

Végétalisation de toiture : quelle structure choisir selon les services écosystémiques attendus ?

■ C. MUCIG¹, J. SCHWAGER², S. AIGLE², R. CLAVERIE²

Mots-clés : toitures végétalisées, services écosystémiques, fonction écologique, espaces végétalisés urbains
Keywords: green roof, ecosystem services, ecological functions, urban green space

Introduction

Les villes doivent répondre aux attentes sociétales de bien-être des citoyens, d'adaptation aux changements climatiques ainsi qu'aux enjeux des émissions de flux de polluants dans l'eau et dans l'air. Ces villes, systèmes anthropiques, sont pourtant constituées d'un réseau d'écosystèmes végétalisés élémentaires dont les toitures végétalisées font partie et peuvent constituer un levier vers une « ville sobre » grâce aux services écosystémiques qu'elles sont susceptibles de rendre.

À l'heure actuelle, de nombreuses études s'intéressent au fonctionnement de « l'écosystème urbain », que nous définissons comme une juxtaposition d'écosystèmes végétalisés élémentaires qui interagissent entre eux et avec le reste de la matrice urbaine (constructions, imperméabilisation, pollutions, nuisances sonore et lumineuse, activités anthropiques...), et la recherche s'oriente vers la question des interactions entre la « nature » et la société. En effet, les espaces végétalisés urbains (EVU) sont souvent considérés comme un support pour la

biodiversité et les études cherchant à comprendre le lien entre cette biodiversité, son fonctionnement et les services écosystémiques ou bénéfiques qu'elle peut rendre à l'homme sont de plus en plus nombreuses. Ces espaces très variés (zones humides, parcs, cimetières, cours d'eau et leurs berges, toitures végétalisées, jardins collectifs...) sont aujourd'hui utilisés comme un moyen pour introduire de nouvelles « formes écologiques » d'urbanisme.

Les toitures-terrasses végétalisées sont en plein essor (depuis 2011, 1 million de m² de toitures végétalisées sont construites chaque année en France selon l'Adivet), notamment en raison de la mise en avant par les professionnels des multiples fonctions et nombreux services rendus par ces structures. Cependant, ceux-ci ne sont pas toujours (ou pas encore) confirmés par les travaux scientifiques. Ainsi dans le cadre du projet Terraces³ financé par l'Ademe (N° de convention : 1216C0067), il a été proposé de s'intéresser aux impacts potentiels (positifs comme négatifs) sur l'environnement et la santé de différents types de toitures végétalisées.

1. Les notions des services écosystémiques et de fonctions écologiques

La notion de services, ou services écosystémiques, fait référence aux bénéfices retirés par l'homme (environnementaux ou sanitaires) des processus biologiques. L'évaluation des écosystèmes pour le

¹ DEAL de Mayotte - Unité risques naturels - Service environnement et prévention des risques SEPR - BP 109 - 97600 Mamoudzou.

² Cerema - Centre d'études et d'expertise sur les risques l'environnement, la mobilité et l'aménagement - direction territoriale est.

³ Toitures végétales pour RafRaïchir les Ambiances Climatiques urbainES est un projet monté en 2012 par le Cerema, le CSTB et le Gemcea en réponse à l'appel à projets « Dispositifs de rafraîchissement urbain » proposé par l'Ademe. Il vise dans un premier temps à évaluer le potentiel rafraîchissant d'une toiture végétalisée, puis à établir un lien entre performance climatique et potentiel de végétalisation des toitures en milieu urbain. Dans cette perspective de développement de la technique, ce projet évaluera également de façon globale les impacts environnementaux et sanitaires, positifs et négatifs, induits par ces structures.

