

**GUIDE D'INFORMATION
APPLICABLE EN ZONE
URBAINE DENSE**

**Toitures terrasses végétalisées
et gestion des eaux pluviales
en Seine-Saint-Denis**

ÉDITO

La Seine-Saint-Denis est un territoire fortement urbanisé, sujet aux risques d'inondations comme au changement climatique. La maîtrise du ruissellement urbain par temps de pluie est un axe important des politiques de mitigation, c'est-à-dire d'adaptation de la ville au risque. Il s'agit d'un enjeu environnemental et sociétal essentiel. Si l'effort à réaliser est indispensable il doit être partagé entre tous les acteurs et mis en œuvre dans les opérations d'aménagement des espaces publics ou dans les projets privés.

Agir sur cette préoccupation et rendre la ville résiliente au changement climatique, c'est un engagement fort du Département et conforme à la mise en œuvre de la COP21. Du bassin de retenue départemental à la simple noue, de nombreux dispositifs existent et sont mis en œuvre en Seine-Saint-Denis. Ces techniques sont très présentes dans le paysage de notre département et épousent sa toponymie tout en se déclinant de plus petite parcelle à l'échelle d'un sous-bassin versant. Faisant partie de ce qu'on désigne sous le nom de « techniques alternatives », les toitures végétalisées en forment une catégorie qui mérite d'être valorisée et promue tant leur facilité de mise en œuvre et leur efficacité est avérée. Complément utile des techniques d'infiltration et de déconnexion des eaux, elles sont très efficaces pour réduire les débits et les volumes.

A la pointe de la prescription de ces techniques depuis les années 90, la Direction de l'eau et de l'assainissement du Conseil départemental de Seine-Saint-Denis a réalisé - avec de prestigieux partenaires - ce guide d'information et de présentation de l'intérêt de végétaliser les toitures. Cette contribution à leur promotion vise à encourager et faciliter leur mise en œuvre au sein de l'agglomération parisienne et plus généralement en France.

Stéphane Troussel

Président du Conseil départemental
de Seine-Saint-Denis

Sommaire

1. Objectifs du guide	6
2. La gestion des eaux pluviales dans l'Agglomération parisienne : principes et enjeux	8
2.1 Une gestion centralisée héritée du courant hygiéniste du XIX ^{ème} siècle	8
2.2 Une gestion essentiellement unitaire responsable de dysfonctionnements importants	9
2.3 L'apport des techniques dites « alternatives » de gestion des eaux pluviales	11
2.4 Les toitures terrasses végétalisées : une pratique ancienne adoptée par les architectes contemporains	12
3. Les toitures terrasses végétalisées : une solution adaptée au contexte urbain dense	14
3.1 Toitures terrasses : notions élémentaires	14
3.2 De la toiture intensive à la toiture extensive	20
3.3 Bénéfices des toitures terrasses végétalisées	23
4. Focus sur le fonctionnement hydrique d'une toiture terrasse végétalisée	24
4.1 Le bilan hydrique d'une toiture végétalisée	24
4.2 Les facteurs qui influencent le fonctionnement hydrique d'une toiture	25
4.3 L'expérimentation <i>in situ</i> : impacts de la végétalisation à l'échelle de la toiture	27
4.4 Modélisation hydraulique : impacts de la végétalisation à l'échelle du bassin versant	30
4.5 En résumé	31
5. Les toitures terrasses végétalisées : une opportunité pour répondre à la réglementation	32
5.1 Une réglementation visant à limiter le ruissellement	32
5.2 Les toitures terrasses végétalisées répondent-elles à ces objectifs réglementaires ?	33
5.3 Arbre de décision	38
6. Conclusion	39
7. Bibliographie	40
8. Liste des figures	41
9. Glossaire	42
10. Abréviations	44

1. Objectifs du guide

La gestion durable des eaux pluviales est l'un des défis majeurs que doit relever la ville de demain.

En croissance constante et rapide, l'agglomération parisienne compte en 2015 plus de 12 millions d'habitants répartis sur une superficie de 12 000 km² (Paris, Petite couronne et Grande couronne), ce qui en fait l'agglomération européenne la plus densément peuplée. L'urbanisation y est telle que le niveau d'imperméabilisation des sols est le plus élevé de France. Lors de précipitations, une part notable des eaux de pluies entre ainsi au contact de surfaces imperméabilisées et ruisselle. La majeure partie de ces eaux rejoint les réseaux d'assainissement collectifs unitaires ou séparatifs. Une part minoritaire continue de s'infiltrer dans les secteurs non imperméabilisés ou de s'évaporer à la faveur des espaces végétalisés, en fonction des conditions météorologiques.

Limiter les déversements d'eaux non traitées vers la Seine et réduire les débordements des réseaux d'assainissement en ville

Par conséquent, la gestion des eaux pluviales de l'agglomération parisienne pose un triple problème :

- des eaux non traitées (mélanges d'eaux usées et d'eaux pluviales dans les réseaux unitaires) sont déversées plusieurs fois par an dans la Seine et ses affluents au niveau des déversoirs d'orage, ce qui en altère notablement la qualité ;
- le traitement des eaux usées par les stations d'épurations est altéré lors des apports massifs d'eaux pluviales en réseau unitaire ;
- la saturation du réseau (unitaire ou séparatif) peut entraîner des débordements et provoquer par endroit l'inondation temporaire des espaces urbanisés.

La gestion traditionnelle par collecte et stockage enterré, puis restitution différée vers les réseaux publics d'assainissement, a montré ses limites en termes techniques, économiques, écologiques et en espaces disponibles en milieu urbain très contraint.

Les toitures végétalisées : une solution pour améliorer la situation

Face à ce constat, des solutions alternatives sont mises en œuvre aujourd'hui. Elles visent la réintégration des eaux de pluie dans le cycle hydrologique naturel et l'utilisation de toutes les composantes du paysage urbain.

Parmi ces composantes, les toitures sont identifiées comme un espace essentiel à valoriser pour limiter le ruissellement et réduire les volumes rejetés vers le réseau grâce à l'évapotranspiration.

Les objectifs du guide

L'objectif de ce guide est de présenter les avantages de la végétalisation des toitures pour la gestion des eaux pluviales d'un point de vue quantitatif et qualitatif, afin d'encourager et de faciliter leur mise en œuvre, en particulier sur l'agglomération parisienne et plus généralement en France. La réflexion proposée est enrichie par les résultats des derniers travaux de recherche menés sur le sujet, en particulier en Ile-de-France dans le cadre du programme **TVGEP**¹, « Conception des Toitures Végétalisées pour la Gestion des Eaux Pluviales urbaines » et d'une convention de recherche intitulée « Les toitures végétalisées en Seine-Saint-Denis ».

¹ Les partenaires du programme TVGEP étaient le CSTB, le Cerema, le LEESU, l'ADIVET et la Direction de l'Eau du Département des Hauts-de-Seine.

A qui s'adresse ce guide ?

Ce guide s'adresse-principalement aux élus locaux, aux services techniques des collectivités et aux aménageurs privés de l'agglomération parisienne. Il aborde successivement :

1. les enjeux actuels de la gestion des eaux pluviales dans l'agglomération parisienne,
2. les éléments techniques essentiels pour comprendre les toitures terrasses végétalisées (TTV),
3. le comportement hydrique des TTV et leur participation à l'amélioration de la gestion des eaux pluviales d'un point de vue quantitatif et qualitatif,
4. la capacité des TTV à répondre à des objectifs réglementaires en prenant l'exemple des prescriptions propres aux départements des Hauts-de-Seine et de Seine-Saint-Denis

Le champ d'application de ce guide dépasse l'île de France dans la mesure où il apporte des informations utiles à l'ensemble des villes au contexte urbain dense soumises à des conditions climatiques proches de l'île de France.

2. La gestion des eaux pluviales dans l'Agglomération parisienne : principes et enjeux

2.1 Une gestion centralisée héritée du courant hygiéniste du XIX^{ème} siècle

La compréhension des principes et des enjeux de la gestion des eaux pluviales de l'agglomération parisienne est éclairée par l'histoire de l'assainissement de Paris et sa banlieue. Le développement rapide et original de la Ville-Lumière au XIX^{ème} siècle a en effet motivé des choix d'aménagement majeurs qui structurent toute la logique d'assainissement actuelle.

Le courant hygiéniste : une réponse collective aux épidémies du XIX^{ème} siècle

Le XIX^{ème} siècle a été marqué par une hausse significative de la population parisienne qui est passée d'environ 650 000 à près de 2 millions d'habitants. En 1854, le Préfet de la Seine Haussmann et le Directeur du Service des Eaux, l'ingénieur Belgrand ont établi un programme d'alimentation en eau de Paris et d'évacuation des eaux usées et pluviales impliquant de rejeter les eaux sales loin en aval de la ville, chaque rue étant dotée d'un égout. Le réseau d'égouts a été réalisé selon les principes qui prévalent encore aujourd'hui :

1. il est unitaire, c'est-à-dire qu'il reçoit à la fois les eaux pluviales et les eaux usées ;
2. il est majoritairement gravitaire ; des usines de pompage relèvent toutefois les eaux des quartiers bas de Paris ; étant de débit limité, les usines de pompage sont équipées de déversoirs d'orage qui délestent le réseau vers la Seine et ses affluents ;
3. il converge dans sa quasi-totalité vers un même point : l'usine de pompage de Clichy qui lui permet de traverser la Seine.

Vers le gigantisme des installations collectives...

Au XX^{ème} siècle, l'urbanisation accélérée des banlieues a exporté ce schéma centralisé vers l'ensemble du département de la Seine². La collecte unitaire est restée la règle dans les centres urbains et en 1929, un premier schéma d'assainissement général du département était mis en place. L'objectif était de transporter toutes les eaux usées de l'agglomération parisienne tout d'abord vers des champs d'épandage puis vers une usine d'épuration à Achères au moyen de quatre grands émissaires. Le dispositif fut ensuite progressivement complété par la modernisation des installations, et la construction de nouvelles usines d'épuration.

A partir de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle, la collecte séparative (c'est-à-dire un réseau pour les eaux usées, un autre spécifiquement dédié aux eaux pluviales) fut privilégiée puis devint la règle.

Aujourd'hui, l'ensemble d'un réseau très vaste et complexe est organisé autour des collecteurs principaux (ou émissaires) du Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP). Pour transporter les eaux usées et pluviales recueillies dans les égouts, les 3 Départements de la petite couronne et la ville de Paris gèrent environ 4000 km de réseau de transport vers les réseaux du SIAAP qui acheminent chaque jour environ 2 millions de mètres cubes d'eaux jusqu'aux stations d'épuration où elles sont traitées.

² Le Département de la Seine a été remplacé en 1968 par les Départements de Paris, des Hauts-de-Seine, du Val de Marne et de Seine-Saint-Denis.

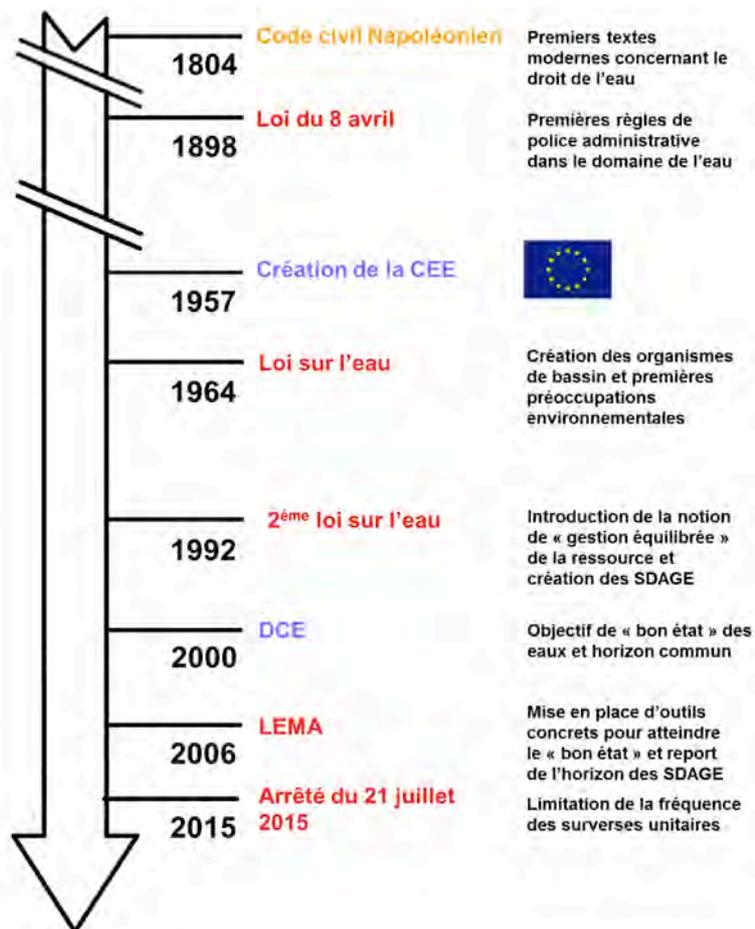
Les fondements de la politique de l'eau française actuelle sont contenus dans trois lois :

- **La loi sur l'eau du 16 décembre 1964** qui a organisé la gestion décentralisée de l'eau par bassin versant. C'est cette loi qui a créé les agences de l'eau et les comités de bassin.

- **La loi sur l'eau du 3 janvier 1992** qui consacre l'eau en tant que "patrimoine commun de la Nation." Elle a renforcé l'impératif de protection de la qualité et de la quantité des ressources en eau. Elle a mis en place de nouveaux outils de la gestion des eaux par bassin : les SDAGE et les SAGE, ainsi que des procédures de déclaration et d'autorisation pour les travaux ou ouvrages qui ont un impact sur les milieux aquatiques.

