

Direction de l'Environnement et de l'Energie Nice Côte d'Azur

ETUDE POUR LA DEFINITION D'UNE DEMARCHE DE DEVELOPPEMENT DES TOITURES VEGETALISEES



Etude réalisée par le cabinet Ernst & Young avec la collaboration du cabinet Eco-Med





SOMMAIRE

	POURQUOI FAVORISER LE DEVELOPPEMENT DES TOITURES VEGETALISEES SUR LE TERRITO	
A.1.	LA VEGETALISATION DES TOITURES, DEFINITION	
A.2.	LES ATOUTS DE LA VEGETALISATION DES TOITURES POUR NICE	
A.2.1	La toiture végétalisée, un facteur de rétention des eaux de pluies	
A.2.2	Le toit végétal pour l'amélioration des conditions climatiques en ville	<i>6</i>
A.2.3	La toiture végétalisée, un atout pour la qualité de l'air urbain	
A.2.4	La toiture végétalisée, un isolant phonique	
A.2.5	La toiture végétalisée, un isolant thermique	
A.2.6	La toiture végétalisée, un facteur d'allongement de la durée de vie des toits	10
A.2.7	Un rôle dans la préservation de la biodiversité et la continuité écologique en ville	1
A.2.8	La toiture végétalisée, un espace vert supplémentaire	12
A.2.9	La toiture végétalisée, une réponse aux cibles de la démarche HQE	12
PARTIE B :	COMMENT METTRE EN ŒUVRE UNE TOITURE VEGETALISEE ?	14
B.1.	L'APPROCHE TECHNIQUE DE LA TOITURE VEGETALISEE	14
B.1.1	Encadrement de la filière	
B.1.2	Contraintes techniques	14
B.1.3	Description d'une toiture végétalisée type	15
B.1.4	Les typologies de toitures végétalisées	16
B.1.5	Exemples de projets de réalisation de toitures végétalisées	18
B.2.	QUELLE VEGETATION POUR LES TOITS DE NICE COTE D'AZUR?	22
B.2.1	Fourrés littoraux thermophiles à Palmier nain	24
B.2.2	Les dalles à succulentes	25
B.2.3	Milieux herbacés à aspect steppique	26
B.2.4	Maquis de Lavande à Plumet et Immortelles	27
B.2.5	Rétention des eaux pluviales	
B.2.6	Cortège faunistique associé	28
B.3.	GESTION DES DIFFERENTS USAGES DE LA TOITURE	
B.3.1	Les toitures végétalisées et les panneaux solaires thermiques, un accord possible	
B.3.2	Les toitures végétalisées et les panneaux photovoltaïques, en concurrence ?	
B.3.3	Les toitures végétalisées et la récupération des eaux de pluies	
B.3.4	Les toitures végétalisées et les usages techniques de la toiture	
B.3.5	Les toitures végétalisées et l'usage de la toiture plaisir	
B.3.6	Synthèse des différents usages de la toiture	
	BILAN ECONOMIQUE DES TOITURES VEGETALISEES	
C.1. E	BENEFICES ECONOMIQUES	32
	Des bénéfices directs	
C.1.2	Des bénéfices indirects/non chiffrables	
	COUT ECONOMIQUE D'UNE TOITURE VEGETALISEE	
	BILAN ECONOMIQUE GLOBAL : RECAPITULATIF DES ELEMENTS DU BILAN ECONOMIQUE DES TOITURES VEGETALISES	
_	LES OUTILS DE LA COLLECTIVITE POUR UNE MISE EN ŒUVRE EFFICACE DE LA DEMARCHE	
D.1.	LES OUTILS POUR LA PROMOTION DES TOITURES VEGETALISEES	
D.1.1	L'affirmation de l'engagement de la collectivité : la sensibilisation	
D.1.2	Les outils réglementaires	
D.1.3	Les outils financiers	
D.1.4	Les outils méthodologiques	
D.2.	SYNTHESE DES EXPERIENCES DE COLLECTIVITES A L'INTERNATIONAL	39

Introduction

Le Grenelle de l'environnement présente la question de la réintroduction de la nature en ville à travers son engagement n°76, l'affirmant ainsi comme un axe stratégique fort pour la politique de la ville en France.

Le besoin de restaurer la nature en ville tient à ses nombreuses caractéristiques et fonctions : anti-ruissellement, énergétique, thermique, sanitaire (eau, air, bruit, déchets), prévention de l'usage de produits chimiques, esthétique, psychologique...

Les Français sont d'ailleurs conscients de cette nécessité du vert dans leur cadre de vie. Lorsqu'on les interroge, 7 sur 10 affirment que les espaces verts sont un critère décisif dans le choix de leur lieu d'habitation et plus d'1 sur 2 souhaite que soit instaurée l'obligation d'un pourcentage minimum d'espaces verts dans les projets immobiliers et commerciaux¹.

Une des solutions envisagées par la ville de Nice pour répondre à cette obligation nationale est d'augmenter la portée de l'article 13 du règlement de son PLU en y intégrant la possibilité de végétaliser les toitures pour tous les types de constructions : logement neuf, renouvellement urbain, bâtiments publics et privés... Mais la végétalisation des toitures est un procédé aujourd'hui encore marginal, car méconnu. La ville de Nice souhaite disposer d'éléments d'analyse pour étayer sa réflexion sur l'intégration d'une démarche de développement des toitures végétalisées sur le périmètre de son territoire.

Cette étude a donc pour objectif de présenter de façon claire les impacts positifs qui peuvent être attendus de ces modes de revêtement de toitures, compte tenu des enjeux environnementaux du territoire. Elle présente également les aspects techniques qui permettront aux services de la ville de s'assurer de la faisabilité de ces installations et d'arrêter les choix adéquats en termes de typologie de toits végétaux et de végétation à privilégier. Cette étude fournit également des éléments sur le bilan économique des toitures végétalisées et sur les outils à disposition de la collectivité pour garantir le succès de ses démarches.

Elle est agrémentée de nombreux exemples sur les expériences déjà menées à bien dans les grandes communautés d'agglomération et autres collectivités françaises et étrangères.

Cette étude a été réalisée par le cabinet Ernst & Young, avec la participation du cabinet Eco-Med, sur la base d'une étude bibliographique et d'un entretien réalisé avec le département CAPE (Climatologie, Aérodynamique, Pollution et Epuration) du CSTB².

-

¹ Enquête menée par lpsos pour le compte de l'Unep, du 11 au 14 janvier 2008 sur un échantillon de 604 personnes représentatif de la population française âgée de 25 ans et plus. Entretiens téléphoniques. Segmentation selon la méthode des quotas).

² CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.

Partie A – Pourquoi favoriser le développement des toitures végétalisées sur le territoire de Nice ?

Introduction

La révision du Plan Local d'Urbanisme de la ville de Nice actuellement en cours est l'occasion de promouvoir le développement durable de la ville pour « Faire de Nice la ville verte de la Méditerranée ».

Dans ce cadre, Nice exprime dans son projet de PADD son souhait de « Préserver et valoriser un paysage et un environnement exemplaires ». Afin de répondre à cet objectif, plusieurs réponses techniques existent aujourd'hui. En outre, les spécificités territoriales et climatiques de Nice et en particulier les fortes précipitations occasionnelles constituent des contraintes à prendre en compte dans la conception des ouvrages.

La végétalisation des toitures est un outil aujourd'hui reconnu pour ses vertus en terme de confort urbain et de réponse à la rétention des eaux de pluies notamment.

A.1. La végétalisation des toitures, définition

Le principe de la toiture végétale (que l'on appelle aussi : toit vert ou toit végétalisé) existe depuis la préhistoire. Il consiste à recouvrir d'un substrat végétalisé un toit plat ou à faible pente. Son succès était alors dû à ses diverses propriétés d'isolation, d'étanchéité, de résistance au feu et au vent, le tout avec des matériaux facilement disponibles localement.

Tout au long de l'histoire, ses applications se sont multipliées : elle a notamment été utilisée dans l'architecture militaire pour des raisons de camouflage ou de protection contre les obus.

Mais depuis les années 1970, face aux nouveaux enjeux liés à l'urbanisation, et à travers de nombreuses expériences, certains pays tels que l'Allemagne, les Pays-Bas, la Suisse et les Pays Scandinaves, se sont penchés sur les intérêts supplémentaires d'un point de vue technique et scientifique de la toiture végétalisée. Il est apparu que ces installations pouvaient jouer un rôle intéressant notamment dans la rétention des eaux de pluie, dans la perspective de restauration ou protection de la biodiversité et dans l'amélioration de la qualité de vie en ville.

A.2. Les atouts de la végétalisation des toitures pour Nice



<u>Toitures végétalisées, de nombreux atouts</u> (Source : présentation de la CSFE³ en partenariat avec la FFB⁴, le CSTB⁵, et l'ADIVET⁶)

A.2.1 La toiture végétalisée, un facteur de rétention des eaux de pluies

Le territoire de la Ville de Nice est particulièrement concerné par les questions de maîtrise des eaux pluviales et de contrôle des réseaux d'assainissement. Ces dernières sont directement liées aux problématiques d'imperméabilisation croissante des sols, de risques d'inondation et de perturbations générales du fonctionnement hydraulique des milieux naturels.

Parmi les zones les plus sensibles, nous pouvons notamment citer : la vallée du Paillon, les fonds de vallons humides, soumis à une forte pression de l'urbanisation des crêtes et vallons accessibles, et de la construction de nombreuses infrastructures, ou encore la zone d'embouchure du Var, où l'artificialisation générale de la vallée sous la pression de l'urbanisation et des aménagements hydrauliques et hydroélectriques entraînent une imperméabilisation accrue des sols et une augmentation des risques d'inondation associés. De plus, les débits d'eau importants par temps de pluie peuvent générer des débordements dans le milieu naturel et dégrader les eaux de baignade et les herbiers sous-marins.

Les toitures représentent une surface importante d'une ville (entre 15 et 35 %). Les eaux de pluie qui tombent sur ces toits se déversent dans les réseaux d'assainissement et participent pour une grande part à leur engorgement. C'est pourquoi, les toitures végétalisées peuvent peser dans la construction d'une réponse efficace à cet enjeu primordial de la ville de Nice, et ce parce qu'elles réduisent la part des surfaces imperméables d'une parcelle, et qu'elles sont dotées d'une forte capacité de rétention des eaux de pluies. Alors qu'un orage peut déverser entre 50 et 100 litres d'eau en quelques heures, en moyenne 29 jours par an sur Nice⁷, on estime en moyenne qu'1 m² d'un système drainant de 8 cm avec une porosité de 40% peut stocker 30 litres d'eaux pluviales (valeur pouvant varier selon la pente du toit, le type de substrat, les conditions climatiques).

Une fois stockée, l'eau est pour une part utilisée par les plantes, pour une autre libérée par évapotranspiration. Le restant sera évacué graduellement par les canalisations, limitant ainsi les forts débits d'eaux pluviales tels que ceux engendrés par les pluies d'orage et le risque de saturation des réseaux d'assainissement. Les toitures végétalisées provoquent un retard d'écoulement de 50 à 75% lors de pluies d'orages.

Selon les travaux menés par l'ADIVET et le CSTB notamment, un système de type végétalisation extensive d'une épaisseur de 6 à 10 cm de hauteur peut retenir jusqu'à 50% des précipitations annuelles, permettant ainsi une réduction des coûts de gestion de l'eau de 5 à 10 %.

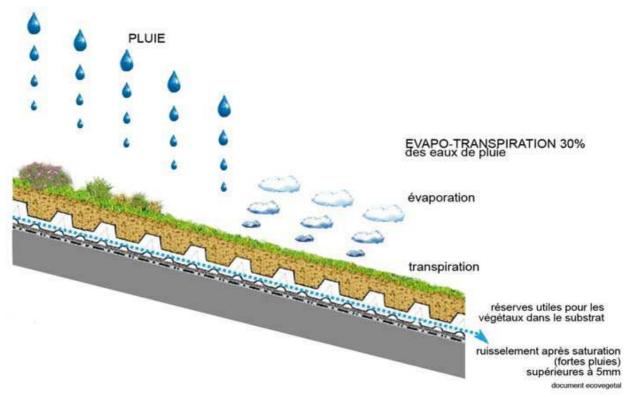
 $^{\rm 5}$ CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.

³ CSFE : Chambre Syndicales Française de l'Etanchéité

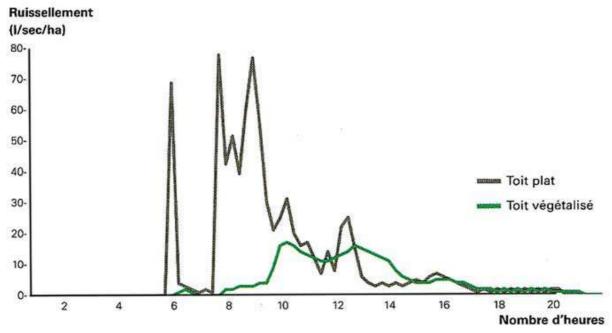
⁴ FFB : Fédération Française du Bâtiment

⁶ ADIVET : Association pour le Développement et Innovation sur la Végétalisation Extensive des Toitures.

⁷ Source : Météo France, Nombre de jours avec orage en France, Moyennes calculées sur la plus longue période disponible pour chaque ville entre 1971 et 2000



Rôle de rétention des eaux des toitures végétalisées (Source : Ecovégétal)



Ruissellement sur un toit plat conventionnel et un toit végétalisé extensif sur une période de 22 h (Source : ARENE, Fiche Toitures végétalisées extensives)

La végétalisation des toitures, en préservant les ressources en eau et en favorisant la rétention des eaux de pluies, répond ainsi à l'objectif exprimé dans le projet de PADD de Nice : « Redonner leur place aux fleuves et à l'eau de la ville ».

