



Aménagement et choix des végétaux des ouvrages de gestion des eaux pluviales de proximité

Rapport final

Alain SAUVE (GENIPLANT)
Florent GLATARD (ARRDHOR – CRITT HORTICOLE)
Philippe FAUCON (ARRDHOR – CRITT HORTICOLE)
Olivier DAMAS (PLANTE & CITE)

Juillet 2014

- **AUTEURS**

Alain SAUVE, ingénieur des Eaux et Forêt (GENIPLANT), a.sauve@geniplant.fr

Florent GLATARD, ingénieur Agronome (ARRDHOR – CRITT HORTICOLE), f.glatard@critt-horticole.com

Philippe FAUCON, ingénieur horticole (ARRDHOR – CRITT HORTICOLE), p.faucon@critt-horticole.com

Olivier DAMAS, chargé de mission (PLANTE & CITE), olivier.damas@plante-et-cite.fr

- **ANIMATION ET COORDINATION**

Céline LACOUR, chargée de mission sur l'eau et les aménagements urbains (ONEMA), celine.lacour@onema.fr

Olivier DAMAS, chargé de mission « Agronomie et artificialisation des sols urbains » (PLANTE & CITE), olivier.damas@plante-et-cite.fr

- **COMITE DE PILOTAGE ET DE RELECTURE**

Nadine AIRES, Direction de la Connaissance et de l'Appui Technique – Service assainissement et milieux urbains (AGENCE DE L'EAU SEINE NORMANDIE), aires.nadine@aesn.fr

Sylvie BARRAUD, directrice de l'Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine (INSA Lyon – OTHU), sylvie.barraud@insa-lyon.fr

Elodie BRELOT, directrice du Groupe de Recherche Rhône-Alpes sur les infrastructures et l'Eau (GRAIE), elodie.brelot@graie.org

Sandrine DEROO, directrice Direction de la Nature, des Paysages et de la Biodiversité (CONSEIL GENERAL DE SEINE-SAINT-DENIS), sderoo@cg93.fr

Céline LAGARRIGUE, Département des Interventions et des Actions de Bassin – Substances dangereuses et collectivités, Procédés épuratoires (AGENCE DE L'EAU RHONE MEDITERRANEE CORSE), celine.lagarrigue@eaurmc.fr

Julien PAUPARDIN, chargé d'études Direction de l'Eau et de l'Assainissement – Bureau de Liaison avec l'Aménagement et l'Urbanisme (CONSEIL GENERAL DE SEINE-SAINT-DENIS), jpaupardin@cg93.fr

Ronan QUILLIEN, Responsable de Bureau à la Direction de l'Eau et de l'Assainissement – Bureau de Liaison avec l'Aménagement et l'Urbanisme (CONSEIL GENERAL DE SEINE-SAINT-DENIS), rquillien@cg93.fr

Marie RUAUD, conseillère technique (UNEP), mruaud@unep-fr.org

Frédéric SEGUR, directeur service Arbres et Paysage, (COMMUNAUTE URBAINE DE LYON), fsegur@grandlyon.org

Droits d'usage : accès libre

Niveau géographique : national

Couverture géographique : national

Niveau de lecture : professionnels



• RESUME

Les stratégies de gestion des eaux pluviales dans les opérations d'aménagements urbains ont particulièrement évolué ces dernières années. Les solutions techniques de proximité, qui respectent le cheminement naturel de l'eau, sont aujourd'hui mises en valeur par rapport à la pose de canalisations et à un traitement reporté sur l'aval. Cette gestion « à la source » permet de réduire les flux de polluants, en limitant le ruissellement. En effet, c'est le lessivage des différentes surfaces (toiture, voirie, parking, etc.) qui est majoritairement à l'origine de la contamination des eaux en matières en suspension, micropolluants organiques et éléments traces métalliques.

Parmi les solutions alternatives de gestion des eaux de pluie, les ouvrages végétalisés (noues, fossés, bassins, toitures végétalisées, arbres d'alignement, etc.) répondent à cette stratégie tout en offrant de nouveaux espaces assurant des fonctions complémentaires : amélioration du cadre de vie, structuration du paysage, développement d'espaces récréatifs. Cette multifonctionnalité permet de mutualiser les coûts et les espaces, tout en présentant un impact social positif, un gain de biodiversité et un intérêt sur la régulation climatique (lutter contre les effets d'îlots de chaleur urbains).

Leur efficacité est directement liée à la capacité du couple sol-plante à infiltrer, évaporer, évapotranspirer, ralentir, stocker et « filtrer » les flux d'eaux pluviales. Le couple sol-plante doit donc être étudié finement et sélectionné en fonction des conditions particulières de chaque opération.

Les caractéristiques pédologiques (texture, structure, etc.) déterminent le comportement hydrique du sol et sa capacité à accueillir les végétaux. Le choix des différentes espèces à planter doit aussi tenir compte :

- de leurs exigences écologiques : température, ensoleillement, pluviométrie, etc.
- du choix de conception de l'ouvrage (type, dimensionnement, topographie),
- de la position du végétal sur le profil.

Dans la pratique et en fonction du type d'espace (toitures, espaces naturels ou jardinés, routes et parking plus ou moins fréquenté), ces différents types d'ouvrages sont généralement combinés.

Enfin, des points clés de vigilance sont à porter à la conception, la réalisation et la maintenance de ces ouvrages. Leur conception doit être intégrée le plus en amont possible des projets d'aménagement et respecter des critères techniques et réglementaires. Ces précautions, associées à des bonnes pratiques de mise en œuvre et d'entretien (contrôle visuel et entretien réguliers, décroutage) garantiront le bon fonctionnement d'un point de vue hydraulique (prévention du colmatage, efficacité lors d'évènements pluvieux d'intensité variable) ainsi que la qualité d'usage des espaces par le public. Cela permet aussi d'envisager des coûts de maintenance réduits et une bonne durabilité des ouvrages.

• MOTS CLES (THEMATIQUE ET GEOGRAPHIQUE)

Gestion des eaux pluviales, eaux de ruissellement, gestion à la source, techniques alternatives, ouvrage végétalisé, végétal, sol, couple sol-plante, infiltration, salage, autécologie, hydrophyte, héliophyte, amphibie.



- **ABSTRACT**

LANDSCAPE DESIGN AND PLANT SELECTION IN INTEGRATED AND SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT INFRASTRUCTURES

Strategies for stormwater management in urban planning have particularly evolved in recent years. Water infiltration and integrated management prevail nowadays over the increase of impervious surfaces, and the use of pipes laying with water discharges occurring downstream. Limiting the urban runoff reduces the risk of flood and pollution. Indeed, stormwater runoff on different surfaces (roofs, roads, parking lots, etc.) leads to stormwater contamination by suspended solids, organic micropollutants and heavy metals.

Green infrastructures such as swales, ditches, basins, green roofs or street trees are part of this integrated and sustainable urban water management. They contribute to this strategy while providing new spaces and complementary services: improvement of the living environment, landscape structuring effect, new recreational areas, etc. This multifunctionality offers the opportunity for costs and spaces pooling, biodiversity saving, a social positive impact and climate regulation (by cooling and limiting the urban heat island effect).

Their effectiveness is directly related to the soil-plant system and its ability to infiltrate, evaporate, evapotranspire, slow, store and filtrate stormwater. The soil-plant system must be designed in accordance with the specific operation conditions.

Soil characteristics (texture, structure, etc.) determine the hydraulic behavior of the soil and its ability to satisfy growing plant's needs. The plant selection must consider:

- The plant needs: temperature, sunlight, rainfall, etc.
- The infrastructure design (type, dimensions, topography)
- The plant position on the infrastructure profile.

In practice, the design combines different kinds of green infrastructures depending on the type of space and its use (roofs, natural areas and gardens, roads and parking places with variable use intensity).

Finally, key points are about design, implementation and maintenance. The design of green infrastructure must be integrated at the earliest step and respect technical and regulatory criteria. Then associating design, good practices in implementation and maintenance (as visual inspection, regular maintenance, slaking crust removing) ensures a proper hydraulic functioning (clogging prevention, efficiency during precipitation events at variable intensities) and provides high quality public spaces. As a consequence, this leads to a reduction of maintenance costs and ensures the infrastructure sustainability.

- **KEY WORDS (THEMATIC AND GEOGRAPHICAL AREA)**

Stormwater management, urban runoff, integrated management, alternative stormwater management techniques, green infrastructure, plant, soil-plant system, infiltration, ice-control, salt, autecology, hydrophyte, helophyte, amphiphyte.



SYNTHESE

La collecte systématique des eaux pluviales par des canalisations enterrées (principe « tout tuyau »), a montré ses limites en termes de maîtrise des risques d'inondations comme de pollution. Ces dernières années, la gestion des eaux pluviales a donc évolué vers l'utilisation de techniques dites alternatives qui limitent le ruissellement et favorisent l'infiltration sur place. L'eau a ainsi retrouvé une place de plus en plus visible dans le paysage urbain avec la mise en œuvre d'ouvrages végétalisés. Cette évolution permet également de répondre à une demande croissante de nature en ville. Le défi à relever consiste alors à partager les savoirs des spécialistes du végétal et les connaissances des spécialistes de l'eau pour développer une culture commune et proposer des espaces multifonctionnels efficaces.

Cette étude a pour objectifs de sensibiliser, de proposer une méthode de réflexion, d'intégrer un vocabulaire commun et de faciliter les mises en pratique. Elle s'adresse aux professionnels de l'aménagement, notamment les non spécialistes de l'eau, qui interviennent sur ces espaces.

Principes utiles d'hydrologie urbaine et d'agro-écologie à maîtriser

Dans un premier temps le document propose un rappel des principes utiles d'hydrologie urbaine.

Avant ruissellement, les eaux de pluie ont généralement une concentration en polluants assez faible. **Le ruissellement est à l'origine de leur contamination.** Les études de caractérisation montrent la présence possible de micropolluants organiques (HAP, alkylphénols, phtalates, pesticides, etc.), d'éléments traces métalliques (ETM) ou encore de matières en suspension. **Cette contamination reste généralement modérée.** Elle varie selon les sites considérés ainsi que d'une pluie à l'autre sur un même site et au sein d'un même événement pluvieux. Les **sources principales d'émission** de contaminants sont rappelées dans l'étude.

Un zoom est proposé sur le **cas particulier des sels de déneigements.** L'utilisation non raisonnée du chlorure de sodium (NaCl) et de ses dérivés aboutit communément à l'application de doses variant de 5 à 250 g/m² sur les routes et de 200 à 250 g/m² sur les trottoirs, correspondant à une teneur moyenne dans les eaux de ruissellement de 18 g/L. Cette concentration est deux fois moins importante que dans l'eau de mer mais mille fois plus que dans l'eau des rivières. Les impacts potentiels sont multiples : accumulation des ions chlorures dans certains milieux avec toxicité chronique de la faune aquatique, impact des ions sodium sur les sols et le végétal (déstructuration du sol, stress hydrique et ionique), et augmentation de la mobilité des éléments traces métalliques. Limiter la quantité de sel épandue à 5 g/m² voire moins est le tout premier levier pour réduire l'impact du NaCl sur l'environnement, tout en gardant la même efficacité en déverglaçage.

Les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales reposent sur le principe général d'une **gestion au plus près de la surface qui reçoit les précipitations**, c'est-à-dire « à la source ». Limiter ainsi le ruissellement conduit à réduire l'impact sur l'aval tant quantitativement (flux d'eau) que qualitativement (diminution de la charge polluante). Il s'agit de faciliter l'infiltration sur place, stocker, réguler et ralentir les flux, ou favoriser les phénomènes d'évaporation et d'évapotranspiration. Idéalement, les eaux de pluie sont réutilisées sur place. Différents exemples de techniques de gestion alternative sont présentés dans le rapport : noues, fossés, bassins, toitures végétalisées, arbres d'alignement, etc.

La conception et le dimensionnement des ouvrages doivent intégrer une vision globale à plusieurs échelles : le bassin versant, le système urbain et le système d'assainissement. Au-delà de la seule fonction de gestion des eaux pluviales, l'ensemble des usages et objectifs assignés au site sont à prendre en compte. Les choix de conception concernent la géométrie, le choix des matériaux, etc. Le dimensionnement porte généralement sur (i) **la nature et la capacité de l'exutoire ou de l'infiltration** et (ii) **la nature et l'ampleur du risque contre lequel on souhaite se protéger.** Les principaux paramètres à considérer sont la période de retour des pluies, les niveaux de service attendus et la vulnérabilité des surfaces en aval. Il faut rechercher un bon fonctionnement en conditions courantes et un fonctionnement acceptable en conditions exceptionnelles. **Le risque hydrologique consenti est un compromis** entre une protection maximale et le souci de limiter les coûts d'investissement et d'exploitation.

Dans un deuxième temps sont présentés les principes utiles d'agro-écologie.

Le sol est le premier facteur d'importance à considérer. Il va jouer tant sur le plan de la fonction hydraulique que sur le plan du végétal dont il est le support physique et d'alimentation (eau et nutriments). Le sol est constitué de particules minérales, de matières organiques, d'eau et d'air. Il est caractérisé par plusieurs paramètres, parmi lesquels les plus fondamentaux à connaître sont :

- La texture, qui est la répartition granulométrique (taille) des particules minérales qui le composent. On distingue quatre classes de texture dominantes : sableuse, limoneuse, argileuse et équilibrée (équilibre des trois précédentes).
- La structure, qui est la façon selon laquelle s'agrègent naturellement et durablement les particules élémentaires, minérales et organiques, qui le constituent.
- La matière organique, qui joue un rôle fondamental sur ses propriétés physico-chimiques et ses fonctions : formation et stabilité de la structure, résistance à la compaction, aération et stockage de l'eau, rétention de minéraux et de certains métaux ainsi que réserve d'éléments nutritifs. Le taux de matière organique est un indicateur de l'évolution d'un sol, de sa fertilité et de son activité biologique.
- Le comportement hydraulique se caractérise par deux composantes. D'une part, la porosité (microporosité et macroporosité), qui correspond au volume total des vides du sol, remplis d'eau ou d'air. D'autre part, la perméabilité, qui traduit l'aptitude du sol à laisser circuler l'eau, résultat de l'organisation spatiale des pores entre eux et de la plasticité des matériaux.

Sur le plan hydraulique, la capacité d'infiltration, le temps de séjour de l'eau dans le sol ou encore la disponibilité de l'eau pour les plantes vont varier selon ces paramètres. Par exemple, en cas de mauvaise structuration ou de compacité du sol, l'eau ruisselle en surface et seule une faible partie est infiltrée. Lorsque le sol présente une forte microporosité, le temps de séjour de l'eau y est important. Au contraire, l'eau s'infiltré très facilement en cas de forte macroporosité. L'eau dans le sol est soumise à l'action de champs de forces (pesanteur, capillarité, adsorption, succions, etc.) qui vont déterminer divers états. Selon un gradient de sol saturé en eau à sol sec, on rencontre : l'eau de drainage (eau qui circule dans la macroporosité), la réserve utile pour le végétal (eau retenue dans la microporosité) et l'eau résiduelle (eau non mobile et non disponible pour le végétal).

Le choix, la connaissance du végétal et de ses caractéristiques adaptatives représentent le deuxième facteur d'importance à considérer. Chaque espèce végétale possède ses propres caractéristiques adaptatives aux conditions du milieu qui l'environne. La connaissance de l'autécologie d'une espèce permet d'établir si elle est adaptée à une situation particulière, à un milieu. Les **caractéristiques** à prendre en compte prioritairement sont les conditions de **lumière, de climat** (pluviométrie, température minimale, etc.) **et de sols**. Plus particulièrement pour les conditions de sols, l'utilisation de diagramme écologique comme outil d'aide à la décision est recommandée. Ce diagramme, présenté dans l'étude, indique les plages de valeurs d'adaptation d'une espèce vis-à-vis du **pH** (de très acide à alcalin) et de **l'état hydrique du sol** (de très sec à inondé en permanence).

Enfin, concernant **l'adaptation des végétaux à la pollution**, il faut distinguer les cas selon les polluants considérés. Les **minéraux** ou la **matière organique** participent à la nutrition des végétaux et

constituent rarement un problème pour leur développement. Dans les conditions particulières des ouvrages de gestion des eaux de pluie de proximité, l'impact sur le végétal des **sels de déverglaçage** n'a pas été relevé dans la bibliographie et retours d'expériences de terrain. Il mérite donc d'être relativisé. Enfin pour les **hydrocarbures ou les éléments traces métalliques**, hors pollution accidentelle, il n'a pas été noté de phytotoxicité sur les végétaux. Pour garantir le succès d'un aménagement paysager dans des situations particulières, choisir une gamme diversifiée de plantes permet de compter sur la capacité adaptative des espèces.

Application de ces principes au fonctionnement des ouvrages végétalisés

Le **fonctionnement** des ouvrages végétalisés dépend du **couple sol/plantes**, c'est-à-dire des interactions entre le végétal et son support, le sol. Certains sols sont sensibles à des risques particuliers (lessivage, colmatage, battance, etc.) et un choix avisé des végétaux qui y seront implantés permet de les limiter tout en améliorant ses performances hydrauliques. Les différents rôles et actions du couple sol/plantes sont précisés dans l'étude. Les végétaux peuvent contribuer à ralentir physiquement le transit de l'eau en surface, tranquilisant les flux et augmentant la sédimentation des matières en suspension. La présence de racines associées au cortège vivant du sol préviennent le colmatage et favorisent une macroporosité, et de fait une capacité de stockage et d'infiltration dans le sol. Les plantes mobilisent et évaporent des quantités variables mais conséquentes d'eau, soulageant directement les réseaux et offrant un bénéfice en termes de régulation climatique dans les espaces environnants. Les éléments traces métalliques et les micropolluants organiques sont captés par filtration et adsorption dans les couches superficielles (premiers 50 cm de sol). Le sol, à travers le cortège de microorganismes qu'il héberge, participe à la minéralisation ou co-métabolisation de certains de ces polluants.

Le choix de la végétation est à réaliser en fonction des conditions hydriques du sol, du type d'ouvrage végétalisé, de sa géométrie et de la répartition des végétaux sur son profil. Déterminer les caractéristiques, notamment hydriques, du milieu d'accueil et les confronter aux exigences des végétaux permet de réaliser un choix avisé. L'utilisation du diagramme écologique des espèces facilite ce travail. Les ligneux et herbacées qui supportent des situations d'hydromorphie, ainsi que les herbacées à large plasticité adaptées aux situations d'alternance humidité/sécheresse sont recommandés. Une liste d'exemples de végétaux est annexée au document. Des figures illustrent sous forme de schéma en coupe, la répartition possible des différents types de végétaux (héliophytes, hydrophytes, amphibies) sur le profil des ouvrages. Enfin, il est rappelé que l'installation de plantes autochtones doit être favorisée.

Conception des ouvrages végétalisés

Il est tout d'abord important de rappeler le caractère multifonctionnel et multiservices de ces ouvrages : gestion des eaux pluviales, amélioration de la qualité du cadre de vie, usage pour activités sportives et récréatives, élément de structuration du paysage et de l'espace, contribution à la préservation et à la connectivité de la biodiversité (trame verte) ainsi que régulation climatique (absorption du rayonnement solaire par l'ombrage des végétaux, réduction des transferts de masse d'air chaud et évapotranspiration). Traiter ces différentes fonctions en synergie est l'un des principaux attraits de ces ouvrages.