- **La loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006** qui a donné les outils en vue d'atteindre en 2015 l'objectif de « bon état » des eaux fixé par le Directive Cadre sur l'Eau et pour améliorer le service public de l'eau et de l'assainissement.

Par ailleurs, une grande partie de la réglementation française découle des directives européennes, et notamment de la **Directive Cadre sur l'Eau du 23 octobre 2000** (directive 2000/60) qui impose aux Etats membres l'objectif de « bon état » des milieux aquatiques pour 2015. Cette directive organise la gestion de l'eau selon le modèle évoqué des lois sur l'eau françaises.



Un objectif de réduction des débordements et des déversements d'eaux unitaires non traitées a notamment été retenu par les gestionnaires des réseaux.

Des solutions structurelles collectives gigantesques et coûteuses

Une première solution a été de construire des ouvrages, souvent enterrés pour stocker temporairement les débits et les volumes supplémentaires induits par la pluie. Sur le réseau unitaire, ces ouvrages de stockage permettent de limiter les déversements au milieu naturel et de traiter en différé une part plus importante des volumes collectés, dans un objectif de respect de l'arrêté du 21 juillet 2015.

Sur le réseau séparatif, les bassins de stockage sont utilisés dès les petites pluies pour favoriser la décantation et limiter les apports de polluants au milieu naturel, afin de répondre aux objectifs de la DCE.

Au niveau du réseau interdépartemental, on compte aujourd'hui 12 ouvrages majeurs de stockage (tunnels-réservoirs et bassins enterrés), ayant une capacité de stockage cumulée de 900 000 m³. En y associant les grands émissaires de transport, le réseau peut stocker temporairement près de 1 833 000 m³ (source : SIAAP).

2.3 L'apport des techniques dites « alternatives » de gestion des eaux pluviales

Le constat actuel est que la gestion publique des eaux pluviales telle qu'elle a été pratiquée au cours de ces dernières décennies souffre de nombreux handicaps :

- ✓ elle nécessite de gros investissements pour faire face au développement continu de l'urbanisation,
- ✓ elle occupe une place conséquente sur le sol et dans le sous-sol,
- ✓ elle nécessite un entretien régulier contrarié par les difficultés d'accessibilité aux ouvrages (généralement enterrés) et de gestion des boues de curage (généralement polluées),
- ✓ elle est fréquemment mise en défaut, aussi bien lors des pluies courantes car elle induit une pollution chronique des cours d'eau (via les déversoirs d'orages), que lors des pluies exceptionnelles lorsque les capacités hydrauliques sont insuffisantes (débordements et pics de pollution en rivière).

L'eau de pluie est souvent considérée comme une contrainte, et non pas comme une composante voire un atout du développement de la ville.

Une solution qu'il convient de développer : privilégier la gestion à la source

Il est donc apparu nécessaire de développer des stratégies plus durables, apportant une meilleure intégration de l'eau de pluie dans la ville.

Aussi les gestionnaires des réseaux ont-ils choisi de compléter le principe de collecte systématique en privilégiant la gestion à l'amont des réseaux. Pour cela, les Départements de la petite couronne et la Ville de Paris ont établi de nouvelles règles limitant le recours au rejet vers le réseau public, et engagé des démarches de sensibilisation sur cette question auprès des collectivités, des aménageurs et des particuliers, afin de répartir les actions sur l'ensemble des bassins versants.

Dans leur règlement d'assainissement, le principe d'infiltration des eaux et de re-perméabilisation des sols est préconisé en priorité et, à défaut, une limitation du débit est prescrite pour les raccordements de toute nouvelle construction vers leurs réseaux.

Ces nouvelles orientations bénéficient du développement de techniques alternatives au « tout tuyau » favorisant la gestion à la source des eaux pluviales.

Ces techniques³ sont adoptées par de nombreuses collectivités en Europe et en Amérique du Nord depuis une trentaine d'années. Elles valorisent autant que possible les infrastructures et les espaces disponibles pour gérer les eaux de pluie au plus près de l'endroit elles tombent. Il peut s'agir de noues enherbées, de places publiques inondables, de chaussées à structures réservoirs ou de bassins paysagers par exemple.

³ Il existe une abondante documentation sur les différents types de techniques alternatives comme les guides « *Gestion durable des eaux pluviales en milieu urbain : une intégration au parti d'architecture et de paysage* » (Département de Seine-Saint-Denis, septembre 2010), « *La pluie en ville – maîtriser le ruissellement urbain* » (Département des Hauts-de-Seine, 2008) et « *Assainissement pluvial intégré dans l'aménagement – Eléments clés pour le recours aux techniques alternatives* » (CERTU, 2008). Ces documents sont accessibles sur internet.

2.4 Les toitures terrasses végétalisées : une pratique ancienne adoptée par les architectes contemporains

Une technique ancienne

La végétalisation des toitures est probablement une pratique très ancienne dans les régions du monde où le climat permet son maintien sans entretien. On l'identifie ainsi dans le patrimoine vernaculaire des pays scandinaves et plus largement sur les ouvrages militaires de défense, en particulier en France sur les fortifications construites du XVII^{ème} au XIX^{ème} siècle.

Figure 2

Toitures végétalisées dans le village de Nororagota (Iles Féroé - Norvège) (Crédit photo : Erik Christensen)
Végétalisation des fortifications de Montmédy (Meuse) (Crédit photo : cartesfrance.fr)



Sur le territoire national, l'habitat traditionnel a cependant écarté cette solution, les toitures minérales (lauze, pierres plates, tuiles), en chaume ou en bois (tavaillons, bardeau) étant adoptées selon les contraintes climatiques, la disponibilité des matériaux et les particularismes régionaux.

Le recours massif à la toiture terrasse au cours de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, lié au renouvellement des formes de l'architecture contemporaine, a ouvert un nouveau champ d'expérimentation pour garantir une étanchéité suffisante. Le recours à des membranes en polymères couvertes de gravillon est apparu une solution fiable, dès les années 1980.

Un développement pionnier de la végétalisation en Allemagne et en Suisse

Dès les années 1960, les architectes allemands ont adopté la végétalisation des toitures. Au milieu des années 80, l'Allemagne est à l'origine de la « végétalisation extensive des toitures », une technique qui se développe rapidement dans ce pays et le Nord de l'Europe. Dans le même temps, la culture de jardins sur dalle, lointain parent des jardins suspendus mythiques de Babylone, a connu une renaissance en France avec l'architecture des villes nouvelles. Les plantations sur dalle telles que l'Esplanade du Général de Gaulle à la Défense, puis le projet de jardin Atlantique de la gare de Montparnasse à Paris (1994), et enfin la couverture de parkings et de voiries urbaines (notamment le périphérique parisien) ont été autant d'opportunités de verdir des espaces urbains trop minéralisés.

De 1995 à 2005, environ 10 % des toits allemands nouvellement construits ont été végétalisés. Enfin en Autriche, comme en Suisse ou en Allemagne, des lois locales incitent à la végétalisation des toitures terrasses et certaines collectivités ont participé activement à ce développement en délivrant des aides financières. Dans le canton de Bâle-Ville, la végétalisation est obligatoire sur tout nouveau toit plat. En 2013, 25 % de ses toits plats sont végétalisés, ce qui constitue un record mondial.

La France a pris du retard par rapport à ses voisins et n'a réellement développé la végétalisation des toitures qu'au début du XXI^{ème} siècle, suite à l'émergence de la démarche HQE et au souci de prendre en compte, dans la construction, des solutions respectueuses de l'Environnement.

Un référentiel des Règles Professionnelles de conception et réalisation des terrasses et toitures végétalisées a été mis à jour en 2002 et révisé en 2007. Aujourd'hui, le marché s'est ouvert et les nombreux professionnels qui s'y investissent (couvresseurs, étancheurs, jardiniers) offrent une

large gamme de produits. Le cap du million de mètres carrés végétalisés annuels a été franchi en 2010⁴.

⁴ 1,36 million de m² ont été réalisés en 2011 pour un marché de couverture représentant au total 25 millions de m² selon l'association Adivet (Association française des toitures et façades végétales).

3. Les toitures terrasses végétalisées : une solution adaptée au contexte urbain dense

Les toitures terrasses : des espaces généreux à valoriser

En France, les TTV ont été intégrées récemment dans la stratégie de gestion des eaux pluviales à la source par les maîtres d'œuvre et les collectivités.

On identifie en effet que la végétalisation des toitures terrasses apporte un ensemble d'avantages qu'il convient de développer en ville, notamment dans les quartiers denses et fortement minéralisés :

- ✓ valorisation d'un espace qui se trouve disponible et généralement délaissé, en dehors de son utilisation pour le placement d'installations techniques de ventilation ou de capteurs solaires,
- ✓ amélioration paysagère de la « cinquième façade » d'un immeuble, notamment pour les points de vue qui la dominent.

D'autres avantages sont identifiés aujourd'hui, grâce aux premières réalisations dont on a évalué le comportement. Outre l'isolation thermique de l'étage le plus élevé et l'amélioration de la biodiversité en ville⁵, on note ainsi la capacité des TTV à retenir l'eau au cours d'un épisode pluvieux et à en favoriser l'évapotranspiration pendant toute la période végétative, du printemps jusqu'à l'automne.

Les TTV apportent ainsi l'avantage particulier de soulager les réseaux et les installations de traitement situées à l'aval sans occuper de place en tant que telle. Elles présentent donc un intérêt original pour compléter les installations de stockage et d'évacuation au sol, en particulier en milieu urbain dense mais également pour tout nouveau projet de construction compatible avec une toiture terrasse.

3.1 Toitures terrasses : notions élémentaires

On appelle toiture-terrasse le toit-terrasse dont la pente est inférieure à 15% (au-delà, on parle de « toiture inclinée »). La toiture-terrasse est protégée par une étanchéité composée essentiellement d'un isolant et d'un complexe d'étanchéité simple ou multicouche. Elle peut être accessible ou non. Lorsqu'elle l'est, elle peut être utilisée comme un espace de vie, de convivialité et/ou de loisir.

⁵ Pour approfondir le sujet, nous recommandons la lecture des ouvrages « Toitures végétalisées, mode d'emploi » (Stéphanie de la Rosa et Lucie Cluzan, Architecture à vivre n°34, janvier/février 2007) et « Végétalisation extensive des terrasses et toitures » (François Lassalle, 2008).

On peut décliner la variété des réalisations selon 3 critères en partie interdépendants, comme suit :

<i>Accessibilité et fonction</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ inaccessibles (sauf pour l'entretien et les réparations occasionnelles), ✓ à zones techniques (toitures-terrasses à circulation piétonnière), ✓ accessibles (aux piétons), sans limitation particulière, ✓ circulables (circulation et stationnement de véhicules),
<i>Élément porteur</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ en béton : béton armé en dalles ou coulé en place en voiles, béton précontraint... ✓ en acier (bacs de tôle nervurée), ✓ en panneaux de bois sur ossature.
<i>Pente</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ à pente nulle : pente du support d'étanchéité inférieure à 1%, ✓ plates : pente de 1 à 5% dans le cas général, ou 1 à 3% si le support est la tôle d'acier nervurée, ✓ rampantes : pente de 5 à 15% dans le cas général, ou 3 à 7% sur acier nervuré ;

Lorsqu'une partie ou l'ensemble de la toiture est couvert d'un support végétalisé, on peut la qualifier de toiture végétalisée.

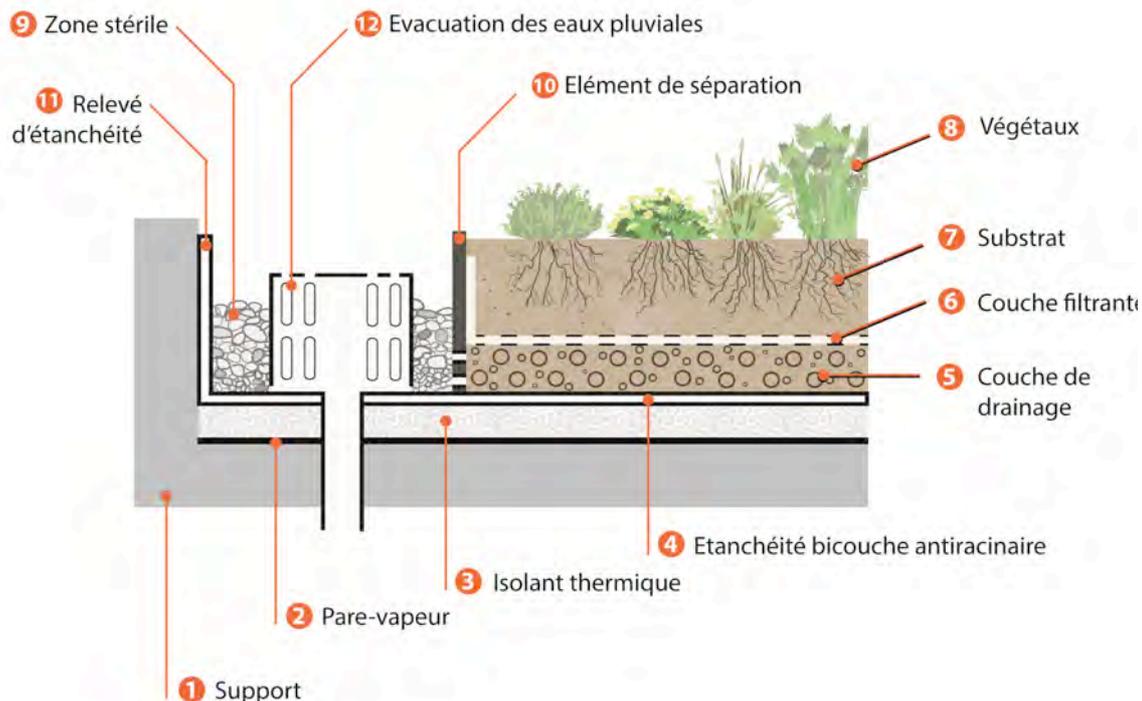
Une toiture terrasse végétalisée (TTV) type est constituée, par ordre chronologique d'installation :

1. d'un support porteur (constituant le « toit », qui peut être principalement en béton, en métal ou en bois),
2. d'un matériau pare-vapeur,
3. d'une couche d'isolant,
4. d'un complexe d'étanchéité résistant à la pénétration racinaire,
5. d'une couche de drainage spécialisé, qui comprend parfois des réservoirs d'eau,
6. d'un géotextile filtrant pour contenir le substrat tout en laissant circuler l'eau,
7. d'un substrat de croissance fabriqué, sans terre (sauf végétalisations intensives),
8. de plantes, choisies dans une gamme de végétaux spécifiques.

