



HAL
open science

Des dispositifs de végétalisation du bâti existant

Sarah Zglinski

► **To cite this version:**

Sarah Zglinski. Des dispositifs de végétalisation du bâti existant. Architecture, aménagement de l'espace. 2017. dumas-01808263

HAL Id: dumas-01808263

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01808263v1>

Submitted on 5 Jun 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

Mémoire de séminaire : conditions de consultation

Ce document est protégé par le droit d'auteur (art. L. 112-1 du Code de la propriété intellectuelle).

L'auteur du document accorde les droits d'usages suivant :

	OUI	NON
Consultation sur place	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Impression	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Diffusion Intranet	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Diffusion Internet	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Exposition	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Publication non commerciale	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



École Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse

S87.EP Environnement, Paysage et Architecture
Années 2015-2016

Des dispositifs de végétalisation du bâti existant

Directrice d'étude : AVENTIN Catherine
Seconde lectrice : ASSASSIN Sylvie

Etudiante : ZGLINSKI Sarah

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ZGLINSKI Sarah, étudiante en Master de l'ENSAT.

Directrice d'études : AVENTIN Catherine

Je remercie Mme Avenir de m'avoir suivie tout au long de la préparation et de la rédaction de ce mémoire. Elle m'a beaucoup aidée en me donnant des objectifs et en me guidant car j'ai été, à maintes reprises, égarée en raison de recherches trop vastes, puis par un sujet précis sur l'existant. Celui-ci compliquait davantage les recherches et surtout le choix d'un site, que je n'ai pas eu l'occasion de trouver. Ce qui m'a d'ailleurs posé davantage de questions, et qui est frustrant.

Des dispositifs de végétalisation du bâti existant

Les architectes peuvent-ils aider à la réintroduction de la végétation en ville, en la développant sur des bâtiments existants ?

Ce mémoire a pour but de s'interroger sur les différents dispositifs capables de végétaliser la ville. Une des idées principale est de limiter l'étalement urbain non pas en construisant « *la ville sur la ville* », propos de Jean-Pierre Hégooburu lors de sa conférence du 29 Octobre 2015, à l'ENSA de Toulouse dans le cadre de l'enseignement du séminaire « Architecture, Environnement et Paysage », mais en l'améliorant. Pourquoi et en quoi végétaliser la ville pourrait l'améliorer ?

Nombreux sont ceux qui partent de la ville pour retrouver ses alentours, pour avoir ne serait-ce qu'un petit jardin. Un besoin de végétation se fait-il ressentir ? Végétaliser la ville peut-il aider à s'y sentir mieux et à y rester plus longtemps ?

Les Grenelles de l'environnement, par exemple, mettent en évidence l'importance de la végétation, des cultures pour la qualité de vie. Ceci pourrait-il aussi améliorer ce paramètre en ville ? Ce mémoire cherche des solutions susceptibles de répondre à ces questions. Pour cela de nombreuses recherches ont été réalisées afin de cibler sur des dispositifs adaptés sur du bâtiment existant puisqu'il ne s'agit pas de construire mais de requalifier ce qui est déjà bâti.

The purpose of this report is to search a way able to turn green in the city. One of the main ideas is to limit the urban sprawl not by building "the city on the city", subject of Jean-Pierre Hégooburu (conference of October 29th, 2015, in the ENSA of Toulouse, during the seminary "Structure, Environment and Landscape"), but by improving him. Why, and in what turn green the city could improve him?

Many people leave on the outskirts of the city, even to have a small garden. Do people want more vegetation ? Turn green the city can they help feel there better and stay there longer?

The laws of the environment, highlights the importance of the vegetation, the cultures for the quality of life. Could this also improve this parameter in town? This report looks for solutions susceptible to answer these questions. Many researchs were realized in the aim to target devices on the existing buildings to improve them.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

SOMMAIRE

Sommaire.....	
Introduction.....	5
I.État de l'art.....	8
II.Apports de cette végétation.....	12
III.Les parois végétales.....	24
IV.Les façades végétalisées.....	26
V.Les toitures végétalisées.....	38
VI.Aides au développement de ces dispositifs.....	44
Conclusion.....	48
VII.Annexes.....	49
VIII.Bibliographie.....	53
IX.Table des matières.....	57

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

INTRODUCTION

Lorsqu'une personne vit dans un milieu rural, baigné de végétation¹, il est difficile d'accepter la vie en pleine ville. Elle se sent souvent stressée, en raison du bruit de circulation, de la multitude des activités. Il a remplacé le bruit des feuilles animées par le vent plus apaisant. Certaines vont se ressourcer dans un parc, pour se promener ou lire au milieu de la verdure. Parfois même elles s'assoient sur un banc pour profiter du bienfait de la végétation qui l'entoure.

À l'aide de l'institut de sondage Ifop, Institut Français d'Opinions publiques, l'UNEP a mené une enquête pour comprendre ce que cherchent les français. Cette étude a été réalisée du 29 Janvier au 29 Février 2016. L'UNEP, l'Union Nationale des Entrepreneurs du Paysage, est une organisation créée en 1963. Elle représente 28 600 entreprises, de toute taille, qui créent, entretiennent et aménagent des jardins ou tout autre espace vert. Au total, 1013 personnes ont été interrogées par le biais d'un questionnaire en ligne, représentant une population de plus de 18 ans. Les résultats obtenus montrent que « *les français estiment que la création d'espaces verts devrait être la priorité numéro un de leur ville* »², explique Caroline Muller, présidente de l'organisation. « *Ils sont également 8 sur 10 à considérer la proximité des espaces verts comme un critère déterminant dans leur recherche de logement* ». Lorsqu'il s'agit de décrire la ville dont ils rêvent pour l'avenir, ils utilisent les adjectifs : « *écologique* », « *végétale* » et « *spacieuse* ».

Cela complète les ressentis relevés dans une enquête de proximité³ faite à Toulouse et ses environs. Un quart des individus se sentent stressés en ville et un tiers opprimés. Ce ne sont pas forcément ceux qui ont un jardin ou un balcon planté. En effet, quasiment la moitié installe des végétaux pour une sensation relaxante et un tiers d'entre eux y recherchent la fraîcheur. Les gens s'éloignent de la ville pour avoir un espace végétalisé qui leur appartient. Ainsi, l'étalement urbain continue de croître. Politiques, scientifiques, urbanistes et même architectes proposent de densifier la ville pour éviter ce phénomène. Toutefois, les habitants de ces villes choisissent de s'en éloigner. A partir de trente ans, ayant accumulé un peu de budget pour acheter, ils cherchent à se rapprocher de la végétation. Ceci est visible sur la même enquête de proximité où seuls ceux qui ont entre vingt et trente ans sont propriétaires d'un appartement.

Avant de densifier la ville ne faudrait-il pas trouver un moyen de la rendre plus attrayante et vivable ?

Aujourd'hui, il est nécessaire de repenser l'espace urbain autrement. Il faut le densifier, lui donner des commodités adaptées aux besoins de la société actuelle. Visiblement, un des besoins de celle-ci est la présence de végétation. Pour cela, des parcs ou des squares pourraient être aménagés dans des dents creuses non adaptées à la construction, ou simplement par un aménagement enherbé ou arbustif des grandes propriétés. Or cette seconde solution va à l'encontre de la loi des finances de 2013 où une majoration de la taxe foncière a été votée. De ce fait, en 2015 et 2016, elle est augmentée de 25% sur les terrains à bâtir, soit 5€/m² et sera de 10€/m² en 2017. Ceci est instauré dans les zones où la demande de logements est bien supérieur à l'offre. Il s'agit donc d'inciter les propriétaires de les céder pour laisser place à de nouveaux logements. Cela permettrait aussi de densifier davantage la ville

1. VÉGÉTATION, « *subst. Fém. : Ensemble des végétaux réunis (par la nature ou par l'homme) en un même lieu, dans un site particulier.* », « Trésor de la langue française informatisé », <http://atilf.atilf.fr/>

2. Explications tirées de l'Edito d'une publication de l'UNEP : *Ville en vert, Ville en vie : un nouveau modèle de société.* Etude UNEP-IFOP 2016

3. Enquête réalisée du 27 Juin au 27 Juillet 2016, sur un échantillon de 40 personnes situées sur Toulouse et ses environs.

puisque ces zones concernent les grandes agglomérations. Par ce biais de nouveaux sols vont être imperméabilisés par du béton supprimant encore de la végétation. Alors comment permettre aux villes de se densifier tout en maintenant ou développant la végétation ?

De ce fait, de nombreux projets ont été conçus par des architectes afin de construire de nouveaux immeubles apportant cette végétation. Il est alors possible d'admirer l'édifice d'Edouard François, la *Tower Flower*, à Paris, depuis déjà 2004 ou encore *El bosco verticale* de Stefano Boeri Architetti inauguré en 2014 à Milan.

Des photographies prises récemment montrent cependant que le système ne fonctionne pas très bien. Pour commencer, les bambous meurent, alors qu'ils ont été choisis pour leur résistance, d'après Edouard François. Ensuite, la façade la plus végétalisée est située au Nord, qu'en est-il de la lumière générée par cet écran de verdure ? La vue s'arrête sur cette haie de bambous, or parfois le regard a besoin de s'évader au loin, sur un paysage et non un mur « vert ». Ce système ne fonctionne visiblement pas mais il s'agit d'une proposition parmi d'autres qui consiste à apporter davantage de végétation. Ces essais permettent aussi de faire évoluer ces idées et peut-être d'améliorer ces solutions. Cependant il s'agit de constructions neuves. Or la ville est parfois déjà bien dense et peu d'espaces s'offrent à de nouveaux projets. Pourquoi faudrait-il réfléchir sur du neuf ? L'existant aussi a son importance. De nombreux bâtiments ont besoin d'être restaurés⁴, rénovés⁵ ou réhabilités⁶. Les constructions existantes peuvent également être améliorées. Elles ne doivent pas se dégrader sous prétexte qu'il est plus « facile » et, éventuellement moins coûteux de faire du neuf. Cela peut aussi mettre en valeur notre patrimoine architectural et paysager.

Il me semble alors important de trouver des solutions d'intervention afin de réintroduire la végétation sur du bâti existant.

4. RESTAURER : « Rénover par le biais des matériaux d'origine pour garder le caractère du bâti. »

Cette définition et les deux suivantes sont tirées du cours sur « La réhabilitation énergétique », de Fortuné Isabelle, le 19 Novembre 2015, dans le cadre de l'enseignement « Architecture, environnement et paysage » en Master 1, à l'ENSA de Toulouse.

5. RÉNOVER : « Rebâtir à neuf, avec de nouveaux matériaux, généralement suite à une démolition partielle ou totale. » Idem

6. RÉHABILITATION : « Apporter un confort des normes d'aujourd'hui, en employant les techniques et matériaux actuels que ce soit pour de l'isolation ou même la structure. » Idem

Maître d'ouvrage : OPAC de Paris (Office public d'Aménagement et de Construction)

Architecte : Edouard François

Lieu : Paris, France

Surface : 2600m²

Budget : 4 M €

Date de livraison : 2004



Explications données par l'architecte :

« Située face au parc, Tower Flower en constitue la prolongation à la verticale. Avec ses pots de fleurs géants suspendus aux balcons, elle s'inspire des jardinières parisiennes qui sont parfois de véritables prouesses botaniques. Ses éléments de façades constituent l'une des premières applications du Ductal (Lafarge). Les logements destinés à l'accession sont libérés de tout mur porteur. Ils bénéficient du bruissement des bambous et d'une lumière filtrée par le feuillage.

L'ascenseur est en façade. Vitré sur deux faces, il laisse la lumière pénétrer les parties communes. Au rez-de-chaussée, il s'ouvre sur l'extérieur qui devient un hall. Tower Flower incarne l'expression du désir de nature en ville. »



Citation et images tirées du site de l'Agence Maison Edouard François, <http://www.edouardfrancois.com/>

Maître d'ouvrage : HINES Italia Srl

Architecte : Stefano Boeri Architetti

Lieu : Milan, Italie

Surface : 40 000m²

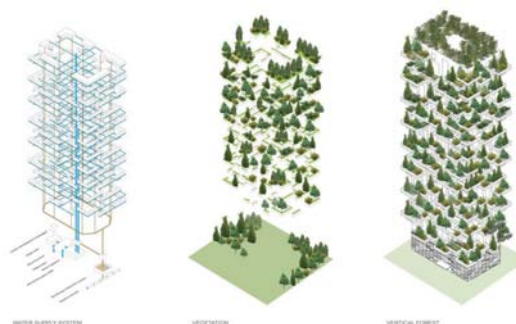
Date de livraison : 2014



Explications données par l'architecte :

« Forêt verticale est (...) un modèle de densification verticale de la nature dans la ville (...). Le premier exemple de la forêt verticale composée de deux tours résidentielles de 110 et 76 m de hauteur, a été réalisée dans le centre de Milan, sur le bord du quartier Isola, et accueille 900 arbres (mesurant chacune 3, 6 ou 9 mètres) et plus de 2000 plantes à partir d'un large éventail d'arbustes et de plantes florales distribuées par rapport à la position de la façade vers le soleil. »

Citation et images tirées du site de l'agence <http://www.stefano-boeri-architetti.net/>



I. ÉTAT DE L'ART

Ce mémoire porte sur les moyens de végétaliser la ville, plus particulièrement sur les bâtiments existants qui la constitue.