Les régions flamande et de Bruxelles-Capitale ont pris conscience de l'intérêt des toitures végétalisées pour répondre à cet enjeu et offrent depuis quelques années des subventions aux collectivités qui « végétalisent » les toitures plates et collectent les eaux de pluies, réduisant ainsi leur fuite vers les réseaux d'égouts.

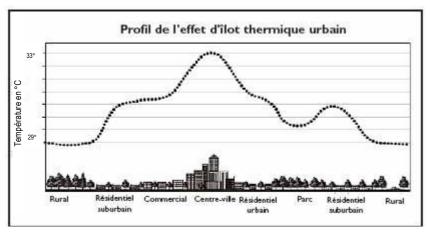
Le gouvernement de la métropole de Tokyo exige pour la même raison aujourd'hui de telles toitures sur les bâtiments nouveaux ou rénovés.

De nombreuses communes suisses ont opté pour la méthode incitative de mise en place d'une taxe d'imperméabilisation des sols, dont les projets intégrant des techniques de rétention d'eau telles que les toitures végétalisées sont exonérés.



Cela s'explique par les effets indirects du rayonnement solaire, particulièrement marqués en été. En journée, une partie de l'énergie lumineuse qui frappe les immeubles est directement renvoyée dans l'atmosphère, un phénomène connu sous le nom d'albédo. Une autre partie, fonction de la densité urbaine, de la géométrie des immeubles et de leur hauteur, est absorbée par les bâtiments. Elle est restituée la nuit sous forme de rayonnement infrarouge, c'est-à-dire de chaleur, ce que l'on appelle l'effet «canyon urbain». La chaleur se trouve piégée, retenue entre les constructions.

Les toitures végétalisées peuvent participer à réduire les pics de température estivale et à améliorer les conditions climatiques



Variation de la température en milieu urbain et en milieu rural Source : http://www.epa.gov/heatisland/about/index.html

urbaines. Un toit plat noir peut voir sa température doublée par forte chaleur, lorsqu'un toit plat végétal la divisera par deux. A titre d'exemple, une membrane de toiture exposée au soleil peut atteindre une température de surface de 65 °C alors que la même membrane recouverte de végétaux demeure à une température de 15 à 20 °C. De plus, grâce au phénomène d'évapotranspiration, la végétation en ville rafraîchit l'air et l'humidifie. L'air est ainsi moins irritant et la température plus douce.

Les résultats d'une étude nord-américaine⁸ révèlent que la végétalisation de 6% des toits de Toronto entraînerait une baisse des températures en centre ville de 1 à 2°C, réduisant de fait le phénomène l'îlot thermique urbain, et limitant les risques de pics de pollution urbaine associés.

-

⁸ « Un projet pour quantifier les avantages des terrasses-jardins », du Conseil National de recherches du Canada, en collaboration avec Environnement Canada

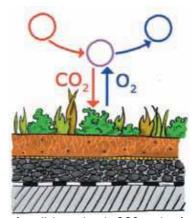
A.2.3 La toiture végétalisée, un atout pour la qualité de l'air urbain

Le bilan Carbone de Nice Côte d'Azur effectué en 2006 révèle que pour l'ensemble du territoire de la communauté urbaine, 1 500 000 tonnes équivalent carbone sont émises chaque année, soit 2,8 tec par habitant (moyenne française : 2,2 tec par habitant).

Outre les émissions de carbone, dont on connaît les effets néfastes sur le climat à l'échelle de la planète, les activités de la communauté urbaine sont responsables d'émissions de gaz (tels que l'azote) qui, alliées à la chaleur méridionale, entraînent la formation de fortes concentrations d'ozone, extrêmement nocives pour la santé. Elles libèrent également dans l'atmosphère de grandes quantités de particules fines, liées à des risques sanitaires importants : ces micropoussières causent en effet des difficultés respiratoires voire des affections pulmonaires graves chez un grand nombre de personnes.

Certaines zones du territoire de Nice en particulier, moins soumises aux brises marines et terrestres quotidiennes, peuvent piéger les polluants en concentration plus importante, augmentant les risques sur la santé humaine.

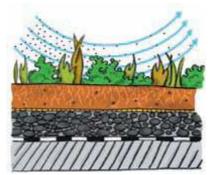
Les effets positifs de la végétation sur la qualité de l'air en milieu urbain sont connus. A travers le processus de la photosynthèse, elle fixe le carbone et le CO2 et produit de l'oxygène : 1,5 m² de toit végétal couvre les besoins en oxygène d'un homme adulte.



<u>Phénomène d'absorption du CO2 par la végétation</u> <u>Source : Direction de l'urbanisme de Paris – Fiche sur la végétalisation</u>

Mais la végétation joue également un rôle de filtre en diminuant le taux de particules fines en présence. En effet, le processus d'évapotranspiration élève l'humidité de l'air et favorise ainsi la création de rosée. Ce sont dans ces fines gouttelettes d'eau que se fixent pollens et poussières, et notamment les métaux lourds tels que les particules de plomb, de carbone, et les composés organiques tels que l'azote... Elles sont ensuite fixées dans le substrat ou nourrissent les bactéries, plantes et insectes qui vont s'y développer.

Selon l'ADIVET et le CSTB, les systèmes de végétalisation extensive peuvent dégrader jusqu'à 90% des composés tels que le monoxyde de carbone et le butane. Un mètre carré d'un toit vert (gazon) capture environ 0,2 kg de particules en suspension dans l'air par jour.



Phénomène d'absorption des poussières par la végétation Source : Direction de l'urbanisme de Paris – Fiche sur la végétalisation

L'étude « Un projet pour quantifier les avantages des terrasses-jardins », du Conseil National de recherches du Canada6, citée plus haut, révèle également que les toits verts peuvent entraîner une diminution de la consommation d'énergie (cf A.2.5 sur l'isolation thermique) ce qui donne lieu à une réduction des émissions de gaz à effet de serre et des polluants atmosphériques. Sur une hypothèse de 6 % des toitures de la ville de Toronto végétalisées, soit 6,5 km², une réduction de seulement 1°C de l'effet d'îlots de chaleur urbains entraînerait une baisse de 5 % de la demande en électricité pour la climatisation et la

réfrigération, et par conséquent, une diminution des gaz à effet de serre de l'ordre de 2,14 et l'élimination de l'atmosphère de 29,5 tonnes de polluants.

Les toits verts sont en outre une réponse adaptée au contexte foncier particulier des centres-villes, où les fortes pressions liées au prix du m² réduisent les possibilités de créer de nouveaux parcs et espaces verts.

Les toitures végétalisées répondent donc aux orientations « S'engager sur l'ensemble de la ville dans une politique énergétique » et « Maîtrise des risques et à la réduction des nuisances » exprimées dans le PADD de Nice.

Notre argumentation sur ces divers apports de la toiture végétalisée rencontre une limite : la mise en application de l'ensemble de ces caractéristiques est simultanée mais dépend essentiellement d'un effet de masse minimal ainsi que de conditions de vie adéquates. Les bénéfices tangibles se mesurent non pas à partir de mètres carrés mais à partir de plusieurs milliers de mètres carrés, une surface permettant d'agir sur la masse polluante, l'hygrométrie et la température ambiante.

Certaines collectivités encouragent le développement de toitures végétalisées sur leur territoire pour améliorer la qualité de l'air ainsi que les conditions climatiques en ville. C'est le cas de Stuttgart, qui depuis 1985 mène une politique active d'incitation à la végétalisation des toits. En 2006, la ville comptait 105 000 m² de toitures végétalisées sur les équipements publics, auxquels s'ajoutaient 55 000 m² pour des projets d'aménagement privés.

A.2.4 La toiture végétalisée, un isolant phonique

De nombreuses zones de la ville de Nice sont soumises à un inconfort phonique de sources diverses. Le premier responsable en est le trafic routier, qui soumet les riverains des axes importants à un bruit permanent.

L'aéroport de Nice, d'envergure internationale, est le deuxième de France en terme de trafic. En 2004, 9,5 millions de passagers y ont transité, et le fret aérien comptait pour 12 000 déplacements.

S'il représente un avantage économique indéniable pour le territoire, il est également une source d'importantes nuisances sonores du fait de sa proximité (moins de 5 km du centre ville).

Il existe diverses solutions techniques pour permettre d'atténuer le bruit dans les habitations exposées, la végétalisation des toitures en est une.

Couche supplémentaire sur le toit des bâtiments, elle permet en effet de diviser au moins par deux les nuisances sonores urbaines et aériennes. La barrière antibruit fonctionne tant grâce aux plantes qui absorbent les hautes fréquences qu'au sol qui absorbe les basses fréquences.

Un substrat de 12 cm d'épaisseur peut réduire les bruits de 40 dB à 50 dB.

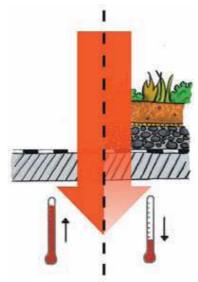
Ainsi, en zone urbaine, la toiture végétalisée contribue à la réduction des nuisances notamment dues aux trafics routier et aérien, objectif exprimé dans le PADD de Nice.

A.2.5 La toiture végétalisée, un isolant thermique

La toiture végétalisée est aussi reconnue pour sa capacité d'isolant thermique, en particulier en cas de fortes chaleurs telles que celles connues à Nice. En effet, alors qu'un toit en béton peut atteindre 60 à 70°C, la toiture végétalisée ne dépasse pas 15 à 20°C. Or, la température de la toiture influe sur la température intérieure d'un logement et donc sur les éventuels besoins en climatisation.

L'étude citée précédemment, « Un projet pour quantifier les avantages des terrasses-jardins », menée par le Conseil National de recherches du Canada, révèle également que la toiture végétalisée permet de réduire les échanges thermiques à travers le toit. Lors de l'expérience menée, au printemps et à l'été de 2001, le toit vert a permis de réduire la chaleur totale qui pénètre dans le bâtiment durant le jour de plus de 85 % et celle qui s'échappe du bâtiment la nuit d'environ 70 %.

Par voie de conséquence l'énergie requise pour la climatisation durant les mois chauds ainsi que les dépenses engendrées se trouvent diminuées. Diverses études nord américaines estiment que la végétalisation de 6% des toits des villes canadiennes ferait économiser au moins 5% des coûts de climatisation des immeubles.



<u>Phénomène d'isolation thermique par la végétation</u>
Source : Direction de l'urbanisme de Paris – Fiche sur la végétalisation

La couche supplémentaire apportée par un toit végétal réduit aussi sensiblement les pertes de chaleur en hiver, mais cet impact est moindre que celui de la protection contre la chaleur en été.

Là encore, les toitures végétalisées répondent aux objectifs exprimés dans le projet de PADD de la ville de Nice : « s'engager sur l'ensemble de la ville dans une politique énergétique ».

A.2.6 La toiture végétalisée, un facteur d'allongement de la durée de vie des toits

Selon l'ADIVET et le CSTB, la toiture végétalisée représente une protection mécanique et permet de doubler la durée de vie de l'étanchéité du toit des bâtiments. En effet, comme cité plus haut, le caractère isolant de la toiture végétalisée permet de limiter considérablement les chocs thermiques, diminuant de 40 à 50°C l'amplitude thermique, limitant la dégradation du bitume élastomère. En outre, la couverture du toit par un complexe de végétalisation protège les membranes des rayonnements ultraviolets, responsables à eux seuls de 5% de leur vieillissement. Les contraintes subies par le système d'étanchéité du toit sont ainsi diminuées, allongeant sa durée de vie.

L'expérience d'une usine à Zürich, dont le toit a été végétalisé sur une surface de 3ha en 1914, confirme cet argument : 90 ans plus tard, aucun travaux de réfection n'a dû être mené sur le système d'étanchéité de la toiture, ce qui correspond à une durée de vie plus de 5 fois supérieure à la garantie de 15 ans définie initialement par les professionnels.

La végétalisation des toitures contribue ainsi à la durabilité du bâti.

A.2.7 Un rôle dans la préservation de la biodiversité et la continuité écologique en ville

La ville de Nice, consciente de la richesse écologique de son territoire, se veut exemplaire en matière de préservation de la biodiversité, dont elle a fait une priorité de sa politique. Une étude menée en 2009 a permis d'identifier la trame verte et bleue de la communauté urbaine, de déceler les dysfonctionnements du réseau et de mettre en avant les corridors à préserver ou à rétablir.

Les corridors écologiques ont pour fonction de permettre les déplacements nécessaires à la pérennité de nombreuses espèces animales et végétales D'un point de vue structurel, un corridor assure une connexion physique entre différents écosystèmes ou habitats d'espèces permettant leur dispersion et leur migration. Il peut être continu ou discontinu (en « pas japonais »). Pour ces connexions discontinues, chaque îlot est à la fois « foyer », « récepteur » et « émetteur » de biodiversité.

Il a été observé que l'étalement urbain et l'expansion de la forme bâtie en général conduisent à la rupture des continuités écologiques, ainsi qu'à la perte et à la fragmentation de l'habitat de nombreuses espèces animales. Les corridors naturels se heurtent en effet aux nombreux obstacles artificiels en milieu urbain. Il faut donc recréer ces connexions afin que les échanges écologiques s'effectuent et que la biodiversité se développe à nouveau.

La végétalisation des toitures participe à la production de paysages urbains vivants et au rétablissement des corridors écologiques en ville, principalement selon la configuration de « pas japonais », présentée ci-dessus. Des toitures végétalisées intégrant des arbres, telles que la ville de Nice en compte déjà, peuvent offrir des habitats et des refuges convenables à maintes espèces d'oiseaux.

De façon générale, les toits végétaux peuvent accueillir de nombreuses espèces d'insectes et d'invertébrés, et contribuer ainsi à minimiser la perte de biodiversité en milieu urbain. Ils sont le lieu de nouveaux équilibres naturels où l'on peut même implanter des espèces végétales en voie de disparition, et leurs cortèges faunistiques associés. On peut également y installer des ruches, ce qui permet notamment la réintroduction des abeilles en ville, indispensables à la pollinisation des végétaux.