Une zone stérile, non végétalisée, longe les acrotères afin de faciliter la surveillance et l'entretien du relevé d'étanchéité et des évacuations d'eau pluviales.

Figure 3

Coupe type d'une toiture végétalisée (réalisation : F. Bellagamba pour SEPIA Conseils)



Les différents constituants d'une toiture végétalisée au contact avec l'eau de pluie

On distingue les éléments en contact avec les eaux de pluie de ceux qui ne le sont pas et qui constituent l'élément porteur (en béton, en bois, en acier) et le système d'isolation (pare vapeur, isolant thermique).

Les éléments qui sont en contact avec l'eau ruisselant sur les toitures sont le revêtement d'étanchéité, le dispositif anti-racinaire, la couche de drainage, la couche filtrante, le substrat et la plantation. La composition de ces constituants est susceptible d'altérer la qualité de l'eau rejetée car celle-ci peut lessiver des contaminants émis par les matériaux de construction (métaux ou micropolluants organiques par exemple).

✓ Le revêtement d'étanchéité [4]

Le revêtement d'étanchéité d'une toiture terrasse végétalisée est mis en place sur un support d'étanchéité qui peut être l'élément porteur (en béton, bois ou en acier), ou le système d'isolation. Il permet d'éviter l'infiltration de l'eau à l'intérieur du bâtiment et doit présenter un caractère anti-racinaire pour empêcher la perforation ou bien le contact des racines avec la couche d'étanchéité.

La fonction étanchéité peut être obtenue par trois grandes familles de matériaux utilisées pour la réalisation des toitures terrasses :

- les étanchéités coulées en asphalte (les plus anciennes et les plus utilisées);
- les membranes d'étanchéités bitumineuses (membranes légères et flexibles plus résistantes) ;
- les membranes d'étanchéités synthétiques.

La fonction anti-racinaire est intégrée dans les revêtements d'étanchéité. Généralement à base de mécoprop, une substance herbicide, les produits anti-racinaires influencent la qualité des eaux de ruissellement issues des TTV.

Figure 4

Pose d'une membrane d'étanchéité synthétique (www.renolit.com)



✓ La couche de drainage et la couche filtrante [5 et 6]

La couche de drainage assure l'écoulement des eaux vers les dispositifs d'évacuation des eaux pluviales, évitant ainsi l'asphyxie des racines. Elle se situe entre le revêtement d'étanchéité et le substrat, séparée de ce dernier par un filtre, et l'épaisseur minimale de cette couche dépend de la hauteur maximale des flaches d'eau observées sur la toiture. Sa perméabilité doit être supérieure ou égale à 0,3 cm/s pour assurer une bonne circulation des eaux.

Les matériaux pouvant constituer cette couche sont soit des plaques de polystyrène moulées ou alvéolées, soit des agrégats minéraux poreux (pouzzolane, argile expansée, roche volcanique...), soit des éléments synthétiques pouvant former ou non une sorte de réserve d'eau, comme des bacs en polyéthylène recyclé parfois aussi en haute densité.

La couche filtrante retient les particules fines du substrat et s'interpose entre le substrat et la couche drainante pour éviter son colmatage. Elle retient des particules de diamètre supérieur à 0.063 mm. Le filtre est soit un géotextile en propylène non-tissé, soit un géotextile en polystyrène non-tissé.

✓ Le substrat et la végétation [7 et 8]

Le substrat permet l'ancrage des racines, la rétention en eau et la nutrition des plantes sélectionnées, pour assurer leur pérennité. L'épaisseur du substrat, le type et la hauteur des végétaux sont étroitement liés.

La composition du substrat varie en fonction de cette épaisseur, les dispositifs les plus fins (extensifs) ayant recours à des supports composites et les plus épais (intensifs) à des supports essentiellement naturels.

Figure 5

Pose d'un revêtement végétal sur une nappe drainante (www.cotemaison.fr)



✓ La zone stérile [9]

La zone stérile est un espace aménagé sur la toiture, dont le but est de faciliter l'accès aux relevés d'étanchéité et aux évacuations d'eaux pluviales, pour l'entretien. Cette zone n'est pas considérée comme zone accessible pour la circulation. Elle a une largeur de 0,40 m. Cette zone est généralement protégée par une couche de gravillons ayant une granulométrie supérieure à 15 mm, éventuellement recouverts de dalles de béton préfabriquées.

Figure 6
Visualisation d'une zone stérile en gravier
(www.maison.com)

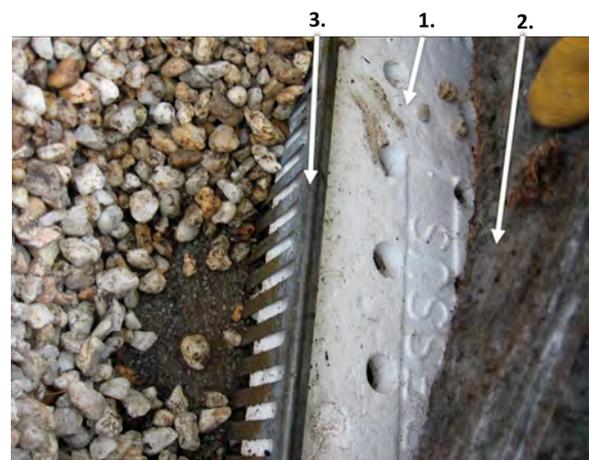


✓ Élément de séparation [10]

Ce dispositif est utilisé pour séparer la zone stérile de la zone végétalisée. Ils ont aussi comme rôle de maintenir la couche de culture de la zone de végétalisation. Le dispositif de séparation utilisé dépend du dispositif de drainage de l'eau. Si la couche de drainage est continue sous le dispositif de séparation, alors il peut être formé par des bordures ou murets en béton ou en brique. Si la fonction de drainage est assurée par le substrat ou si la couche drainante est interrompue, le matériel utilisé est alors constitué de bandes ajourées avec association d'un filtre qui est identique à celui utilisé dans le complexe de végétalisation. Ces bandes sont plutôt métalliques, en alliage d'aluminium, en acier inoxydable ou en zinc (Adivet, CSFE et al. 2003).

Figure 7
Coupe analysée d'une terrasse à Châtenay-Malabry (92) (CD92)

- 1 : la couche drainante ;
- 2 : la couche filtrante ;
- 3 : dispositif de séparation : bande pare-gravier en zinc.



✓ Relevés d'étanchéité [11]

Le relevé d'étanchéité est de même type que l'étanchéité utilisée pour le revêtement de la toiture. Il a une hauteur minimale de 15 cm au-dessus du substrat, il est généralement auto-protégé ou bien protégé par des bandes métalliques qui peuvent être en aluminium, ou acier inoxydable.

✓ Evacuation des eaux pluviales [12]

Les évacuations des eaux pluviales se situent généralement dans la zone stérile. Les entrées du dispositif sont équipées d'une grille avec garde grève (crapaudine) pour arrêter les débris. Les eaux sont dirigées vers une évacuation, et des trop-pleins permettent d'éviter la trop forte mise en charge de la toiture.

Figure 8

Dispositif d'évacuation des eaux pluviales sur un collège à Issy-les-Moulineaux (92) (CD92)



Textes de référence

La mise en œuvre de TTV (ouvrages neufs ou réhabilitation) est régie par plusieurs règles techniques en vigueur :

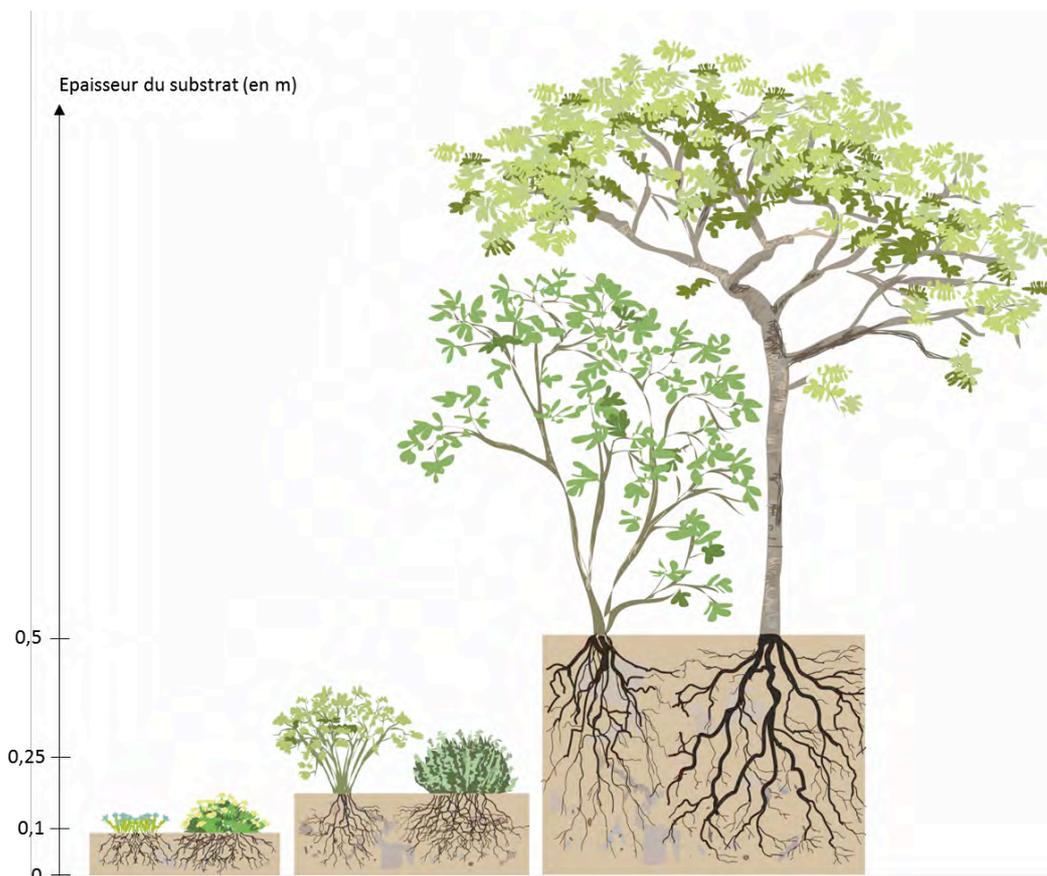
- DTU 43.1 (étanchéité des toitures terrasse) et DTU 60.11 (évacuation des eaux pluviales de toiture),
- Règles professionnelles de la Chambre Syndicale Française de l'Étanchéité pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées, novembre 2007,
- Classement FIT des revêtements d'étanchéité (cahier CSTB n°2358 de septembre 1989).

3.2 De la toiture intensive à la toiture extensive

Il existe trois grandes catégories de TTV :

- la végétalisation intensive ;
- la végétalisation semi-intensive ;
- la végétalisation extensive.

Figure 9
Exemples de coupes types de TTV – comparaison de gauche à droite des végétalisations extensives, semi-intensives et intensives (réalisation : F. Bellagamba pour SEPIA Conseils)



La végétalisation intensive : un jardin sur le toit

La végétalisation intensive peut être assimilée à une toiture-terrasse jardin.

Le substrat de croissance se compose généralement de terre végétale. Sa profondeur varie **entre 30 et 100 cm** et son poids à capacité maximale en eau, entre 500 et 2 000 kg/m².

En raison de l'épaisseur du substrat, le choix de plantes est large et peut comprendre des arbres et des arbustes. Selon la végétation choisie, l'entretien et en particulier l'arrosage peuvent être plus exigeants et plus fréquents. À cause du poids élevé de l'installation, cette technique ne peut être réalisée que sur des supports en béton, en pente inférieure à 5%.

Techniquement, la réalisation d'une terrasse-jardin diffère peu de celle d'un espace vert au sol. Toutefois, certaines plantes rhizomateuses sont proscrites en raison de dégâts qu'elles peuvent causer sur l'étanchéité : tous genres et espèces de bambous, joncs de Chine, graminées géantes comme les cannes de Provence ou la Spartine par exemple.

Figure 10

Le Jardin Atlantique sur les voies de la Gare Montparnasse à Paris (conception : Brun, Penna et Schnitzler)



La végétalisation extensive : un tapis végétal de faible épaisseur

La végétalisation extensive fait appel à la notion de tapis végétal.

Ces toitures utilisent un substrat spécifique, un « terreau minéral » qui peut être composé de sable, de gravier issu de roche volcanique, de briques concassées ou d'argile expansée, de matières organiques, qui mesure entre 3 et 15 cm de profondeur et pèse entre 70 et 200 kg/m² lorsqu'il est en situation de « Capacité Maximale en Eau ». Plutôt légères, elles peuvent être installées sur tous les supports, même les plus légers (béton, bois, acier).

