET POSSIBLE



L'eau et le bâti, situation courante, fin XIX^e siècles à nos jours



L'eau et le bâti, désordres, fin XIX^e - XXI^e siècles à nos jours



L'eau et le bâti, coupe de principe, demain

— Eau pluie — Eau potable — Eau usée

Les caractéristiques du bâti peuvent aussi être liées au caractère plus ou moins patrimonial des sites (protection au titre du patrimoine et des sites inscrits, protection au titre du PLU) et à la densité du bâti existant. Dans ce cas des solutions adaptées sont à rechercher.

Afin d'éviter tout dommage, chaque dossier de demande d'autorisation de rejet pluvial intégrera donc les résultats d'une enquête de la part du pétitionnaire, ou si besoin du maître d'ouvrage public pour :

- ◆ S'assurer de la qualité du bâti avoisinant et de sa vulnérabilité. Les bailleurs sociaux pourront faire appel à la base de données de la DLH, caractérisant le bâti fragile. Les autres pétitionnaires devront mener une visite de terrain, identifiant les éventuels désordres structuraux visibles sur le bâti (fissures) ;
- ◆ Expliquer, le cas échéant, les solutions particulières mises en place pour réduire la vulnérabilité du bâti : drainage, écrantage ou étanchéification des fondations à l'aide de géomembranes ;
- ◆ Prévoir une distance par rapport au bâti fragile (étude Chocat et GRAIE, 2014 - Projet de Memento technique ASTEE, 2017).

En cas de bâti vulnérable, dès lors qu'un risque est identifié de circulations d'eau dans les remblais superficiels, l'infiltration est déconseillée même en très faible quantité.

◆ Portance minimale du sol sur surface circulaire

À Paris, toutes les surfaces circulables ou piétonnes (circulation, secours, stationnement, usagers de l'espace...) doivent supporter un « Trafic Poids lourds T4 ou T5 », permettant ainsi la circulation des convois exceptionnels. Des essais de portance sur support sec devront être réalisés pour les différents types de revêtements perméables (DVD, 2017). La DVD dans son « Catalogue des structures » indique que pour des pavés avec joints perméables la portance doit être de 120 MPa. Cette valeur doit être respectée sur la structure perméable (à faire vérifier en phase chantier, avant de réaliser la couche de roulement).

Le fascicule 70 du CCTG relatif aux ouvrages d'assainissement (2^e volume) recense les normes en termes de graves pour les couches de fondation. Il convient de s'y référer.

◆ Présences d'ouvrages en sous-sol

Les réseaux concessionnaires (électricité, gaz, téléphonie, refroidissement, chauffage urbain) et la présence de galeries RATP sont à considérer selon leur vulnérabilité.

Dans le cas particulier de la présence d'infrastructures RATP ou autres structures étanches en sous-sol (ex. parking), les dispositifs d'infiltration tiendront compte de leur profondeur.

◆ Éléments qualitatifs des eaux pluviales

Les eaux de ruissellement

Au vu des études récentes (AESN, et al., 2013), les eaux « à la source » sont bien moins chargées en polluants que les eaux pluviales collectées dans un réseau d'assainissement séparatif qui reçoit souvent des eaux usées du fait d'erreurs de raccordement au réseau d'eau usée (Bressy 2010, Zgheib 2009), même en zone urbaine dense.

Les ordres de grandeurs des concentrations connues des eaux pluviales en polluants selon leur origine sont présentés en annexe 2.

Dans sa doctrine, la DRIEE préconise les traitements faisant appel aux facultés naturelles des sols et des végétaux à abattre cette pollution. Le sol qui fait intervenir les phénomènes de décantation, filtration et selon les cas phytoremédiation, constitue en effet le meilleur traitement. L'attention sera bien sûr portée au choix des espèces végétales parmi lesquelles certaines sont plus ou moins sensibles (Palette végétale : annexe 4).

Les zones industrielles ou sites pollués sont les seuls justifiant de recourir, préalablement à leur aménagement, à des traitements industriels permettant d'abattre leur pollution.

La fiche « Traitement des pollutions » (fiche 13) aborde les traitements envisageables. Les préconisations de la Ville de Paris ne sauraient remplacer celles émises par la Police de l'eau dans le cas de rejets au milieu naturel.

Les eaux de pluie pour réutilisation

L'arrêté du 21 août 2008 relatif à la récupération et à l'utilisation des eaux pluviales pour des usages internes ou externes aux bâtiments fixe les besoins de traitement. Ils sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Synthèse des obligations de traitement pour l'utilisation des eaux de pluie en fonction de différents usages (JO, 2008)

Type de toitures	Utilisation interne/externe	Type usage	Besoins de traitement
Amiante-ciment et plomb	Usages à l'extérieur des bâtiments		Pas d'obligation de traitement Dans certains cas (requérant une faible section d'écoulement, exemple : buse d'arrosage), mise en place d'un tamis recommandée en amont du stockage pour protéger les équipements (cf. Tableau 3 du « Guide Technique - sur la Récupération et Utilisation de l'Eau de Pluie » de l'ASTEE)
		Usages interdits à l'intérieur des bâtiments	
Zinc ou autres	Usages à l'extérieur des bâtiments		Pas d'obligation de traitement. Dans certains cas requérant une faible section d'écoulement (ex. buse d'arrosage), mise en place recommandée d'un tamis en amont du stockage pour protéger les équipements (cf. Tableau 3 du « Guide Technique - sur la Récupération et Utilisation de l'Eau de Pluie » de l'ASTEE)
		Alimentation de réservoirs de chasse d'eau et lavage des sols	Tamissage à mettre en place en amont de la cuve de récupération grâce à un dispositif de filtration de section inférieure ou égale à 1 millimètre.
	Usages à l'intérieur des bâtiments	Lavage du linge	Autorisé à titre expérimental, sous réserve de mise en œuvre de dispositifs de traitement de l'eau adaptés reposant sur : la séparation physique par filtration et la désinfection (p.50 du « Guide Technique - Récupération et Utilisation de l'Eau de Pluie » de l'ASTEE)

Dans le cas où la récupération et l'utilisation des eaux pluviales auraient lieu depuis une toiture végétalisée, l'usage de pesticides est à proscrire.

CHOISIR UN DISPOSITIF

L'objectif est d'orienter l'utilisateur dans le choix des dispositifs de gestion des eaux pluviales selon les contraintes du projet et les priorités.

Certaines technologies sont plus durables que d'autres. Seront en particulier privilégiés :

- ◆ Les écoulements gravitaires pour éviter l'usage de pompes ;
- ◆ Les matériaux réutilisables sur place ou facilement substituables après travaux ;
- ◆ Le choix d'espèces végétales robustes nécessitant peu d'entretien.

Afin d'optimiser la gestion des espaces publics, les contraintes de nettoyage doivent en effet être intégrées dès la phase de projet. Les pratiques et technologies de gestion des eaux pluviales et celles d'entretien y compris le salage doivent chercher à concilier leurs objectifs mutuels en adaptant les pratiques et le matériel. Ainsi, l'optimisation des coûts de gestion tiendra compte des coûts d'entretien.

Il est important de prévoir l'entretien dans le temps et de tenir un carnet d'entretien qui assurera également la transition entre la phase de conception et la phase d'exploitation du dispositif, en notifiant au gestionnaire du dispositif ses responsabilités en matière d'entretien. Il lui permet de justifier du bon état d'entretien des installations auprès du service* en charge du contrôle.

Ce carnet comportera notamment :

- ◆ La description des différents éléments constituant l'ouvrage et de leurs rôles ;
- ◆ Les tâches spécifiques d'entretien à effectuer ;
- ◆ La répartition des tâches entre les différents intervenants si nécessaire.

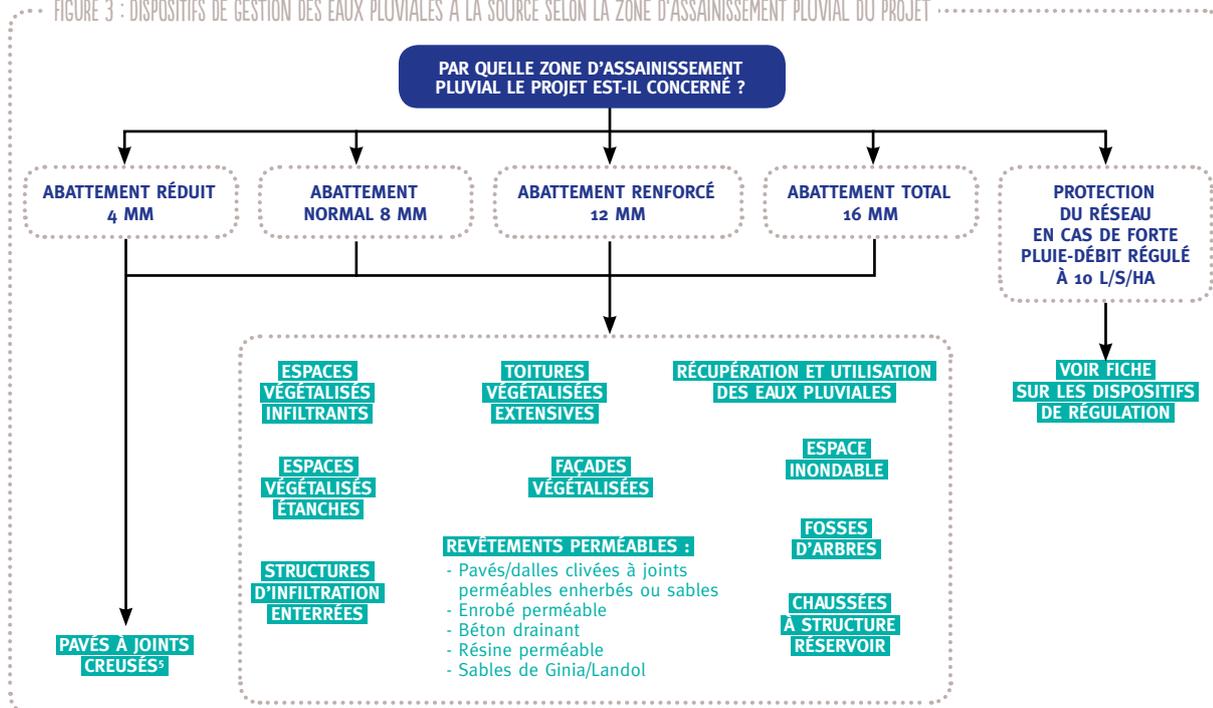
Le choix tiendra compte également du fait que des réparations fréquentes ont lieu sur l'espace viaire. L'usage de terre pleine pour des espaces végétalisés, ou de matériaux minéraux alternatifs au bitume, simples à déposer et à reposer seront privilégiés (ex. pavés ou dalles clivées avec joints perméables). À l'inverse, la reprise de linéaires très important et profonds pour les réseaux enterrés présentent des opportunités de dés-imperméabiliser la chaussée, voire de créer des espaces de stockage en-dessous.

Les usages des espaces tels que les espaces récréatifs, la circulation piétonne, ou encore le coulage de caniveau pratiqué pour le nettoyage (eau non potable), seront aussi à considérer.

Les logigrammes suivants permettent d'identifier les dispositifs pouvant être envisagés pour

- ◆ gérer des eaux de toitures
- ◆ gérer des eaux provenant de surfaces au sol
- ◆ infiltrer des eaux pluviales
- ◆ récupérer et utiliser des eaux de pluie

FIGURE 3 : DISPOSITIFS DE GESTION DES EAUX PLUVIALES À LA SOURCE SELON LA ZONE D'ASSAINISSEMENT PLUVIAL DU PROJET



5/ De simples pavages anciens abattent aisément les 4 premiers millimètres ; l'objectif poursuivi par le zonage pluvial d'abattre les petites pluies (la majorité des pluies), est un objectif accessible. Il pourra être poussé dès lors que les structures sous-jacentes auront été conçues pour infiltrer.

FIGURE 4 : CHOIX DU DISPOSITIF DE GESTION DES EAUX PLUVIALES EN PROVENANCE DES TOITURES

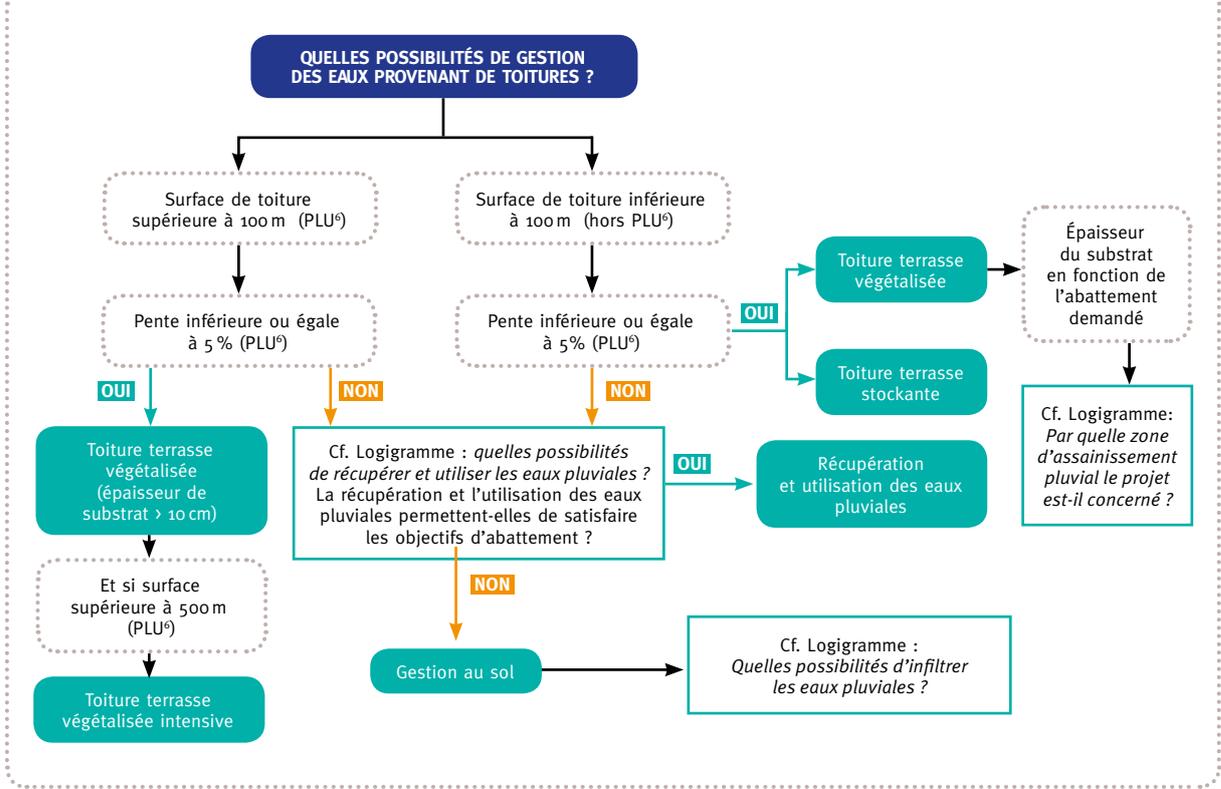


FIGURE 5 : CHOIX DU DISPOSITIF DE GESTION DES EAUX PLUVIALES PROVENANT DES SURFACES AU SOL

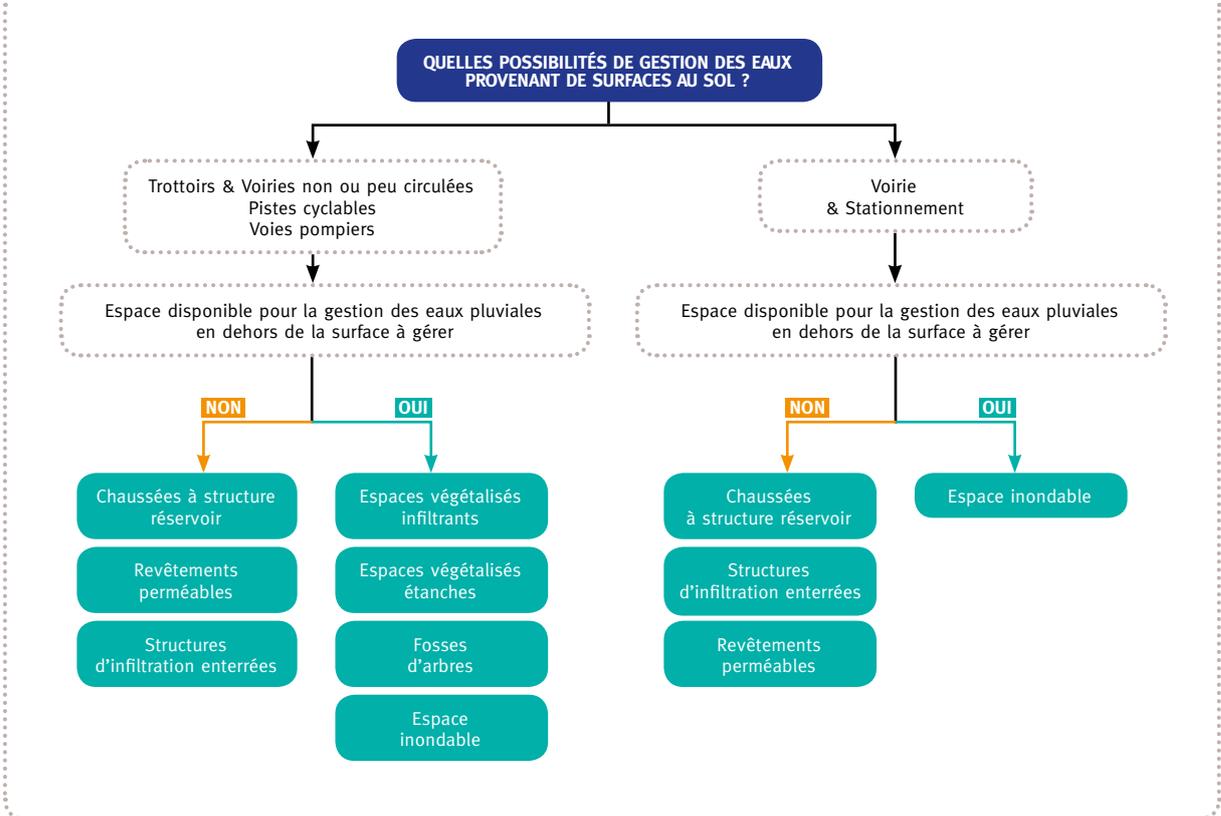


FIGURE 6 : CHOIX DU DISPOSITIF DE GESTION DES EAUX PLUVIALES À LA SOURCE PAR INFILTRATION

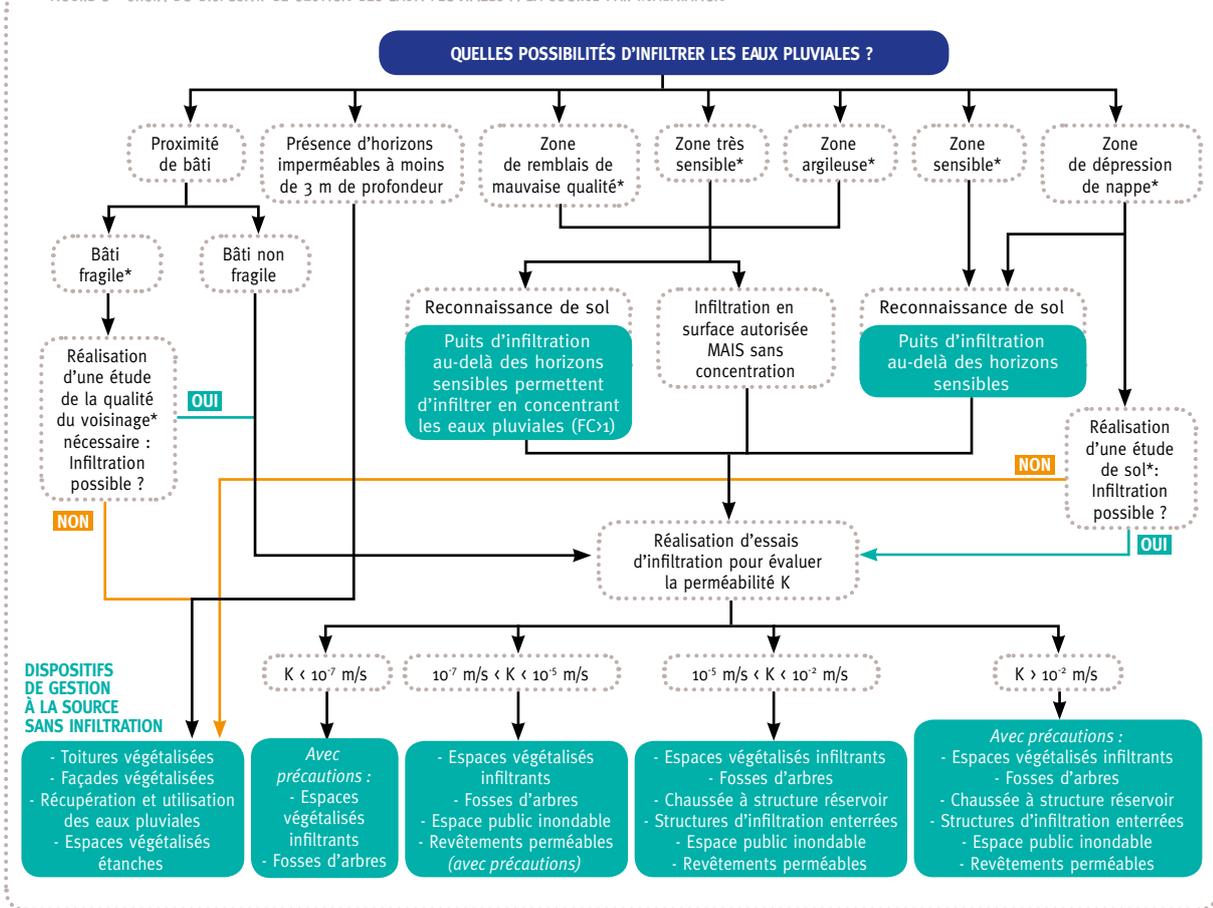
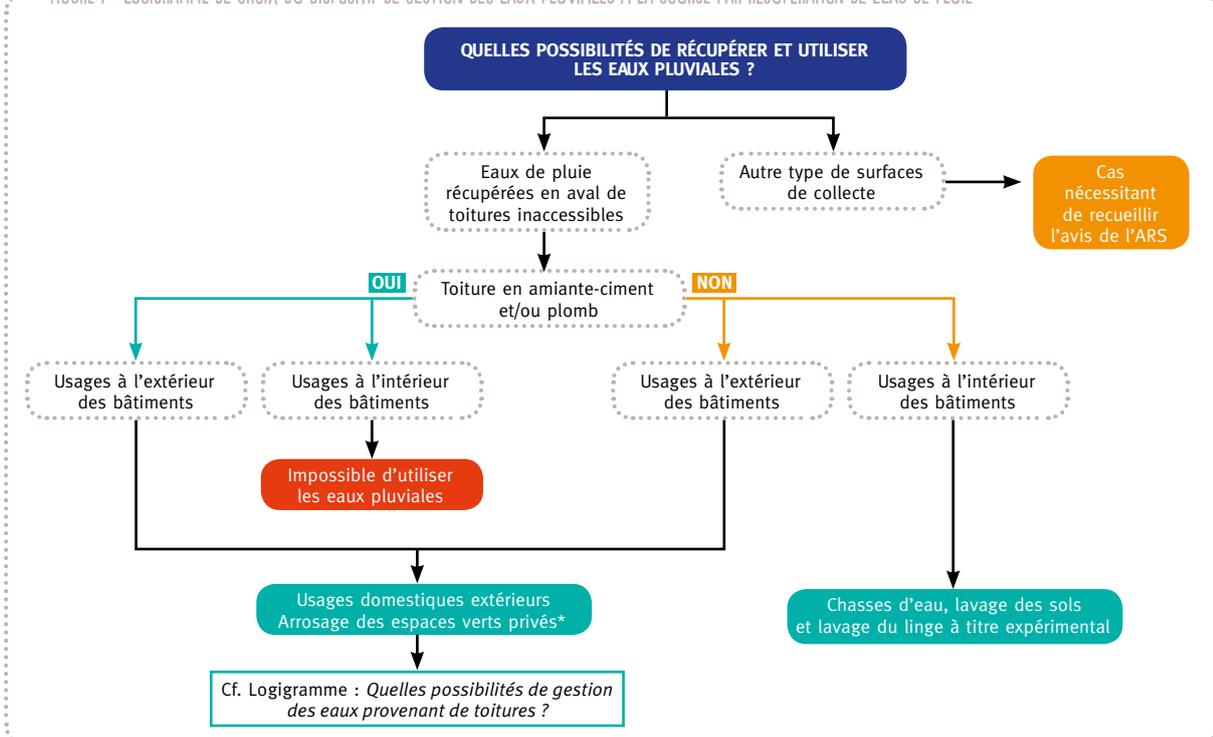


FIGURE 7 : LOGIGRAMME DE CHOIX DU DISPOSITIF DE GESTION DES EAUX PLUVIALES À LA SOURCE PAR RÉCUPÉRATION DE L'EAU DE PLUIE



En complément, un tableau de synthèse peut également aider au choix de tel ou tel dispositif suivant des enjeux. Les enjeux à prendre en compte sont les suivants :

- ◆ Coût (investissement et entretien)
- ◆ Biodiversité
- ◆ Lutte contre les îlots de chaleur
- ◆ Contraintes d'entretien
- ◆ Abatement de la pollution chronique

◆ Abatement de la pollution accidentelle

◆ Robustesse

◆ Aspect paysager

◆ Adaptabilité

◆ Bénéfices spécifiques

◆ Au-delà de ces différents critères, les usages de la zone visée devront aussi être considérés.

Tableau 3 : Synthèse des enjeux pour le choix des dispositifs de gestion pluviale à la source

Fiche	Dispositif	Coût (invest. et entretien)	Biodiversité	Lutte contre les îlots de chaleur	Contraintes d'entretien	Abatement de la pollution chronique	Abatement de la pollution accidentelle	Robustesse	Aspect paysager	Adaptabilité	Bénéfices spécifiques	Performance vis-à-vis du zonage
Toitures végétalisées	Extensive (< 15 cm)	◆	◆	◆	◆	◆		◆	◆	◆	<ul style="list-style-type: none"> • Durée de vie de l'étanchéité • Isolation thermique 	◆◆◆
	Intensive (≥ 30 cm)	◆		◆	◆	◆		◆	◆	◆		
Toitures stockantes		◆	◆	◆	◆ Moins d'entretien que les toitures végétalisées	◆		◆	◆	◆		
Façades végétalisées simples		◆◆	◆	◆	◆	◆		◆	◆	◆		◆◆
Récupération des eaux pluviales		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	Économies d'eau potable	◆
Espaces végétalisés infiltrants		◆	◆	◆	◆	◆	◆?	◆	◆	◆		◆◆◆
Espaces végétalisés étanches		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆		◆◆
Fosses d'arbres		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆		◆◆◆
Revêtements perméables	Pavés/dalles à joints enherbés ou sables	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆		◆◆
	Enrobé poreux perméable	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆		
	Revêtement résine perméable	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆		
	Béton drainant	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆		
	Sables de Ginia/Landol	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆		
Chaussée à structure réservoir		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆		◆◆◆	
Structures d'infiltration enterrées		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆		◆◆◆	
Espace inondable		◆	◆	◆	◆	◆		◆	◆	◆		◆◆

◆ Favorable

◆ Assez favorable

◆ Peu favorable



**FICHES
PRATIQUES**

FICHES DESCRIPTIVES DES DISPOSITIFS

10 fiches décrivent et illustrent chacune un dispositif. Chaque fiche est structurée de la façon suivante :

- ◆ **Une description/définition, un schéma de principe et une illustration**
- ◆ **Le domaine d'application et restriction éventuelle – Avantages/Inconvénients**
- ◆ **Les conditions techniques d'utilisation et le potentiel d'abattement volumique* vis-à-vis des exigences du zonage.**
- ◆ **La conception et le dimensionnement.**
- ◆ **L'entretien, la réparabilité**
- ◆ **Des coûts de conception et d'exploitation**
- ◆ **Les bénéfices environnementaux, sociaux et économiques (services écosystémiques)**
- ◆ **Une rubrique « Pour en savoir plus »** renvoyant vers des ouvrages de référence.