L'exemple du toit d'une usine zurichoise végétalisé en 1914 parle de lui-même : 90 ans plus tard, les relevés effectués ont identifié la présence de 175 espèces végétales différentes, dont certaines en danger ou devenues rares, parmi lesquelles l'Orchidée Orchis Morio, considérée comme disparue de la région de Zürich. Ces espèces alors en présence au moment de l'aménagement de la toiture ont colonisé spontanément le toit, devenu le témoin « vivant » de la richesse de cette région au siècle dernier.

Les villes de Bâle en Suisse et de Londres en Angleterre ont clairement affiché cette fonctionnalité de préservation de la biodiversité comme utilité de développement de la toiture végétalisée en ville.



<u>Toiture végétalisée – Ville de Bâle</u>
<u>Source : http://www.ecoquartiers-geneve.ch/documents/Fiche%20TTV%20suisse.pdf</u>
<u>Association entrelianes avec le soutien de la Région Nord Pas de Calais</u>

Toutefois, sans équipement vertical complémentaire tel que plantes grimpantes, mur végétalisé, ou colonne de pierre sèche, permettant des mouvements ascendants et descendants des espèces faunistiques et floristiques, les échanges écologiques n'ont pour support que les déplacements d'oiseaux et le vent.

A.2.8 La toiture végétalisée, un espace vert supplémentaire

Au début du XXème siècle, Henri Prost avait eu cette vision de la « ville parc » pour la commune de Nice, une cité ouverte sur la mer, agrémentée d'un « maillage vert » assurant la continuité naturelle entre les collines et le littoral. La toiture végétalisée peut donc tout à fait trouver sa place dans la ville sans dénaturer le concept urbain à l'origine de son plan d'aménagement. Sa dimension esthétique peut également en faire une bonne réponse à la problématique de réhabilitation des entrées de ville.



Exemple d'intégration de la végétalisation des toits en milieu urbain, à Manhattan Source : Biomag.fr

La valeur esthétique et culturelle des surfaces végétalisées prend tout son sens si ces espaces sont visibles ou accessibles. Combiner les avantages précités des toitures vertes et leur utilisation par les occupants de l'immeuble, à qui elles procurent un bien-être supplémentaire, double les bénéfices de créer des toitures vertes.

En terme d'urbanisme, il est possible de considérer les toitures végétalisées comme espaces verts ou compensateur écologique, comme proposé dans le projet de PLU de la ville de Nice, article 13.

Dans le centre de Copenhague, un toit d'immeuble a été transformé en espace accessible à tous. Il offre aux piétons un refuge vert et calme, isolé des nuisances de la circulation urbaine.

A.2.9 La toiture végétalisée, une réponse aux cibles de la démarche HQE

L'ensemble des atouts précités concourre à promouvoir les toitures végétalisées comme une réponse à plusieurs cibles de la démarche Haute Qualité Environnementale :

- Cible 1 : Relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat

Le développement d'espaces verts via les toitures végétalisées contribue à un paysage urbain de qualité et à l'intégration du bâtiment dans son environnement.

- **Cible 2** : Choix intégré des procédés et des produits de construction

En réponse à cette cible, les toitures végétalisées contribuent à préserver les ressources que sont l'eau (rétention des eaux de pluies, faible demande en eau) et l'énergie (isolation thermique).

- Cible 4 : Gestion des énergies

De même, en contribuant à l'isolation thermique des bâtiments, les toitures végétalisées diminuent les besoins de climatisation des bâtiments et contribuent ainsi aux économies d'énergie.

Cible 5 : Gestion de l'eau

La capacité de rétention des eaux pluviales des toitures végétalisées fait de cette technique une méthode alternative de récupération des eaux de pluies pour un usage domestique. En outre, la rétention des eaux de pluies par les toitures végétalisées entraîne une diminution des débits à gérer par les réseaux d'assainissement urbains.

Cible 8 : Confort hygrothermique

La végétalisation des toitures contribue au confort hygrothermique d'une part grâce à l'évapotranspiration des végétaux qui restituent de l'humidité dans l'air urbain et d'autre part grâce à l'isolation thermique de la couche végétale.

Cible 9 : Confort acoustique

Comme cité plus haut, la toiture végétalisée est reconnue comme isolant phonique, diminuant les nuisances sonores des trafics urbains.

Cible 13 : Qualité sanitaire de l'air

Indirectement, les toitures végétalisées, de part leur capacité d'absorption de composés polluants tels que le CO₂ et l'apport en oxygène de l'air par les plantes, permettent de limiter la pollution de l'air extérieur au bâtiment et limite ainsi les risques de pollution intérieure.

- Cible 15 en projet : La biodiversité

L'intégration de la biodiversité dans la conception du bâtiment par le biais d'une 15° cible de la démarche HQE est en cours de réflexion. Les toitures végétalisées sont un outil répondant entièrement à cette cible, contribuant au développement d'espaces verts en harmonie avec le bâti. Un des principes de cette 15° cible est l'auto-entretien des milieux, principe auquel répond la végétalisation extensive.

Ainsi, dans le cadre de la mise en place d'un cahier de recommandations intégrant la HQE aux documents d'urbanisme et d'aménagement, la ville de Nice peut inscrire les toitures végétalisées parmi les techniques recommandées, en réponse à ces cibles de la démarche HQE.

Partie B : Comment mettre en œuvre une toiture végétalisée ?

Introduction

L'objectif de cette partie est de présenter les éléments techniques de mise en œuvre des toitures végétalisées. Dans un premier temps, des éléments d'ordre général sont présentés afin de préciser les contraintes techniques associées à la conception des toitures végétalisées et les caractéristiques techniques d'une toiture végétalisée. Dans un second temps, des exemples précis de toitures végétalisées et applicables à Nice sont exposés.

Compte tenu de la technicité de cette partie, le cabinet Ernst&Young a notamment fait appel au bureau d'études spécialisé en environnement naturel, ECO-MED « Ecologie et médiation ». L'expertise technique d'ECO-MED a permis d'apporter des éléments de réflexion scientifiques sur la démarche de développement des toitures végétalisées et en particulier sur le type de végétalisation qu'il est possible de mettre en place sur le territoire de Nice. Le travail a été confié à Héloïse VANDERPERT, écologue spécialisée en botanique.

B.1. L'approche technique de la toiture végétalisée

B.1.1 Encadrement de la filière

La végétalisation des toitures est une technique de plus en plus répandue avec de nombreux retours d'expérience partout dans le monde. En France, la filière est en cours de développement, elle est encadrée par les professionnels concernés du secteur du bâtiment (principalement étancheurs et couvreurs) et du paysage en particulier.

En France, l'Association pour le Développement et l'Innovation sur la Végétalisation Extensive des Toitures (ADIVET) a été créée pour la promotion de la technique. Par ailleurs, le développement de la végétation sur les toits des bâtiments n'est pas sans effet sur le bâtiment porteur. Ainsi, en partenariat avec l'ADIVET, les professionnels du bâtiment et de l'étanchéité (CSFE), les professionnels des matériaux en acier (SNPPA) et du paysage (UNEP) ont défini les Règles Professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées.

Le développement des toitures végétalisées sur le territoire de Nice pourra faire appel à l'expertise de l'ADIVET et des professionnels concernés. Cette démarche de sensibilisation des acteurs, explicitée plus loin (partie D), sera un levier pour la crédibilisation et la légitimation de la démarche de la collectivité.

B.1.2 Contraintes techniques

La végétalisation des toitures possède de nombreux atouts, aussi bien à l'échelle individuelle pour les propriétaires fonciers qu'à l'échelle de la ville pour la collectivité.

Il existe par ailleurs des contraintes techniques de réalisation qui sont à prendre en compte dès la conception d'un projet de végétalisation.

Le premier point à considérer est l'objectif à atteindre. La définition de l'objectif consiste à prioriser les avantages de la végétalisation selon les impacts souhaités. Par exemple, pour un même budget, l'aménagement sera différent si l'on souhaite privilégier l'esthétique ou si l'on souhaite assurer une rétention d'eau maximale.

La localisation du toit support du complexe de végétalisation est un deuxième facteur prépondérant dans la phase de conception : son exposition aux vents, au soleil, sa visibilité depuis les bâtiments avoisinants sont des paramètres importants à prendre en compte.

Les caractéristiques du toit influent aussi la conception du projet de végétalisation. De nombreux paramètres sont à prendre en compte :

- les matériaux composants,
- la résistance.
- la taille de la surface à végétaliser (garage privatif, entrepôt industriel),
- la hauteur,
- la pente,
- l'accessibilité,
- l'application prévue : toitures créatives, toitures terrasses-jardin.

La conception du projet dépendra aussi de son intégration à des travaux de construction neuve ou de rénovation.

B.1.3 Description d'une toiture végétalisée type

Un toit vert ou végétal est constitué essentiellement de six éléments. En partant du support de toit, on retrouve :

- la **structure portante**. Elle doit supporter le poids de l'ensemble de l'installation prévue, qui peut doubler voire tripler lorsqu'elle est gorgée d'eau en cas de pluie ou de fonte de la neige accumulée.
- une isolation thermique permettant de compléter la toiture. Cette dernière vient sous l'étanchéité.
- une couche d'étanchéité, résistante à la pénétration racinaire.
- une couche éventuelle de drainage et de filtration. En cas d'excédent d'eau, une couche de réservoirs ou de galets la filtre puis elle se déverse dans une canalisation. Pendant les périodes sèches, l'eau stockée remonte vers les racines.
- un substrat de croissance, préféré à la terre naturelle, qui devient trop lourde quand elle se gorge d'eau.
- une **couche végétale**. La végétalisation sera choisie en fonction du climat de la région, de l'ensoleillement, mais aussi de la pente du toit, de l'épaisseur du substrat, et de l'usage attendu de la toiture. L'épanouissement des plantes du toit végétal prend quelques années.

Les traitements de végétalisation diffèrent en fonction de l'élément porteur (support béton, bois, taule métallique, etc.). L'objectif étant d'assurer la pérennité de la végétation et de la construction.

Le toit peut être plat ou incliné (35° au maximum). Il est recommandé de construire des terrasses avec une pente minimale de 1 à 2 %, pour diminuer l'épaisseur de la couche drainante et donc le poids de la structure.

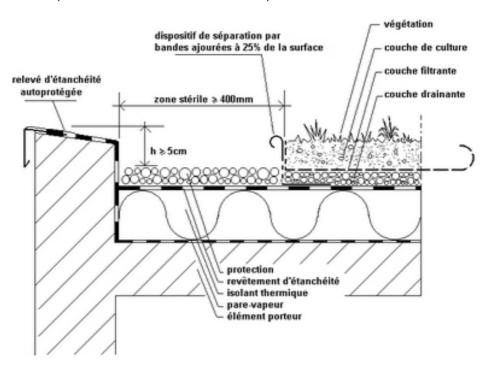


Schéma de coupe d'une toiture végétalisée type

Source: www.equipeco.com

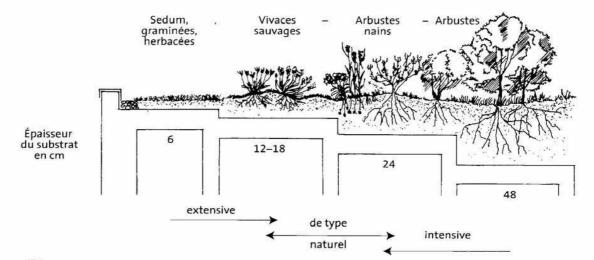
B.1.4 Les typologies de toitures végétalisées

Trois techniques différentes, ou concepts de végétalisation de toitures coexistent en France, le tableau ci-dessous en résume les caractéristiques :

	Végétalisation intensive	Végétalisation semi- intensive / de « type naturel »	Végétalisation extensive
Epaisseur du substrat	> 30cm	< 30cm	< 8cm
Poids du complexe de végétalisation	> 600 kg/m2	150 à 350 kg/m2	env.100kg/m2
Support admissible	Béton	béton, acier, bois	béton, acier, bois
Pente maximale	5%	20 %	30%
Choix de végétation	très large	large	Restreint
Entretien	important	limité	faible (1 à 3 passages/an)
Coût global toiture	élevé	moyen	économique

Source: http://www.referencenature.fr

La forme de végétalisation choisie dépendra notamment de l'épaisseur et de la composition du substrat, comme le montre le schéma ci-dessous :



Source : Les toitures vertes, Agence Bruxelloise de l'Energie

Chacune de ces typologies présente ses avantages et ses inconvénients. On trouve généralement une opposition toiture végétalisée extensive / toiture végétalisée intensive sur les points suivants :

Type toiture	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Toiture à végétation extensive Mince couche de sol, peu ou pas d'irrigation, faible diversité dans le choix de plantes.	Léger, le toit n'a généralement pas besoin d'être renforcé Convient aux grands espaces Convient aux toits à pentes de 0 à 30 degrés Peu d'entretien, longue durée de vie Ne nécessite pas d'irrigation ou de système de drainage dans la majorité des cas Peu d'expertise technique requise S'intègre bien à des travaux de rénovation Développement spontané des plantes indigènes Peu onéreux Allure naturelle Plus facilement intégrable comme condition règlementaire dans les documents d'urbanisme	Choix limité de plantes Rarement utilisable comme lieu récréatif (majorité des cas) Attrait esthétique moindre pour certain, surtout en hiver Efficacité énergétique et rétention des eaux pluviales moindres
Toiture à végétation intensive Sol plus profond, besoin d'un système d'irrigation, conditions favorables aux plantes.	 Permet l'implantation de nombreuses variétés de plantes et d'habitats Bonnes propriétés isolantes et meilleure capacité de retention des eaux Peut simuler un jardin naturel, avec des étangs, des abris pour les oiseaux et même des potagers Permet des loisirs récréatifs, peut être très attrayant Durée supérieure de la membrane 	Ajoute plus de poids au toit Besoin d'irrigation et de système de drainage (besoin de plus d'énergie, d'eau, de matériel, etc.) Coût plus élevé Un système plus complexe et plus d'expertise est requise

Source : Adaptation tirée de Des toitures vertes et des billets verts : un nouveau secteur d'activités au Canada SCHL 1998

B.1.5 Exemples de projets de réalisation de toitures végétalisées

Les exemples présentés ci-après sont des exemples de réalisation de toitures végétalisées dans le cadre de travaux de rénovation ou de construction. Ces projets ont été menés par des collectivités françaises ou européennes. Même si le territoire de Nice a des spécificités bien précises jouant un rôle important dans la définition de projets de toits végétaux, ces projets peuvent être intéressants de part leurs particularités : construction neuve ou rénovation, zone urbaine ou industrielle, végétalisation extensive ou intensive, ...