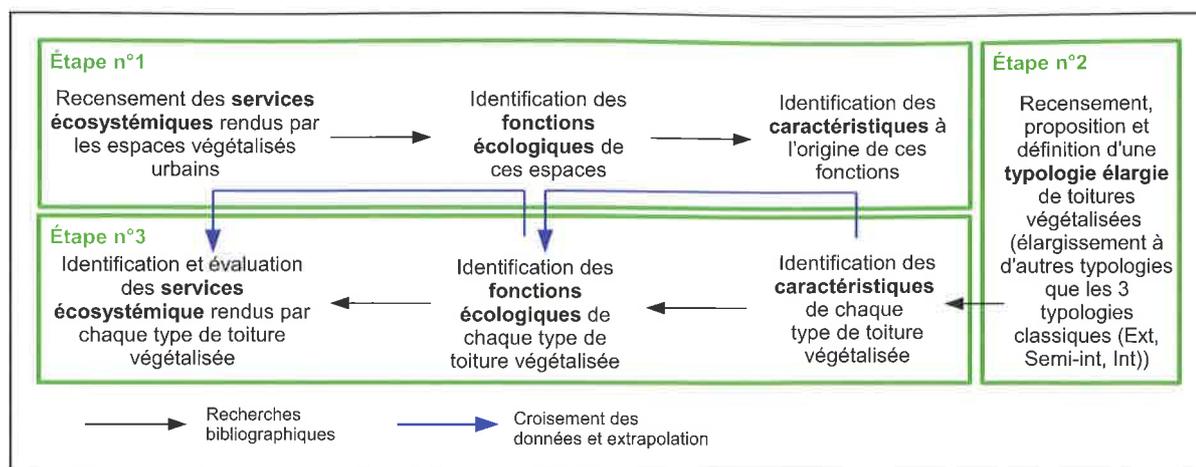


Figure 2. Schéma résumant la méthodologie suivie

millénaire⁴ [MEA, 2005] en a identifié quatre catégories : les services d'approvisionnement qui correspondent à l'obtention de biens commercialisables par l'exploitation des écosystèmes (nourriture, combustibles, ressources génétiques, plantes médicinales, matériaux de construction, etc.) ; les services de régulation qui correspondent aux bénéfices obtenus de la régulation des processus des écosystèmes (maintien de la qualité de l'air, régulation du climat, etc.) ; les services culturels et sociaux qui correspondent aux bénéfices non matériels obtenus par les hommes à partir des écosystèmes à travers l'enrichissement spirituel, le développement cognitif, la réflexion, la création, les expériences esthétiques (offres d'emploi, valeurs éducatives, valeurs esthétiques, relations sociales, etc.) ; les services support, nécessaires pour la production de tous les autres services de l'écosystème (cycle de l'eau, cycle de la matière, formation des sols, etc.). Si le MEA répartit les services écosystémiques en quatre catégories, le MEA France qui lui a succédé au niveau national ne considère plus que trois catégories de services, associant tous les services de support à des fonctions écologiques. C'est également ce que nous considérerons par la suite.

Les fonctions écologiques correspondent à des phénomènes propres à l'écosystème qui résultent des processus écologiques et qui se déroulent avec

ou sans la présence de l'homme pour se servir de leurs résultats. Cette approche par fonction répond donc à une vision écocentree tandis que les services écosystémiques correspondent à une vision anthropocentree des écosystèmes et de leur fonctionnement (MNHN, 2010).

2. Matériel et méthode

Pour mener à bien ce travail nous avons, dans une première étape, appréhendé le sujet de manière plus étendue en nous intéressant à la « nature en ville » au sens large, de manière à pouvoir nous appuyer sur une littérature beaucoup plus étoffée que ce qu'elle aurait été en considérant simplement l'objet « toiture végétalisée » (schéma en figure 2). Ainsi, ce sont plus d'une soixantaine de références qui ont été analysées. Ces recherches nous ont permis d'établir les premiers liens entre services rendus par les espaces végétalisés urbains et fonctions écologiques, puis entre fonctions écologiques et caractéristiques de ces espaces. Le terme « caractéristiques » correspond ici aux facteurs intrinsèques de l'écosystème étudié jouant un rôle dans la réalisation d'une fonction écologique donnée (type de sol, métabolisme des végétaux, surface foliaire, etc.).

En parallèle, une nouvelle typologie élargie de toitures végétalisées a été construite, non seulement assise sur les caractéristiques de construction des toitures, mais également sur les usages qui en sont faits. Ainsi une typologie de 12 toitures végétalisées a pu être proposée et est succinctement présentée

⁴ Ce travail mondial de quatre ans entamé en 2001 a réuni les contributions de plus de 1 360 experts issus de près de 95 pays, pour évaluer – sur des bases scientifiques – l'ampleur et les conséquences des modifications subies par les écosystèmes dont dépend notre survie et le bien-être humain. Il vise à hiérarchiser les actions à entreprendre pour restaurer et conserver notre environnement et pour son utilisation durable par l'homme.

dans le *tableau I*. Elles ont fait l'objet de fiches⁵ plus complètes non présentées ici.

Enfin, à partir des caractéristiques des toitures végétalisées ainsi définies, en suivant le même raisonnement qu'à l'étape 1 mais avec un cheminement inverse, d'après les liens que nous avons tissés entre services, fonctions et caractéristiques, il a alors été possible de relier chaque typologie de toiture aux fonctions écologiques puis d'évaluer le potentiel des différents types de toiture à rendre un ou plusieurs services. Ce potentiel a été « quantifié » de manière

qualitative sur une échelle de 0 à 3. Cette quantification est théorique et résulte d'une extrapolation de ce que l'on connaît plus largement sur les EVU. Sept services ont été identifiés comme prépondérants et ont fait l'objet de fiches de synthèse⁵. Ces fiches comportent les principaux paramètres mis en jeu dans la fourniture du service, les principales fonctions remplies, une analyse des incidences de chaque type de toiture, les potentialités d'amélioration de ce

⁵ Ces fiches de synthèse seront disponibles lors de la parution de l'ensemble des résultats du projet Terraces par l'Ademe.