Sont traitées :

- Les toitures végétalisées
- Les façades végétalisées
- La récupération et utilisation des eaux pluviales
- Les espaces végétalisés infiltrants en pleine terre (sec ou humide)
- Les espaces végétalisés étanches avec drainage
- Les fosses d'arbres et infiltration entre les arbres
- Les revêtements de surfaces perméables minéraux ou peu végétalisés
- Les chaussées à structure réservoir avec ou sans bouche d'injection
- Les structures d'infiltration enterrées : puits, tranchées d'infiltration, bassin
- Les espaces temporairement inondables

FICHES PRATIQUES COMPLÉMENTAIRES ET TRANSVERSALES

3 fiches apportent les compléments utiles pour répondre aux objectifs du zonage

- ◆ Les équipements de régulation du débit
- ◆ Les systèmes de trop plein
- ◆ Le traitement des pollutions

LÉGENDE DES SYMBOLES

Domaine d'application des dispositifs de gestion pluviale à la source			
	Dispositif adapté pour garder sur le terrain 4 mm		Dispositif qui demande à reprendre la couche de roulement uniquement
	Dispositif adapté pour garder sur le terrain 8 mm		Dispositif qui demande à reprendre la couche de roulement ainsi que les couches d'assise
	Dispositif adapté pour garder sur le terrain 12 mm		Dispositif enterré
	Dispositif adapté pour garder sur le terrain 16 mm		Dispositif de surface
	Dispositif avec système de régulation du débit à 10 l/s/ha		Dispositif en élévation

Éléments de conception particuliers à considérer

 SS	Comment maîtriser le risque de déstabilisation d'un sous-sol sensible (gypse, remblais)	 Net Vég	Comment intégrer les pratiques de nettoyage des espaces publics perméables végétaux (espaces verts)
 Bât	Comment maîtriser le risque de fragilisation d'un bâti sensible	 Net min	Comment intégrer les pratiques de nettoyage des espaces publics perméables minéraux (espaces viaires)
 Pol	Comment maîtriser le risque de pollution par l'eau pluviale		

Financement

	Solution financée par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie		Solution financée par la DLH (Direction du logement et de l'habitat de la ville de Paris)
---	---	---	---

Bénéfices socio-environnementaux

	Participe à la lutte contre les îlots de chaleur urbain		Participe à la baisse des consommations d'eau potable
	Participe à la biodiversité urbaine		Dispositif robuste sur la durée dans une démarche d'Analyse de Cycle de Vie, en tenant compte des usages et des pratiques (ex. réemploi des matériaux compte-tenu d'interventions récurrentes sur les chaussées par la Ville ou par des tiers)
	Participe à la beauté du paysage urbain et à l'agrément des usagers (aménité récréative)		Participe à divers bénéfices spécifiques : atténuation de la pollution sonore, adsorption/absorption de polluants atmosphériques, augmentation de la durée de vie de l'étanchéité des toitures, dépollution des eaux ruisselées rejetées au milieu aquatique...
	Participe à la baisse des consommations d'énergie		

FICHES TECHNIQUES (PAR DISPOSITIF)



LES TOITURES VÉGÉTALISÉES

Une toiture végétalisée est une toiture étanche, sur laquelle est implantée une végétation adaptée et permanente qui couvre une partie ou la quasi-totalité de cette toiture.

Ces dispositifs, outre leurs autres bénéfices environnementaux et paysagers, assurent le stockage et l'évapotranspiration des eaux de pluie qui tombent sur leur emprise ou celles qui y sont orientées.

Conformément au PLU de la Ville de Paris, la végétalisation des toitures est **à privilégier sur l'ensemble des toitures** et est **imposée sous certaines conditions (ex. pente, surface minimum)** dans le cadre de constructions neuves ou de surélévation de bâtiments existants (hors conditions particulières).

3 types de végétalisation sont envisageables selon la localisation du projet, les caractéristiques techniques du bâtiment, les exigences esthétiques et d'accessibilité, ou encore le niveau d'entretien accepté par le gestionnaire :

- ◆ **Extensif** de type « jardin alpin » à faible entretien, généralement non accessible
- ◆ **Semi-intensif** avec des espaces soignés mêlés aux espaces plus naturels de type prairies, plates-bandes, végétation diversifiée
- ◆ **Intensif** avec un aspect esthétique marqué de type jardin



TOITURE VÉGÉTALISÉE - SHOW ROOM OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

Source : ATM



TOITURE VÉGÉTALISÉE EXTENSIVE À RUEIL MALMAISON (92)

Source : © QUATREVIINGTDOUZE/AESN



TOITURE VÉGÉTALISÉE INTENSIVE > 20 CM OU TOITURE-JARDIN À PARIS (A PRIORI COMPATIBLE ZONE ROUGE À VERTE)

Source : SEPIA Conseils



TOIT POTAGER RUE LOBAU, PARIS 4^e

Source : © PARICULTEURS / Maire de Paris

CONCEPTION



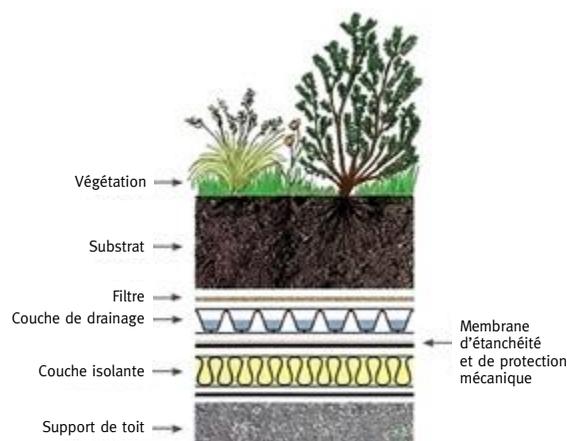
Les maîtres d'œuvre, concepteurs de toitures végétalisées se référeront aux **Règles Professionnelles** pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées publiées par l'**ADIVET**, ainsi qu'aux **D.T.U. et normes** concernés. Quelques points de vigilance spécifiques sont identifiés ci-après.

◆ **Caractéristiques du bâtiment :**

- Charges admissibles
- Pente de la toiture : les règles professionnelles sont définies jusqu'à une pente de 20% ; des projets avec des pentes plus fortes sont possibles mais exigent des études spécifiques.

◆ **Bande stérile :** à mettre en place selon les règles techniques au pourtour des entrées d'eau pluviale et dans les noues courantes ou de rives (si pente > 2%) ainsi qu'en pied de relevé en végétation semi-intensive et extensive si graminées vivaces et plantes ligneuses. C'est un espace aménagé sur la toiture pour faciliter l'accès aux relevés d'étanchéité et aux évacuations d'eaux pluviales. Ce n'est pas une zone accessible, ni un chemin de circulation.

◆ **Couche d'étanchéité + membrane anti-racinaire au-dessus** pour toute la surface de la terrasse (parties courantes, zones stériles, relevés).



COUPE TYPE D'UNE STRUCTURE DE TOITURE VÉGÉTALISÉE.

Source : « Végétaliser des murs et des toits ». Mairie de Paris. 2016

◆ **Couche de drainage :** obligatoire pour les pentes inférieures à 5%, elle assure l'évacuation de l'eau en excès, évitant aussi l'asphyxie des racines. Elle constitue également un volume de rétention d'eau pour les plantes et complète si besoin le volume retenu dans le substrat. Elle peut être constituée de matériaux granuleux, de tapis filtrants ou de solutions alvéolaires (nid d'abeille), de mèches...

◆ **Substrat :** il assure l'ancrage des racines, la rétention en eau et la nutrition des plantes.

- Épaisseur minimale pour répondre aux objectifs du zonage : 10cm hors couche de drainage ; l'épaisseur dépend ensuite du type de végétalisation.
- Constitution : mélange de matières minérales et organiques pour les toitures extensives et semi-intensives, et terre végétale pour les toitures intensives.

◆ **un ou plusieurs point(s) d'alimentation en eau,** de débit dimensionné selon la surface végétalisée, seront disponibles sur la toiture

Conditions et domaines

d'utilisation : Limites liées à la portance de la toiture et aux caractéristiques du bâtiment (charge, pente...)

Les projets non concernés par l'obligation du PLU de mettre en place une toiture végétalisée avec 10 cm de substrat - toitures inférieures à 100 m² ou réhabilitation sans rehausse - peuvent intégrer des dispositifs nécessitant moins d'aménagement et d'entretien que les toitures végétalisées tels que :

- ◆ les toitures stockantes non végétalisées, qui assurent le stockage de la lame d'eau sur un revêtement de toiture minéral et imperméable, avec un débit régulé.
- ◆ des bacs ou tapis précultivés, permettant l'abattement des 4 premiers mm de pluie.

Ces dispositifs ont un intérêt essentiellement voire exclusivement hydraulique.



VÉGÉTALISATION

La surface plantée devra offrir un aspect esthétique proche d'un jardin et donc « paysagé » (massifs de différentes couleurs bien délimités, étalement des floraisons sur l'année...).

- ◆ Privilégier les **espèces résistantes aux stress environnementaux** (alternance pluie/sècheresse, vent, gel...) et adaptées à l'exposition de la toiture
- ◆ Préférer les **espèces indigènes françaises** adaptées aux conditions locales pour assurer leur pérennité et limiter l'arrosage
- ◆ **Diversifier** les espèces et les hauteurs de végétaux (herbe, arbustes, arbres) pour favoriser la biodiversité
- ◆ **Proscrire les espèces exotiques** non françaises, menacées ou envahissantes
- ◆ **Organiser** les plantations selon la vitesse de croissance
- ◆ Accorder les espèces choisies et l'épaisseur de substrat

Exemples d'espèces végétales adaptées :

- Sur toiture extensive : sedums, mousses, lichens, plantes couvre sols, plantes succulentes, herbacées, petits bulbes ; hauteur de 3 à 20 cm
- Sur toiture semi-intensive : graminées, vivaces, bulbes et petits arbustes, plantes horticoles et régionales moyennement exigeantes ; hauteur de 10 à 50 cm
- Sur toiture intensive : graminées, vivaces, bulbes et arbustes moyens, plantes horticoles plus exigeantes voire légumes, petits fruits et fleurs (agriculture urbaine) ; hauteur de 10 à 50 cm voire plus

DIMENSIONNEMENT



- ◆ Épaisseur du substrat + volume de la zone de drainage/ rétention à définir selon la hauteur de pluie à abattre, la surface de toiture s'écoulant dans le substrat, la capacité maximale en eau du substrat
- ◆ La charge de la toiture sera cohérente avec les charges admissibles du bâtiment
- ◆ Un rejet à débit régulé est envisageable dans les zones concernées du zonage pluvial sous réserve de ne pas inonder la végétation (trop plein de la descente de gouttière au niveau haut du substrat)

Quand une partie seulement de la toiture est végétalisée (le PLU impose un taux de végétalisation minimum de 50%), le substrat recueille alors également les eaux de la partie non végétalisée. La couche de drainage avec rétention constitue une solution pour stocker et servir de réserve d'eau pour les plantes (ne répond pas à l'abattement). La réserve de la surface imperméabilisée doit être jointe à la végétalisation pour répondre à l'abattement et compenser avec une hauteur de substrat plus importante.

PERFORMANCES

Efficacité hydraulique : 🌟🌟🌟

Bon potentiel d'abattement si épaisseur de substrat adaptée

Abattement de la pollution chronique : 🌟🌟🌟

Du fait de l'absence de ruissellement, les eaux pluviales ne se chargent pas en polluants supplémentaires.

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)

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

ENTRETIEN

L'entretien des toitures végétalisées est obligatoire et doit être formalisé, au plus tard à la réception de l'ouvrage, par un contrat unique, entre l'entreprise d'étanchéité et le maître d'ouvrage portant sur l'étanchéité et la végétalisation, sur l'ensemble de la toiture y compris les zones stériles

TYPE D'ENTRETIEN

- ◆ Désherbage manuel la 1^{ère} année
- ◆ Inspection des ouvrages d'évacuation
- ◆ Contrôle du bon fonctionnement du drainage, des ouvrages d'évacuation et des relevés d'étanchéité
- ◆ Retrait des déchets
- ◆ Fauchage et taille des ligneux
- ◆ Désherbage chimique à éviter

FRÉQUENCE

- ◆ Extensives : 2 fois par an en entretien courant, 3 à 4 fois pendant la période de confortement
- ◆ Semi-intensives : 4 fois par an, 4 à 6 pendant la période de confortement
- ◆ Intensives : régulier

IRRIGATION

- ◆ Obligatoire le temps de l'installation des plantations (la 1^{ère} année)
- ◆ Extensives : pas ou peu d'arrosage
- ◆ Semi-intensives : conseillé en été
- ◆ Intensives : régulier selon les espèces, la nature du sol et le climat

AVANTAGES

- ◆ Adapté à toute toiture horizontale ou à faible pente
- ◆ Sensibilisation des riverains car dispositif à ciel ouvert

INCONVÉNIENTS

- ◆ Robustesse dépendante de l'entretien, qui garantit la performance en matière d'abattement volumique, mais aussi les autres bénéfices environnementaux
- ◆ Peut venir en concurrence avec des dispositifs techniques implantés en toiture (VMC, panneaux solaires, etc.)

BÉNÉFICES ENVIRONNEMENTAUX

Les toitures végétalisées apportent de nombreux services écosystémiques :



Augmentation de la durée de vie de l'étanchéité Adsorption/absorption de polluants atmosphériques

COÛTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION

(Fourchettes de prix en euros HT données à titre indicatif; forte variabilité selon la configuration des projets, les aménagements, la sollicitation...)

- ◆ Toitures extensives : 25 à 100 €/m²
- ◆ Toitures semi-intensives : 100 à 200 €/m²
- ◆ Toitures intensives : 150 à 300 €/m²
- ◆ Technique subventionnable :



(semi-intensives et intensives)



(à destination, des bailleurs dans le cadre de réhabilitations)

POUR EN SAVOIR PLUS...

- ◆ Guide des toitures végétalisées et cultivées – Toutes les étapes pour un projet de qualité. Mairie de Paris. 2017
- ◆ Règles Professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées. ADIVET. 2007
- ◆ Guide pour la conception des jardins et espaces verts en neuf et en requalification-réhabilitation. Paris habitat. 2016
- ◆ Végétalisation des murs et des toits. Ville de Paris. 2016

LES FAÇADES VÉGÉTALISÉES

Les façades végétalisées décrites dans cette fiche, sont conçues de façon à avoir un impact sur l'abattement des eaux pluviales. Elles s'inspirent ainsi des toitures végétales, et les techniques utilisées pour mettre en œuvre cette végétalisation varient selon les sites.

- ◆ **Végétalisation grimpante** et arbustive implantée en pleine terre ou dans un ouvrage étanche en pied de mur (cf. fiche « Espaces végétalisés étanches »)
- ◆ **Végétalisation suspendue**, arbustive voire même arborée, implantée dans des structures modulaires, balconnières ou jardinières, voire des systèmes plus complexes, fixés en façade ou sur les balcons

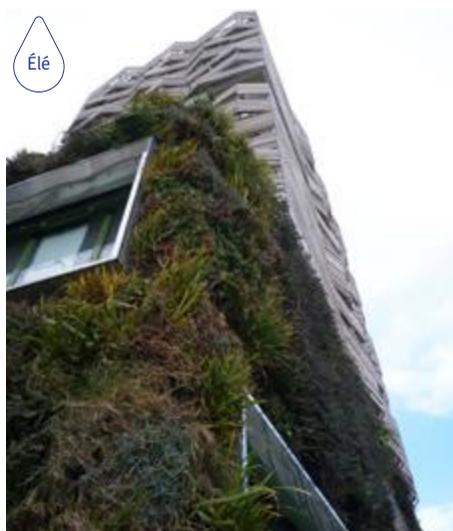
◆ **Végétalisation des éléments préfabriqués** des murs de soutènement constitués d'éléments remplis de terre et plantés

Ces dispositifs, outre leurs bénéfiques environnementaux et paysagers, assurent grâce au substrat de plantation et à la végétation, la rétention et l'évapotranspiration des eaux de pluie qui tombent sur leur emprise (**Facteur de concentration $F_c = 1$**) et sur les toitures du bâtiment (**$F_c > 1$**).



MURS VÉGÉTALISÉS ZAC BATIGNOLLES.

Source : ATM



MURS VÉGÉTALISÉS ZAC BATIGNOLLES.

Source : ATM



MUR VÉGÉTALISÉ, GROUPE SCOLAIRE OLIVIER DE SERRES, PARIS 15^e.

Source : Henry Garat / Mairie de Paris



MURS VÉGÉTALISÉS ZAC BATIGNOLLES.

Source : ATM



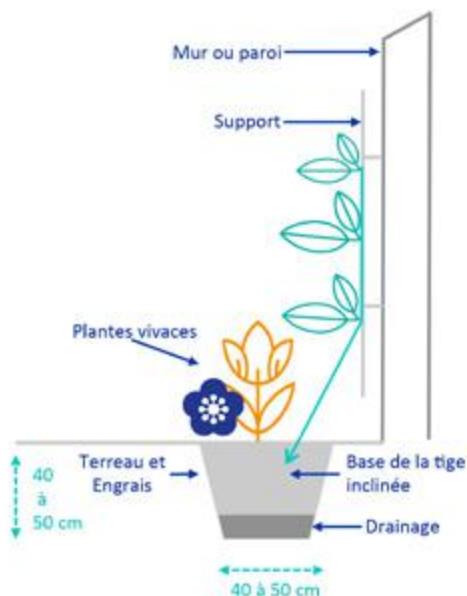
MUR VÉGÉTALISÉ, RUE DES POISSONNIERS, PARIS 18^e.

Source : Jacques Leroy / Mairie de Paris

CONCEPTION

Végétalisation grimpante au sol

- ◆ Selon l'état de la structure bâtie, accroche de la végétation directement sur le mur ou si risque d'ancrage entre enduit et maçonnerie ou d'insertion entre les joints des moellons, possibilité de fixer préalablement une structure saine à la façade
- ◆ Structure d'accroche à choisir en fonction des espèces plantées : filins horizontaux ou verticaux, treillis, grilles, pergola
- ◆ À éviter sur un mortier ou un enduit avec terre ou chaux hydraulique, même en très bon état. À proscrire sur les bâtiments historiques
- ◆ Alimentation en eau par raccordement direct de la gouttière
- ◆ Implantation en plein terre de préférence. Drainage à prévoir avec vidange à débit régulé en cas de dispositif étanche
- ◆ Les caractéristiques mécaniques de la façade ainsi que la résistance des systèmes d'attache seront définis en fonction de la charge constituée par la végétation et le support d'accroche éventuel
- ◆ Substrat : mélange composé de 80-90 % de terre végétale et de 10-20 % de matière organique



SCHEMA TYPE DE MISE EN PLACE D'UNE VÉGÉTALISATION DE FAÇADE EN PIED DE MUR

Source : STEA



ALIMENTATION D'UNE JARDINIÈRE EN PIED DE FAÇADE PAR RACCORDEMENT DIRECT DE LA GOUTTIÈRE.

Source : ATM / étude APUR



JARDINIÈRE VÉGÉTALISÉE.

Source : ATM / étude APUR

Végétalisation hors sol

- ◆ Alimentation en eau directe ou raccordement des eaux de toitures du bâtiment à partir de cuves de récupérations et un réseau de répartition
- ◆ Fertilisation et apports d'eau nécessaires
- ◆ Drainage des substrats et récupération de l'eau résiduelle en circuit fermé ou vers une descente de gouttière
- ◆ Les caractéristiques mécaniques de la façade ainsi que la résistance des systèmes d'attaches seront définis en fonction de la charge constituée par la végétation, les dispositifs modulaires de plantation et le support d'accroche éventuel

Conditions et domaines d'utilisation :



Bât

VÉGÉTALISATION



- ◆ Espèces adaptées :
 - Grimpantes à crampons ou à ventouse : lierre, vigne vierge, houblon, chèvrefeuille des haies, passiflore, hortensia grimpant, fusain persistant, clématite...
 - Des potagères grimpantes pour contribuer au développement de l'agriculture urbaine. Vérifier au préalable l'absence de pollution dans le sol
 - Hors sol : dans un but esthétique combiner les espèces grimpantes persistantes, caduques, à fleurs
- ◆ Étude d'ensoleillement pour sélectionner les essences adaptées

DIMENSIONNEMENT



Épaisseur du substrat + volume de la zone de drainage/rétention à définir selon la hauteur de pluie à abattre, la surface de toiture s'écouant dans le substrat, la capacité maximale en eau du substrat

PERFORMANCES

Efficacité hydraulique : 🌸
Bon potentiel d'abattement si épaisseur de substrat adaptée

Abatement de la pollution chronique : 🌸🌸🌸
Du fait de l'absence de ruissellement, les eaux pluviales ne se chargent pas en polluants supplémentaires



ENTRETIEN



- ◆ Anticiper la hauteur de la végétalisation et l'accessibilité au regard des moyens nécessaires (nacelles)
- ◆ Les 2 ou 3 premières années, tuteurer ou palisser
- ◆ Ensuite, tailler au moins une fois par an pour éviter que la végétation n'atteigne les toitures et les gouttières
- ◆ Arroser régulièrement et selon le climat ; les plantes potagères et les cultures en pot ont besoin de plus d'eau que les plantes ornementales (arrosage au moins une fois par semaine)
- ◆ Contrôler annuellement le développement des plantes à crampons pour éviter un décrochage et une chute de la plante par excès de poids

BÉNÉFICES ENVIRONNEMENTAUX

Les toits et murs végétalisés apportent une multitude d'avantages à la fois sur le plan environnemental et esthétique mais aussi pour la pérennité de la toiture et des façades :



Adsorption/absorption de polluants atmosphériques

COÛTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION

(Fourchettes de prix en euros HT données à titre indicatif; forte variabilité selon la configuration des projets, les aménagements, la sollicitation...)

- ◆ Végétalisation en pleine terre de type plantes grimpantes : 100 €/m
- ◆ Végétalisation suspendue modulaire : 300 à 600 €/m²
- ◆ Technique subventionnable :



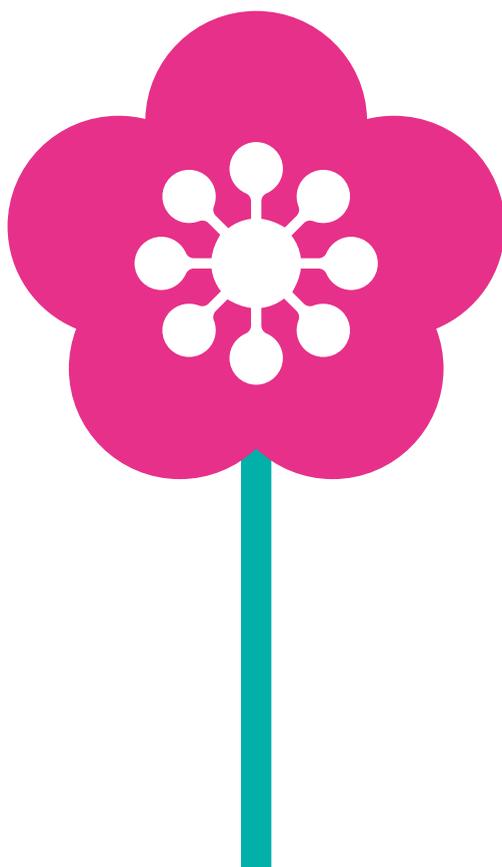
(semi-intensives et intensives)



(à destination, des bailleurs dans le cadre de réhabilitations)

POUR EN SAVOIR PLUS...

- ◆ Fiches techniques et Guide disponibles dans la rubrique « Végétalisons la Ville » sur paris.fr
- ◆ Végétalisation des murs et des toits. Ville de Paris. 2016



RÉCUPÉRATION ET UTILISATION DES EAUX DE PLUIE

La récupération et l'utilisation des eaux de pluie issues des toitures sont à envisager pour les usages domestiques ou industriels ne nécessitant pas d'eau potable. Elles offrent plusieurs avantages :

- ◆ réduction des apports d'eau pluviale aux réseaux d'assainissement
- ◆ réduction de la consommation d'eau potable
- ◆ fourniture d'eau douce appréciable pour certains usages

Les **principaux usages domestiques** autorisés pour l'eau de pluie sont l'arrosage des espaces verts, l'alimentation des chasses d'eau des WC, le nettoyage de véhicules et des sols extérieurs, et à titre expérimental, l'alimentation des lave-linges (pour cet usage, une demande de dérogation est à adresser au Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable).



En cas d'usage intérieur (*exemple chasse d'eau*), le volume récupéré d'eaux de pluie insuffisant peut nécessiter une alimentation complémentaire en eau potable déconnecté du réseau pluvial.

Toutefois, qu'il soit temporaire ou permanent, tout raccordement du réseau d'eau de pluie au réseau de distribution d'eau destinée à la consommation humaine est interdit.



CUVÉE DE RÉCUPÉRATION DES EAUX PLUVIALES POUR L'ARROSAGE D'UNE TOITURE JARDIN.

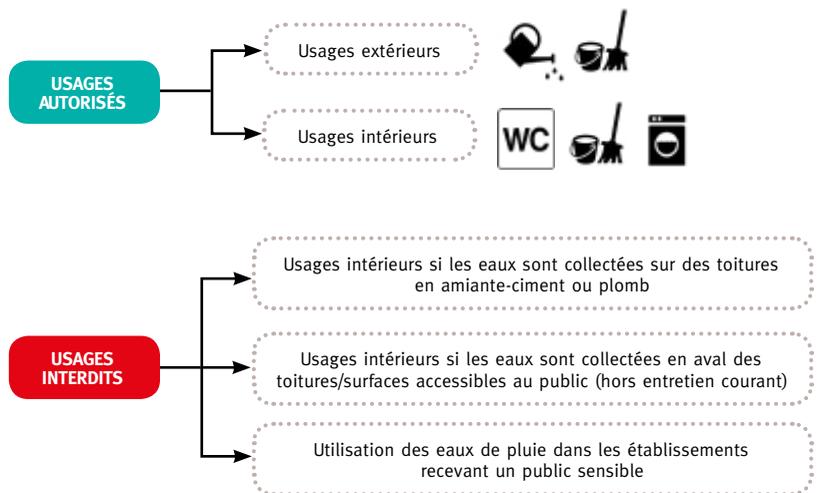
Source : © SEPIA Conseils



SANITAIRES DE LA MAISON ÉDOUARD GLISSANT AU PARC DÉPARTEMENTAL GEORGES VALBON DE LA COURNEUVE (93), ALIMENTÉS PAR UNE CUVÉE DE RECYCLAGE DES EAUX PLUVIALES FONCTIONNANT DE FAÇON TOTALEMENT GRAVITAIRE.