Localisation	Milieu	Ancien/N euf	Type de végétalisation	Contexte et critères de choix	Caractéristiques de la réalisation et retour d'expérience (quand disponible)	lmages
Boulogne- Billancourt	Milieu urbain	Ancien	Végétalisation extensive - Tapis précultivé	Ce projet de végétalisation date de 2005. Le critère "confort visuel" a été un critère important dans la réalisation de ce projet, du fait de la présence d'immeubles d'habitations plus hauts autour du bâtiment concerné. L'aménagement en toiture végétalisée offre une perspective verte aux usagers des immeubles voisins.	Chaque toiture est végétalisée au moyen de tapis pré-cultivés de sedums. L'ensemble du complexe est posé en moins d'une journée par l'entreprise ayant par ailleurs réalisé l'étanchéité. Solution mise en œuvre: - Support : Dalle béton - Drainage : Bacs de Polystyrène recouverts d'un filtre Substrat : 5 cm de substrat - Végétation : Tapis pré-cultivés de sédums	
Les Mureaux	Milieu urbain	Neuf	Végétalisation extensive - Mottes	Ce projet de construction neuve du pôle administratif de la mairie des Mureaux a été initié en 2005. Ce pôle a été conçu dans une démarche de construction HQE. Peu après son inauguration, ce projet a reçu la certification AFNOR HQE pour les bâtiments tertiaires. La toiture concernée a une surface de 220 m² et est située en R+3 d'un bâtiment de quatre étages. L'élaboration du projet a pris en compte les deux principaux critères suivants: - Un objectif de capacité de rétention en eau de 40 L/m² minimum; - L'importance de la dimension esthétique, compte tenu du fait que plusieurs bureaux ont une vue directe sur elle.	Solution mise en oeuvre: - Couvert végétal varié: - Végétation: sedums et plantes telles que le thym, l'origan, la ciboulette, ou l'oeillet - Hauteur du couvert végétal: 15 à 20 cm - Forme: plantation de micro-mottes - Substrat de type Flore SP: - Epaisseur du subsrat: 12 cm, épaisseur assurant à la fois la profondeur d'enracinement nécessaire aux vivaces, et la rétention en eau demandée par le projet, - Poids du complexe à saturation d'eau: 185 kg/m² (hors drainage). Le complexe végétal mis en oeuvre a une couverture initiale de 40% (juin 2005) puis une couverture de 90% en juin 2006.	

Localisation	Milieu	Ancien/N euf	Type de végétalisation	Contexte et critères de choix	Caractéristiques de la réalisation et retour d'expérience (quand disponible)	Images
Zürich	Milieu industriel	Ancien	Végétalisation extensive	Le projet de végétalisation de la toiture de l'usine date de 1914. Le bâtiment est une usine de filitration des eaux du lac de Zürich. La surface totale végétlisée est de 3 ha, la toiture est plane, et composée de béton de toits plats en béton de cette usine de filtration. Le critère principal retenu est la meilleure régulation thermique de l'intérieur du bâtiment.	Solution mise en oeuvre: - Couche drainante de sable et de graviers de 5 cm, - Substrat de 15 à 20 cm de terres arables provenant des terres agricoles alentours, - Développement de 175 espèces végétales différentes relevées 90 ans après l'installation de la toiture végétalisée. Certaines des espèces identifiées sur ce « jardin terrasse d'entreprise » sont des espèces en danger ou devenues rares. L'Orchidée Orchis Morio, considérée comme disparue de la région de Zürich, a notemment été relevée. Ce toit est devenu le témoin « vivant » de la richesse de cette région au siècle dernier. Depuis l'installaiton de la toiture, des travaux de réfection de la bordure de la toiture ont été réalisés mais aucune intervention n'a été nécessaire sur la membrane d'étanchéité elle-même. Ce projet, de part son ancienneté permet de confirmer certains atouts de la végétalisatoin des toitures: - Biodiversité: colonisation spontanée par des espèces locales disparues alentour, - Augmentation de la durée de vie du système d'étanchéité: plus de 5 fois supérieure à la garantie de 15 ans définie par les professionnels.	

Localisation	Milieu	Ancien/N euf	Type de végétalisation	Contexte et critères de choix	Caractéristiques de la réalisation et retour d'expérience (quand disponible)	lmages
Bâle	Milieu urbain	Ancien	Végétalisation extensive Toiture mixte : végétaux et panneaux photovoltaïques	Les travaux de rénovation du hall d'exposition de la ville de Bâle réalisés en 1999 sont à l'origine de la végétalisation de la toiture. La surface concernée a une superficie de 16 000 m², c'est une toiture plane. La particularité de ce projet est la cohabitation de la végétation avec les panneaux photovoltaïques.	Solution mise en oeuvre: - Végétalisation extensive: sédums puis développement naturel d'autres plantes telles que le thym ou l'herbe à Robert, - Substrat: léger, composé de roche volcanique, sur une épaisseur de 7 cm sur lequel se développent des sédums. Le développement de la végétation a entraîné la colonisation du milieu par des araignées et des insectes butineurs. Un double avantage de la cohabitation: - les panneaux photovoltaïques installés sur la toiture créent des zones d'ombre favorables au développement d'autres espèces végétales. - la présence de la végétation limite la réverbération du soleil sur le toit, et, en y réduisant le niveau de température, augmente le rendement des panneaux photovoltaïques.	
Stutgart	Milieu rural	Ancien	Végétalisation extensive et intensive	Ce projet de végétalisation date de 2004 et intervient dans le cadre de la rénovation d'un monument culturel du Land de Stutgart, la villa Windstoßer. La surface concernée a une superficie de 400 m². Le principal critère retenu dans le cadre de ce projet est le confort visuel, en alliant végétalisation extensive et intensive.	Solution mise en oeuvre : - Végétalisation extensive et intensive, - Système : système d'étanchéïté et de protection antiracinaire en une seule membrane, - Fixation : en indépendance sous lestage végétalisé.	

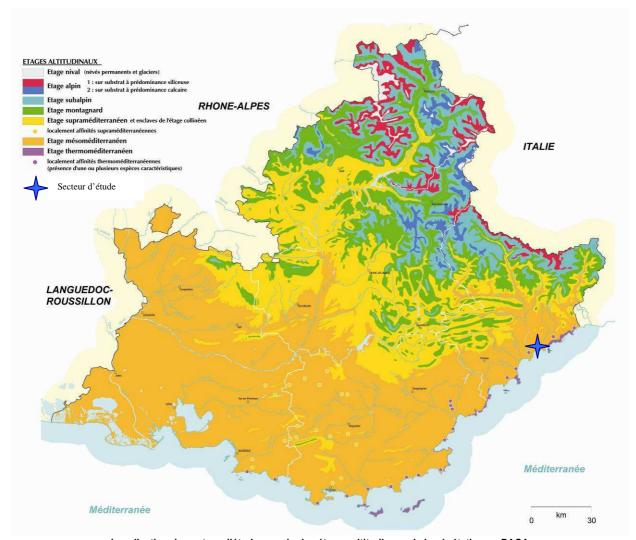
Localisation	Milieu	Ancien/N euf	Type de végétalisation	Contexte et critères de choix	Caractéristiques de la réalisation et retour d'expérience (quand disponible)	Images
Montpellier	Milieu urbain	Neuf	Végétalisation extensive	Ce projet de construction du collège d'Alco fait intervenir : - Maître d'ouvrage : CG 34 + Hérault Aménagement La capacité du collège initialement prévue est de 600 élèves, extensible à 750 élèves. Le budget alloué à ce projet est de 7 millions d'euros. Préalablement à la construction, une étude de 6 mois a été réalisée. Les travaux de construction ont duré un an, pour une réception du chantier à l'été 2005.	Solution mise en oeuvre : - Végétalisation extensive des toitures du collège.	Section of the sectio
Béziers	Milieu rural	Neuf	Végétalisation en pente	Le projet de végétalisation concerne l'extension de l'unité de production de l'entreprise Technilum à Béziers, entreprises de fabrication de mâts d'éclairage. La surface est en pente et a une superficie de 3500m². L'entreprise étant implantée dans un ancien chai du Domaine de Lézigno. Les objectifs HQE® ciblés sont : - la diminution de la consommation énergétique, l'utilisation des énergies passives en été, - l'amélioration du confort acoustique des salariés un impact limité dans le paysage malgré la hauteur libre nécessaire à l'activité - un chantier propre avec déchets recyclables - les circulations optimisées par la réduction du bruit lié aux manoeuvres de livraisons	Solution mise en œuvre : - Toitures en lanières.	

B.2. Quelle végétation pour les toits de Nice Côte d'Azur ?

Quelques pré-requis sur la biogéographie locale sont nécessaires avant de rentrer davantage dans les précisions scientifiques.

La région de Nice se situe à l'étage de végétation mésoméditerranéen inférieur, avec vers le littoral des ambiances encore plus chaudes relevant du thermoméditerranéen.

Les étés sont donc chauds et secs et les hivers assez doux. Les précipitations relativement faibles se concentrent principalement à l'automne et au printemps.



Localisation du secteur d'étude au sein des étages altitudinaux de la végétation en PACA

Source: DRAF, Région PACA, 2000

Les particularités climatiques du biome méditerranéen, et surtout la sècheresse estivale, ont contraint les végétaux de cette région à développer des stratégies de résistance face au stress hydrique (sclérophyllie : feuilles coriaces généralement persistances ; succulence : aspect charnu avec tissus constituant des réserves d'eau ; port en coussinet : aspect en boule de le plante, etc.).

Ainsi, dans une démarche d'intégration à la biodiversité locale, et d'adaptation au climat, certaines techniques de végétalisation apparaissent plus pertinentes et seront à privilégier dans les choix stratégiques que Nice sera amenée à prendre dans ce domaine. En effet, les toitures extensives ou semi-intensives, nécessitant moins d'entretien et peu demandeuses d'eau semblent être les méthodes à promouvoir pour le territoire de Nice Côte d'Azur. Les formes de toitures intensives, ou de « jardinets » demandant d'importants entretiens et une forte capacité en eau seront donc à limiter. De plus, les toitures intensives ou les « jardinets » ne peuvent être installés que sur un nombre de supports limité (toit béton à faible pente).

En outre, il est également important de rappeler que toutes espèces exogènes à caractère invasif devront être totalement proscrites de ces plantations (Cf. EIE PLU Nice).

Un autre facteur à prendre en considération est le risque de propagation des incendies, le toit étant souvent le lieu ultime pour fuir un incendie il est important de choisir des espèces qui n'aggraveront pas la vitesse de propagation des flammes.

Utiliser des espèces locales présente deux objectifs principaux :

- conserver une diversité génétique locale ;
- choisir des espèces bien adaptées au climat local.

Voici ci-après différents exemples de végétalisation réalisables (et réalistes) sur le territoire de Nice, inspirés des habitats naturels de la région niçoise, base de travail préconisé par ECO-MED pour la suite de nos réflexions.

Quatre exemples de cortèges végétaux typiques du sud de la France méditerranéenne vont être présentés. Afin de retrouver une ambiance proche des habitats naturels, des pourcentages de recouvrement sont proposés pour chaque essence. Les noms des espèces sont en latin pour éviter les confusions possibles dues aux noms vernaculaires. Ces propositions ne sont bien entendues pas exhaustives.

Les éléments techniques précis quant aux composants des couches anti-racinaires, drainantes ou d'étanchéité seront à affiner au cas par cas lors de la réalisation des ouvrages. Il en va de même pour les coûts.

B.2.1 Fourrés littoraux thermophiles à Palmier nain



Cet exemple de végétalisation concerne principalement des espèces arbustives du littoral, se développant en condition thermophile (aimant la chaleur) et capables de se maintenir sur un substrat relativement mince.

Plusieurs de ces espèces se rencontrent généralement en milieu halophile (influence du sel), mais peuvent très bien s'adapter à des ambiances non salées.

Le couvert végétal s'élèvera à environ 1m - 1,5m.

Ce type de végétalisation est proposé pour des toitures à pentes faibles (0 à 5 %).

	Description technique				
Nature	Semi-intensive				
Type de toit	Béton – acier – bois, pente réduite				
	Support : 200 à 350 kg/m2				
Couches protectrices	Couche drainante, couche anti-racinaire, couche e	étanchéité			
Substrat	25 – 30 cm mélange minéral/terre				
Plantes et leur forme	Eléments pré-cultivés (hauteur de tige = 1m - 1,5m)	Plantes en mottes ou semis (hauteur de tige = 0,5m max)			
	Chamaerops humilis 20 %	Camphorosma mospeliaca 10%			
	Euphorbia characias 20%	Pipatatherum caerulescens 10%			
	Halimione portulacoides 10%	Melica minuta 10%			
	Phagnalon saxatile 10%	Phagnalon sorditum 10%			
Entretien	Faible (2 à 3 fois / an)				
	Dèsherbage limité après installation co	mplète			
	Arrosage automatique programmable r	recommandé pour les palmiers			
Coût	Elevé (70 – 120 €/m²)				

Rappelons par ailleurs que le Palmier nain (*Chamaerops humilis*), disponible en jardinerie, est une espèce végétale protégée sur le plan national lorsqu'il est en situation naturelle.