De tels aménagements sont composés d'une combinaison d'entités, d'unités de gestion (noues, bassins, etc.) et présentent des usages spécifiques en fonction des différents espaces : transport, stationnement, récréation, etc. Cette notion est illustrée au travers d'un exemple concret d'aménagement d'une zone commerciale en France.

Les éléments pratiques à prendre en compte sont alors développés par typologies d'espaces verts et degré de fréquentation : abords de voiries, zones de stationnement, espaces naturels urbains et péri urbains, espaces sportifs et récréatifs, espaces horticoles et jardinés, abords de bâtiments et toitures.

Recommandations pour la conception, la réalisation et la maintenance des ouvrages végétalisés

Les recommandations propres à la conception développées dans l'étude intègrent des aspects pratiques, des clés de bon sens à avoir en tête, des aspects réglementaires. Il est par exemple rappelé de toujours réaliser des études de situation initiale à l'échelle du bassin versant et de favoriser les aménagements où l'eau est visible de tous. Des conseils sont également apportés concernant la réalisation du schéma de fonctionnement global du ruissellement qui doit être établi à partir des études géotechniques, d'une analyse du paysage et du relief du site. Les sujets spécifiques de la prévention des risques de colmatage (maîtrise de l'arrivée de l'eau dans l'ouvrage, installation de dispositifs de décantation, surface d'infiltration minimum, etc.) et du choix et l'approvisionnement des végétaux (protection des réseaux de drainage vis-à-vis des racines) sont également abordés. Enfin, l'un des points transversal et fondamental est la prise en compte de l'entretien très en amont. Les modalités de maintenance, une fois l'aménagement réalisé, dépendent en effet beaucoup des choix faits lors de la conception.

Concernant **la phase de réalisation de l'aménagement**, les points de vigilance portent prioritairement sur le respect d'une chronologie de travaux, la préservation des propriétés physiques des sols à chaque étape du chantier (non compaction, non lissage, travail en conditions sèches), qui garantissent le bon fonctionnement hydraulique de l'ouvrage à venir. Enfin les dispositions spécifiques concernant la plantation des végétaux sont également abordées (choisir préférentiellement des végétaux en racines nues et recherche de similitude entre la texture du sol en pépinière et celle de l'aménagement). Les références de prescriptions *ad hoc* sont citées : cahiers des clauses techniques générales et les différentes règles professionnelles.

Lors de la maintenance, les visites de contrôle et les entretiens réguliers sont primordiaux. Le contrôle, en moyenne mensuel, est réalisé préférentiellement lors des changements de saisons ainsi que lors d'épisodes particuliers de sécheresses ou de fortes pluies. Il convient de vérifier l'écoulement des eaux de ruissellement, notamment l'absence d'entraves, et d'effectuer un nettoyage lorsque cela est nécessaire (constat par exemple de débris de végétaux, de déchets ou de vase). Les autres postes d'entretien incluent la fauche et la taille des végétaux, le remplacement des plantes déficientes, le griffage en surface, l'enlèvement des pellicules de colmatage le cas échéant, et enfin la réouverture périodique (tous les 3-4 ans environ) d'espaces de roselières. Dans le cadre de cette étude, il n'est pas apparu de spécificité quant à l'entretien de ces espaces, sujet récent qu'il tiendra de mettre à jour ces prochaines années.

Conclusion et perspectives

En conclusion, le principe phare des techniques de gestion alternative des eaux pluviales est de limiter le ruissellement de l'eau. Les ouvrages aménagés pour ce type de gestion offrent l'avantage d'une multifonctionnalité et d'une forte synergie de services entre les fonctions d'espaces verts et les fonctions de gestion des eaux pluviales (régulation des flux d'eaux et préservation de la qualité des eaux).

L'apparente simplicité de ces ouvrages ne doit pas occulter le fait que la réussite de leur mise en œuvre dépend aussi d'une concertation et d'un partage des connaissances et compétences entre les différents acteurs participant au projet. Une intégration le plus en amont possible des principes des techniques alternatives, une conception intégrant les besoins d'entretien de ces espaces et une communication auprès des usagers, pas toujours coutumiers du rôle donné à l'eau dans les espaces urbains, doivent contribuer au succès de ces techniques.

Plusieurs perspectives se dégagent suite à ce travail bibliographique : le maintien d'une veille sur les besoins des professionnels des espaces verts, une meilleure connaissance du colmatage pour le prévenir ainsi qu'un suivi de l'évolution des ouvrages dans le temps (flore, sols, fonctionnement hydraulique).

NB : Un glossaire ainsi qu'une liste d'exemples de végétaux accompagnent ce document de synthèse.

Plan du document

Synthèse.....	5
Introduction.....	11
1. Quelques principes de base à maîtriser.....	12
1.1. Principes utiles d'hydrologie urbaine.....	12
1.1.1. Les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales.....	12
1.1.2. La qualité des eaux de ruissellement.....	14
1.1.3. Eléments à considérer pour la conception d'ouvrages de gestion des eaux pluviales de proximité.....	17
1.1.4. Eléments à considérer pour le dimensionnement d'ouvrages de gestion des eaux pluviales de proximité.....	18
1.2. Principes utiles d'agro-écologie.....	19
1.2.1. Le sol.....	19
1.2.2. Adaptation des végétaux.....	20
2. Application de ces principes au fonctionnement des ouvrages végétalisés.....	24
2.1. Intérêt du couple sol/plantes.....	24
2.1.1. Actions sur le contrôle des débits.....	24
2.1.2. Actions sur l'infiltration et la prévention du colmatage*.....	25
2.1.3. Actions sur le captage de l'eau.....	25
2.1.4. Actions physiques sur les contaminants.....	25
2.1.5. Actions biologiques sur les contaminants.....	25
2.2. Importance du régime hydraulique* dans le choix des végétaux.....	26
3. Conception des ouvrages végétalisés.....	29
3.1. Des aménagements multifonctionnels.....	29
3.1.1. Cadre de vie.....	29
3.1.2. Récréation.....	29
3.1.3. Structuration du paysage et de l'espace.....	29
3.1.4. Biodiversité.....	30
3.1.5. Régulation climatique.....	30
3.2. Combinaison des ouvrages végétalisés dans un aménagement cohérent : illustration par l'exemple.....	30
3.2.1. Les voiries.....	32
3.2.2. Les parkings.....	33
3.2.3. Les espaces naturels urbains et périurbains.....	34
3.2.4. Les espaces sportifs et récréatifs (hors espaces naturels).....	35
3.2.5. Les espaces horticoles et jardinés.....	35
3.2.6. L'accompagnement des bâtiments.....	36
3.2.7. Les toitures.....	37
4. Recommandations pour la conception, la réalisation et la maintenance des ouvrages végétalisés.....	38
4.1. Points de vigilance à la conception.....	38
4.1.1. Rappel des principes.....	38
4.1.2. Aspects réglementaires.....	38
4.1.3. Aspects pratiques.....	38
4.1.4. Prévention des risques de colmatage*.....	39
4.1.5. Recommandations spécifiques pour les végétaux.....	39
4.2. Points de vigilance à la réalisation.....	40
4.2.1. Organisation et planification du chantier.....	40
4.2.2. Conditions d'intervention.....	40
4.2.3. Recommandations spécifiques aux sols.....	41
4.2.4. Recommandations spécifiques pour les végétaux.....	41
4.3. Points de vigilance à la maintenance.....	42
5. Conclusion.....	43
Bibliographie.....	44
Annexe 1 : Glossaire	
Annexe 2 : Liste de plantes	

REMARQUES GENERALES

Organisation du document

A chaque fin de paragraphe, un encadré « Pour en savoir plus » est proposé avec la liste des principales sources bibliographiques. Les références les plus marquantes sont indiquées en gras.

Les différentes références bibliographiques mobilisées sont listées à la fin du document.

De plus, deux annexes sont jointes au présent document :

- Un glossaire qui définit les mots signalés par un astérisque (*) dans le corps du texte.
- Un fascicule qui présente plusieurs listes d'exemples de végétaux adaptés aux ouvrages de gestion des eaux pluviales de proximité.

Abréviations utilisées – notions importantes

Eaux pluviales (EP). On parle d'eau pluviale dès lors que l'eau de pluie touche le sol.

Eaux de ruissellement : partie des précipitations atmosphériques (pluie, neige) ainsi que des excès d'eau d'arrosage, d'utilisation d'eau potable, etc. qui s'écoulent à la surface du sol.

Source : A partir du glossaire du système d'information sur l'eau, consultable sur www.glossaire.eaufrance.fr/concept/ruissellement

Infiltration : quantité d'eau franchissant la surface du sol. Le phénomène d'infiltration permet de recharger les nappes* souterraines et d'entretenir le débit de l'écoulement souterrain dans les formations hydrogéologiques perméables du sous-sol. Par comparaison avec l'écoulement de surface, l'écoulement souterrain peut être lent, différé et de longue durée (quelques heures à plusieurs milliers d'années).

Source : d'après le glossaire du système d'information sur l'eau, consultable sur www.glossaire.eaufrance.fr/concept/infiltration

Ouvrage végétalisé : pour alléger la lecture du document il a été choisi de remplacer l'expression « ouvrage végétalisé de gestion des eaux pluviales de proximité » par « ouvrage végétalisé ». Ce terme désigne tout espace végétalisé qui a, entre autres fonctions, celle de participer à la gestion des eaux pluviales de proximité. Il peut s'agir d'arbres d'alignement, de noues, fossés, bassins, tranchées d'infiltrations ou encore de toitures végétalisées.

Périmètre d'étude

La gestion des eaux de ruissellement à la source est privilégiée dans ce document. Les principes développés sont valables à petite échelle, jusqu'à 5 ha environ, mais s'intègrent aussi de manière combinée à de plus grandes échelles.

Sont exclus du périmètre de l'étude : les rives des cours d'eau, les zones humides et espaces aquatiques naturels, les aménagements de gestion des crues tels que les digues et plaines d'expansion, les filières de traitement des eaux usées domestiques, industrielles ou agricoles ainsi que la gestion des événements accidentels.

De même, la thématique de la phytoremédiation* n'est pas développée dans ce document.

INTRODUCTION

Face à la forte augmentation des surfaces imperméabilisées, la méthode de **gestion des eaux pluviales** dite « tout tuyau » accroît les risques d'inondation et de pollution. Les aménageurs **s'orientent aujourd'hui vers des solutions alternatives**.

Par ailleurs, l'intégration des préoccupations environnementales et d'une **demande croissante de nature en ville** a fortement modifié les pratiques de gestion des espaces verts.

En réponse à ces deux évolutions, **l'aménagement d'ouvrages végétalisés de gestion des eaux pluviales de proximité, constitue une double opportunité :**

- Les eaux de ruissellement peuvent être utilisées en ville pour créer plus d'espaces verts, avec des zones différenciées : drainées, humides, inondables, ruisselées ou encore immergées ;
- Et réciproquement, les végétaux et leurs surfaces d'implantation présentent des effets bénéfiques sur le ruissellement : captation, ralentissement de l'écoulement et infiltration.

L'aménagement d'ouvrages végétalisés obéit aux mêmes règles que celles de n'importe quel espace paysager. En outre, la façon dont l'eau y transite a une incidence pour le choix des végétaux, leur mise en œuvre ainsi que leur entretien.

Le défi à relever consiste à **mettre en commun les savoirs des spécialistes du végétal et les connaissances des spécialistes de l'eau**. Le développement de cette culture commune doit permettre à chacun de faire émerger des bonnes pratiques dans la conception et la gestion de ces espaces innovants. Il s'agit là d'optimiser les espaces urbains, même de très petites tailles, en concevant des **aménagements multifonctionnels**.

Ce document a pour objectifs de sensibiliser, de proposer une méthode de réflexion, d'intégrer un vocabulaire commun et de faciliter les mises en pratique. Il s'adresse à tous les professionnels de l'aménagement, notamment les non spécialistes de l'eau, qui interviennent sur ces espaces, quelles que soient leurs tailles ainsi qu'aux formateurs et étudiants.

Dans l'ordre chronologique de l'opération, les acteurs concernés sont :

- Les maîtres d'ouvrage, promoteurs publics ou privés.
- Les aménageurs et les urbanistes.
- Les maîtres d'œuvre : architectes et architectes paysagistes.
- Les bureaux d'études en aménagement paysagers et en Voirie et Réseaux Divers.
- Les entreprises de réalisation et d'entretien : entreprises de génie civil, du paysage et en Voirie et Réseaux Divers.

1. QUELQUES PRINCIPES DE BASE A MAITRISER

1.1. Principes utiles d'hydrologie urbaine

1.1.1. Les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales

Le développement rapide et la densification des espaces urbains, particulièrement à la fin des années 50, a entraîné une **artificialisation des sols, à l'origine** :

- **D'une diminution des surfaces d'infiltration et des espaces végétalisés**, se traduisant par un non renouvellement des nappes phréatiques* urbaines et la création d'îlots de chaleur (définition p26).
- **D'une augmentation des volumes d'eau ruisselés** et des vitesses d'écoulement par temps de pluie.

La méthode de **gestion des eaux pluviales par canalisations enterrées** de gros diamètre (principe « tout tuyau »), plébiscitée dans la seconde moitié du 20^{ème} siècle, a montré ses limites en **augmentant les risques** :

- **D'inondation** et de débordements à l'aval des exutoires* en particulier lors des évènements exceptionnels. Les réseaux collectent de grandes quantités d'eau pendant des périodes très courtes ce qui induit des surcharges hydrauliques.
- **De pollutions** lors d'évènements pluvieux courants, par concentration des flux en quelques points de rejets vers le milieu naturel et notamment dans les cours d'eau.

Ces 30 dernières années, **des réflexions se sont développées pour réintégrer l'eau dans le paysage** urbain. Les eaux pluviales ont ainsi peu à peu été déconnectées du réseau d'assainissement* principal de manière à éviter une surcharge des canalisations et des ouvrages tels que les stations d'épuration*. Ces **nouveaux modes de gestion nécessitent d'adopter une vision globale** portant sur trois échelles à intégrer dès la conception :

- **Le bassin versant* hydrographique** : prise en compte des aménagements en amont ainsi que de la capacité et la sensibilité du milieu récepteur.
- **Le système urbain** : conciliation des exigences de l'occupation du territoire, de la vulnérabilité des formes urbaines et des pratiques d'entretien de l'espace.
- **Le système d'assainissement*** : intégration des ouvrages de gestion alternative des eaux pluviales, du réseau unitaire* ou séparatif* et de leurs ouvrages de surverses*, ainsi que des stations de traitement des eaux usées.

Le principe général de cette approche consiste à tenter de se rapprocher du cycle naturel de l'eau en minimisant l'impact sur les écoulements d'eau initiaux. **Une intervention au plus près de la surface qui reçoit les précipitations***, c'est-à-dire « à la source », permet de réduire l'impact sur l'aval. **Limiter le ruissellement** conduit à diminuer la charge polluante. Il s'agit de **faciliter l'infiltration sur place**, stocker, réguler et ralentir les flux, ou favoriser les phénomènes d'évaporation et d'évapotranspiration*. Idéalement, les eaux de pluie sont réutilisées sur place.

Une large gamme de techniques alternatives au « tout tuyau » ou « compensatoires » à l'imperméabilisation répond à ces exigences. Quelques exemples non exhaustifs sont donnés dans le tableau 1. Par ailleurs, chaque type de technique se décline sous des formes très différentes en fonction du contexte, du site dans lequel la technique est implantée et des choix à la conception.

Parmi les techniques alternatives, les solutions qui impliquent la mise en œuvre de végétaux permettent d'assurer des fonctions variées, au-delà des seuls objectifs de gestion des eaux pluviales. **En tant qu'espaces verts**, ils présentent un **intérêt esthétique, un rôle récréatif ou encore contribuent à la biodiversité** en ville. Cette **multiplicité des usages** apporte une réponse à la pression foncière en milieu urbain.

Illustration	Solution	Description, Principe de fonctionnement	Autres usages possibles	Remarques
EXEMPLES DE SOLUTIONS N'IMPLIQUANT PAS LA MISE EN ŒUVRE DE VEGETAUX				
	Micro techniques	Pour de très petites surfaces (ex : maison individuelle). Maîtrise des eaux à la source. Plusieurs formes : cellule de récupération et de stockage, citerne, toiture stockante, dépression dans le sol, etc.	Réutilisation de l'eau.	Effet démultiplicateur. Faible emprise foncière. Retenue de la pollution. Attention à la multiplication des points d'entretien.
	Puits d'infiltration	Ouvrage ponctuel plus ou moins profond qui transfère par infiltration les eaux de surface vers les couches perméables du sous-sol.	/	Faible emprise foncière. A réserver aux sols à conductivité hydraulique* suffisante ($>10^{-6}$ m/s). Peut être insuffisant en cas de fortes précipitations*. A coupler à un exutoire* ou un ouvrage tampon. A proscrire si la nappe* circulante est à moins d'un mètre sous le point le plus bas de l'ouvrage. Présente les risques liés aux ouvrages enterrés avec vitesse d'infiltration importante ainsi que de mélange d'eaux d'un niveau de contamination varié.
	Chaussées réservoir	Stockage temporaire des EP dans le revêtement et en sous couche, avant évacuation par infiltration ou vers un exutoire*.	Cheminement, parking.	Insertion facile. Entretien spécifique nécessaire. Coût de réalisation élevé. A proscrire si la nappe* circulante est à moins d'un mètre sous le point le plus bas de l'ouvrage. Présente un risque de mélange d'eaux d'un niveau de contamination varié.
EXEMPLES DE SOLUTIONS IMPLIQUANT LA MISE EN ŒUVRE DE VEGETAUX				
	Arbres d'alignement	Arbres isolés, en accompagnement de voirie, dont les fosses de plantation favorisent l'infiltration.	Ombrage, paysagement.	Micro technique. Chaque arbre infiltre un impluvium* de faible surface. Efficacité à l'échelle d'un aménagement en fonction du nombre d'arbres.
	Toitures stockantes (y compris végétalisées)	Stockage temporaire des EP sur les toitures terrasses, dans un matériau à forte porosité*.	Esthétique, biodiversité	Importance de l'étanchéité du bâtiment. Indiquées pour les toitures planes ou à faibles pentes. Se référer aux règles professionnelles « toitures végétalisées ». Entretien régulier nécessaire.
	Bassins secs	Peut-être complètement immergé en cas de forts apports d'eau. Bassin perméable ou imperméabilisé.	Cheminement, récréatifs, sportifs.	Intégration paysagère favorisée. Les bassins perméables sont à proscrire si la nappe* circulante est à moins d'un mètre sous le point le plus bas de l'ouvrage. Entretien régulier nécessaire.
	Bassins humides	Capacité de stockage augmentée par la possibilité d'élévation temporaire du niveau.	Espace naturel.	Peut constituer un exutoire*. Créé un écosystème en soi avec un fort intérêt paysager et écologique. Maintien d'un niveau d'eau minimal en période sèche.
	Fossés, tranchées d'infiltration	Tranchée ou fossé, alimentés par les écoulements de surface ou par le drainage des zones contigües et chargés d'infiltrer et de faire transiter le flux d'EP vers un exutoire*.	Séparation physique de l'espace.	Faible coût. Entretien régulier nécessaire. A proscrire si la nappe* circulante est à moins d'un mètre sous le point le plus bas de l'ouvrage.
	Noues	Dépression dans le sol qui a pour objet de stocker et d'infiltrer sur place.	Cheminement, récréatifs, paysage.	Entretien régulier nécessaire. A proscrire si la nappe* circulante est à moins d'un mètre sous le point le plus bas de l'ouvrage.