Toitures	Épaisseur du substrat et pente	Végétaux	Entretien	Remarques
Extensive	4 à 15 cm 20-30 %, voire 40 %	Limité aux mousses, succulentes et vivaces (sedums)	Faible, 1 à 3 passages/an	Pas vocation d'accueil du public
Semi-intensive	12 à 30 cm 20 % max	Buissons, arbrisseaux en plus des végétaux extensifs	Moyen, 4 à 6 passages/an	Pas vocation d'accueil du public
Intensive	> 30 cm moins de 9 %	Presque tous les types de végétaux, de l'herbacé à l'arboré	Régulier, > 6 passages/an	Accueil du public possible
Potagère classique	20 à 45 cm moins de 9 %	Graminées jusqu'aux arbustes (fruitiers...)	Régulier, selon besoins des végétaux	Accueil du public, activités de jardinage
Potagère en bacs	20 à 45 cm moins de 9 %	Graminées jusqu'aux arbustes (fruitiers...)	Régulier, selon besoins des végétaux	Accueil du public, activités de jardinage
Potagère hydroponique	Nulle moins de 9 %	Graminées jusqu'aux arbustes (fruitiers...)	Régulier, selon besoins des végétaux	Accueil du public, activités de jardinage
Naturelle	> 15 cm min moins de 9 %	Herbacées jusqu'aux arbustes	Faible, dynamique naturelle préservée au maximum	Vocation à être bénéfique à la biodiversité Pas vocation d'accueil du public
Jardin d'agrément	> 30 cm moins de 9 %	Pelouses, buissons, massifs fleuris, arbustes, arbres	Régulier, pour maintenir un aspect jardiné et entretenu, > 6 passages/an	Accueil du public, équivalent de parc urbain sur un toit
Esthétique	Variable selon le projet Variable mais plutôt faible	Herbacées au buissonnant	Régulier, afin de garder un visuel agréable, > 6 passages/an	Esthétique vue d'avion (dessins réalisés avec les végétaux)
Sportive	15 cm min Plutôt très faible	Gazon, pelouse, herbe	Régulier, > 6 passages/an	Pratique d'activités physiques (tennis, football, etc.)
Énergétique	4 à 15 cm 20-30%, voir 40 %	Limité aux mousses, succulentes et vivaces (sedums)	Faible, 1 à 3 passages/an	Toitures à panneaux solaires Pas vocation d'accueil du public
Micro-espaces végétalisés	< 10 cm 0 à 30-40%	Limité aux mousses, succulentes et vivaces (sedums)	Faible, 1 à 3 passages/an	Toits de mobilier urbain, d'abribus, de bus...

Tableau I. Typologie élargie de toitures végétalisées

service, les indicateurs qui peuvent être envisagés pour mesurer l'impact d'une toiture et un encart destiné aux remarques plus générales. Pour chaque service, les douze toitures ont été analysées et comparées à une toiture non végétalisée.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques communes aux EVU et toitures végétalisées

L'étude des différentes typologies de toitures végétalisées nous a permis de mettre en évidence treize

grandes caractéristiques : deux relatives au substrat, cinq relatives à la végétation, puis six autres concernant les matériaux de la toiture, le type de structure porteuse, l'accessibilité de la toiture, l'entretien, la « visibilité » de la toiture et les services/aménités qu'elle fournit. Afin de permettre le parallèle entre les fonctions et services fournis par les toitures et les EVU, une correspondance entre les caractéristiques de ces différents objets d'études a été menée. Elle est présentée dans le *tableau II*. Seules les caractéristiques des EVU ayant une équivalence pour les toitures végétalisées ont été gardées.