Source : ATM

RÉGLEMENTATION ET USAGES



Les arrêtés du 21 août 2008 et du 17 décembre 2008 établissent des dispositions concernant :

- ◆ La conception des équipements de récupération des eaux de pluie
- ◆ L'entretien des installations
- ◆ Le raccordement au réseau d'assainissement pour l'évacuation des eaux utilisées doit faire l'objet d'une déclaration en mairie
- ◆ Le contrôle des installations par le service eau potable

Pour plus de détails sur ces prescriptions, il convient de se référer aux deux arrêtés cités ci-dessus. Et l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation) a émis fin 2016 des recommandations pour limiter l'utilisation de l'eau de pluie pour le lavage du linge de certains publics vulnérables, en attendant plus de retours d'expérience et l'élaboration d'un guide de bonnes pratiques.

Ordres de grandeurs des besoins en eau selon différents usages :

Usage	Besoins quantitatifs	Périodes
Sanitaires	30 l/j/personne	Toute l'année
Lavage du linge	20 l/j/personne	Toute l'année
Arrosage	k*ETP - pluie	Avril - septembre

k : coefficient cultural dépend du type de plantes
ETP : évapotranspiration

BESOINS EN EAU SELON LES USAGES

Source : Étude sur la gestion des eaux pluviales pour satisfaire aux usages et limiter les apports au réseau d'assainissement, Ville de Paris



CONCEPTION



Les équipements à mettre en place sont à adapter selon les usages souhaités (usages extérieurs et/ou intérieurs).

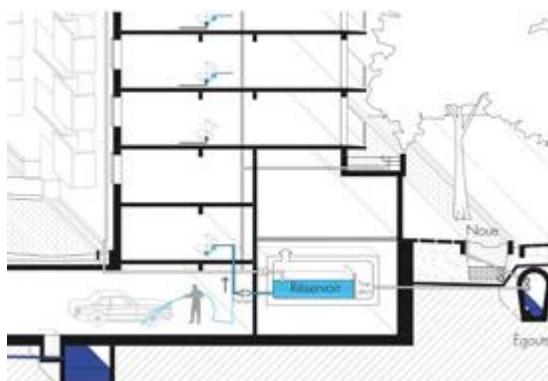
Pour une utilisation des eaux de pluie à l'extérieur d'un bâtiment, il convient de mettre en place un **dispositif de collecte** des eaux de pluie équipé d'une crapaudine, un **dispositif de filtration**, un filtre anti-moustique, une **cuve de stockage**, un **système de trop-plein** (accessible et visible), raccordé au système d'assainissement de manière indirecte et non enterrée (avec clapet anti-retour) ou vers un dispositif d'infiltration, et une **signalisation** comportant la mention « eau non potable » et un pictogramme explicite de non-potabilité à côté du point de soutirage.



Afin d'éviter un débordement des eaux de la cuve, la section de la canalisation de trop-plein doit pouvoir absorber la totalité du débit maximum provenant de la toiture du bâtiment.

Pour une utilisation des eaux de pluie à l'intérieur d'un bâtiment, il convient de rajouter les éléments suivants : un **dispositif de filtration** (≤ 1 mm) en amont de la cuve, une identification claire du **réseau d'eau non potable**, une **pompe** d'alimentation, un **système d'évaluation du volume d'eaux de pluie utilisées dans le bâtiment**.

En cas de **double alimentation de l'installation, par l'eau de pluie et par l'eau potable**, l'appoint en eau devra être assuré par un système de disconnexion par surverse totale avec garde d'air visible, complète et libre, installée de manière permanente et verticalement entre le point le plus bas de l'orifice d'alimentation en eau destinée à la consommation humaine, et le niveau critique. Le trop-plein du système de disconnexion doit permettre de pouvoir évacuer le débit maximal d'eau dans le cas d'une surpression du réseau de distribution d'eau de pluie.



COUPE.
Source : APUR

DIMENSIONNEMENT



3 critères principaux à considérer pour le dimensionnement de la cuve de stockage :

- ◆ Taux de couverture des besoins en eau
- ◆ Abattement des petites pluies du zonage pluvial
- ◆ Surface active de toiture valorisable

Hauteur de lame d'eau à abattre	Surface de toiture valorisable ⁶ par habitant ⁷		
	5 m ² /hab	10 m ² /hab	15 m ² /hab
4 mm	2 L/m ²	60 L/m ²	320 L/m ²
8 mm	25 L/m ²	90 L/m ²	360 L/m ²
12 mm	25 L/m ²	90 L/m ²	360 L/m ²
16 mm	30 L/m ²	120 L/m ²	360 L/m ²
90 % du volume annuel	15 L/m ²	30 L/m ²	100 L/m ²
95 % du volume annuel	25 L/m ²	55 L/m ²	250 L/m ²
100 % du volume annuel	100 L/m ²	150 L/m ²	400 L/m ²

TABLEAU 1 : VOLUME DE CUVE MINIMAL À METTRE EN ŒUVRE (EN L/M² DE TOITURE) EN FONCTION DE L'OBJECTIF D'ABATTEMENT ET DE LA DENSITÉ D'OCCUPATION DES BATIMENTS

PERFORMANCES VIS-À-VIS DU ZONAGE

Usages intérieurs :



Usages extérieurs :

Efficacité limitée à la période d'arrosage (prévoir un dispositif d'abattement complémentaire)



ENTRETIEN

Les obligations d'entretien réglementaire, pour des usages intérieurs, sont les suivantes :

- ◆ **Semestriellement** : vérifier la propreté des équipements de récupération des eaux de pluie, l'existence de la signalisation et le bon fonctionnement du système de disconnexion
- ◆ **Annuellement** : nettoyer les filtres, vidanger, nettoyer et désinfecter la cuve de stockage, manœuvrer les vannes et robinets de soutirage, vérification des pompes le cas échéant

AVANTAGES

- ◆ Économie budgétaires sur l'eau potable
- ◆ Préservation de la ressource en eau
- ◆ Octroi de points supplémentaires lors de la recherche d'une certification environnementale du bâtiment

INCONVÉNIENTS

- ◆ Requier un appoint en eau de secours disconnecté du réseau EP
- ◆ Rentabilité à évaluer pour des usages intérieurs du fait du double réseau
- ◆ Trop-plein directement raccordé au réseau proscrit (ou à éviter)

BÉNÉFICES ENVIRONNEMENTAUX

La récupération et l'utilisation des eaux de pluie participe à la baisse des consommations en eau potable, à la préservation des ressources en eau et à la sensibilisation du citoyen :



Sensibilisation à la préservation des ressources

COÛTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION

(Fourchettes de prix données à titre indicatif)

- ◆ **Usages extérieurs** : Coût d'installation de la cuve + Pompage éventuel

Volume de cuve (m ³)	Coût de la cuve
3	2 150 €
20	6 950 €
30	8 650 €

Prix de l'eau

- Part assainissement : 0 € (sauf si trop-plein vers réseau)
- Part eau potable : 0 € (sauf sur appoint)

- ◆ **Usages intérieurs** : Réseau eau non potable + Coût d'installation de la cuve + Pompage éventuel

Type d'installation	Estimation du coût du réseau d'eau non potable
Habitation individuelle	2 000 €
Intermédiaire	39 000 €
Immeuble collectif	57 000 €
Très grande installation	71 000 €

Prix de l'eau

- Part assainissement : redevance
- Part eau potable : prix de l'eau d'appoint

Coût entretien et maintenance : entre 7 et 70 €/m³ stockage/an

Technique subventionnable : NON

POUR EN SAVOIR PLUS...

- ◆ Arrêté du 21 août 2008 (et ordonnance 2017-9 du 05/01/17)
- ◆ Normes NF Habitat HQE Construction & Rénovation

- ◆ Guide technique – récupération et utilisation de l'eau de pluie, ASTEE
- ◆ Étude sur la gestion des eaux pluviales pour satisfaire aux usages et limiter les apports au réseau d'assainissement, Ville de Paris

ESPACES VÉGÉTALISÉS INFILTRANTS DE PLEINE TERRE

Les espaces végétalisés infiltrants sont des *espaces à ciel ouvert et plantés, à fort caractère paysager et écologique.*

Adaptés *à la parcelle et aux espaces publics*, sur les zones où l'infiltration est possible, ils recueillent les eaux des espaces environnants -descente de gouttière, terrasse, trottoir - et les infiltrent. Le recueil d'eaux de voiries circulées nécessitera un traitement préalable.

La forme d'un espace végétalisé infiltrant peut être *géométrique, linéaire ou libre* selon les contraintes foncières de l'opération au sein duquel il est aménagé.

Entrent dans cette catégorie de dispositifs : les jardins de pluie, les noues, les bassins, les jardinières infiltrantes.



RUE SŒUR VALÉRIE, ASNIÈRES (92).
Source : © QUATREINGDOUZE / AESN

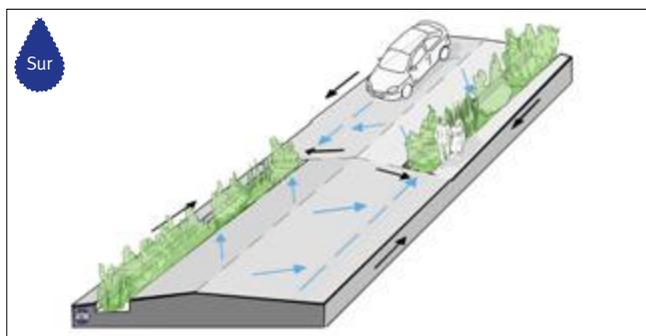


SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT, RUE SŒUR VALÉRIE, ASNIÈRES (92).
Source : ATM



LES 4000 NORD, LA COURNEUVE,
NOUE VÉGÉTALISÉE RUISSÈLEMENT/HAMELIN.
Source : ATM



COUR PRIVÉE À PARIS : JARDIN DE PLUIE.
Source : APUR

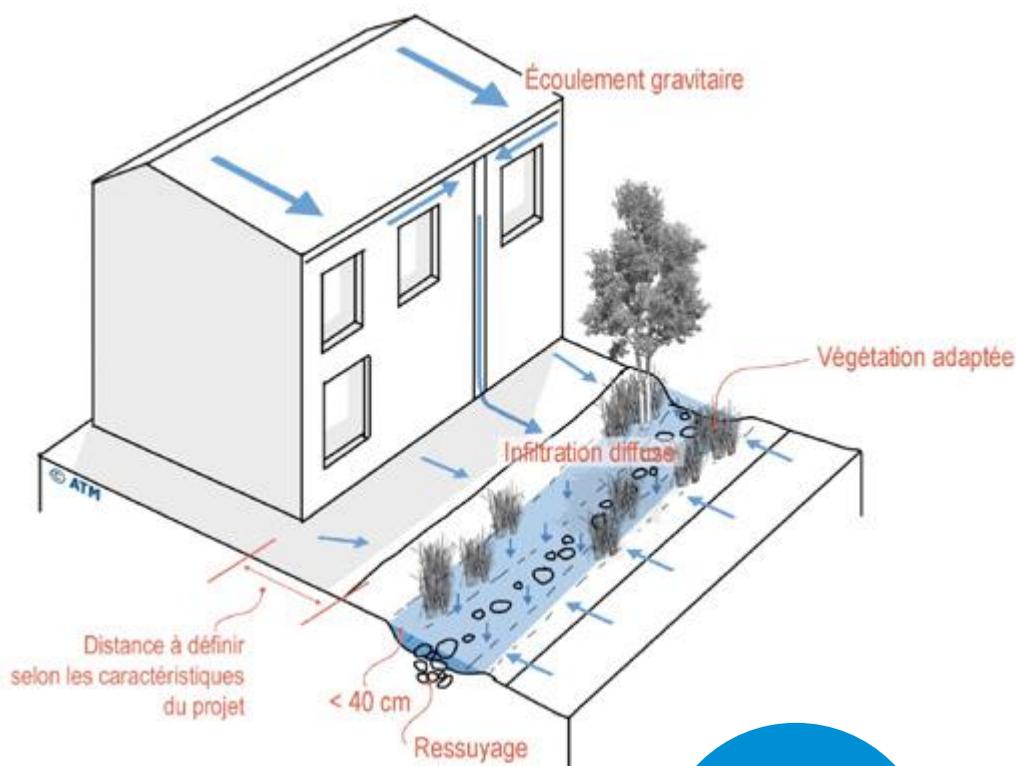


ROMAINVILLE : ESPACE VÉGÉTALISÉ
INFILTRANT EN DÉCAISSÉ DE L'ESPACE PUBLIC.
Source : Est Ensemble / Gaël Kerbaol

CONCEPTION

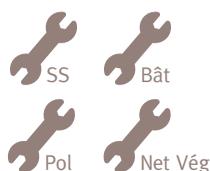


- ◆ Implantation au plus proche des surfaces de ruissellement, à plat ou sur des terrains à faible pente (avec cloisonnements pour exploiter toute la surface d'infiltration)
- ◆ Substrat naturel ou reconstitué, d'épaisseur pouvant varier de 30 à 60 cm, composé de terre végétale et de sable
- ◆ Alimentation par ruissellement de surface de préférence
- ◆ Abattement par infiltration + évapotranspiration ou débit régulé dans les secteurs autorisés
- ◆ En cas de sol peu perméable, il peut être envisagé de créer un horizon artificiel implanté sous le substrat et constitué d'un matériau assurant le drainage du fond du dispositif et un stockage complémentaire avant infiltration (graviers par exemple)
- ◆ Si l'eau ruisselle sur des surfaces à risque de pollution, un dispositif de prétraitement sera mis en place en amont du dispositif pour filtrer les déchets grossiers (grille fine) voire les matières en suspension polluées (espace végétalisé étanche) et limiter le nettoyage de l'espace végétalisé infiltrant.
- ◆ Accessibilité à définir et à prendre en compte dans la conception selon le contexte et le type d'espace : si espace public, zone à rendre inaccessible pour des questions de pérennité et de sécurité. Si à la parcelle, à définir par le propriétaire.
- ◆ Renouvellement des plantes et du substrat à prévoir au bout de quelques années, en fonction des concentrations de polluants accumulés dans le sol et gestion similaire à des terres polluées



AXONOMETRIE JARDIN DE PLUIE EN PIED DE BATIMENT
Source : ATM

Conditions et domaines d'utilisation :



La dépollution des eaux recueillie dans le dispositif sera réalisée par décantation puis filtration dans le substrat et le sol qui retiendront les polluants (hydrocarbures, sels de déverglaçage, métaux lourds, MES, déjections d'animaux, déchets grossiers, pollutions accidentelles...).

Cette dépollution sera favorisée par le système racinaire des plantes et la vie du sol.

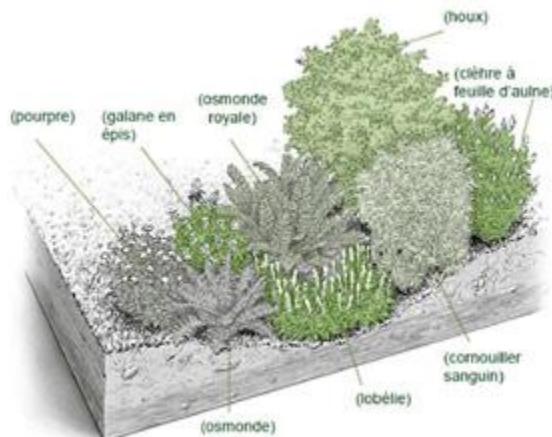
VÉGÉTALISATION



Le bon choix des espèces implantées dans le dispositif conditionne son aspect esthétique. Le choix de la palette végétale utilisable va être conditionné par :

- le facteur de concentration F_c = surface raccordée / surface du dispositif qui influe sur la hauteur et la durée de submersion
- la géométrie du dispositif
- le mélange terreux, qui sera conçu selon la perméabilité du sol en place et les objectifs d'infiltration, et qui définit la vitesse d'infiltration
- les pratiques de salage sur les espaces de ruissellement raccordées sur l'ouvrage

- Végétaliser densément la zone en point bas, pour éviter la formation de boue et le colmatage
- Planter 1, 2 ou 3 strates végétales non aquatiques
- Choisir des plantes résistantes, selon leur capacité à supporter la sécheresse, les variations hydriques et les hauteurs de submersion



Source : Plants & Gardens News Volume 19, Number 1, Spring 2004

DE L'ESPACE VÉGÉTALISÉ INFILTRANT À LA ZONE HUMIDE

Afin de créer une zone humide au cœur d'un espace végétalisé infiltrant, un des points bas pourra être localement étanché. L'eau y sera ainsi stockée et il sera possible d'y cultiver des plantes aquatiques ou des héliophytes. Les zones humides jouent un rôle fondamental pour le captage du CO₂, l'hébergement de la biodiversité animale ou l'épuration des eaux.

DIMENSIONNEMENT



- Volume de décaissement équivalent au volume à abattre
- Volume utile calculé à partir de l'emprise du dispositif et de sa profondeur
- Faible profondeur : < 40 cm (sécurité et protection du sous-sol) et jusqu'à 1 m max. (avec ou sans barrière selon l'emplacement)
- Pentes des berges les plus faibles possibles en fonction de l'emprise disponible (rapport de 3 pour 1 a minima) afin de faciliter l'intégration paysagère, l'accès et l'entretien

PERFORMANCES VIS-À-VIS DU ZONAGE

Efficacité hydraulique : 🌟🌟🌟

Fort potentiel d'abattement volumique sous réserve d'un dimensionnement conforme aux prescriptions du zonage

Abattement de la pollution chronique : 🌟🌟

Décantation et filtration assurées par le stockage, la végétation et le substrat

Section courbe	Section triangulaire	Section trapézoïdale
Ces formules permettent de calculer le volume de stockage dans ces 3 cas		
Longueur x Largeur x Profondeur x (3,14/4)	Longueur x (largeur/2) x profondeur	Longueur x profondeur x (largeur + base) / 2

PROFILS DE NOUES ET FORMULES DE CALCUL DU VOLUME UTILE.



ENTRETIEN

Proportionnel à l'intensité des usages et de la surface pour maintenir la qualité visuelle et esthétique.

- ◆ Enlèvement des déchets, déjections...
- ◆ Nettoyage des organes hydrauliques et de prétraitement
- ◆ Taille et gestion raisonnée de la végétation, remplacement si nécessaire des végétaux
- ◆ Protection des ouvrages en cas de travaux
- ◆ Surveillance de la végétalisation, avec éventuellement sélection a posteriori d'espèces plus adaptées et gestion de la végétation spontanée voire invasive
- ◆ Surveillance visuelle pour détecter une éventuelle stagnation d'eau (> 24h). Dans ce cas : décompactage en profondeur à la saison la moins défavorable pour les plantes

AVANTAGES

- ◆ Adapté aux sols perméables à moyennement perméables sans contrainte géotechnique
- ◆ Créativité paysagère acceptable
- ◆ Facilité de mise en œuvre, avec phasage
- ◆ Filtration de la pollution chronique assurée par le substrat
- ◆ Gestion des eaux pluviales à ciel ouvert
- ◆ Opportunité d'implanter une palette végétale et de valoriser un aspect paysager
- ◆ Perméabilité et infiltration favorisées par l'action du système racinaire

INCONVÉNIENTS

- ◆ Emprise foncière en pleine terre nécessaire sur l'espace public
- ◆ Robustesse dépendante du choix de la végétalisation, de la qualité des eaux de ruissellement et nécessite selon l'emplacement des dispositifs de protection.
- ◆ Renouvellement de la végétation et du substrat à prévoir selon la sollicitation
- ◆ Nécessite un entretien adapté (selon usages environnants) non mécanisé (propreté et horticole) et plus contraignant que pour un espace minéral

BÉNÉFICES ENVIRONNEMENTAUX

Les espaces végétalisés infiltrants apportent de nombreux services écosystémiques :



Adsorption/absorption de polluants atmosphériques
Atténuation de la pollution sonore

COÛTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION

(Fourchettes de prix en euros HT données à titre indicatif ; forte variabilité selon la configuration des projets, les aménagements, la sollicitation...)

- ◆ Réalisation : 100 à 200 €/m² (CUB 2013)
- ◆ Engazonnement : 1 à 2 €/ml (GrandLyon2008)
- ◆ Plantation d'hélophytes : 1 €/plant (Biodiversité positive Adopta)
- ◆ Entretien : 8 €/m²/an (STEA 2016 ; coût d'entretien d'un jardin à Paris)
- ◆ Économie potentielles par rapport à un système peu végétalisé grâce au système racinaire qui limite le colmatage
- ◆ Économie grâce à la superposition des fonctions paysagères et hydrauliques

Technique subventionnable :



POUR EN SAVOIR PLUS...

- ◆ *Conception et dimensionnement des systèmes de gestion des eaux pluviales. ASTEE. 2017*
- ◆ *Les solutions compensatoires d'assainissement pluvial - Fiches techniques. CUB. 2014*
- ◆ *Guide aménagement urbain, assainissement et gestion des eaux pluviales sur le territoire d'Est Ensemble*
- ◆ *Aménagement et choix des végétaux des ouvrages de gestion des eaux pluviales de proximité. Onema et Plantes & Cités. 2014*

ESPACES VÉGÉTALISÉS ÉTANCHES AVEC DRAINAGE

Les espaces végétalisés étanches s'inspirent à la fois des espaces végétalisés infiltrants et des toitures végétalisées implantées sur les bâtiments (cf. fiches associées). En effet, le substrat et le sous-sol sont séparés par une étanchéité.

Ce type de dispositif peut être utilisé sur des **contextes géotechniques sensibles** ou très sensibles ou à proximité de constructions devant être préservées des risques de variation d'humidité dans le sous-sol. Ce dispositif permet une concentration des pluies sous réserve de son dimensionnement.

L'évacuation de la lame d'eau s'effectue donc par évapotranspiration et drainage avec régulation vers le réseau d'assainissement.

La forme d'un espace végétalisé étanche peut être **géométrique, linéaire ou libre** selon les contraintes foncières de l'opération au sein duquel il est aménagé.

Entrent dans cette catégorie de dispositifs : les jardinières en pied de bâti, éventuellement au cœur de l'espace public, et plus exceptionnellement des mares.



RUE DE TURBIGO : JARDINIÈRES HORS SOL SUR L'ESPACE PUBLIC.
Source : SEPIA Conseils



RUE DE CITEAUX : JARDINIÈRES HORS SOL SUR L'ESPACE PUBLIC ET PAVÉS VÉGÉTALISÉS.
Source : SEPIA Conseils



ESPACE EN EAU VÉGÉTALISÉ RECUEILLANT LES RUISSELLEMENTS.
Source : © QUATREINGDOUZE / AESN



FOSSE D'ARBRE DÉCAISSÉE - NEUILLY (92).
Source : ATM

CONCEPTION



- ◆ Implantation au plus proche des surfaces de ruissellement
- ◆ Substrat naturel ou reconstitué, d'épaisseur pouvant varier de 30 à 60 cm, composé de terre végétale et de sable et recouvert d'un paillage (7 cm) afin de limiter la pousse de végétation non désirée
- ◆ Alimentation par ruissellement de surface, par gouttière ou par canalisation
- ◆ Abattement par évapotranspiration si la végétalisation est dense et s'il est autorisé et nécessaire, par débit régulé
- ◆ La végétation devra être dense de façon à maximiser la capacité d'évapotranspiration
- ◆ Couche imperméable par géomembrane, béton ou couche d'argile par exemple avec garantie de la continuité et de la pérennité de l'étanchéité
- ◆ Dispositif de drainage (entre le substrat et la couche imperméable) raccordé soit sur le réseau avec ou sans régulation, soit vers un autre ouvrage de stockage.
- ◆ Une réserve d'eau, si elle est compatible avec les espèces, pourra être créée en fond d'ouvrage pour contribuer à l'alimentation en eau des plantes en été
- ◆ Implantation à plat pour favoriser l'évapotranspiration sur l'ensemble de la surface du dispositif
- ◆ Si l'eau ruisselle sur des surfaces à risque de pollution, un dispositif de prétraitement sera mis en place en amont du dispositif pour filtrer les déchets grossiers (grille fine) voire les matières en suspension polluées (filtre à sable) et limiter le nettoyage de l'espace végétalisé
- ◆ Accessibilité/protection à définir et prendre en compte dans la conception selon le contexte et le type d'espace : espace inaccessible en milieu très fréquenté (pérennité, sécurité) ou accessible pour l'agrément
- ◆ Renouvellement des plantes et du substrat si nécessaire, en fonction des concentrations de polluants accumulés dans le sol et gestion similaire à des terres polluées.

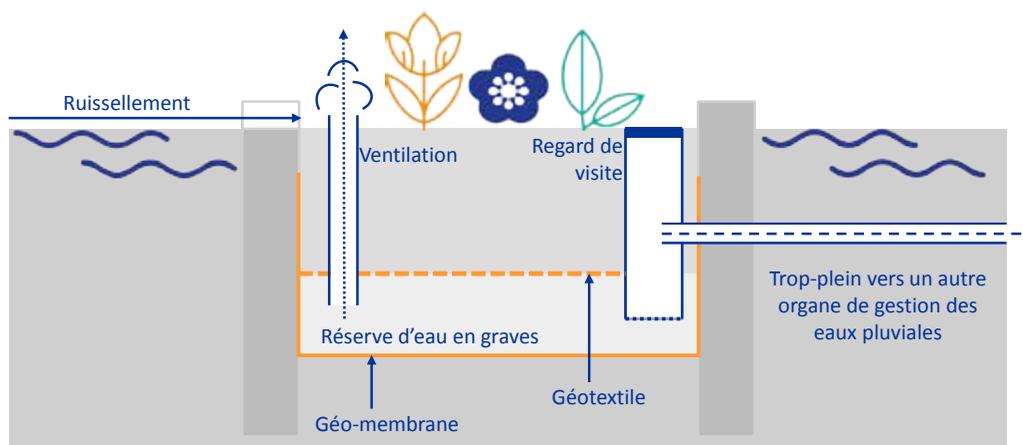


SCHÉMA TYPE D'UNE NOUE AVEC COUCHE DE DRAINAGE

Source : STEA

Conditions et domaines d'utilisation :



Pol



Net Vég



DIMENSIONNEMENT



- ◆ Volume de décaissement équivalent au volume à abattre
- ◆ Volume utile calculé à partir de l'emprise du dispositif et de sa profondeur
- ◆ Faible profondeur (< 40 cm pour les ouvrages de type jardins de pluie ; 50 cm à 1m pour les noues et les bassins)
- ◆ Pentes des berges les plus faibles possibles en fonction de l'emprise disponible (rapport de 3 pour 1 a minima) afin de faciliter l'intégration paysagère, l'accès et l'entretien

PERFORMANCES VIS-À-VIS DU ZONAGE

Efficacité hydraulique : 🌸🌸

Pas d'abattement par infiltration, seulement par évapotranspiration

Abatement de la pollution chronique : 🌸🌸🌸

Décantation et filtration assurées par le stockage, la végétation et le substrat



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)

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

ENTRETIEN



Proportionnel à l'intensité des usages et de la surface pour maintenir la qualité visuelle et esthétique.