Palmier nain	Euphorbia characias	Obione (Halimione portulacoides)
--------------	---------------------	----------------------------------

B.2.2 Les dalles à succulentes





Cette végétalisation peut convenir à tout type de toit (bois, acier, béton), et s'adapte particulièrement bien aux fortes pentes (jusqu'à 30 %) et au substrat squelettique.

La préparation de la toiture est beaucoup plus légère, il n'est pas nécessaire d'avoir une couche de drainage.

Les espèces sélectionnées pour cet exemple sont des succulentes méditerranéennes ou alpines des pentes très ensoleillées.

Les Sedums supportent peu les situations ombragées, la région niçoise conviendra donc particulièrement à ces espèces mais elles ont tendance à envahir toute la toiture et même la bande de 40cm qui doit rester vierge.

La hauteur de la végétation sur ce type de toiture est faible, elle ne dépasse pas 15 cm.

	Description technique
Nature	Extensive
Type de toit	Béton – acier – bois, pente jusqu'à 30 %
	Support : 50 à 100 kg/m²
Couches protectrices	Couche anti-racinaire, couche étanchéité
Substrat	2 - 8 cm principalement minéral
Plantes et leur forme	Semis par fragments (hauteur de tige = 5 – 15 cm)
	Sedum sediforme (nicaensis) 30 %
	Sedum acre 20 %
	Sedum album 20 %
	Sedum sexangulare 10%
	Sempervivum sp. 10%
	Umbilicus rupestris 10 % (à disposer de préférence vers les noues, ou en bas des pentes car nécessite une hygrométrie plus forte que les autres espèces)
Entretien	Très faible (1 à 2 fois / an), nettoyage, pas d'arrosage
Coût	Faible (20 – 60 €/m²)







Sedum acre Sedum album Umbilicus rupestris

B.2.3 Milieux herbacés à aspect steppique



Ce milieu est principalement inspiré des faciès de garrigue ouverte appartenant à l'alliance de l'Aphyllanthion.

Cette végétalisation à espèces vivaces herbacées pourra être disposée sur tout type de toit avec des pentes allant jusqu'à 20 %

Un substrat d'une épaisseur de 10 – 15 cm est nécessaire pour ces espèces, avec une terre plutôt calcaire.

	Description technique		
Nature	Semi-intensive		
Type de toit	Béton – acier – bois, pente jusqu'à 20 %		
	Support : 100 à 200 kg / m2		
Couches protectrices	Couche drainante, couche anti-racinaire, couche étanchéité		
Substrat	10 - 15 cm mélange minéral/terre plutôt calcaire		
Plantes et leur forme	Semis ou plantes en mottes		
	Stipa eriocaulis (penata) 30 %		
	Euphorbia spinosa 20 %		
	Aphyllanthes monspeliensis 20 %		
	Iris lutescens 10 %		
	Dianthus sylvestris longicaulis 10 %		
	Helianthemum nummularium 10%		
Entretien	Très faible (1 à 2 fois / an)		
	Nettoyage		
	 Fauchage des graminées et coupe des hampes florales desséchées (1 fois/an) 		
	Arrosage en cas de sécheresse prolongée.		
Coût	Modéré (50 – 100 €/m²)		







Cheveu d'Ange (Stipa eriocaulis)

Œillet bleu ou Aphyllanthe de Montpellier (Aphyllanthes monspeliensis)

Iris nain (Iris Iutescens)

B.2.4 Maquis de Lavande à Plumet et Immortelles

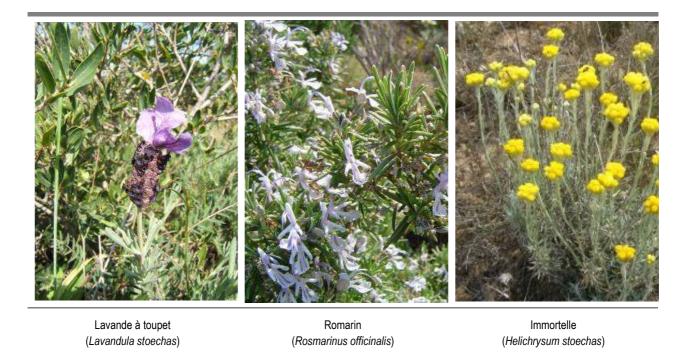


Ce milieu traduit une végétalisation issue des formations de maquis ou garrigue, avec un choix d'espèces odorantes et nectarifères attractives pour l'entomofaune.

Comme pour l'exemple précédent, cette formation végétale pourra être réalisée sur tout type de toit avec une pente allant jusqu'à 20%.

Toutes les espèces proposées pour cette végétalisation sont de petits chaméphytes (petits arbustes rampants ou buissonnants) nécessitant une faible épaisseur de terre. En outre, la Lavande à Plumet (*Lavandula stoechas*) a besoin d'un substrat alcalin pour se développer.

	Description technique		
Nature	Semi-intensive		
Type de toit	Béton – acier – bois, pente jusqu'à 20 %		
Couches protectrices	Support : 100 à 300 kg/m2 Couche drainante, couche anti-racinaire, couche étanchéité		
Substrat	15 - 20 cm mélange minéral/terre plutôt siliceux		
Plantes et leur forme	Plantes en mottes ou éléments pré-cultivés		
	Lavandula stoechas 30%		
	Helichrysum stoechas 20%		
	Thymus vulgaris 10 %		
	Rosmarinus officinalis 10%		
	Sthaelina dubia 10 %		
	Fumana thymifolia 10%		
	Teucrium chamaedrys 10%		
Entretien Très faible (1 à 2 fois / an)			
	 Après la première année, limité à un nettoyage en fin de saison. 		
	 Arrosage en cas de sécheresse prolongée. 		
Coût	Modéré (50 – 100 €/m²)		



B.2.5 Rétention des eaux pluviales

La capacité de rétention des eaux pluviales est d'autant plus élevée que la couche de substrat est épaisse.

Aussi, par ordre croissant de rétention des eaux, ces quatre exemples s'ordonnent de la façon suivante :

- Les dalles à succulentes ;
- Milieux herbacés à aspect steppique ;
- Maquis de Lavande à Plumet et Immortelle ;
- Fourrés littoraux thermophiles à Palmier nain.

B.2.6 Cortège faunistique associé

Quatre types d'habitat "méditerranéens" ont été proposés, pour lesquels l'estimation de la colonisation par diverses espèces faunistiques est soumis à de nombreux critères : la venue de certaines espèces peut en effet être dépendante de la surface du toit, de la hauteur des bâtiments, sa position géographique (plus ou moins proche du centre ville, axe de migration, proximité de parcs et jardins,...) et de la présence d'eau (temporaire ou permanente).

Certaines espèces relativement communes (mais parfois protégées) sont donc susceptibles d'être présentes sur les immeubles en temps normal et donc de coloniser naturellement des toits végétalisés (espèces ubiquistes) :

- Tarente de Maurétanie, espèce protégée ;
- Lézard des murailles, espèce protégée ;
- Pigeon;
- Moineau domestique ;
- Divers criquets et sauterelles (Criquet migrateur, Sauterelle verte : Phanoptera nana,...);
- Diverses espèces de libellules de passage (voire en reproduction si présence de points d'eau) ;
- Cortège de papillons (notamment les migrateurs,...);
- Diverses espèces de diptères (insectes), communes en ville... .

De façon générale, il sera possible de retrouver l'ensemble des espèces faunistiques présentes dans les villes (parcs, jardins, rues) qui seraient susceptibles d'avoir accès à ces toits et de trouver les ressources nécessaires pour s'y installer et s'y maintenir. Notons que ces habitats pourraient aussi éventuellement favoriser l'arrivée voire le maintien d'espèces à caractère envahissant (ex: insectes parasites du palmier,...).

A noter toutefois que les dalles à Orpins pourraient aussi éventuellement accueillir une espèce de papillon protégée : l'Azuré de l'Orpin (Scotilentides orion).

La présence de points d'eau (eau non traitée, non ou peu stagnante,..) peut conditionner l'arrivée ou le maintien de certaines espèces telles que la Rainette méridionale ou certaines espèces de libellules.

La mise en place d'un suivi écologique de ce type de projet permettraient sans doute de préciser la biodiversité urbaine qui s'y adaptera voire même de recenser la présence d'animaux et de nouvelles espèces végétales non pressenties initialement.

B.3. Gestion des différents usages de la toiture

Il existe différents usages possibles de la toiture. En effet, le développement actuel des nouvelles sources d'énergie contribue à la promotion des énergies renouvelables et en particulier de l'énergie solaire. Par ailleurs, les toitures sont aussi utilisées pour la récupération des eaux de pluies. La question se pose de savoir si ces différents usages de la toiture sont compatibles et dans quelle mesure faut-il cadrer le développement de ces différents usages, et en particulier de la végétalisation des toitures.

B.3.1 Les toitures végétalisées et les panneaux solaires thermiques, un accord possible

Il existe deux techniques de récupération de l'énergie solaire : le solaire thermique et le solaire photovoltaïque. Rappelons que les panneaux solaires thermiques produisent de la chaleur destinée à chauffer directement l'eau et/ou l'air d'une habitation.

La promotion des toitures végétalisées n'est pas incompatible avec le développement des panneaux solaires thermiques.

Au contraire, il est possible d'installer des panneaux solaires sur des toitures végétalisées. La présence des panneaux solaires crée alors des zones d'ombre favorables au développement de certaines espèces. De plus, la végétation, limitant la réverbération du soleil sur le toit et y réduisant la température, augmente de rendement des panneaux solaires.

B.3.2 Les toitures végétalisées et les panneaux photovoltaïques, en concurrence?

L'énergie électrique produite par les panneaux photovoltaïques est quant à elle souvent destinée à être revendue sur les circuits de distribution français, du fait de l'intérêt économique représenté. En effet, en France, EDF participe à la promotion des panneaux photovoltaïques en proposant des prix de rachat intéressants de l'électricité générée par les panneaux photovoltaïques, plus intéressants encore si ces derniers sont intégrés à la toiture.

Dans ce cadre, la végétalisation de la toiture est difficilement compatible avec l'installation de panneaux photovoltaïques intégrés. Néanmoins, dans le cas de surfaces importantes disponibles, il est envisageable de réserver une surface pour les panneaux photovoltaïques et une surface à végétaliser. Une solution peut être de fixer un plafond pour la mise en place de panneaux photovoltaïques : générer de l'électricité au maximum à hauteur des besoins du bâtiment porteur.

B.3.3 Les toitures végétalisées et la récupération des eaux de pluies

Malgré son fort potentiel de rétention des eaux, la toiture végétalisée n'est pas incompatible avec l'installation de systèmes de récupération des eaux de pluie. Lors d'averses importantes, le substrat ne peut retenir la totalité de l'eau déversée, dont une part est automatiquement relâchée après drainage. De plus, si le substrat « retient » une partie de l'eau de pluie (cf partie A), elle n'en stoppe pas l'écoulement pour autant, qui se fera progressivement dans le temps pour la part non « transformée » (c'est-à-dire non assimilée par la végétation ou non évaporée). On peut donc tout à fait envisager la pose de ce type d'équipement complémentaire, en phase avec la recherche de solution au stress hydrique que rencontrent les régions du sud de la France.

En revanche, sur les capacités filtrantes de la toiture végétalisée, qui permettrait une utilisation domestique de l'eau récupérée, les avis d'experts divergent.

De nombreuses voix semblent soutenir que, grâce au phénomène chimique de complexation des métaux lourds dans le substrat, la toiture végétalisée permet une filtration et une épuration biologique des eaux de pluies. L'eau serait en quelque sorte « dépolluée » par les plantes et réutilisable pour un usage domestique.

Une affirmation fermement démentie par Karel De Cuyper, du CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) de Belgique, dans une étude sur l'utilité des toitures végétalisées, qui explique avoir plutôt constaté « un enrichissement suite à la percolation de l'eau à travers un milieu contenant entre autres des engrais ». En traversant les toitures végétalisées, les eaux se chargeraient en matières organiques et en produits chimiques oxydables, ainsi qu'en bactéries. « On pourrait même parler, dans certains cas, d'une véritable pollution. Cette dernière a pour conséquence que cette eau ne pourra être utilisée sans traitement complémentaire pour des usages domestiques (rinçage des toilettes, de la lessive). Dans certains cas, l'eau ne pourra même pas être déversée dans l'eau de surface, de pêche ou de baignade », conclut l'étude réalisée par le CSTC.

Ce point de désaccord fait partie des attentes du CSTB sur le résultat de ses expérimentations à venir.

En revanche, il est tout à fait envisageable d'utiliser l'eau récupérée pour des utilisations domestiques ne nécessitant pas d'eau potable. Il faudra toutefois dans ce cas veiller à séparer les deux réseaux (eau potable, eau non potable), en apposant un marquage clair (plaques avec mention « non potable ») pour éviter de les confondre. Une dérogation devra être obtenue auprès de la DDASS.

En effet, contrairement à d'autres pays européens, la France, sous le conseil du CSHPF (Conseil supérieur de l'hygiène publique de France), s'oppose à l'installation de réseaux conjoints d'eau potable et d'eau non potable (eau de pluie) à l'intérieur des bâtiments.