Le tapis végétal s'adapte progressivement à son milieu et fonctionne de façon quasi autonome. Ce tapis est obtenu par une association de plantes spécialement adaptées qui se reproduisent *in situ*. Les moyens de culture sont minimes et la liste des plantes compatibles est plutôt restreinte : mousses, plantes succulentes (sédums), graminées... Ce sont le plus souvent des plantes de faible hauteur, idéalement adaptées à des conditions de croissance rigoureuses.

Figure 11

Végétalisation extensive du toit du ministère des finances à Noisy-le-Grand (93) – architecte Paul Chemetov – © Ecovégétal



La végétalisation semi-intensive : un compromis entre le jardin et le tapis végétal

La végétalisation semi-intensive est intermédiaire entre les deux structures décrites précédemment.

L'épaisseur du substrat ne dépasse pas 30 cm et son poids à capacité maximale en eau oscille entre 150 et 350 kg/m²

Les systèmes de végétalisation semi-intensive permettent une large utilisation de la palette végétale et sont assujettis à un entretien régulier. Les plantes sont le plus souvent des graminées (utilisées en gazons ou en tant que plantes ornementales), plantes vivaces et arbustes tapissants ou de faible hauteur. On utilise de préférence des espèces à développement fort et dense et résistantes au gel et à la sécheresse ; les monocultures sont à proscrire.

Il convient de noter que le système semi-intensif doit être, la plupart du temps, arrosé plus fréquemment qu'un système intensif. En effet, son substrat étant moins épais, il dispose d'une réserve d'eau utilisable par les végétaux, dite réserve utile, moins importante. Cependant, l'épaisseur du substrat n'est pas le seul critère, les modalités d'arrosage étant aussi conditionnées par le type de végétation.

Figure 12
Végétalisation semi-
intensive sur une
résidence à Boulogne-
Billancourt (92) (CD92)



3.3 Bénéfices des toitures terrasses végétalisées

La recherche bibliographique a permis d'identifier les principaux bénéfices potentiels apportés par les TTV, qui sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Certains aspects ont fait l'objet de validation scientifique (indiquée en gras).

Réduction des ruissellements en aval des toitures	La constitution particulière d'une toiture terrasse végétalisée, et notamment l'implication de sa composante végétale, lui confère un fonctionnement hydrologique particulier. Ce fonctionnement, globalement favorable à la gestion des eaux pluviales en milieu urbain, est développé dans le chapitre suivant. Les effets en termes de ruissellement ont été démontrés et sont significatifs. (TGVEP)
Augmentation de la durée de vie des couches d'étanchéité des toitures	La couche de substrat protège le complexe d'étanchéité des variations de température (réduction de dilatation – contraction des membranes posées sur le toit) – elle constitue un « bouclier » contre les intempéries. (ADIVET et CSTB, 2007)
Augmentation de la biodiversité	La couverture végétale constitue un micro-écosystème plus accueillant pour la faune (insectes, araignées et oiseaux) qu'une toiture minérale. (Brenneisen, 2003)
Amélioration esthétique de l'environnement paysager	Outre sa plus-value esthétique pour les points de vue dominant la toiture, la proximité du végétal aurait des effets bénéfiques sur la santé, notamment par la réduction du stress. (Ernst & Young et Associés, 2009)
Lutte contre le phénomène « d'îlot de chaleur urbain »	L'îlot de chaleur urbain (ICU) est dû aux émissions de chaleur liées aux activités humaines, mais aussi à l'augmentation de l'absorption des calories solaires induite par les surfaces urbaines imperméabilisées ; il se traduit par des températures locales plus élevées que la normale L'évapotranspiration engendrée par les toitures végétalisées participe à la réduction de ce phénomène. (APUR, 2013)
Amélioration de l'efficacité thermique des bâtiments	L'accumulation de couches supplémentaires permet une meilleure isolation thermique de la toiture et limite ainsi les pertes (hiver) mais surtout le gain (été) de chaleur du bâtiment. (Belarbi & Faucon, 2007)
Réduction du bruit	Une surface végétalisée avec un substrat de 12 cm pourrait diminuer le bruit extérieur de 40 dB dans l'étage supérieur. (Ernst & Young et Associés, 2009)
Impact sur la qualité de l'air	Les plantes sont capables de fixer une partie des particules polluantes présentes dans l'air. (Ernst & Young et Associés, 2009)
Compatibilité des toitures vertes avec des capteurs solaires	Compatibilité entre les TTV et les capteurs solaires sous réserve du respect du DTU 43.1 et justifications complémentaires pour la réalisation et entretien courant des ouvrages d'étanchéité en toute sécurité et en particulier des relevés et des entrées d'eaux pluviales. La végétation, en limitant la réverbération du soleil sur le toit et y réduisant la température, augmentent la durée de vie des panneaux solaires et leur efficacité (Seine-Saint-Denis - Bruxelles Environnement IBGE, 2010)

4. Focus sur le fonctionnement hydrique d'une toiture terrasse végétalisée

Une question posée depuis bientôt une décennie

Depuis une dizaine d'années, un nombre croissant de travaux s'est intéressé au comportement hydrique des TTV. Récemment, la contribution potentielle des TTV à la meilleure gestion des eaux pluviales à l'échelle urbaine a été analysée notamment via les travaux de recherche TVGEP⁶. L'Allemagne ayant été parmi les premiers pays européens avec les pays scandinaves à mener une réelle politique de promotion des TTV, on y trouve les articles scientifiques les plus anciens sur le sujet. La plupart des études allemandes ont été réalisées entre 1980 et 2000. A partir des années 2000, des travaux français, belges, canadiens et américains ont à leur tour été menés sur le fonctionnement et l'intérêt hydrologiques de ces toitures

Des dispositifs expérimentaux et *in situ* ont été suivis afin de caractériser le comportement hydrique des TTV à des échelles de temps événementielles ou annuelles et l'influence de chacune des composantes de la toiture sur son comportement hydrique. Les données acquises ont été utilisées pour élaborer et/ou valider des modèles permettant de simuler le comportement des TTV.

4.1 Le bilan hydrique d'une toiture végétalisée

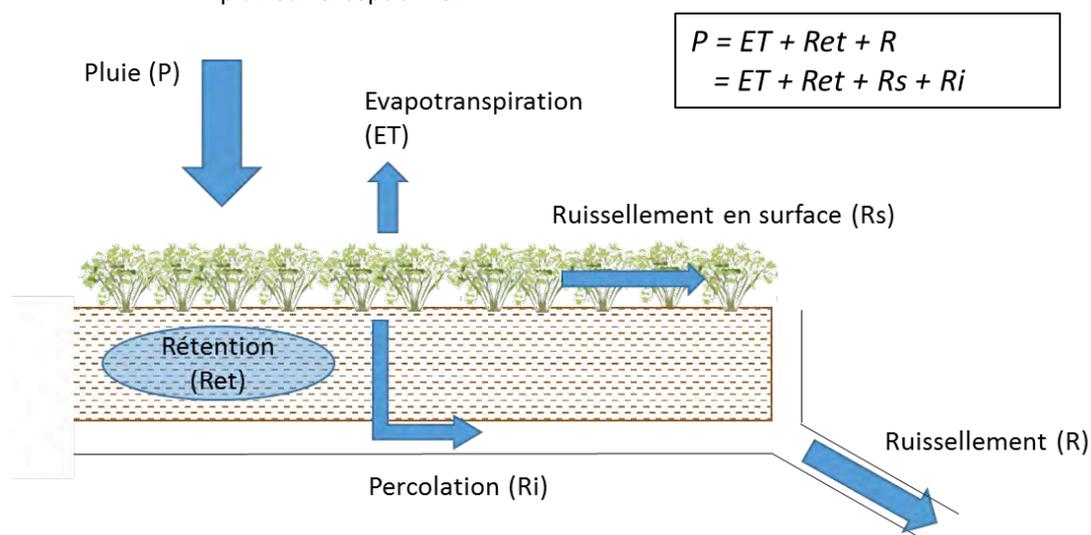
Bilan hydrique d'une toiture végétalisée

Le bilan hydrique d'une TTV est, comme son nom l'indique, un bilan de toutes les entrées et sorties d'eaux au niveau de la toiture. Il s'établit en considérant la distribution de l'eau météorique interceptée lors d'un épisode pluvieux (la pluie P). Une fraction de cette eau est restituée vers l'atmosphère par évapotranspiration (ET), une autre vers la descente d'eau par ruissellement (R). Le reste, retenu dans l'horizon végétalisé (Ret), est susceptible d'alimenter l'évapotranspiration ultérieure ou, à défaut, de rejoindre la descente d'eau lors d'une prochaine pluie.

On notera que l'eau qui rejoint la descente provient :

- soit de la percolation à travers le substrat (Ri), ce qui constitue *a priori* l'essentiel des eaux rejoignant la descente d'eau,
- soit d'un ruissellement à la surface du substrat (Rs), en cas d'évènement pluvieux exceptionnel.

Figure 13
Schéma de fonctionnement d'une toiture terrasse végétalisée (réalisation : F. Bellagamba et SEPIA Conseils)



⁶ Les articles "Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review" de Czemieli-Berndtsson (2010) et "Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?" de Mertens et al. (2006) ainsi que la partie 4 du projet TVGEP et les « toitures végétalisées en Seine-Saint-Denis » sont à consulter pour plus d'information.

Remarque : L'impact des toitures végétalisées sur la gestion des eaux pluviales s'apprécie en évaluant le débit et l'abattement en volume des précipitations qui atteignent la descente d'eau.

4.2 Les facteurs qui influencent le fonctionnement hydrique d'une toiture

L'épaisseur du substrat a une influence sur le volume d'eau rejeté dans l'année...

L'épaisseur et les caractéristiques propres du substrat ont une influence directe sur la capacité de rétention et sur le coefficient d'écoulement de la toiture à l'échelle de l'année ou d'une saison. Même si d'autres éléments entrent en jeu à l'échelle de l'évènement pluvieux, il apparaît que le coefficient d'apport, soit la partie de la pluie qui arrive vraiment à l'exutoire, diminue lorsque l'épaisseur du substrat augmente.

Lors d'un évènement pluvieux, l'eau précipitée remplit les pores du substrat jusqu'à ce que sa capacité de rétention soit atteinte. Un substrat plus épais sera plus long à se remplir, et sera ainsi moins souvent saturé à la venue d'un second évènement pluvieux.

La capacité de rétention d'une toiture étant limitée, toute la pluie qui excède cette capacité, percole et/ou ruisselle. Les TTV deviennent donc moins performantes pour de plus grandes hauteurs de pluies ou pour des évènements plus intenses.

Plus le substrat est épais, plus on se rapproche du comportement d'un sol de plein terre : il sera capable de mieux amortir des pluies longues. Une toiture jardin semi-intensive ou intensive est donc plus efficace qu'une toiture extensive pour retenir et ensuite évapotranspirer une pluie d'orage estivale.

... mais n'influence pas le débit de pointe lors des orages exceptionnels

En revanche, la réduction du débit de pointe ne dépend pas exclusivement de **l'épaisseur du substrat**. Elle est aussi influencée par **le type de substrat** et par **les caractéristiques du matériau de drainage**.

Lorsqu'un substrat est complètement saturé, il a tendance à se comporter comme une toiture nue : les eaux précipitées ne sont plus retenues, elles s'écoulent à travers le substrat ou ruissent en surface pour les pluies de plus fortes intensités. Même si la toiture retient une part importante de l'eau au début de la pluie, lorsque celle-ci est saturée, le débit instantané n'est plus écrêté.

Le substrat idéal doit avoir une bonne capacité de rétention en eau et une capacité de drainage : il peut être composé en majeure partie de matériaux minéraux de gros calibre, et de 10 à 30% de matière organique. Une proportion de la fraction minérale peut être de taille plus fine pour améliorer la capacité de rétention d'eau (source : TVGEP).

Le drainage améliore le maintien de la végétation

La **couche de drainage** facilite l'évacuation régulière de l'eau qui a traversé le substrat végétalisé. Elle permet d'éviter la stagnation de l'eau dans celui-ci. Cette couche participe ainsi au bon maintien de la végétalisation en dehors de la période végétative et lors des fortes pluies.

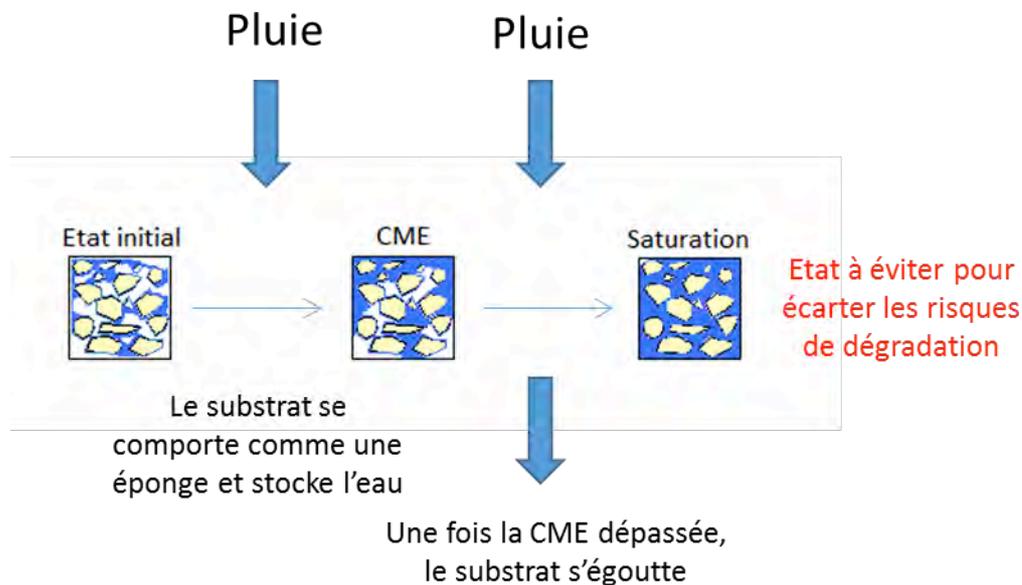
La succession des pluies influence notablement le comportement hydrique d'une TTV au cours de l'année...