Tableau 1 : Exemples de techniques de gestion alternative des EP, d'après *Aménagement et eaux pluviales sur le territoire du Grand-Lyon – Guide à l'usage des professionnels (14)*.

L'implantation de végétaux dans ces ouvrages nécessite un entretien régulier et adapté. **Le choix des végétaux doit intégrer dès la phase de conception** les spécificités suivantes :

- **La nature du sol et du sous-sol**, notamment leur perméabilité* et la proximité de la nappe*.
- **Les conditions hydriques**, alternances de phases de sécheresse et d'humidité, voire d'immersion, qui impliquent un choix de végétaux judicieux.
- La nécessité de **garantir le bon fonctionnement hydraulique de l'ouvrage en toute saison** et quel que soit l'état de la végétation.
- **La conciliation des différents usages** des espaces, avec par exemple des problématiques sous-jacentes de mise en sécurité des personnes.

Pour en savoir plus sur les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales

- ▶ **La ville et son assainissement, principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau – l'essentiel (11)**
- ▶ *Etat de l'art sur la gestion urbaine des eaux pluviales et leur valorisation – tendances d'évolution et technologies en développement (12)*
- ▶ *Guide de gestion des eaux de pluie et ruissellement (15)*
- ▶ *Eaux pluviales urbaines, une gestion à la source contre les inondations et pollutions (17)*
- ▶ **L'infiltration en questions, recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain – Programme Eco pluies (19)**
- ▶ *Pour la gestion des eaux pluviales : stratégies et solutions techniques (28)*
- ▶ *Article R 214-1 du Code de l'environnement (31)*

1.1.2. La qualité des eaux de ruissellement

1.1.2.1. La composition des eaux de ruissellement

Avant ruissellement, **les eaux de pluie ont généralement une concentration en polluants assez faible**. C'est le « **lessivage*** » des surfaces sur lesquelles elles ruissellent qui **est à l'origine de leur contamination**. Elle reste généralement **modérée**, mais elle est **variable** selon les sites considérés ainsi que d'une pluie à l'autre sur un même site et au sein d'un même évènement pluvieux. Il est difficile de fixer des valeurs « moyennes ». Les études de caractérisation montrent la présence possible de :

- **Micropolluants organiques***, comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les alkylphénols, les phtalates ou encore les pesticides.
- **Eléments traces métalliques*** (ETM).
- **Matières en suspension** (MES) non solubles.

L'aptitude à la décantation des eaux de ruissellement est très variable. Dans certains cas, des hydrocarbures et des métaux lourds* sont combinés à des particules fines à faible vitesse de sédimentation. Dans d'autres cas, les polluants sont sous forme dissoute.

Le **pH* des eaux de pluie est acide**, proche de 5, mais est rapidement tamponné* **lors du ruissellement, il est alors assez stable et proche de la neutralité**.

Les polluants proviennent du site *stricto sensu*, du bassin versant* amont ou de sites bien plus lointains, via les retombées atmosphériques. **Les sources principales d'émission sont :**

- **Le lessivage* des matériaux urbains** : corrosion des métaux, émission de micropolluants organiques* par les matériaux synthétiques, émissions dues aux additifs, etc.
- **Le trafic automobile** : fumées d'échappement, usure des pneumatiques, fuites d'huile.
- **Les appareils de chauffage.**
- **Les éventuelles activités industrielles ou commerciales.**
- **Le lessivage* des zones de stockage** de déchets industriels ou ménagers.
- **Le lessivage* de divers produits d'entretien** dont les pesticides et les sels de déneigement.
- **Les pratiques des usagers du site** : mégots, détritiques divers, excréments d'animaux.

La nature des surfaces détermine le type de contamination, comme indiqué dans le tableau 2.

		PARAMETRES GLOBAUX : DBO, DCO, MES, etc.	METAUX	MICRO-POLLUANTS ORGANIQUES	
Toiture	Couverture métallique	-	++/+++	~ RA	
	Tuile ou ardoise	avec éléments métalliques	-	+ / ++ (si plomb)	~ RA/+ (++traitementantimousse)
		sans éléments métalliques	-	-	
	Toit terrasse	Non végétalisé	-	De - à ++ (si autoprotection en métal ou si plomb)	+ / ++ (lié aux membranes d'étanchéité)
Végétalisé		+	De - à ++ (si plomb)	+ / ++	
Façades		-	Risques d'émission de polluants, mais manque de données sur les flux		
Parkings	A faible renouvellement (type événementiel : stade, centre de congrès)	-	+	+	
	A renouvellement moyen (type zone résidentielle : parking d'entreprise)	+	++	++	
	A fort renouvellement (type zone commerciale : centre ville)	++	+++	+++	
Voiries	Faible trafic, bonne fluidité	-	+	+	
	Fort trafic, de bonne fluidité à présence de feux et de stops	+	++	++	
	Trafic non fluide	++	+++	+++	
Zones piétonnes imperméables, places		~ RA/ ++ selon activités et revêtement	~ RA/+	~ RA /+	
Espaces verts	<i>Risques de contamination par des déchets organiques mal gérés ou des produits phytosanitaires</i>	+ / ++ selon la surface	~ RA	~ RA / ++	

RA : Retombées atmosphériques

Le potentiel polluant des différentes surfaces peut être faible (-), modéré (+), significatif (++) ou fort (+++).

Tableau 2 : Importance relative de la contamination des eaux de ruissellement de différents types de surfaces urbaines, d'après *Outils de bonne gestion des eaux de ruissellement – Document d'orientation pour une meilleure maîtrise des pollutions dès l'origine du ruissellement (24)*.

Des pratiques simples contribuent à réduire la contamination des eaux de ruissellement :

- Gérer les eaux pluviales le plus en amont possible, notamment en **favorisant l'infiltration**.
- **Adapter le choix des matériaux** de couverture des surfaces lessivées, par exemple en évitant les revêtements de toitures métalliques et les membranes d'étanchéité bitumineuses.
- **Limiter, voire supprimer, l'usage des produits phytosanitaires** et biocides.

Pour en savoir plus sur la composition des eaux de ruissellement

- ▶ *Quels contaminants dans les rejets urbains de temps de pluie ? Eclairage particulier sur les micropolluants (3)*
- ▶ Flux de micropolluants dans les eaux de ruissellement urbaines. Effets de différents modes de gestion des eaux pluviales » (8)
- ▶ **Transfert eaux-sols-plantes de micropolluants : état des connaissances et application aux eaux de ruissellement urbaines (13)**
- ▶ *Aménagement et eaux pluviales sur le territoire du Grand Lyon (14)*
- ▶ **Outils de bonne gestion des eaux de ruissellement en zone urbaine – document d'orientation pour une meilleure maîtrise des pollutions dès les origines du ruissellement. Fiches 2 à 6 (24)**
- ▶ *Etude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaine routier (39)*

1.1.2.2. Le cas particulier des sels de déneigement

Le chlorure de sodium (NaCl) et ses dérivés sont **les sels de déneigement** les plus consommés en France et les quantités utilisées **varient de 5 à 250 g/m² sur les routes et de 200 à 250 g/m² sur les trottoirs**. Cela correspond à une **teneur moyenne dans les eaux de ruissellement de 18 g/L**. Pour donner un ordre de grandeur, cette **concentration est deux fois moins importante que dans l'eau de mer mais mille fois plus que dans l'eau des rivières**.

Les ions chlorures (Cl⁻) sont très peu retenus dans le sol et **s'accumulent dans certains milieux. Une toxicité chronique de la faune aquatique peut alors être observée.**

Les ions sodium (Na⁺) se fixent aux particules du sol. A partir d'une teneur supérieure à 10% de la capacité d'échange cationique*, ils **entraînent une déstructuration significative du sol**. A ceci, s'ajoute **un stress pour les végétaux** (excepté pour les espèces halophiles*) :

- **Stress hydrique** (par effet osmotique).
- **Stress ionique** qui conduit à des dérèglements métaboliques et cellulaires.
- **Dépérissement des tissus** par contact direct.

En outre, **le NaCl augmente la mobilité des métaux lourds***.

Limiter la quantité de sel épanchée à 5 g/m² voire moins, est le tout premier levier pour réduire l'impact du NaCl sur l'environnement en gardant la même efficacité en déverglage. Pour parvenir à cet objectif **il faut optimiser l'épandage** et éventuellement utiliser une alternative au NaCl. Ce choix est à examiner en fonction de chaque situation particulière. Les principaux exemples d'alternatives sont : le chlorure de magnésium ou de calcium, le formiate de potassium, le mélange sable/gravier, la technique de la route blanche, l'aspersion d'eau chaude.

Enfin, **dans les secteurs où les eaux de ruissellement sont particulièrement chargées en NaCl**, il est conseillé **d'éviter de les entraîner directement vers :**

- **Des ouvrages d'infiltration et d'injection**, notamment pour ne pas risquer une potentielle contamination de nappe* utilisée pour la fourniture d'eau potable.
- **Un réseau unitaire***, pour ne pas perturber le fonctionnement des stations d'épuration*.
- **Des filtres à sable** lorsqu'ils se situent à l'aval de surfaces susceptibles d'émettre des éléments traces métalliques* car ils peuvent alors relarguer les métaux lourds piégés.

Il est **préférable de recourir aux pratiques suivantes**, là encore, après analyse au cas par cas :

- **Diluer les eaux de ruissellement** chargées en sel, par maîtrise des débits par exemple.
- **Filtrer les eaux salées** avant pénétration dans le sol (paille, phragmite ou encore argile)
- **Eviter la déstructuration du sol** par apport de matières organiques* en préventif, par apport de gypse en curatif pendant la période hivernale ou par utilisation de substrats «tolérants». Les sols sablo-caillouteux ou « structural soil », très drainants ne sont pas déstructurés par le sel mais le laissent passer ce qui reporte son impact éventuel vers l'aval.
- **Choisir des végétaux adaptés**, c'est-à-dire des plantes halophiles* ou bio-accumulatrices de sel. Elles peuvent être utilisées pour faire un écran naturel direct aux embruns salés ou servir de tampon en traitant les eaux de ruissellement chargées en sel : marais filtrant (cf. p.19, § 1.2.3.4 Adaptation des végétaux aux conditions de pollution du milieu).

Pour en savoir plus sur le cas particulier des sels de déneigement

► **Mission d'étude sur l'incidence du salage des voiries sur les dispositifs végétalisés de stockage et de dépollution des eaux de voirie – proposition de solutions et d'alternatives potentielles (16)**

► **L'impact des fondants routiers sur l'environnement, état des connaissances et pistes d'actions (44)**

► **Viabilité hivernal : Influence des fondants sur la flore (48) et Influence des fondants sur le sol (49)**

► **Sels de déneigement : effets sur les arbres d'alignement – Dernières connaissances, mesures et recommandations, basées sur une large étude bibliographique (52)**

1.1.3. Eléments à considérer pour la conception d'ouvrages de gestion des eaux pluviales de proximité

La conception de l'ouvrage (géométrie, choix des matériaux utilisés, etc.) détermine le cheminement de l'eau et l'aptitude de l'ouvrage à assurer ou non certaines fonctions. La façon dont l'eau est introduite dans l'ouvrage de même que la façon dont elle est restituée ont une influence majeure sur **les temps de transfert et de séjour, les bilans hydriques, etc.**

L'aménagement d'un site, notamment en fonction de sa dimension, nécessite généralement la **combinaison de divers ouvrages. Les objectifs** qui leur sont **assignés diffèrent selon le type d'évènements pluvieux**. Le tableau 3 résume les différents cas de figure.

Evènement	Service attendu - Etat du système d'assainissement*	Réponses possibles dans les aménagements urbains
Pluies faibles	Priorité à la protection du milieu récepteur. Respect des objectifs de qualité. Maîtriser les volumes de ruissellement collectés. Réguler les débits. Maîtriser les apports polluants. Maintien de la qualité des rejets (les surverses* du réseau ne fonctionnent pas).	Limiter la surface imperméabilisée. Adapter les pratiques d'entretien et le choix des matériaux. Privilégier l'infiltration à la source, l'évapotranspiration* ou la réutilisation des EP (toitures végétalisées, espaces verts, noues, dispositifs de récupération, etc.).
Pluies moyennes	Impact sur le milieu limité et contrôlé. Le système continue à fonctionner sans débordement. Les surverses* fonctionnent.	<i>D'autres actions peuvent être mises en œuvre plus à l'aval sur le système d'assainissement*.</i>
Pluies fortes	Priorité au risque d'inondation. Débordements localisés acceptés. Détérioration de la qualité du milieu récepteur acceptée.	Orientation des écoulements vers des zones à inondations maîtrisées. Outils de gestion des inondations.
Pluies très fortes	Priorité à la sécurité des personnes. Pas d'objectif sur la qualité du milieu. Débordements généralisés. Dégâts matériels.	<i>D'autres actions peuvent être mises en œuvre plus à l'aval sur le système d'assainissement*.</i>

Tableau 3 : Niveau de service attendu, d'après *La ville et son assainissement, principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau – l'essentiel (10)*.

La conception doit **tenir compte de l'ensemble des usages et objectifs assignés au site** et pas seulement à la seule fonction de gestion des eaux pluviales. Il faut rechercher **un bon fonctionnement en conditions courantes et un fonctionnement acceptable en conditions exceptionnelles**.

En cas de pluies faibles à moyennes, les techniques alternatives peuvent **préserver les activités des usagers** et **contribuer à la maîtrise des transferts de polluants** et des impacts sur les milieux récepteurs.

En cas de fortes ou très fortes pluies, la **priorité est donnée à la sécurité** des biens et des personnes. Dans ce contexte, **la maîtrise des transferts de polluants est moindre**, mais les éventuels contaminants sont très dilués. Ce fonctionnement en mode dégradé prévoit de possibles débordements ou dégâts matériels et suppose par exemple des **restrictions d'usages**. Il s'étudie avec une attention particulière et nécessite un important partage d'informations avec les usagers et riverains.

Enfin, il est important de rappeler que **l'opération d'aménagement est à replacer dans le contexte du bassin versant*, du système urbain et du système d'assainissement***. Elle intègre les apports possibles d'eaux de ruissellement extérieures ainsi que les capacités de l'exutoire* en aval.

1.1.4. Eléments à considérer pour le dimensionnement d'ouvrages de gestion des eaux pluviales de proximité

Le dimensionnement des ouvrages de gestion des eaux pluviales est du ressort d'un spécialiste, hormis pour les micro-aménagements comme les fosses plantées d'arbres par exemple. Il répond, dans le cadre des contraintes, des potentialités et des objectifs du site, à plusieurs exigences, qu'elles soient normatives, réglementaires ou simplement de bon sens :

- **Proposer une capacité de stockage suffisante** par rapport au bassin de collecte en amont.
- **Contrôler le débit à l'aval de l'ouvrage** (ou des ouvrages) et plus globalement aux exutoires du site.
- **Définir un temps de séjour de l'eau adapté** et cohérent avec les objectifs du site :
 - o suffisamment long pour que, lors des pluies faibles à moyennes, une bonne maîtrise des transferts de polluants par décantation soit assurée.
 - o suffisamment court (moins de 24 h en général) pour que, lors des pluies fortes à très fortes, l'ouvrage puisse se vidanger et être remobilisé en cas de pluies rapprochées.
- **Réduire les volumes rejetés dans les réseaux.**

Plus les ouvrages sont positionnés à la source, plus leur taille est raisonnable et plus leur fonctionnement est simple et proche d'un fonctionnement « naturel ».

Les règles de dimensionnement édictées portent généralement sur :

- **La nature et la capacité de l'exutoire* ou de l'infiltration.**
- **La nature et l'ampleur du risque** contre lequel on souhaite se protéger. Il est généralement quantifié en fonction de la période de retour* des pluies et des niveaux de service attendus.

Le niveau de risque hydrologique acceptable est discuté en phase de conception. Il est un compromis entre une protection maximale et le souci de limiter les coûts d'investissement et d'exploitation. Le choix de la période de retour* s'adapte en fonction de la vulnérabilité des surfaces en aval.

Enfin il faut tenir compte du fonctionnement de l'ouvrage dans les différentes conditions et en particulier hors événements pluvieux. Il doit assurer les différentes fonctions qui lui sont assignées : assainissement*, esthétique et récréatif par exemple. L'analyse de ces différentes conditions est particulièrement importante dans le choix de la végétation implantée.

Pour en savoir plus sur les éléments à considérer pour la conception et le dimensionnement

► *La ville et son assainissement, principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau – l'essentiel (11)*

► *L'infiltration en questions, recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain – Programme Ecopluies (19)*

► *Outils de bonne gestion des eaux de ruissellement en zones urbaines – document d'orientation pour une meilleure maîtrise des pollutions dès l'origine du ruissellement. Fiches 5 et 6 (24)*

1.2. Principes utiles d'agro-écologie

1.2.1. Le sol

Le sol est constitué de particules minérales, de matières organiques, d'eau et d'air. Il se caractérise selon **plusieurs paramètres qui permettent de décrire des horizons***.

1.2.1.1. La texture* du sol

L'analyse granulométrique **classe les particules minérales qui composent le sol selon leur taille** : les argiles (< 2 µm), les limons (de 2 à 50 µm) et les sables (de 50 µm à 2 mm). Les horizons* du sol sont constitués d'un mélange de ces particules. Selon leurs proportions, **quatre classes de texture* dominantes sont définies : sableuse, limoneuse, argileuse et équilibrée.** Il est également possible de déterminer des classes intermédiaires : sablo-argileuse, etc.

1.2.1.2. La structure* du sol

Elle est la **façon selon laquelle s'agrègent naturellement et durablement les particules élémentaires**, minérales et organiques, qui le constituent. Par exemple : absence de structure dans des sols argileux ou très tassés, structure particulière dans des sols sableux ou encore structure grumeleuse dans des sols de bonne qualité agronomique.