B.3.4 Les toitures végétalisées et les usages techniques de la toiture

La toiture est parfois utilisée comme support de locaux techniques, notamment pour les installations électriques annexes aux systèmes de climatisation, de chauffage, de nettoyage de façades, d'ascenseur ou de monte-charge ou encore de capteurs solaires. Néanmoins, ces usages techniques de la toiture ne nécessitent généralement qu'une surface restreinte. Et contrairement aux toitures utilisées pour le stockage de l'eau de pluie, la toiture végétalisée est compatible avec ces locaux. Ainsi, la végétalisation du restant de la toiture est possible, tout en conservant un passage d'accès aux locaux techniques, par des chemins en graviers entre les surfaces végétalisées par exemple. En outre, le système d'évacuation des eaux de la toiture végétalisée ne doit pas compromettre l'isolation de l'installation électrique. Ainsi, il sera conseillé de prévoir une zone stérile autour du local technique, d'environ 40 cm de largeur.

B.3.5 Les toitures végétalisées et l'usage de la toiture plaisir

Les toitures végétalisées agrémentent notre espace visuel, et participent à la qualité paysagère en milieu urbain. Elles améliorent en effet grandement l'aspect esthétique des toitures visibles.

Elles peuvent devenir un lieu de vie aux usages multiples sans coût additionnel pour l'acquisition des parcelles. Elles sont en effet tout à fait compatibles avec une utilisation « plaisir » de la toiture, offrant des espaces verts supplémentaires, de véritables jardins de proximité pour les habitants du milieu résidentiel, ou les salariés sur le lieu de travail.

Mais les toitures végétalisées ne peuvent devenir un lieu de détente et de rencontre que sous certaines conditions techniques. En effet, seul le type intensif convient pour la mise en place d'une « toiture terrasse jardin ». Il peut alors être combiné à différentes installations, telles que revêtements praticables, revêtements carrossables, bassins d'agrément ou aires de jeux. Ces installations ne nuisent pas au rôle de drainage des eaux de pluie de la toiture. Techniquement, la réalisation d'une terrasse-jardin traditionnelle diffère peu de celle d'un espace vert au sol. Ces installations sont donc en général plus complexes et accessibles pour réaliser leur entretien.

(cf partie B.1.4)

B.3.6 Synthèse des différents usages de la toiture

Usage	Spécificités techniques	
Les panneaux solaires thermiques	Emploi : alimentation en eau chaude /chauffage du bâtiment.	
uleiliilques	Surface : assez restreinte.	
	Compatibilité avec la végétalisation : végétalisation possible des surfaces sous (plantes demandant peu de lumière) et autour des panneaux.	
Les panneaux	Emploi : production d'électricité.	3923
photovoltaïques	Surface : relativement restreinte si on se limite à la surface nécessaire pour la production d'électricité à hauteur des besoins du bâtiment.	
	Compatibilité avec la végétalisation : végétalisation possible sur le reste du toit, avec une bande vierge de 40 cm autour de la surface occupée par les panneaux photovoltaïques.	
La récupération des	Emploi : usage domestique, arrosage.	Capacifine «Evacuation dévenceix» Ö habitual
eaux de pluie	Surface : très faible, des points de récupération des eaux de pluies peuvent être aménagés en surface mais aussi en aval du système de drainage de la zone végétalisée. La cuve de récupération peut être placée dans le bâtiment.	Gening gibre Gening gibre
	Compatibilité avec la végétalisation : la végétalisation limite les quantités d'eau récupérée du fait de l'absorption d'une partie de l'eau captée par la végétation mais la végétalisation et son système de drainage sont propices à la récupération des eaux de pluies.	, D habbari
Un local technique	Emploi : installation(s) électrique(s) annexe(s) au système de ventilation du bâtiment, par exemple.	
	Surface : restreinte.	
	Compatibilité avec la végétalisation : les autres surfaces du toit peuvent être végétalisée, l'isolation des installations électriques sera notamment assurée par une bande vierge de 40cm autour du local. Un sentier permettra l'accès au local.	
La toiture plaisir	Emploi : toiture jardin accessible aux usagers du bâtiment.	
	Surface : surface végétalisée aménagée.	
	Compatibilité avec la végétalisation : une végétalisation de type intensif (herbe et arbustes) est compatible à l'usage « toiture plaisir ». Des allées dallées ou encore des bancs peuvent être installés pour cet usage.	

Partie C : Bilan économique des toitures végétalisées

Introduction

L'objet de cette partie est de clarifier pour Nice les coûts induits par une démarche de végétalisation des toitures, et de les mettre en regard des bénéfices économiques chiffrables et non chiffrables de la mise en œuvre de toitures végétalisées.

L'ensemble des arguments exposés dans la partie A tend à montrer de nombreux atouts de la végétalisation. L'impact économique de ces avantages n'est pas toujours direct et parfois difficilement chiffrable, d'autant que la France manque de retours d'expériences sur son territoire.

Le CSTB lance actuellement les premières expérimentations françaises sur les apports chiffrés de la toiture végétalisée (principalement sur les questions de rétention des eaux, d'isolation phonique et thermique). Les premiers résultats chiffrés fiabilisés ne sont pas attendus avant 2010. Leur service d'évaluation économique sera d'ailleurs associé à ses expériences pour établir en parallèle un bilan économique précis des cas étudiés.

La présente partie a pour objectif de donner des éléments permettant d'établir un bilan économique des toits végétaux en comparant les bénéfices et les coûts liés à l'investissement initial et à l'entretien de ces installations. Nous nous basons essentiellement pour cela sur des retours d'expériences à l'étranger.

C.1. Bénéfices économiques

C.1.1 Des bénéfices directs

Les atouts de la végétalisation des toitures mettent en évidence une série d'impacts économiques directs :

- <u>Une diminution des coûts de gestion des eaux pluviales</u>: Le pouvoir de rétention de la toiture végétalisée a un effet direct sur la réduction des débits à écouler dans les réseaux d'assainissement. Le taux de rétention du complexe de végétalisation dépend de plusieurs facteurs: le coefficient d'infiltration, l'épaisseur du substrat, la capacité de rétention, la porosité, la rétention et le système drainant. Le diamètre des canalisations du réseau d'assainissement peuvent alors être plus faibles, réduisant les coûts d'installation. Les risques de débordement sont aussi plus faibles, réduisant les frais exceptionnels de gestion des pluies d'orage.

Travaux menés par l'ADIVET et le CSTB : un système de type végétalisation extensive d'une épaisseur de 6 à 10 cm de hauteur peut retenir jusqu'à 50% des précipitations annuelles

Réduction des coûts de gestion de l'eau à l'échelle du bâtiment de 5 à 10 %.

- <u>Une diminution des coûts énergétiques</u>: la capacité d'isolation thermique de la toiture végétalisée, en particulier en cas de fortes chaleurs, réduit de façon directe les charges énergétiques liées à la climatisation. De même, pendant l'hiver, l'épaisseur du complexe de végétalisation offre une isolation thermique supplémentaire, réduisant les coûts de chauffage. Ce gain économique dépend de plusieurs facteurs: le type de végétalisation (en particulier l'épaisseur du substrat), la taille de l'immeuble et son emplacement.

Etudes de modélisation citées dans « Lignes directrices de conception de toits verts », par Steven
Peck et Monica Kuhn, BES, B. Arch, Ontario Association of Architecs, AA, Canada – Source :
Communication personnelle avec M/ Brad Bass, Adaptation et incidences (Environnement
Canada), Février 2001

Source : « Toitures vertes, panacée ou outil d'écologie urbaine efficace parmi d'autres ? » Bernard
Capelle - Architecte paysagiste abajp

Source : « Les toitures vertes », Le Centre Urbain asbl, L'Agence bruxelloise de l'énergie -ABEA

Chauffage : économies de climatisation pouvant atteindre 25%
pour un habitat collectif d'un ou deux étages

Economies de climatisation de 15 à 20%

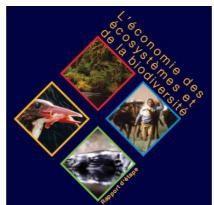
Chauffage : économie de 2L de mazout/m²/an, soit 1 à 1,10 €/m²/an selon prix de vente moyen du fuel domestique au 1er semestre 2009

<u>Une diminution des frais d'entretien des systèmes d'étanchéité</u>: l'allongement de la durée de vie des systèmes d'étanchéité des toitures permet d'espacer les travaux de réhabilitation à réaliser sur les toitures et de réduire ainsi les coûts d'exploitation pour les propriétaires fonciers. Selon les données sur le coût du cycle de vie du matériel incluant le coût d'entretien et le coût de remplacement, le coût d'un toit vert est égal voir inférieur au coût d'un toit classique⁹.

C.1.2 Des bénéfices indirects/non chiffrables

Certains avantages de la végétalisation n'ont pas d'impacts économiques directs mais peuvent avoir un impact économique indirect :

- La biodiversité: les toitures végétalisées peuvent participer au programme de préservation de la biodiversité de la collectivité. Des études de référence sur la question existent telles que « l'économie des écosystèmes et de la biodiversité », projet confié à Pavan Sukhdev, qui estime que les bénéfices des services rendus par différents écosystèmes vont de plusieurs centaines de dollars à plus de 5 000 USD par hectare et par an, voire bien plus encore dans certains cas.
- <u>Un plus pour l'attractivité de la ville</u>: l'amélioration des conditions climatiques, de la qualité de vie ou encore l'esthétique des toitures végétalisées contribuent à l'attractivité de la ville, participant à la croissance urbaine et engendrant indirectement des bénéfices économiques. La végétalisation des toitures participe aussi à l'image « verte » de la ville, améliorant son capital touristique. Les toits verts constituant des aires d'agrément appréciés, ils peuvent également participer à augmenter la valeur d'un bien immobilier.



Source : « L'économie des écosystèmes et de la biodiversité », rapport d'étape, Communauté européenne 2008

 ⁹ « Lignes directrices de conception de toits verts », par Steven Peck et Monica Kuhn, BES, B. Arch, Ontario Association of Architecs, AA, Canada
 © 2009 Ernst & Young et Associés - Nice Côte d'Azur, Direction de l'Environnement

C.2. Coût économique d'une toiture végétalisée

Les éléments présentés ci-dessus et les diverses études technico-économiques menées sur les impacts de la végétalisation des toitures tendent à prouver des bénéfices économiques réels aussi bien pour les propriétaires fonciers que pour les pouvoirs publics. Si ces bénéfices se mesurent sur l'ensemble de la durée de vie du toit végétal, en revanche, la majeure partie des coûts correspondent à l'investissement initial de mise en œuvre de l'équipement. Des charges de fonctionnement sont aussi à prendre en compte pour l'entretien de l'installation, mais celles-ci restent limitées.

Concernant l'investissement initial, celui-ci comprend les coûts depuis la conception du projet jusqu'à sa réalisation 10:

- <u>Un coût de définition et de conception du projet</u> : la phase de conception demande en général l'intervention d'un spécialiste. Cette phase, aboutissant à un devis, représente 5 à 10% du coût global du projet de toit végétal.
- <u>Un coût de diagnostic initial du toit</u>: une fois le projet défini, la phase de lancement du projet avec le maître d'œuvre et l'examen initial de la surface qui recevra le complexe de végétalisation engendrent des coûts pouvant représenter 2,5 à 5% du coût global du projet.
- <u>Un coût pour la réfection du toit</u>: avant la pose du complexe de végétalisation, des travaux de réfection de la couverture, en général au moyen d'une membrane anti-racines sont réalisés. Ces travaux peuvent coûter de 80 à 130 €/m², selon le type de toiture préexistant et la facilité d'accès au toit notamment.
- <u>Un coût des matières premières</u>: la base du complexe de végétalisation comprenant la bordure, le système drainant, le tissu filtrant, coûte de 45 à 90 €/m² pour une végétalisation extensive et de 130 à 250 € pour une végétalisation intensive (comprenant le plus souvent des coûts de matériaux de construction pour la réalisation des allées). Les plantes peuvent représenter quant à elle un investissement de 9 à 25 €/m² pour une végétalisation extensive et de 45 à 1800 €/m² pour une végétalisation intensive, laissant plus de place à la créativité. Ces coûts dépendent des plantes choisies et de leur forme (semis, tapis pré-semés ou pots).
- <u>Un coût d'installation et de main d'œuvre</u>: la réalisation de la toiture végétalisée implique des coûts liés au transport des matériaux et à la main d'œuvre. Ces coûts, fonction de l'accessibilité au toit, de la taille du projet et de sa complexité, des techniques de plantation nécessaires, varient de 25 à 70 €/m² pour une végétalisation extensive et 70 à 160 €/m² pour une végétalisation intensive.
- Des coûts supplémentaires selon le projet : selon le complexe de végétalisation choisi, un système d'irrigation pourra être mis en place. Le coût d'un système d'irrigation est de 18 à 35 €/m², selon le type d'arrosage mis en place (goutte à goutte, arrosage automatique, ...). Dans le cas d'une toiture-jardin, une clôture et des garde-fou seront à prévoir, entraînant un coût compris entre 35 et 80 €/m.

Les charges à dimensionner sont liées à l'entretien de la végétation et à l'arrosage. Pour une toiture végétalisée de type extensif, ces frais sont limités, la fréquence d'entretien étant comprise entre 1 et 4 interventions par an et l'arrosage n'étant pas toujours nécessaire. Ainsi, le coût d'entretien est de 10 à 18 €/m²/an au cours des deux premières années, le temps de développement de la végétation, puis se limitent à une ou deux visites de contrôle par an. Pour une toiture de type intensif, l'entretien est continu, plus fréquent et plus conséquent : les coûts peuvent varier de 11 € à 18 €/m² par an, sur l'ensemble de la durée de vie de la toiture.

¹⁰ Les chiffres relatifs au coût du projet sont issus de l'étude canadienne « Lignes directrices de conception de toits verts », par Steven Peck et Monica Kuhn, BES, B. Arch, Ontario Association of Architecs, AA, Canada. En conséquence, la corrélation avec les prix en France n'est pas établie.