Plus le substrat est **chargé en eau au début de la pluie** et plus il sera saturé rapidement. En conséquence, sa capacité de rétention et son effet sur le débit de pointe du ruissellement sont limités et le temps de retard au ruissellement est réduit.

La **Capacité Maximale en Eau (CME)** correspond à la quantité d'eau stockée par les matériaux constitutifs du complexe de végétalisation (Drain, substrat, végétaux, filtre). La CME d'un matériau est connue à partir d'un protocole expérimental qui consiste en une mise en eau à saturation du complexe pendant 24 heures, puis ressuyage pendant 2 heures. Elle correspond au rapport entre le volume d'eau contenu dans le complexe de végétalisation testé et le volume total de celui-ci.

Figure 14

Schéma de principe de la saturation d'un substrat et de son égouttage à saturation (réalisation : SEPIA Conseils)



... mais l'évapotranspiration reste le moteur essentiel de ce fonctionnement.

L'**évapotranspiration** désigne la combinaison de l'évaporation de l'eau à la surface du substrat ou de la végétation et de la transpiration des végétaux, essentiellement limitée à la période végétative (du début du printemps au début de l'automne).

C'est sur ce phénomène que repose l'intérêt majeur de la végétalisation des toitures : à défaut de pouvoir être infiltrée au droit du bâtiment, l'eau retenue par la toiture est en partie évapotranspirée au lieu d'être évacuée par ruissellement dans le réseau d'assainissement pluvial.

4.3 L'expérimentation *in situ* : impacts de la végétalisation à l'échelle de la toiture

Le projet TVGEP : suivi de la toiture du CEREMA à Trappes

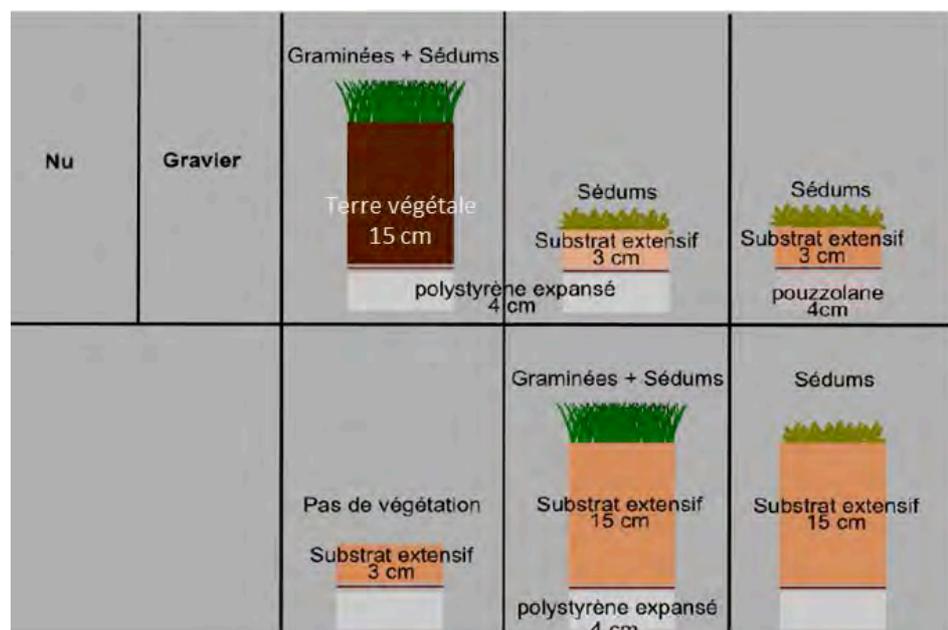
Dans le cadre du projet TVGEP, un banc d'essai avec différentes configurations de substrats et de végétaux a été installé sur le toit d'un des bâtiments du Cerema à Trappes, en juin 2011. L'objectif du projet TVGEP était d'évaluer l'intérêt des TTV pour la gestion quantitative et qualitative des eaux pluviales, en identifiant leurs atouts et limites à l'échelle notamment de la parcelle. La mise en œuvre du banc d'essai a permis d'acquérir des données fines sur une période de 2 ans.

Figure 15
Vue de la toiture du CEREMA de Trappes, et des installations de suivi des différents types de couverture (source : TVGEP)



Cette expérience a permis d'évaluer *in situ* le comportement hydrique de différents types de TTV sur plusieurs cycles saisonniers. Ainsi, 6 compartiments végétalisés ont été aménagés. Pour comparer l'effet des structures végétalisées par rapport aux toitures terrasses non végétalisées, un compartiment a été équipé de sa seule étanchéité (Nu) et un autre couvert de graviers (Gravier).

Figure 16
Plan schématique de la toiture du CEREMA de Trappes pendant l'expérimentation (Rapport projet TVGEP-Suivi hydrique de toitures végétalisées et modélisation, 2013)



Les résultats obtenus au bout de deux années de recherche ont fait émerger quelques résultats significatifs :

- **d'un point de vue quantitatif**

A l'échelle de l'année, l'abattement de l'eau rejetée en aval de la toiture est notable. Ainsi sur l'année, la perte de volume est de 30 % pour le compartiment témoin nu (étanchéité nue) tandis qu'il est de 47 % à 71 % pour les compartiments végétalisés.

A l'échelle de l'événement pluvieux, il y a une grande variabilité de l'efficacité des TTV en fonction de leurs conditions initiales de saturation en début d'évènement et de l'intensité de la pluie. Pour les compartiments végétalisés, le pourcentage d'évènements qui produisent des rejets varie entre 50 et 64 %. En d'autres termes, la moitié des pluies n'ont pas provoqué de rejets (coefficient de ruissellement de la TTV égal à 0). Pour l'autre moitié, les rejets étaient significatifs avec des coefficients de ruissellement maximum tous supérieurs à 0,88.

L'abattement des pluies augmente avec l'épaisseur du complexe de végétation. Pour des compartiments présentant la même végétation (sédum), le compartiment présentant une épaisseur de substrat de 3 cm produit du ruissellement avec un coefficient de ruissellement annuel à 0,53, alors que pour un compartiment avec une épaisseur de substrat de 15 cm, le coefficient est de 0,36.

A l'échelle de l'événement pluvieux, une TTV extensive (3 cm d'épaisseur de substrat) peut abattre de l'ordre de 9 mm de pluie. Cet abattement s'élève à 15 mm lorsque l'épaisseur de substrat atteint 15 cm (source : outil d'aide à l'évaluation des performances hydrologiques TVGEP).

Les mesures *in situ* ont montré que la part de l'eau stockée par la toiture à chaque pluie est beaucoup plus faible en hiver (2% à 40%) qu'en été (28% à 88%). En effet, la période hivernale est beaucoup moins propice à l'évapotranspiration et explique que le substrat conserve une partie de l'eau et soit plus rapidement saturé. C'est donc durant le reste de l'année que les TTV réduisent significativement la quantité d'eau rejoignant la descente d'eau par évapotranspiration. C'est aussi durant ces périodes, que l'intensité des évènements pluvieux est la plus préjudiciable au fonctionnement des réseaux d'assainissement.

Ces résultats ont été corroborés par des expérimentations menées sur des TTV réelles dans les départements des Hauts-de-Seine, sur le toit d'une crèche à Clamart, et de la Seine-Saint-Denis, sur le toit de la Direction de l'Eau et de l'Assainissement à Rosny-sous-Bois.

Figure 17
TTV de la Direction de l'Eau et de l'Assainissement du Conseil Général 93 à gauche (CD93), et TTV de la crèche Renaudin à Clamart (CD92)



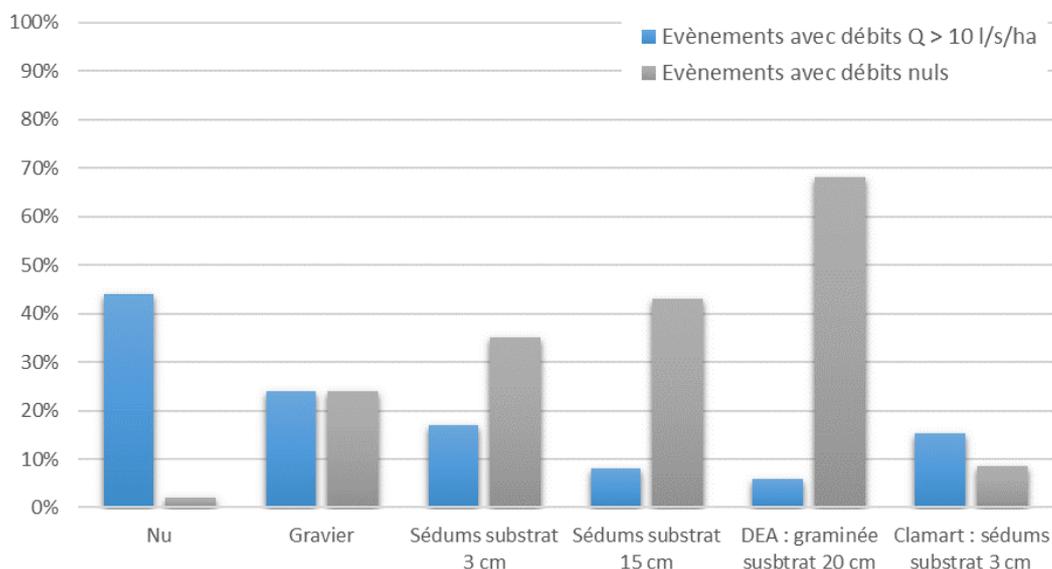
La TTV de la toiture de Clamart est constituée d'une couche de drainage en polystyrène, de 3 cm de substrat et d'une végétation composée d'un mélange de sédums. Elle est donc similaire à un des compartiments de la TTV de Trappes avec cependant une végétation moins développée. Des abattements en volume de 47 % ont été observés.

La toiture de la DEA 93 est composée de 20 cm de terre végétale recouvert de graminée. Elle s'apparente ainsi à une toiture semi-intensive. Les observations ont montré que 70% de la pluie annuelle était retenue. Ces résultats sont proches de ceux obtenus pour les TTV de 15 cm à Trappes. Seul 30 % des évènements pluvieux produisent du ruissellement et la rétention en hiver est encore de 57 %. Ce type de toiture permet donc une rétention annuelle plus homogène, due à une capacité de rétention plus importante. Cependant, il faut également noter que pour quelques évènements, il n'y a aucune rétention.

En termes de débit, les maximums observés sont compris entre 33 et 47 l/s/ha pour les toitures végétalisées et atteignent 57 et 85 l/s/ha pour la toiture Gravier et la toiture Nu, respectivement.

Le graphique ci-dessous présente pour différents types de TTV la proportion d'évènements avec un débit observé supérieur à 10 l/s/ha ou avec un débit nul.

Figure 18
Proportion d'évènements avec débits supérieurs à 10 l/s/ha et avec débits nuls pour différents types de toitures (réalisation SEPIA Conseils)



Les évènements générant un débit nul sont généralement plus fréquents avec la mise en œuvre d'une toiture végétalisée, et les évènements produisant un débit supérieur à 10 l/s/ha sont plus rares, mais représentent toujours entre 6 et 17% des évènements selon le type de toiture.

Une toiture végétalisée est donc efficace pour l'atténuation des débits mais, avec les configurations de toitures observées, les objectifs de régulation de débits en sortie, par exemple à 10 l/s/ha, peuvent ne pas être respectés continuellement.

➤ **d'un point de vue qualitatif**

La qualité des eaux issues de TTV

Les résultats en termes de qualité des eaux dépendent des contaminants considérés. Les concentrations observées sont du même ordre de grandeur ou inférieures à celles observées dans les eaux de ruissellement urbaines, et notamment de voirie, à l'exception de fortes concentrations en nutriments et en matière organique.

En moyenne annuelle, la TTV se comporte comme un piège pour des contaminants atmosphériques tels que les HAP (Hydrocarbures aromatiques polycyclique) : les flux de HAP dans les volumes ruisselés sont environ 5 fois plus faibles pour une TTV que pour une toiture bituminée. Si certains contaminants peuvent provenir directement des matériaux mis en œuvre pour l'étanchéité, le drainage ou le substrat, ce flux de polluants **n'apparaît pas comme un facteur limitant** pour la mise en œuvre des TTV.

Par ailleurs, un apport excessif de nutriments provenant de TTV alimentant un milieu aquatique clos peut générer un phénomène d'eutrophisation. Il convient donc de **limiter au strict nécessaire les apports de fertilisants**.