Il est déjà possible d'avoir de la végétation par la présence de parcs, d'arbres d'alignements, de terre-pleins ou de jardinières de fleurs. D'autres dispositifs se mettent en place comme la plantation d'arbres sur les parkings. En France, les aménageurs plantent un arbre pour quatre places de stationnements, en Allemagne c'est un pour deux places. Des projets architecturaux, comme vu précédemment, se construisent de façon à intégrer des principes de végétalisation dès la conception jusqu'à la livraison. Des textes de lois, comme le Plan Local d'Urbanisme, impose parfois un taux de coefficient d'occupation des sols ou un nombre d'arbres à planter selon une surface bâtie donnée. D'autres encore, comme la démarche Haute Qualité Environnementale⁷, encourage le respect de l'environnement en limitant l'imperméabilisation des sols et l'altération de la faune et la flore présentent sur le site. En effet, on retrouve cette approche dans de nombreuses cibles qui prennent en compte de multiples critères. Par exemple, l'insertion paysagère, la gestion des eaux, la protection de la nature sont des thèmes abordées dans les différentes cibles.

Beaucoup de dispositifs existent pour développer la végétation en ville. Cependant, cela concerne le plus souvent des projets neufs, qu'il s'agisse de construire à l'échelle urbaine, du quartier ou du bâtiment.

Dans un premier temps, mes recherches bibliographiques ont porté sur la Nature en ville. Celles-ci m'ont donné beaucoup d'informations sur la place, la durée de vie et le rôle d'un arbre en ville, tout comme l'importance de la diversité des espèces. Ensuite, elles m'ont mené à des exemples de projets d'aménagements urbains, comme des parcs. Les livres et articles consultés expliquaient le développement et l'intérêt des trames vertes et bleues⁸ dans les villes et la façon de les concevoir. Certains articles précisaient aussi les villes qui étaient un bon exemple, comme Limoges.

Les ouvrages trouvés étaient trop nombreux en raison d'une recherche peu précise. C'est ainsi que la question d'échelle s'est posée. Les recherches aboutissaient autant sur l'arbre en ville que l'arbre dans son jardin, ou encore sur les trames vertes et les systèmes de végétalisation des bâtiments. C'est ainsi que l'idée de travailler sur l'édifice s'est vérifiée. En effet, on réfléchit déjà beaucoup à grande échelle : de nombreux maîtres d'ouvrage développent des lotissements ou des municipalités agrandissent leur

7. « La démarche Haute Qualité Environnementale (HQE) est un référentiel de 14 cibles à atteindre afin d'améliorer la qualité de quatre catégories données : celle de l'éco-construction, de l'éco-gestion, du confort et de la santé. » Explications faites par Fernandez Pierre lors de son cours sur « L'architecture bioclimatique », le 9 Décembre 2015, dans le cadre de l'enseignement « Architecture, environnement et paysage » en Master 1, à l'ENSA de Toulouse.

8. « La Trame verte et bleue est un réseau formé de continuités écologiques terrestres et aquatiques identifiées par les schémas régionaux de cohérence écologique ainsi que par les documents de planification de l'Etat, des collectivités territoriales et de leurs groupements. La Trame verte et bleue contribue à l'amélioration de l'état de conservation des habitats naturels et des espèces et au bon état écologique des masses d'eau. Elle s'applique à l'ensemble du territoire national à l'exception du milieu marin. » <http://www.trameverteetbleue.fr/>, [Consulté le 18/03/2016]

commune par le biais de ZAC. Des espaces verts communs sont donc aménagés afin de répondre à la demande des futurs habitants et ainsi qu'aux réglementations comme le PLU. Parfois ces réglementations ne sont vues que comme des contraintes et les espaces verts répertoriés sur les permis sont des terres-pleins par-ci par-là, pas forcément réfléchis, voire d'aucune qualité.

En raison de la densification, l'espace au sol va se réduire et être limité. En tant que future architecte, il me semble donc intéressant de pouvoir intervenir de manière hors-sol directement sur le bâtiment existant.

Dans un second temps, il semblait plus judicieux de préciser les recherches sur la Nature et le bâtiment existant. Ainsi, il semblait intéressant de s'interroger sur les possibilités d'apporter de la végétation dans le cadre d'une rénovation. Les résultats de cette recherche bibliographique sont ciblés sur la rénovation écologique, aux matériaux naturels, ou sur la construction qui prend en compte l'environnement et les problèmes de climat actuels. Une autre interrogation arrive alors. Le terme de Nature est-il bien utilisé, ne faudrait-il pas parler de végétation ? En effet, la Nature évoque l'ensemble des milieux, eau, terre, végétation comme indépendante de toute activité humaine, où l'Homme n'est pas intervenu. Or ce mémoire est porté sur la végétation puisqu'elle met en relation l'ensemble des végétaux réunis soit par la Nature soit par l'Homme, en un même lieu, ici, un bâtiment.

Mes recherches alors plus précises ont révélées un nombre important de dispositifs capables de végétaliser les constructions. À partir des résultats obtenus un tableau comparatif a été mis en place. Il met en évidence les intervenants possibles pour l'installation des dispositifs à mettre en place sur l'existant.

Le but de cette étude est de savoir, en tant que future architecte, les interventions qu'il sera possible de faire en exerçant ce métier. D'où un intérêt particulier pour les solutions sur lesquelles il se doit de participer. En effet, certaines peuvent être proposées par le maître d'œuvre mais installées par le client lui-même.

Tout ceci m'aide à préciser la problématique :

Les architectes peuvent-ils aider à la réintroduction de la végétation en ville, en la développant sur des bâtiments existants ?

Peut-être qu'ils peuvent s'inspirer des jardins suspendus de Babylone pour créer des liaisons aériennes entre bâtiments qui deviendraient de nouveaux parcs ou jardins. Ils pourraient être privatifs liés à des appartements existants. Que deviendraient les espaces publics au sol une fois couverts ? Quelles qualités auraient alors ces espaces ?

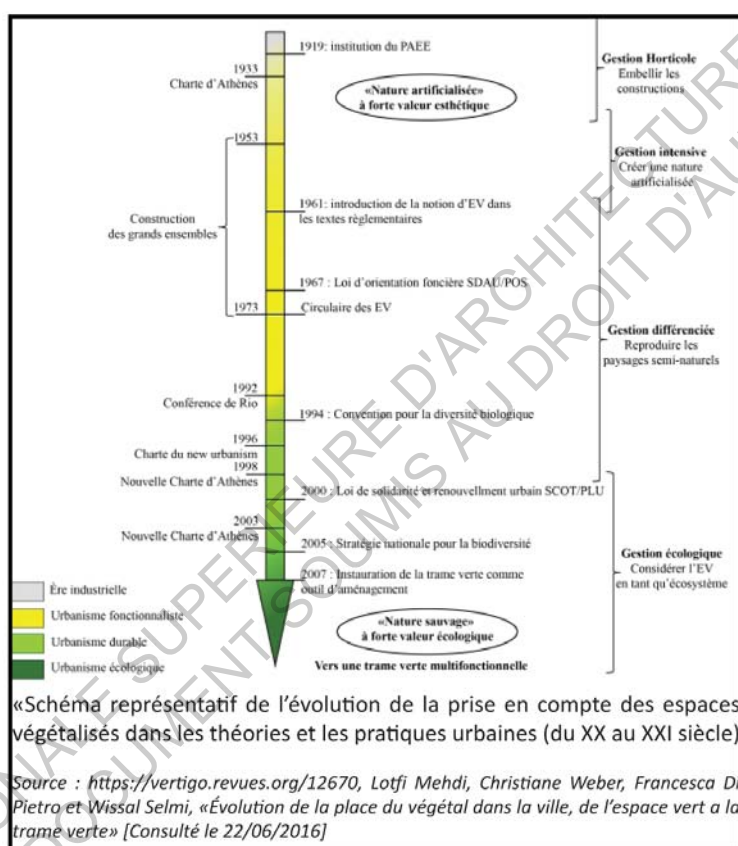
Les maîtres d'œuvre pourraient tout aussi bien concevoir de nouveaux jardins à la place des toitures terrasses inutilisées aujourd'hui. Que ce soit des jardins communs à un immeuble ou publics liés entre eux par des passerelles, par exemple, et créer de nouvelles connexions aériennes entièrement piétonnes. Cependant, l'espace au sol deviendrait sûrement le territoire de l'automobile. Qui vivraient en rez-de-chaussée de bâtiment ? La ville s'inverserait, les commerces s'installeraient eux-aussi en hauteur. La végétation aurait-elle alors toujours sa place ? Quel intérêt et quelles qualités cela pourrait-il apporter ? Ou alors, faut-il tout simplement revêtir la ville de végétation, quelque soient les parois ? Y-a-t-il un véritable intérêt de tout recouvrir ? La ville doit-elle pour autant devenir forêt ? Il semble important de réfléchir à une juste mesure pour une bonne qualité des espaces. Est-ce de l'herbe ou des arbres qui doivent pousser sur les toits ou même les murs ? Quels dispositifs sont à la disposition des architectes pour développer ces idées ?

Afin de répondre au mieux à cette problématique il est important de bien comprendre les enjeux qu'elle met en évidence.

Pourquoi parler de réintroduction ?

Comme le présente Bernard Chocat⁹, au XVIII^e siècle, avec l'arrivée de l'hygiénisme, les rues des villes sont imperméabilisées. En effet, la population pense que les maladies viennent du sol en raison de la mauvaise gestion de l'eau souillée qui est souvent rejetée par les fenêtres¹⁰. Cette imperméabilisation s'est accentuée avec le développement des infrastructures, notamment pour l'automobile. Le phénomène d'exode rural, en raison de l'attraction du travail, a permis à la ville d'avoir davantage d'habitants. L'industrialisation et ses nouvelles techniques entraînant la construction d'immeubles, cela aidait à éviter l'étalement urbain grâce à une densification verticale. Cependant, la densification des villes, que ce soit verticale ou horizontale, au fur et à mesure du temps a laissé place aux bâtiments au détriment de la végétation.

Cette végétation²² est alors devenue assez rare et il faut lui redonner une place.



Pourquoi intervenir sur de l'existant ?

Le but est de requalifier un espace urbain existant et non de le recréer. Cela permettrait d'améliorer les conditions de vie des habitants afin qu'ils restent vivre en ville plutôt que de s'éloigner en milieu rural.

9. Ingénieur en génie civil et urbanisme, docteur-ingénieur, professeur à l'INSA de Lyon, président du Groupe de recherche Rhône-Alpes sur les infrastructures et l'eau (Graie), membre du Joint committee on urban storm drainage, animateur de la section Hydrologie urbaine de la Société hydrotechnique de France, secrétaire général des conférences Novatech et membre du comité scientifique de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée-Corse

10. Explications données lors d'une Conférence, en Décembre 2015, sur « Mieux intégrer la gestion de l'eau dans la ville : un enjeu de gestion durable » par Bernard Chocat, dans le cadre d'un cycle de conférence, à l'INSA de Toulouse.

Par le développement des démarches comme la HQE, ou encore les Grenelles de l'environnement, la société est aujourd'hui consciente de l'importance de la végétation. Tous ces textes indirectement, par l'ensemble de leurs actions, peuvent aider à réduire l'étalement urbain pour sauvegarder au mieux les terres vierges de toutes constructions, soit agricoles, soit forestières. Une solution complémentaire pourrait être celle de végétaliser tous ces édifices que nous avons fabriqués. Cela est peut être un moyen d'améliorer notre qualité de vie, de notre environnement. C'est d'ailleurs dans les espaces urbains que cette qualité de vie doit être améliorée, notamment en raison de toutes les pollutions qui y sont regroupées. L'ensemble des transports et des activités de construction, que ce soient d'infrastructures ou de bâtiments appauvrissent la qualité de l'air, de l'eau et du sol. Ils influencent aussi sur l'acoustique et même les odeurs souvent désagréables. Toutes ces nuisances sont moins perceptibles en campagne, même si elles sont aussi présentes. Le milieu rural n'est pas non plus un espace sain puisque l'agriculture utilise d'autres polluants qui influent sur la qualité de l'air, de l'eau et du sol également. Pourtant, apporter de la végétation en ville ne signifie pas qu'il faut propager les insecticides ou engrais. Le but n'est pas de polluer pour favoriser une esthétique par de grandes étendues bien vertes mais d'assainir l'air, d'aider la biodiversité à se développer. Il est important aussi de bien associer cette végétalisation avec le bâti. Il ne s'agit pas de dissimuler l'architecture mais d'augmenter sa qualité. Cette végétation pourrait créer une seconde peau qui protégerait le bâtiment. Pour cela, il faut aussi trouver les moyens qui sont les plus adaptés. La méthode va sûrement dépendre de l'orientation, l'implantation du bâtiment, comme du site ou encore de la structure de la construction.



Pour finir, la végétation dont il est question est très variée. Si la Nature se compose d'arbres, d'arbustes, de graminées ou encore d'herbacés, c'est parce que tout cet ensemble de végétaux a un rôle à jouer dans le processus de biodiversité. Ainsi, le but est de réintroduire au mieux un maximum de variétés, selon la capacité des dispositifs choisis.

II. APPORTS DE CETTE VÉGÉTATION

A. Un besoin de végétation déjà ancien

Aujourd'hui, la presse, les magazines, les émissions d'architecture qui traitent de l'environnement durable, donnent des exemples de toitures ou murs végétalisés. Ce phénomène se développe de plus en plus, notamment avec l'arrivée d'une époque où la Terre et ces ressources s'épuisent ainsi que sa santé. On évoque alors, le mouvement du développement dit durable. On incite les gens à utiliser ces techniques par le biais de différents procédés que nous verrons par la suite. Cependant, sommes-nous les premiers à avoir eu ce besoin de végétation ?

Tout d'abord, il est important de citer les Jardins suspendus de Babylone. Cette architecture végétale, avec ces toits et terrasses arborés recouvrant parfois les pierres. Ne les oublions pas, elles dateraient de 600 avant JC ! Étaient-ils en avance sur leur temps ou avons-nous omis de nourrir cette idée, souvent désignée comme une image du paradis ? Certes, il s'agit d'abord d'une légende puisque aucune trace archéologique n'a été trouvée, mais l'idée existait déjà ! D'après la description donnée par le site internet des sept merveilles du monde¹¹ : « Selon la tradition, le roi Nabuchodonosor II (604-562 avant J-C) aurait fait construire pour sa femme Sémiramis, les célèbres jardins suspendus de Babylone en souvenir de la végétation des montagnes de son pays, la Médie (Iran actuel).