C.3. Bilan économique global : récapitulatif des éléments du bilan économique des toitures végétalisées

	Toiture terrasse	Toiture végétalisée extensive	Toiture végétalisée intensive	
Investissement total	100 €/m²	360 à 2700 €/m²	180 à 380 €/m²	
Phase préalable de conception : Travaux préparatoires (nettoyage du toit, pose de la membrane antiracines) :		7,5 à 15% du coût de la toiture végétalisée 80 à 130 €/m²	7,5 à 15% du coût de la toiture végétalisée 80 à 130 €/m²	
Matériaux et végétaux :		55 à 115 €/m²	175 à 2050 €/m²	
Réalisation :		25 à 70 €/m²	70 à 160 €/m²	
Entretien :		10 à 18 €/m²/an pendant 2 ans	10 à 18 €/m²/an sur toute la durée de vie	
Coûts supplémentaires possibles		- l'installation d'un système d'irrigation : 18 à 35 €/m² - la mise en place de clôture et garde-fous : 35 à 80 €/ml		
Bénéfices		Données chiffrables : Gestion de l'eau : - 5 à 10 % Isolation thermique : - climatisation : - 15 à 25 % d'économie sur la climatisation, - chauffage : - 2L de mazout/m²/an, soit - 1 à 1,10 €/m²/an Durée de vie du système d'étanchéité : 2 à 3 fois plus longue Données non chiffrables : - Biodiversité - Attractivité de la ville		

Cas issu d'une mission du cabinet Ernst & Young :

Sur un projet de construction de 3 bâtiments type R+2, représentant en tout 1600 m² de surfaces construites, avec certification BBC (bâtiment basse consommation), la végétalisation extensive sur 60% de la surface des toits représenterait un surcoût de 30% par rapport au coût de la toiture nue, **soit un surcoût de 1,38% sur le budget global du projet**.

Conclusion

Ces éléments donnent des ordres de grandeur quant aux surcoûts et bénéfices attendus d'une toiture végétalisée, mais restent imprécis. Les résultats des expérimentations du CSTB, disponibles dès 2010, devraient nous permettre d'affiner cette première analyse.

Les experts du bâtiment s'accordent cependant pour dire que si l'on estime à l'heure actuelle que le prix initial de cette installation est plus cher qu'un toit classique, considéré sur l'ensemble de sa vie, le coût d'une toiture végétalisée est en réalité bien moindre.

Partie D : Les outils de la collectivité pour une mise en œuvre efficace de la démarche

Introduction

Les atouts de la végétalisation détaillés en partie A ne peuvent avoir d'impact majeur à l'échelle de la ville de Nice que si le développement des toitures végétalisées est conséquent.

C'est pourquoi, au-delà de l'aspect économique, il semble important de faire le point sur les outils existants pour garantir un portage efficace de cette démarche : l'intégration dans la politique locale, le développement des mesures incitatives, ou encore la mobilisation des parties prenantes doivent être réfléchis pour un cadrage clair du dispositif et une mise en œuvre répondant aux objectifs de la collectivité.

Ainsi, il semble pertinent que la collectivité s'engage dans la promotion de cette pratique, en réponse aux enjeux locaux que sont les difficultés de gestion des forts débits d'eau pluviale et les coûts énergétiques liés à la gestion des fortes chaleurs.

Nous illustrerons notre propos par des exemples de pratiques de collectivités françaises, mais également à travers une sélection de mesures mises en place par des collectivités étrangères, avec des niveaux de succès différents.

D.1. Les outils pour la promotion des toitures végétalisées

Afin de répondre aux contraintes de mise en œuvre d'une telle démarche par la collectivité, différents outils, économiques, réglementaires ou méthodologiques peuvent être développés par la ville de Nice. De nombreux outils ont été expérimentés par des collectivités françaises ou étrangères dans le cadre du développement d'une politique de végétalisation des toitures. Ainsi, les outils présentés dans ce qui suit s'appuient sur les expériences de ces collectivités.

D.1.1 L'affirmation de l'engagement de la collectivité : la sensibilisation

La sensibilisation est un des premiers outils à mettre en œuvre dans le cadre de l'engagement de la collectivité dans une démarche de développement des toitures végétalisées.

La première étape de la sensibilisation est l'identification des parties prenantes :

- Le public visé: il paraît important d'identifier les publics visés par le développement des toitures végétalisées. Ainsi, la végétalisation des toitures concerne d'une part les collectivités, souvent premiers acteurs à « montrer l'exemple » ; les particuliers, mobilisés au travers de subvention par exemple ; et d'autre part les entreprises. Les bâtiments tels que les entrepôts ou les supermarchés disposent de grandes surfaces planes en toiture offrant une capacité importante de végétalisation. Les intérêts pour les entreprises sont multiples : réduction des frais d'entretien de la toiture, réduction des consommations énergétiques et en particulier des coûts de climatisation, réduction des coûts de gestion des eaux.
- <u>Les partenaires de la collectivité</u> : la mobilisation des partenaires concernés est primordiale, et en particulier l'Agence de l'Eau, les toitures végétalisées ayant un impact positif sur la gestion des écoulements des eaux.

C'est ainsi que l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, dans son projet de Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux, inscrit la végétalisation des toitures comme un outil à promouvoir afin de limiter le ruissellement en zone urbaine et de réduire les risques d'inondation. L'Agence accorde en outre des aides financières aux collectivités incluant la végétalisation des toitures dans leur Plan d'Urbanisme.

Les entreprises : Les principaux corps de métier concernés par le développement des toitures végétalisées sont les étancheurs et les paysagistes. Alors qu'un des enjeux de la ville de Nice est d'être une ville attractive pour les entreprises et en particulier les PME, le développement de cette filière, soutenu par la collectivité, serait un levier pour l'installation des PME du secteur de l'éco-construction. De plus, l'implication des entreprises dans le projet de la collectivité est l'occasion d'affiner, en partenariat avec les professionnels, des prescriptions techniques afin d'assurer un développement des toitures végétalisées cohérent et pertinent sur le territoire de Nice.

Cette sensibilisation des parties prenantes peut passer par la mise en place par la collectivité d'un groupe de réflexion faisant intervenir les destinataires de la démarche, les partenaires et les maîtres d'œuvre. Un tel groupe serait l'occasion de définir précisément le projet de la collectivité, de crédibiliser la démarche en mobilisant l'ensemble des parties prenantes et d'étudier les possibilités de mise en œuvre.

La sensibilisation doit aussi se faire de façon plus large en externe, notamment auprès des habitants, et en particulier des propriétaires fonciers. A ce titre, les outils de communication externe habituellement mis en œuvre par la collectivité peuvent être utilisés pour l'information et la sensibilisation des populations et acteurs sur le territoire.

Un autre levier pour une sensibilisation efficace reste « la preuve par l'exemple » : certaines collectivités se sont lancées dans la démarche de végétalisation des toits des bâtiments collectifs, tels que les écoles ou les locaux de l'administration.

En 2006 la ville de Lyon a construit un bâtiment au sein du groupe scolaire François-Auguste Ravier selon les règles de la démarche HQE, incluant la végétalisation des toitures.



D.1.2 Les outils réglementaires

La collectivité possède des leviers réglementaires dans le cadre du développement de ses politiques. Un outil simple mais engageant pour la collectivité est l'intégration des toitures végétalisées dans le Plan Local d'Urbanisme.

C'est ainsi que le PLU de Paris s'appuie non pas sur un nombre minimal de mètres carrés d'espaces verts par habitants, mais sur un indicateur nouveau et qualitatif le « Coefficient de biotope », surpondéré dans les cas où un nouveau bâtiment est construit en zone identifiée comme déficitaire en espaces verts.



Dans le cas de la ville de Nice, le développement des toitures végétalisées peut être encouragé à travers l'article 13 du PLU précisant « Les obligations imposées aux constructeurs en matière de réalisation d'espaces libres, d'aires de jeux et de loisirs, et de plantations », en intégrant les surfaces des toitures végétalisées dans le calcul des pourcentage d'espaces verts et en appliquant un coefficient modérateur : rappelons que le calcul de l'espace vert est la somme de toutes surfaces végétalisées pondéré de coefficient 0.2 pour les murs et 0.3 pour les toitures.

La collectivité peut aussi promouvoir la végétalisation des toitures dans le cadre d'appels à projets, portant sur les constructions de bâtiments HQE, d'éco-quartiers... Le Conseil Général des Hauts-de-Seine évoque notamment la gestion des eaux au travers d'un objectif d'amélioration du taux global d'imperméabilisation et de la gestion des eaux pluviales par un système de rétention. La toiture végétalisée est une solution proposée dans le cahier des charges, imposant parfois un pourcentage de toitures à végétaliser. La collectivité peut choisir d'imposer des prescriptions bien particulières pour les toitures végétalisées développées sur son territoire : étude préalable de faisabilité technique (en particulier pour les toits préexistants), caractéristiques de la couche protectrice en fonction du type de végétalisation mis en place, semis d'espèces locales,

D.1.3 Les outils financiers

Une des solutions envisagées par certaines collectivités est la mise en place d'incitations financières. Ces incitations peuvent être de deux types :

Les incitations financières directes: elles consistent le plus souvent en l'allocation de subventions pour la végétalisation des toitures. Ces subventions peuvent être accordées pour des projets de réhabilitation ou des projets de construction. Elles peuvent être à destination des particuliers comme des collectivités, ou des entreprises. Ces outils financiers sont souvent associés aux outils réglementaires cités plus haut et facilitent leur mise en place. Ils sont souvent efficaces pour végétaliser d'importantes surfaces sur l'ensemble du territoire.

Ainsi, le Conseil Général des Hauts de Seine accorde des subventions aux collectivités ou aux particuliers et finance à hauteur de 20 à 80% du montant HT des travaux de végétalisation des toitures, après validation du cahier des charges. Le montant de la subvention est plafonné à 60€/m².



Les incitations financières indirectes: souvent à destination des propriétaires fonciers, les outils financiers indirects sont par exemple la réduction des taxes ou impôts en raison des gains énergétiques des toitures végétalisées et des avantages sur la gestion des eaux. En France, la loi sur l'eau de décembre 2006 donne aux collectivités la possibilité d'instituer une taxe « eaux pluviales » dont la mise en application attend la publication d'un décret. Dans le cadre d'une mise en place d'une telle taxe, la collectivité pourrait pondérer la taxe en fonction de la présence de surfaces végétales telles que les toitures végétalisées.

D.1.4 Les outils méthodologiques

La création et la diffusion d'outils de communication tels que des fiches d'information ou des guides techniques pour accompagner les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre constituent un moyen d'aider les parties prenantes à mettre en œuvre des toitures végétalisées. La communauté urbaine du Grand Lyon a notamment mis à disposition des professionnels un guide sur l'aménagement et la gestion des eaux pluviales, les toitures végétalisées faisant l'objet d'une fiche en tant que technique alternative de récupération des eaux pluviales.

La collectivité peut aussi mettre en place des réseaux ou des outils (tels que des bases de données) pour aider à l'identification des professionnels de l'environnement, et en particulier de la construction durable.

Les outils économiques

La Région Nord-Pas-De-Calais, en partenariat avec le CD2E (Création Développement d'Eco-Entreprises), a par exemple créé le réseau régional des acteurs de l'éco-construction. La liste des acteurs du réseau est en ligne et consultable par tous. Ce réseau couvre les acteurs de la construction et de la rénovation, constitués des corps de métier du bâtiment et des travaux publics, des maîtres d'ouvrage (collectivités, associations, entreprises, organismes de formation...), des architectes, des bureaux d'études et de conseils, des constructeurs, des artisans, et des distributeurs.



Source: CD2E.com

D.2. Synthèse des expériences de collectivités à l'international

Collectivité	Enjeux majeurs		Résultats			
		Sensibilisation	Méthodologie	Réglementation	Financiers	
Bâle-Ville, Suisse	Economies d'énergie et protection de la biodiversité	- Elaboration d'un programme d'encouragement en partenariat avec des associations de professionnels et des organismes pour la protection de l'environnement - Concours du plus beau toit vert	- Financement d'une étude sur les avantages des toits vers sur le plan de la biodiversité	- 2002 : Intégration des toits verts dans les règlements du bâtiment (substrat provenant de sols indigènes, épaisseur de substrat d'au moins 10cm, végétation composée d'un « mélange de Bâle », consultation d'un expert lors de la conception et de la réalisation).	- 1996-1997 : 1 million de francs suisses investis pour l'aménagement de toits verts, financés par la taxe d'électricité dont une part est consacrée aux mesures d'économie d'énergie - 2005-2006 : 1 million de francs suisses administrés par le Département fédéral de l'Environnement, des Transports, de l'Energie et de la Communication	- 1996-1997 : 135 demandes de subventions pour un total de 85000 m² de toitures végétalisées – un investissement total de 13 million de francs suisses – des économies d'énergie à hauteur de 4 GW/an - 2002 : végétalisation de 15% des toits plats
Münster, Allemagne	Gestion des eaux pluviales et manque d'espaces verts				 Fin des années 1970 : subvention des initiatives écologiques 1991 : taxe de gestion des eaux pluviales à payer par les propriétaires fonciers et fonction de l'étendue des surfaces imperméables 1993 : programme de reverdissement de la ville 1994 : programme « Vert c'est gris » à hauteur de 25000€/an pour la subvention de toits verts à hauteur de 15€/m² avec l'attribution de 20% supplémentaire pour les projets en centre-ville 	 1000 m²/an de toitures végétalisées via le programme « Vert c'est gris » 2002 : un total de 12000 m² de toitures végétalisées