De même, l'utilisation de phytosanitaires sur les TTV n'est pas recommandée. De plus, l'utilisation de produits phytosanitaires sera interdite à partir de 2017 pour les collectivités locales et 2019 pour les particuliers, selon la loi Labbé modifiée par la loi relative à la transition énergétique du 22 juillet 2015. **Les pratiques de désherbage mécanique sont donc à privilégier.**

4.4 Modélisation hydraulique : impacts de la végétalisation à l'échelle du bassin versant

La végétalisation massive des toitures peut avoir un impact sensible sur les débits et le volume ruisselé à l'aval d'un quartier

A l'aide de l'instrumentation mise en place à Trappes lors du projet TVGEP, un modèle mathématique simple a été développé pour simuler le comportement hydrique des TTV. Associé à un modèle pluie-débit, il a été ensuite utilisé pour évaluer l'impact d'une végétalisation des toitures sur la gestion des eaux pluviales sur différents bassins des Hauts-de-Seine et de Seine-Saint-Denis. Il en ressort que :

- *en moyenne*, 1 ha de TTV (**extensives à semi-intensives**) engendre sur ces territoires, une réduction du ruissellement de l'ordre de 3000-4000 m³ à l'année, soit l'abattement de 300-400 mm de précipitations ;
- le potentiel de végétalisation des toits est spatialement très variable, car il dépend de l'urbanisme et des caractéristiques des bâtiments. Il peut atteindre plus de 50% de la surface à l'échelle d'un quartier, et est généralement inférieur à 30% à l'échelle d'un bassin versant urbain ;
- il est nécessaire d'avoir une végétalisation conséquente (au moins 10 % de la surface du bassin versant) pour en constater les effets : à l'échelle de l'événement, le débit de pointe diminue alors de près de 20% et le volume ruisselé de près de 8% dans plus de 80% des cas ;
- au niveau des réseaux d'assainissement publics, l'implantation de TTV atténue les déversements et, dans une moindre mesure, les débordements ;
- l'impact des TTV sur le ruissellement est plus fort pour les événements courants que pour des épisodes pluvieux très longs et/ou très intenses.

4.5 En résumé

Les TTV ont un rôle positif à jouer dans la gestion des eaux pluviales dans la mesure où elles retiennent une partie des eaux précipitées, ces eaux étant restituées dans l'atmosphère par évapotranspiration pendant la période végétative. On retiendra que :

- ✓ à l'échelle de l'année et plus particulièrement pendant la période végétative, **les TTV réduisent notablement le volume d'eau rejeté** vers le réseau d'assainissement,
- ✓ à l'échelle d'un évènement pluvieux, **les TTV amortissent le débit de pointe et le volume rejeté**, et induisent un temps de retard à la restitution ; l'amortissement est toutefois peu sensible si l'évènement pluvieux est intense, en dehors de la période végétative et/ou si plusieurs évènements se succèdent,
- ✓ **les TTV intensives auront plus d'impacts** que les TTV extensives,
- ✓ les TTV bien conçues et bien exploitées **ne présentent pas un risque en termes de qualité des eaux**.

Les caractéristiques techniques de la TTV, en particulier son épaisseur et la nature du substrat, ainsi que le climat, influencent notablement son comportement hydrique.

Coefficients de ruissellement simplifiés retenus par les Départements 92 et 93

Quel impact sur le ruissellement ?

La nature et la composition de la toiture terrasse auront un impact direct sur le ruissellement vers l'aval. Les coefficients de ruissellement retenus pour le calcul d'une surface active pour une pluie de période de retour de 10 ans sont :

- de 0 pour une toiture régulée,
- de 0,2 pour une toiture terrasse végétalisée intensive ou pleine terre,
- de 0,4 pour une toiture terrasse végétalisée semi intensive (ou espaces verts sur dalle classiques),
- de 0,6 pour une toiture terrasse végétalisée extensive,
- de 0,7 pour une toiture terrasse gravillonnée,
- de 0,95 pour une toiture nue.

En conséquence le volume d'eau à gérer au sol sera d'autant plus minoré que le coefficient de ruissellement de la toiture est faible

5. Les toitures terrasses végétalisées : une opportunité pour répondre à la réglementation

5.1 Une réglementation visant à limiter le ruissellement

Une réglementation limitant le ruissellement afin de protéger le milieu naturel et les réseaux d'assainissement ...

Pour l'agglomération parisienne, la réglementation des conditions de rejet des eaux pluviales à l'aval d'un aménagement dépend de la nature de l'exutoire qui va recevoir ces eaux :

- ✓ si le rejet se fait vers un réseau d'assainissement, c'est le maître d'ouvrage de ce réseau (SIAAP, départements, communes ou EPCI) qui établit les conditions de rejet, via une convention de rejet élaborée à partir du règlement d'assainissement et/ou des articles spécifiques dans les documents d'urbanisme ;
- ✓ si le rejet se fait vers un cours d'eau ou vers le sol par infiltration, c'est la police de l'eau (DRIEE) qui veille :
 - à l'application des articles L 214-1 et suivants du code de l'environnement ;
 - le cas échéant, au respect des prescriptions établies dans le règlement du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)

De plus, tout aménagement doit être compatible avec le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE).

... et privilégiant l'infiltration et la gestion à la source des eaux pluviales

L'objectif partagé par l'ensemble des maîtres d'ouvrage est la limitation des rejets vers les réseaux publics. En effet, afin de réduire l'imperméabilisation et favoriser la « non connexion » des eaux de ruissellement, la priorité est donnée à l'infiltration et aux dispositifs de stockage des eaux pluviales à ciel ouvert favorisant l'intégration paysagère. Lorsqu'une gestion totale n'est pas possible, ces solutions ont l'avantage de favoriser un abattement partiel des volumes dès les plus petites pluies. Une régulation des débits est alors imposée en sortie de parcelle ou d'aménagement.

Que disent les règlements d'assainissement dans les Hauts-de-Seine et en Seine-Saint-Denis pour la gestion des eaux pluviales ?

Le règlement d'assainissement des Hauts-de-Seine

Le Département des Hauts-de-Seine précise dans son règlement d'assainissement, en particulier dans le chapitre IV, les conditions de rejet des eaux pluviales vers le réseau départemental. La première solution recherchée doit être la gestion des eaux pluviales à la parcelle sans raccordement au réseau public. En cas d'impossibilité, un rejet vers le réseau public peut être accepté et limité, pour une pluie de période de retour décennale, à 2 l/s/ha si le réseau est unitaire et à 10 l/s/ha si le réseau est pluvial strict.

Le règlement d'assainissement de Seine-Saint-Denis

Le Département de la Seine-Saint-Denis précise, à travers son règlement de service, les conditions de rejet des eaux pluviales vers son réseau d'assainissement. La gestion des eaux pluviales à la parcelle, sans raccordement au réseau public doit être la première solution recherchée. Toutefois, lorsque l'infiltration à la parcelle de l'intégralité des eaux pluviales n'est pas possible, le propriétaire peut solliciter l'autorisation de raccordement au réseau pluvial. Conformément au règlement, les eaux pluviales n'ayant pu être infiltrées sont soumises à des limitations de débit de rejet, afin de limiter, à l'aval, les risques d'inondation ou de déversement d'eaux polluées au milieu naturel. Une carte des débits acceptables au réseau de 0,4 l/s/ha à 10 l/s/ha, pour une pluie de période de retour décennale a été élaborée.

5.2 Les toitures terrasses végétalisées répondent-elles à ces objectifs réglementaires ?

Une participation très intéressante à l'abattement des volumes rejetés dans les réseaux collectifs

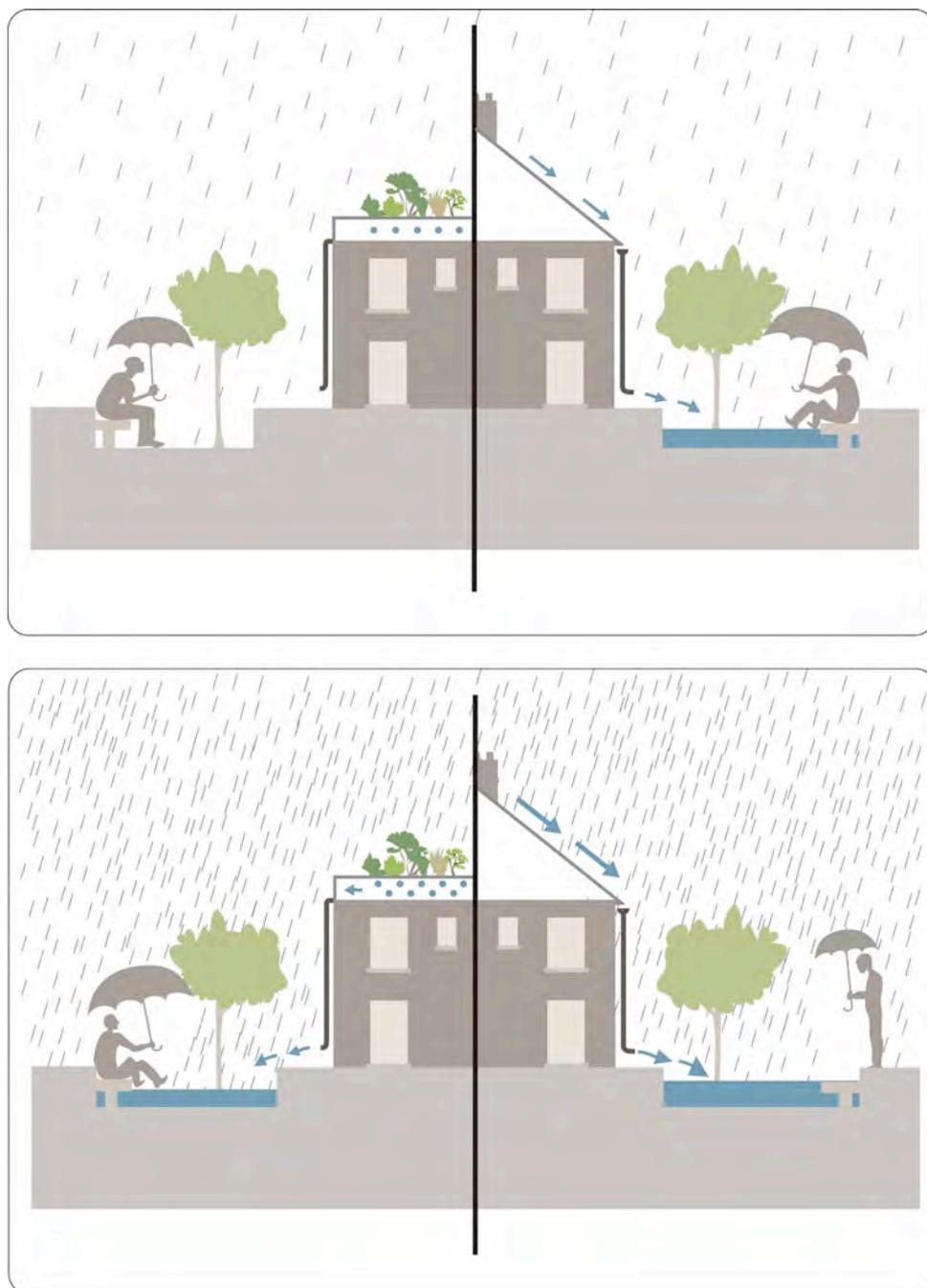
Suivant le type de TTV utilisé (intensif, semi intensif ou extensif), en fonction de l'épaisseur du substrat, de sa nature et de la végétation, la gestion à la source des eaux pluviales peut être totale ou partielle.

Lorsque le type de structure mis en place ne permet pas la gestion totale de la pluie décennale par exemple, celui-ci doit être complété par un dispositif de contrôle de débit :

- soit directement en toiture (cf. encadré TT régulée p.37)
- soit au sol via des espaces complémentaires (par exemple zone d'infiltration, espace public inondable - cf. Figure 19)

Figure 19

La TTV limite la fréquence d'inondation des espaces aménagés en pied de bâtiment (réalisation : F. Bellagamba pour SEPIA Conseils)



LA RETENTION TEMPORAIRE DES EAUX PLUVIALES SUR TOITURE TERRASSE : UN BASSIN SUR LE TOIT



Source : CD92

Une toiture terrasse nue ou gravillonnée, peut être aménagée pour retenir temporairement des eaux de pluie sur une toiture béton.

L'aménagement consiste à placer une rehausse au niveau de chaque évacuation (photo ci-contre). Le contrôle du ruissellement est assuré par des limiteurs de débits, soit le percement de plusieurs orifices, dont le nombre variera avec la surface de toiture gérée, d'environ 10 mm de diamètre à la base de cette rehausse afin de permettre une vidange lente de la toiture.

Sur une toiture nue, la rehausse sera égale à la lame d'eau à stocker pour une pluie décennale, soit environ 4 à 5 cm. Au-delà, le fonctionnement hydraulique s'effectue par surverse sans régulation. Dans le cas d'une toiture gravillonnée ou autre type d'aménagement (substrat, sous couche drainante...), la hauteur de la surverse devra être calculée en tenant compte du pourcentage de vide du matériau.

Exemple : pour une couche de gravier de 10 cm, la hauteur de la surverse sera située à 11 cm de la surface du toit (pour une lame d'eau de 4 cm : 10 cm de gravier à 30% de vide est équivalent à $10 \times 0,3 = 3$ cm d'eau stockée + 1 cm d'eau au-dessus du gravier)

Pour prévenir les risques de colmatage, une protection du limiteur grâce à une crapaudine doit absolument être prévue.

NB : le DTU 43.1 fixe la superficie maximale collectée par une entrée d'eau à 700 m², et à 200 m² dans le cas de toitures accessibles aux piétons avec protection par dalles sur plots.