Ces jardins étaient composés de plusieurs étages en terrasses, de cent vingt mètres carré, soutenus par des voûtes et des piliers de brique.

Un immense escalier de marbre reliait ces terrasses, où l'eau, par un système de vis hydrauliques, était amenée depuis l'Euphrate. C'était un véritable jardin botanique où l'on cultivait les plantes et les arbres de Mésopotamie ainsi que ceux des montagnes de Médie. On y planta sur la première terrasse de huit mètres de haut des grands arbres: platanes, palmiers dattiers, pins et cèdres, sur la deuxième de treize mètres, on plaçait les genévriers, les cyprès et quantité d'arbres fruitiers. Et encore plus haut, sur les deux dernières terrasses, moins vastes, fleurissaient les anémones et les tulipes, les lis et les iris...sans oublier les roses si chères à la belle Sémiramis. Les jardins suspendus de Babylone dominaient la ville d'une bonne vingtaine de mètre. »

Si à cette époque, il était venu l'idée de cette œuvre, alors la végétation avait de l'importance sinon une cité bien plus simple avec quelques jardins aurait suffi. Or, les Montagnes d'où elle venait lui manquaient, cette construction devait lui donner l'impression d'y être à nouveau. Si déjà le besoin de végétation se faisait ressentir, il n'a pas cessé de vivre.

Représentation des jardins suspendus de Babylone

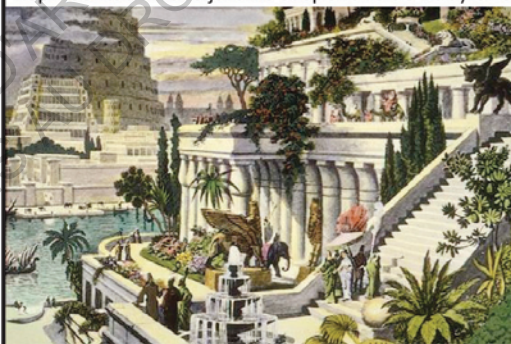


Image tirée des diapositives de la conférence de Magali Paris, *Parois végétales, parois sensibles ?*, présentée à l'ENSAT, le 26 Octobre 2010, dans le cadre de l'enseignement «Architecture, Environnement et Paysage»

Cité-jardin, issue du modèle d'Ebenzer Howard, Letchworth, par Barry Parker et Raymond Unwin, 1903



Image extraite d'un cours sur l'habitat social en Europe, de Pierre Weidknet, de l'année 2014-2015

11. http://www.les-7-merveilles-du-monde.fr/Les_Jardins_suspendus_de_Babylone.htm, « Les jardins suspendus de Babylone », auteur inconnu

Au début du vingtième siècle, suite à une forte industrialisation et l'aménagement de ville ouvrière dense, Ebenezer Howard¹² fait le constat que la ville est avant tout industrielle et surpeuplée. Il décide alors de lier la ville au végétal en pensant à un plan précis. Celui-ci se construit autour d'une terre agricole, entourée de quartiers. Chacun d'eux possède un parc arboré à l'arrière. Le but était alors d'associer vie en ville, avec le jardin et la proximité des usines, et vie à la campagne afin que les femmes puissent cultiver la terre. C'est ainsi qu'apparaissent les premières « cité-jardins »¹³. C'est notamment ce que pense Olivier Mongin qui énonce l'idée de « *Sauver la ville par la campagne* ». En parallèle de ces idées, apparaît le fonctionnalisme qui suit des principes du mouvement de l'hygiénisme. À ce moment là, le végétal devient un élément important pour se purifier ou encore un apport de bien-être, il en devient libérateur. À la suite de tout cela, dans les années 1970, les maisons individuelles se développent fortement. On y remarque alors une forte demande de végétation, puisque toutes sont associées à un jardin.

De nos jours la demande de végétation est toujours présente et même une priorité. Le sondage fait par l'UNEP, du 29 Janvier au 29 Février 2016, a également révélé que, sur les 1013 personnes interrogées 37% des français se voyaient vivre dans une ville très végétales, qui semble sauvage, et même presque verticale en raison de la topographie, où l'architecture devient presque invisible. 29% s'imaginent habiter dans une ville où les jardins sont soigneusement entretenus. Seulement 6% des français apprécient les villes denses et dotées de gratte-ciel. Enfin, l'augmentation des ventes de plantes vertes d'intérieurs dans les magasins de jardinage, dévoile l'engouement des gens pour les végétaux.¹⁴

Tout ceci montre à quel point le besoin de végétation est grand. Ainsi, la végétalisation des villes semble primordiale déjà d'un point de vue d'un confort social et psychologique.

Image de Fondcombe, ville des elfes dans «Le Seigneur des anneaux», trilogie de films réalisée par Peter Jackson, de 2001 à 2003



Représentation de la capitale de la Maison Tyrell, dans la série «Games of thrones», créée pour HBO par David Benioff et D. B. Weiss.



Gotham-City, issu de la Trilogie de films «Batman», réalisé par Christopher Nolan



Ces villes ont été des références à l'enquête de l'UNEP pour connaître la ville dans laquelle les gens préféreraient vivre.

Images tirées de Google Images

12. HOWARD EBENEZER(1850-1928) Urbaniste anglais fondateur du mouvement des cités-jardins

13. CITÉ-JARDIN, subst. Fé.m. : *Cité dont les pavillons sont entourés d'espaces verts (pelouses, parcs et jardins cultivés) pour loger dans un air salubre des ouvriers ou des agriculteurs.*

B. Confort social et psychologique

De nos jours, la majorité de la population, soit 75%, vit en ville. Cette concentration d'individus a des conséquences plus ou moins néfastes. Celles-ci concernent autant l'environnement, tout ce qui le constitue, mais aussi l'Homme.

D'après les auteurs de *Composer avec la Nature en ville*, « *Eau, arbres, fleurs, animaux, le soleil agissent comme antidotes efficaces contre le stress urbain, la verdure fait oublier la grisaille, les espaces verts gommant l'impression d'étouffement et d'entassement* ».

Une ethno-écologue, Sandrine Manusset, a réalisé une étude¹⁵ en 2010 afin de comprendre les effets de la végétation sur l'être humain. Elle en a conclu que même par un simple contact visuel, elle est capable de « *diminuer l'état de stress et d'angoisse.* » Or, l'enquête de proximité que j'ai pu faire, les réponses données montrent que presque la moitié des personnes interrogées s'entoure de végétal pour une sensation relaxante. Plus de la moitié pensent également que végétaliser la ville permettrait de s'y sentir mieux. Comme nous l'avons exprimé en introduction, un quart des individus se sentent stressés en ville et un tiers opprimés. Pourtant, quand les gens sont plus apaisés, ils deviennent moins agressifs, plus à l'écoute. Ainsi, la végétation permettrait aussi de réguler et rendre plus agréables les relations sociales. Étant moins stressés et énervés les citoyens prendraient davantage de temps pour discuter et se divertir en communauté.

De plus, cette même étude a démontré que la « *présence du végétal permet de mieux accepter la densification urbaine* ». Elle rend plus attrayant l'espace, et améliore la qualité du cadre de vie. Cela passe par un effet psychologique que la végétation transmet mais aussi à son aptitude à diminuer certaines nuisances. Une d'elles capable d'altérer les relations sociales est le bruit. Il est probable que sa capacité à rendre la densification plus agréable est dû à la diminution de ce problème. Plus la ville est dense plus le son est condensé, voire emprisonné et peut ainsi donner l'impression de s'amplifier. Or, en végétalisant la façade des immeubles et même avec les toitures, on ne peut obtenir au mieux une diminution du niveau sonore de 8 dB(A) et du temps de réverbération. Cependant, ceux sont des valeurs qui à l'oreille humaine sont imperceptibles.

Enfin, le végétal est aussi important pour gérer les relations sociales. Comme l'explique Magali Paris, lors de sa conférence sur « Les paysages intermédiaires, les espaces jardinables de la rue à la maison », présentées en Décembre 2015, à l'ENSA de Toulouse, « *le végétal est une matière structurante* » et une « *matière proxémique* ». En effet, les habitants peuvent l'utiliser pour se créer des limites ou un lien, par exemple en s'en servant de clôture. Lors de sa conférence elle montre une famille qui, grâce à sa clôture, impose une limite à ne pas franchir sinon on entre chez elle. Cependant, cette limite peut être franchie en raison de porosités qu'apporte les arbustes, et invite les voisins à se joindre à eux quand elle le souhaite. Elle aide ainsi à structurer des liens sociaux agréables et créer des signaux que tout le monde peut comprendre.

14. BOUTEFÉU, Emmanuel. *Composer avec la nature en ville.*, Ed. La Documentation Française, Mars 2001, n°19. 375p. (Références du Certu)

15. EYME Alicia (sous la dir.). *Ville en vert, ville en vie : un nouveau modèle de société.* Etude UNEP-IFOP, 2016. 20p.

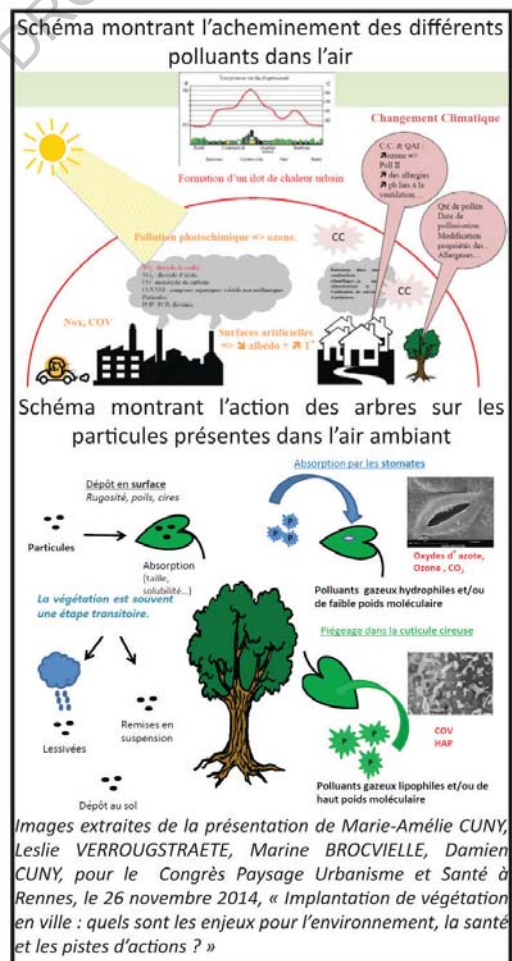
C. Confort urbain environnemental

a. *Qualité de l'air*

Les usines industrielles, le transport, la production d'énergie, le bâtiment, que ce soit sa construction ou ses consommations d'énergie, tout ceci est source de pollution atmosphérique. Les particules présentes dans l'air sont nombreuses et diverses. Différents moyens sont mis en place pour les diminuer comme la production d'énergie par le solaire, l'éolien ou encore l'eau. La végétation est un bon moyen de compléter ces techniques.

En premier lieu, une des particules les plus connues est celle du dioxyde de carbone (CO_2), responsable de l'effet de serre. Selon des estimations faites à New-York, à la suite d'un programme de plantation d'arbres, il pourrait être capté à hauteur de 15kg par arbre et par an. Cependant, divers paramètres influencent ce taux. En effet, l'essence d'arbre tout comme son âge ou encore sa hauteur font varier sa capacité à capturer du dioxyde de carbone ou même d'autres particules. Par exemple, un frêne vert de 11m de haut absorbera 10,8kg par an alors que le peuplier hybride (Robusta x Siouland) de 20 m de haut et de 33 ans captera 29,6 kg par an. D'après une étude d'Environnement Canada, 6 km² de végétalisation de toitures de la ville de Toronto pourraient éliminer chaque année 2,18 tonnes de gaz à effet de serre et 30 tonnes de polluants divers.

Une autre particule, l'ozone (O_3), peut aussi être capturée par les arbres ou mêmes les arbustes. D'après des études et simulations environ 305 000 tonnes par an sont éliminés aux États-Unis. Après diverses comparaisons, les espèces de type feuillus, contrairement aux résineux avec leur aiguille, sont bien plus efficaces. Il faut savoir que l'ozone ainsi que le dioxyde d'azote (NO_2) sont responsables de différents problèmes de santé, comme des maladies cardio-respiratoire, notamment l'asthme. Ce deuxième polluant peut aussi être diminué par le biais de végétaux, comme les herbacées. Il est d'ailleurs produits par les véhicules qui en rejettent 10kg par an. Une étude a été réalisée à Détroit montrant une diminution de près de 900 tonnes par an suite à un recouvrement de 20% des toitures de locaux commerciaux et industriels. En ce qui concerne les végétaux de types herbacées ou encore plantes grimpantes comme le lierre, ils capturent des particules de type PM, *Particulate matter pour particules en suspensions*, (PM10, PM 2.5 et PM1 μ). Ces particules sont beaucoup plus fines. Les toitures végétalisées y trouvent ici leur intérêt puisqu'elles éliminent 2kg/m². Quant au lierre, il peut fixer 2,9x10⁹ particules de PM2.5 et PM1 μ par mètre carré. Environ 42 000 décès ont été prématurés suite à une exposition quotidienne à ces particules, en France. Ainsi, les diminuer améliorerait la qualité de vie.