Collectivité	Enjeux majeurs	Outils développés par la collectivité			Résultats	
		Sensibilisation	Méthodologie	Réglementation	Financiers	
Stuttgart, Allemagne	Qualité de l'air	- 1986 : début de la végétalisation des toits des bâtiments municipaux à l'occasion des travaux de réfection des toits (budget 90 000 €/an) - Sensibilisation des parties prenantes par le chef du service urbanisme de la ville : réunions publiques, intervention au conseil municipal, réunions avec les promotteurs,	- Brochure sur l'aménagement des toits verts (avantages, types de toits, choix des végétaux, entretien) - Consultation gratuite possible par le service des parcs et cimetières de la ville	 1985 : début de l'inclusion des toits verts dans les plans d'aménagement locaux (végétalisation extensive des toits de la zone industrielle de Weiler Park ayant une pente de 8 à 12°, épaisseur de substrat de 12 cm minimum) Conformité des toits verts aux normes de conception établies par la société de recherche sur l'étude et l'aménagement du paysage (FLL) 	- 1986 : programme d'incitation à la végétalisation des toitures, à hauteur de 51 000 €/an pour une subvention maximale de 17,90 €/m²	Bâtiments municipaux : 105 000 m² de toitures végétalisées Programme d'incitation financière : 55 000 m² de végétalisation des toitures (limités par les fonds alloués) -
Québec, Québec (phase de cadrage)	Gestion des eaux pluviales et biodiversité	Promotion des toitures végétalisées par l'organisme « Vivre en ville » via des projets de démonstration notamment, en partenariat avec le Centre de l'Environnement Comité technique et consultatif mis en place par « Vivre en ville », faisant intervenir des experts sur les thématiques des toits verts, de l'efficacité énergétique, architecte, universitaire.	- Recherche menée par le Centre de recherche en horticulture de l'Université Laval pour l'adaptation des techniques de végétalisation européennées au climat canadien		-	- Entre 1994 et 2006 : 10 projets de végétalisation des toitures de bâtiments publics pour une surface de près de 5300 m ²

Collectivité	Enjeux majeurs	Outils développés par la collectivité				Résultats
		Sensibilisation	Méthodologie	Réglementation	Financiers	
Londres, Royaume-Uni	Biodiversité		- 2003 : Rapport de recherche sur les toits verts (2003) du British Council for Offices (Corporation of London) - Organisme « Livingroofs » : conseil aux maîtres d'ouvrage, mise en ligne de documentation sur les toits verts	Référence aux toits verts dans les Supplementary Planning Guidance de Londres (textes complétant la législation nationale sur l'aménagement dont le contenu est décidé par les collectivités locales) 2002 : Intégration des toits verts dans le plan révisé d'aménagement du conseil municipal de Lewisham London Plan : intégration possible des toits verts dans les plans des arrondissements avoisinants qui doivent viser l'objectif suivant « Dans la mesure du possible, un nouvel aménagement devrait intégrer un nouvel habitat ou un habitat amélioré, ou un élément architectural (par ex. un toit vert) et un aménagement paysager favorisant la biodiversité et des moyens de la gérer. »		

Conclusion

En matière d'environnement, c'est en ville que se concentrent toutes les urgences d'où la nécessité de « Restaurer la nature en ville ». La végétalisation des toitures présente des avantages certains pour répondre aux nombreux enjeux du territoire de la ville de Nice, comme exposé dans la première partie de cette étude, il reste à présent à construire la bonne démarche de promotion de ces installations, en conciliation avec d'autres approches du développement durable, telles que le développement des énergies renouvelables. Ces démarches étant complémentaires, la collectivité ne doit pas redouter les conflits d'usage, chacune ayant un rôle à jouer dans la politique globale d'urbanisme durable de la ville.

L'outil qui semble le plus adéquat reste l'intégration aux documents d'urbanisme de la ville, tel que pressenti dans l'article 13 du PLU actuellement en projet. On peut par exemple envisager, à l'image d'autres collectivités, que les toitures végétalisées entrent dans le calcul de la part d'espace vert obligatoire à la parcelle, ou par habitant. Les autres outils décrits en partie D ne sont pas pour autant à négliger, en tant que compléments essentiels au succès de la démarche, comme la mise en place d'outils méthodologiques, ou d'opérations de sensibilisation autour de cette thématique encore méconnue.

Il est difficile de ne privilégier qu'une sorte de végétalisation de toiture, extensive ou intensive, chacune présentant des avantages différents. La végétalisation des toitures peut s'inscrire dans le cadre de la trame verte et bleue car elles sont autant d'espaces relais pour la faune et la flore locale. Sans doute une étude par zone urbaine pourrait être établie pour affiner notamment les choix à effectuer en termes de technique et de typologie.

Enfin, si elle souhaite voir le succès de sa démarche de développement des toits végétaux, la ville aura à se fixer des objectifs chiffrés précis en la matière, et à définir pour cela des indicateurs pertinents (surface des toitures végétalisées, baisse des coûts d'assainissement...), dans le cadre de la mise en place d'un système d'évaluation efficace de sa démarche globale de développement durable.

Tableau de synthèse (en dernière page)

Usage	Contraintes techniques	Exemple de végétaux	Avantages / Inconvénients majeurs
Végétalisation intensive	Epaisseur du substrat : > 30cm Poids du complexe de végétalisation : > 600 kg/m2 Support admissible : Béton Pente maximale : 5% Choix de végétation : très large Entretien : important Coût : élevé	intensive)	Diversité des plantes permettant un usage « plaisir », un développement de la faune et de la flore Epaisseur permettant une rétention d'eau plus importante, une meilleure isolation et une durée de vie plus longue de l'étanchéité Complexité de l'installation nécessitant une protection spécifique du bâti, un système d'irrigation et de drainage, engendrant des coûts plus élevés
Végétalisation extensive	Epaisseur du substrat : < 8cm Poids du complexe de végétalisation : env.100kg/m2 Support admissible : béton, acier, bois Pente maximale : 30% Choix de végétation : restreint Entretien : faible (1 à 3 passages/an) Coût : économique	Semis par fragments (hauteur de tige = 5 – 15 cm) - Sedum sediforme (nicaensis): 30 % - Sedum acre: 20 % - Sedum album: 20 % - Sedum sexangulare: 10% - Sempervivum sp.: 10% - Umbilicus rupestris: 10 % (à disposer de préférence vers les noues, ou en bas des pentes car nécessite une hygrométrie plus forte que les autres espèces)	Facilité de mise en œuvre permettant une installation sur de nombreux supports, sans renforcement spécifique, à forte pente, sur une grande surface et sur un toit préexistant Résistance des plantes permettant un faible entretien, ne nécessitant pas de système d'irrigation, impliquant un plus faible coût Rusticité des plantes engendrant un choix plus restreint de plantes, un attrait esthétique moindre Epaisseur faible diminuant la capacité de rétention d'eau et le pouvoir isolant de la toiture végétalisée

En terme d'urbanisme, les toitures végétalisées peuvent être considérées comme espaces verts ou compensateur écologique, comme proposé dans le projet de PLU de la ville de Nice, article 13. Les surfaces des toitures végétalisées peuvent être intégrées dans le calcul des pourcentages d'espaces verts en appliquant un coefficient modérateur : rappelons que le calcul de l'espace vert est la somme de toutes surfaces végétalisées pondéré de coefficient 0.2 pour les murs et 0.3 pour les toitures.

Bibliographie

Articles et pages web consultés :

- CSTB « Les toitures végétalisées une contribution au développement durable » Dominique Thibaud Webzine –
 Décembre 2007 (l'article fait référence aux présentations faites lors du colloque organisé par le CSTB et l'ADIVET et donne les liens vers ces présentations)
- Actu-environnement « La toiture végétalisée peine encore à se développer en France » C.SEGHIER Mars 2006
- Actu-environnement Dossier « La végétalisation de toiture, Perspectives de développement » Novembre 2008
- Wikipedia « Toiture végétale »
- Wikipedia « Quinzième cible HQE »
- France 3 Limousin Poitou Charentes Résumé de la chronique « Aux arbres citoyens » « La toiture végétalisée » Jean-Claude Boulesteix – Juin 2009
- Consoglobe « Les toits végétaux : ça pousse ! » Octobre 2007
- La revue Architrave « Toitures vertes, panacée ou outil d'écologie urbaine efficace parmi d'autres ? » Bernard Capelle, architecte paysagiste abajp – Juin 2009 – N°163
- Hauts-de-Seine.net Colloque « Les eaux pluviales, enjeux économique, écologique et social » Février 2009
- Conseil National de Recherches Canada Enveloppe et structure du bâtiment Innovation et construction « Un projet pour quantifier les avantages des terrasses-jardins » – Karen Liu – Mars 2002
- Conseil National de Recherches Canada Communiqués de presse « Le gouvernement du Canada annonce que la multiplication des toitures-jardins réduirait grandement les gaz à effet de serre et améliorerait la qualité de l'air » – Octobre 2002, Ottawa, Ontario
- Bulletin électronique Canada 212 « Les toitures-jardins réduirait grandement les gaz à effet de serre et améliorerait la qualité de l'air » – Antoine Flamand – Novembre 2002
- Ecohabitation.com Structure et toiture « Toits végétaux »
- Entreprise.77.evous Batiment Travaux publics Immobilier « Toitures végétalisées, le bon choix ? » Caroline Kim Février 2008
- Entrelianes.org « Les nécessaires, Liaisons écologiques entre les espaces »
- Batiactu « Les écoles lyonnaises font leur rentrée verte ! » Août 2006
- Rhône-Alpes Energie Environnement Dans le cadre du projet européen Bioprom « Développement durable et politiques urbaines, Comment favoriser la maîtrise de l'énergie et les énergies renouvelables ? » – Juin 2007
- cd2e « Les acteurs de l'éco-construction »

Documentation consultée :

- Grand Lyon « Guide pratique aménagement et eaux pluviales Fiche 6 : Toitures végétalisées »
- ADIVET, FFB Etanchéité, CSFE, SNPPA, UNEP « Règles Professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées » - édition n°2 - novembre 2007
- Direction de l'urbanisme de Paris Brochure « La végétalisation »
- Etude canadienne « Lignes directrices de conception de toits verts » par Steven Peck and Monica Kuhn, B.E.S., B. Arch,O.A.A
- Agence de l'Eau Seine-Normandie « Schéma Directeur d'Aménagement et de gestion des Eaux »
- Le Centre Urbain asbl Région Bruxelles-Capitale « Les toitures vertes »
- Société canadienne d'hypothèques et de logement « Les toits verts, Manuel de ressources destiné aux décideurs municipaux »
- Vivre en ville Québec Commission de l'économie et du travail Consultation générale « Pour une politique énergétique québécoise basée sur le développement durable et l'efficacité énergétique » – Janvier 2005

- UTOPIES Rapport « Construction durable : De la théorie à la pratique » 2007
- Association Entreprises Pour l'Environnement « Le quartier positif : une réponse collective à l'idéal pavillonnaire » Denis Voisin
- Département des Infrastructures du canton de Vaud Rapport mandaté par le DINF « Instruments économiques pour la gestion du territoire dans le canton de Vaud : variantes, conception, conséquences » – Prof. Philippe Thalmann, EPFL avec des contributions du Dr. Alastair McFarlane et de M. Florian Habermacher – Avril 2007
- Office de consultation publique de Montréal dans le cadre du nouveau plan d'urbanisme Mémoire « Les toits verts aujourd'hui ; c'est construire le Montréal de demain » - Dany Laroche, urbaniste - Anne-Marie Mitchell, diététiste -Sophie Péloguin, nutritionniste - Juin 2004
- NOVATECH 2007 Conseil Général 92 « Les toitures végétalisées, une technique de gestion de l'eau devenue incontournable lors des nouvelles constructions respectant les critères de la Haute Qualité Environnementale »
- Commission européenne Rapport d'étape « L'économie des écosystèmes et de la biodiversité » Pavan Sukhdev, responsable de l'étude
- ABOUCAYA A., 1999 Premier bilan d'une enquête nationale destinée à identifier les xénophytes invasifs sur le pterritoire national métropolitain français (Corse comprise). Bull. Soc. Bot. Centre ouest. Niméro spécial 19 : 463-482.
- DOISY L., 2008 Typologie et cartographie des habitats naturels des pré-alpes de Nice à Menton. Stage de Master 2.
 Université Paul Cézanne/Conservatoire Botanique National Méditerranéen de Porquerolles. 115p.
- MNHN, 2005 Cahiers d'habitats « habitats agropastoraux », La Documentation Française, tome 4, vol. 2, 487p.
- ARENE, Fiche Toitures végétalisées extensives, Maria Lopez Diaz, architecte construction durable, et Dominique Sellier (Arene)

Sites Internet d'organismes publics et privés consultés :

- http://www.adivet.net
- http://www.cstb.fr
- http://batiment-durable-mediterraneen.org
- http://www.referencenature.fr
- http://www.soprema.fr/
- http://www.appelimmo.fr
- http://www.partenaire-europeen.fr
- http://www.equipeco.com
- http://www.developpement-durable.gouv.fr

Experts interviewés:

- CSTB de Nantes Département CAPE (Climatologie, Aérodynamique, Pollution et Epuration)
 - o Gaëlle BULTEAU, tél: 02 40 37 20 76, e-mail: gaelle.bulteau@cstb.fr,
 - o et Maëva SABRE, tél: 02 40 37 20 18, e-mail: maeva.sabre@cstb.fr

Sources des projets de végétalisation exposés en partie B.1 :

- http://vegetalid.com/realisations.htm
- http://www.ecoquartiers-geneve.ch/documents/Fiche%20TTV%20suisse.pdf
- http://www.fdt.de/gfx/assets/BroGruendach_F.pdf
- http://ensam.wiki.free.fr/thermique/S2/4_alco.pdf
- http://www.cg34.fr/Economie/entreprise/pdf/Charte_ZAE.pdf

Quelques liens pour consulter d'autres exemples de toitures végétalisées :

- http://kosmo-polites.blogspot.com/2009/02/les-toitures-vegetalisees.html
- http://el-canto-mob.over-blog.com