1.2.1.3. La matière organique*

Elle **joue un rôle fondamental sur les propriétés physico-chimiques du sol**, soit directement, soit par la constitution d'un complexe argilo-humique* (CAH). Ces principales fonctions sont : formation et stabilité de la structure*, résistance à la compaction, aération et stockage de l'eau, rétention de minéraux et de certains métaux ainsi que réserve d'éléments nutritifs. **Le taux de matière organique* est un indicateur de l'évolution d'un sol, de sa fertilité et de son activité biologique.**

1.2.1.4. Le comportement hydraulique

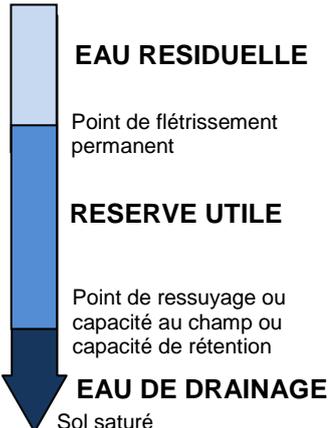
La caractérisation du **comportement hydraulique** du sol fait appel aux notions suivantes :

- **La porosité***. Elle correspond au **volume total des vides du sol**, remplis d'eau ou d'air. Elle se compose d'une porosité texturale ou **microporosité** (diamètre des pores inférieur à 5 µm) ainsi que d'une porosité structurale ou **macroporosité**.
- **La perméabilité***. Elle traduit quant à elle **l'aptitude du sol à laisser circuler l'eau** ; c'est le résultat de l'organisation spatiale des pores entre eux et de la plasticité des matériaux qui le composent.

La dynamique de l'eau dans le sol résulte de l'action des champs de forces auxquelles elle est soumise : forces de pesanteur, de capillarité, d'adsorption, de succions par les racines, etc. Ces forces déterminent alors **différents états de l'eau qui lui permettent d'assurer les fonctions suivantes** :

- **La recharge des nappes.** Elle est **assurée par l'eau libre** (ou de gravité). Elle s'infiltré à travers les macroporosités du sol, car les forces qui lient cette eau aux minéraux du sol sont trop faibles pour s'opposer à l'action de la pesanteur. Lorsque tous les pores sont remplis d'eau, le sol est dit saturé.
- **La nutrition des plantes.** Lorsque **l'eau de gravité s'est écoulée, la capacité au champ (ou point de ressuyage) est atteinte.** L'eau est alors retenue dans la microporosité du sol par la tension superficielle et est **facilement disponible par les plantes.** **La quantité d'eau qui peut être captée par les racines est appelée réserve utile.** **La dernière fraction de cette réserve est plus difficilement accessible**, car les forces qui lient l'eau à la surface des colloïdes minéraux et organiques (argile et humus) augmentent. **On parle alors d'eau liée.** **Lorsque le point de flétrissement permanent est atteint, la plante n'est plus capable d'utiliser la fraction de l'eau résiduelle.**

	Forces en jeu	Dénomination	Etat de l'eau
Eau liée à des particules	Forces d'attraction moléculaire et/ou électrostatiques dominantes	Eau hygroscopique ou d'adsorption	Eau non mobile (extraite par dessiccation)
		Eau pelliculaire ou d'adhésion	Eau très peu mobile (extraite par centrifugation)
Eau interstitielle	Forces de pesanteur et tension superficielle (à l'interface eau/air)	Eau capillaire (ou d'absorption)	Eau retenue dans la microporosité. Pores remplis d'eau et d'air
	Force de pesanteur dominante	Eau libre (ou de gravité)	Eau circule dans la macroporosité



EAU RESIDUELLE

Point de flétrissement permanent

RESERVE UTILE

Point de ressuyage ou capacité au champ ou capacité de rétention

EAU DE DRAINAGE

Sol saturé

Tableau 4 : Caractéristiques des différents états de l'eau dans le sol © CRITT Horticole.

Les différentes forces en jeu sont directement influencées par les principales caractéristiques du sol (texture, structure, etc.). La conductivité hydraulique* ou encore le temps de séjour de l'eau dans le sol est donc très variable. Par exemple, en cas de mauvaise structuration ou de compacité du sol, l'eau ruisselle en surface et seule une faible partie est infiltrée. Lorsque le sol présente une forte microporosité*, le temps de séjour de l'eau y est important. Au contraire, l'eau s'infiltré très facilement en cas de forte macroporosité*.

Pour en savoir plus sur le sol

- ▶ **Référentiel pédologique (2)**
- ▶ *Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols (10)*
- ▶ *Pédologie Tome 1 : Pédogénèse et classification (20)*
- ▶ *Sols acides/sols calcaires ? Conséquences pour la forêt ? (22)*

1.2.2. Adaptation des végétaux

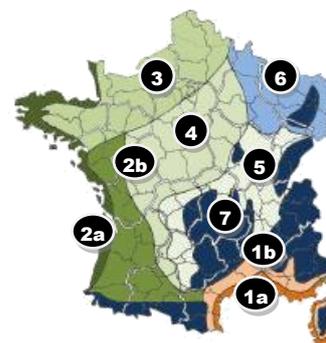
Pour se développer **une plante a besoin de ressources nutritives et hydriques qu'elle capte dans le sol et l'atmosphère, ainsi que de l'énergie apportée par la lumière. Chaque espèce possède ses propres caractéristiques adaptatives.** Elle est plus ou moins sensible aux différentes conditions du milieu telles que : les conditions de sol, les conditions climatiques (pluviométrie, température, grêle, vent), la concurrence avec la végétation voisine plantée ou spontanée, la qualité de l'air ou encore la présence de maladies ou ravageurs. L'autécologie s'intéresse aux connaissances de ces caractéristiques pour **établir, pour une situation particulière, la liste des espèces adaptées.**

1.2.2.1. Adaptations des végétaux aux conditions de lumière.

Il existe des espèces d'ombre (sciaphiles) comme les érables, de demi-ombre (photophiles) et enfin de lumière (héliophiles) comme les peupliers. Le choix des espèces à l'implantation doit tenir compte de cette distinction (généralement précisée dans les listes de végétaux proposées par les pépiniéristes).

1.2.2.2. Adaptations des végétaux aux conditions climatiques.

Les plantes méditerranéennes sont adaptées à des sécheresses et à des températures estivales importantes. En revanche, elles se montrent très sensibles à des hivers rigoureux et à des conditions trop humides. Ainsi, le climat est une variable essentielle à intégrer. Le tableau 5 propose un zonage de la France en grandes régions climatiques. **Le choix des végétaux vis-à-vis des températures minimales se raisonne en fonction de leur rusticité*** (généralement précisée dans les listes de végétaux proposées par les pépiniéristes).



Climat	Hiver			Eté		Répartitions des pluies et sollicitation des ouvrages végétalisés
	Caract.	T (moyenne du mois le + froid) M (minima)	Jours de gelée	Caract.	T (moyenne du mois le + chaud)	
1a Méditerranéen	Doux	5°C < T < 7°C 5°C < M < 0°C	Très rare	Très chaud	T > 30°C	Impluvium* en très fort déficit en été.
1b Méditerranéen	Frais	1°C < T < 3°C -10°C < M < -17°C	25 à 60	Chaud à très chaud	24°C < T < 30°C et plus	Déficit important en été. Impluvium* sollicité en hiver.
2a Océanique	Tempéré à doux	5°C < T < 7°C -5°C < M < -11°C	4 à 5	Frais	T < 24°C	Assez régulière sur l'année et maximum en hiver
2b Océanique	Frais à très frais	1°C < T < 3°C -8°C < M < -13°C	3 à 30	Chaud	24°C < T < 30°C	Cf. 2a avec risque de sécheresse > 1 mois en été.
3 Océanique à semi océanique	Frais à très frais	1°C < T < 3°C -13°C < M < -17°C	25 à 50	Frais	Cf. 2	Cf. 2a avec renforcement des pluies orageuses en été.
4 Semi océanique	Très frais	-1°C < T < 1°C -15°C < M < -25°C	38 à 80	Chaud à frais	24°C < T < 30°C	Cf. 2 avec renforcement des pluies orageuses en été.
5 Semi continental à semi océanique	Très frais	1°C < T < 1°C -15°C < M < -25°C	38 à 80	Chaud	24°C < T < 30°C	Maximum en été.
6 Semi continental	Froid	-3°C < T < -1°C -16°C < M < -27°C	70 à 100	Frais	T < 24°C	Maximum en été.
7 Montagnard	Très froid	-5°C < T < -3°C -3°C < M < -33°C	100 à 150	Frais à chaud	24°C < T < 30°C	Forte et bien répartie.

Tableau 5 : Caractéristiques des grandes zones climatiques en France, d'après chapitre 2.1 Adaptations au climat de *Les haies brise-vent et bandes boisées (25)*.

Au sein de ces grandes zones, des sites proches les uns des autres peuvent avoir des caractéristiques spécifiques prépondérantes. Ainsi, en milieu urbain, les matériaux de construction ont un impact notable sur les températures nocturnes. Il convient alors de s'intéresser au microclimat*.

1.2.2.3. Adaptations des végétaux aux conditions de sol

Dans une région donnée, les gradients trophiques et hydriques sont essentiels pour définir le comportement des espèces. La figure 1 représente ces différents paramètres sous la forme d'un diagramme écologique.

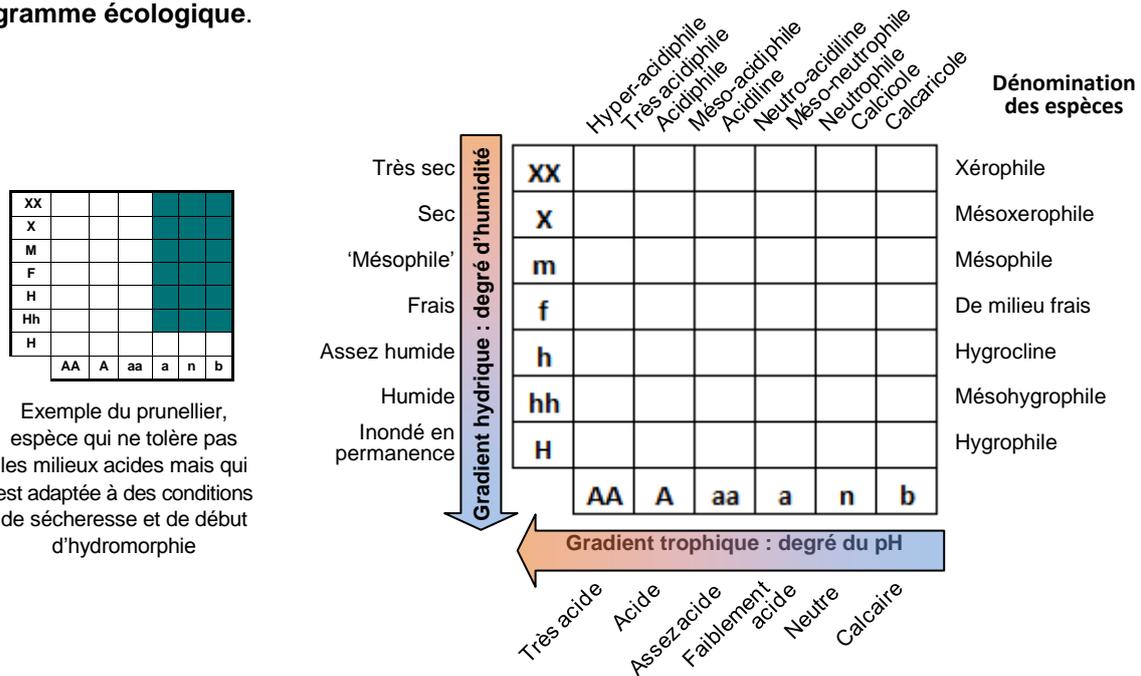


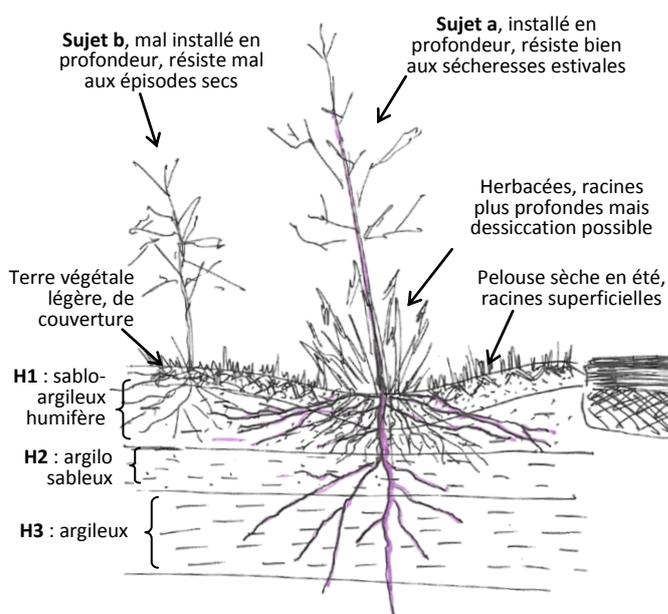
Figure 1 : Diagramme écologique, d'après *Flore forestière française – Guide écologique illustré (15)*.

Le gradient trophique. Les besoins nutritifs des végétaux varient selon les espèces. Pour choisir une plante adaptée, le niveau de réserve moyenne en eau et en nutriments du sol, son pH, ainsi que l'épaisseur prospectée par les racines sont à considérer (là encore, ces éléments sont généralement précisés dans les listes de végétaux proposées par les pépiniéristes).

Le pH* influence la solubilité des éléments dans la solution du sol* et leur biodisponibilité. En milieu alcalin (pH élevé), l'assimilation du fer est par exemple mauvaise. Il a également une incidence sur l'activité biologique du sol et sur la minéralisation des matières organiques*. Ces phénomènes sont forts en sol calcaire jusqu'à pH* 8 et plus faibles en sol acide. Cependant **le sol possède un pouvoir tampon* qui lisse les variations de pH* des eaux infiltrées.** L'apport chronique d'eaux à pH* extrême est à limiter. Par exemple le lessivage* régulier d'un parking en concassé calcaire conduit à une alcalinisation du milieu.

Le gradient hydrique du sol est influencé par les conditions climatiques et les divers paramètres du sol décrits précédemment : la structure*, la teneur en matière organique* ou encore la texture*. **L'impact de cette dernière sur le comportement des végétaux** se résume ainsi :

- **Les sols à dominante sableuse sont très drainants.** Il est préférable d'y **implanter des végétaux capables de supporter des périodes de sécheresse** comme le saule pourpre. En revanche, et si les horizons* sous-jacents ne sont pas particulièrement imperméables, ces sols ne présentent **pas de risques d'asphyxie racinaire.**
- **Les sols à dominante limoneuse** présentent une moindre macroporosité. En cas d'excès d'eau (observation de signes d'hydromorphie), **l'implantation de végétaux résistants à l'asphyxie racinaire**, tels que les saules, est particulièrement appropriée.
- **Les sols à dominante argileuse ont un comportement ambivalent.** L'argile possède une forte capacité de rétention en eau mais aussi une faible macroporosité aboutissant à un **risque d'asphyxie racinaire important en saison humide.** En revanche, lors d'épisodes de forte sécheresse, cette eau peut-être difficilement mobilisable par les plantes, voire des ruptures de jeunes racines sont possibles du fait du phénomène de retrait des argiles dans les horizons supérieurs et jusqu'à 50 cm de profondeur. **Les végétaux doivent alors avoir développé un système racinaire suffisamment profond** pour s'alimenter en eau à partir des horizons* sous-jacents, comme illustré dans la figure 2. C'est par exemple le cas des *Quercus sp.* (chêne) et des alisiers ou des héliophytes telles que les *Phalaris sp.* (baldingère) et les *Juncus sp.* (jonc).



Terre végétale* de couverture et H1. Horizon « éponge » soumis à des alternances fréquentes d'humidité et de sécheresse. Il est le premier à se ré-humecter en cas de pluie. La sécheresse estivale y est marquée. Elle cause un flétrissement plus ou moins rapide des herbacées, selon les espèces et leur niveau d'enracinement.

H2. Horizon qui alimente H1 par remontée capillaire. Sa texture et structure* limite le développement des racines. Il peut se dessécher fortement en été.

H3. Horizon peu prospecté par les racines car relativement peu poreux. Il constitue un stock peu disponible, d'eau majoritairement sous forme liée, excepté par remontées capillaires et puisage direct par les racines pivotantes et obliques.

Figure 2 : Exemple d'influence de la texture argileuse sur la disponibilité en eau des végétaux © Géniplant.

Il est important de signaler que le système racinaire des végétaux possède un certain niveau de plasticité, c'est-à-dire une capacité d'adaptation à des situations différentes de leur « sol de prédilection ».

1.2.2.4. Adaptation des végétaux aux conditions de pollution du milieu (hors accident)

Les minéraux ou la matière organique* participent à la nutrition des végétaux. Ils constituent rarement un problème pour leur développement, excepté dans des cas exceptionnels où ils sont présents en concentration anormale.

La croissance des plantes peut être affectée lors d'expositions à des **pratiques intensives de salage sur plusieurs années**. Des symptômes de brûlures, de chutes précoces des feuilles et même de dépérissement d'arbres sont observés, sauf dans le cas des espèces halophiles*.

Ce constat est issu de recherches bibliographiques généralistes pour les plantations d'ornement et aucun document ne traite spécifiquement du cas des ouvrages végétalisés. **Le risque « sels de déneigement » sur les plantes est alors à relativiser**. En effet, les eaux de lessivage* des voiries salées sont diluées par des ruissellements non chargés en sel. L'exposition au NaCl décroît rapidement en fonction de l'éloignement de la chaussée traitée. De plus, le transit se fait souvent sur des sols gelés ou déjà saturés en eau. Le flux d'eau salée est alors évacué via l'exutoire* sans passer par le voisinage direct des racines ou sans se stocker sur place de façon significative.

Concernant les hydrocarbures ou les éléments traces métalliques*, il existe très peu de références bibliographiques concernant l'adaptation des végétaux. Les rares plantes qui ont été étudiées à ce titre, l'ont été dans le cadre de la phyto-remédiation, voire même de la phyto-extraction. **Dans les concentrations habituellement mesurées dans les ouvrages végétalisés, ils ne sont pas phytotoxiques.**

Pour garantir le succès d'un aménagement paysager dans des situations de pollution particulière, **choisir une gamme diversifiée de plantes permet de compter sur la diversité adaptative des espèces**. Plus cette gamme est large et plus elle est efficace.

L'observation de terrain est un moyen efficace d'établir le niveau de résistance des végétaux aux conditions du milieu.

La massette (*Typha angustifolia*) est une héliophyte très résistante. Elle est particulièrement adaptée aux vases très organiques. Elle est à ce titre utilisée dans les stations de phyto-épuration. Elle est également tolérante au chlorure de sodium. © Géniplant



Pour en savoir plus sur les végétaux et notion d'autécologie

- ▶ **Les principaux végétaux aquatiques du Sud-Ouest de la France (21)**
- ▶ **Les haies brise-vent et bandes boisées (25)**
- ▶ **Les types de climats en France, une construction spatiale (26)**
- ▶ **Météo France : Carte interactive des normales climatiques par station (33) et dossier le climat en métropole (34)**
- ▶ **Flore forestière française, guide écologique illustré, 3 tomes (41)**
- ▶ **Génie biologique et aménagement de cours d'eau : méthodes de construction Guide pratique Publié par l'Office fédéral de l'environnement OFEV Berne, 2010 (50)**

2. APPLICATION DE CES PRINCIPES AU FONCTIONNEMENT DES OUVRAGES VEGETALISES

Parmi les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales, les ouvrages végétalisés constituent une solution originale. **Leur fonctionnement est largement impacté par les interactions entre les végétaux qui y sont implantés et leur support**, autrement dit par le **couple sol/plantes**. Le principal défi à relever consiste à proposer des végétaux adaptés aux conditions particulières qui y règnent, et notamment à la situation hydrique.