Une étude a établi qu'aux États-Unis¹⁶, le nombre de décès pourrait diminuer de 850, moyenne nationale. Tout ceci montre des effets directs, mais par la diminution de température liée à la végétation, que nous verrons en suivant, la pollution due aux climatiseurs est elle aussi réduite.

Toutefois, il est important de faire attention à la manière de végétaliser la ville. Cela permet l'élimination de particules nocives présentes dans l'air que nous respirons, mais cela peut aussi les empêcher de circuler. Les arbres sont une couverture végétale aérienne. Ils sont capables de réduire les effets du vent. Ainsi, les particules qui pourraient être chassées d'une rue étroite, par exemple, resteraient sous la masse végétale, donc dans l'air que nous respirons directement. Cela détériorerait la qualité de l'air puisque les particules concentrées dans cette même rue seraient plus nombreuses, or les arbres ne peuvent en capturer autant d'un coup. L'élimination de ces polluants est donc une action combinée du vent et de la végétation. De plus, il est primordial de penser à la ventilation des bâtiments. L'air intérieur est souvent plus pollué que celui qui se situe à l'extérieur, d'où une bonne ventilation des espaces confinés. De ce fait, se protéger par le biais de la végétation peut encore une fois être une mauvaise solution si cela n'est pas fait convenablement. Une haie devant la façade d'une maison peut empêcher la bonne ventilation de celle-ci.

Lors de mon enquête de proximité, je souhaitais connaître l'opinion des gens concernant les améliorations que pourraient apporter la végétalisation de la ville. Sur quarante réponses, une seule a pensé à l'augmentation probable d'insectes et d'allergies. En effet, il ne faut pas oublier que certaines espèces de végétaux peuvent aussi altérer la qualité de l'air en produisant des particules allergènes. Un paysagiste ou un horticulteur peut alors venir conseiller sur les arbres, arbustes ou herbacés à planter pour éviter ce phénomène. Il faut donc se renseigner sur les éléments à éviter en cas d'allergies. Pourtant, chaque végétal a un rôle au sein de la biodiversité. Il ne faut donc pas retirer ou arrêter de planter certaines espèces sous prétexte qu'elles provoquent des allergies, mais il suffit de limiter leur nombre. Par exemple, planter 800 bouleaux au cœur d'un îlot urbain d'une grande ville n'est pas recommandé¹⁷. Non seulement, le risque est élevé par le nombre d'arbres mais aussi par le potentiel allergisant du bouleau qui est au plus fort.

Schéma montrant les actions du vent suite à un obstacle tel que des bâtiments

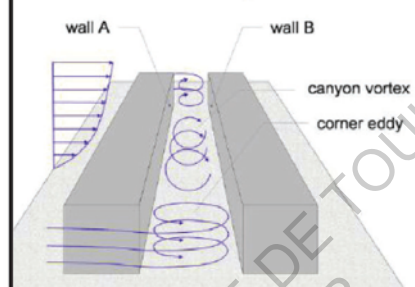
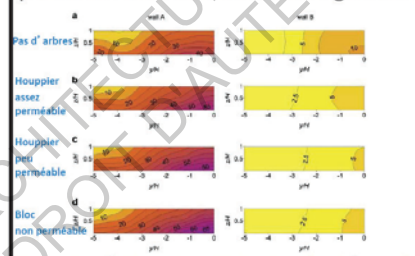


Schéma montrant la propagation des polluants selon différentes configurations



Images tirées de THIBAUDON Michel et CUNY Marie-Amélie, *Végétation, qualité de l'air et aménagement urbain*. Nord-Pas-de-Calais, 16 Octobre 2012. Disponible sur : http://www.appa.asso.fr/_docs/7/fckeditor/file/Manifestation/121016/Cuny_Thibaudon.pdf > [Consulté le 14 Novembre 2015]

16. THIBAUDON Michel et CUNY Marie-Amélie, *Végétation, qualité de l'air et aménagement urbain*. Nord-Pas-de-Calais, 16 Octobre 2012. Disponible sur : http://www.appa.asso.fr/_docs/7/fckeditor/file/Manifestation/121016/Cuny_Thibaudon.pdf > [Consulté le 14 Novembre 2015]

17. Exemple de la présentation de THIBAUDON Michel et CUNY Marie-Amélie, *Végétation, qualité de l'air et aménagement urbain*. Nord-Pas-de-Calais, 16 Octobre 2012. Disponible sur : http://www.appa.asso.fr/_docs/7/fckeditor/file/Manifestation/121016/Cuny_Thibaudon.pdf > [Consulté le 14 Novembre 2015]

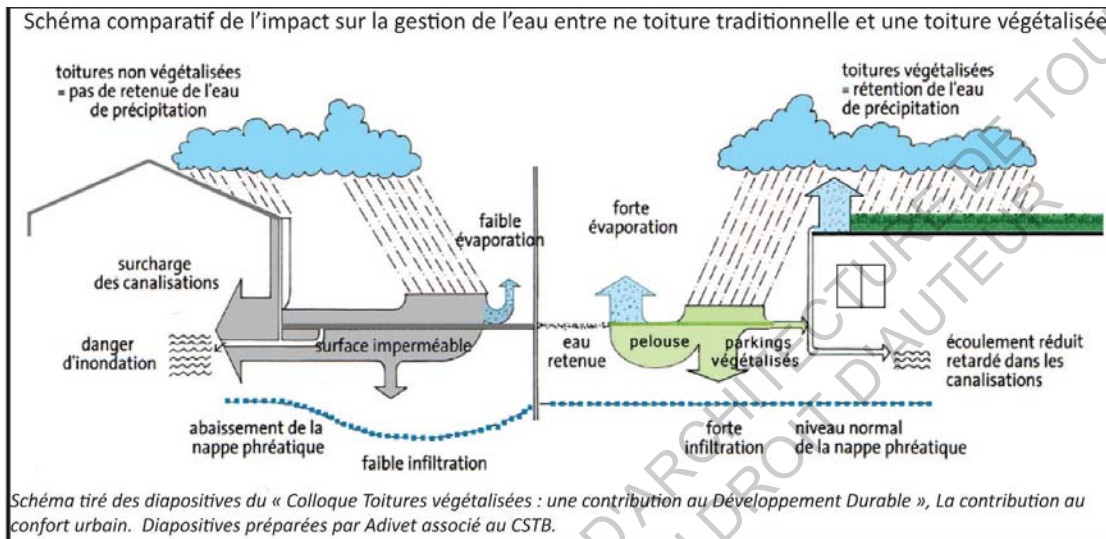
Pour conclure, végétaliser pour améliorer la qualité de l'air en augmentant la capacité de captation des polluants et une bonne chose si cela est fait après avoir étudié l'environnement pour savoir où et quoi planter.

Type	Nom courant	Essence	Potentiel allergisant théorique	Potentiel Allergisant spécifique lié aux quantités et à des données allergologiques	
Arbres tige	Arbre aux mouchoirs	<i>Davidia involucrata</i>	0		
	Arbre impérial	<i>Paulownia tomentosa</i>	0		
	Bouleaux	<i>Betula alba</i>	5	5	
	Charme	<i>Carpinus betulus</i>	3	3	
	Charme-houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	0		
	Chêne des marais	<i>Quercus palustris</i>	4	4	
	Chêne rouvre ou Chêne sessile	<i>Quercus petraea</i>	4	4	
	Erable rouge	<i>Acer rubrum</i>	1	1	
	Erable sycomore	<i>Acer pseudoplatanus</i>	1	1	
	Frêne élevé ou Frêne commun	<i>Fraxinus excelsior</i>	4	4	
	Houx	<i>Ilex aquifolium</i>	0		
	Pin noir	<i>Pinus nigra</i>	0		
	Saule commun	<i>Salix alba</i>	3	3	
	Saule marsault	<i>Salix caprea</i>	3	3	
	Graminées	Canche cespiteuse	<i>Deschampsia cespitosa</i>	1	4
		Carex ou laïches	<i>Carex</i>	0	
Cheveux d'ange		<i>Stipa tenuifolia</i>	1	4	
Herbe aux écouvillons		<i>Pennisetum alopecuroides</i>	1	4	
Herbes à éléphant ou graminée géante		<i>Miscanthus sinensis</i>	1	4	
Ophiopogon		<i>Ophiopogon</i>	0		

Images tirées de THIBAUDON Michel et CUNY Marie-Amélie, *Végétation, qualité de l'air et aménagement urbain. Nord-Pas-de-Calais*, 16 Octobre 2012. Disponible sur : <http://www.appa.asso.fr/_docs/7/fckeditor/file/Manifestation/121016/Cuny_Thibaudon.pdf> [Consulté le 14 Novembre 2015]

b. Gestion de l'eau

À en croire un colloque sur la contribution au confort urbain des toitures végétalisées, de l'Adivet¹⁸ en association avec le CSTB, un espace riche en parkings et toits imperméabilisés restituent quatre à vingt fois plus d'eau qu'une surface végétale. Ce qui montre déjà que la végétation est encore un atout. On remarque alors que le coefficient de ruissellement des eaux pluviales en milieu rural est seulement de 10% tandis qu'en milieu urbain il est de 45% voire 70% ! Ceci explique la cause des inondations puisque le débit est souvent trop important pour pouvoir s'écouler correctement dans les systèmes d'évacuations.



D'après des études menées par le CSTB, en Belgique, en 2006, les toitures végétalisées ont un effet retard sur l'écoulement des eaux de pluie. Ainsi, elles retiennent jusqu'à 30% des eaux pluviales, pour un substrat de dix centimètres ou moins. Quant au substrat compris entre dix et trente centimètres leur capacité de rétention est de l'ordre de 50%. Grâce à cette retenue des eaux, ces toitures peuvent réduire le débit de pointe de 26%, en période d'orages. Tout ceci s'explique donc par une absorption des eaux pluviales par le substrat, jusqu'à ce qu'il arrive à saturation. Ensuite, la couche drainante permet de ralentir à son tour les eaux. Le maintien de ces eaux permet de favoriser son évaporation afin d'humidifier l'air ambiant. Cette humidité se condensera ce qui apportera de nouveau du brouillard. Les météorologues ont pu remarquer qu'entre 1900 et 1930, Paris était sous le brouillard quinze à vingt-cinq jours par an. Depuis, en raison du réchauffement climatique et d'un manque d'humidité dans l'air il n'en relève plus un seul.

Cette même étude du CSTB compare différents types de complexes végétalisés. Les résultats montrent que l'épaisseur du substrat n'est pas forcément le critère qui fait varier ses performances. En effet, pour une même épaisseur de substrat mais une couche drainante différente un toit peut être plus performant qu'un autre.



18. Association des toitures et façades végétales, créée en 2002.

Comme le prouve les données ci-contre, la composition du complexe de toiture détermine la capacité de rétention. Cependant, ce phénomène est efficace lorsque le substrat n'est pas saturé. Or, l'hiver est la saison où il pleut souvent et le taux d'évaporation réduit en raison d'une température plus basse et un taux d'humidité déjà haut. A cette période, la rétention sera donc bien moins efficace puisque le substrat sera régulièrement saturé.

En ce qui concerne les façades végétalisées, nous pouvons penser que sa surface poreuse peut aussi absorber les eaux de pluie mais de manière bien moins efficace en raison de sa verticalité. Cependant, les végétaux créent des obstacles qui ralentissent légèrement la descente des eaux. L'infiltration dans le sol serait un peu plus efficace, malheureusement sous ces façades le revêtement de sol est souvent imperméable.

Lors de sa conférence « De l'eau aux paysages de l'habiter...des lieux à révéler »¹⁹ Jean-Yves Puyo²⁰ a énoncé l'importance de retenir l'eau afin qu'elle s'infilte mieux dans la terre. Cela permet aussi de bien irriguer les sols et d'augmenter le niveau des nappes phréatiques. De plus, il est primordial que la végétation soit bien irriguée et la plus humide possible, selon les espèces. Elle peut alors mieux se développer ce qui améliore le phénomène d'évapotranspiration, qui sera expliqué dans la partie qui suit. Si la végétation doit être la plus irriguée possible ceci veut dire qu'en période de sécheresse il faut l'arroser. Ainsi, se pose la question de la récupération des eaux pluviales. De nombreux systèmes existent notamment par le biais de citernes enterrées ou non, souvent coûteuses. Il faut savoir que les eaux pluviales récupérées pourraient remplacer la moitié de l'eau qu'on consomme chez nous. Cependant, l'installation d'une citerne avec sa pompe pour pouvoir réinjecter dans un réseau l'eau puisée demande beaucoup de travaux. Celle-ci est davantage complexe quant elle n'est pas prévu en amont d'une construction, ce qui entraîne aussi un coût plus important.

Toujours dans l'étude du CSTB, les eaux de pluie ont été récupérées dans le but de connaître la quantité retenue par les différents complexes, mais aussi afin d'analyser la qualité de l'eau. Ils se sont aperçus que l'eau de pluie voyait son acidité diminuer. Les pluies acides dues aux polluants atmosphériques altèrent la terre et la végétation, ce qui cause de nombreux problèmes aujourd'hui. En effet, cela brûle les végétaux et altèrent les minéraux de la terre, empêchant un développement correct des plantes.

Comme nous pouvons le constater ci-contre, les différentes couches utilisées ont une influence sur la filtration de l'eau. Bien entendu l'eau qui en ressort ne devient pas potable et consommable. Bien au contraire, le passage de l'eau dans les substrats et les autres couches peuvent même accentuer la pollution de l'eau. Les résultats montrent que des polluants organiques voire chimiques, soit dûs aux engrais utilisés sur les végétaux, soit à la nature des matériaux du toit, sont présents. Parfois, l'eau pourrait être utilisée pour de l'arrosage, ce qui permettrait de la réutiliser pour garder un substrat toujours humide, ou encore pour le lavage de la voiture. Dans d'autres cas, il faudra un traitement complémentaire. Cette eau ne pourra donc en aucun cas servir à une utilisation domestique.