Caractéristiques des toitures végétalisées		Caractéristiques des espaces végétalisés urbains
Substrat	Épaisseur du substrat	Épaisseur du sol disponible pour la végétation, pour la circulation et le stockage de l'eau
	Composition du substrat	Type et caractéristiques des sols : structure, texture, présence de résidus de végétaux, de micro-organisme et faune du sol
Types de végétation	Surface foliaire	Surface foliaire
	Dimensions (taille racines, parties aériennes)	Type d'espèces végétales, type de système racinaire et de développement Capacités d'ombrage des végétaux
	Diversité	Diversité d'espèces végétales Présence d'interactions biotiques/de prédateurs Diversité des milieux Potentiel de la biodiversité à transmettre des maladies, à générer des nuisances
	Métabolisme	Capacité des végétaux à la filtration/rétention/absorption des polluants atmosphériques et contenus dans l'eau Métabolisme de la plante/Capacité d'évapotranspiration des végétaux Capacité de reproduction et cycle de développement (annuelle, vivace...)
	Densité de végétation	Biomasse totale du végétal, surface arborée Taux de recouvrement
Type d'entretien/maintenance		Type d'entretien/Modalités d'épandage des intrants Type de produit (mode d'action, degré de propagation et degré de toxicité du produit)
Type de matériaux de la toiture (dont type d'étanchéité/drainage)		Capacité de stockage de l'eau/perméabilité des horizons inférieurs du sol, voire de la roche mère
Accessibilité des toitures		Disponibilité et accessibilité des espaces verts
Type de structure porteuse (pente, âge...)		—
Visibilité de la toiture		Visibilité de ces espaces verts
Services/aménités		Dégagement d'odeur pour masquer les nuisances olfactives Atmosphère (calme, odeurs, sons agréables)/lieu permettant de se « déconnecter » de la vie quotidienne, de laisser son esprit s'évader Aménagements/Incitations aux activités physiques

Tableau II. Correspondance entre les caractéristiques des toitures végétalisées et les espaces végétalisés urbains

3.2. Liens entre caractéristiques des toitures végétalisées, fonctions et services rendus

Cette relation de correspondance entre EVU et toitures végétalisées, conjuguée au travail bibliographique préalable sur les EVU (étape 1), a permis d'établir le *tableau III* mettant en évidence les liens d'influence des différentes caractéristiques des toitures végétalisées sur les fonctions écologiques qui peuvent s'y dérouler et les services écosystémiques qu'elles pourraient alors rendre.

3.2.1. Le rôle du substrat

Comme un sol naturel, l'épaisseur et la composition du substrat influencent l'efficacité de plusieurs fonctions des toitures végétalisées, notamment par leur impact sur : la rétention et la filtration de l'eau [CZEMIEL-BERNDTSSON, 2010], l'implantation et la croissance des végétaux (désirés et indésirés ou invasifs) [OBDU SEINE-ST-DENIS *et al.*, 2011], la constitution d'un milieu de vie pour la biodiversité du sol (invertébrés notamment), la protection thermique, l'acoustique. Tout en restant dans une gamme de végétalisation extensive, passer de 6-7 cm de substrat à 10-12 cm permet d'implanter une gamme de végétaux beaucoup plus large et ainsi d'augmenter significativement les bénéfices liés au développement de la biodiversité et à la présence d'une diversité végétale importante.

3.2.2. Le rôle de la végétation

Au-delà du rôle sur la biodiversité qu'ils peuvent apporter, le type de végétaux mis en place sur une toiture végétalisée influence la capacité de rétention d'eau de la toiture par le biais du phénomène d'évapotranspiration notamment ; la qualité de l'eau en sortie grâce à leur capacité à utiliser ou adsorber un certain nombre de nutriments (composés azotés ou phosphorés) ou de métaux *via* leur système racinaire [CHASSIN *et al.*, 1996] ; la qualité de l'air et la température de l'air selon leurs caractéristiques (surface foliaire, dimension...), leurs besoins et leur métabolisme [CZEMIEL-BERNDTSSON, 2010] qui leur permet de filtrer certaines particules atmosphériques ou adsorber certains polluants *via* leurs parties aériennes [BECKETT *et al.*, 2000 ; LAÏLLE *et al.*, 2013]. Mais tous les végétaux n'ont pas le même

pouvoir « épurateur » ni « rafraîchissant ». Enfin, les végétaux peuvent jouer un rôle sur le bien-être des populations [KACZYNSKI et HENDERSON, 2007] et conférer aux toitures une dimension plus esthétique.

3.2.3. Impact de l'entretien

Le type d'entretien mis en œuvre sur la toiture a un impact sur les potentiels services que celle-ci peut rendre, étant donné qu'il peut réduire la biodiversité présente sur la toiture et entraîner une contamination de l'eau en sortie *via* l'apport d'engrais, voire de produits phytosanitaires. L'introduction de ces derniers reste cependant une pratique assez rare. *A contrario*, les effets apaisants produits par une toiture végétalisée peuvent par ailleurs passer par le degré d'entretien qui lui est prodigué (travaux de jardinage sur une toiture potagère notamment).