Le stockage des eaux pluviales peut également se faire sur une TTV grâce à un limiteur de débit.
Le schéma de la partie 3.1 (Figure 3 p.16) devient alors :

Figure 20
Coupe type d'une TTV
avec limiteur de débit
(réalisation : F.
Bellagamba pour SEPIA
Conseils)

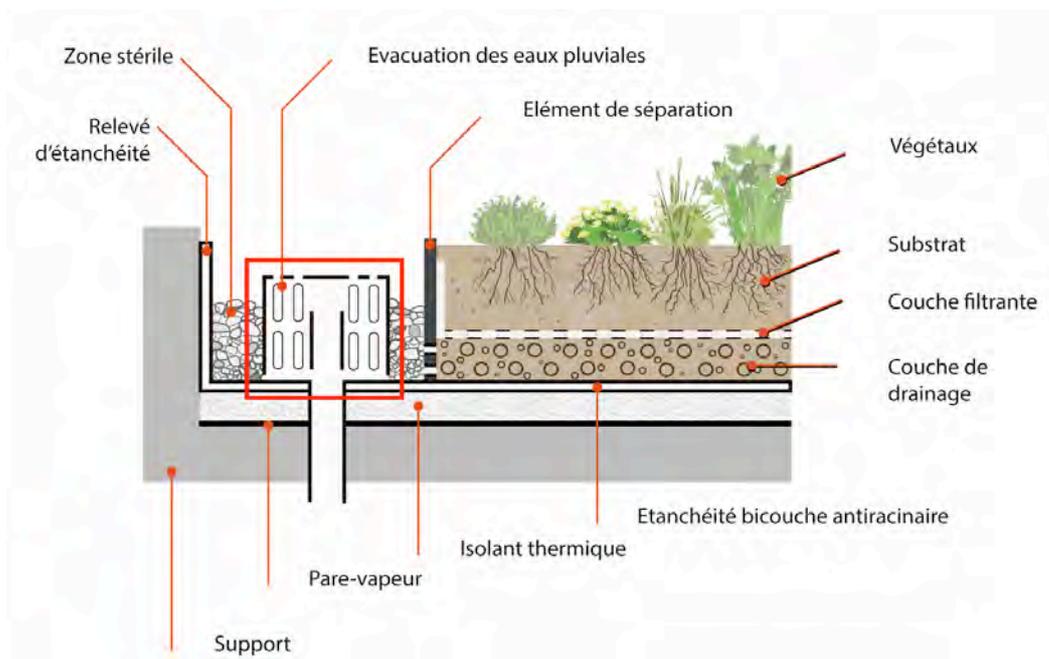
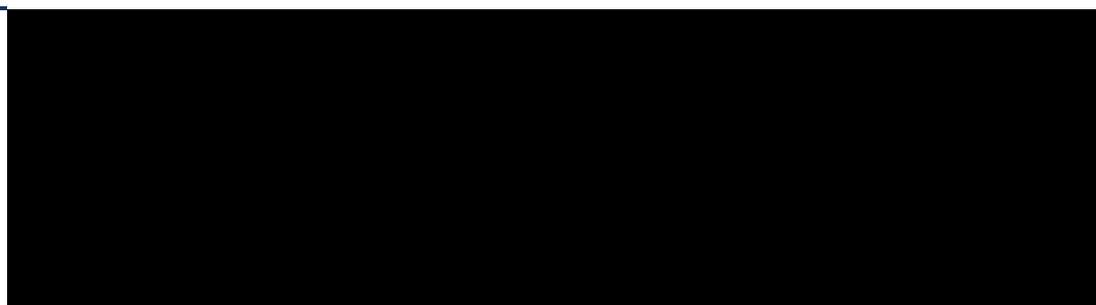


Figure 21
Principe de
fonctionnement d'une
toiture terrasse à débit
limité lors d'un fort
épisode pluvieux
(réalisation : F.
Bellagamba pour SEPIA
Conseils)

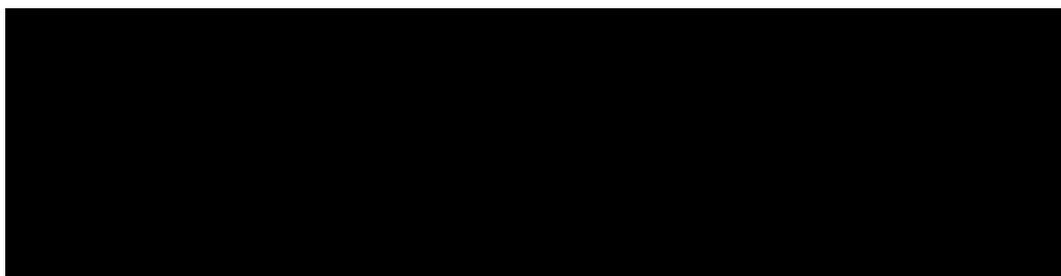


*Des dispositifs
complémentaires en
toiture permettent de
répondre aux objectifs
réglementaires*

Les autres systèmes proposés par les professionnels pour améliorer les performances des TTV sont basés sur le concept d'une couche drainante alvéolaire en polymères, au taux de vide très élevé. Deux types de dispositifs se distinguent :

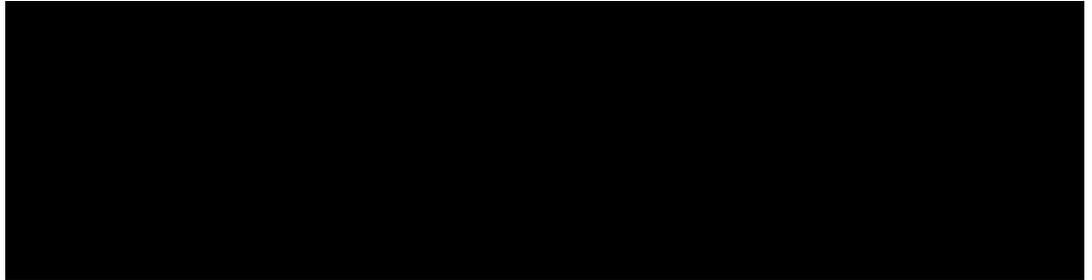
- ✓ Le système de végétalisation pour la rétention temporaire des eaux pluviales est composé de haut en bas de la couche du substrat de végétalisation, d'un géotextile, d'une structure réservoir alvéolaire et d'une structure drainante. Une fois la CME du complexe de végétation dépassée, l'eau s'écoule dans la structure alvéolaire. Celle-ci se vidange à débit limité selon le même principe qu'une toiture terrasse régulée décrite ci-dessus.

Figure 22
Principe de
fonctionnement d'une
TTV équipée d'un niveau
de stockage sous le
niveau de drainage
(réalisation : F.
Bellagamba pour SEPIA
Conseils)



- ✓ Le système de stockage des eaux pluviales est multifonctionnel :
 - de petits réservoirs alvéolaires stockent une réserve en eau pour les plantes ;
 - le volume de vide situé sous ces réservoirs assure le stockage temporaire des eaux excédentaires, avec vidange à débit limité selon le même principe qu'une toiture terrasse régulée.

Figure 23
Principe de fonctionnement d'une TTV équipée d'un niveau de stockage sous le niveau de drainage et d'une réserve pour les végétaux (réalisation : F. Bellagamba pour SEPIA Conseils)



Les dispositifs complémentaires au sol

Le respect des conditions de rejet prévues par les règlements d'assainissement des deux Départements des Hauts-de-Seine et de Seine-Saint-Denis peut impliquer le recours à des ouvrages complémentaires au sol en complément d'une TTV.

Ces dispositifs complémentaires doivent être choisis en fonction de l'espace disponible et de l'organisation de l'aménagement, en valorisant autant que possible les aménagements et les éléments de paysage prévus : espace vert inondable (noue, fossé drainant, bassin d'infiltration...), place ou parking inondables, chaussée à structure réservoir ...

Afin de rendre une place à l'eau dans la ville, on favorisera des ouvrages permettant un écoulement gravitaire en surface et une déconnexion au réseau par infiltration et évapotranspiration. De plus, ce fonctionnement facilite l'accessibilité et l'entretien du système.

Ainsi, on évitera le recours systématique aux installations enterrées, de type bassin de stockage/restitution, qui peuvent connaître des défauts d'entretien et sont liés à des difficultés de diagnostic des dysfonctionnements, et qui de plus nécessitent souvent un pompage pour relever les eaux vers leur exutoire, ce qui revient à enterrer en sous-sol des eaux de ruissellement de toiture puis à les pomper pour les remonter à un niveau permettant de les évacuer.

L'évapotranspiration induite par la végétation permet de réduire la fréquence d'inondation vers les installations situées à l'aval des toitures. Ainsi, les ouvrages au sol dévolus à des aménités multiples (espaces verts, terrains de sports, places urbaines...) sont plus souvent disponibles aux autres usages que la gestion stricte de l'eau.

Des plaquettes d'information et guides techniques sont disponibles sur le site internet de chaque Département (www.hauts-de-seine.fr ; www.seine-saint-denis.fr).

Répondre aux objectifs de qualité

La maîtrise des rejets par temps de pluie est un enjeu essentiel pour la qualité des cours d'eau, et la mise en œuvre de TTV permet de réduire les volumes collectés par temps de pluie, et donc de limiter l'impact environnemental de l'imperméabilisation des sols.

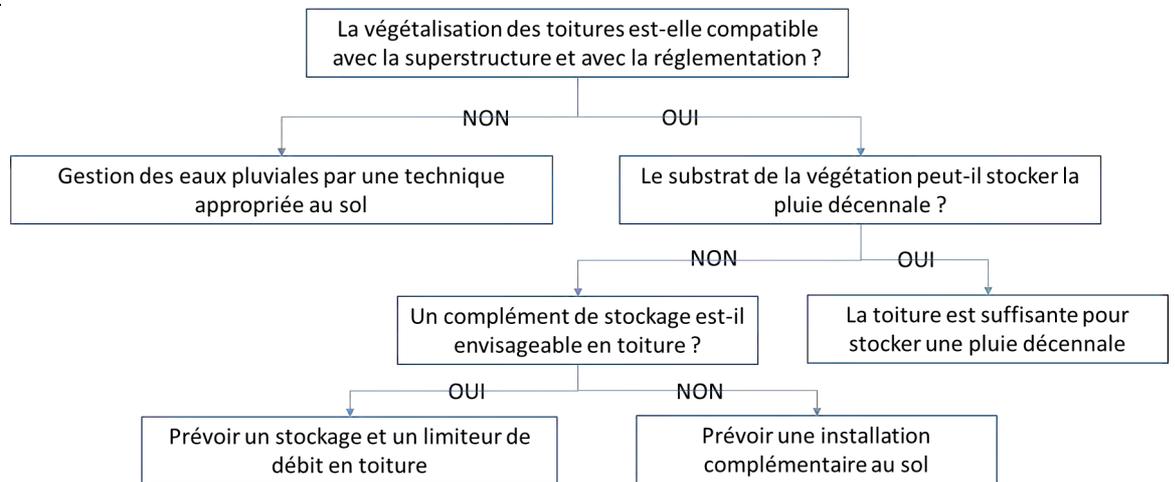
Les TTV permettent également de produire des eaux de ruissellement ayant des concentrations en contaminants plus faibles que des eaux de ruissellement urbaines.

Dans le cas de rejets des eaux de toitures vers des milieux aquatiques clos, tels que mares et petits bassins, on évitera les traitements et les apports de fertilisant au niveau de la toiture végétalisée qui pourraient dégrader la qualité de ces milieux du fait de fortes concentrations en nutriments.

5.3 Arbre de décision

Le logigramme ci-dessous permet de déterminer si la végétalisation des toitures est adaptée au contexte et quels dispositifs complémentaires de gestion des eaux pluviales devront être prévus selon les cas.

Figure 24
Logigramme pour la gestion des eaux pluviales à l'aide de TTV



6. Conclusion

Après avoir porté une attention particulière à la gestion des pluies exceptionnelles qui engendraient des débordements de leurs réseaux et des déversements en Seine, les collectivités, et en particulier les Départements des Hauts-de-Seine et de Seine-Saint-Denis, envisagent maintenant l'amélioration des conditions de restitution des pluies les plus courantes au milieu naturel.

L'objectif de « bon état » de la Seine en 2027 est une échéance ambitieuse qui s'est ajoutée à la volonté largement partagée de rechercher par tous les moyens des solutions durables pour que la Seine et de manière générale les masses d'eaux de nos territoires redeviennent des milieux de qualité.

Les solutions favorisant l'infiltration et l'évapotranspiration sont particulièrement adaptées à cette ambition puisqu'elles permettent de soustraire de la collecte par les réseaux la plupart des pluies courantes. **La végétalisation des toitures terrasses est ainsi une des solutions pertinentes pour réduire les volumes d'eaux de ruissellement rejoignant les réseaux.**

Les expériences menées sur le sujet depuis plusieurs années, et notamment le projet TVGEP en 2011 en Ile-de-France, permettent de proposer des caractéristiques hydrologiques moyennes pour un toit végétalisé. On retiendra qu'un hectare de TTV extensive engendre une réduction du ruissellement de l'ordre de 3 000 à 4 000 m³ à l'année, soit l'abattement de 50 à 60 % de la hauteur moyenne des précipitations.

Plus la hauteur de substrat sera élevée, plus l'abattement sera important.

De plus, la végétalisation d'une toiture, grâce à un coefficient de ruissellement plus faible, permet également de réduire le volume de rétention nécessaire au sol pour respecter les règles établies par les collectivités en matière de débit autorisé dans les réseaux.

Enfin, des dispositifs de stockage alvéolaires aménageables en toiture sous le substrat végétalisé avec contrôleur de débit sont maintenant proposés par les professionnels pour répondre totalement aux règles de gestion à la source des eaux pluviales sans qu'un stockage complémentaire soit nécessaire au sol. Ils permettent ainsi de gérer en toiture autant les pluies courantes que les pluies plus exceptionnelles.

A noter qu'un entretien régulier, même s'il reste limité, est indispensable à la fois pour l'étanchéité de l'installation et pour la végétation. Un entretien formalisé, éventuellement délégué à un prestataire externe, doit être prévu dès l'amont du projet et mis en place pour pérenniser les bénéfices associés à la végétalisation.