- ◆ Enlèvement des déchets, déjections...
- ◆ Nettoyage des organes hydrauliques et de prétraitement
- ◆ Taille et gestion raisonnée de la végétation, remplacement si nécessaire des végétaux, rechargement en mulch
- ◆ Protection des ouvrages en cas de travaux
- ◆ Surveillance de la végétalisation, avec éventuellement sélection a posteriori d'espèces plus adaptées et gestion de la végétation spontanée voire invasive
- ◆ Surveillance visuelle pour détecter une éventuelle stagnation d'eau (> 24h). Dans ce cas nettoyage ou remplacement du dispositif de drainage

AVANTAGES

- ◆ Emprise foncière modulable selon le contexte (pied de bâti hors sol, espaces publics...)
- ◆ Adapté aux sols et bâtiments à risques
- ◆ Grande créativité paysagère et réalisation par phases
- ◆ Facilité de mise en œuvre
- ◆ Sensibilisation des riverains car dispositif visible et valorisé par la végétalisation
- ◆ Pollution accidentelle interceptée par l'étanchéité

INCONVÉNIENTS

- ◆ Robustesse dépendante du choix de la végétalisation, de l'intensité de l'entretien et des usages environnants
- ◆ Nécessité de curage et d'un traitement adapté du substrat en cas de pollution accidentelle

BÉNÉFICES ENVIRONNEMENTAUX

Les espaces végétalisés étanches apportent, comme les espaces végétalisés infiltrants, de nombreux services écosystémiques :



Adsorption/absorption de polluants atmosphériques
Atténuation de la pollution sonore

COÛTS D'INVESTISSEMENT

(Fourchettes de prix en euros HT données à titre indicatif ; forte variabilité selon la configuration des projets, les aménagements, la sollicitation...)

Surcoûts par rapport à un espace végétalisé infiltrant :

- ◆ Couche d'étanchéité (40 cm d'argile ou géomembrane PEHD 2 mm) : 7 à 15 €/m² (fournisseur 2017)
- ◆ Couche de drainage : 1 à 3 €/m² (fournisseur 2017)
- ◆ Ouvrage de régulation : 1 500 à 5 000 € (CUB 2013)
- ◆ Végétation, éventuellement plus dense

Technique subventionnable :



POUR EN SAVOIR PLUS...

- ◆ *Mémento technique, ASTEE 2017 (bibliographie)*
- ◆ *Guide de la CUB 2014*



LES FOSSES D'ARBRES ET INFILTRATION ENTRE LES ARBRES

Les fosses d'arbres et les espaces entre les arbres peuvent être conçus comme des espaces perméables et ainsi exploités pour y infiltrer les eaux de ruissellement issues des surfaces attenantes telles que les trottoirs ou les chaussées peu fréquentées.

Ces aménagements sont adaptés aux espaces privés comme publics, y compris les espaces publics denses car ils ne nécessitent que des emprises réduites (fosses d'arbres existants, bande fonctionnelle de trottoir) et contribuent à réalimenter en eau les arbres de l'espace urbain.

Ces deux types de dispositifs peuvent être associés à des structures d'abattement complémentaires telles que les espaces végétalisés infiltrants ou les structures d'infiltration enterrées (cf. fiches associées).



BD BOURDON : REVÊTEMENT PERMÉABLE ENTRE LES ARBRES.
Source : © APUR



LA COURNEUVE : TRANCÉE VÉGÉTALISÉE ENTRE LES ARBRES D'ALIGNEMENT.
Source : © APUR



COLLÈGE LUCIE AUBRAC.
Source : DEAg3 / ATM

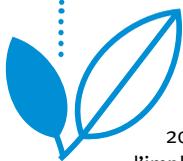


RUE CARDINET : REVÊTEMENT PERMÉABLE EN PIED D'ARBRE.
Source : © APUR



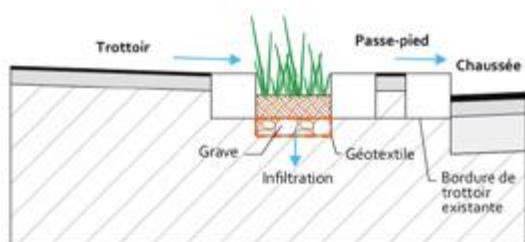
PARIS : FOSSE D'ARBRE VÉGÉTALISÉE.
Source : © APUR

CONCEPTION

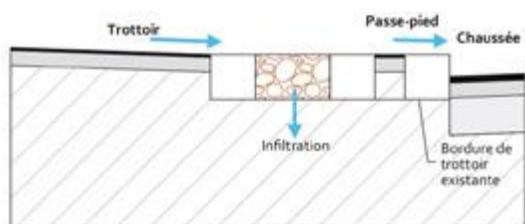


Fosses d'arbres

- ◆ **Décaissement** de quelques centimètres à 20 cm par rapport au trottoir à prévoir pour l'implantation de nouveaux arbres. Dans le cas d'une fosse d'arbre existante, faisabilité à évaluer au cas par cas.
- ◆ **Surface des fosses d'arbres** revêtue par un des dispositifs décrits dans la fiche « Revêtements de surface perméables » : terre, gravillon, strate végétalisée basse, voire résine drainante
- ◆ Possibilité d'implanter une grille pour faciliter l'entretien
- ◆ **Dimensionnement traditionnel** des fosses d'arbres conservé (3 m x 3 m x 1,4 m de profondeur)
- ◆ **Arbres d'alignement sélectionnés** pour supporter les variations hydriques
- ◆ **Alimentation** par ruissellement direct ou par caniveau si la pente est adaptée ou par canalisation. La concentration des eaux dans un caniveau ou une canalisation induira une augmentation de la surface raccordée sur la fosse d'arbre



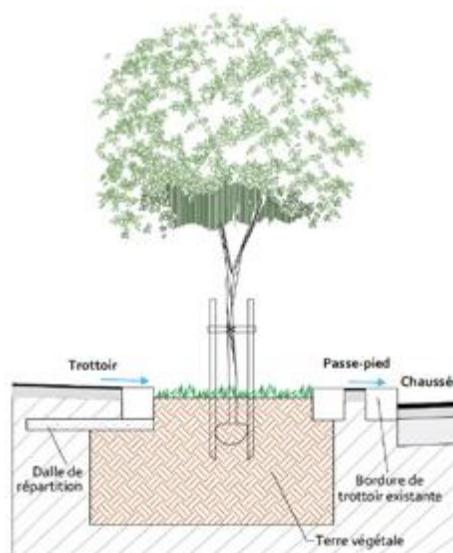
Tranchée drainante plantée (noue) sur trottoir



Tranchée drainante

COUPES TYPES DE STRUCTURES D'INFILTRATION IMPLANTÉES EN BORDURE DE TROTTOIR.

Source : ATM / étude APUR



Fosse d'arbre décaissée

COUPE DE PRINCIPE D'UNE FOSSE D'ARBRE RECUEILLANT LE RUISSellement DU TROTTOIR.

Source : ATM / étude APUR

Espaces infiltrants entre les arbres

- ◆ **La surface de l'espace entre les arbres** est rendue perméable par la mise en place de revêtements perméables (cf. Fiche concernée)
- ◆ Si un dispositif d'abattement est implanté sous le revêtement perméable, prendre en compte le développement racinaire sur une **périphérie de 2 m autour des arbres**
- ◆ **Arbres d'alignement sélectionnés** pour supporter les variations hydriques et éventuellement la salinité des eaux de ruissellement
- ◆ Géotextile anti poinçonnement nécessaire dans le cas d'une structure enterrée entre les arbres

Particularités :



SS Bât Pol Net Vég Net min

DIMENSIONNEMENT




- ◆ Abattement calculé en fonction de la surface de ruissellement, de la surface d'infiltration et de la perméabilité du sol
- ◆ Surface d'infiltration assimilée à la superficie de la fosse d'arbre ou du revêtement perméable entre les arbres
- ◆ Distance moyenne entre 2 arbres à Paris : 6 à 10 m

PERFORMANCES

Efficacité hydraulique : 🌸🌸🌸
Bon potentiel d'abattement selon dimensionnement et facteur de concentration admissible

Abattement de la pollution chronique : 🌸🌸🌸
Du fait du faible ruissellement, les eaux pluviales se chargent peu en polluants supplémentaires



ENTRETIEN

Fosse d'arbres

- ◆ Ramassage des déchets
- ◆ Taille des végétaux
- ◆ Entretien du revêtement perméable le cas échéant (cf. fiche correspondante)

Espace entre les arbres

- ◆ Selon les aménagements : entretien de l'espace végétalisé ou du revêtement perméable et de la structure d'abattement le cas échéant (cf. fiches correspondantes)

AVANTAGES

- ◆ Intégration dans les espaces existants de l'aménagement, selon le développement du système racinaire
- ◆ Sensibilisation des riverains par la gestion en surface
- ◆ Infiltration favorisée par l'action du système racinaire sur la perméabilité des sols

INCONVÉNIENTS

- ◆ Robustesse dépendante de la qualité de pose (revêtements), de l'intensité de l'entretien et des usages environnants
- ◆ Forte sensibilité aux chantiers avoisinants
- ◆ Nécessité d'une intervention rapide en cas de pollution accidentelle

POUR EN SAVOIR PLUS...

◆ *Une gestion parisienne des eaux pluviales. APUR. 2015*



REVÊTEMENTS DE SURFACE PERMÉABLES, MINÉRAUX OU PEU VÉGÉTALISÉS

Les revêtements de surface perméables, minéraux ou peu végétalisés, **limitent le ruissellement et permettent d'infiltrer les eaux pluviales à leur point de chute** directement dans le sol ou au sein d'une structure qu'ils recouvrent (cf. Fiches « Structures d'infiltration enterrées » et « Structures réservoir sous chaussée »).

Ces dispositifs sont très perméables (10^{-3} à 10^{-4} m/s pour les pavés et 10^{-2} m/s pour le béton poreux) et sont ainsi adaptés à la gestion des eaux de pluie qui tombent sur leur emprise ($F_c = 1$) et dans la limite de la perméabilité de la couche d'assise, de celles issues de surfaces voisines ($F_c > 1$).

En fonction des usages, y compris l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite, ils peuvent être utilisés **sur les espaces publics et privés**, sur les voiries circulées ou non, les trottoirs, les stationnements, les parkings, les places, les aires de jeux et les terrains de sport.

Entrent dans cette catégorie de dispositifs : les pavés ou dalles clivées avec joints infiltrants, éventuellement végétalisés, les dalles béton-gazon, les revêtements en graviers et résines, le béton poreux, le sable ou le mélange terre-sable.



PASSAGE MONTBRUN : PAVÉS À JOINTS ENGAZONNÉS.

Source : © APUR



REVÊTEMENT PERMÉABLE EN SABLE ET BOIS.

Source : QUATREVINGDOUZE / AESN



PAVÉS ENHERBÉS DANS UNE COUR PRIVÉE, PARIS 4^e.

Source : © APUR



PLACE DE LA RÉUNION : REVÊTEMENT VÉGÉTALISÉ.

Source : SEPIA Conseils

CONCEPTION

Le type de revêtement et la structure de fondation sont à adapter à l'usage, à la fréquentation et aux charges en surface ainsi qu'à la portance et la perméabilité du sol.

PAVÉS À JOINTS INFILTRANTS

(sur voiries à trafic faible « t » à normal « T » ou places et zones de stationnement)

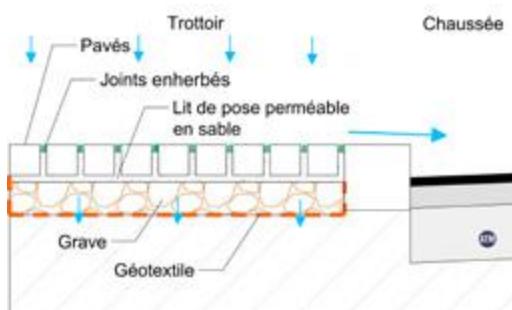
- ◆ **Pavés d'échantillon** (14 x 20 x 14 ou 12 cm) ou **mosaïque** (8x10 cm)
- ◆ **Pavés de rempli** à privilégier pour assurer la qualité de pose
- ◆ **Lit de pose perméable** : sable/gravillons ou gravillons sur 5 cm.



COUPE TYPE D'UNE STRUCTURE DE VOIRIE AVEC PAVÉS D'ÉCHANTILLON DE REMPLI DE 14 CM.

Source : SEPIA Conseils / Lollier Ingénierie

- ◆ **Fond de forme horizontal** pour assurer une infiltration uniforme sur toute la surface
- ◆ **Pose en une phase** sur la largeur totale de la voie en partant du point bas et en remontant la pente



PAVÉS VÉGÉTALISÉS.

Source : ATM / étude APUR

- ◆ **Profil en travers parabolique** ou bombé, identique au profil définitif du pavage si chaussée
- ◆ **Portance** du fond de forme : mini PF2 ; de la structure avant la pose des pavés : mini PF3
- ◆ **Joints** de largeur aussi réduite que la géométrie des pavés le permet. Les pavés se touchent ponctuellement entre eux en 3 points (10 rangées sur moins d'1 m 50). Les joints sont garnis avec un mélange sable/gravillons ou des gravillons et sont regarnis 1 mois après la mise en service

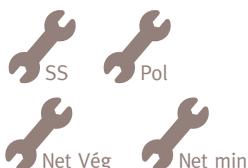


PAVAGE CORRECTEMENT POSÉ : LES PAVÉS SE TOUCHENT.

Source : DVD - Catalogue Structures

- ◆ **Compactage** des pavés sans vibration pour asseoir les pavés dans le lit de pose, suivi d'un 2^e compactage avec vibration
- ◆ **Végétalisation** sur les espaces piétons peu fréquentés

Conditions et domaines d'utilisation :



Le béton poreux impose, sur les voies de circulation, des conditions de mise en œuvre très strictes et difficiles à obtenir pour assurer sa pérennité. L'enrobé poreux est adapté à des chaussées urbaines à moyenne ou forte circulation automobile, à l'exception des zones de freinage, d'accélération ou de manœuvre (efforts tranchants).

L'usage de ces 2 matériaux sur les voies de circulation parisiennes privées et publiques serait donc à justifier, avec dans tous les cas un trop-plein à prévoir.



SABLE OU MÉLANGE TERRE-SABLE

(sur zones piétonnes peu fréquentées)

- ◆ **Fond de forme** réalisé en gravier grossier avec une couche de fermeture en gravier plus fin
- ◆ **Un profil en travers** bombé permet d'évacuer les eaux de ruissellement de part et d'autre de l'allée vers des parties végétalisées infiltrantes
- ◆ Revêtement stabilisé sans liant hydraulique

Certains matériaux (ex. sables de Ginia ou de Landol) ne nécessitent pas de liant hydraulique et sont donc davantage perméables. Mais attention au risque de déformation et de création d'ornières lorsqu'ils sont « en eau »

- ◆ Possibilité d'ajouter des **dalles alvéolaires en plastique** pour augmenter la résistance selon l'usage de surface

BÉTONS POREUX

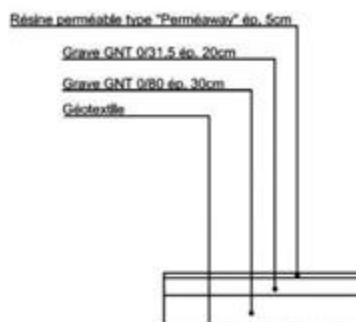
(voies piétonnes peu fréquentées hors marchés et zones arborées)

- ◆ Support plan de type PF2
- ◆ Lit de pose perméable (GNT ou GNTP) pour limiter la sensibilité au gel, les résurgences d'eau et le colmatage
- ◆ Géotextile entre le lit de pose et le béton
- ◆ + 10 % d'épaisseur de béton avant compactage
- ◆ Cure et minéralisant de protection
- ◆ Hors zone de marché ou arborée
- ◆ Joints sciés ou pavés

REVÊTEMENTS EN GRAVIERS/RÉSINE

(pour voies piétonnes et voies pour véhicules légers, aires de jeux, tours d'arbres, hors zones à fort degré de salissure)

- ◆ Respecter les prescriptions du fournisseur vis-à-vis des conditions de mise en œuvre météorologiques, de la préparation du matériau, des délais de mise en service
- ◆ Joints sciés ou pavés



Prix forfaitaire = 210 €/m²

COUPE DE PRINCIPE D'UNE STRUCTURE SOUS PLACETTE AVEC GRAVILLONS LIÉS À LA RÉSINE.

Source : DVD

DALLES BÉTON GAZON

(sur zones de stationnement de courte à moyenne durée)

- ◆ Végétalisation spontanée ou ensemencement des espaces en terre (joints entre les pavés, dalles ou sol)
- ◆ Végétation adaptée : prairie ou gazon, mousses, graminées...
- ◆ Laisser la végétation se développer suffisamment avant usage

DIMENSIONNEMENT



- ◆ Épaisseur et nature du dispositif dimensionné selon les contraintes de circulation
- ◆ Facteur de concentration des eaux pluviales selon perméabilité du support

Sans volume de stockage, la perméabilité sous le revêtement doit être supérieure à 10⁻⁶ m/s soit environ 4 mm/h.

PERFORMANCES

Efficacité hydraulique : ☀☀

Bon potentiel d'abattement des petites pluies

Abattement de la pollution chronique : ☀☀☀☀

Du fait de l'absence de ruissellement, les eaux pluviales infiltrées sont peu chargées en polluants

ENTRETIEN

La fréquence des opérations d'entretien varie selon la qualité des eaux de ruissellement et le trafic.

Nettoyage :

- à sec et manuel au balai ou à la balayeuse sur les pavés à joints infiltrants
- par aspiration ou hydrocurage/aspiration sur les revêtements poreux

Sont proscrits : le désherbage chimique, le sablage, le coulage de caniveau

- ◆ Pavés à surveiller quotidiennement les 15 premiers jours après la mise en service. Regarnissage des joints si nécessaire.

- ◆ Surveillance et protection spécifiques à mettre en place en cas de chantier au voisinage du dispositif ; dépôt de sable ou matériaux de chantier interdits à même le revêtement
- ◆ Surveillance d'éventuelles stagnations d'eau sur le revêtement signe d'un colmatage. Dans ce cas, les joints infiltrants ou le revêtement perméable seront remplacés.

AVANTAGES

- ◆ Large éventail de techniques disponibles
- ◆ Faible impact sur le sous-sol ($F_c = 1$)
- ◆ Pour le pavé, facilité d'intervention ultérieure
- ◆ Mise en œuvre possible sur quasiment tous les types d'espaces à l'aplomb de n'importe quel type de sous-sol
- ◆ Sensibilisation des riverains par la gestion en surface

INCONVÉNIENTS

- ◆ Robustesse dépendante de la qualité de pose et de l'entretien
- ◆ Mise en œuvre adaptée aux usages de surface
- ◆ Forte sensibilité aux chantiers avoisinants
- ◆ Nécessité d'une intervention rapide en cas de pollution accidentelle

BÉNÉFICES ENVIRONNEMENTAUX

Selon le type de revêtement – pavés, poreux ou végétalisé – un ou plusieurs bénéfices sont concernés :



Les revêtements perméables minéraux présentent l'avantage de conserver un usage piéton circulant

COÛTS D'INVESTISSEMENT

(Fourchettes de prix en euros HT données à titre indicatif ; Source : DVD 2017)

- ◆ Pavés sciés de remploi : 66 €/m²
- ◆ Pavés d'échantillon de remploi : 6,68 €/m²
- ◆ Pavés mosaïque de remploi : 0,24 €/m²
- ◆ Pavés drainants poreux : 25-50 €/m²
- ◆ Pose de pavés : 50 €/m²
- ◆ Béton poreux : 55 €/m² (sur 10/20 cm) (fourniture et mise en œuvre)
- ◆ Résine : 82 €/m² (fourniture et mise en œuvre)

Technique subventionnable :



POUR EN SAVOIR PLUS...

- ◆ *Mémento technique 2017 - Conception et dimensionnement des systèmes de gestion des eaux pluviales et de collecte des eaux usées.* ASTEE (bibliographie)

- ◆ *Guide de gestion durable des eaux pluviales.* Lille Métropole. 2012
- ◆ *Voies perméables - Catalogue de structures.* DVD. 2017

CHAUSSÉES À STRUCTURE RÉSERVOIR, AVEC OU SANS BOUCHE D'INJECTION

Les chaussées à structure réservoir sont des *dispositifs en sous-œuvre* implantés dans le corps d'un espace à caractère de voirie : rue, voie piétonne, place, parking, rond-point, trottoir, espace constituant une annexe de voirie.

Le volume est créé dans la *plateforme de la chaussée*, constituée de matériaux granulaires, sur une partie de son emprise selon l'encombrement du sol. Il permet de stocker puis d'infiltrer, principalement par le fond du dispositif, l'eau pluviale tombée sur sa surface et éventuellement les espaces voisins (trottoir, piste cyclable, stationnement latéral...). La structure réservoir peut être *alimentée par la couche de roulement* de la chaussée perméable (cf. Fiche Revêtements perméables) ou dans le cas contraire *par*

une bouche d'injection (avaloir + regard à décantation + drains d'injection et de diffusion)

La fonction d'espace de circulation ou de stationnement étant superposée à la fonction hydraulique, ce dispositif ne consomme pas d'emprise supplémentaire en surface, et est ainsi *parfaitement adaptés aux zones urbaines, hors zone de pollution*.

Elles diffèrent des tranchées d'infiltration dans la mesure où elles doivent offrir une *résistance mécanique compatible avec la circulation de véhicules*, même si celle-ci reste occasionnelle (véhicules de secours par exemple)



CANIVEAU INFILTRANT RUE SŒUR VALÉRIE, VILLE D'ASNIÈRES.

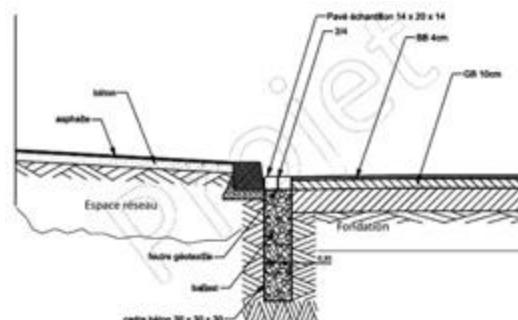
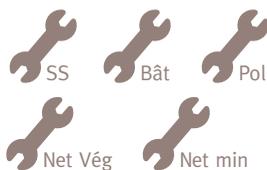
Source : QUATREINGDOUZE / AESN

CONCEPTION



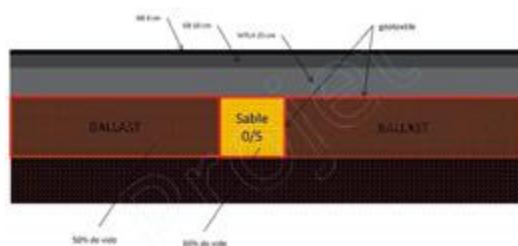
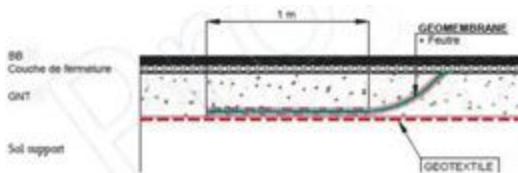
- ◆ **Implantation** à plat ou sur faible pente (<3%), avec paliers isolés par des cloisonnements imperméables (géomembrane ou matériau à faible porosité)
- ◆ **Alimentation** par infiltration à travers le revêtement de surface s'il est perméable (cf. *fiche Revêtements de surface perméables, minéraux ou peu végétalisés*) ou par bouche d'injection sinon
- ◆ **Abattement** par infiltration ou éventuellement par débit régulé dans les zones autorisées
- ◆ **Matériaux constitutifs du corps de la chaussée** : matériaux granulaires ou Structures Alvéolaires Ultra Légères dont les indices de vide et le dimensionnement sont compatibles avec les contraintes hydrauliques et mécaniques de la structure.
- ◆ **Réseau de drains** assurant l'alimentation et la diffusion des eaux recueillies dans la structure (diamètre minimal 100 mm), ainsi que son inspection par caméra
- ◆ **Géotextile** autour du dispositif pour faire obstacle aux matériaux fins et éventuellement, système anti-racine adéquat
- ◆ **Event** pour éviter la mise en pression-dépression lors du remplissage-vidange
- ◆ **Regards** amont et aval a minima, pour réaliser le contrôle et garder la mémoire des dispositifs.
- ◆ **Dispositifs de pré-traitement** pour limiter l'entrée de matières solides dans l'ouvrage. Il peut être assuré, selon le mode d'alimentation, par la couche de surface ou par des regards siphonides équipés de grilles ou de filtres. Le dispositif sera, en outre, réalisé à la fin des travaux d'aménagement de la zone de façon à éviter son colmatage.
- ◆ Aucun **réseau de concessionnaire** disposé longitudinalement ou transversalement dans la structure. Les réseaux souterrains passeront donc sous les espaces voisins.
- ◆ **Grille circulaire** pour identification par la DPE et la DVD

Conditions et domaines d'utilisation :



PROFIL TYPE D'UN CANIVEAU D'INFILTRATION.

Source : STEA - doc Collège



EXEMPLES DE PROFIL EN LONG DE STRUCTURE RÉSERVOIR AVEC CLOISONNEMENT SUR TERRAIN PENTU.

Source : © APUR

Afin de compléter ou d'augmenter le stockage dans la chaussée, une solution de type « puits d'infiltration » (cf. *Fiche sur les Structures enterrées d'infiltration*) ou « caniveau d'infiltration » pourrait être mise en œuvre en bordure de la chaussée, sous réserve que le coulage de caniveaux ne soit pas pratiqué.

PROFILS ET MATÉRIAUX DE CHAUSSÉES

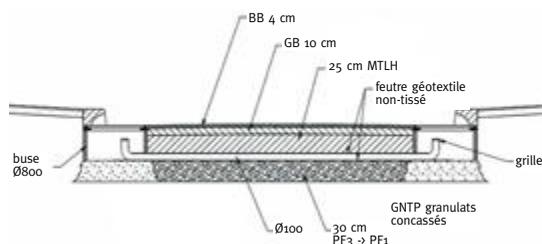


Les profils de chaussées traditionnelles (sans volume d'abattement) seront adaptés en utilisant des matériaux poreux pour créer dans le corps de la chaussée un indice de vide compatible avec les contraintes mécaniques de la chaussée et le stockage des eaux pluviales. Les matériaux utilisables sont par exemple des Graves Bitumes Poreuses ou des Graves Non Traitées Poreuses.

À titre d'exemple, les profils types de la DVD pour chaussées imperméables (cf. *catalogue des structures*) pourront être complétés d'une couche de 30 cm de Grave Non Traitée Poreuse (GNTP) caractérisée par :

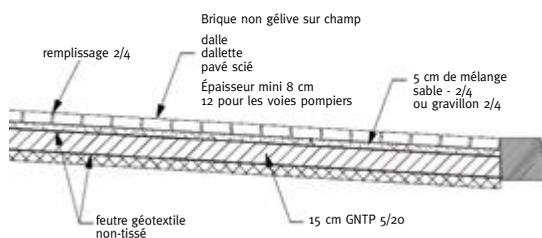
- ◆ Granularité d/D avec $5 < d < 8 \text{ mm}$ et $25 < D < 80$ de porosité $> 40\%$ (volume d'abattement)
- ◆ $LA < 35$ et $MDE < 30$ et $D/d > 3$
- ◆ $ES > 70$

Ces structures perméables seront compatibles avec une plateforme de niveau minimal PF1 et assurer une portance de niveau PF3.