3.2.4. Rôle des matériaux et de la structure de la toiture

Le type de matériaux utilisé pour la toiture joue un rôle important de rétention d'eau (la couche de drainage notamment, en plus du substrat) permettant la constitution d'une réserve utile pour les végétaux qui peuvent s'approvisionner en eau pendant les périodes de temps sec. Le type de matériaux peut donc indirectement induire une évapotranspiration plus importante en matière de quantité d'eau et de durée, accroître le phénomène d'atténuation de l'îlot de chaleur urbain, et diminuer les volumes d'eau en sortie de toiture. En outre, les besoins en eau des végétaux ainsi satisfaits favorisent leur bon développement. Le type de structure porteuse et la pente notamment influencent la capacité à retenir l'eau de la toiture et, bien sûr, le type de toiture qui pourra être mise en œuvre. Les matériaux utilisés peuvent également avoir un impact sur la qualité de l'eau à l'exutoire : les matériaux lessivés peuvent être à l'origine de la contamination de l'eau par divers éléments, notamment des éléments traces métalliques ou encore des polluants organiques comme le bisphénol A [SCHWAGER *et al.*, 2013 ; LAMPREA *et al.*, 2013].

3.2.5. Rôle de l'accessibilité, de la visibilité et des aménités de la toiture

L'accessibilité des toitures, pour la faune et la flore ou pour l'homme, est une caractéristique *sine qua non* pour la réalisation de services liés à la biodiversité

Services	Fonctions	Caractéristiques / Usages														
		Substrat		Type de végétation				Type d'entretien/ maintenance	Type matériaux toiture	Type de structure porteuse	Accessibilité des toitures	Visibilité de la toiture	Services/aménités			
		Épaisseur du substrat	Composition du substrat	Surface foliaire	Dimensions	Diversité	Métabolisme							Densité		
Purification et maintien de la qualité de l'eau	Filtration/Épuration des eaux de pluie	✓	✓		✓		✓									
	Contamination des eaux de sortie	✓	✓					✓								
Régulations quantitatives des eaux de pluie	Rétention des eaux de pluie	✓	✓		✓											
	Capacité d'évapotranspiration			✓												
Purification et maintien de la qualité de l'air	Capacité à capter/stocker le CO ₂			✓												
	Interception des particules (poussières, pollens...)			✓												
Maintien et accroissement de la biodiversité	Participation à une trame verte urbaine			✓												
	Offre d'une diversité de milieux de vie	✓	✓		✓											?
Influence sur la prolifération de plantes invasives	Accueil/diffusion de plantes invasives/nuisibles	✓	✓													
	Influence sur la prolifération d'espèces animales nuisibles	✓	?													
Influence sur l'apport de plantes allergènes et/ou toxiques	Accueil / diffusion de plantes potentiellement allergènes / toxiques	✓	✓													
	Régulation du climat local, lutte contre l'îlot de chaleur urbain			✓	✓											
Amélioration du bien-être des populations	Capacité d'évapotranspiration			✓												
	Capacité d'ombrage			✓												
Qualité de l'environnement sonore	Capacité de modulation de l'albédo		?		✓											
	Apports d'effets apaisants			✓												
	Amélioration de la santé physique			✓												
	Amoinir la pollution sonore	✓	?		✓											

✓ : Influence confirmée par la bibliographie ; ? : Influence présumée, à confirmer.

Tableau III. Liens entre caractéristiques des toitures végétalisées, fonctions et services rendus

(dispersion de la flore, colonisation par la faune) ou l'impact des toitures sur le bien-être des populations (accessibilité au public). Ces deux services pouvant être toutefois en opposition, la fréquentation humaine nuisant à l'installation de biodiversité. Ce sentiment de bien-être peut de plus être augmenté par l'existence d'aménités sur la toiture ou l'aménagement de celle-ci en jardins partagés, par exemple. Si elle ne peut être accessible, le fait que la toiture végétalisée soit visible par les riverains peut prodiguer dans une moindre mesure certains effets psychiques positifs grâce à la vue du végétal. Par ailleurs, l'accessibilité de la toiture à la biodiversité pourrait être renforcée par l'existence complémentaire de végétalisation verticale (murs végétalisés), qui pourrait assurer le lien entre sol (supposé végétalisé) et toiture.

3.3. Liens entre caractéristiques des toitures végétalisées, fonctions et services rendus

À partir de ces différents résultats et en lien avec les caractéristiques spécifiques à chaque typologie de toiture étudiée, il a été possible d'évaluer le potentiel de chacune à rendre différents services écosystémiques. Le *tableau IV* met en avant la diversité de ceux-ci. Des pondérations qualitatives relatives à chaque fonction sont indiquées sous forme de « + » et de « - », les premiers indiquant une influence potentiellement positive, les seconds une influence potentiellement négative. Les cases colorées sont les thématiques non abordées ou non confirmées à ce jour par les travaux scientifiques relatifs aux toitures végétalisées. Ainsi, lorsqu'un parallèle a pu être établi avec les EVU, une pondération est indiquée, mais celle-ci reste seulement une hypothèse. Si aucun parallèle n'a pu être établi, un point d'interrogation est indiqué.