Photographies montrant les essais de toitures faites par le CSTB, avec les échantillons d'eau récupérées en sortie de toiture



Images extraites des diapositives du Colloque toitures végétalisées, à Paris le 5 Décembre 2007, « Eau de pluie de toitures végétalisées : qualité, rétention et effet retard », présentées par Karel De Cuyper du CSTB de Belgique (Centre scientifique et techniques de construction).

19. Conférence présentée le 7 Avril 2016, à l'ENSA de Toulouse dans le cadre du séminaire « Architecture, environnement et paysage »

20. Architecte DPLG et urbaniste OPQU (Office professionnel de qualification des urbanistes)

c. Îlot de chaleur urbain

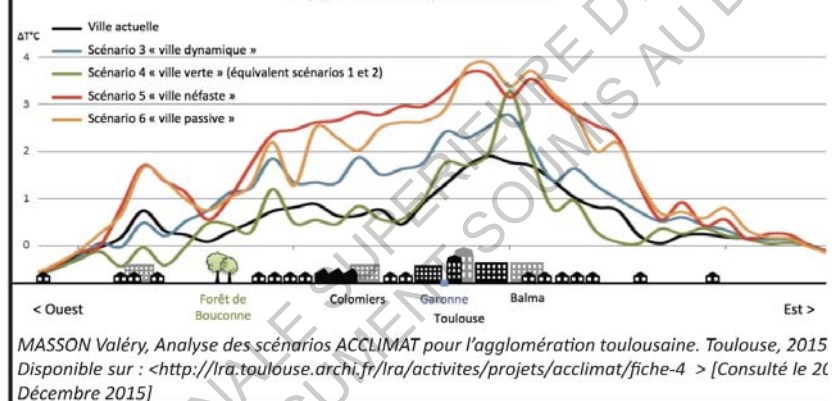
Magali Paris²¹ explique que le végétal est aussi une « *matière régulatrice* » qui participe au confort urbain, notamment climatique.

Le manque considérable de végétation en ville est un des facteurs de l'îlot de chaleur urbain. En effet, les végétaux permettent le rafraîchissement de l'air grâce à deux actions.

Îlot de chaleur urbain :

Cette notion est apparue à partir des années 1890. Il s'agit d'un phénomène dû à l'accumulation de la chaleur par les différents constituants de la ville (bitume, béton, brique...) et celle dégagée par les véhicules et les climatiseurs. Cette accumulation forte en milieu urbain crée alors une différence de température entre la ville et la campagne. Elle est notamment perceptible la nuit en raison d'un fort déphasage thermique. Ce phénomène est la capacité d'un matériau à ralentir les échanges de température. Il varie également selon l'inertie du matériau, plus l'inertie du matériau est grande plus il va accumuler de chaleur et plus il va mettre du temps à la restituer. C'est la nuit qu'il la restitue car la température étant plus basse que celle du mur, par exemple, celui-ci va transmettre sa chaleur à l'air ambiant. Lors de l'épisode caniculaire de 2003, Météo France a constaté une différence de température nocturne au cœur de Paris jusqu'à 8°C plus élevée que dans le reste de la région Île-de-France. L'Institut de Veille Sanitaire a constaté que 87% des personnes décédées d'hyperthermie à cette période là, vivaient en immeubles. D'après différentes études, les espaces urbains ont une température 5 à 9°C plus élevée que les espaces ruraux. Par ce phénomène d'îlot de chaleur urbain, associé au réchauffement climatique, en 2060, Paris pourrait connaître un climat équivalent à celui de l'Espagne aujourd'hui.

Images montrant l'impact d'un îlot de chaleur urbain sur les températures par rapport aux espaces ruraux



MASSON Valéry, Analyse des scénarios ACCLIMAT pour l'agglomération toulousaine. Toulouse, 2015

Disponible sur : <<http://lra.toulouse.archi.fr/lra/activites/projets/acclimat/fiche-4>> [Consulté le 20

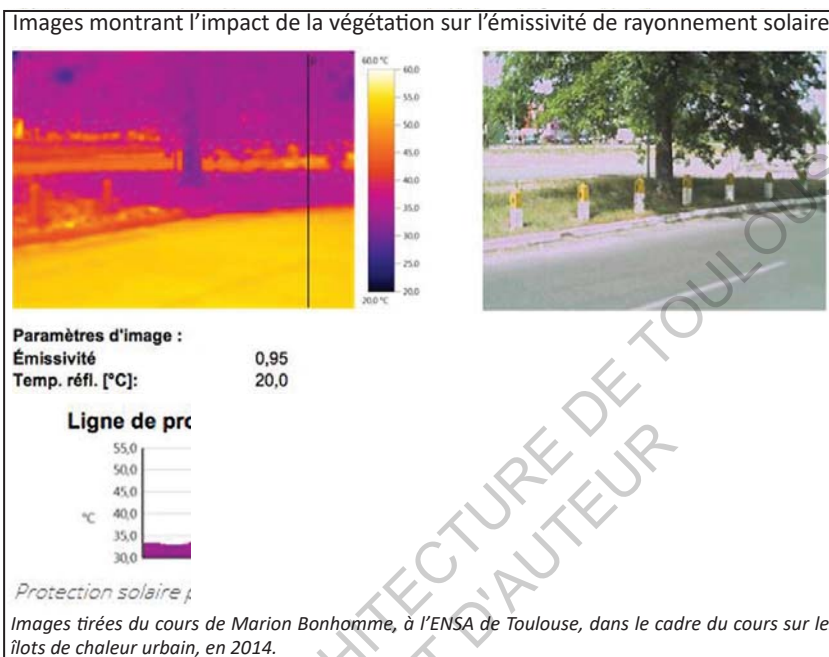
Décembre 2015]

végétaux soient bien irrigués. D'où la nécessité de maintenir aussi les eaux pluviales dans le substrat, cela permet de les nourrir. En cas de sécheresse, les stomates se ferment pour limiter la transpiration et le dessèchement de la plante. Ainsi, les résultats de l'étude EPICEA, menée par Météo France pour la ville de Paris, met en évidence deux contraintes. D'une part, il est nécessaire que les plantes ne manquent pas d'eau, d'où une irrigation régulière en cas de sécheresse. D'autre part, les espèces et variétés choisies doivent être adaptées au climat, voire même au futur climat. Cette première action est davantage efficace si elle est associée à la seconde plus passive. Celle-ci consiste à limiter le réchauffement des surfaces grâce à l'ombre que les végétaux peuvent produire. Il faut savoir qu'ils n'absorbent pas l'énergie solaire à l'inverse des surfaces minérales. Ces surfaces ont souvent un albédo²² important ce qui

21. Lors de sa conférence « Les paysages intermédiaires, les espaces jardinables de la rue à la maison » présentée en Décembre 2015 au sein de l'ENSA de Toulouse, dans le cadre de l'enseignement « Architecture, environnement et paysage »

22. ALBEDO : « *PHYS., p. anal. (Énergie lumineuse). Rapport entre la quantité de lumière que reçoit un corps et celle qu'il réfléchit ou diffuse.* » Trésor de la langue française informatisé, <http://atilf.atilf.fr/>

provoque une absorption des rayonnements solaires et donc de la chaleur. En créant de l'ombre, ces surfaces sont protégées et ne chauffent pas. Le phénomène de déphasage est alors amoindri voire quasi nul. Ces actions ont une influence à l'échelle urbaine mais aussi à l'échelle du bâtiment. Qu'il s'agisse d'un toit ou d'un mur végétal, il crée une double peau qui protège l'édifice. Tout d'abord, il le protège des rayons solaires en été. D'après une modélisation faite dans les rues encaissées de Londres ou même Montréal, grâce à la végétalisation des toitures, elles pourraient perdre entre 1,7 et 2,1°C. Des plantes grimpantes sur un bâti peuvent faire baisser de 4 à 6°C la température de la façade. Ceci entraîne également une baisse à l'intérieur, ce qui améliore le confort d'été. Ainsi, le besoin de climatisation diminue tout comme le besoin d'énergie. Toutefois, lorsqu'il s'agit de plantes grimpantes, il faut préférer des feuilles caduques pour ne pas altérer le confort d'hiver. Cela est différent avec un mur ou un toit végétal puisque l'épaisseur du substrat augmente l'inertie du bâtiment et protège des vents froids et des intempéries. De plus, la lame d'air située entre le complexe d'un mur végétal et le mur déplace le point de rosée protégeant davantage la structure du bâtiment. Des études menées à Montréal ont montré que grâce à une toiture végétalisée, l'entrée de chaleur était réduite de 99% sur une partie irriguée et de 91% si elle ne l'était pas. Ceci montre encore l'importance d'un substrat humide. À l'inverse, la perte de chaleur est réduite de 38% si substrat humide, ou de 27% avec un substrat sec. Or, d'après les analyses du CSTB, les toitures traditionnelles représentent 30% des déperditions de chaleur d'une construction. Les toitures vertes apportent donc une isolation thermique supplémentaire et donc une économie d'énergie.



Citation de Emmanuel BOUTEFEU :

« Le rôle d'un arbre est également très important grâce à l'évapotranspiration qu'il dégage. Outre qu'il intercepte une partie du rayonnement solaire, procurant une ombre protectrice, l'arbre a tendance à aligner sa température sur celle de l'air environnant. Grâce à ce mécanisme de régulation thermique, un arbre feuillu peut émettre jusqu'à 400 litres d'eau par jour, ce qui représente une puissance de refroidissement équivalent à celle de cinq climatiseurs pendant 20 heures en climat chaud et sec. »

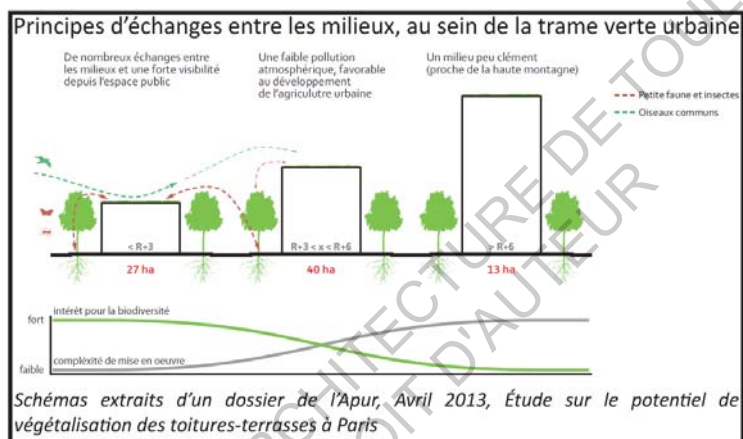
ALLAMAN, Martine. Pour une ville qui respire. Diagonale, Juin 2009, n°179, p.52-54.

d. Un atout pour la biodiversité

Magali Paris, lors de sa conférence²³ attire l'attention sur le « *le végétal comme matière écologique* ». C'est-à-dire celle qui permet la vie de la faune et de la flore. Aujourd'hui, par le biais de nombreuses actions menées par l'État, la création de corridors écologiques se développe.

D'après l'étude de l'Apur (Atelier Parisien d'Urbanisme)²⁴ pour la végétalisation des toitures de Paris, verdir les bâtiments serait un atout pour compléter ces corridors écologiques, ou même les trames vertes. Cela leur donnerait une certaine continuité comme le montre le schéma ci-contre. Ainsi,

quelque soit l'implantation de végétation, cela augmente les espaces refuges pour des espèces qui ont parfois disparu dans des zones très urbanisées. Les échanges de faune comme de flore grâce aux vents et aux insectes, et leur développement seraient alors facilités. Notamment sur les toits végétaux, il est aussi possible d'y intégrer des



refuges à insectes ou encore des nichoirs pour que la faune s'y installe. D'où l'importance aussi de varier les espèces et les variétés de végétaux présents sur les toits et les murs. En effet, plus les habitats sont diversifiés plus les espèces qui y vivent le sont aussi. C'est d'ailleurs le problème que pose les toitures extensives. Celles-ci ont une épaisseur de substrat restreinte. Or, seuls certains invertébrés aiment ce genre d'habitat. Cependant, par la suite les invertébrés peuvent faire venir des oiseaux. Par exemple, « *A Bâle, en Suisse, plusieurs toits ont montré une fonction d'alimentation pour les moineaux, la Bergeronnette grise et le rouge-queue noir et une éventuelle fonction de reproduction pour le vanneau huppé et le petit gravelot* ». ²⁵ Cela peut permettre de retrouver des espèces qui sont même parfois en voie de disparition. Toutefois, il est nécessaire que le substrat soit issu d'une terre végétale locale pour que cela fonctionne. L'idéal serait de prélever une épaisseur de 15cm de terre végétale lors d'un terrassement, par exemple, pour déjà avoir des végétaux adaptés. La terre est donc prête à développer des graines déjà en place et favoriser le développement de la faune locale qui peut même être déjà présente dans ces prélèvements.

23. Lors de sa conférence « Les paysages intermédiaires, les espaces jardinables de la rue à la maison » présentée en Décembre 2015 au sein de l'ENSA de Toulouse, dans le cadre de l'enseignement « Architecture, environnement et paysage »

24. Association qui documente analyse et recherche des stratégies d'évolutions urbaines et sociétales

25. Citation extraite des Fiches techniques du *Guide BBP* sur les Toitures végétalisées.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

III. LES PAROIS VÉGÉTALES

Il s'agit de dispositifs assez simples par rapport aux prochains que nous étudierons. Ceux-ci sont à la disposition du maître d'ouvrage. Cependant il peut faire appel à différents professionnels. Ainsi, les architectes peuvent le renseigner sur la structure de leur bâtiment afin de connaître les possibilités d'accroches. Ils peuvent s'associer à des paysagistes²⁶, des botanistes²⁷, ou horticulteurs²⁸ pour de meilleurs conseils sur les plantes à utiliser. En effet, pour ce procédé des plantes grimpantes ou pendantes sont nécessaires. Celles-ci ont des systèmes d'accroches différents qui sont plus ou moins adaptés au support. On peut alors observer deux catégories de plantes.