COUPE TYPE D'UNE CHAUSSÉE À STRUCTURE RÉSERVOIR DE TYPE T (FAIBLE TRAFIC) AVEC BOUCHE D'INJECTION.

Source : © Mairie de Paris



COUPE TYPE D'UNE STRUCTURE RÉSERVOIR SOUS TROTTOIR AVEC REVÊTEMENT PERMÉABLE.

Source : © Mairie de Paris

DIMENSIONNEMENT



DIMENSIONNEMENT MÉCANIQUE

- trafic
- classe de portance du sol
- caractéristiques des matériaux

DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE

- volume à stocker
- surface de stockage
- porosité des matériaux

ÉPAISSEUR DE LA STRUCTURE LA PLUS IMPORTANTE

L'épaisseur de matériaux la plus importante entre les calculs de dimensionnement mécanique et hydraulique sera retenue. En considérant les valeurs courantes de $1/3$ de porosité, on peut estimer que le stockage temporaire d'une structure « type » de 30 cm d'épaisseur est de 10 cm, réparti sous la surface de la chaussée.

Hauteur de lame d'eau à abattre	Perméabilités du sol		
	$K = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$	$K = 10^{-6} \text{ m/s}$	$K = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$
4 mm	10	21	75
8 mm	5,5	11	38
12 mm	5	7,5	25
16 mm	5	7,5	21

FACTEURS DE CONCENTRATION (SANS UNITÉ) ADMISSIBLE POUR LES CHAUSSÉES À STRUCTURE RÉSERVOIR « TYPE »

Ainsi, pour abattre une lame d'eau de 8 mm sur un sol de perméabilité moyenne 10^{-6} m/s , les chaussées à structure réservoir « type » peuvent accepter un coefficient de concentration de 11.

Pour un dispositif de 200 m^2 , il est possible de gérer une surface active de $200 \times 11 = 2\,200 \text{ m}^2$ soit 200 m^2 de surface propre + $2\,000 \text{ m}^2$ de surface d'apport complémentaire.

En complément des études préalables à la mise en œuvre, un essai de fonctionnement de la structure réservoir sera réalisé à la réception des travaux. Le volume utile et du temps de vidange est validé.

PERFORMANCES

Efficacité hydraulique : 🌟🌟🌟

Fort potentiel d'abattement volumique sous réserve d'un dimensionnement conforme aux prescriptions du zonage

Abattement de la pollution chronique : 🌟🌟🌟

Décantation favorisée par les matériaux de remplissage, les ouvrages de pré-traitement et les revêtements perméables.

ENTRETIEN

La fréquence des opérations d'entretien varie selon la qualité des eaux de ruissellement et le trafic.

- ◆ Suivi rapproché des interventions des concessionnaires et autres occupants de l'espace public et reconstitution du dispositif (couche de stockage et revêtement le cas échéant) à l'identique
- ◆ Entretien des bouches d'injection et drains d'alimentation :
 - Nettoyage des avaloirs et filtres éventuels, curage des regards siphoniques 2 fois par an a minima et après des pluies significatives
 - Remplacement annuel des filtres
 - Hydrocurage du drain (tous les 3 ans)
- ◆ Entretien des revêtements perméables (cf; fiche « Revêtements de surface perméables »)
- ◆ Coulage de caniveau et nettoyage par laveuse proscrits ; de même que le sablage.
- ◆ Le nettoyage manuel doit être possible (pas de stationnement)
- ◆ En cas de pollution accidentelle, pompage en urgence de la pollution et remplacement des matériaux
- ◆ Surveillance et protection spécifiques à mettre en place en cas de chantier au voisinage du dispositif
- ◆ Surveillance d'éventuelles stagnations d'eau dans les regards. Dans ce cas, le drain sera curé ou les matériaux de remplissage et/ou géotextile remplacés.

AVANTAGES

- ◆ Faible emprise au sol
- ◆ Compatible avec des contraintes de nappes hautes
- ◆ Matériaux et technique connus des bailleurs et concessionnaires

INCONVÉNIENTS

- ◆ Solution tributaire de l'encombrement du sol
- ◆ Coulage de caniveaux éventuel à anticiper pour la conception de la voirie (caniveaux drainants et revêtements perméables)
- ◆ Robustesse dépendante de l'entretien qui peut s'avérer contraignant et coûteux
- ◆ Forte sensibilité aux chantiers avoisinants
- ◆ Nécessité d'une intervention rapide en cas de pollution accidentelle
- ◆ Pas de sensibilisation des riverains car dispositif enterré

BÉNÉFICES ENVIRONNEMENTAUX

Les chaussées à structure réservoir ont une faible valeur ajoutée à l'aménagement de l'opération d'urbanisme.

COÛTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION

(Fourchettes de prix en euros HT données à titre indicatif ; source : DVD 2017)

- ◆ Investissement : surcoût par rapport à une structure de chaussée traditionnelle (sans volume d'abattement) de 160 €/m² soit 400 à 800 €/m³
- ◆ Entretien : 5 à 15 €/m³/an

Technique subventionnable : NON

POUR EN SAVOIR PLUS...

- ◆ *Mémento technique 2017 - Conception et dimensionnement des systèmes de gestion des eaux pluviales et de collecte des eaux usées.* ASTEE (bibliographie)
- ◆ *Les solutions compensatoires d'assainissement pluvial.* CUB. 2014
- ◆ *Guide de gestion durable des eaux pluviales.* Lille Métropole. 2012
- ◆ *Voies perméables - Catalogue de structures.* DVD. 2017

STRUCTURES D'INFILTRATION ENTERRÉES

Les structures d'infiltration enterrées sont des **dispositifs en sous-œuvre**. Leur volume permet de stocker puis d'infiltrer l'eau pluviale issues des espaces environnants -descente de gouttière, terrasse, trottoir, voirie.

L'eau s'infiltré dans le sol par les parois verticales (infiltration latérale) et par le fond de l'ouvrage (infiltration verticale).

Ne consommant pas ou peu d'emprise en surface, ces techniques sont adaptées aux zones urbaines et peuvent être implantés sous **différents types d'espaces, en domaine privé ou public** : cours, espaces verts, allées, trottoirs, chaussées... (pour les dispositifs implantés sous les chaussées roulantes voir également Fiche « Chaussées à Structure Réservoir »).

Le volume de l'ouvrage peut être constitué d'un matériau de remplissage (graves), de structures alvéolaires ultralégères (SAUL) ou de structures préfabriquées vide.

Entrent dans cette catégorie de dispositifs : les tranchées d'infiltration (forme linéaire), les bassins enterrés, les puits d'infiltration (forme ponctuelle et verticale). Non contrôlables visuellement, entraînant une concentration de l'infiltration et posant des questions d'entretien, ces dispositifs ne sont globalement pas encouragés et ne font pas l'objet de subventions.



MAGNANVILLE (78) : RÉSIDENCE DES MANGAZONS : TRANCHÉE DRAINANTE CONNECTÉE À UN SYSTÈME DE PUIITS D'INFILTRATION - STOCKAGE PAYSAGER.

Source : ATM



MONTIGNY-LE-BRETONNEUX (78) : TRANCHÉE D'INFILTRATION ET ALIMENTATION PAR BORDURE « GABION » DRAINANTE STOCKAGE PAYSAGER.

Source : ATM



VAL DE MARNE : BASSIN EN STRUCTURES ALVÉOLAIRES.

Source : © SEPIA Conseils



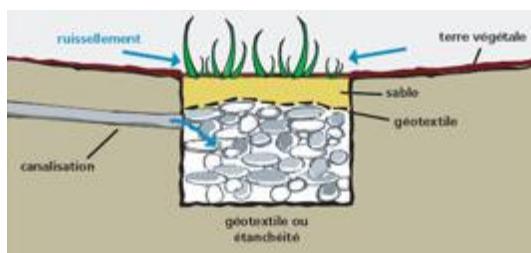
CLICHY-SOUS-BOIS (93) : PARC D'ACTIVITÉ - TRANCHÉE DRAINANTE POUR LE RESSUYAGE DE LA NOUË.

Source : ATM

CONCEPTION

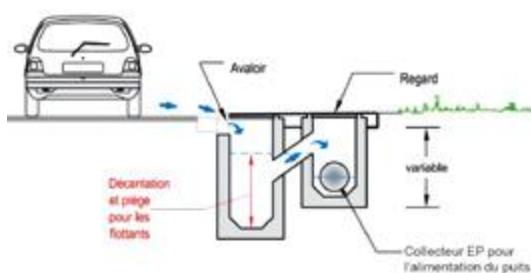
Le choix du type de dispositif dépend du volume à stocker, de l'emprise disponible au sein de l'opération, des caractéristiques géologiques du site.
Dans tous les cas, les principes de conception suivants seront appliqués :

- ◆ **Implantation** au plus proche des surfaces de ruissellement, à plat ou sur des terrains à faible pente (avec cloisonnements pour exploiter toute la surface d'infiltration) et à distance des bâtiments
- ◆ **Revêtement** de surface étanche ou drainant
- ◆ **Matériau de remplissage** choisi selon son indice de vide, les contraintes d'inspection et d'entretien, et dimensionné en fonction des contraintes mécaniques horizontales et verticales induites par les usages de surface
- ◆ **Réseau de drains** assurant l'alimentation et la diffusion des eaux recueillies dans la structure, ainsi que son inspection par caméra
- ◆ **Géotextile** autour du dispositif pour faire obstacle aux matériaux fins et éventuellement, système anti-racine adéquat
- ◆ **Event** pour éviter la mise en pression/dépression lors du remplissage/vidange
- ◆ **Alimentation** par infiltration à travers le revêtement de surface ou par avaloirs
- ◆ **Abattement du volume** par infiltration ou débit régulé selon le secteur du zonage
- ◆ **Regards** amont et aval a minima, notamment pour les ouvrages non visitables pour réaliser le contrôle et garder la mémoire des dispositifs
- ◆ **Dispositifs de pré-traitement** par décantation, dégrillage, filtration ou traitement de surface selon l'origine ou la qualité des eaux pour limiter l'entrée de matières solides dans l'ouvrage et le risque de colmatage.
Le dispositif sera, en outre, réalisé à la fin des travaux d'aménagement de la zone de façon à éviter son colmatage



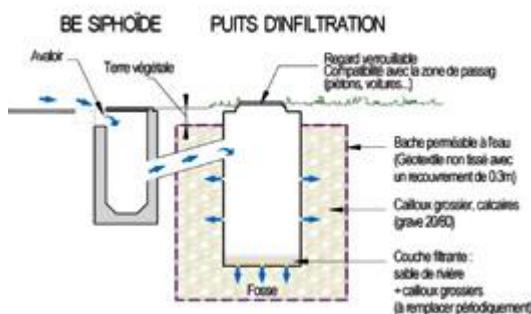
COUPES TYPES D'UNE TRANCHEE D'INFILTRATION AVEC 2 MODES D'ALIMENTATION.

Source : Grand Paris - site internet



REGARD SIPHOÏDE.

Source : Guide Habiter Durable - Paris



COUPE TYPE D'UN PUITIS D'INFILTRATION.

Source : Guide Paris habitat

Conditions et domaines d'utilisation :



LES PUIITS D'INFILTRATION

Ce sont des ouvrages ponctuels principalement utilisés pour gérer des volumes limités ou pour **atteindre des couches profondes** plus perméables ou moins vulnérables. Le fond du puits sera situé à une distance minimale d'1,50 m par rapport au niveau des plus hautes eaux de la nappe. Il peut ainsi être intéressant d'**associer le puits avec d'autres dispositifs de gestion pluviale à la source** comme les tranchées ou les espaces végétalisés.

Plusieurs puits réalisés en série augmentent la surface d'infiltration et sont moins coûteux qu'un unique puits de plus grandes dimensions.

Dans la majorité des cas, **les parois du puits sont autoportantes** et ne nécessitent qu'un empiétement partiel de la cheminée, en fond de puits.

L'**accès au puits doit être sécurisé** par un regard en fonte lourde verrouillé. Des échelons peuvent permettre de descendre dans le puits en cas de dispositif profond.

DIMENSIONNEMENT



- ◆ Volume utile calculé à partir de l'emprise du dispositif, la porosité et l'épaisseur du matériau
- ◆ Essai de fonctionnement des ouvrages d'infiltration enterrés à réaliser à la réception des travaux : validation du volume utile et du temps de vidange

La profondeur de l'ouvrage permettra, en cas de raccordement à débit limité sur un réseau, d'assurer une vidange gravitaire.

MATÉRIAUX DE REMPLISSAGE

LES MATÉRIAUX POREUX

Par exemple, les Graves Non Traitées Poreuses (GNTP), ont un indice de vide d'environ 35% et une bonne résistance mécanique sous réserve de respecter les rapports granulométriques. Ils ne permettent ni de visiter ni de curer le dispositif, hormis par le drain mis en place dans le massif filtrant.

LES STRUCTURES ALVÉOLAIRES ULTRA-LÉGÈRES (SAUL)

Elles sont constituées d'éléments modulaires en matière plastique avec un indice de vide élevé (environ 90%). Elles permettent de s'adapter à un grand nombre de configurations géométriques. Les procédés les plus récents peuvent supporter la charge d'un trafic poids-lourd et sont conçus pour être visitables et curables.



PRINCIPALES SAUL PRÉSENTES SUR LE MARCHÉ FRANÇAIS.

Source : DPA

PERFORMANCES

Efficacité hydraulique : 🌟🌟🌟

Fort potentiel d'abattement volumique sous réserve d'un dimensionnement conforme aux prescriptions du zonage

Abattement de la pollution chronique : 🌟🌟🌟

Décantation favorisée par les matériaux de remplissage et les ouvrages de pré-traitement



ENTRETIEN

L'entretien adapté limitera les risques de colmatage de la structure.

- ◆ Alimentation à travers un revêtement de surface : nettoyage ou remplacement des matériaux colmatés, le cas échéant entretien de la végétation
- ◆ Alimentation par drain issu de regards :
 - Nettoyage des avaloirs, filtres éventuels et regards siphoniques 2 fois par an a minima et après des pluies significatives
 - Remplacement annuel des filtres
 - Eventuellement hydrocurage du drain
- ◆ En cas de pollution accidentelle, pompage en urgence de la pollution et remplacement des matériaux
- ◆ Surveillance et protection spécifiques à mettre en place en cas de chantier au voisinage du dispositif
- ◆ Surveillance d'éventuelles stagnations d'eau dans les regards. Dans ce cas, le drain sera curé ou les matériaux de remplissage et/ou géotextile remplacés

AVANTAGES

- ◆ Faible emprise au sol
- ◆ Compatibles avec des contraintes de nappes hautes (tranchées et bassins), de perméabilité ou géotechniques en surface (puits)
- ◆ Facilité de mise en œuvre

INCONVÉNIENTS

- ◆ Tributaire de l'encombrement du sol
- ◆ Dispositif enterré donc pas de sensibilisation des riverains et contrôle visuel limité
- ◆ Durée de vie dépendante de l'entretien qui peut s'avérer contraignant et coûteux
- ◆ Forte sensibilité aux chantiers avoisinants
- ◆ Nécessité d'une intervention rapide en cas de pollution accidentelle

BÉNÉFICES ENVIRONNEMENTAUX

Les structures enterrées ont une faible valeur ajoutée à l'aménagement de l'opération d'urbanisme : pas de plurifonctionnalité ni d'intégration paysagère.

COÛTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION

(Fourchettes de prix en euros HT données à titre indicatif; forte variabilité selon la configuration des projets, les aménagements, la sollicitation...)

Investissement

(source : CUB 2013)

- ◆ Tranchée : 150 à 300 €/m³
- ◆ Bassin en SAUL : 700 à 1 000 €/m³
- ◆ Puits : 1 500 à 2 000 €/m³ + 6 €/m² raccordé

Entretien

(source : CUB 2013)

- ◆ Tranchée : 2 à 10 €/m³/an
- ◆ Bassin : 40 à 50 €/m³/an
- ◆ Puits : 250 €/an

Technique subventionnable : NON

POUR EN SAVOIR PLUS...

- ◆ *Mémento technique 2017 - Conception et dimensionnement des systèmes de gestion des eaux pluviales et de collecte des eaux usées. ASTEE (bibliographie)*

- ◆ *Les solutions compensatoires d'assainissement pluvial. CUB. 2014*

- ◆ *Vidéo de l'ADOPTA sur les préconisations de mise en œuvre des bouches d'injection disponible sur Internet*

LES ESPACES TEMPORAIREMENT INONDABLES

Les espaces temporairement inondables sont conçus de manière à pouvoir assurer temporairement la rétention des eaux pluviales, par une inondabilité partielle ou totale.

Il s'agit d'une déclinaison particulière du bassin sec et à ciel ouvert, qui permet de superposer la fonction de gestion des eaux pluviales à un espace public fréquentable.

Il peut s'agir d'un espace vert d'agrément, d'une aire de jeux, d'un terrain de sport, d'une place publique ou d'un parking, selon les opportunités et les nécessités d'aménagement sur l'espace public comme privé.

Ces ouvrages peuvent être alimentés par collecteur ou réseau de surface, ou par ruissellement direct. Ils peuvent aussi être implantés en dérivation d'un ouvrage complémentaire. Dans ce cas, l'espace inondable n'est alimenté que par surverse du dispositif principal, ce qui évite sa sollicitation systématique pour les faibles débits.

L'évacuation de l'eau est assurée soit par régulation, soit par infiltration à travers le revêtement de surface ou, après ruissellement, dans les dispositifs d'abattement complémentaires à l'espace inondable.



VILLEMORISSON-SUR-ORGE (91) : PLACE INONDABLE.

Source : SEPIA Conseils



PARVIS INONDABLE, VILLETANEUSE (93).

Source : ATM



SAINT-DENIS, LA COURNEUVE (93) PARC INONDABLE.

Source : ATM

CONCEPTION



- ◆ Étudier la topographie et définir les pentes très précisément de manière à assurer une inondation et une évacuation progressives
- ◆ Limiter le nombre d'entrées au bassin pour faciliter la gestion de l'ouvrage (contrôles de fonctionnement, entretien des zones d'admission)
- ◆ Prévoir un prétraitement en amont (dégrillage, dessablage...) afin de limiter les pollutions visuelles.
- ◆ Définir en concertation préalable les caractéristiques acceptables des inondations compte tenu des autres usages, en termes de fréquence et de hauteurs de submersion (une hauteur maximale de stockage de 40cm est généralement adoptée)
- ◆ Installer une signalétique adaptée pour informer le public sur les fonctions de l'ouvrage (hydraulique, paysage, etc.), la fréquence et les caractéristiques des inondations et les précautions qui lui sont associées (sécurité, propreté, etc.)
- ◆ Choisir des matériaux et des plantations compatibles avec la présence temporaire d'eau
- ◆ Assurer la mise en sécurité des équipements constitutifs de l'ouvrage.



JARDIN EN CŒUR D'ÎLOT - FONTAINE.

Source : ATM



JARDIN EN CŒUR D'ÎLOT - FONTAINE.

Source : ATM

Particularités :



SS

Bât

Pol

Net Vég

Net min

DIMENSIONNEMENT




- ◆ Définir la fréquence et la hauteur d'inondation acceptables en fonction des usages de l'espace
- ◆ Dimensionnement en fonction de la surface de ruissellement raccordée et du débit de vidange ou du volume de l'ouvrage complémentaire principal (noue, structure enterrée d'infiltration...)

PERFORMANCES

Efficacité hydraulique : ☀️☀️☀️
Bon potentiel d'abattement si vidange par infiltration exclusivement

Abattement de la pollution chronique : ☀️☀️☀️
Du fait de l'absence de ruissellement, les eaux pluviales ne se chargent pas en polluants supplémentaires



ENTRETIEN

L'entretien doit être en relation avec l'utilisation de l'espace, sa fréquence de sollicitation et l'efficacité des ouvrages de protection entrée/sortie (dessableur, dégrillage...).

- ◆ visite d'entretien une à deux fois par an et après chaque pluie importante avec :
 - une vérification des ouvrages d'alimentation (incluant le ou les dégrilleurs)
 - le curage et l'entretien des ouvrages de prétraitement et de régulation de débit
 - l'entretien des abords (accès, clôture éventuelle...)

<p>AVANTAGES</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Adaptabilité sous réserve de la compatibilité des usages ◆ Économie foncière par superposition des fonctions ◆ Sensibilisation des riverains : gestion en surface et communication sur le fonctionnement en temps de pluie ◆ Surcoût limité pour la gestion des eaux pluviales 	<p>INCONVÉNIENTS</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Entretien
---	---

BÉNÉFICES ENVIRONNEMENTAUX

Ce type de dispositif de gestion des eaux pluviales n'a pas de plus-value sur l'environnement au-delà de celle de l'espace urbain qui l'accueille.

COÛTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION

- ◆ Pas ou peu de surcoût par rapport à l'aménagement urbain initial
- ◆ Équipements d'assainissement classiques le cas échéant

Pas de subvention spécifique, en dehors des subventions de l'AESN prévues pour la désimperméabilisation et les surfaces déconnectées par infiltration associées

POUR EN SAVOIR PLUS...

- ◆ *Mémento technique 2017 ASTEE (bibliographie)*
- ◆ *Aménagement urbain, assainissement et gestion des eaux pluviales sur le territoire d'Est Ensemble*

FICHES TRANSVERSALES



ÉQUIPEMENTS DE RÉGULATION DU DÉBIT

Les dispositifs de gestion pluviale à la source, implantés en zone hachurée du zonage pluvial, doivent garantir pour des opérations de plus de 2 500 m² un débit de fuite maximum de 10 l/s/ha en cas de forte pluie et de pluie décennale. Afin de respecter cette exigence, il conviendra de mettre en place toutes dispositions pour que le débit rejeté au réseau d'assainissement en temps de pluie ne dépasse pas le débit imposé par le zonage.

Deux solutions peuvent être envisagées :

- ◆ La mise en place de régulateurs de débit (débit constant) garantissant un débit de 10 l/s/ha
- ◆ La mise en place de limiteurs de débit (débit variable) garantissant un débit maximal de 10 l/s/ha

Ces dispositifs sont à intégrer en aval des dispositifs de gestion pluviale à la source décrits dans les 10 fiches correspondantes.

L'accessibilité doit être prise en compte dès la conception afin de rendre possible le contrôle et l'entretien des équipements de régulation.

ILLUSTRATION D'UN RÉGULATEUR DE DÉBIT SUR UNE TOITURE VÉGÉTALISÉE

Dans l'exemple présenté ci-dessous, la toiture végétalisée comprend un bac végétal disposé sur un bac de rétention d'eau. L'eau stockée dans le bac de rétention remonte par capillarité dans le substrat sus-jacent. Lorsque le substrat est saturé, l'eau est évacuée grâce à plusieurs régulateurs à micro-débit. Ces régulateurs peuvent être réglés de manière à rejeter un débit de 10 l/s/ha voire jusqu'à 1 l/s/ha.



Toiture végétalisée avec stockage et débit régulé
(Exemple Hydroventiv® - Le Préuré)

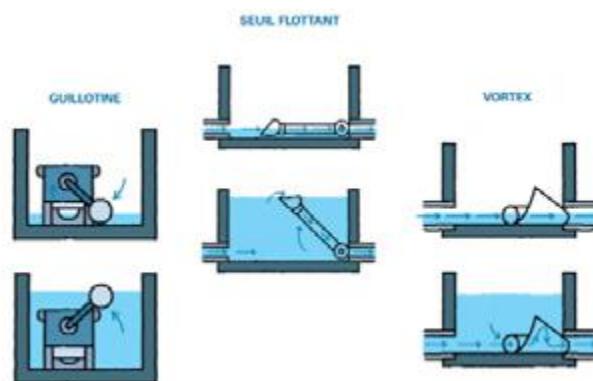
LES PRINCIPAUX RÉGULATEURS DE DÉBIT

Il existe plusieurs sortes de régulateurs de débit :

◆ **Régulateur guillotine** : Un bras entraîne une guillotine afin de réduire l'orifice de sortie. Ce bras étant relié à un flotteur, il se déplace en fonction de la hauteur d'eau présente dans le dispositif

◆ **Régulateur à seuil flottant** : La prise d'eau s'effectue de manière constante grâce à des flotteurs

◆ **Régulateur à effet vortex** : L'augmentation de la vitesse de rotation dans le cône de régulation crée une perte de charges entraînant une réduction de la section hydraulique



DIFFÉRENTS RÉGULATEURS DE DÉBITS (AMÉNAGEMENT ET EAUX PLUVIALES, GRAND LYON 2008)

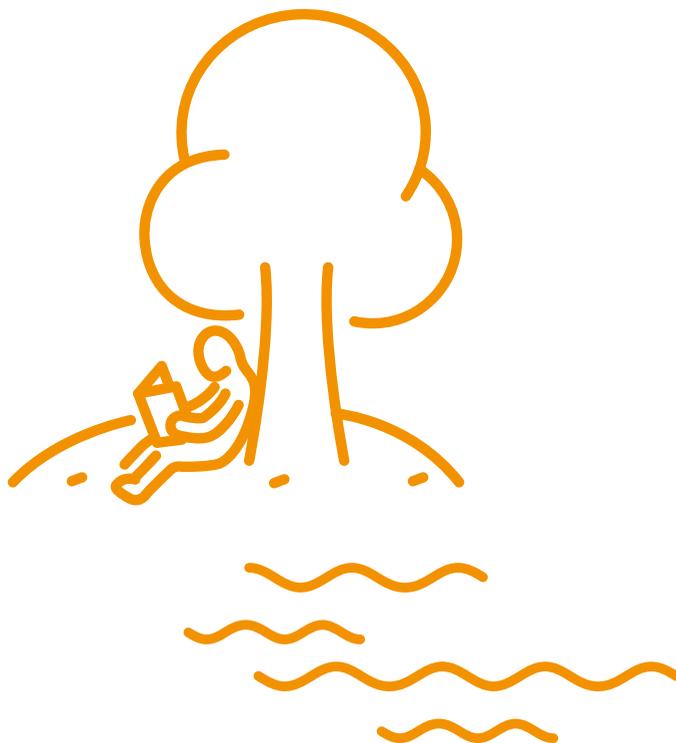
ENTRETIEN

- ◆ **Installation dans un regard facile d'accès**
- ◆ **Mettre en place une grille ou un masque en amont** afin de protéger le dispositif de projections d'objets lourds et d'obstructions par des débris
- ◆ **Visites biannuelles et après chaque évènement pluvieux important**

COÛTS

Les prix varient en fonction du type de dispositifs et de ses caractéristiques (hauteur d'eau de fonctionnement, débit souhaité en aval, dimensions, matériaux...).

À titre d'exemple, pour un dispositif de régulation assurant un débit de 5 l/s, les prix varient entre 1 000 et 2 500 € HT (hors frais de pose).