À noter qu'il peut apparaître un impact positif et négatif pour un même service pour deux fonctions différentes, ce qui ne signifie par pour autant que ces impacts s'annulent. C'est par exemple le cas pour le service qualité des eaux où les matériaux constitutifs de la toiture peuvent être responsables de l'émission de certaines substances et de la rétention d'autres éléments [CZEMIEL-BERNDTSSON, 2010 ; SCHWAGER *et al.*, 2014]. Cependant, il n'est pas possible de juger de la prépondérance d'un phénomène sur l'autre ou

de leur compensation dans la mesure où il s'agit d'éléments différents qui pourront avoir des impacts différents sur l'environnement ou les personnes potentiellement en contact avec ces eaux.

Cette pondération a été réalisée en considérant des caractéristiques types pour chaque toiture définie dans la typologie (*tableau I*) : entretien, nature des matériaux, accessibilité de la toiture...

Les fiches de synthèse (voir note 5) par service apportent des compléments d'information quant aux mécanismes spécifiques mis en jeu induisant ces différences entre typologies. Cependant, le *tableau IV* constitue d'ores et déjà une première grille de lecture plus fine des différentes toitures existantes et permet une aide à la décision pour le choix d'une structure de toiture répondant aux services écosystémiques attendus.

Conclusion et perspectives

Ces résultats mettent en évidence que toutes les structures végétalisées sont, de manière générale, le lieu de la réalisation de nombreux services écosystémiques. Cependant, compte tenu de leurs caractéristiques propres, chaque toiture ne peut rendre tous les services aussi intensément. Lors de la construction d'une toiture végétalisée, il est donc nécessaire que le maître d'ouvrage identifie au préalable les services attendus, en fonction des usages souhaités ou des problématiques spécifiques à l'environnement du projet, afin de construire la structure la plus à même d'y répondre. La grille de lecture proposée en *tableau IV* de cet article permet cette première approche.

Il est à noter notamment qu'une augmentation limitée de l'épaisseur de substrat par rapport à ce qui se fait majoritairement en France peut permettre une amélioration significative des fonctions de support de biodiversité, ou encore de gestion quantitative et qualitative des eaux pluviales. Par ailleurs, trop souvent négligée, une attention particulière doit être portée à l'entretien de ces structures qui peut grandement influencer les services rendus par une toiture végétalisée. Enfin, rendre les toitures végétalisées accessibles au public, habitude encore peu répandue en France aujourd'hui, apporterait un vrai gain par

Service	Fonction	Toiture non végétalisée	Toitures végétalisées											
			Extensive	Semi-intensive	Intensive	Potagère classique	Potagère en bacs	Potagère hydroponique	Naturelle	Jardin d'agrément	Esthétique	Sportive	Énergétique	
Fiche n° 1 – Influence potentielle sur la qualité de l'eau en sortie de toitures	Filtration des eaux de sortie	0	+	++	+++	++	?	?	?	++	+++	+	+	+
	Contamination des eaux de sortie	-	-	-	-	-/?	-/?	-	-	-	-	-	-	-
Fiche n° 2 – Influence potentielle sur la gestion quantitative des eaux pluviales	Rétention des eaux de pluie	0	+	++	+++	+	?	?	?	0	++	++	?	+
	Capacité d'évapotranspiration	0	+	++	+++	+	?	?	?	0	+	+	?	+
Fiche n° 3 – Influence potentielle sur la qualité de l'air	Absorption des polluants de l'air	0	+	++	+++	++	+	+	+	+	++	+++	+	+
	Interception des particules de l'air	0	0	+	++	+	+	+	+	+	+	++	+	0
Fiche n° 4 – Influence potentielle sur l'effet d'îlot de chaleur urbain	Évapotranspiration	0	+	++	+++	++	++	++	++	++	+++	+++	++	0
	Effet d'ombrage	0	0	+	++	0	0	0	0	0	+	+	+	0
	Modulation de l'albédo	-	++	++	++	-/+	-/+	-	-	++	-/+	++	++	++
Fiche n° 5 – Influence potentielle sur la biodiversité	Offre d'une diversité de milieux de vie	0	+	++	+++	+	+	+	+	+	+++	++	+	+
	Participation à une trame verte urbaine	0	+/?	++	++	+	0	0	0	0	+++	++	+	+
	Accueil et diffusion d'espèces invasives ou nuisibles	?	-	0	0	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Fiche n° 6 – Influence potentielle des végétaux sur la santé	Dissémination de pollens/substances allergènes	0	0	-	-	?	-?	-?	-?	?	?	?	?	?
	Production de récoltes potentiellement contaminées	0	0	0	0	?	?	?	?	?	0	0	0	0
Fiche n° 7 – Influence potentielle sur le bien-être des populations	Apaisement psychique	0	0	+	++	++	++	++	++	++	+++	+++	+	++
	Amélioration de la santé physique	0	0	+	++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	0	+++