La première correspond aux végétaux qui sont capables de tenir sur une paroi sans aide. Elles possèdent alors de petits crampons, qui s'apparentent soit à des racines soit à des ventouses. La vigne vierge (*Parthenocissus tricuspidata-ampelopsis*²⁹), l'hortensia grimpant (*Hydrangea petiolaris*) ou même le lierre (*Hedera helix*) sont des exemples appartenant à cette catégorie. Ceux-ci sont adaptés pour des murs en béton, ou en parement voire crépis. Quant aux façades aux joints apparents, comme les murs en pierres sèches, ou en brique foraine, il est préférable d'y ajouter une structure avec un retrait d'au moins dix centimètres. En effet, les jeunes pousses peuvent se faufiler à l'intérieur causant des dommages.

La seconde catégorie concerne les plantes volubiles, à vrilles ou piétoles-vrilles. Celles-ci ont obligatoirement besoin d'un support autour duquel elles vont s'enrouler. Ainsi, un treillage ou un ensemble de fil de fer sont nécessaires. Ainsi, le bignone, le chèvrefeuille, les clématites, la glycine et bien d'autres encore peuvent donner davantage de vie et de couleurs à une façade.

Les différents types d'accroche naturelle



Système à crampons.



Système à ventouses.



Plante volubile (jasmin) s'enroulant sur son support.

Les données suivantes sont extraites des différentes fiches guide fournies par la Mairie de Paris dans le cadre du mouvement « Végétalisons Paris »

26. PAYSAGISTE : « adj. et subst. : Qui conçoit, qui réalise et entretient des parcs, des jardins d'agrément, des abords de propriétés. » Le Trésor de la langue française informatisé, <http://atilf.atilf.fr/>

27. BOTANISTE, « subst. : Personne qui étudie la science qui a pour objet l'étude des végétaux ou qui s'y intéresse. » Idem

28. HORTICULTEUR, -TRICE, « subst. : Personne qui pratique l'horticulture, c'est-à-dire l'art de cultiver les jardins potagers et floraux. » Idem

Ce dispositif est simple puisqu'il suffit de planter en pied de mur le végétal sélectionné, voire lui apporter un support, mais il demande quand même de l'entretien et donc un suivi régulier. C'est pour cela que l'avis de professionnels et malgré tout conseillé pour une installation adaptée aux besoins des gens comme aux contraintes du site d'intervention.

Définitions données par le même guide :

Crampons. Système d'accroche naturelle de certaines plantes grimpantes à même le mur (ex. : le lierre).

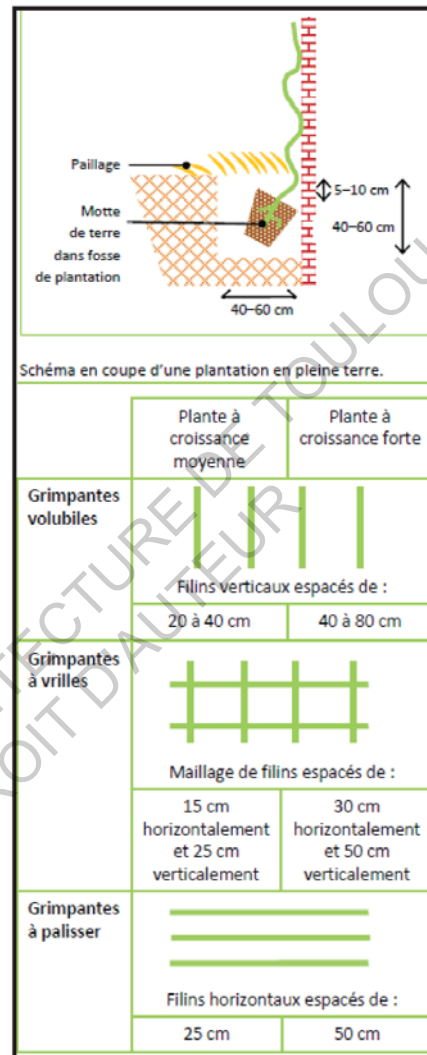
Grimpante (plante). Plante qui s'élève verticalement en s'appuyant, s'accrochant ou s'enroulant sur ou autour d'un support vertical tel qu'un mur ou un grillage.

Treillage. Palissade formée de lattes de bois ou de métal, destinée à supporter les plantes grimpantes.

Ventouses. Système d'accroche naturelle de certaines plantes grimpantes à même le mur (ex. : la vigne vierge).

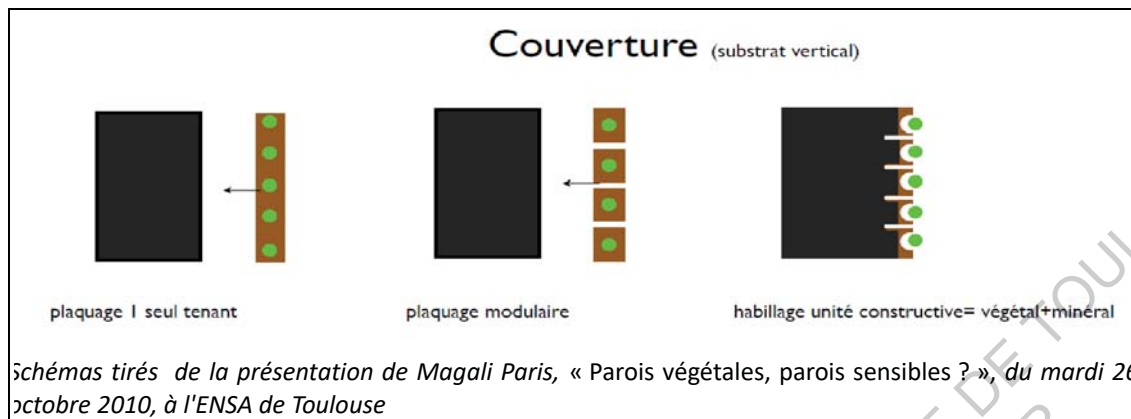
Volubile. Se dit d'une plante dont la tige s'enroule seule autour de son support. Ex : le chèvrefeuille.

Vrilles ou pétioles-vrilles. Les plantes qui en sont munies s'accrochent sur les grilles, grillages et treillages (ex. : le pois).



29. Terme scientifique donné dans l'ouvrage écrit sous la direction de Boutefeu Emmanuel, Composer avec la Nature en ville, Collections du Certu, n°19, Mars 2001

IV. LES FAÇADES VÉGÉTALISÉES



Comme le montre les schémas ci-dessus, il existe trois types de façades végétalisées qui s'installent directement sur la structure porteuse d'un bâtiment. Dans cette partie, chacune de ces trois techniques sera précisée afin de les comparer. Cela permettra de se rendre compte des différences ou similitudes que ces murs possèdent.

A. Entreprise et responsabilité

Aucune réglementation ne définit les obligations des entreprises ou des fournisseurs. Ainsi, selon le fabricant et l'entreprise qui met en œuvre le produit, ils peuvent s'engager sur diverses prestations. D'une part, dès le projet, en règle générale, ils établissent une étude de faisabilité à l'aide d'une étude technique. Celle-ci est alors faite en collaboration avec le maître d'œuvre pour s'assurer du bon maintien du mur, de sa bonne réalisation et de sa tenue dans le temps. D'autre part, à la réception des travaux ils peuvent proposer :

- Une garantie d'une durée de trois mois à un an, sur les dispositifs et/ou les matériaux qui le constituent
- Un contrat d'entretien qui permet d'assurer un entretien régulier par l'entreprise. Ce contrat peut regrouper plusieurs services, comme la mise en fonctionnement du système d'arrosage avec réglages des paramètres nécessaires en eau et suffisantes. Il peut aussi garantir le remplacement des végétaux morts.

À ce jour le mur végétal n'est pas encore très développé malgré une évolution du nombre de procédés et d'entreprises. Il est alors assez difficile de trouver davantage d'informations sur le sujet.

B. Placage en un seul tenant, Dispositif de Patrick Blanc

a. Présentation de l'inventeur



Patrick Blanc est né en 1953 à Paris. Passionné depuis tout jeune par les plantes et leur capacité de développement, il voyage dans de nombreux pays pour étudier un impressionnant panel de végétaux. Il écrit même deux thèses sur les végétaux tropicaux et leur développement, pour les doctorats qu'il a suivi à l'Université Pierre et Marie Curie, Paris 6, en 1978 et 1989. Spécialisé dans la botanique et la biologie des plantes, il participe aussi à des soutenances toujours au sein de la même université. En 1982, il est recruté comme chercheur au CNRS. En parallèle, il fait différentes recherches chez lui, d'abord sur des plantes tropicales nourrit par l'eau de son aquarium, cela même depuis l'âge de 12 ans. Il développe alors le concept du mur végétal. Une de ces premières

Image de Pascal Héni

réalisations se

situe à la Cité des Sciences et de

l'Industrie à Paris, en 1986. Il

dépose alors le premier brevet de mur végétal en 1988. Il réalise plus de 250 murs végétaux à travers le monde et souvent en partenariat avec des architectes célèbres comme Jean Nouvel, Herzog et De Meuron ou encore Jean-Paul Viguier.

Son travail a été récompensé par de nombreuses distinctions telles que :

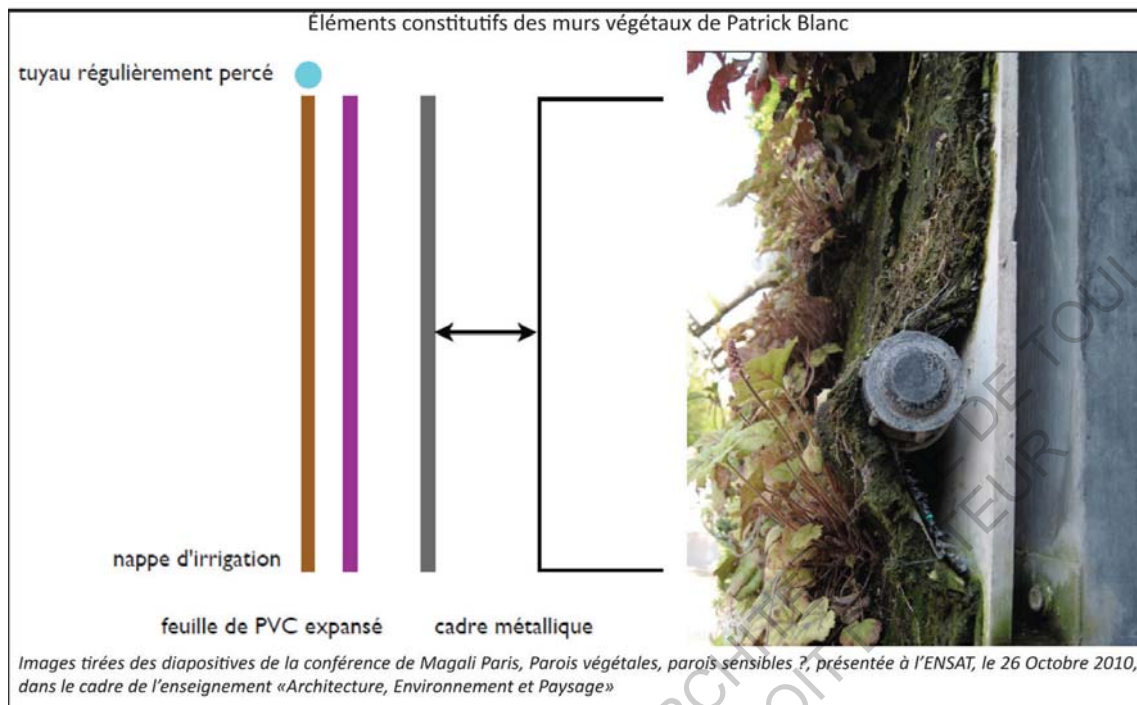
- Le prix de Botanique en 1993 par l'Académie des Sciences
- Lauréat du Concours de l'Innovation en 1999, par le Ministère de la Recherche.
- Talent d'or 2002 du Sommet du Luxe et de la Création
- Médaille d'Argent de l'Académie d'Architecture en 2005
- Lauréat du Royal Institute of British Architects en 2010

Sans oublier celles reçu pour les nombreux ouvrages qu'il a publiés, que ce soit articles ou même livres :

- Prix Virgile pour « *Être Plante à l'ombre des forêts tropicales* », en 2003
- Chevalier de l'Ordre des Arts et des Lettres en 2005

Enfin, il n'hésite pas à partager son savoir et sa passion en donnant des conférences, au sein de colloques, d'expositions par exemple, et à travers le monde, surtout depuis 2009.

b. Éléments constitutifs et mise en œuvre



- Cadre métallique :
Il peut être en différents métaux (aluminium, acier galvanisé, ou acier inoxydable) à choisir en fonction de la structure car il influence son poids. Ce cadre métallique a une maille carrée de 61 cm. Cette dimension s'explique par celles des plaques de PVC qui mesurent environ 1,20m sur 2,40m. Il se fixe sur le mur porteur et permet de maintenir une lame d'air entre ce mur, qui peut donc continuer à respirer, et le reste du complexe végétal. Cette lame d'air permet aussi d'améliorer l'isolation créée grâce aux plaques suivantes qui sont fixées sur ce cadre.
- Panneaux rigides en PVC expansé de 10mm d'épaisseur :
Ils permettent d'ajouter une isolation thermique par l'extérieur. Ils sont donc fixés sur le cadre métallique. Ce matériau est pratique pour sa légèreté et sa résistance à l'arrachement et aux impacts, notamment aux agrafes utilisées pour le feutre. L'étanchéité se fait par un joint silicone au niveau de la jonction des plaques et d'un ruban adhésif, comme pour étancher une terrasse.
- Feutre ou nappe d'irrigation :
Il s'agit d'un matériau imputrescible composé de textiles de récupération en matière acrylique. Sa solidité est assurée par un film tissé en polypropylène. Il est directement posé sur les plaques de PVC à l'aide d'agrafes en acier inoxydable. Il est constitué de deux couches superposées pour permettre la plantation des végétaux. Son fort pouvoir de capillarité permet une bonne irrigation homogène des plantes et leur apporte le milieu propice à leur développement.
- Tuyau d'irrigation :
Positionné au sommet du mur végétal il humidifie de manière automatique et régulière le feutre. En polyuréthane de basse densité il peut facilement résister au gel qui crée une dilatation de l'eau qu'il enferme. Il est percé de petits trous de 2mm tous les 10cm.