LES PRINCIPAUX LIMITEURS DE DÉBIT

On retrouve, le plus souvent, les dispositifs suivants :

- ◆ **Orifice** : Ouverture aménagée dans une paroi mince
- ◆ **Ajutage** : Ouverture aménagée dans une paroi épaisse ou dont les parois de l'ouverture sont prolongées sur une distance de 2-3 fois la longueur de l'ouverture



DIFFÉRENTS ORIFICES ET AJUTAGES

(Note technique sur la conception des dispositifs de restitution du débit minimal, ONEMA 2014)

ENTRETIEN

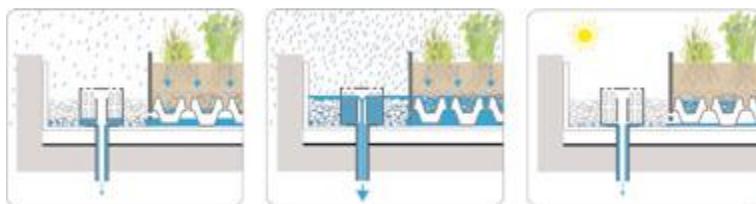
Comme pour les régulateurs de débits, ces dispositifs devront être installés dans un regard facile d'accès, avec une grille en amont et devront être entretenus régulièrement (enlèvement de feuilles, encombrants, déchets).

COÛTS

Une simple plaque percée revient à une centaine d'euros.

ILLUSTRATION D'UN LIMITEUR DE DÉBIT SUR UNE TOITURE VÉGÉTALISÉE

Le limiteur de débit est constitué de plusieurs orifices implantés autour de l'évacuation des eaux pluviales de la toiture. Cette évacuation est généralement placée sur la bande stérile de la toiture. Afin de prévenir le colmatage de cette évacuation, une grille.



Fonctionnement d'une toiture végétalisée équipée d'un limiteur de débit

Réalisation : F. Bellagamba pour SEPIA Conseils

LES DISPOSITIFS DE RÉGULATION EN FONCTION DES DISPOSITIFS DE GESTION PLUVIALE À LA SOURCE

Dispositifs de gestion pluviale à la source concernés	Dispositifs de régulation envisageables
Toitures végétalisées	Régulateurs ou limiteurs spécifiques aux toitures
Façades végétalisées	Limiteurs de débits
Espaces végétalisés infiltrants en pleine terre	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Régulateurs de débits ◆ Limiteurs de débits
Espaces végétalisés étanches avec drainage	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Régulateurs de débits ◆ Limiteurs de débits
Chaussées à structure réservoir avec ou sans bouche d'injection	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Régulateurs de débits ◆ Limiteurs de débits
Espaces temporairement inondables	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Régulateurs de débits ◆ Limiteurs de débits

POUR EN SAVOIR PLUS...

- ◆ *Mémento technique ASTEE 2017 : Dimensionnement orifices et ajutages*
- ◆ *Guide pratique – Aménagement et eaux pluviales, Grand Lyon 2008 : Fiche technique 09 Limiteurs et régulateurs de débits*



SYSTÈMES DE TROP-PLEIN

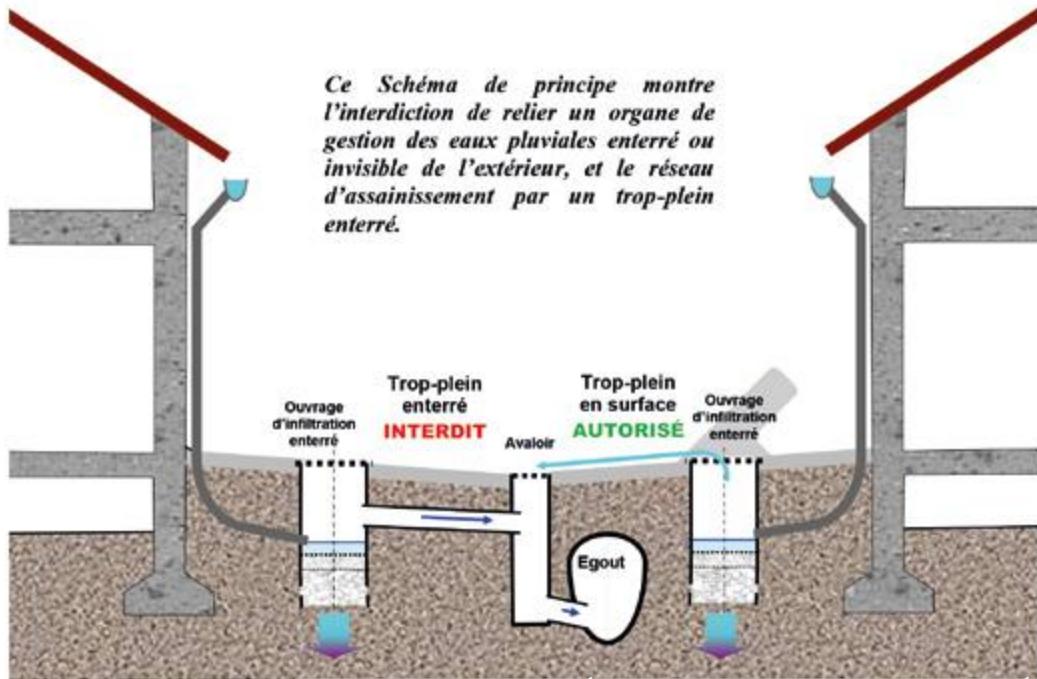
Le règlement du zonage pluvial n'édicte aucune mesure au-delà de la pluie décennale. Il convient au propriétaire du dispositif de gestion pluviale à la source de se prémunir des conséquences de l'apparition d'un phénomène pluvieux plus pénalisant et d'en assumer la responsabilité en prévoyant un système de trop-plein.

Ces systèmes servent à évacuer toute surcharge en eau d'un dispositif de gestion pluviale à la source et servent également de déversoir de sécurité si les systèmes de régulation sont bouchés.

Le raccordement des trop-pleins des dispositifs de gestion pluviale à la source ne peut être réalisé directement, notamment s'ils sont enterrés, aux canalisations intérieures préexistantes sur le terrain ou au branchement particulier au réseau d'assainissement.

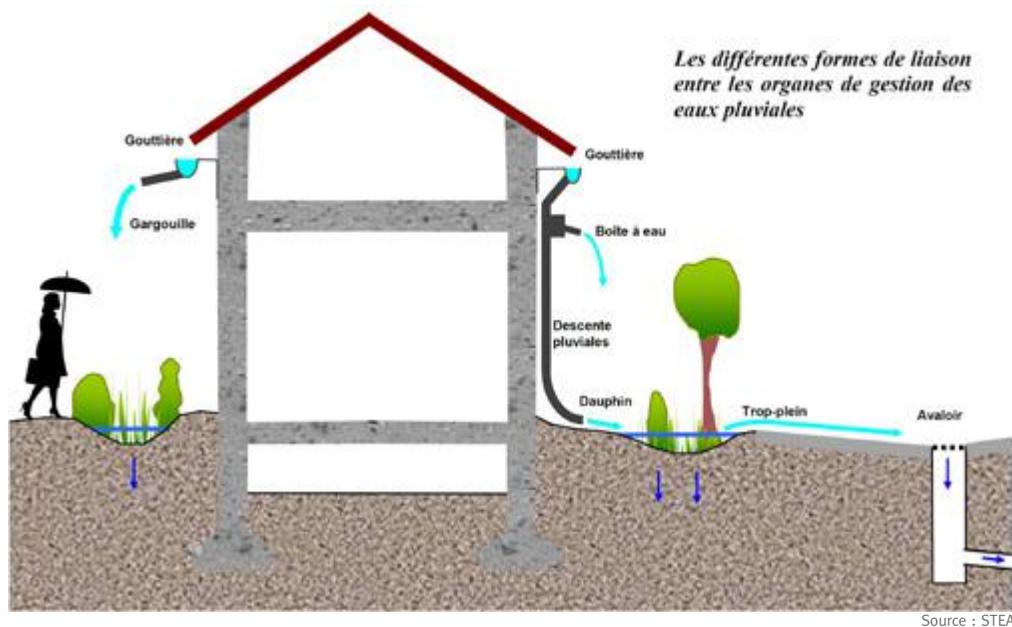
Le système de trop-plein doit être accessible, son écoulement visible et apte à signaler tout dysfonctionnement du dispositif de gestion pluviale à la source.

La programmation d'un entretien annuel, pour assurer la pérennité de l'ouvrage, est essentielle.



EXEMPLE D'UN TROP-PLEIN ENTERRÉ INTERDIT ET D'UN TROP-PLEIN DE SURFACE AUTORISÉ.

Source : STEA



LES SYSTÈMES DE TROP-PLEIN EN FONCTION DES DISPOSITIFS DE GESTION PLUVIALE À LA SOURCE

Dispositifs de gestion pluviale à la source	Dispositifs de trop-plein envisageables
Toitures végétalisées	Toute l'eau qui n'est pas stockée dans les plantes, descendent à travers les descentes d'eaux pluviales et peuvent être évacuées par des gargouilles, des dauphins ou des boîtes à eau (cf. figure ci-dessus)
Façades végétalisées	Barbacanes interdites (cf. article 34 du RAP) Raccordement des eaux aux gouttières
Récupération et utilisation des eaux de pluie	Cf. fiche Récupération et utilisation des eaux de pluie
Espaces végétalisés infiltrants en pleine terre	Surverse gravitaire et écoulement vers le réseau
Espaces végétalisés étanches avec drainage	Surverse de surface + nivellement pour rejoindre égout et surverse enterrée gravitaire
Fosses d'arbres et infiltration entre les arbres	Nivellement pour rejoindre les avaloirs
Revêtements de surfaces perméables minéraux ou peu végétalisés	Nivellement pour rejoindre les avaloirs
Chaussées à structure réservoir avec ou sans bouche d'injection	Infiltration Retour à l'égout
Structures d'infiltration enterrées	Infiltration Retour à l'égout
Espaces temporairement inondables	Infiltration Retour à l'égout

ENTRETIEN

Une visite annuelle est conseillée pour tout dispositif de trop-plein

COÛTS

◆ Construction :

- Gouttière, boîtes à eau, gargouilles : selon configuration architecturale
- Caniveau de surface : 0 € HT/m/an (compris dans le prix du revêtement de surface)

◆ Entretien :

- Gouttière, boîtes à eau, gargouilles : 3 à 8 € HT/m/an
- Caniveau de surface : 0 à 2 € HT/m/an

TRAITEMENT DES POLLUTIONS

Les eaux pluviales, lors de leur ruissellement sur diverses surfaces (sol naturel ou végétalisé, voiries, parking, trottoirs, toitures...), entraînent la pollution accumulée sur ces surfaces. **Afin de réduire ces apports en polluants**, il convient de respecter les recommandations suivantes :

- ◆ Réduire les émissions polluantes à la source (par exemple, proscrire certains produits et/ou privilégier des produits d'entretien biodégradables)
- ◆ Privilégier une gestion pluviale à la source afin d'éviter la concentration de la pollution

Les besoins de traitement selon la destination des eaux pluviales :

- ◆ Sur zone bleue du zonage (réseau séparatif avec rejet direct aux milieux aquatiques) : collecte, stockage et traitement obligatoire
- ◆ Sur espaces végétalisés infiltrants : prendre en considération les enjeux de la pollution sur les plantes et sur l'homme liés aux usages récréatifs (aires de jeux pour enfants, agriculture urbaine).

Les besoins de traitement selon le type de surface considéré :

- ◆ **Cours intérieures d'immeubles, trottoirs et chaussées peu circulées** : Traitement des eaux facultatif (si besoin à évaluer au cas par cas)
- ◆ **Chaussées circulées** : Traitement des eaux obligatoire
- ◆ **Toitures** :
 - En cas de présence de plomb (ex. solins), traitement nécessaires des sols récepteurs si destinés à l'agriculture urbaine.
 - En cas de récupération et d'utilisation des eaux de toitures (fiche 3).

Les dispositifs de traitement de la pollution font appel à trois mécanismes indépendants qui peuvent se combiner :

1. La décantation : pour traiter les grosses particules

Les conditions pour parvenir à une décantation réellement satisfaisante des eaux pluviales, notamment urbaines, sont rarement atteintes car elles nécessitent des temps de séjour particulièrement long au vu de la finesse des sédiments à faire décanter.

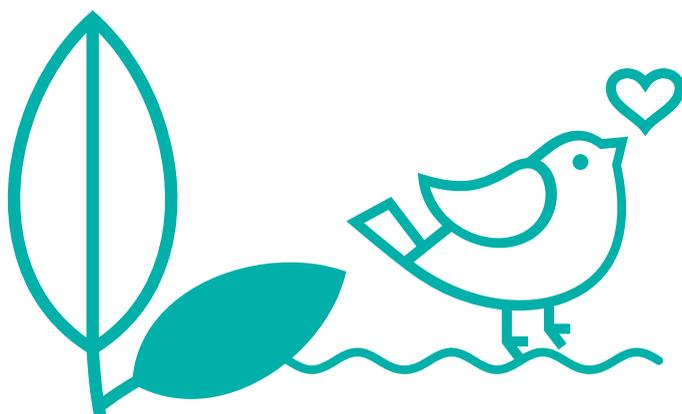
2. La filtration : pour piéger les particules fines

Le phénomène de filtration consiste à faire passer les eaux pluviales à travers un « filtre » permettant de piéger les particules. La lenteur du processus d'infiltration contribue à l'efficacité du filtre et si l'abattement de la pollution à travers un ouvrage de filtration est meilleur qu'à travers un ouvrage de décantation, en revanche, les débits qui peuvent être traités sont inférieurs.

3. La phytoremédiation

Cette technique repose sur les mécanismes d'accumulation et de dégradation des polluants mis en jeu par les plantes. Elle permet de retenir et de dégrader les polluants difficiles à traiter, voire d'extraire certains de ces polluants pour certaines espèces spécifiques (la plupart utilisées pour l'assainissement non collectif étant hygrophyles, mais le panel est plus large).

Ces dispositifs sont à intégrer en amont des dispositifs de gestion pluviale à la source décrits dans les 10 fiches correspondantes.



POLLUTION : DE QUOI PARLE-T-ON ?

La pollution des eaux pluviales est principalement due aux paramètres suivants :

◆ Les déchets solides

Ces déchets sont présents principalement dans les eaux de ruissellement de voirie et dans une moindre mesure sur les eaux de ruissellement de toiture. Ils sont constitués des mégots, papiers, débris végétaux laissés sur l'espace public. Généralement on évite leur entrée dans le réseau par un simple dégrillage. Depuis 1991, la Ville de Paris installe des « grilles sélectives » sur les bouches d'égout afin de limiter la présence de déchets solides dans le réseau.

◆ Les matières en suspension (M.E.S.)

Elles constituent l'ensemble des matières présentes dans l'eau et qui n'y sont pas à l'état soluble. Leur concentration est exprimée en mg/l. Il est à noter que dans les eaux de ruissellement, entre 80% et 99% des polluants listés ci-après sont fixés sur les M.E.S. (étude Bahoc et Mouchel de 1992). On en déduit donc qu'un abattement des M.E.S. réduit considérablement la pollution des eaux de ruissellement. La filtration notamment par des substrats végétaux ou la décantation sont les meilleurs moyens de traiter les eaux pluviales.

◆ La demande biochimique en oxygène au bout de 5 jours (D.B.O.5)

Elle représente la demande en oxygène nécessaire à la destruction des composés organiques et chimiques présents dans une eau polluée, par convention mesurée au bout de 5 jours. On l'exprime en mg d'O₂ consommé par litre d'eau. Cette teneur est révélatrice de la pollution organique biodégradable, comme par exemple la présence d'eau usée dans l'eau pluviale.

◆ La demande chimique en oxygène (D.C.O.)

Elle représente la teneur totale en matière organique biodégradable ou non. On l'exprime en mg d'O₂ consommé par litre d'eau.

◆ La teneur en hydrocarbures totaux (H.C.T.)

Cette teneur est exprimée en mg/l. Les hydrocarbures sont considérés comme les polluants les plus nocifs présents dans les eaux de pluie et de ruissellement. Parmi les hydrocarbures, il peut être intéressant en outre de préciser les concentrations en hydrocarbures aromatiques polycycliques (H.A.P.) qui sont particulièrement nocifs pour l'environnement.

◆ La teneur en métaux lourds

Les plus représentatives pour les eaux de pluie à Paris sont celles en cadmium (Cd), cuivre (Cu), plomb (Pb) et zinc (Zn). Elles sont généralement exprimées en µg/l.

◆ Les pesticides

Les pesticides sont des produits destinés à combattre des organismes considérés comme nuisibles, que ce soit des plantes (herbicides), des champignons (fongicides), des bactéries (bactéricides), des insectes (insecticides) ou d'autres animaux (raticides, taupicides, molluscicides, etc.).

Dans le cadre de « Parisculteurs », le non usage de pesticide est déjà incité, mais il n'y a pas de réel contrôle. Les toitures destinées à l'agriculture urbaine sont conduites de manière intensive ; c'est-à-dire qu'elles font l'objet d'une irrigation régulière et d'applications d'engrais. Compte-tenu de la faible épaisseur des substrats liée aux contraintes de charge, les phénomènes de lessivage / lixiviation sont nécessairement intensifiés et font courir le risque d'une eutrophisation des eaux d'infiltration. Réutilisées dans les jardins, celles-ci pourraient aggraver les excès de fertilisation souvent constatés ; cela au détriment de la végétation.

À Paris, la loi du 22 juillet 2015 a interdit l'usage de pesticides dans les jardins publics depuis le 1^{er} janvier 2017. Il est également prévu que leur utilisation soit interdite auprès des particuliers dès le 1^{er} janvier 2019. Certains bailleurs privés prescrivent également, dans leurs CCTP d'entretien d'espaces verts, le non usage de pesticide.

◆ Le salage

L'accumulation de sel dans le sol est susceptible de poser des problèmes de toxicité pour les plantes et les arbres (Université de Nancy, s.d.). Cette phytotoxicité peut s'exprimer de différentes manières :

- 1) Déstabilisation du complexe argilo-humique : le remplacement des ions calcium par le sodium provoque la dispersion / gonflement des argiles ; ce qui entraîne une réduction de la perméabilité et de l'aération du sol.
- 2) Augmentation du pH : alcalinisation du milieu (jusqu'à pH 9) due à la formation de carbonates de sodium.
- 3) Sécheresse physiologique : difficultés d'alimentation hydriques dues à la modification du potentiel osmotique et au dysfonctionnement du métabolisme cellulaire.

Dans les analyses de sol, on admet que le risque de phytotoxicité est important dès que la teneur en sodium dépasse 1 % de la Capacité d'Echange Cationique (potentiel d'un sol à retenir les cations susceptibles d'être échangés avec la solution du sol).

En raison de cette phytotoxicité, la Ville de Paris a interdit le salage des trottoirs arborés.

Des réflexions sont actuellement en cours pour privilégier l'utilisation d'un mélange sable-sel moins néfaste pour les végétaux.

◆ **Autres polluants**

Les autres polluants ne sont en général pas significatifs pour les eaux pluviales. Cependant il convient de considérer que, dans les eaux pluviales, il peut se trouver des polluants non spécifiques au ruissellement, du fait notamment de

mauvais branchements d'eaux usées vers les réseaux pluviaux ou de rejets illicites ou accidentels (par exemple vidange d'huile moteur vers un avaloir).

Pire encore, une gestion des eaux pluviales par le réseau unitaire provoque un transfert des eaux usées, dont les taux de pollution sont sans aucune mesure avec ceux des eaux pluviales, vers le milieu naturel aquatique.

DISPOSITIFS DE DÉCANTATION

CLOISON SIPHOÏDE

Mise en place d'une décantation et d'une cloison siphonide au sein d'un regard en amont du dispositif d'infiltration.

- ◆ Permet de retenir les **MES, sables, graviers** et de limiter l'entrée de **graisses**

ENTRETIEN

Visite 2 fois par an, nettoyage annuel minimum (vidange des boues de décantation)

COÛT

Env. 1 000 € HT sur regard préexistant

DESSABLEURS

- ◆ Permet la décantation des **particules solides et matières en suspension (MES)** (> 100-200 µm)
- ◆ Impact limité sur les particules fines

ENTRETIEN

Curage, enlèvement des sables et acheminement vers un centre d'enfouissement

COÛT

1-2k € HT (neuf)

8-15k € (reprise)

Il présente l'avantage de la simplicité technique et est intéressant à l'interface entre un réseau de collecte amont et un ouvrage d'infiltration paysager, par exemple.

LES DÉBOURBEURS-SÉPARATEURS À HYDROCARBURES

- ◆ Interception des **déchets, graviers et sables** (débourbeur)
- ◆ Interception des **hydrocarbures légers** (séparateur)
- ◆ Impact limité sur les particules fines

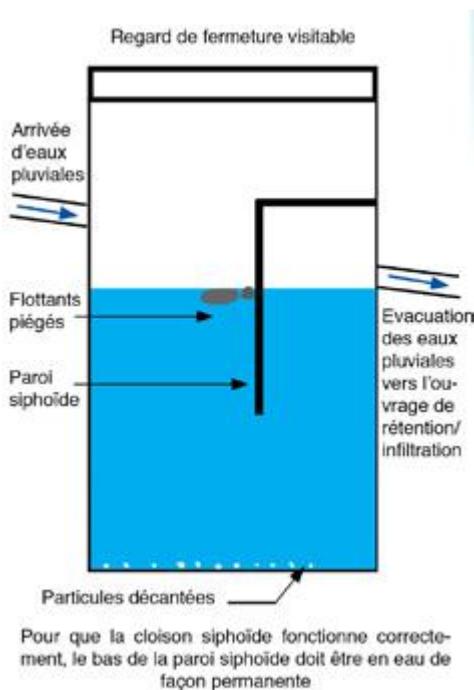
Ces dispositifs sont à réserver, moyennant un entretien régulier, à certains rejets industriels de temps de pluie (stations services, aires de lavage, ateliers mécaniques...). Ils peuvent être envisagés comme rempart vis-à-vis d'une pollution accidentelle dans les secteurs accidentogènes.

ENTRETIEN

Annuellement : curage complet
Semestriellement : surveillance avec écrémage ou vidange si besoin

COÛT

1 500 € (séparateur 500 L, Q < 3 l/s, livré non posé)



REGARD AVEC DÉCANTATION ET CLOISON SIPHOÏDE
 La pluie en ville, CG 92

LES DÉCANTEURS LAMELLAIRES

- ◆ Élimination des **flottants** (> 50 µm)
- ◆ Décantation accélérée
- ◆ **Stockage des boues**
- ◆ **Adapté aux pollutions chroniques** (métaux lourds, HAPs...)

ENTRETIEN

Vidange tous les ans

COÛT

15 000 € (fourniture seule), pour une surface active de 1ha

Ouvrage compact de type CycloneSep

- ◆ Séparation par écoulement en vortex
- ◆ Retient les **MES, sables, sédiments et hydrocarbures**
- ◆ Débits allant de **20 à 150 L/s**

ENTRETIEN

Écumage des déchets tous les 2 mois, vidange complète 2 fois par an

COÛT POUR 200 L/S

34 000 € pour la fourniture et l'installation et 7 000 € pour le transport des structures préfabriquées

LES OUVRAGES COMPACTS ADAPTÉS POUR LES CENTRES URBAINS DENSES

Ouvrage compact de type STOPPOL

- ◆ Dégrillage, décantation et filtration pour gestion des **pollutions chroniques**
- ◆ Adapté au **traitement des zones < 1 000 m²**, débit maximum **30 L/s**, stockage des boues **400 L**.

ENTRETIEN

Nettoyage du panier de dégrillage dès que nécessaire, vidange annuelle, changement kit de filtration 2 fois par an

COÛT

Coût de livraison (sans pose) : 5 600 € HT



STOPPOL
Saint-Dizier Environnement



CYCLONESEP
Hydroconcept



DISPOSITIFS DE FILTRATION

Parmi les dispositifs de filtration, on distingue :

◆ **Des systèmes dégrilleurs statiques** pour les grosses particules :

- Pour les descentes de gouttières : crapaudine
- Pour les espaces végétalisés infiltrants : lisse ajourée

◆ **Des couches de matériaux drainants** : pour les petites particules

Mise en place de graviers, roulés 20/40, concassés 40/80. Les chaussées à structure réservoir se révèlent également efficaces pour l'abattement de la pollution chronique. Le Fascicule 70 du CCTG relatif aux ouvrages d'assainissement (2^e volume) recense les normes en termes de graves pour les couches de fondation.

◆ **Le sol** : pour les pollutions particulières.

La filtration par le sol assure les meilleures performances de traitement, et ce d'autant plus que la perméabilité du sol est faible.

La présence de matière organique dans un sol (environ 10%) favorise la filtration d'une partie de la pollution dissoute.

Il conviendra de mettre en place, au sein des dispositifs de gestion pluviale à la source, des moyens localisés de la filtration. Par exemple :

- Création d'une bande d'infiltration entre un trottoir et une noue : cette bande, recevant les premières eaux de ruissellement fortement polluées, permettrait de concentrer la pollution
- Création d'une surface restreinte comme point d'entrée pour infiltrer au droit d'un point de rejet d'eaux ruisselées qui concentrera les polluants (attention au facteur de concentration admissible)

En cas de végétalisation de ces espaces : utilisation d'espèces herbacées endémiques robustes

Vitesse d'infiltration K (m/s)	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Types de sols	Gravier sans sable ni éléments fins		Sable avec gravier, Sable grossier à sable fin		Sable très fin Limon grossier à limon argileux			Argile limoneuse à argile homogène			
Possibilités d'infiltration	Excellentes		Bonnes		Moyennes à faibles			Faibles à nulles			
Performance de filtration des pollutions	Faibles à moyennes		Bonnes		Excellentes			Excellentes			

PERFORMANCE DE FILTRATION DU SOL EN FONCTION DE SA VITESSE D'INFILTRATION
Aménagements et eaux pluviales – Traitement de la pollution des eaux pluviales, Grand Lyon 2013

PHYTOREMÉDIATION : LA DÉPOLLUTION PAR LES PLANTES

La phytoremédiation est une technique de dépollution complémentaire à la filtration naturelle par le sol.

On distingue 3 modes d'action :

- ◆ La phyto-filtration ou rhizo-filtration : les métaux lourds sont absorbés et concentrés dans les racines des plantes
- ◆ La phyto-dégradation : les composés organiques et les hydrocarbures sont biodégradés par les plantes et les microorganismes du sol se développant sur leurs tiges souterraines (rhizomes) et leurs racines
- ◆ La phyto-extraction : les métaux lourds retenus dans les couches superficielles du sol sont absorbés par les racines des plantes puis accumulés dans les tiges/feuilles des plantes. Cette technique nécessite des plantes particulières et peut-être une gestion différenciée des déchets végétaux, qui demandent à être testées sur Paris

La combinaison de la phytoremédiation à des dispositifs de gestion pluviale à la source peut être envisagée : toute végétalisation du sol favorisera ainsi de manière générale la vie microbienne du sol et la phytoremédiation, mais il est possible de la favoriser en plantant certaines espèces qui piégeront plus particulièrement certains métaux lourds (ex. *Arrhenatherum elatius*, *Arabidopsis halleri*...), ou bien encore des macrophytes dans des noues pour en améliorer les performances épuratoires.