2.1. Intérêt du couple sol/plantes

Les ouvrages végétalisés ont pour but de **participer à l'infiltration sur place, au stockage, à la réduction des volumes ruisselés et à leur régulation, ainsi qu'à une meilleure maîtrise des transferts de polluants**. Ces fonctions sont dépendantes du comportement hydrique du sol. Le tableau 6 analyse ces **impacts selon les grandes classes de texture* de sol**. Il met en évidence les **facteurs de risques qui en découlent : colmatage*, lessivage*, battance* et hydromorphie***.

	Sol (ou horizon*) à dominante sableuse	Sol (ou horizon*) à dominante limoneuse	Sol (ou horizon*) à dominante argileuse
Infiltration	Rapide	Moyenne à faible selon la structure*.	Faible à très faible selon la structure*. A nuancer pour les argiles calcaires.
Filtration	Médiocre. Mauvaise interception des particules fines et des polluants associés.	Moyenne	Excellente si argiles assez perméables. Très bonne fixation de la matière organique* et des polluants (notamment les ETM).
Stockage hydrique	Important car forte macroporosité*, mais très temporaire	Faible à moyen. Dépend de la structure* du sol qui peut varier considérablement	Faible à moyen selon la structure*, mais durable.
Sensibilité Risque	Lessivage* vertical et oblique et perte de fertilité du sol. Colmatage* si la charge particulaire est forte et dans une grande épaisseur du sol.	Battance* et diminution de la capacité d'infiltration. Colmatage* de surface si les eaux sont chargées en particules.	Prédisposition à l'hydromorphie*, en lien avec un risque d'asphyxie racinaire.

Tableau 6 : Comportement hydrique du sol, selon les grandes classes de texture* © Géniplant

A l'influence de la texture*, il convient d'ajouter plus largement le **rôle des microorganismes du sol, de la matière organique***, mais aussi **des végétaux**. Ils participent à la **tranquillisation des flux, la filtration, l'aération des différents horizons* ainsi qu'à l'assimilation d'éléments minéraux**. Toutes ces variables sont à intégrer pour comprendre et maîtriser le fonctionnement des ouvrages végétalisés. Il faut donc s'intéresser plus généralement aux **différents rôles et actions du couple sol/plantes**.

2.1.1. Actions sur le contrôle des débits

Par leurs tiges et feuillages, **les végétaux peuvent contribuer à ralentir physiquement le transit de l'eau en surface** (augmentation de la rugosité*). Cette tranquillisation des flux **augmente la sédimentation** des matières en suspension.

Une partie du transit horizontal de l'eau se fait également dans la macroporosité* des horizons* supérieurs du sol et de la litière* de surface. Cette macroporosité* est notamment favorisée par la **présence de racines** ou d'éléments grossiers. Elle **crée une capacité de stockage** qui contribue également à **lisser les débits** surtout pour les pluies les plus courantes. Cela est par exemple le cas dans les noues, fossés et bassins, avec des petits et grands roseaux comme les *Phalaris sp.* et les *Phragmites sp* qui forment une brosse aérienne touffue et un chevelu racinaire dense.

2.1.2. Actions sur l'infiltration et la prévention du colmatage*

L'**infiltration** peut-être **contrariée par un colmatage*** dès les premiers horizons* du sol, via l'accumulation de fines particules. La perméabilité* est également réduite **par compaction du sol**.

La végétation retient une partie des particules fines et ralentit leur entraînement dans le sol. L'exploration du sol par **les racines** sur une grande profondeur **dessine des chemins préférentiels d'infiltration**, favorisant le rechargement des nappes*. Pour les horizons* les plus superficiels, **les plantes à racines fasciculées** (chevelues et denses) **associées à la microfaune évitent la compaction** du sol. A titre d'exemple les graminées possèdent ce type de racines disposées en faisceau aussi appelé « poireau ».

2.1.3. Actions sur le captage de l'eau

L'eau est essentielle au métabolisme et à la croissance des plantes. **Les plantes sont capables de capter, stocker et évaporer des quantités variables d'eau**. Par exemple, l'évapotranspiration* d'un couvert végétal herbacé en été est de l'ordre de 5 mm/jour, soit 5 L/m²/jour. Autre exemple, hors unité de surface, un saule blanc ou un peuplier adulte consomme jusqu'à 100 L/jour. A ceci, il convient d'ajouter les volumes d'eau retenus à la surface du feuillage et des tiges.

Ces volumes interceptés et valorisés par la végétation, **soulagent directement les réseaux** avals, tout en présentant un **bilan positif sur la régulation climatique, grâce à l'évapotranspiration***. Il n'est cependant pas facile de donner d'ordre de grandeur plus précis étant donné la diversité des paramètres qui rentrent en ligne de compte : période de l'année, zone climatique, type de plantes ou encore densité de plantation.

2.1.4. Actions physiques sur les contaminants

Les micropolluants organiques* peuvent être dégradés par volatilisation, photodégradation, hydrolyse, oxydation, réduction, etc.

Les études récentes montrent également que **les éléments traces métalliques*** et **les micropolluants organiques*** sont arrêtés par filtration et adsorption. Ce phénomène a lieu dans les couches superficielles du sol jusqu'à 50 cm de profondeur.

Les risques de pollution des nappes* sont faibles à conditions que :

- **Le fond de l'ouvrage d'infiltration soit au moins à 1m au-dessus de la cote des plus hautes eaux de la nappe***.
- **Les conductivités hydrauliques* ne soient pas trop élevées**. Plus la microporosité* est importante et plus la rétention et la fixation des polluants est effective.

Le pH* influence la capacité de fixation des polluants sur les argiles. La plupart des éléments traces métalliques* sont fixés dans les sols à pH* alcalin comme dans les sols calcaires. En revanche, ils passent dans la solution du sol*, et sont infiltrés en cas d'acidification. Le bore, le molybdène, l'arsenic, ou le sélénium ont un comportement inverse ; ils sont fixés en sol acide et lessivés en sol basique.

2.1.5. Actions biologiques sur les contaminants

L'intérêt de la rétention des polluants réside dans leur dégradation potentielle *in situ*. En effet, **le sol à travers les microorganismes qui le composent, participe à la minéralisation ou co-métabolisation d'un certain nombre de ces polluants**. Leur rôle est d'ailleurs reconnu puisqu'ils sont déjà largement utilisés dans la dégradation des polluants organiques*. C'est par exemple le cas de la matière organique*, pollution courante des ouvrages végétalisés, dont la concentration dans les eaux circulantes est fortement diminuée en saison végétative.

Ce processus de dégradation/minéralisation est **renforcé par les plantes et leur interaction bénéfique avec les microorganismes du sol** : amélioration de l'oxygénation du sol ainsi que des activités des bactéries et des mycorhizes* (association symbiotique d'un champignon avec les racines des plantes). Cette synergie est d'autant plus forte que le système racinaire est dense et que la vie biologique du sol est favorisée.

En savoir plus sur l'intérêt du couple sol/plantes

- ▶ *Phytotechnologies appliquées aux sites pollués* (1)
- ▶ *Rôle de la végétation sur l'évolution des caractéristiques physico-chimiques des sédiments déposés dans un bassin d'infiltration des eaux pluviales* (4)
- ▶ *Transfert eaux-sols-plantes de micropolluants : état des connaissances et application aux eaux de ruissellement urbaines* (13)
- ▶ *Rôle des sédiments organiques sur le fonctionnement hydrodynamique des bassins d'infiltration d'eaux pluviales* (18)
- ▶ *Colonisation végétale des bassins d'infiltration – Caractérisation de la flore et évolution des caractéristiques physico-chimiques de l'horizon de surface végétalisé* (42)

2.2. Importance du régime hydraulique* dans le choix des végétaux

Les ouvrages végétalisés alternent les périodes de sécheresse et les événements pluvieux de faible intensité en situation courante et de forte intensité en situation exceptionnelle. Le tableau 7 présente le fonctionnement de ces dispositifs en fonction de leur régime hydraulique*.

Le choix de la végétation est à réaliser en fonction des conditions hydriques du sol, du type d'ouvrage végétalisé, de sa géométrie et de la répartition des végétaux sur son profil. Les plantes retenues pour aménager un talus de fossé sont évidemment différentes de celles qui sont utilisées dans le fond d'un bassin humide. Déterminer les caractéristiques, notamment hydriques, du milieu d'accueil et les confronter aux exigences des végétaux permet de réaliser un choix avisé. L'utilisation du diagramme écologique des espèces facilite ce travail.

A ce titre, **les végétaux suivants sont particulièrement intéressants** :

- **Les ligneux qui supportent des situations d'hydromorphie*** et d'importantes variations de niveau hydrique.
- **Les herbacées qui supportent les situations d'alternance humidité/sécheresse.** Il s'agit du cortège courant des herbacées à large plasticité.
- **Les herbacées qui supportent des situations d'hydromorphie* importantes** :
 - **Les héliophytes.** Leurs tiges, leurs feuilles et leurs fleurs se développent en majorité hors de l'eau. Le sol est couvert d'eau ou simplement humide, de type vase. La plante se nourrit dans le sol mais est parfois capable d'établir des racines à l'interface sol-eau. C'est le cas des roseaux, massettes, salicaires, iris ou encore épilobes.
 - **Les hydrophytes.** Leur système racinaire est toujours dans l'eau et leur système foliaire est, soit totalement, soit partiellement immergé comme le potamogeton. Certaines sont flottantes et possèdent des racines uniquement dans l'eau comme les laitues d'eau.
 - **Les amphibies.** Elles développent une stratégie intermédiaire avec quelques espèces qui présentent les deux formes de développement comme les renouées aquatiques.



Roseau
(*Phragmites australis*)
© Géniplant



Renouée aquatique
(*Polygonum amphibium*)
© Géniplant

Un document est annexé pour proposer quelques listes, non exhaustives, d'espèces herbacées et ligneuses adaptées à ces espaces.

Les figures 3 et 4, présentent une répartition de principes de ces espèces.

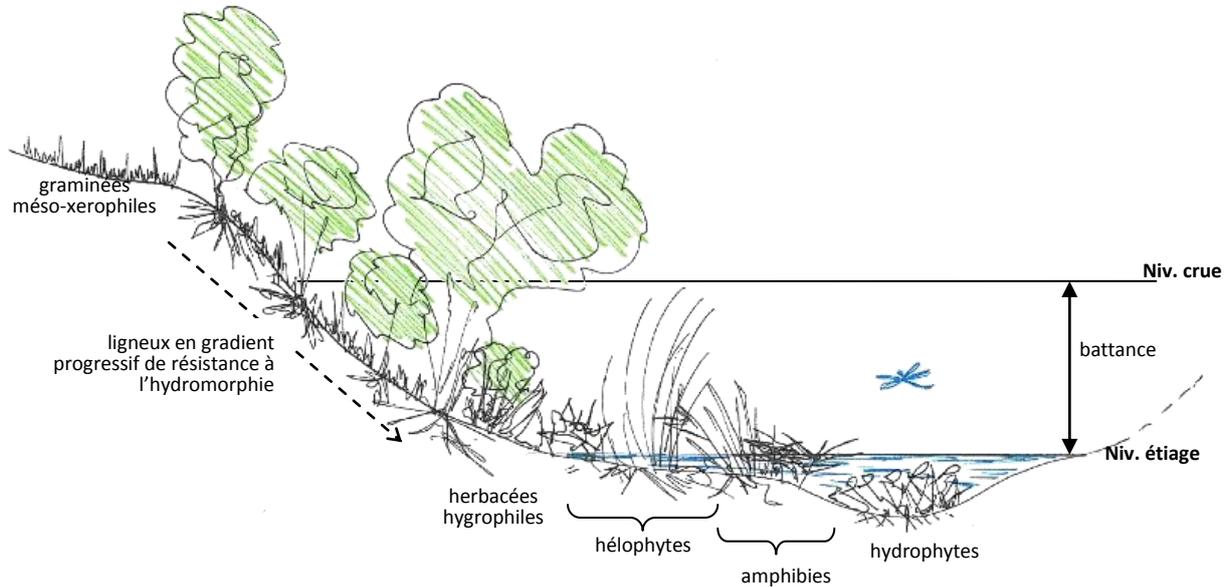


Figure 3 : Exemple sur un flanc, en coupe, d'un bassin humide – Répartition végétale de principe © Génipiant

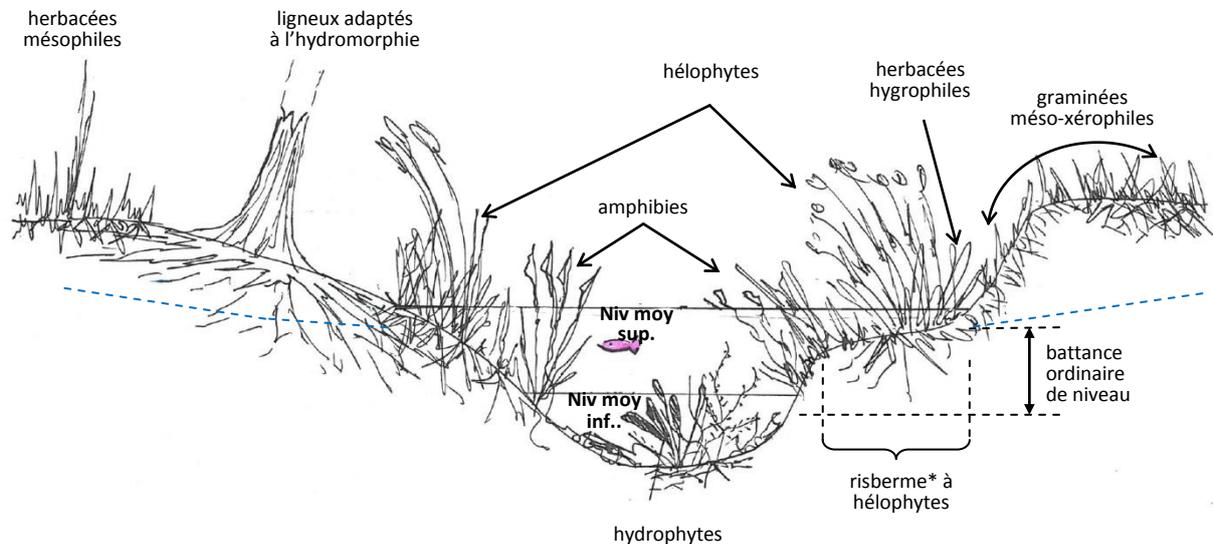


Figure 4 : Exemple de fossé en eau, à risberme*, à rôle régulateur-décanteur – Répartition végétale de principe © Génipiant

Enfin, l'installation de plantes allochtones* et notamment celles qui sont potentiellement envahissantes* est à proscrire. A plus ou moins long terme, elles deviennent invasives et colonisent le milieu au détriment des plantes autochtones*. Elles conduisent alors à une perte de biodiversité, et présentent même un risque fort de dysfonctionnement des ouvrages végétalisés.

Pour en savoir plus sur l'importance du régime hydraulique* dans le choix des végétaux

► *L'infiltration en questions, recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain – Programme EcoPluies (19)*

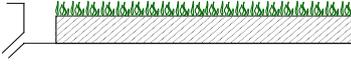
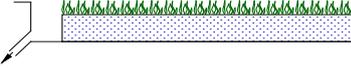
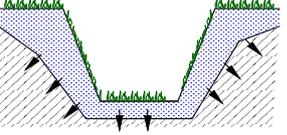
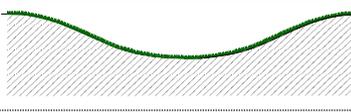
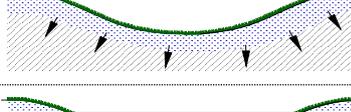
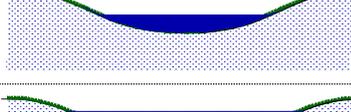
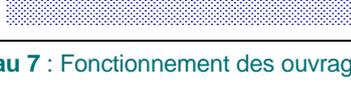
SCHEMA AVEC DECLINAISON DES CONDITIONS HYDRIQUES 1. Sécheresse 2. Evénement de faible intensité 3. Evénement de forte intensité		ETAT DE LA VEGETATION	EFFICACITE				VEGETAUX UTILISABLES	REMARQUES
			Infiltration	Régulation	Stockage	Epuration		
TOITURE VEGETALISEE								
1		Stress hydrique, risque faible si espèces et substrat adaptés	/	++	/	/	Espèces résistantes à la sécheresse : plantes grasses (sedums), certaines graminées et plantes vivaces, des ligneux très rustiques de faibles développements	Se conformer aux règles professionnelles « toitures végétalisées »
2		Bon état	/	++	++	+++		
3		Bon état risque faible si espèces et substrat adaptés	/	+	++	+		
TRANCHEES, FOSSES								
1		Stress hydrique, risque faible si espèces et substrat adaptés	/	++	/	/	En partant du haut de l'ouvrage : graminées, puis autres herbacées et enfin héliophytes avec un gradient selon leurs exigences hydriques	Débordement si mal dimensionné ou si entretien insuffisant
2		Bon état	+	++	++	+++		
3		Bon état si faible durée, risque d'asphyxie racinaire	+	+	+	-		
BASSINS SECS ET NOUES VEGETALISEES								
1		Stress hydrique, risque faible si espèces et substrat adaptés	/	+++	/	/	En partant du haut de l'ouvrage : graminées, puis autres herbacées et enfin héliophytes avec un gradient selon leurs exigences hydriques	Débordement si mal dimensionné ou si entretien insuffisant. Choix d'espèces résistantes à la submersion
2		Bon état	+	+++	++	+++		
3		Bon état si faible durée, risque d'asphyxie racinaire	+	++	++	+		
BASSIN HUMIDE								
1		Bon état risque en cas d'assèchement	-	++	++	++	En partant du haut de la berge : graminées, autres herbacées, ligneux, puis héliophytes, amphibies et enfin hydrophytes	Difficulté à maintenir en eau en cas de sécheresse prolongée
2		Bon état	-	++	+++	++		
3		Bon état	-	+	+	++		

Tableau 7 : Fonctionnement des ouvrages végétalisés de gestion des EP dans différentes conditions hydriques © CRITT Horticole

3. CONCEPTION DES OUVRAGES VEGETALISES

3.1. Des aménagements multifonctionnels

Lors de la conception d'un ouvrage végétalisé, la prise en compte de la problématique de gestion des eaux pluviales est certes essentielle, mais **ces aménagements paysagers remplissent aussi les fonctions et services habituellement assignés aux espaces verts.**

3.1.1. Cadre de vie

Les ouvrages végétalisés **contribuent à l'amélioration du bien-être de la population.** Ils bénéficient d'une très forte **connotation positive** auprès des citoyens et leur présence est un **indicateur de la qualité du cadre de vie** d'un territoire. Les études récentes montrent que les espaces verts participent à la cohésion sociale.

Ils permettent par exemple d'**aménager des espaces différenciés** et de dégager des perspectives : zone plus calme, zone aquatique, etc.

Enfin, à proximité d'un bâtiment ou d'une parcelle à aménager, ils en augmentent significativement la valeur.