La végétation à la conquête de la ville

– Les végétaux :

Ils sont insérés au sein du feutre en coupant la première couche de feutre sur une longueur de 5 à 10cm, selon la taille de la plante. Afin de maintenir l'ensemble ils sont agrafés à chaque extrémité de l'entaille. Leur racine qui se développeront entre les fibres du feutre finiront d'assurer leur maintien. Ce système leur permet de développer plus librement leur système racinaire contrairement à des pots empilés sur la paroi, par exemple.

Le poids de l'ensemble du dispositif est assez faible puisqu'il peut peser entre 20 à 50 kg par mètre carré. C'est pour cela que les différentes couches ont été choisies : les panneaux PVC pèsent environ 7kg/m², le feutre 3 à 5kg (mouillé) et les plantes de 1 à 5kg/unité, selon les espèces. C'est pour cela, que le feutre a été établi pour être le plus fin possible car il faut compter en moyenne que pour 1cm d'épaisseur de substrat cela pèse 10kg/m², multiplié par la surface du mur cela fait beaucoup. Cette caractéristique permet alors de développer une façade végétale jusqu'à 30m de hauteur voire au-delà.

Enfin, cette technique permet facilement de réunir de 300 à 500 plantes, et espèces différentes, sur un mur de 1 000 m². Il est important de bien choisir les espèces pour qu'elles soient à la fois adaptées au milieu dans lequel elles sont implantées, mais aussi pour une bonne cohésion entre elles. Il ne faut pas que l'une prenne le dessus sur l'autre et l'étouffe. C'est donc l'avantage d'avoir un botaniste qui se charge de ces choix. Cependant, le feutre n'étant pas extensible, a une capacité tout de même limitée. Alors quelle est la durée de vie de ces plantes et leur développement est-il aussi idéal que le laisse entendre Patrick Blanc ?

c. Entretien et coût

Plus le mur végétal a une taille importante, plus son entretien sera contraignant. Celui-ci comprend :

- L'arrosage : La fréquence est de trois à cinq arrosages par jour en fonction des saisons et de l'orientation du mur. Chaque séquence ne dure que une à trois minutes, grand maximum cinq si le mur est de grande hauteur. Pour apporter les minéraux nécessaires au développement des plantes il faut administrer une solution nutritive diluée à hauteur de 0,1 à 0,3g/L. Lorsque l'eau provient d'un bac de récupération des eaux de pluies qui proviennent d'un toit la quantité de minéraux est d'autant plus faible que celle de l'eau de ville. La consommation d'eau reste faible puisqu'elle se situe entre 0,5L à 3L/m²/j, en été. Certes le dosage est faible mais multiplier par le nombre d'arrosage et la surface à nourrir cela fait beaucoup. Les engrais utilisés sont-ils une nouvelle source de pollution ? Taille des plantes : Selon les espèces, une intervention est nécessaire pour les tailler, notamment les arbustes pour les aider à se développer correctement et de limiter leur croissance. En effet, ils ne doivent pas dépasser deux mètres de long pour un souci de centre de gravité qui pourrait perturber l'équilibre du mur. Cet entretien peut se faire une fois par an uniquement. Un mur végétal n'ayant pas d'arbustes mais uniquement des plantes qui ne demandent aucune intervention est alors autonome mis à part l'arrosage. En effet, la solution du feutre ainsi que la densité de plantation empêche toutes plantes indésirables de s'implanter ou de se développer. Donc si le maître d'ouvrage veut diversifier son mur grâce à la présence d'arbustes cela le contraint davantage pour l'entretien.

Des dispositifs de végétalisation du bâti existant

Le matériel utilisé pour cela est différent selon la hauteur du mur. Il peut se faire depuis le sol avec une échelle ou un échafaudage lorsqu'il ne mesure pas plus de 10m. Au-delà et jusqu'à 30m de haut, une nacelle télescopique est nécessaire. Pour les murs de très grande hauteur, allant encore au-delà des 30m, ou difficile d'accès, son entretien se fait par le sommet, par des professionnels qui descendent à l'aide d'une plate-forme sommitale mobile. En résumé, pour ne pas avoir un surcoût pour l'entretien en raison du matériel et de la difficulté de main d'œuvre, il faut un mur végétal de faible hauteur et en pied de mur pour permettre un simple accès à l'échelle.

En ce qui concerne la tarification, Patrick Blanc annonce qu'il peut être mis en place pour 500 à 600€/m². Cependant, dans le prix donné, il n'est pas précisé si la main d'œuvre est incluse ou si il ne s'agit que du prix des matériaux.

Photographies montrant des projets représentatifs du travail de Patrick Blanc, en France



Musée du Quai Branly, Paris, 2005



Musée du Quai Branly, Paris, 2012



Rue d'Alsace, Paris,

1. Avant le mur
2. En 2009
3. En 2014



Image et explications tirées du site internet de Patrick Blanc : <http://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations>

B. Placage modulaire, deux exemples

a. Modulogreen

1. Éléments constitutifs et mise en œuvre

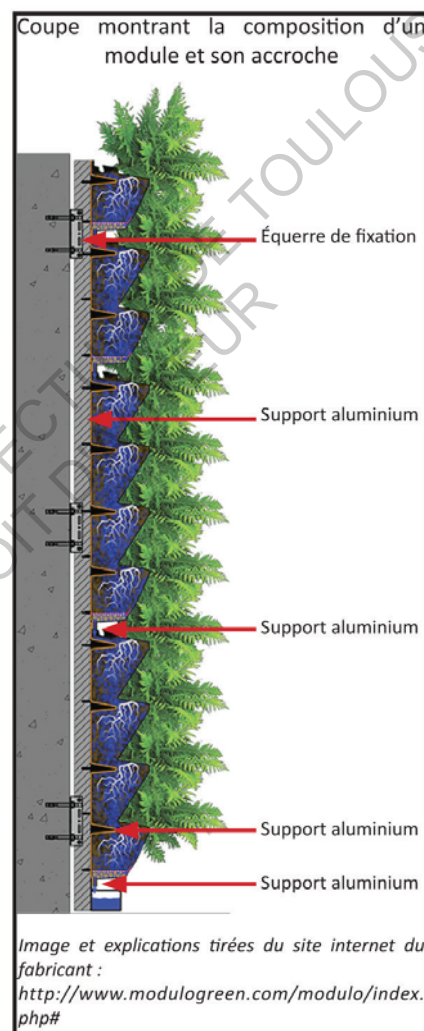
Le Modulogreen est un procédé proposé par l'entreprise Amytis, de Avrainville, en Essonne. Entrée sur le marché en 2005, elle n'a pas déposé de brevet concernant cette technique. Il s'agit d'un module préformé vissé sur un système de rails métalliques lui-même vissé dans le mur. Afin d'assurer une protection du mur, un joint d'étanchéité est intégré sur le module, en périphérie pour un bon colmatage lors de sa fixation au rail. Le module est composé de polypropylène et à 30% de fibre de verre. Il se compose d'une multitude d'alvéole capable d'accueillir quatre litres de substrats par plante. Ces alvéoles sont légèrement inclinées pour faciliter le phénomène de phototropisme³⁰. Cette technique permet un emplacement des végétaux simple puisqu'ils se développent seuls, cependant cela les restreint dans leur croissance contrairement au système précédent. Il existe en différents formats pour une meilleure adaptation au mur à végétaliser, et en fonction des dimensions choisies par le client.

À l'intérieur des alvéoles du support, un substrat minéral est installé. Il est inerte et incompressible pour limiter les tassements et permet à la fois une bonne rétention d'eau et un bon drainage pour que les plantes ne soient pas « noyées ».

La végétalisation de cette façade se fait par plantation de modules pré-cultivés avec une densité de 22 plantes par mètre carré. Cette densité est toujours la même quelque soit les espèces choisies. Les espèces sont-elles alors bien choisies par rapport à la place dont elles ont besoin pour se développer ?

Enfin, le système d'irrigation se fait par goutte-à-goutte. Les tuyaux sont fixés au-dessus de chaque module, puis l'excédant d'eau s'évacue vers les niveaux inférieurs jusqu'à sa récupération dans une gouttière en pied de mur, reliée au réseau des eaux usées.

L'ensemble de la structure a une épaisseur de 23cm et un poids d'environ 70kg/m². Ici, il ne précise pas de surface ou hauteur maximale qu'il est possible d'atteindre. Ce système est-il donc limité ou au contraire sans limite ?



30. PHOTOTROPISME : « subst. Masc :Physiol. Réaction d'orientation d'un végétal ou d'un animal s'effectuant soit dans la direction d'un rayonnement lumineux (phototropisme positif), soit dans la direction opposée (phototropisme négatif). » Le Trésor de la langue française informatisé, <http://atilf.atilf.fr/>

2. Entretien et coût

Comme l'ensemble des murs végétaux et celui vu précédemment, les plantes ont besoin d'un entretien régulier pour limiter leur croissance ou pour remplacer celles qui n'ont pas survécu.

En ce qui concerne l'arrosage, il peut être automatique, par système de goutte-à-goutte auto-régulant à bas débit. Pour le bon développement des plantes une pompe doseuse muni d'un programmeur administre des fertilisants. Ainsi, la consommation moyenne de ce système est de 220L d'eau/m²/an. Me[^]me question que précédemment sur les fertilisants. Il ne précise pas la quantité, peut-être est-elle bien plus importante que celle du système de Patrick Blanc.

L'entreprise ne donne pas plus d'informations concernant l'entretien.

Par contre, elle donne différents prix. Pour un mur standard de 4mx5m, le prix d'un mur de ce type est de 250€/m² pour la fourniture et l'armoire de fertilisation. Pour la main d'œuvre il faut ajouter une tarification de l'ordre de 250 à 650€/m² selon les difficultés de pose. Cela montre bien l'importance de la main d'œuvre puisqu'elle peut presque tripler le prix. Selon le budget, cela limite les possibilités d'implantations de ces murs végétaux.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

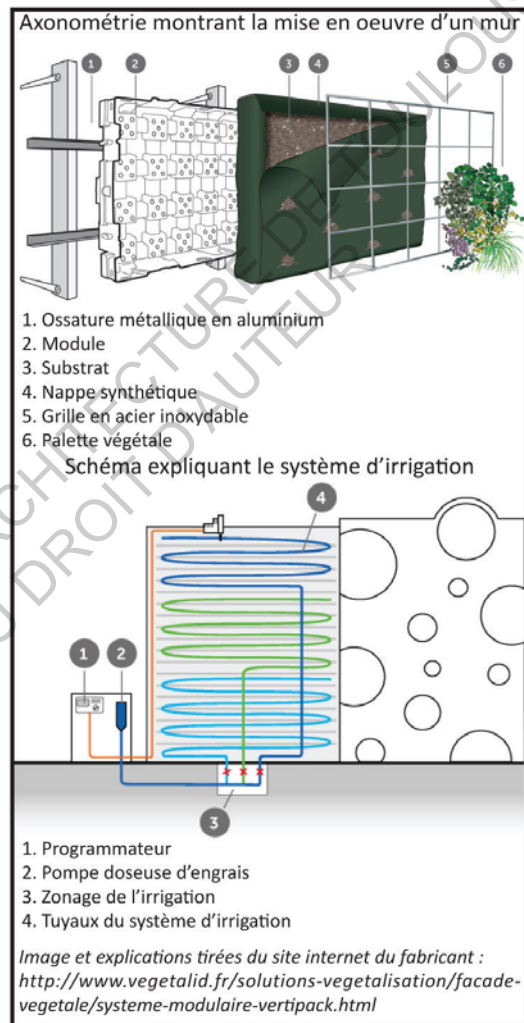
b. Vertipack

1. Éléments constitutifs et mise en œuvre

Le module Vertipack est mis en place par l'entreprise française Le Prieuré, grand fabricant d'éléments de façade et toitures végétalisées. Cette technique de mise en œuvre se compose de plusieurs couches, du mur vers l'extérieur :

- D'une ossature métallique en aluminium avec des tubes de section 5x5cm, qui se fixe au bâti mais qui peut aussi être une structure qui se suffit à elle-même. Son recul par rapport à la façade crée une lame d'air de 5cm qui permet à la fois de garder une ventilation du mur et de passer tout le système de canalisations pour l'irrigation du complexe. En cas de fuite, le mur est-il protégé ou sera-t-il mouillé au risque de créer des dégradations, que ce soit structurelles ou sanitaires, selon aussi la nature du mur ?
- D'un module de 64cm x 42cm (0,27m²) capable de maintenir le substrat et donc les végétaux qui s'y implantent. Ce module peut être soit en PEHD recyclé, de dimension standard, soit en tôle d'aluminium anodisé qui permet une découpe sur mesure.
- Le substrat installé dans le module précédent, est un mélange organique et minéral. Celui-ci a été étudié pour être léger et d'une bonne capillarité, tout comme de rétention d'eau et de drainage. Pour 1m² de module il faut 68 litres de substrat.
- Une nappe synthétique thermoformée en polypropylène est ensuite placée devant l'ensemble composé du module et du substrat afin de retenir le substrat et les végétaux qui seront plantés en créant de petites entailles dans cette nappe. Elle a été conçue pour mieux répartir l'irrigation et pour son caractère résistant puisqu'elle est imputrescible, résiste aux UV, aux efforts mécaniques mais également à la déchirure.
- Une grille en acier inoxydable fixée à l'ossature métallique située sur le mur condense le reste du complexe et le maintient à la vertical.
- Les végétaux sont ensuite plantés en micro-mottes après 2 à 5 mois de culture. La densité sur ce mur est de 35 plants par mètre carré.