LES TRAITEMENTS ADAPTÉS SELON LES DISPOSITIFS DE GESTION PLUVIALE À LA SOURCE

Dispositifs de gestion pluviale à la source	Décantation	Filtration	Phytoremédiation
Toitures végétalisées	-	Crapaudine	-
Espaces végétalisés infiltrants en pleine terre	-	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Dans le sol ou matériaux drainants si infiltration ♣ Lisse ajourée 	Possible
Espaces végétalisés étanches avec drainage	Cloison siphonide si raccordement réseau amont	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Dans le sol ou matériaux drainants si infiltration ♣ Lisse ajourée 	Possible
Fosses d'arbres et infiltration entre les arbres	-	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Dans le sol ou matériaux drainants si infiltration ♣ Lisse ajourée 	Possible
Chaussées à structures réservoir avec ou sans bouche d'injection	Ouvrages compacts	<ul style="list-style-type: none"> ♣ La structure ♣ Si système dégrilleur en amont 	-
Structures d'infiltration enterrées			
Puits d'infiltration	-	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Panier dégrilleur ♣ Dans la couche latérale de concassés dans le sol 	-
Tranchées d'infiltration	-	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Si couche drainante ♣ Dans le sol ♣ Si système dégrilleur en amont 	-
Espace temporairement inondable	Ouvrages compacts	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Dans le sol ou matériaux drainants si infiltration ♣ Lisse ajourée 	Possible

POUR EN SAVOIR PLUS...

- ♣ *Mémento technique de l'ASTEE 2017 : Ouvrages d'interception de la pollution (chapitre VI.3.)*
- ♣ *Espaces paysagers plantés dédiés à l'épuration de l'eau ou du sol (ex. « Jardins filtrants® », etc.)*
- ♣ *Ouvrages de dépollution à l'échelle d'une parcelle (ex. « STOPPOL® », etc.) ou d'un quartier (ex. « Cyclonesep® », etc.)*





GLOSSAIRE

Les notions fondamentales utilisées dans le présent guide, marquées d'un astérisque dans le texte, sont définies dans le règlement de zonage d'assainissement ou le règlement de service d'assainissement de Paris (RAP).

TERME	DÉFINITION
Gestion pluviale classique	Gestion « tout tuyau », le plus souvent en réseau unitaire sur Paris, ou en réseau séparatif sur quelques secteurs
Gestion pluviale à la source	Gestion de la pluie, consistant à retenir tout ou partie des eaux de pluie à la parcelle ou à l'îlot, et à la dépolluer au besoin
Gestion pluviale intégrée	Gestion de toutes les pluies en intégrant l'ensemble des politiques d'urbanisme associées
Dispositif de gestion pluviale à la source	Dispositif d'abattement volumique complété au besoin d'équipements de régulation des rejets à l'égout et d'ouvrages de traitement de la pollution Synonyme de : <ul style="list-style-type: none"> ◆ Dispositif de gestion à la source des eaux pluviales ◆ Dispositif de gestion des eaux pluviales ◆ Dispositif d'abattement volumique de la pluie pris au sens large ◆ Technique alternative
Dispositif d'abattement volumique	Au sens strict, ouvrage d'infiltration et/ou d'évaporation ou évapotranspiration Au sens large, synonyme de Dispositif de gestion pluviale à la source
Abattement volumique global	Cette notion correspond au volume non rejeté au réseau d'assainissement d'une lame d'eau* pluviale appliquée à une surface de référence globale*. Ce volume doit être abattu, c'est-à-dire récupéré en totalité sur les terrains concernés, dans un délai maximal de 24 heures
Abattement volumique unitaire	Cette notion correspond au volume non rejeté au réseau d'assainissement d'une lame d'eau* pluviale appliquée à une surface de référence unitaire*. Ce volume doit être abattu, c'est-à-dire récupéré en totalité sur le terrain concerné, dans un délai maximal de 24 heures
Autorisation de rejet des eaux pluviales AREP	Autorisation délivrée par le Service, après présentation de l'avant projet, et à joindre à la demande d'autorisation d'urbanisme, pour l'espace privé, à la demande unique de branchement, pour l'espace public
Débit de rejet dans les égouts	Notion identique au terme « débit de fuite » dans le règlement du zonage pluvial : Débit de sortie à l'exutoire d'un bassin versant ou d'un volume de stockage artificiel lors d'une pluie. Dans ce dernier cas, le débit de fuite est limité par une valeur exprimée en litre/seconde/hectare de bassin versant collecté
Direction de la Propreté et de l'Eau (DPE)	Direction de la Ville de Paris composée du Service Technique de l'Eau et de l'Assainissement (STEA) en charge de la gestion des eaux usées et des eaux pluviales et du Service Technique de la Propreté de Paris (STPP) en charge du nettoyage de la voie publique
Direction de la Voirie et des Déplacements (DVD)	Direction de la Ville de Paris en charge de la voirie et des équipements associés
Direction des Espaces Verts et de l'Environnement (DEVE)	Direction de la Ville de Paris qui crée et entretient les espaces verts, les bois, les cimetières. Elle assure une expertise dans le domaine du végétal et pilote la politique du développement durable

TERME	DÉFINITION
Étude de sol	Plus poussée qu'une reconnaissance de sol*, elles sont réalisées par un bureau d'étude en géotechnique et ont pour objet de valider les dispositifs proposés au regard des risques de déstabilisation du sol dus à la présence en sous-sol de gypse et/ou d'anciennes carrières de calcaire grossier
Étude de la qualité du voisinage	Il s'agit d'une simple visite sur site destinée à identifier le bâti fragile, sur ou avoisinant le périmètre à aménager. Elle ne nécessite pas de compétences particulières, et aura pour objet l'identification d'éléments de dégradations du bâti (fissures...), susceptibles d'être intégrées pour la conception des dispositifs de gestion des eaux pluviales
Facteur de concentration d'infiltration	Le facteur de concentration est le rapport entre la surface d'apport des eaux pluviales au sein d'un dispositif et la surface d'infiltration du dispositif
Lame d'eau de 4, 8, 12 ou 16 mm	C'est la mesure de la hauteur d'eau cumulée par 24 heures, respectivement de 4, 8, 12 ou 16 mm, résultant de précipitations tombées sur cette même période de temps. Par exemple, une lame d'eau de 8 mm représente 8 litres tombés sur un mètre carré (8 l/m ²)
Pétitionnaire	Désigne le propriétaire*, son mandataire ou toute personne attestant être habilitée à agir, ayant déposé une demande d'autorisation ou une demande de raccordement, telles que celles mentionnées au Règlement d'Assainissement Parisien
Pluie décennale	Pluie dont le temps de retour statistique est de 10 ans. Elle tient compte du lieu ; elle est donc ici adaptée au cas de la région parisienne. Dans les modélisations informatiques*, il est utilisé une pluie de projet en forme de double triangle, produisant une lame d'eau* de 48 mm sur une durée de 4 heures
Propriétaire	Désigne le propriétaire d'un terrain bâti ou non bâti du domaine public ou privé, raccordé ou non au réseau d'assainissement, son mandataire, ou toute personne attestant être habilitée à agir sur ce terrain OU Désigne le propriétaire d'un terrain bâti ou non bâti du domaine public ou privé, raccordé ou non au réseau d'assainissement, susceptible de rejeter des eaux pluviales dans le réseau, ou toute personne attestant être habilitée à agir sur ce terrain
Règlement d'Assainissement de Paris (RAP)	Le RAP constitue le règlement du service de l'assainissement de Paris. Il définit les droits et obligations des usagers* du réseau d'assainissement parisien, que ces usagers soient permanents ou occasionnels, ainsi que des propriétaires* et pétitionnaires*. Il est tenu à la disposition des usagers et peut être consulté et téléchargé sur le site de la ville de Paris (www.paris.fr)
Reconnaissance de sol	Ces reconnaissances sont destinées à préciser la base des remblais de mauvaise qualité, des argiles ou du gypse ludien pour pouvoir infiltrer en-dessous de ces horizons
Récupération et utilisation des eaux pluviales	Notion identique au terme « réutilisation » dans le règlement du zonage pluvial
Revêtement perméable	Ce revêtement peut être minéral ou végétalisé et permet de limiter le ruissellement des eaux pluviales en les infiltrant directement dans le sol à leur point de chute
Service	Service Technique de l'Eau et de l'Assainissement (STEA) ParisPluie 27 rue du Commandeur - 75014 Paris Adresse mail : parispluie@paris.fr

TERME	DÉFINITION
Secteur hydraulique cohérent (SHC)	Ensemble de terrains privés ou publics rejetant leurs eaux pluviales dans une même branche du réseau d'assainissement
Schéma global d'assainissement et de gestion des eaux pluviales (SGAGEP)	Désigne le document reconnu opposable par la ville de Paris définissant le périmètre à l'intérieur duquel un ou plusieurs secteurs hydrauliques cohérents* sont créés et mentionnant pour chaque secteur hydraulique cohérent* l'abattement volumique global* et les abattements volumiques unitaires*. En zone d'aménagement concerté, le Schéma global d'assainissement et de gestion des eaux pluviales est joint au cahier des charges de cession de terrains, approuvé par le Maire, défini à l'article L 311-6 du code de l'urbanisme
Surface de référence globale	La surface de référence globale correspond à la somme des surfaces de référence unitaire* d'un secteur hydraulique cohérent*. Cette surface est définie dans le cas de réalisation de travaux portant sur un ensemble de terrains ou d'espaces publics, ou sur un ensemble mixte de ces surfaces incluses dans un secteur hydraulique cohérent*, lorsqu'il a été défini un schéma global d'assainissement et de gestion des eaux pluviales*
Surface de référence unitaire	La surface de référence unitaire* sur un terrain est égale à la projection sur un plan horizontal des parties en élévation, au sol ou en sous-sol modifiées par les travaux de construction neuve ou restructurée, d'aménagement ou de réaménagement. Le terrain peut être une parcelle, un lot, une surface publique de voirie, une surface d'espaces verts publics, une surface d'espace sportif non bâti.
Système de trop-plein	Équipement technique permettant de délester un dispositif d'abattement volumique* quand celui-ci est arrivé à saturation et d'éviter les risques de débordement. Dans le cas d'un dispositif de stockage enterré, le système de trop plein n'est pas directement raccordé au réseau d'assainissement afin de pouvoir détecter tout dysfonctionnement éventuel. Tout système de trop-plein installé doit être accessible, son écoulement visible et apte à signaler tout dysfonctionnement du dispositif de gestion pluvial associé
Usager	Désigne l'utilisateur du réseau susceptible de rejeter des effluents de toute nature dans le réseau
Zonage pluvial	Désigne le volet pluvial du zonage d'assainissement de la Ville de Paris
Zone très sensible	Zone liée à la présence de gypse ludien
Zone sensible	Zone liée à la présence d'anciennes carrières de calcaire grossier ou de poches de dissolution de gypse antéludien
Zone argileuse	Zone où l'eau infiltrée ne pourrait pénétrer au-delà de la couche d'argile
Zone de remblais de mauvaise qualité	Zone de remblais de mauvaise qualité dont l'épaisseur est supérieure à 3m
Zone de dépression de nappe	Zone de dépression de nappe, où la nappe phréatique est fortement rabattue par de nombreux pompages

The background is a solid blue color with a repeating pattern of white line-art icons. These icons represent various environmental and urban concepts, including buildings, trees, clouds, raindrops, a bicycle, a car, a person, a water tap, a leaf, a sun, a bird, a duck, a bench, a recycling symbol, and a water drop. The central focus is a large, white, teardrop-shaped area that is wider at the bottom and tapers to a point at the top. Inside this white area, the word "INDEX" is written in a bold, blue, sans-serif font, centered horizontally and vertically.

INDEX

A

À la source	7, 12, 17, 21
Abattement	14, 19, 30, 36

C

Chaleur	28, 31
Concentration	34, 38
Conception	30, 31
Coût	28, 30
Critère	22, 28

D

Débit	31
Dispositif	21, 24, 25, 26, 27, 28, 30
DLH	31
Drainant	28

E

Entretien	28, 30
Évaporation	22
Évapotranspiration	22

G

Gypse	22, 31
-------------	--------

I

Infiltration	13, 27, 46
--------------------	------------

M

Mandataire	6
------------------	---

O

Ouvrage	22, 23, 30
---------------	------------

P

Parcelle	15
Perméable	22, 25, 28, 47, 54, 55
Pétitionnaire	18, 22
Pollution	28, 31, 32, 62, 80
Poreux	28
Privé	58
Propriétaire	78
Public	19, 31, 43, 46, 58

R

RAP	9, 17, 79
Récupération	28, 42, 79
Régulation	31, 74, 77
Réseau d'assainissement	9, 43, 50
Rétention	35, 38, 70
Réutilisation	24
Risque	31

S

Schéma Global d'Aménagement de Gestion des Eaux Pluviales (SGAGEP)	17, 18, 19
Sous-sol	50
Surface de référence	14, 15, 16

T

Terrain	30, 47, 78
Trop-plein	22, 30, 44, 78, 79

U

Urbanisme	18, 65
Usager	23

V

Volume	14, 15, 16, 35, 48
--------------	--------------------

Z

Zonage	8, 11, 14, 36, 67, 74, 78
--------------	---------------------------

ADIVET, 2007. Règles professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées, s.l.: s.n.

ADOPTA, 2017. Fiche méthodologique - Études de la perméabilité des sols, s.l.: s.n.

AESN, LEESU & Composante urbaine, 2013. Outils de bonne gestion des eaux de ruissellement en zones urbaines, s.l.: s.n.

ARTELIA, 2016. Evaluation environnementale du projet de zonage d'assainissement de la Ville de Paris. Paris : Ville de Paris \ DPE \ STEA.

ASTE, 2017. Mémento technique 2017 - Conception et dimensionnement des systèmes de gestion des eaux pluviales et de collecte des eaux usées. s.l.:s.n.

Bourgogne, P., 2010. 25 ans de solutions compensatoires d'assainissement pluvial sur la communauté urbaine de Bordeaux. Bordeaux, NOVATECH.

BRGM, 1971. Mesure «in-situ» de la perméabilité d'un sol non saturé, s.l.: s.n.

CERTU, 2003. La Ville et son assainissement, s.l.: s.n.

Chocat et GRAIE, 2014. Graie. [En ligne] Available at: http://www.graie.org/graie/graiedoc/reseaux/pluvial/TA_FreinsAvantages/EauxPluviales-outiltechniquesalternatives-nouefosse-juin2014.pdf

CIRE, 2006. Note CIRE IdF du 3 juillet 2006, s.l.: s.n.

DEVE, 2013. Guide d'aménagement durable des espaces verts (GADEV), Paris : s.n.

DVD, 2017. Catalogue des structures, Paris : s.n.

GRAIE, 2006. Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain, Lyon : s.n.

JO, 1998. Arrêté du 08/01/98 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 08/12/97 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées, s.l.: s.n.

JO, 2008. Arrêté du 21 août 2008 relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, s.l.: s.n.

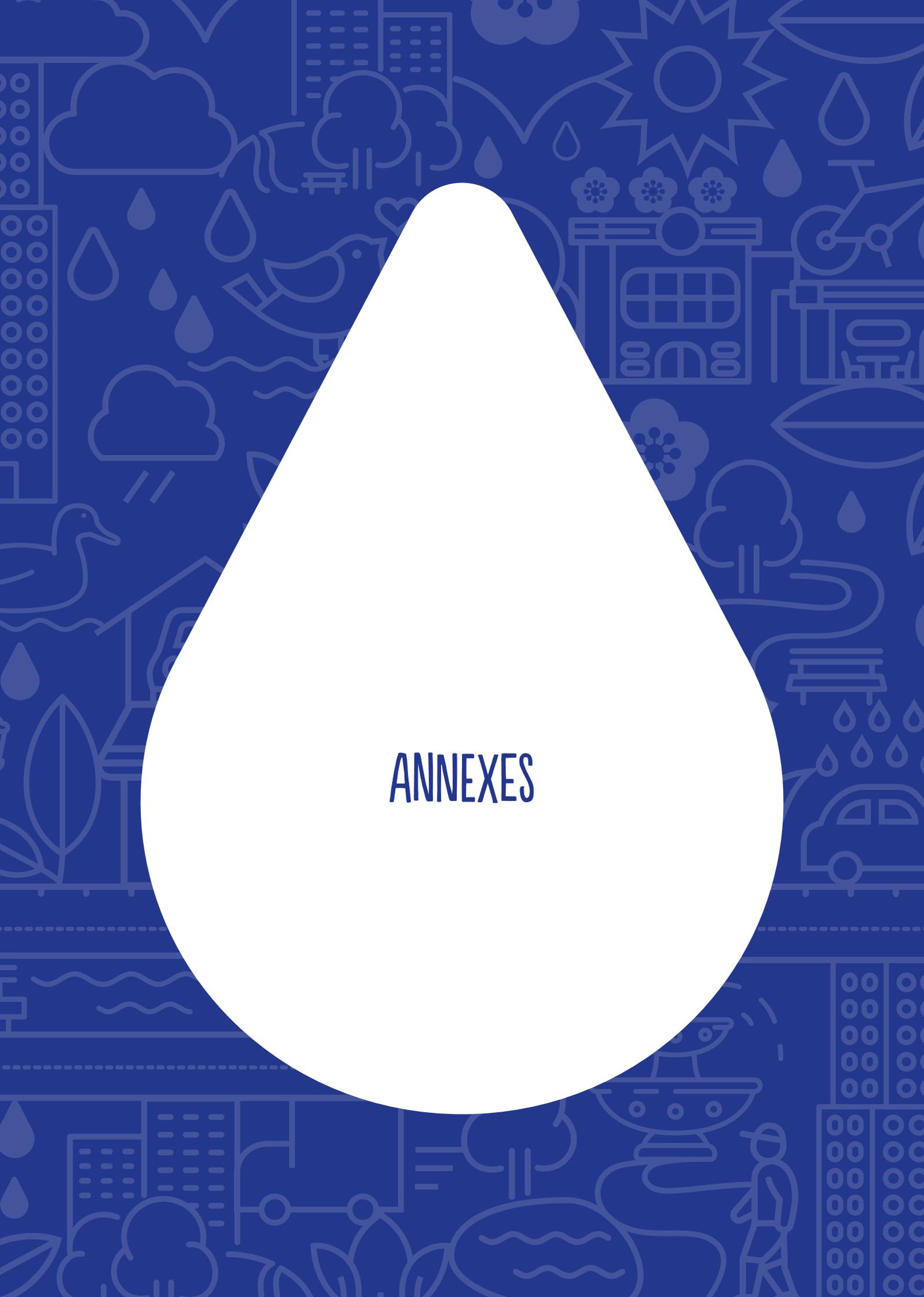
JO, 2013. Annexe 1 de l'arrêté préfectoral du 6 mai 2013, s.l.: s.n.

SEPIA-Conseils, 2013. Etude des Coûts et Bénéfices du projet de zonage pluvial. Paris : Ville de Paris \ DPE \ STEA.

STPP, 2015. Guide d'intégration de la propreté dans les projets d'aménagement, Paris : s.n.

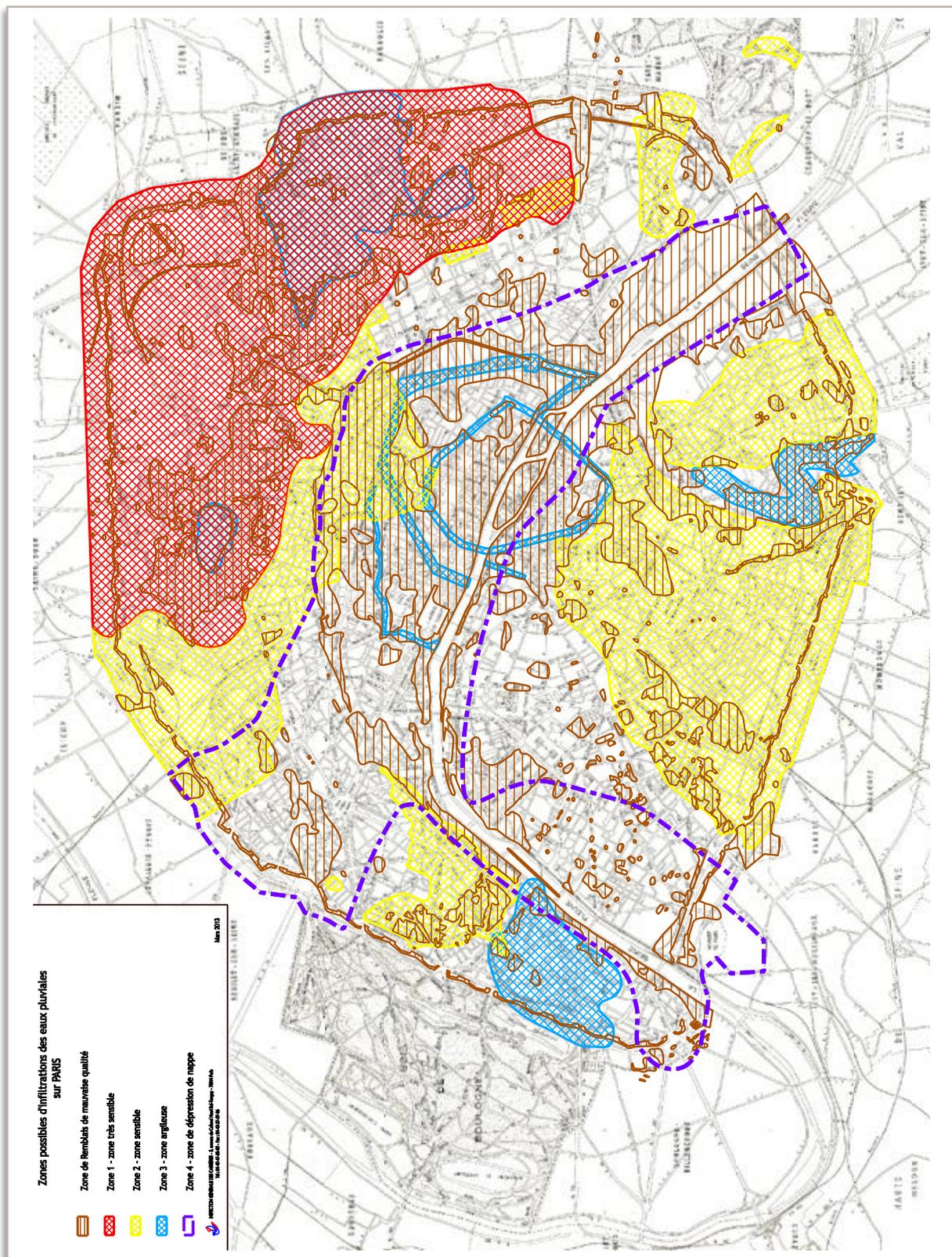
Tedoldi, D. et al., 2017. Spatial distribution of heavy metals in the surface soil of source-control stormwater infiltration devices - Inter-site comparison. Science of the total environment, pp. 881-892.

Université de Nancy, s.d. Le sel de déneigement : une menace pour la végétation urbaine, Nancy : s.n.

The background is a solid blue color with a repeating pattern of white line-art icons. These icons represent various elements of nature and urban life, including clouds, raindrops, a sun, a bicycle, a car, a house, a tree, a bird, a duck, a person, and buildings. The central focus is a large, white, teardrop-shaped area that is centered on the page.

ANNEXES

Carte des zones d'infiltration des eaux pluviales selon la caractérisation du sous-sol



DÉTAIL DES PRESCRIPTIONS TECHNIQUES ACCOMPAGNANT LA CARTE DES ZONES D'INFILTRATIONS DES EAUX PLUVIALES SUR PARIS

Préambule :

Les prescriptions ci-dessous proviennent de l'IGC, et illustrent la carte ci-jointe.

Prescriptions techniques pour infiltrer les eaux pluviales dans Paris :

La carte des zones possibles d'infiltration des eaux pluviales sur Paris annexée au zonage pluvial, présente cinq types de zones :

- ◆ Une zone très sensible, liée à la présence de gypse ludien ou toute infiltration forcée pourrait entraîner des phénomènes de dissolution mettant en danger la stabilité du sol :
 - Puits d'infiltration envisageables, uniquement au-delà des horizons sensibles
 - Infiltration en surface, sans concentration (ex. chaussées infiltrantes), tolérée
 - Infiltration en surface, après concentration, interdite
- ◆ Des zones sensibles, liées à la présence d'anciennes carrières de calcaire grossier ou de poches de dissolution de gypse antéludien où des infiltrations profondes pourraient entraîner des désordres mettant en danger la stabilité du sol. Les infiltrations en surfaces doivent également demeurer limitées :
 - Puits d'infiltration envisageables, uniquement au-delà des horizons sensibles
 - Infiltration en surface, sans concentration, acceptée
 - Infiltration en surface tolérée par noue infiltrante, bassin d'infiltration, jardin de pluie ou revêtements perméables, sous réserve d'une étude justifiant l'absence d'impact sur la stabilité du sous-sol.
- ◆ Des zones argileuses, où l'eau infiltrée ne pourrait pénétrer au-delà de la couche d'argile et risquerait d'entraîner des désordres sur les ouvrages souterrains avoisinants :
 - Puits d'infiltration envisageables, uniquement au-delà des horizons argileux
 - Infiltration en surface, après concentration, interdite
- ◆ Des zones de remblais de mauvaise qualité, dont l'épaisseur est supérieure à 3m. Une infiltration forcée à travers ces remblais pourrait entraîner des tassements différentiels touchant les ouvrages en surface. Il convient donc d'infiltrer au-delà de la base de ces remblais :
 - Puits d'infiltration devant atteindre la base des remblais
 - Infiltration en surface, après concentration, interdite
- ◆ Une zone de dépression de nappe, où la nappe phréatique est fortement rabattue par de nombreux pompages. Des rejets d'eau pluviale dans la nappe trop abondants risqueraient d'amener à augmenter le débit des pompages existant ce qui pourrait déstabiliser les fondations de certains ouvrages.