3.1.2. Récréation

Certains ouvrages végétalisés sont conçus pour être **utilisés pour des activités sportives** (parcours santé, terrain de football, etc.) **ou récréatives** (aire de pique-nique, jeux pour enfants, etc.).

Ils offrent de grandes surfaces dégagées qui **se retrouvent inondées en cas de fortes précipitations***. Il est préférable de favoriser les aménagements qui **restent accessibles au public même lors de ces périodes d'immersion.** Ces espaces sont alors aménagés en jouant sur les pentes et les reliefs. Ils présentent des zones non inondables accessibles à tout moment et des zones fréquemment humides dont l'accès est proscrit en période de submersion. Pour un bon usage de ces espaces, il est nécessaire :

- **D'informer les riverains** ou les usagers sur leur fonctionnement.
- **D'établir une signalétique adéquate.**
- **De mettre en sécurité les usagers** et les équipements constitutifs de l'ouvrage.

Ainsi, les ouvrages végétalisés peuvent simultanément être utilisés comme des espaces paysagers, d'agrément, récréatifs, ou encore de gestion des eaux pluviales. En termes d'investissement, cela permet généralement de **mutualiser les coûts** plutôt que traiter ces usages séparément.

Cette synergie se retrouve également pour des services plus indirects, et financièrement plus difficile à évaluer : structuration de l'espace, amélioration de la biodiversité et régulation climatique.



Noue arbustive en eau lors d'une période humide © CRITT Horticole

3.1.3. Structuration du paysage et de l'espace

La mise en place d'ouvrages végétalisés structure les espaces. Par exemple, les fossés ou les noues arborées peuvent être utilisés pour délimiter physiquement des zones ou éviter l'intrusion et le passage de véhicules.

Le choix des végétaux, leur gabarit, leur densité de plantation et leur agencement **déterminent l'ouverture/fermeture et l'horizontalité/verticalité des espaces et des vues.** Les variations de reliefs participent également à cet objectif de structuration.

3.1.4. Biodiversité

Les noues, bassins humides et autres ouvrages végétalisés contribuent au maillage du territoire urbain par un **réseau connecté de milieux naturels ou semi-naturels terrestres (trame verte) ou humides (trame bleue)**. Ils assurent une continuité écologique en limitant la fragmentation et la vulnérabilité des habitats naturels. Les ouvrages végétalisés jouent un rôle essentiel de **préservation de la biodiversité** en constituant ce réseau d'échange pour que les espèces animales et végétales puissent y assurer leur cycle de vie. Cette **contribution est d'autant plus grande que les solutions employées sont diversifiées et les espaces différenciés**. Elles offrent alors une plus grande variété d'habitats : zone plus ou moins arborée, plus ou moins ombragée, plus ou moins humide, etc. Ils constituent alors un refuge pour :

- **La biodiversité animale**, pour la macro et la microfaune. Les toitures végétalisées sont par exemple des zones d'accueil privilégiées pour les oiseaux. Ils s'y nourrissent d'insectes et autres invertébrés. Une véritable chaîne alimentaire s'établit localement.
- **La biodiversité végétale**. Quel que soit l'ouvrage, la diversité végétale qui s'établit à terme est généralement **fonction de la biodiversité initiale**, c'est-à-dire à l'implantation. Par exemple, une noue plantée d'une grande variété d'espèce est beaucoup plus accueillante pour la flore spontanée qu'une noue simplement enherbée.

3.1.5. Régulation climatique

Le phénomène d'îlot de chaleur urbain est de plus en plus important. Il s'agit d'une élévation de température localisée et provoquée par l'urbanisation, l'artificialisation des espaces et les activités humaines. **La présence de végétation joue un rôle important sur la régulation climatique** en limitant cet effet.

Plusieurs phénomènes entrent en jeu : **absorption du rayonnement solaire par l'ombrage des végétaux, réduction des transferts de masse d'air chaud et évapotranspiration***. Ce dernier effet est le plus significatif et a fait l'objet de nombreuses études en France et à l'étranger. Les ouvrages végétalisés qui stockent d'importantes quantités d'eau participent à ce phénomène. La contribution de la végétation dépend largement du rapport entre densité du bâti et masse de végétation.

Pour en savoir plus sur les aménagements multifonctionnels

- ▶ *Biodiversité positive : Biodiversité et gestion de l'eau à la parcelle : les bassins de rétention (6) et les noues et les fossés (7)*
- ▶ *Trame verte et bleue et documents d'urbanisme – Guide méthodologique (9)*
- ▶ *Les bienfaits du végétal en ville – Synthèse des travaux scientifiques et méthode d'analyse (27)*
- ▶ *Aménagement et gestion des eaux pluviales (29)*
- ▶ *Impacts psycho-sociaux des espaces verts dans les espaces urbains (32)*
- ▶ **Impacts du végétal en ville. Fiches de synthèse du programme de recherche VegDUD (40)**

3.2. Combinaison des ouvrages végétalisés dans un aménagement cohérent : illustration par l'exemple

Dans cette partie, les ouvrages végétalisés sont présentés comme des **entités combinées afin de répondre aux usages spécifiques** des différents espaces : **transport, stationnement, récréation**, etc.

Pour chaque type d'espace abordé des considérations générales sont rappelées puis **illustrées par des exemples**. Ils sont **principalement tirés d'un cas concret d'aménagement d'une zone commerciale**, réalisé entre 2008 et 2012 et localisé dans la frange urbaine d'une agglomération moyenne du Centre-Ouest de la France. La figure 5 propose un plan de présentation général de ce dernier.



Sens d'écoulement Figure 5 : Aménagement d'une zone commerciale multi-services combinant de nombreux ouvrages végétalisés (Aménagement © Geniplant - photos © CRITT Horticole)



3.2.1. Les voiries

Dans ce type d'espace, **la fréquentation est un facteur prépondérant**. Elle impacte directement la charge en contaminants des eaux de ruissellement et la manière dont elles sont aménagées. Le cas des voiries à très forte fréquentation comme les grands boulevards ou autoroutes et le cas spécifique du transport de produits dangereux ne sont pas abordés dans ce paragraphe.

3.2.1.1. Pour les très faibles fréquentations.

Tous les matériaux terreux placés en accotement conviennent. Ces accotements, souvent stabilisés avec une charge graveleuse, sont **simplement recouverts d'une végétation ordinaire de type herbacé et d'entretien facile**. Les eaux de ruissellement perdent alors la majorité de leur charge en particules avant d'atteindre le fond de l'ouvrage. **Un simple ou double fil d'eau de faible ampleur et végétalisé convient pour récupérer les eaux.** En cas de pente forte, il est souhaitable de créer des petits espaces de décantation avec une densité végétale plus forte.

3.2.1.2. Pour les faibles fréquentations.

Dans ce cas, et pour assurer une meilleure rétention des éventuels contaminants, **il est préférable d'inclure des matériaux terreux avec environ 10 % d'argile minimum.**

3.2.1.3. Pour les moyennes fréquentations.

Il faut à la fois veiller à **favoriser la rétention des contaminants, mais également assortir les voiries de fils d'eau plus amples**, tels que ceux des noues et fossés.

Il est conseillé **d'éviter de sur-creuser le fond** pour un bon développement de la végétation. **Une largeur minimale de l'ordre du mètre favorise la filtration par les végétaux** et évite que la décantation ne consiste en un dépôt de vases. L'ensemble du système végétalisé est à entretenir pour **éviter une accumulation excessive de matière organique*** telle que des feuilles mortes. Elle conduirait à l'asphyxie du système biologique.

La végétation idéale est une sorte de « brosse » végétale dense et courte (illustration 1). Au cœur du fil d'eau, il est souhaitable d'installer immédiatement des héliophytes variées (illustration 2). Elles se maintiendront d'une année sur l'autre grâce à leur capacité de régénération naturelle à condition d'attendre la mise à graine pour faucher ces espaces. L'aspect esthétique de ces plantes variées participe pour beaucoup à l'aménagement paysager fleuri.



Illustration 1 – « Brosse » végétale. Ce bassin d'infiltration et de stockage est situé à l'interface de différents espaces circulés. Les différentes strates de végétaux filtrent progressivement les EP. Par exemple les graminées agissent comme une sorte de peigne et retiennent les plus gros débris (a).



Illustration 2 – Héliophyte. Le centre de ce bassin d'infiltration est végétalisé par une roselière. Le mouvement des grandes tiges des roseaux (action du vent) ainsi que leur chevelu racinaire, créent des chemins d'infiltration préférentiels. L'activité biologique est également favorisée et entretient la porosité* du sol. Cet aménagement nécessite un entretien régulier.

3.2.1.4. Pour les fortes fréquentations.

La conception évolue vers des **fossés imperméabilisés** avec des matériaux argileux qui **débouchent dans des bassins présentant une faible perméabilité***. Les rejets sont idéalement dirigés vers des espaces de transit à capacité de traitement supérieure. La charge de contaminant de l'eau rejetée à l'aval peut encore être limitée par un **dispositif de filtration à leur exutoire*** et de **préférence végétalisé** (illustration 3).



Illustration 3 – Aménagement de gestion des eaux de voiries dans un cas de forte fréquentation. Cet ouvrage infiltre, stocke et collecte les eaux de ruissellement. La forme et les dimensions évoluent de la noue au bassin. A son extrémité aval, les pentes favorisent un stockage important. Le fond du bassin est étanche pour éviter une infiltration vers la nappe* qui est proche. La végétation est différenciée : graminées en périphérie, haie d'arbustes en bordure et cortège d'hygrophiles dans la partie la plus humide. La photo de détail (b) montre la contamination de la vase. Elle est extraite manuellement lors des périodes d'étiage*. En fonction des quantités à gérer, elle est exportée comme un déchet spécifique ou épandue sur les espaces verts environnants pour être dégradé par minéralisation, tout en évitant qu'elle ne se redépose dans l'aménagement.

3.2.2. Les parkings

La conception des ouvrages végétalisés en relation avec les stationnements intègre :

- **La fréquentation, le type de véhicules** concerné et le risque de pollution associé.
- **La quantité de particules** plus ou moins fines potentiellement présentes dans les eaux pluviales. Un contexte poussiéreux impliquera des mesures particulières.
- **Le taux de matière organique*** véhiculé par l'eau ou par le vent. Il s'agit de déterminer par exemple si l'environnement du site est générateur de biomasse telle que des feuilles mortes ou branchages.
- **La pente et la vitesse d'arrivée de l'eau.**
- **La capacité d'infiltration.**

Le choix des végétaux est déterminé par le degré de traitement vis-à-vis des polluants que l'on souhaite atteindre ainsi que par les conditions hydriques et le niveau de colmatage* des ouvrages végétalisés.

Les modalités d'emploi dans les différents contextes sont calquées sur celles des voiries. Les **illustrations 4, 5 et 6** présentent plusieurs niveaux de végétalisation.



Illustration 4 – Végétalisation limitée.

Après infiltration à travers un revêtement minéral grossier, les EP transitent dans un ouvrage enterré empierré (porosité* ~30%). Les arbres améliorent l'infiltration, stabilisent l'ouvrage et jouent un rôle paysager. Cet espace a été aménagé de manière à pouvoir être franchi par les piétons et à présenter un faible coût d'entretien.



Illustration 5 – Degré de végétalisation intermédiaire.
 Les dimensions paysagères et esthétiques de cet aménagement sont plus importantes que dans l'exemple précédent. Il devient plus difficilement franchissable par le public. Il nécessite en revanche un niveau d'entretien plus conséquent.



Illustration 6 – Fort degré de végétalisation.
 Noue arbustive qui favorise l'infiltration des eaux de ruissellement et la stabilisation du sol. Elle est recouverte de graviers qui filtrent les débris les plus grossiers. En formant un paillage, ils limitent également le développement des adventices*.

3.2.3. Les espaces naturels urbains et périurbains

Les espaces naturels urbains et périurbains comprennent les prairies, les cultures et les espaces paysagers ou forestiers. Plus généralement, il faut y inclure l'ensemble des aménagements urbains ou périurbains rencontrés dans des espaces peu artificialisés et peu imperméabilisés tels que chemins, routes, parkings, bâtiments spécifiques, plans d'eau ou encore équipements sportifs.

Il ne faut pas généraliser la collecte des eaux de ruissellement, notamment à proximité des sites les plus fréquentés, pour éviter une surcharge hydraulique dans les réseaux aval. La stratégie est plutôt de **combinaison toutes les possibilités de stockage temporaire pour favoriser l'infiltration et retarder les flux grâce aux végétaux et aux matériaux terreux ou rocheux**. Cet effet peut être accentué en **disposant des éléments graveleux dans le fond des fossés et en insérant des seuils filtrants**. Ils ralentissent l'écoulement de l'eau, favorisent la décantation et filtrent les macro-déchets, excepté ceux qui surnagent en surface.

Comme cela a été expliqué précédemment, la **rationalisation de l'espace et la recherche de la multifonctionnalité** sont là encore à privilégier. **L'illustration 7** présente un espace naturel paysager, qui participe à la structuration de l'espace, qui favorise la biodiversité et améliore le cadre de vie du site, tout en assurant une fonction de gestion des eaux pluviales.



Illustration 7 – Conception d'un espace naturel périurbain multifonctionnel. Ce petit cours d'eau temporaire préexistait à l'aménagement. Utiliser cet espace comme un ouvrage végétalisé était une réelle opportunité. Ses pentes et formes ont été redimensionnées par rapport au débit de fuite* attendue. Les berges ont été re-végétalisées afin de filtrer l'eau de ruissellement, tout en tenant compte d'un impératif esthétique. Les ganivelles (c) filtrent les débris les plus volumineux entre chaque tronçon. Le couple sol/plantes facilite la décantation des particules, qui lors des périodes d'étiage*, forme une croûte visible (d). Elle est extraite le plus régulièrement possible et gérée comme indiqué dans l'illustration 3.

3.2.4. Les espaces sportifs et récréatifs (hors espaces naturels)

Lorsqu'ils ne sont pas inclus dans les espaces naturels, ils présentent des caractéristiques proches des voiries et parkings, mais avec un potentiel polluant bien inférieur.

Selon les événements pluvieux, la priorité de leur usage passe d'une fonction de récréation à une fonction hydraulique.

Dans de nombreuses configurations, ils ne sont pas imperméabilisés et l'infiltration se fait sur place (**illustration 8**). Dans le cas contraire, ils sont intégrés dans des espaces verts qui accueillent les eaux de ruissellement générées et idéalement acheminées en gravitaire en jouant sur la topographie.

Le concept le plus fonctionnel consiste à entourer ces espaces de marges engazonnées assez larges, puis de massifs plantés d'arbres, arbustes ou vivaces. Des reliefs très légers sont nécessaires pour assainir ces aménagements et diriger en douceur le flux des eaux de ruissellement (**illustration 9**).

Les espaces engazonnés doivent pouvoir résister au piétinement. Cela est particulièrement vrai pour les terrains de football et les espaces piétonniers, dont la fréquentation s'étale sur une large période. Il est alors essentiel de préserver un potentiel d'infiltration-diffusion optimal et de le compléter éventuellement par un drainage couplé à des ouvrages végétalisés.



Illustration 8 – Infiltration sur place. Cheminement récréatif en graviers résinés infiltrants. Après une première épuration* par le dispositif, les eaux sont infiltrées puis stockées dans un ouvrage enterré. La végétalisation est réalisée à partir de saules et a été guidée pour servir de garde-corps.



Illustration 9 – Aménagement présentant un modelé très léger. Espace récréatif submersible utilisé en cas d'évènement pluvieux exceptionnel pour stocker temporairement une grande quantité d'eau. La végétalisation est principalement constituée de graminées, faciles à entretenir.

3.2.5. Les espaces horticoles et jardinés

Les espaces horticoles et jardinés sont des espaces végétalisés avec une **qualité esthétique et un niveau d'entretien plus élevé que les espaces naturels**. Ils sont souvent localisés dans des zones à haut niveau de fréquentation et de circulation. Il est possible de concevoir ces espaces de manière à gérer les eaux de ruissellement des espaces voisins en plus des eaux de pluie qu'ils reçoivent directement.

Les espaces aquatiques (illustration 10). En période hivernale, les étangs, mares, bassins et ruisselets, **servent de bassin tampon**, avec un débit de fuite* de régulation vers un exutoire* direct ou indirect. Il est judicieux sur les grands espaces paysagers, de **profiter des volumes stockés dans les ouvrages pour arroser en période estivale les espaces verts**.

Les espaces terrestres (illustration 11). Ils sont à articuler en modelés topographiques successifs. Ils orientent les eaux vers les espaces non piétonniers tels que les massifs, bosquets ou encore les plates-bandes. Ces espaces sont établis à plat ou en creux plus ou moins prononcés selon les cas, de manière à recueillir le ruissellement des espaces imperméables.



Illustration 10 – Espace horticole aquatique. Ultime bassin tampon avant évacuation des eaux vers l'aval du site. Il crée un espace aquatique temporaire très favorable aux batraciens et autre faune associée. La flore est constituée de graminées en périphérie et de plantes hygrophiles dans la partie humide.



Illustration 11 – Espace jardiné. Cet espace paysager d'infiltration intègre du mobilier d'agrément. Il arrête les particules les plus lourdes (e). Pour assurer un niveau de propreté suffisant, il nécessite des interventions fréquentes de décolmatage et d'entretien des végétaux.

3.2.6. L'accompagnement des bâtiments

Les façades de bâtiment interceptent de grandes quantités d'eau en fonction de leur exposition. Elles sont restituées en pied de mur et il faut éviter de les accumuler pour assurer leur pérennité (illustration 12). Il convient d'y établir un drainage dans un espace gravillonné de propreté, auquel le dispositif d'évacuation des eaux de toitures est à relier. Dans le cas particulier des façades végétalisées, une proportion variable est directement captée par la végétation (illustration 13).

L'installation de végétaux en accompagnement de bâtiment permet de :

- Stocker une partie des eaux pluviales dans les substrats où sont implantés les végétaux.
- Consommer une partie des eaux de pluie par évapotranspiration*.
- Capturer les éventuels polluants générés par les façades.
- Offrir un cadre paysager et microclimatique* favorable aux résidents.



Illustration 12 – Végétalisation en pied de bâtiment. Cet aménagement, en plus de capter une partie des eaux pluviales, participe à l'amélioration du cadre de vie de l'écoquartier de la Bottière à Nantes



Illustration 13 – Façade végétalisée. Au bout de quelques années, cette végétation à partir de plantes grimpantes est suffisamment développée pour capter une partie des eaux de pluie. Cet aménagement est localisé dans le 18^e arrondissement de Paris.

Des dispositions sont à prendre pour éviter le bouchage des drains par les racines et la présence des réseaux doit faire l'objet d'attentions particulières. Il est conseillé d'intercaler **des feutres anti-racines** entre les volumes pierreux et aérés de pied de mur et les matériaux terreux de proximité, ainsi qu'en protection des drains et des réseaux enterrés.

3.2.7. Les toitures

Dans la grande majorité, les toitures urbaines sont réalisées avec des matériaux « lisses » : tuiles, ardoises, tôles d'acier ou de zinc nervurées ou encore membranes d'étanchéités autoprotégées.