Case colorée : pas de littérature dédiée aux toitures végétalisées en lien avec cette typologie et ce service. Les pondérations éventuellement associées sont issues de déductions à partir de travaux menés sur les espaces végétalisés urbains non confirmés pour la toiture végétalisée.

+ : impact potentiellement positif de la structure sur une fonction donnée ; - : impact potentiellement négatif de la structure sur une fonction donnée.

x / xx / xxx : pondération qualitative établie pour chaque fonction, une typologie avec xxx remplira de façon plus importante une fonction donnée qu'une autre typologie disposant d'un x pour la même fonction.

Tableau IV. Synthèse des services rendus par les différents typologies de toitures végétalisées

rapport aux impacts sur le bien-être, notamment en milieu urbain dense.

Les résultats présentés sont des pondérations globales qui peuvent parfois nécessiter une étude plus approfondie, notamment pour optimiser un service particulier. Par exemple, si la qualité des eaux en sortie de la structure fait l'objet d'attentes spécifiques, une caractérisation systématique des matériaux, un choix de végétaux aux capacités accumulatrices, ainsi que la mise en place de bonnes pratiques d'entretien seraient nécessaires. Au-delà des caractéristiques propres à la toiture d'origine, certains services peuvent être améliorés *a posteriori*. Par exemple, en matière d'accueil de biodiversité, il peut être envisagé de construire différents types d'habitats (branchages, graviers...) en fonction des espèces présentes dans l'environnement de la toiture et que l'on souhaiterait y accueillir. De même, pour favoriser l'accessibilité des espèces aux toitures, leur circulation et la continuité des trames vertes urbaines, la végétalisation des murs apparaît comme une solution complémentaire intéressante pour assurer la connexion entre le sol et la toiture.

Des recherches complémentaires s'avèrent nécessaires pour caractériser de potentiels impacts négatifs comme le développement d'espèces animales et végétales invasives ou allergènes ou encore caractériser l'impact de la pollution atmosphérique sur la qualité des récoltes réalisées sur des toitures potagères en centre urbain. Par ailleurs, dans une approche plus globale du retour de la nature dans la ville et de bénéfice pour la biodiversité, se pose la question du fonctionnement des toitures les unes par rapport aux autres : impact d'un grand nombre de petites surfaces par rapport à un nombre limité de toitures de grandes dimensions, impact de la répartition de ces espaces au sein du tissu urbain, potentiel de colonisation... Les études en lien avec les toitures végétalisées sont pour le moment essentiellement consacrées à l'observation de structures à l'échelle de la parcelle. Certains services rendus nécessitent toutefois de passer à un suivi de l'ensemble des toitures végétalisées à l'échelle de la zone urbaine pour une évaluation globale de leur impact.

Bibliographie

BECKETT K.P., FREER-SMITH P.H., TAYLOR G. (2000) : « The capture of particulate pollution by trees at five contrasting urban sites ». *Arboricultural Journal* ; 24 : 209-30.

CHASSIN P., BAISE D., CAMBIER PH., STERCKEMAN T. (1996) : « Les éléments traces métalliques et la qualité des sols : Impact à moyen et à long terme ». Forum « Le sol, un patrimoine menacé ? » Paris, 24 octobre 1996, pp. 297-306.

CZEMIEL-BERNDTSSON J. (2010) : « Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review ». *Ecological Engineering* ; 36 : 351-60.

KACZYNSKI A.T., HENDERSON K.A. (2007) : « Environmental correlates of physical activity: a review of evidence about parks and recreation ». *Leisure Sciences* ; 29 : 315-54.

LAÏLLE P., PROVENDIER D., COLSON F., SALANIÉ J. (2013) : *Les bienfaits du végétal en ville : étude des travaux scientifiques et méthode d'analyse*. Plante & Cité, Angers, 31 p.