ANNEXE 2 : ÉLÉMENTS QUALITATIFS DES EAUX PLUVIALES SELON LEUR ORIGINE

CONCENTRATIONS DES EAUX PLUVIALES EN POLLUANTS EN FONCTION DE LEUR ORIGINE (AESN, ET AL., 2013 ; CERTU, 2003) ; (MESURES ÉTUDES S. GANAUD 2001, GRANGE ET DEUTSCH 1986, CREVE - GROMAIRE 1998-2000)

Polluants	Eau de pluie	Concentrations des eaux pluviales en fonction de leur origine									
		Toitures			Cours privées		Voiries urbaines		Autoroutes	Parking	
		Toits en tuiles, en ardoise, en shingles...	Toits métalliques (acier, aluminium, zinc, cuivre, plomb)	Toits terrasses	Toits végétalisés	Non circuitées	Trafic faible (< 3 000 véh./j)	Trafic moyen (entre 3 000 et 10 000 véh./j)	Trafic fort (> 10 000 véh./j)		
MES (mg/l)	1 à 16	16 à 64	25 à 40	3 à 29	9 à 37	40	11,7 à 117	59,8 à 240	69,3 à 260	41,3 à 762	98 à 150
DCO (mg/l)	2 à 30	4 à 78	12 à 49	6 à 12	9 à 41	63		70 à 368		107	50 à 199
DBO5 (mg/l)	-	-	-	-	-	14	-	-	16 à 31	-	-
Cd (ug/l)	0,11 à 0,24	-	-	-	-	0,8	0,4 à 14 / 0,4 à 13,8			3 à 3,7	1,2
Cu (ug/l)	1,2 à 12,1	10 à 304	Cuivre 2 600 Autre 4 à 153	5 à 166	10 à 58	27	47 à 75,9	51,7 à 103,8	65,6 à 143,5	16,1 à 120	6 à 80
Pb (ug/l)	0 à 150	3 à 470	Plomb 7 000 à 10 600 Autre 15 à 300	3 à 56	3 à 6	112		19 à 535		2,4 à 224	15,4 à 137
Zn (ug/l)	4 à 198	10 à 3 700	Zinc 2 300 à 11 800 Autre 90 à 3 200	9 à 2 300	50 à 460	577		112 à 1 956		70 à 660	125 à 526
HA (ug/l)	-	-	-	-	-	-		393 à 1 359			
HAP (ug/l)	0,1 à 1,1		0,44 à 0,6					0,16 à 4,5		0,31 à 21,8	1,62 à 3,5
Hct (ug/l)	30 à 1700	-	-	-	-	750	160 à 2 277 / 4 000 à 11 000			21,8 à 4760	150 à 1 000

ANNEXE 3 : GESTION PLUVIALE À LA SOURCE / PRINCIPES ET PERFORMANCES

TABLE DES MATIÈRES

MISSIONS D'ASSISTANCE TECHNIQUE RELATIVES AUX INFRASTRUCTURES GÉRÉES PAR LE STEA DE LA DIRECTION DE LA PROPRETÉ ET DE L'EAU (DPE)	1
1. PHÉNOMÈNE D'INFILTRATION DANS LE SOL	3
◆ Évaluation de la perméabilité d'un sol	3
◆ Calcul du débit et du volume abattu par infiltration	4
◆ Estimation de la surface contribuant à l'infiltration	4
2. PHÉNOMÈNE D'EVAPOTRANSPIRATION DE L'EAU VERS L'ATMOSPHÈRE	5
3. RÉCUPÉRATION DE L'EAU PLUVIALE POUR DIFFÉRENTS USAGES	6
4. RECOURS A UNE CAPACITÉ DE STOCKAGE EN ZONE HACHURÉE	7
5. VÉRIFICATION DU FONCTIONNEMENT D'UN DISPOSITIF	8

Cette annexe technique vise à fournir au lecteur les méthodes de calcul permettant d'évaluer les performances des différents phénomènes auxquels font appel les différents dispositifs de gestion des eaux pluviales à la source développées dans ce guide.

PHÉNOMÈNE D'INFILTRATION DANS LE SOL

Le sol constitue bien souvent un exutoire privilégié pour l'évacuation des eaux pluviales reçues par un dispositif de gestion. Le paramètre majeur influençant le volume qu'il est possible d'abattre par infiltration est la perméabilité du sol.

◆ ÉVALUATION DE LA PERMÉABILITÉ D'UN SOL

La perméabilité est un paramètre permettant de mesurer la capacité d'un sol à se laisser traverser par les fluides qui se trouvent dans les pores.

Elle est fournie par le coefficient « K » qui s'exprime en mètre par seconde. Pour évaluer cette donnée, différents essais (cf. exemples ci-dessous) sont disponibles mais à adapter selon les sols et les orientations retenues pour l'aménagement^{1/}.

- Les essais Matsuo (« essais à la fosse ») Réalisation par pelle mécanique d'une fouille de volume déterminé. Après remplissage initial, suivi de l'abaissement du niveau d'eau sans saturation. Essai très adapté pour des techniques alternatives superficielles.
- Les essais Porchet (NF XP DTU 64.1 P1-1 / Circulaire du ministère de l'environnement N° 97- 49 du 22 mai 1997 - Annexe III) Essai réalisé dans une cavité de 50 à 70 cm de profondeur et de 15 cm de diamètre. Après saturation initiale pendant au moins quatre heures, détermination du volume d'eau nécessaire pour maintenir un niveau constant de 15 cm pendant 10 minutes.
- Les essais Lefranc (NF EN ISO 22282-2) / Nasberg : Essai réalisé dans un forage. Suivi du niveau d'eau dans le forage, soit en maintenant constant le débit d'injection (ou de pompage), soit après une injection (ou un prélèvement) initiale. L'essai Lefranc est réservé aux sols situés sous le niveau de la nappe. Pour l'essai Nasberg, réservé aux sols au-dessus de la nappe, seule l'injection est possible.

En général et pour assurer une bonne infiltration et limiter la taille des ouvrages il est préférable que la perméabilité soit comprise entre 10^{-3} et $5 \cdot 10^{-7}$ m/s.

Pour les sols dont la perméabilité est supérieure à 10^{-2} m/s. Il convient de reconstituer une couche du niveau de perméabilité plus faible permettant d'assurer une filtration (c'est la perméabilité de cette dernière couche qu'il faut alors considérer pour le dimensionnement des dispositifs).

Enfin, il faut garder à l'esprit que la perméabilité des sols est une caractéristique susceptible de varier dans l'espace et dans le temps. Il est recommandé de prendre en compte un coefficient de sécurité, en divisant par 2 la perméabilité mesurée.

◆ CALCUL DU DÉBIT ET DU VOLUME ABATTU PAR INFILTRATION

Le volume abattu par un dispositif d'infiltration correspond au débit d'infiltration cumulé sur toute la durée de sollicitation de l'ouvrage.

Dans les gammes de perméabilité permettant l'infiltration des eaux pluviales, c'est généralement l'application de la loi de DARCY simplifiée qui permet de déterminer, pour une surface d'infiltration donnée, le débit infiltré à travers cette surface dans la zone non saturée. Elle peut être formulée ainsi :

$$Q = K \times S$$

Avec :

- Le débit : Q en m^3/s
- La perméabilité : K en m/s , supposé homogène sur la surface d'infiltration, K est déterminé par des essais de perméabilité (cf. ci-dessus)
- La surface contribuant à l'infiltration : S en m^2
- Le volume abattu au cours de la pluie se calcule alors de la manière suivante :

$$V = 60 \times D \times Q$$

Avec :

- Le volume : V en m^3
- Le débit : Q en m^3/s
- La durée de l'averse D : en minutes
- Le facteur de conversion des unités (minutes à secondes) : 60

Application numérique : Estimation du volume d'eau infiltré en 2h ($D=120$ minutes) sur une surface de $500 m^2$, avec une perméabilité du sol $K=5 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Cette surface est capable d'infiltrer un débit :

$$Q = K \times S = 5 \cdot 10^{-6} (m/s) \times 500 (m^2) = \mathbf{0,0025 (m^3/s)}$$
 (soit 2,5 L/s).

Sur une période de 2h, le volume d'eau abattu par infiltration sur cette surface est :

$$V = 60 \times D \times Q = 60 \times 120 (min) \times 0,0025 (m^3/s) = \mathbf{18 m^3}$$

^{1/} D'une manière générale, on favorisera les essais en fouille à la pelle mécanique, qui permettent d'avoir la meilleure vision de la nature du sol à faible et moyenne profondeur. Dans ce cas, il est conseillé de mener en chaque point de mesure 2 essais à 2 profondeurs différentes : un essai calé à la profondeur du fond du futur ouvrage (fond de forme d'une voirie, fond d'une jardinière ou d'une tranchée drainante) et un essai mené au refus de la pelle.

◆ ESTIMATION DE LA SURFACE CONTRIBUANT À L'INFILTRATION

Pour estimer la surface d'infiltration, plusieurs cas de figure peuvent être rencontrés selon la conception de l'ouvrage :

- ◆ la surface d'infiltration est constante, quelles que soient les conditions de remplissage de l'ouvrage : dans ce cas, le débit de restitution est considéré constant ;
- ◆ la surface d'infiltration est variable selon les conditions de remplissage de l'ouvrage : dans ce cas le débit de restitution varie avec la charge dans l'ouvrage.

La surface d'infiltration se calcule en tenant compte de l'ensemble des surfaces perméables en contact avec l'eau dans le dispositif de gestion des eaux pluviales. Pour des dispositifs superficiels ou peu profonds, cela correspond à la surface horizontale projetée de l'aménagement, tandis que pour les ouvrages plus profonds, il est nécessaire de tenir compte des surfaces latérales contribuant à l'infiltration.

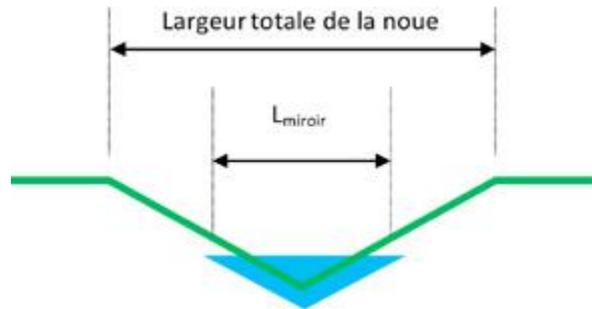


Figure 1 : Illustration de la surface contribuant à l'infiltration pour une noue
Source : ASTEE

PHÉNOMÈNE D'ÉVAPOTRANSPIRATION DE L'EAU VERS L'ATMOSPHÈRE

L'atmosphère constitue également un exutoire possible pour les eaux pluviales par le biais de l'évapotranspiration. L'eau liquide est alors évacuée sous forme de vapeur à partir :

- ◆ de la surface d'un plan d'eau ;
- ◆ de stockages de surface (dépressions, feuillage) ;
- ◆ d'un sol ou d'un substrat via l'action de la végétation.

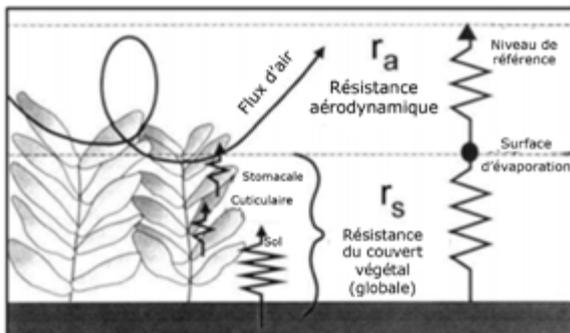


Figure 2 : Représentation schématique de l'action de la végétation sur l'évapotranspiration?

Le flux d'évapotranspiration résulte de phénomènes physiques et biologiques complexes, permettant d'acheminer l'eau des profondeurs du sol jusqu'en surface, la vaporiser, et la disperser dans l'atmosphère. On distingue :

- ◆ l'évapotranspiration potentielle (ETP), calculée à partir de paramètres physiques et fournie à une échelle journalière par Météo-France ;

- ◆ l'évapotranspiration réelle (ETR), observable pour un couvert végétal donné dans un contexte agrométéorologique donné.

L'évapotranspiration potentielle peut être calculée par diverses formules, la plus classique étant celle de Penman-Monteith qui fait intervenir de nombreux paramètres dont le flux d'énergie solaire, la température, le taux d'humidité et la vitesse du vent.

Pour un sol suffisamment alimenté en eau, l'évapotranspiration réelle peut être estimée en appliquant un coefficient dit "cultural" déterminé pour des applications agronomiques et qui prend en compte la nature de la culture et son stade de développement.

Par exemple pour Paris, l'évapotranspiration annuelle mesurée par météo France (moyennée sur 30 ans) représente environ 850 mm, soit environ 150 mm de plus que la pluviométrie annuelle.

À l'échelle journalière le débit qui peut être évacué vers l'atmosphère est relativement modeste en particulier en période hivernale.

Il faut donc diviser les débits spécifiques d'évapotranspiration par le facteur de concentration (S_a/S_e) pour pouvoir comparer la capacité de l'exutoire atmosphérique au débit apporté par la pluie.

En pratique on constate que les flux évapotranspirés ne sont pas négligeables et contribuent substantiellement à l'abattement des volumes transférés vers l'aval à l'échelle de l'année.

En revanche cet abattement ne peut être garanti pour tous les événements : outre les faibles valeurs d'ETP hivernale, on observe d'importantes variations d'un jour à l'autre (en relation avec les événements pluvieux). Il est en effet courant que l'évapotranspiration réelle soit moins importante les jours de pluie (moins d'ensoleillement). Il est donc intéressant de coupler les solutions d'évapotranspiration à un stockage temporaire des eaux pluviales pour réguler l'évapotranspiration réelle.

Outre les conditions atmosphériques, l'évapotranspiration est dépendante du couvert végétal présent au niveau des dispositifs. En effet un couvert ras (gazon entretenu par exemple) en période estivale générera une évapotranspiration moins importante qu'un arbre feuillu. À l'inverse, en hiver les arbres à feuilles caduques ne permettent quasiment pas d'abattre des volumes d'eau par évapotranspiration.

RÉCUPÉRATION DE L'EAU PLUVIALE POUR DIFFÉRENTS USAGES

L'objectif d'abattement dans ce cas ne peut être considéré comme atteint que si le volume récupéré est utilisé dans sa totalité pour les différents usages.

L'arrêté du 21 août 2008 offre la possibilité d'utiliser, à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, l'eau de pluie récupérée. Cependant, la liste précise des usages de l'eau de pluie envisagés par le projet doit être dressée.

Les besoins en eau de pluie sont alors estimés au cas par cas à partir des utilisations envisagées, de leur fréquence et de leur saisonnalité. Ces besoins varient sensiblement selon la région, le climat, le type de bâtiment. Le recours à des statistiques de consommation doit être effectué avec précaution.

Cette évaluation des usages doit en outre s'accompagner d'une évaluation des besoins en eau traitée pour les usages nécessitant une qualité particulière (exemple : lavage du linge).

Les besoins pour les usages visés se définissent selon deux cas :

- pour les bâtiments existants, un diagnostic précis des consommations doit être réalisé sur la base de factures d'eau, de consommations réelles des équipements ou de leurs caractéristiques techniques, d'enquêtes auprès des

usagers... Dans le cas de grands projets, la mise en place de compteurs divisionnaires peut être souhaitable ;

- pour les bâtiments neufs, une estimation des consommations doit être réalisée sur la base de ratios.

Le tableau suivant, établi à partir de sources diverses, est fourni à titre indicatif :

	Usages	Quantité par usage
Usages intérieurs autorisés	Chasse d'eau	6 à 12 litres par usage
	Lave-linge	70 à 120 litres par cycle
	Chasse d'eau double commande	3 à 6 litres par usage
	Lavage des sols intérieurs	10 à 15 litres par seau utilisé
Usages extérieurs	Lavage de la voiture	200 litres par lavage
	Arrosage	Variable selon le type de plante
	Lavage des sols extérieurs	Selon méthode utilisée (jet simple, seau, pression)

Figure 3 : Ratios de consommation en eau selon les usages (source : ASTEE, 2017)

RECOURS À UNE CAPACITÉ DE STOCKAGE EN ZONE HACHURÉE

Le volume total abattu par un dispositif correspond à la somme des abattements réalisés par infiltration, par évapotranspiration et par réutilisation estimés à partir des méthodes présentées ci-avant.

Pour les aménagements de superficie supérieure à 2 500 m² qui se situent en zone hachurée, le zonage pluvial exige, en supplément de l'abattement, la régulation du débit de fuite à 10 L/s/ha, eaux usées non comprises, jusqu'à une pluie décennale. Il est donc nécessaire de prévoir un stockage pour permettre une restitution régulée au réseau d'assainissement.

Le volume pluvial entrant dans le dispositif est directement relié à la durée de l'épisode pluvieux, permettant d'optimiser

le volume de stockage en fonction des caractéristiques du projet et de la pluviométrie locale.

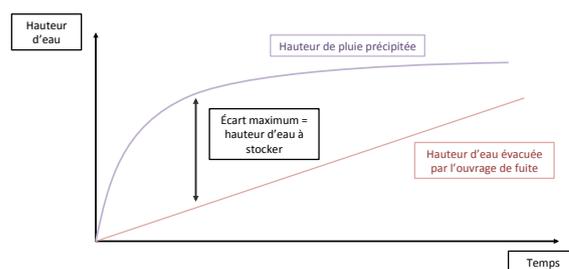


Figure 5 : Illustration de la méthode des pluies

Le volume maximal nécessaire de stockage, correspondant à une durée de pluie est donc :

$$V_s = S_{ref} \times Ca^3 \times Hs/1000$$

Va (m³) : Volume de stockage brut

S_a (m²) : Surface de référence

Ca (sans unité) : Coefficient d'apport de 0 à 1 suivant la perméabilité du support (1 = surface totalement imperméable)

Hs (mm) : Hauteur de précipitation à stocker

À Paris, cette hauteur d'eau est de 25 mm pour la pluie 10 ans de durée 4 heures correspondant à une lame d'eau de 48 mm. Ainsi le volume nécessaire de stockage (m³) peut s'exprimer par :

$$Va = S_a \times Ca \times 25/1000$$

VÉRIFICATION DU FONCTIONNEMENT D'UN DISPOSITIF

Pour vérifier le bon dimensionnement des dispositifs de gestion des eaux pluviales, il est conseillé de simuler l'effet d'une chronique de pluies réelles sur une longue durée.

Le principe de ce type de simulation consiste à appliquer le bilan des volumes expliqué dans le paragraphe précédent, en tenant compte de la durée de vidange du dispositif, et

par conséquent du volume potentiellement présent dans le dispositif suite à une pluie antérieure.

L'utilisation de cette méthode de dimensionnement nécessite de mettre en œuvre un outil de calcul (type tableur par exemple) spécifiquement dédié au dispositif considéré.

MÉTHODE DE SIMULATION DE SÉRIES CHRONOLOGIQUES DE PLUIES RÉELLES.

Cette méthode consiste à appliquer un bilan des volumes pour chaque pas de temps *i*. LA durée du pas de temps choisi sera appelée *d* (en minutes)

Pour un pas de temps donné, on calcule :

Volume entrant *V_e* : on détermine le volume entrant *V_e* comme étant le produit de la hauteur de précipité pendant ce pas de temps par la surface active captée par le dispositif :

$$V_{e,i} = h_i \text{ (mm)} = / 1\ 000 \times S_a \text{ (m}^2\text{)}$$

Le Volume sortant (*V_s*) correspond à la somme des volumes restitués et/ou abattu pendant la durée du pas de temps considéré. Les volumes restitués et abattus se calculent de la même manière qu'expliqué précédemment, en prenant en compte une durée égale au pas de temps considéré.

$$V_{S_i} = V_{abattu,i} \text{ (d)} + V_{restitué,i} \text{ (d)}$$

Le volume stocké (*V_{stock}*) dans le dispositif au pas de temps précédent correspond au volume stocké au pas de temps précédent, auquel on ajoute la différence entre le volume entrant et le volume sortant pour la pas de temps considéré. Le volume stocké est au minimum égal à 0.

$$V_{stock\ i} = \text{Max} (V_{stock, i-1} + V_{e, i} - V_{S_i} ; 0)$$

Le calcul des Volumes entrant, sortant, et stockés est effectué pour chaque pas de temps sur l'ensemble de la chronique de données pluviométriques disponible.

Il est ainsi possible de calculer le volume de stockage à prévoir pour éviter tout rejet non maîtrisé au réseau pluvial.

Il est également possible d'adapter cette méthode en fixant un volume de stockage maximal du dispositif afin de répondre à des objectifs de gestion de pluies moins ambitieux.

3/ Lorsque le bassin versant alimentant la retenue est très urbanisé, on pourra assimiler Ca au coefficient de ruissellement (Cr)

ANNEXE 4 : PALETTE VÉGÉTALE

SENSIBILITÉ DES VÉGÉTAUX AU SEL (Chlorure de sodium)

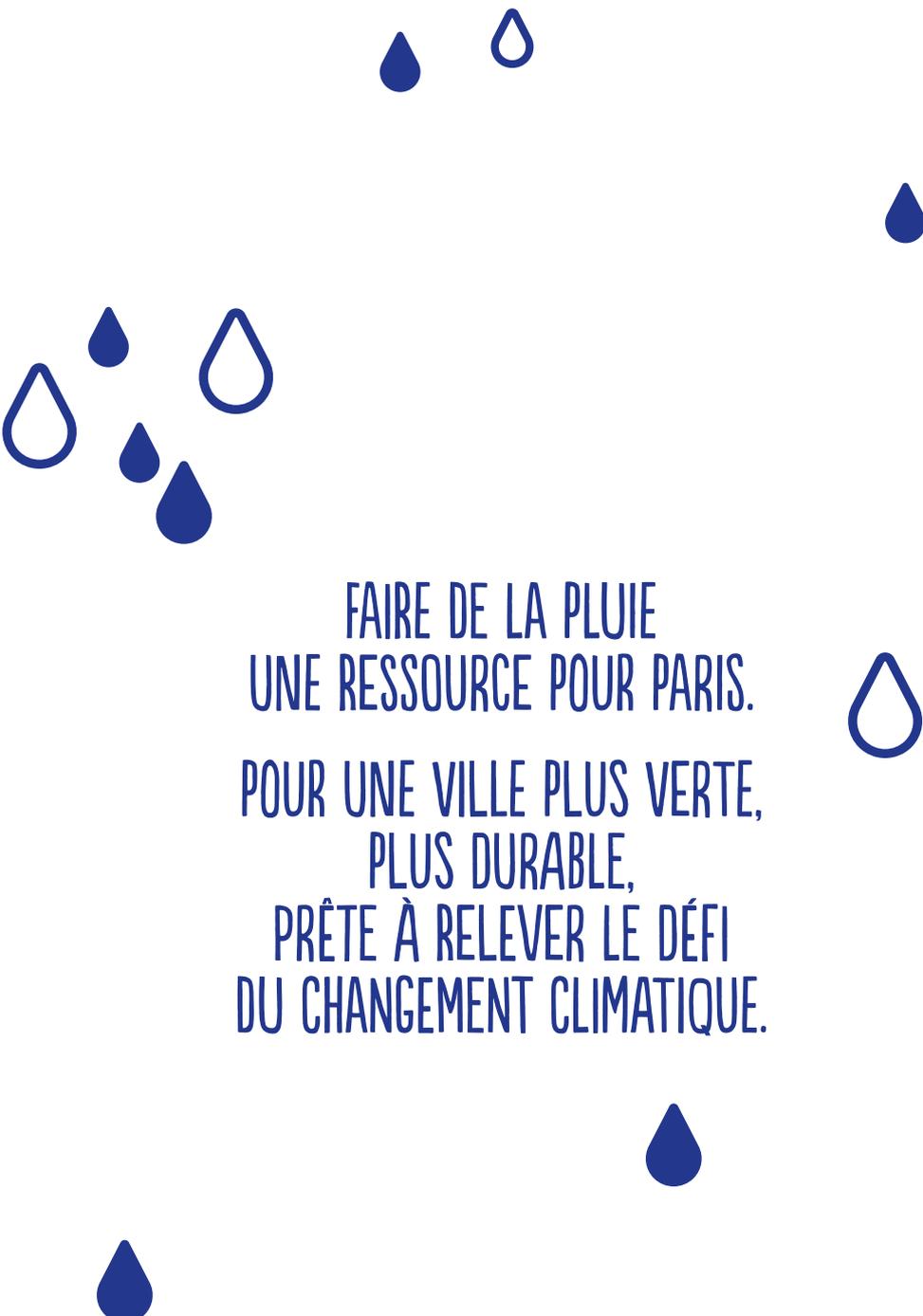
Végétaux résistants ou tolérants	Végétaux peu tolérants ou sensibles
(S) par le sol (C) par contact (?) avec réserves	
Merisier - <i>Prunus avium</i> : forte sensibilité reconnue	
ARBRES INDIGÈNES	
Aulne glutineux - <i>Alnus glutinosa</i> (?)	
Bouleau verruqueux - <i>Betula pendula</i> (S)	Bouleau verruqueux - <i>Betula pendula</i> (C)
	Cerisier à grappes - <i>Prunus padus</i>
	Charme - <i>Carpinus betulus</i>
Chêne pédonculé - <i>Quercus robur</i> (S)	
Chêne - <i>Quercus sp</i> (?)	
Cytisse faux-ébénier - <i>Laburnum anagyroides</i>	
	Epicéas - <i>Picea Sp.</i>
	Erable plane - <i>Acer platanoides</i>
Erable champêtre - <i>Acer campestre</i> (C)	Erable sycomore - <i>Acer pseudoplatanus</i> (S)
Frêne commun - <i>Fraxinus excelsior</i> (?)	
	Hêtre - <i>Fagus sylvatica</i>
	If - <i>Taxus baccata</i>
	Mélèzes - <i>Larix Sp.</i>
	Merisier - <i>Prunus avium</i> (S)
Olivier - <i>Olea europea</i> (?)	
	Orme - <i>Ulmus Sp.</i>
Orme champêtre - <i>Ulmus minor</i> (?) (C)	Orme champêtre - <i>Ulmus minor</i> (S)
Orme des montagnes - <i>Ulmus glabra</i> (?) (C)	Orme des montagnes - <i>Ulmus glabra</i> (S)
Peuplier grisard - <i>Populus canescens</i>	Peuplier - <i>Populus Sp.</i> (?)
	Peuplier noir - <i>Populus nigra</i>
Pin maritime - <i>Pinus pinaster</i> (?)	
Pin nain des montagnes - <i>Pinus mugo</i>	Pins - <i>Pinus Sp.</i>
	Sapins - <i>Abies Sp.</i>
	Tilleuil - <i>Tilia Sp</i> (S)
ARBRES EXOTIQUES	
	Ailante glanduleux - <i>Ailanthus altissima</i> (?)
	Arbre de Judée - <i>Cercis siliquastrum</i>
	Aulne blachâtre - <i>Alnus incana</i>
	Catalpa - <i>Catalpa bignonioides</i>
	Faux Cyprès - <i>Chamaecyparis sp.</i>
Cyprès de Lambert - <i>Cupressus macrocarpa</i>	Cyprès méditerranéen - <i>Cupressus sempervirens</i> (C)
	Genévrier de Virginie - <i>Juniperus virginiana</i> (?)
	Ginkgo - <i>Ginkgo boliba</i>
<i>Juniperus chinensis</i> "Pfitzeriana"	
<i>Juniperus horizontalis</i> (?)	
Murier - <i>Morus Sp.</i>	Liquidambar - <i>Liquidambar styraciflua</i>
	Marronnier commun - <i>Aesculus hippocastanum</i> (?)
	Noyer - <i>Juglans sp.</i>
Pin noir du japon - <i>Pinus thunbergii</i> (?)	Platane à feuilles d'érable - <i>Platanus acerifolia</i> (?)
Pin radiata - <i>Pinus radiata</i> (?)	Sapin de Douglas - <i>Pseudotsuga menziesii</i>
	Thuyas - <i>Thuja Sp.</i>

Guide d'accompagnement pour la mise en œuvre du zonage pluvial

Édition juin 2018

Rédaction : Mairie de Paris - DPE/STEA

Création et mise en page : stratéact'



FAIRE DE LA PLUIE
UNE RESSOURCE POUR PARIS.
POUR UNE VILLE PLUS VERTE,
PLUS DURABLE,
PRÊTE À RELEVER LE DÉFI
DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.



LE PLAN 100% PLUIE UTILE

MAIRIE DE PARIS

DIRECTION DE LA PROPRIÉTÉ DE L'EAU

SERVICE TECHNIQUE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT

27, rue du Commandeur 75014 Paris

parispluie@paris.fr

TOUTE L'INFO
au 3975 et
sur **PARIS.FR**