Pour certaines structures de grandes ampleurs telles que les surfaces commerciales, des dispositifs d'accélération sont mis en œuvre afin d'éviter une surcharge pondérale. En conséquence, **l'accueil à la sortie des exutoires* est particulièrement à renforcer pour éviter les chocs hydrauliques** ou les érosions périphériques (**illustration 14**). Le substrat qui accueille les végétaux est alors déterminant.

Dans le cas des toitures végétalisées (indiquées pour des pentes allant jusqu'à 30 %), l'intérêt vis-à-vis de la gestion des eaux pluviales réside dans **l'effet retard sur le ruissellement** qu'elles induisent. Il est fonction du système de végétalisation installé : épaisseur et capacité de rétention en eau du substrat, propriétés de la couche de drainage, etc. Ainsi, les toitures végétalisées extensives (épaisseur de substrat inférieure à 10 cm) sont moins retardantes que les toitures semi-intensives (épaisseur de substrat de 15 à 20 cm) ou que les toitures intensives (substrat jusqu'à 1m d'épaisseur). Cette épaisseur dépend de la capacité de la structure porteuse. Elle est déterminante dans le choix des végétaux, au même titre que le niveau d'entretien attendu. Les plantes les plus rustiques* et résistantes à la sécheresse telles que les sédums (**illustration 15**) seront préférées pour les toitures extensives. En revanche, des espèces plus exigeantes comme les arbustes de faible développement pourront être choisies pour végétaliser les toitures intensives. Le fonctionnement des toitures végétalisées peut s'apparenter à celui d'un écosystème sur un sol classique. **Le couple sol/plantes y joue les mêmes rôles : captage et fixation de certaines particules** véhiculées par les eaux de ruissellement.

Les principaux contaminants des eaux de ruissellement de toiture sont issus des matériaux constitutifs des structures. En revanche, dans le cas des toitures végétalisées, des eaux de lessivage* organique, un peu brunifiées par la présence d'éléments terreux, et parfois chargées en azote en cas de fertilisation inadaptée, peuvent être rejetées.



Illustration 14 – Aménagement d'accueil des eaux de toiture d'un parking couvert. Les végétaux ont été choisis dans un objectif de faible entretien et pour limiter les phénomènes d'érosion.



Illustration 15 - Toiture végétalisée extensive. Cette toiture, dont la pente est nulle, possède une végétalisation monospécifique de sédum. Elle nécessite très peu d'entretien.

Pour en savoir plus sur la combinaison des ouvrages végétalisés

- ▶ Faveur : a functional model for vegetative green roofs (5)
- ▶ Guide de gestion des eaux de pluie et ruissellement (15)
- ▶ Green roofs : metal sinks or sources? (43)

4. RECOMMANDATIONS POUR LA CONCEPTION, LA REALISATION ET LA MAINTENANCE DES OUVRAGES VEGETALISES

4.1. Points de vigilance à la conception

4.1.1. Rappel des principes

La conception débute par **une étude de la situation initiale à l'échelle du bassin versant***. Elle se conclut par la proposition d'un ensemble de solutions spécifiques à chaque projet, qui font écho aux principes développés dans ce document. Il s'agit de chercher à :

- Perturber le moins possible le cycle naturel de l'eau. **L'infiltration ou le stockage au plus près de la surface d'accueil de la goutte d'eau sont à privilégier.**
- **Favoriser la multifonctionnalité des espaces** : insertion paysagère des bâtiments et infrastructures, amélioration du cadre de vie, structuration de l'espace ou encore préservation de la biodiversité.

De manière générale, et d'après le retour d'expérience des maîtres d'ouvrage, **il faut à tout prix éviter de « cacher l'eau » dans les ouvrages végétalisés**. Au contraire, en montrant des zones humides, les gestionnaires n'oublient pas la dimension hydraulique de ces ouvrages et l'entretien qui en découle. De même la population prend pleinement conscience de leur fonctionnement et profite en toute sécurité de leur multifonctionnalité.

4.1.2. Aspects réglementaires

Ces solutions doivent intégrer une analyse écologique et réglementaire de la situation initiale : le relief, les écoulements de surface, le classement des espaces en zone humide ou espace « naturel ». D'après l'article R. 214-1 du **Code de l'environnement**, le calcul de la surface de l'ensemble du bassin versant* à considérer détermine si le projet fait l'objet :

- d'une déclaration*, surface comprise entre 1 et 20 ha.
- d'une autorisation*, surface supérieure à 20 ha.

Dans tous les cas, les travaux relatifs à la gestion des eaux pluviales sont concernés par les exigences de **la Loi sur l'eau**. La conformité vis-à-vis des **règlements locaux d'urbanisme** est également à vérifier : Plan Local d'Urbanisme, Plan de Prévention des Risques d'Inondation, Plan de Prévention des Risques Naturels, etc.

4.1.3. Aspects pratiques

L'analyse du site comprend l'intervention d'un géotechnicien agréé afin de **caractériser** les propriétés hydrauliques du sous sol : nature des horizons* profonds, **perméabilité* ou encore niveaux de nappe***. **Missionner un géotechnicien très tôt dans le projet** permet de disposer de ses observations à des périodes clés, et notamment du niveau des nappes* en fin d'hiver. Le **schéma de fonctionnement global du ruissellement** doit être établi à partir de cette analyse et d'une lecture du paysage en fonction du relief et des pentes. **Le cheminement de l'eau et son sens d'écoulement sont également à vérifier sur le terrain. La conservation des espaces déjà végétalisés est à rechercher.**

Le bon fonctionnement des ouvrages végétalisés repose, pour une large part sur **l'entretien. Il est essentiel d'intégrer cette question dès la phase de conception**, en prenant quelques précautions :

- **Prévoir l'accès du matériel** d'entretien.
- **Rendre visible les points sensibles** à un manque de maintenance, tels que les dégrilleurs, pour faciliter leur surveillance.

4.1.4. Prévention des risques de colmatage*

En cas d'absence de **vigilance sur la question du colmatage***, une rénovation complète, onéreuse et délicate sera nécessaire. Pour le prévenir, **des actions préventives** sont à proposer dès la conception :

- **Combiner les solutions** de gestion alternative, **le plus en amont possible**.
- **Répartir l'arrivée des eaux de ruissellement en plusieurs points de l'ouvrage**, en évitant les bordures ou interfaces continues. En effet, une collecte localisée en un point génère un flux difficile à gérer et contenant de nombreuses particules en suspension. **Des enrochements aux points d'entrées limitent l'érosion des berges** qui en découlerait. **Le choix des végétaux est à étudier pour atténuer ce phénomène**. L'arrivée de l'eau dans les ouvrages se fait idéalement avec un **différentiel d'altitude de 3 cm** minimum vis-à-vis de la zone de ruissellement.
- **Faire transiter les eaux de ruissellement à travers une « brosse » végétale** pour retenir les matières en suspension.
- **Mettre en place des dispositifs de ralentissement** et de décantation tels que les dégrilleurs.
- **Veiller à ce que le rapport entre la surface d'infiltration et la surface active* soit le plus important possible et au minimum supérieur à 1 %**.
- **Installer en surface un paillage non flottant**, préférentiellement constitué de granulats, pour constituer une première macro-filtration de l'eau. Un **sablage de surface** avec une granulométrie assez forte permet d'associer horizontalement et verticalement les sables, la matière organique* et les argiles. La distribution devient, avec le temps, très favorable à l'accueil, à l'infiltration des eaux de ruissellement et à la fixation sur place des polluants sur le complexe argilo-humique*.

4.1.5. Recommandations spécifiques pour les végétaux

L'entrepreneur qui fournit les végétaux doit participer au choix des espèces, afin de signaler d'éventuelles propositions inadaptées. Il faut par exemple vérifier la compatibilité des plantes et de leur gabarit avec le sol, le climat, le régime hydraulique* ou encore le niveau d'entretien. Dans ces conditions, l'entrepreneur propose idéalement une garantie de reprise des plantes.

La végétation doit occuper la majeure partie de la surface concernée par l'aménagement afin que les systèmes racinaires prennent totalement possession des matériaux terreux disponibles. Toutefois, il faut prêter **attention à ce que ces derniers ne s'insinuent pas dans les réseaux de drainage ou dans les conduites** à proximité. Ils risqueraient de former des bouchons colmatant* totalement les écoulements. Les saules et les peupliers sont particulièrement dangereux à cet égard et ne doivent pas être plantés près des réseaux.

Enfin, le choix judicieux des végétaux et de leur mise en place favorise la biodiversité :

- **Rechercher une stratification verticale et un étalement des floraisons** et des fructifications au cours de l'année. Cette action aura une incidence bénéfique sur les insectes pollinisateurs et les oiseaux.
- **Préférer les essences locales** aux espèces horticoles. Dans le cas des prairies fleuries, il est conseillé d'opter pour les mélanges d'espèces autochtones*, sauvages et très variées.

4.2. Points de vigilance à la réalisation

4.2.1. Organisation et planification du chantier

Les travaux de réalisation d'ouvrages végétalisés rentrent dans le champ d'application :

- **Des règles professionnelles :**
 - o Travaux des sols, supports de paysage (P.C.1-R0)
 - o Plantation des arbres et arbustes (PC.2-R1)
 - o Travaux de terrassements des aménagements paysagers (C.C.1-R0)
- **Des Cahiers des Clauses Techniques Générales** applicables aux marchés publics de travaux :
 - o le Fascicule 2 (Terrassements généraux)
 - o le Fascicule 35 (Aménagements paysagers – Aires de sports et de loisirs en plein air)
 - o le Fascicule 70 (CCTG des ouvrages d'assainissement).

La chronologie des travaux est à gérer dans une logique de mise en place progressive des matériaux puis des végétaux. La coordination est nécessaire entre les différents corps d'état. Il est par exemple conseillé d'éviter de travailler les terrassements après l'achèvement de la voirie. De même il convient que des réseaux soient installés après constitution de l'équipement d'accueil pluvial. Cette coordination évite : la dégradation des ouvrages déjà réalisés, la perturbation des horizons*, le compactage des sols en place, l'impossibilité de manœuvre des engins, la difficulté de régler précisément les niveaux, etc.

L'échéancier d'intervention doit s'efforcer d'éviter que l'ouvrage soit sollicité immédiatement après réalisation. **L'idéal est de terrasser dès que les matériaux terreux sont asséchés pour éviter les risques de compaction. Les travaux de plantations sont réalisés en sortie d'hiver ou au printemps.** Les végétaux ont alors le temps de s'implanter et de fixer les horizons* superficiels avant d'être confrontés aux apports d'eau les plus conséquents. **Il est déconseillé de planter des végétaux en période estivale et en cas de gel.**

4.2.2. Conditions d'intervention

Comme pour tous les chantiers, un plan de circulation adapté définit l'affectation des différentes zones d'intervention de manière à préserver le site, la sécurité, le travail en bonnes conditions, etc. La circulation des engins sur le chantier est réfléchi en fonction des rayons de giration des engins et des cheminements provisoires sont à mettre en place. **L'accès aux futurs espaces d'accueil des eaux de ruissellement est interdit** pour éviter les embourbements et le compactage des matériaux terreux.



Terrassement d'un ouvrage végétalisé
© Géniplant

Dès le début du chantier, **les eaux de ruissellement peuvent être détournées vers des bassins de décantation provisoires** par la création de fossés périphériques. Cette précaution évitera de colmater* ou de compacter le futur aménagement de gestion des eaux pluviales.

Des essais d'infiltration sont réalisés sur des petites portions témoins de l'ouvrage à construire, **en préalable aux interventions.** De même, **le positionnement de la nappe* est à vérifier** (par tube piézométrique). Ces observations sont reproduites, en fonction du calendrier de l'opération, **à plusieurs moments de l'année** en évitant le cœur de l'été. Elles viennent compléter les investigations du bureau d'étude géotechnique missionné en phase de conception. L'approche documentaire, telle que la lecture de cartes du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, est insuffisante.

4.2.3.Recommandations spécifiques aux sols

Dans les ouvrages végétalisés, plus que dans tout autre type d'aménagement paysager, il est essentiel de **préserver les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols**. Pour ne pas compromettre leur performance, les interventions se déroulent de manière à :

- **Ne surtout pas compacter les matériaux**, à la pose et lors de la circulation d'engins.
- **Ne pas lisser la surface du sol**.

Le stockage des matériaux terreux en très grand volume et sur une grande hauteur n'est pas recommandé pour limiter les risques de compaction. **Le stockage linéaire en merlons de section triangulaire, préserve** l'oxygénation des matériaux jusqu'au cœur. **Travailler en conditions sèches** permet également de limiter la compaction.



Exemple de stockage de terre en bonnes conditions © Géniplant

Les matériaux issus du terrassement sont à trier soigneusement afin d'être remis dans l'ordre des horizons* du sol et d'en préserver les propriétés. L'enfouissement de terre végétale* ou d'humus en profondeur et en présence d'eau peut par exemple générer du méthane. Le développement des végétaux s'en trouverait compromis. Même si les recommandations des règles professionnelles du paysage vont dans le même sens, sur le terrain, **les horizons* sont parfois mélangés ou dégradés. Dans ce cas, il est conseillé d'améliorer ces sols au cours des travaux par le biais :**

- **D'amendements organiques** : terre végétale*, apport de fumier ou encore de compost.
- **D'amendements texturaux** : apport de sable ou de graviers, voire d'argiles.

L'horizon* de surface gagne à être enrichi d'humus bien décomposé, et bien incorporé par un griffage manuel. Ce griffage est préféré à une fraise rotative à moteur qui déstructure le sol.

Les argiles, d'autant plus qu'elles sont d'origine calcaire, **peuvent présenter des gonflements** en période de forte humectation. Inversement, en phase sèche, elles révèlent d'importantes **fentes de retrait** dont la profondeur ne dépasse généralement pas 50 cm. La perméabilité* du sol s'en trouve modifiée. **Pailler ces sols évite ces désagréments** en limitant les dessiccations excessives et en favorisant leur recombinaison au fil du temps avec la matière organique*.

La mise en service de l'ouvrage se fait de manière progressive et prudente, le temps que les sols se tassent naturellement et que les végétaux s'installent.

4.2.4.Recommandations spécifiques pour les végétaux

De manière générale, il est préférable de garder une **similitude entre la texture* du sol en pépinière et celle de l'aménagement végétalisé**. Cela favorise une adaptation rapide du système racinaire des plants livrés en racines nues. Cette précaution est d'autant plus importante que l'ouvrage végétalisé est sollicité rapidement, son fonctionnement devant être effectif immédiatement.

Les plants en racines nues sont à préférer aux plants élevés en conteneurs. Pour ces derniers, le substrat est conservé à la plantation et il n'est généralement pas adapté au contexte. Il se sature facilement en eau ou au contraire est difficile à réhydrater. Ce désagrément est plus important dans les ouvrages végétalisés car ils reçoivent beaucoup d'eau et de manière plus irrégulière que dans les aménagements paysagers classiques. Enfin, les racines des plantes élevées en conteneurs présentent des chignons ou des déformations, qui compromettent la bonne stabilité et le bon développement de l'appareil racinaire.

Les conditions de plantation doivent être conformes aux règles professionnelles PC.2-R1, et notamment en ce qui concerne la réception des plants, le stockage sur le chantier et le positionnement du collet.

4.3. Points de vigilance à la maintenance

Le bon fonctionnement des ouvrages végétalisés nécessite **des visites de contrôle régulières**, idéalement mensuelles. Elles sont préférentiellement réalisées lors des changements de saisons ainsi que **lors d'épisodes particuliers de sécheresses ou de fortes pluies**. Il s'agit principalement de **vérifier l'écoulement des eaux de ruissellement et notamment l'absence d'entraves** à l'entrée ou à l'intérieur des ouvrages. Il convient par exemple d'**effectuer un nettoyage, lorsqu'une accumulation de débris de végétaux, déchets et de vases est constatée**.

Ce simple contrôle est à compléter par des **entretiens réguliers**.

Les déchets de fauche ou de taille des végétaux sont à laisser sur place. En fonction des quantités de déchets à gérer ou d'un contexte où les eaux de ruissellement sont particulièrement contaminées, ils sont à évacuer en centre de traitement. L'analyse de la composition chimique de la biomasse permet de rendre compte de ce niveau de contamination.

La biodiversité peut être favorisée :

- **En privilégiant un fauchage tardif** des espaces enherbés ou des pelouses fleuries.
- **En évitant l'installation et la prolifération d'adventices* pionnières*** aussi bien à l'installation que lors des premiers entretiens.
- **En réalisant un rééquilibrage des végétaux** et en substituant par d'autres plantes les espèces envahissantes*.

L'état des végétaux est également observé et **le remplacement des plantes déficientes est effectué en période adéquate**.

Les opérations consistent également à ameublir manuellement le sol à l'aide d'une griffe, afin de briser une éventuelle croûte de surface.

En période d'étiage* et à titre préventif il peut être procédé à **l'enlèvement des éventuelles pellicules de colmatage***.

Il est nécessaire d'**ouvrir à la lumière les bassins avec des structures de type roselières, tous les trois à quatre ans au minimum**. L'objectif est d'avoir une circulation suffisante de l'eau et une activité lumineuse correcte à la surface du bassin. Si cette opération n'est pas réalisée, l'épaisseur de la litière* finirait par excéder les 10 cm. Le bassin évoluerait à termes vers une structure de type tourbière avec une accumulation de vases et de matière organique*.

Pour en savoir plus sur la réalisation et la maintenance

- ▶ **Amélioration des connaissances sur le colmatage des systèmes d'infiltration d'eaux pluviales (23)**
- ▶ **Outils de bonne gestion des eaux de ruissellement en zones urbaines – document d'orientation pour une meilleure maîtrise des pollutions dès l'origine du ruissellement (24)**
- ▶ **Colmatage et rétention des éléments traces métalliques dans les systèmes d'infiltration des eaux pluviales (30)**
- ▶ **CCTG travaux en vigueur : fascicules 2 (35), 35 (36) et 70 (37)**
- ▶ **Nouveaux éléments sur le colmatage des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales (38)**
- ▶ **Règles professionnelles publiées par l'UNEP : N°: C.C.1-R0 Travaux de terrassements des aménagements paysagers (45), N°: P.C.1-R0 Travaux des sols, supports de paysage Caractérisation, amélioration, valorisation et reconstitution (46) et N° PC.2-R1 Plantation des arbres et arbustes (47)**
- ▶ **Génie biologique et aménagement de cours d'eau : méthodes de construction Guide pratique Publié par l'Office fédéral de l'environnement OFEVBerne, 2010 (50)**

5. CONCLUSION

Les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales répondent au choix d'une gestion de « l'eau à la source ». Basées sur le principe fondamental de **limiter le ruissellement de l'eau**, elles réduisent les flux d'eau et de polluants à travers différents types d'aménagements.

Parmi ces solutions, les ouvrages végétalisés (noues, fossés, bassins, etc.) ont de nombreux intérêts. Ce document met en exergue leur **multifonctionnalité** et la **forte synergie** qui opère entre :

- les fonctions d'espaces verts : amélioration du cadre de vie, valorisation du patrimoine bâti, biodiversité, esthétique, récréation, etc.
- et les fonctions de gestion des eaux pluviales : **régulation des flux d'eaux pluviales** (infiltration sur place et/ou effet retardateur) et **amélioration de la qualité des eaux** grâce à l'abattement des volumes ruisselés et la mise en œuvre de technologies vertes.