LAMPREA K., MIRANDE C., BRESSY A., CAUPOS E., GROMAIRE M.C. (2013) : « Processus d'émission de micropolluants par lessivage : étude du potentiel d'émission d'alkylphénol et de bisphénol-A par les matériaux de construction et l'automobile ». Actes du séminaire de clôture INOGEV & GDEP « Quelles innovations

pour la gestion durable des eaux pluviales en milieu urbain ? », 3 au 5 décembre 2013, Nantes.

MEA – Millennium Ecosystem Assessment (2005) : *Ecosystem and human well-being: Synthesis*, Island Press, 137 p.

MNHN (2010) : *Projet de caractérisation des fonctions écologiques des milieux en France*. Études & Documents. Commissariat général au développement durable (CGDD).

OBDU SEINE-SAINT-DENIS, NATUREPARIF, PLANTE&CITÉ, MNHN (2011) : *Réaliser des toitures végétalisées favorables à la biodiversité*.

SCHWAGER J., RUBAN V., MOREL J.L., CLAVERIE R., IRLES A., THIRIAT J. (2013) : « Bilan des flux d'éléments traces au sein de toitures végétalisées – Identification des compartiments puits et sources de polluants ». Séminaire de clôture INOGEV-GDEP, IFSTTAR & CERTU, 3-5 décembre 2013, Nantes.

SCHWAGER J., MOREL J.L., RUBAN V., CLAVERIE R., IRLES A., THIRIAT J. (2014) : « Rejets et rétentions d'éléments traces métalliques par les toitures végétalisées - Premiers résultats d'une expérimentation in situ ». *TSM* ; 1-2 : 61-9.

Sites Web :

<http://www.adivet.net>

Résumé

C. MUCIG, J. SCHWAGER, S. AIGLE, R. CLAVERIE

Végétalisation de toiture : quelle structure choisir selon les services écosystémiques attendus ?

Ce travail bibliographique s'est d'abord intéressé aux espaces végétalisés urbains (EVU), au sens large, pour recenser les services écosystémiques potentiellement rendus par ces espaces et faire le lien entre ces services et les fonctions écologiques mises en jeux. En effet, les multiples caractéristiques de ces espaces influencent leur capacité à réaliser ces diverses fonctions. Un parallèle a pu être établi entre la majorité d'entre elles et les caractéristiques principales des toitures végétalisées. Une évaluation qualitative et théorique des différents services rendus par ces structures a

ainsi pu être obtenue. En allant plus loin que la typologie conventionnelle des toitures végétalisées extensive/semi-intensive/intensive, il a été possible d'établir un panel élargi de toitures végétalisées, notamment en fonction de l'usage qu'il en est fait. Ce travail a ainsi permis de proposer une grille de lecture plus fine des différentes toitures existantes pour lesquelles a été associée une capacité à réaliser divers services de manière à pouvoir répondre à la question : quelle structure de toiture choisir selon les services écosystémiques attendus ?

C. MUCIG, J. SCHWAGER, S. AIGLE, R. CLAVERIE

Which green roof to choose according to expected ecosystem services?

In the first part of this review, ecosystem services potentially provided by urban green spaces were inventoried and linked to ecological functions. Several characteristics of these urban green spaces have an effect on their capacity to provide different ecological functions. A match was found between most of urban green spaces characteristics and green roof ones. In this way, a qualitative and theoretical assessment of various ecosystem services provided by green roof

was done. By going further than green roof conventional typology (extensive/semi-intensive/intensive), it was possible to set up an enlarged panel of green roofs especially according to their uses. This study enables to build up a finer reading grid of a variety of green roofs for which was associated a capacity to provide various ecosystem services in order to answer the question: which green roof to choose according to expected ecosystem services?



Guide technique pour la réception des réseaux d'assainissement neufs

Ce guide technique, qui tient compte des évolutions réglementaires et normatives, est destiné aux organismes pratiquant les contrôles préalables à la réception des réseaux neufs d'assainissement. Il définit les conditions d'application pratiques des documents normatifs et réglementaires qui régissent ces contrôles et précise les applications qui relèvent des bonnes pratiques.

Il remplace à compter du 1^{er} juillet 2015, les trois documents parus en 2005 dans la revue TSM :

- Guide technique pour la réception des réseaux d'assainissement neufs par les organismes accrédités : Inspections visuelles ;
- Guide technique pour la réception des réseaux d'assainissement neufs par les organismes accrédités : Contrôles d'étanchéité ;
- Guide technique pour la réception des réseaux d'assainissement neufs par les organismes accrédités : Contrôle de compactage par la méthode au pénétromètre dynamique ;

ainsi que les fiches de clarification publiées en 2010 dans la revue TSM.

Commandez-le sur <http://www.astee.org/production/guide-technique-pour-la-reception-des-reseaux-d-assainissement-neufs/>