La végétalisation des toitures terrasses est donc identifiée aujourd'hui comme **une technique pertinente dans tous les cas pour améliorer la gestion des eaux pluviales en milieu urbain**. Du simple substrat végétalisé de type extensif, à la structure intensive ou au complexe multicouche, les services rendus dans le domaine de la gestion durable de l'eau en ville justifient que les aménageurs leur accordent une attention particulière.

Par ailleurs, la végétalisation contribue à l'amélioration de la qualité de vie en ville grâce à ses effets positifs sur le paysage, le phénomène d'îlot de chaleur et la biodiversité.

7. Bibliographie

Adivet, CSFE, SNPPA and UNEP. Règles Professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées, 2003.

Adivet, CSTB, La toiture végétalisée : historique, enjeux, avantages, chiffres-clés, Colloque Toitures végétalisées : une contribution au développement durable, 2007

APUR, Etude sur le potentiel de végétalisation des toitures terrasses à Paris, avril 2013.

Belarbi R. et Faucon P., La contribution thermique des toitures végétalisées, LEPTAB et ARRDHOR CRITT, colloque Toitures Végétalisées, 5 décembre 2007.

Brenneisen Stephan, Space for Urban Wildlife: Designing Green Roofs as Habitats in Switzerland, Urban Habitats, 4 : 27-36, 2006

Département de Saint-Saint-Denis, Etude sur l'impact de la diffusion des toitures végétalisées sur le ruissellement urbain dans le département de Saint-Saint-Denis, juillet 2013

Département de Seine-Saint-Denis, Natureparif, Plante&Cité, Muséum naturel d'Histoire naturelle, Réaliser des toitures végétalisées favorables à la biodiversité, octobre 2011

Département de Seine-Saint-Denis, Bruxelles Environnement IBGE, Rapport technique Bâtiments exemplaires, Fiche 4.2 : La compatibilité entre les panneaux solaires et la conception des toitures vertes, Bruxelles, 2010

Ernst & Young et Associés – Nice Côte d'Azur, Direction de l'environnement, Etude pour la définition d'une démarche de développement des toitures végétalisées, 2009.

Eurydice 92, Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement, mai 1997

Grand Lyon, Guide méthodologique Aménagement et eaux pluviales, octobre 2013

Ministère de l'Environnement, de l'énergie et de la Mer, Portail d'information sur l'assainissement communal, Glossaire, <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/glossaire.php>

TVGEP, « Conception des Toitures Végétalisées pour la Gestion des Eaux Pluviales urbaines », programme de recherche qui a associé le CSTB, le CETE – Ile de France⁷, le LEESU, l'ADIVET (Association des Toitures Végétales) et la Direction de l'Eau du Conseil Général des Hauts-de-Seine.

UNESCO, Glossaire International d'Hydrologie, <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/FR/GF1150FR.HTM>

⁷ Aujourd'hui, le CEREMA (centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement)

8. Liste des figures

FIGURE 1 PLAN SCHEMATIQUE DU RESEAU DE COLLECTE ET DES INSTALLATIONS D'EPURATION DE L'AGGLOMERATION PARISIENNE (HTTP://WWW.SIAAP.FR)	9
FIGURE 2 TOITURES VEGETALISEES DANS LE VILLAGE DE NORORAGOTA (ILES FEROE -NORVEGE) (CREDIT PHOTO : ERIK CHRISTENSEN) VEGETALISATION DES FORTIFICATIONS DE MONTMEDY (MEUSE) (CREDIT PHOTO : CARTESFRANCE.FR)	12
FIGURE 3 COUPE TYPE D'UNE TOITURE VEGETALISEE (REALISATION : F. BELLAGAMBA POUR SEPIA CONSEILS).....	16
FIGURE 4 POSE D'UNE MEMBRANE D'ETANCHEITE SYNTHETIQUE (WWW.RENOLIT.COM).....	17
FIGURE 5 POSE D'UN REVETEMENT VEGETAL SUR UNE NAPPE DRAINANTE (WWW.COTEMAISON.FR).....	17
FIGURE 6 VISUALISATION D'UNE ZONE STERILE EN GRAVIER.....	18
FIGURE 7 COUPE ANALYSEE D'UNE TERRASSE A CHATENAY-MALABRY (92) (CD92)	18
FIGURE 8 DISPOSITIF D'EVACUATION DES EAUX PLUVIALES SUR UN COLLEGE A ISSY-LES-MOULINEAUX (92) (CD92)	19
FIGURE 9 EXEMPLES DE COUPES TYPES DE TTV – COMPARAISON DE GAUCHE A DROITE DES VEGETALISATIONS EXTENSIVES, SEMI-INTENSIVES ET INTENSIVES (REALISATION : F. BELLAGAMBA POUR SEPIA CONSEILS)	20
FIGURE 10 LE JARDIN ATLANTIQUE SUR LES VOIES DE LA GARE MONTPARNASSE A PARIS (CONCEPTION : BRUN, PENNA ET SCHNITZLER).....	21
FIGURE 11 VEGETALISATION EXTENSIVE DU TOIT DU MINISTERE DES FINANCES A NOISY-LE-GRAND (93) – ARCHITECTE PAUL CHEMETOV – © ECOVEGETAL.....	21
FIGURE 12 VEGETALISATION SEMI-INTENSIVE SUR UNE RESIDENCE A BOULOGNE-BILLANCOURT (92) (CD92)	22
FIGURE 13 SCHEMA DE FONCTIONNEMENT D'UNE TOITURE TERRASSE VEGETALISEE (REALISATION : F. BELLAGAMBA ET SEPIA CONSEILS).....	24
FIGURE 14 SCHEMA DE PRINCIPE DE LA SATURATION D'UN SUBSTRAT ET DE SON EGOUTTAGE A SATURATION (REALISATION : SEPIA CONSEILS)	26
FIGURE 15 VUE DE LA TOITURE DU CEREMA DE TRAPPES, ET DES INSTALLATIONS DE SUIVI DES DIFFERENTS TYPES DE COUVERTURE (SOURCE : TVGEP)	27
FIGURE 16 PLAN SCHEMATIQUE DE LA TOITURE DU CEREMA DE TRAPPES PENDANT L'EXPERIMENTATION (RAPPORT PROJET TVGEP-SUIVI HYDRIQUE DE TOITURES VEGETALISEES ET MODELISATION, 2013)	27
FIGURE 17 TTV DE LA DIRECTION DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT DU CONSEIL GENERAL 93 A GAUCHE (CD93), ET TTV DE LA CRECHE RENAUDIN A CLAMART (CD92).....	28
FIGURE 18 PROPORTION D'EVENEMENTS AVEC DEBITS SUPERIEURS A 10 L/S/HA ET AVEC DEBITS NULS POUR DIFFERENTS TYPES DE TOITURES (REALISATION SEPIA CONSEILS).....	29
FIGURE 19 LA TTV LIMITE LA FREQUENCE D'INONDATION DES ESPACES AMENAGES EN PIED DE BATIMENT (REALISATION : F. BELLAGAMBA POUR SEPIA CONSEILS)	33
FIGURE 20 COUPE TYPE D'UNE TTV AVEC LIMITEUR DE DEBIT (REALISATION : F. BELLAGAMBA POUR SEPIA CONSEILS)	35
FIGURE 21 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE TOITURE TERRASSE A DEBIT LIMITE LORS D'UN FORT EPISODE PLUVIEUX (REALISATION : F. BELLAGAMBA POUR SEPIA CONSEILS).....	35
FIGURE 22 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE TTV EQUIPEE D'UN NIVEAU DE STOCKAGE SOUS LE NIVEAU DE DRAINAGE (REALISATION : F. BELLAGAMBA POUR SEPIA CONSEILS).....	35
FIGURE 23 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE TTV EQUIPEE D'UN NIVEAU DE STOCKAGE SOUS LE NIVEAU DE DRAINAGE ET D'UNE RESERVE POUR LES VEGETAUX (REALISATION : F. BELLAGAMBA POUR SEPIA CONSEILS) .	36
FIGURE 24 LOGIGRAMME POUR LA GESTION DES EAUX PLUVIALES A L'AIDE DE TTV	38

9. Glossaire

Bassin versant : Etant donné un réseau d'évacuation des eaux pluviales, naturel et/ou artificiel, enterré et/ou de surface, on appelle bassin versant l'ensemble constitué par ce réseau et les surfaces qui potentiellement contribuent à l'alimentation de ce réseau, par ruissellement de surface des eaux d'origine météorique (Eurydice 92).

Capacité Maximale en Eau (CME) : Quantité d'eau stockée par les matériaux constitutifs du complexe de végétalisation (drain, substrat, végétaux, filtre).

Coefficient d'apport (Ca) : Coefficient qui mesure le rendement global de la précipitation, soit la partie de la pluie qui arrive vraiment à l'exutoire. Si le bassin versant est très urbanisé, on peut dire que le coefficient d'apport est égal au coefficient de ruissellement. Il permet de calculer le volume des bassins de retenue. Le produit du coefficient d'apport par la surface du bassin versant fournit la valeur de la surface active du bassin versant (Eurydice 92).

Coefficient d'écoulement : Coefficient correspondant au rapport entre la quantité d'eau écoulée et la quantité d'eau précipitée, pour un bassin versant et une durée définie, par exemple à l'échelle d'un cours d'eau et pour une année. Ce coefficient n'implique pas que toute l'eau écoulée provienne des précipitations considérées, ni que toutes les précipitations non évapotranspirées se soient écoulées.

Coefficient de ruissellement (Cr) : Coefficient correspondant au rapport entre la hauteur d'eau ruisselée à la sortie d'une surface et la hauteur d'eau précipitée sur cette surface. Il permet de calculer le débit à l'exutoire d'un bassin versant (Eurydice 92).

Débit de pointe : Débit maximal pour une précipitation donnée.

Évaporation : Transformation de l'eau en vapeur, sous l'influence de la chaleur (Grand Lyon).

Évapotranspiration : Quantité d'eau transférée vers l'atmosphère par évaporation au niveau du sol et prélèvement d'eau dans un sol par la végétation pour assurer sa croissance ou sa survie. L'évapotranspiration s'exprime en lame d'eau (mm) (Eurydice 92).

Exutoire : Point de sortie d'un réseau d'assainissement ou d'un bassin versant

Gestion intégrée des eaux pluviales : Principe de gestion des eaux pluviales reposant sur une stratégie d'évaporation et d'évapotranspiration, d'infiltration, d'utilisation ou de restitution différée de l'eau vers le milieu naturel ou vers un réseau. Il s'agit par conséquent d'une gestion « au plus près de la source » qui s'inscrit dans une démarche de valorisation des eaux pluviales et de limitation des infrastructures dédiées aux seuls transport et traitement de ces eaux.

Limiteur/régulateur de débit : Dispositif permettant de réguler le débit en sortie d'un ouvrage de stockage (Grand Lyon).

Matières en suspension (M.E.S.) : Matières non dissoutes contenues dans l'eau et maintenues en suspension dans le liquide sous l'action de la turbulence (Eurydice 92)

Matières minérales : Par opposition aux matières organiques qui évoluent dans le temps, les matières minérales sont stables biologiquement. C'est le cas du sable par exemple (Grand Lyon).

Matières organiques : Matières biodégradables caractéristiques des organismes vivants (plantes, animaux). Les déjections sont des matières organiques (Grand Lyon).

Mecoprop : Substance active herbicide présente dans de nombreux produits à usage domestique pour tuer les mauvaises herbes.

Milieu récepteur ou milieu naturel : Lieu où sont déversées les eaux épurées ou non. Il peut s'agir d'une rivière, d'un lac, d'un étang, d'une nappe phréatique ou encore de la mer (Grand Lyon).

Réseau unitaire : Réseau d'assainissement constitué d'une seule canalisation pour les eaux usées et les eaux pluviales (Ministère).

Réseau séparatif : Réseau d'assainissement constitué de deux canalisations bien distinctes : l'une assurant la collecte et le transport des eaux usées, l'autre celui des eaux pluviales (Ministère).

Réseau collectif : Collecte par les réseaux publics d'assainissement pour acheminement dans une station d'épuration pour traitement (Ministère).

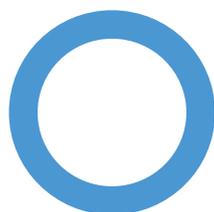
Réserve utile : Eau présente dans le sol, qui est utilisable par la plante : elle est exprimée en millimètres.

Ressuyage : Action d'ôter l'humidité d'un objet ou d'un milieu pour le sécher – en hydrologie, le ressuyage consiste en un mouvement de l'eau libre contenue dans le sol qui s'écoule sous l'effet de la gravité et libère ainsi sa macro-porosité (UNESCO)

10. Abréviations

SIAAP : Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne

TTV : Toiture terrasse végétalisée



Ce guide, à la rédaction duquel a participé le Département de la Seine-Saint-Denis, a été élaboré par Daniel PIERLOT (SEPIA Conseils) assisté de Bernard DE GOUVELLO (Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains - LEESU) pour l'expertise et la compréhension des différents travaux menés dans le projet TVGEP (Toitures Végétalisées pour la Gestion des Eaux Pluviales).

Ont également collaboré à la direction de ce guide Christophe LEHOUCQ et Charles BERTRAND pour le Département des Hauts de Seine et Julien PAUPARDIN pour la Direction de l'Eau et de l'Assainissement du Département de la Seine-Saint-Denis.

Les auteurs sont Daniel PIERLOT, Sophie RAVEL & Alexandre SANTINI, SEPIA Conseils.