Le fonctionnement et les services apportés par les ouvrages végétalisés reposent sur le couple sol/plantes et le cortège biologique associé. **Le choix des végétaux doit tenir compte des caractéristiques du milieu** (climat, sol, etc.), du **type d'ouvrage, son dimensionnement et de la position relative des végétaux sur son relief**. Leur sélection doit être confiée à des professionnels expérimentés et leur mise en œuvre doit se faire dans des conditions spécifiques, que tous les intervenants doivent connaître et maîtriser.

Les ouvrages végétalisés possèdent une efficacité propre : ils n'ont pas tous les mêmes performances en termes de stockage, de régulation, d'infiltration ou encore d'épuration*. **Les combiner renforce leur efficacité globale**.

En dépit d'une apparente simplicité, il convient d'avoir à l'esprit les points suivants pour assurer la réussite de l'aménagement :

- **L'intégration des ouvrages végétalisés dans le projet d'aménagement dès la phase de programmation**. Leur faisabilité est conditionnée par les caractéristiques du site et de l'opération : surface disponible, coût global, topographie, qualité des sols ou encore contexte.
- **Un programme de maintenance connu et respecté** : le contrôle et l'entretien doivent être réguliers, et ce d'autant plus que les ouvrages sont sollicités hydrauliquement et visibles.
- **L'intérêt pour ces techniques doit être partagé par tous les acteurs** : maîtres d'ouvrages, architectes, architectes paysagistes, entreprises du paysage, bureaux d'études techniques ou encore entreprises VRD. L'approche pluridisciplinaire est requise. Il n'y a pas de réponse ou de technique universelle étant donné les processus physiques et biologiques en jeu.
- **L'information des usagers sur le fonctionnement des ouvrages** est primordiale, y compris en mode dégradé lors de pluies importantes (eau visible à la différence d'un système « tout tuyau »).

D'après l'état des lieux bibliographique réalisé pour ce document, **des perspectives d'actions et de poursuite d'acquisition de connaissances** (recherche, études) apparaissent sur les axes suivants :

- **Poursuivre la veille** auprès des professionnels des espaces verts sur les besoins en termes d'évolution des pratiques et des spécificités techniques liés à ces aménagements, même si la présente étude n'en a pas vraiment relevés.
- Améliorer les connaissances du **processus de colmatage*** et de sa **prévention**.
- **Suivre l'évolution sur le long terme de la flore** (composition, croissance/développement, maintenance qui en découle), et étudier l'intérêt des associations végétales.
- **Suivre l'évolution des performances des différentes fonctions de ces espaces** (hydraulique, écologique ou encore paysagère) au cours de la vie de l'ouvrage et du développement du végétal.
- **S'intéresser plus particulièrement à l'évolution des sols (majoritairement reconstitués voire construits)** et des impacts que cela engendre sur la fonctionnalité de ces ouvrages.

Ces actions futures pourraient être rapprochées d'un partenariat avec les trois observatoires de terrain de Lyon (OTHU), Nantes (ONEVU) et Paris (OPUR), rassemblés au sein du SOERE Urbis.

En parallèle, la rédaction de documents réglementaires évolutifs (règles professionnelles, fascicules des CCTG, voire DTU) et d'outils de transfert de technologies (guides de bonnes pratiques, partages d'expérience, mise en réseau d'acteurs et de référence) serait une aide précieuse pour les professionnels.

BIBLIOGRAPHIE

1. **Ademe**, 2012, « Phytotechnologies appliquées aux sites pollués » Actes de Journée Technique Nationale, Paris, 17 octobre 2012, 115 p.
www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=F7622B28A56787E022C354E0B3DBD069_tomcatlocal1355134934463.pdf
2. **Association française pour l'étude du sol (AFES)**, 2008, « Référentiel pédologique », Editions QUAE (Cemagref, Cirad, Ifremer, Inra), 435 p.
www.afes.fr/afes/docs/Referentiel_Pedologique_2008.pdf
3. **Becouze-Lareure C., Sebastian C., Gasperi J.**, 2012, « Quels contaminants dans les rejets urbains de temps de pluie? Eclairage particulier sur les micropolluants », dans les actes de la 5^e journée technique de l'OTHU du 9 février 2012 à Villeurbanne, « Eaux pluviales : Connaissance, mesure et suivi pour une meilleure gestion des ouvrages », pages 20 à 32, 13 p.
www.graie.org/othu/pdfothu/JTOTHU5-ACTES-9fev12web6.pdf
4. **Bedell J.P., Saulais M., Delolme C.**, 2013, « Rôle de la végétation sur l'évolution des caractéristiques physico-chimiques des sédiments déposés dans un bassin d'infiltration des eaux pluviales », dans Etude et Gestion des Sols, revue de l'Association Française pour l'Étude du Sol, Volume 20 n°2, pages 27 à 38, 12 p.
www.afes.fr/afes/egs/EGS_20_2_20_02_JES_Bedell.pdf
5. **Berthier E., Ramier D., Versini P.A., Pinta P., Safriti L., Chollet J., de Gouvello A.**, 2013, « Faveur : a functional model for vegetative green roofs », communication orale lors du World Green Infrastructure Congress à Nantes du 9 au 13 septembre 2013, 29 slides.

Biodiversité positive – Norpac, en collaboration avec l'Institut du Développement Durable et Responsable de l'Université Catholique de Lille :
6. Biodiversité et gestion de l'eau à la parcelle : les bassins de rétention »
www.biodiversite-positive.fr/wp-content/uploads/2011/10/Gestion-de-leau-%C3%A0-la-parcelle-bassins-de-%C3%A9tention-4-Avril.pdf
7. Biodiversité et gestion de l'eau à la parcelle : les noues et les fossés »
www.biodiversite-positive.fr/wp-content/uploads/2011/10/Biodiversit%C3%A9-et-gestion-de-leau-%C3%A0-la-parcelle-les-noues-et-foss%C3%A9s-4-Mai.pdf
8. **Bressy A.**, 2010, « Flux de micropolluants dans les eaux de ruissellement urbaines. Effets de différents modes de gestion des eaux pluviales », thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Paris-Est, spécialité Sciences et Techniques de l'Environnement Supérieur, Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains, 332 p.
http://leesu.univ-paris-est.fr/opur/IMG/pdf/Memoire_Doctorat_Bressy.pdf
9. **Brouard-Masson J., Cheret M., Letessier L., et al.** 2013, « Trame verte et bleue et documents d'urbanisme – Guide méthodologique », Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, 54 p.
www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/trame_verte_et_bleue_et_documents_durbanisme_-_guide_methodologique.pdf
10. **Cerdan O, Le Bissonais Y, Souchère V, King C, Antoni V, Surdyk N, Dubus I, Arrouays D, Desprats JF**, 2006, « Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols – Rapport n°3 : synthèse et recommandations générales », Rapport BRGM-RP-55104-FR, 85 p.
<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-55104-FR.pdf>
11. **Certu**, 2003, « La ville et son assainissement, principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau » – document intégral (503 p.) et l'essentiel (15 p.).
www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DGALN_Ville_assainissement_so.pdf (l'intégral)
www.graie.org/graie/graiedoc/doc_telech/biblio_hors_graie/essentielCERTU.pdf (l'essentiel)

- 12. Chocat B. et al.**, 2008, « Etat de l'art sur la gestion urbaine des eaux pluviales et leur valorisation – Tendances d'évolution et technologies en développement », Office International de l'eau, ONEMA, 36 p.
www.onema.fr/IMG/pdf/2008_023.pdf
- 13. Citeau L.**, 2008, « Transfert eaux-sols-plantes de micropolluants : état des connaissances et application aux eaux de ruissellement urbaines », Rapport de synthèse et rapport d'annexes, Agence de l'Eau Seine Normandie, INRA, 50 et 104 p.
www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/mediatheque/Dossier_partage/ETUDES-Logo/Rapports/06PLUV07.pdf
- 14. Communauté Urbaine du Grand Lyon**, 2008, « Aménagement et eaux pluviales sur le territoire du Grand Lyon – Guide à l'usage des professionnels », 50 p.
www.economie.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/fichiers/site_eco/200806_gl_eaux_pluviales_pro_guide.pdf
- 15. Communauté Urbaine du Grand Toulouse**, 2009, « Guide de gestion des eaux de pluie et ruissellement », version avril 102 p.
www.toulouse-metropole.fr/documents/10180/22218/Guide_gestion_eaux_pluviales_ruissellement
- 16. Conseil Général de la Seine Saint-Denis**, 2012, « Mission d'étude sur l'incidence du salage des voiries sur les dispositifs végétalisés de stockage et de dépollution des eaux de voirie – Proposition de solutions et d'alternatives potentielles », Composante Urbaine, 128 p.
- 17. Conseil Général de l'Essonne**, non daté, « Eaux pluviales urbaines, une gestion à la source contre les inondations et pollutions », 24 p.
www.essonne.fr/fileadmin/Environnement/risques_majeurs/plaquette_eaux_pluviales.pdf
- 18. Coulon A.**, 2012, « Rôle des sédiments organiques sur le fonctionnement hydrodynamique des bassins d'infiltration d'eaux pluviales », thèse Agrocampus Ouest, sous le label de l'Université Nantes Angers Le Mans, pour obtenir le grade de Docteur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques Agroalimentaires Horticoles et du Paysage, spécialité « Sciences de l'Environnement », Ecole Doctorale « VENAM », UP Environnement physique de la plante horticole, 298 p.
- 19. De Becdelievre L. et al.**, 2009, « L'infiltration en questions, recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain » – Programme Ecopluiés, version 2, 63 p.
www.graie.org/ecopluiés/delivrables/55729e_guidemodifie_20090203fin6-2.pdf
- 20. Duchaufour P.**, 1977, « Pédologie Tome 1 : Pédogénèse et classification », Editeur : Paris, Masson 477 p.
- 21. Fare A., Dutartre A., Rebillard J.-P.**, 2001, « Les principaux végétaux aquatiques du Sud-Ouest de la France », Vivre avec la Rivière, Agence de l'Eau Adour Garonne, Cemagref, 190 p.
www.eau-adour-garonne.fr/fr/informations-et-donnees/mediatheque-d-adour-garonne/les-deditions-de-l-agence/les-editions-thematiques.html
- 22. Forêt Privé Française**, 2009, « Sols acides / sols calcaires ? Conséquences pour la forêt ? » Fiche N°273402, Centre Régional de la Propriété Forestière, Région PACA, 2 p.
www.ofme.org/crpf/documents/fiches/273402.pdf
- 23. Gonzalez-Merchan C.**, 2012, « Amélioration des connaissances sur le colmatage des systèmes d'infiltration d'eaux pluviales », thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Formation Doctorale « Génie Civile », Ecole Doctorale « Mécanique, Energétique, Génie Civil, Acoustique », Laboratoire de Génie Civil et d'Ingénierie Environnementale, 298 p.
www.graie.org/othu/pdfothu/TheseCGonzalezMerchan_vf.pdf
- 24. Gromaire M. C., Veiga L., Grimaldi M., Aires N.**, 2011, « Outils de bonne gestion des eaux de ruissellement en zone urbaine – Document d'orientation pour une meilleure maîtrise des pollutions dès les origines du ruissellement », version mise à jour de mars 2013, Agence de l'eau Seine Normandie, LEESU, Composante Urbaine, 80 p.

- 25. Guinaudeau C.**, 1981, « Les haies brise-vent et bandes boisées », Institut pour le Développement Forestier, ISBN 2904740201, 140 p.
- 26. Joly D., Brossard T., Cardot H., Cavailles J., Hilal M., Wavresky P.**, 2010, « Les types de climats en France, une construction spatiale », Cybergeog : European Journal of Geography, Cartographie, Imagerie, SIG, document 501, mis en ligne le 18 juin 2010, 24 p.
<http://cybergeog.revues.org/23155>
- 27. Laille P., Provendier D., Colson F.**, 2013, « Les bienfaits du végétal en ville – Synthèse des travaux scientifiques et méthode d'analyse », Projet BENEVEG, Plante & Cité, 36p.
www.valhor.fr/fileadmin/A-Valhor/Valhor_PDF/Plante_Cite_bienfaitsduvegetal_Juillet2013.pdf
- 28. Lami M., Vigneron S., BreLOT E., Bacot L., Chapugier J., Sibeud E., Barraud S., Pionchon P., Clabaut A., Cambon A., Ricard B.**, 2006, « Pour la gestion des eaux pluviales – Stratégies et solutions techniques », Conseil régional Rhône-Alpes, 30 p.
www.eaurmc.fr/espace-dinformation/guides-acteurs-de-leau/lutter-contre-la-pollution-domestique/gestion-des-eaux-pluviales.html?eID=dam_frontend_push&docID=732
- 29. Larue D.**, 2013, « Aménagement et gestion des eaux pluviales » communication orale lors de la journée technique Biodiversité du cadre bâti et gestion alternative des eaux du 16 avril 2013 à Lyon, 73 p., et « compte-rendu de la journée technique », 9p., Ville et Aménagement Durable, LPO, Centre d'échange et de ressources pour la qualité environnementale des bâtiments et des aménagements en Rhône-Alpes.
www.ville-amenagement-durable.org/fichiers/TpQJlh5SIBRPTTpE2GAvXA.html (compte-rendu de la journée)
www.ville-amenagement-durable.org/fichiers/gkclBIIRdM3Y3u7cR~tzzw.html (Intervention d'Atelier LD sur la gestion de l'eau)
- 30. Le Coustumer S.-M.**, 2008, « Colmatage et rétention des éléments traces métalliques dans les systèmes d'infiltration des eaux pluviales », thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Monash University, Formation Doctorale « Génie Civil », Ecole Doctorale « Mécanique, Energétique, Génie Civil, Acoustique », Laboratoire de Génie Civil et d'Ingénierie Environnementale, Institute for Sustainable Water Resources, 405 p.
<http://theses.insa-lyon.fr/publication/2008ISAL0068/these.pdf>
- 31. Legifrance** : Code de l'Environnement – Article R214-1.
www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006074220&idArticle=LEGIARTI000026653713&dateTexte=20131127
- 32. Manusset S.**, 2012, « Impacts psycho-sociaux des espaces verts dans les espaces urbains », Développement Durable et Territoire, Vol.3, n°3, 11 p.
<http://developpementdurable.revues.org/9389>
- Météo France :**
- 33.** Carte interactive des normales climatiques par station
www.meteofrance.com/climat/france
- 34.** Dossier le climat en métropole
www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climat-en-france/le-climat-en-metropole
- Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie** – Composition du cahier des clauses techniques générales applicables au marchés publics de travaux de génie civil
- 35.** Fascicule 2 – Terrassements généraux
www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/F2_2012-05-30.pdf
- 36.** Fascicule 35 – Aménagements paysagers- Aires de sports et de loisirs en plein air
www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/F35_2012-05-30.pdf
- 37.** Fascicule 70 – Ouvrages d'assainissement – Titre I : Réseaux – Titre II : Ouvrages de recueil, de restitution et de stockage des eaux pluviales », 420 p.
www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/F70_2012-05-30.pdf
- 38. OTHU**, 2009, « Nouveaux éléments sur le colmatage des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales » - Fiche technique N° 11-2, 4 p.
www.graie.org/othu/pdf/othu/fiches/F11-2.pdf

- 39. Pagotto C.**, 1999, « Etude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaine routier », thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Poitiers, spécialité « Chimie et microbiologie de l'eau », Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Ecole des Mines de Nantes, 316 p.
<http://media.lcpc.fr/ext/pdf/theses/rou/pagotto.pdf>
- 40. Pommier G., Provendier D., Gutleben C., Musy M.**, 2014 ; « Impacts du végétal en ville. Fiches de synthèse programme de recherche VegDUD – rôle du végétal dans le développement urbain durable », 62 p. En téléchargement sur le site internet Plante & Cité à partir de l'été 2014.
- 41. Rameau J-C, Mansion D., Dumé G., Gauberville C.**, 1993, « Flore forestière française – Guide écologique illustré », Tome 1 : « Plaines et collines » (1785 p.), Tome 2 : « Montagnes » (2421 p.) et Tome 3 : « Région méditerranéenne », Institut pour le Développement Forestier, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.
- 42. Saulais M.**, 2011, « Colonisation végétale des bassins d'infiltration et de rétention – Caractérisation de la flore et évolution des caractéristiques physico-chimiques de l'horizon de surface végétalisé », thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Ecole Doctorale « Chimie de Lyon », Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés, 262 p.
<http://theses.insa-lyon.fr/publication/2011ISAL0116/these.pdf>
- 43. Schwager J., Ruban V., Morel J.L., Claverie R., Irlès A., Thiriart J.**, 2013, « Green roofs : metal sinks or sources? », communication orale lors du World Green Infrastructure Congress à Nantes du 9 au 13 septembre 2013, 22 slides.
- 44. Sétra.**, 2011, « L'impact des fondants routiers sur l'environnement – Etat des connaissances et pistes d'action », 25 p.
<http://dtrf.setra.fr/pdf/pj/Dtrf/0005/Dtrf-0005939/DT5939.pdf?openerPage=notice>
- UNEP – Les entreprises du paysage – Règles professionnelles :**
- 45. C.C.1-R0 Travaux de terrassements des aménagements paysagers**
www.entreprisesdupaysage.org/base-documentaire/regles-professionnelles/149-Regles-professionnelles-finalisees/381-Travaux-de-terrassements-des-amenagements-paysagers
- 46. P.C.1-R0 Travaux des sols, supports de paysage. Caractérisation, amélioration, valorisation et reconstitution**
www.entreprisesdupaysage.org/base-documentaire/regles-professionnelles/149-Regles-professionnelles-finalisees/284-Travaux-des-sols-supports-de-paysage
- 47. PC.2-R1 Travaux de plantation des arbres et arbustes**
www.entreprisesdupaysage.org/base-documentaire/regles-professionnelles/149-Regles-professionnelles-finalisees/267-Mise-en-oeuvre-des-plantations
- Viabilité hivernale :**
- 48.** « Influence des fondants sur la flore ».
www.viabilite-hivernale.developpement-durable.gouv.fr/influence-des-fondants-sur-la-a4308.html
- 49.** « Influence des fondants sur le sol ».
www.viabilite-hivernale.developpement-durable.gouv.fr/influence-des-fondants-sur-le-sol-a4641.html
- 50. Zeh H.**, 2010, « Génie biologique et aménagement de cours d'eau : méthodes de construction – Guide pratique », Connaissance de l'environnement n° 1004, Office fédéral de l'environnement Suisse, 59 p.
www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00812/index.html?lang=fr
- 51. Zuber R.**, 2014, « Sels de déneigement : effets sur les arbres d'alignement – Dernières connaissances, mesures et recommandations, basées sur une large étude bibliographique », USSP Union Suisse des Services des Parcs et Promenades, 12 p.

Onema
Hall C – Le Nadar
5, square Félix Nadar
94300 Vincennes
01 45 14 36 00
www.onema.fr

Plante & Cité
3 rue Fleming
49066 Angers Cedex 1
02 41 72 17 37
www.plante-et-cite.fr