Au final, l'ensemble atteint une épaisseur de 15cm uniquement pour un poids de 90kg/m².



2. Entretien et coût

Le système d'irrigation de l'ensemble se situe en partie haute de chaque module. Il est installé afin que 10 goutteurs puissent irriguer 1m^2 afin de fournir de l'eau de manière la plus homogène possible. Il s'agit d'un système de goutte-à-goutte auto-régulant avec programmateur, ainsi que d'une pompe doseuse d'engrais connectée au réseau d'alimentation en eau.

L'entretien du mur se fait par le biais d'un contrat d'entretien annuel avec le fabricant qui assure aussi la pose. Il vient alors vérifier le système d'irrigation et entretient les végétaux avec une nacelle, environ deux fois par an. Lors de cette intervention il taille et remplace si besoin les plantes.

Enfin, pour un mur de taille dite standard, de $4\text{m} \times 5\text{m}$, il faut compter 550 à $600\text{€}/\text{m}^2$ pour une surface de 20m^2 mais 300 à $350\text{€}/\text{m}^2$ pour une surface supérieure à 500m^2 . L'entreprise précise bien que ces prix comprennent la fourniture et la pose. Ce prix encourage donc la mise en place de grande étendue végétale.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

c. Végétalis

1. Éléments constitutifs et mise en œuvre

Ce produit a été élaboré par l'entreprise Greenwall, située à Montpellier. Le brevet de cette technique a été déposé en 2004 puis modifié et déposé de nouveau en 2008. Il s'agit d'une troisième méthode aussi utilisée par de nombreuses entreprises françaises mais aussi belges. Tout comme les précédents le dispositif se décompose en différentes couches :

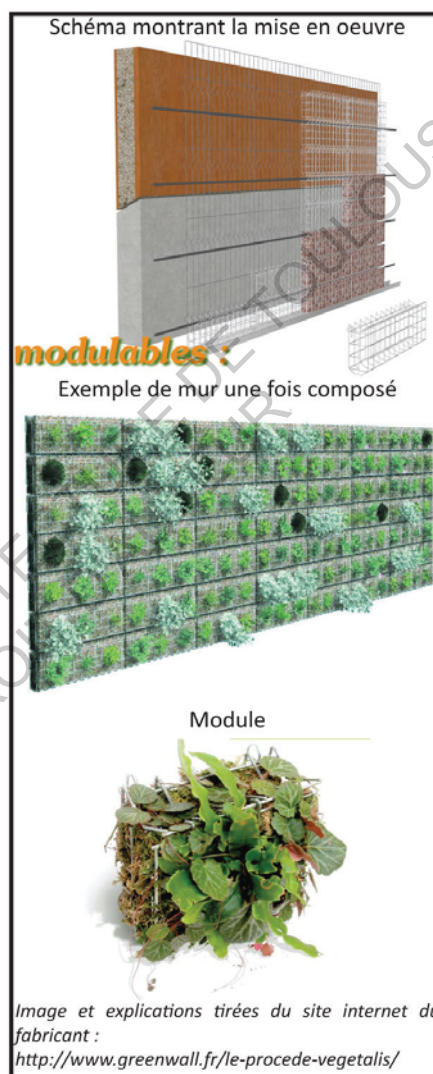
- Une structure treillis en acier galvanisés chevillée à la façade tout en laissant le soin de garder un vide ventilé d'au moins 2cm.
- Des modules dit en « cassettes » en fil d'acier galvanisé clipser sur la structure
- Un système d'irrigation placé entre chaque joint horizontal déterminés par la pose des modules.
- La sphaigne qui sert de substrat organique très connue pour ces caractéristiques imputrescible, hydro-rétractives, antifongiques et antibactériennes. Cependant, son utilisation fait débat car celle utilisée provient souvent de pays tropicaux. En effet, celle d'Europe a une croissance beaucoup plus lente et des propriétés moins efficaces. Prix de l'importation ? Impact sur l'environnement ? La sphaigne est la couche supérieure qui permet le développement des tourbières, milieux acides avec une végétation particulière qui y est adaptée. Que va devenir ces tourbières exploitées, ainsi que les végétaux qui les habitent ?
- Les végétaux issus d'un système pré-cultivés dans une pépinière et déjà à la verticale depuis 4 à 6 mois sont en partie adaptés à leur situation future.

L'ensemble de ce complexe végétal crée une sur-épaisseur de 18 à 20cm pour un poids de 70 à 100kg/m².

2. Entretien et coût

Ici, l'entreprise se propose de faire des visites de contrôle régulières afin de vérifier le fonctionnement des différentes installation, notamment le système d'irrigation. Elle fait également intervenir des techniciens spécialisés dans l'entretien des végétaux. La fréquence des interventions n'est pas précisée ni si il faut souscrire à un contrat d'entretien.

Quant au coût de cette structure et de son installation, elle varie de 650 à 950€/m². Cette variation dépend bien sûr de la difficulté de mise en œuvre, selon si la façade est facilement accessible ou non puisque cela ne demande pas le même matériel, mais aussi des options de régulation du système d'arrosage (automatique, à distance).



C. Habillage, unité constructive, Système Géomoss

a. *Éléments constitutifs et mise en œuvre*

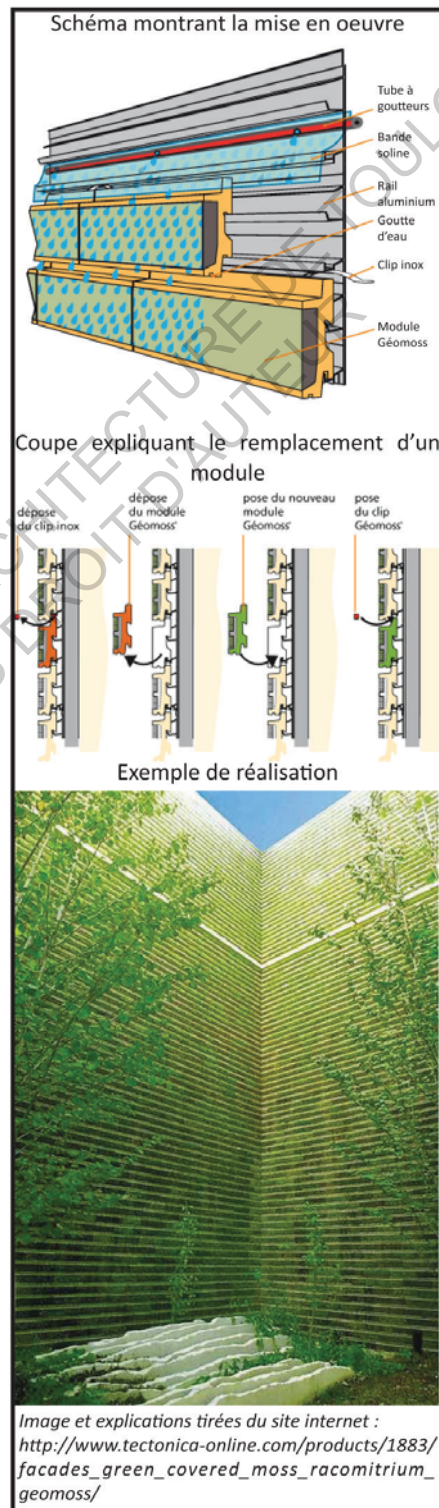
Élaboré par la société Géobois, située à Strasbourg, le produit Géomoss est un système de parement de façade. Ce système se compose :

- Des rails aluminium intégré à une plaque en aluminium sont directement vissés dans la structure porteuse.
- Les modules Géomoss sont alors mis en place à l'aide de clips en acier inoxydable. Cette fixation permet de changer facilement les modules qui ne conviennent pas ou qui se dégradent. Ils sont réalisés à l'aide de briquette en terre cuite non poreuse concave dans laquelle vient s'insérer le substrat en mousse de céramique qui permet d'accueillir le végétal. Ce support a une dimension standard de 225 x 73 mm et d'une épaisseur de 24 mm.
- Ici, le seul végétal capable de pousser sur ce substrat est de la mousse apparenté à du *Racomitrium*. Le but est aussi d'obtenir une façade homogène avec l'illusion d'un véritable parement. Cette mousse est-elle adaptée à tous les milieux ou uniquement dans certains pays ou climats ? Ce qui peut restreindre l'utilisation de ce procédé.
- Le système d'irrigation quant à lui est intégré en partie supérieure du mur. Il s'agit d'un goutte-à-goutte situé sur une bande soline étanche qui permet de diriger l'eau vers l'avant des modules. L'eau va ensuite s'écouler de module en module grâce notamment à un système de goutte d'eau en partie inférieure de chacun des modules. En bas de mur un système de gouttière permet de récupérer l'excédent.

L'ensemble de ce système pèse environ 40kg/m².

b. *Entretien et coût*

L'avantage de ce dispositif est l'entretien du végétal puisqu'il est quasi inexistant. En effet, la mousse est autonome, mis à part l'arrosage il n'y a pas nécessairement besoin d'intervenir. Cependant, la consommation en eau est de l'ordre de 400L/m²/an+, avec un arrêt du système d'arrosage en période hivernale, ce qui est bien supérieur aux procédés précédents.



D. Tableau comparatif des systèmes étudiés

Système de végétalisation verticale	Mur de Patrick Blanc	Modulogreen	Vertipack	Végétalis	Géomoss
Concepteur	Patrick Blanc	Amytis	Le Prieuré	Greenwall	Géobois
Rappel du dispositif	D'un seul tenant, sur plaque PVC et un feutre comme substrat	Module préformé avec une cellule pour chaque plant	Module en PEHD ou en tôle d'aluminium anodisé	Modules en « cassettes » métalliques	Modules en terre cuites
Épaisseur du complexe	Environ 6cm	23cm	15cm	18 à 20cm	Environ 5cm
Poids	20 à 50kg/m ²	70kg/m ²	90kg/m ²	70 à 100kg/m ²	40kg/m ²
Végétaux plantés	Tous végétaux couvrants et même arbustes	Surtout des couvrants	Surtout des couvrants	Surtout des couvrants	Mousse uniquement
Densité de plants	3 à 5/10m ²	22/m ²	35/m ²	/	/
Entretien	Taille régulière des plantes + remplacement en cas de perte 1 fois/an	Taille régulière des plantes + remplacement en cas de perte	Taille régulière des plantes + remplacement en cas de perte 2 fois/an	Taille régulière des plantes + remplacement en cas de perte	Quasi nul, remplacement de modules si dégradés
Arrosage	Arrosage régulier de 0,5L voire 3L/m ² /j	Arrosage régulier de 0,5L voire 1,5L/m ² /j soit 220L/m ² /an	Arrosage régulier	Arrosage régulier	Arrosage régulier de 0,5L voire 2,5L/m ² /j soit 400L/j/an
Coût (Fourniture et pose)	Entre 500 et 600€/m ² Pose ?, non précisé	Entre 500 et 900€/m ²	Entre 550 et 600€/m ² et 300 à 350€/m ² pour un mur >500m ²	Entre 600 et 950€/m ²	/

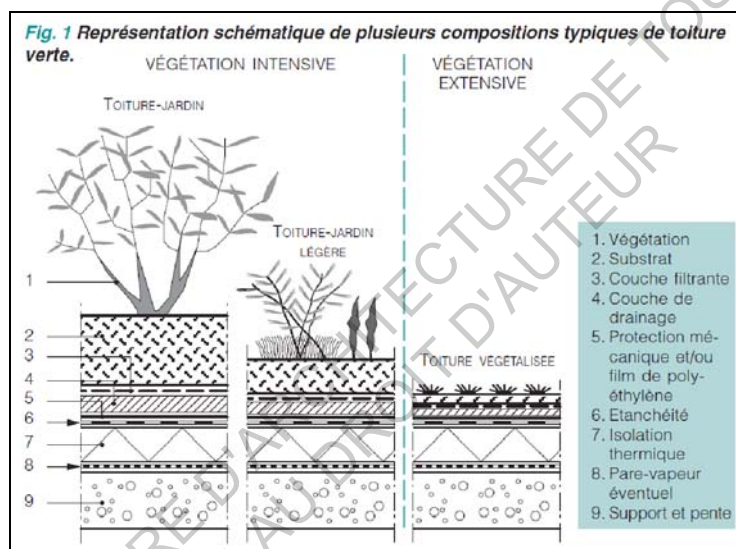
Ce tableau nous permet que le mur de Patrick Blanc est très efficace en terme d'épaisseur, de poids et choix des végétaux. Cependant, à en croire les données trouvées le moins contraignant pour l'entretien est le système Géomoss. En ce qui concerne l'arrosage et la densité des plants, ou encore les prix, il est difficile de comparer vu qu'il manque des informations. Cela n'empêche pas de s'interroger sur la durabilité de ces systèmes et leur impact sur l'environnement. En effet, la croissance et durée de vie des plantes sont-elles idéales ? Cela laisse penser que ces systèmes sont surtout un bon moyen de rendre plus agréable la ville, notamment d'un point de vue visuel. Les substrats quasi inexistants ne peuvent accueillir pas d'invertébrés, source alimentaire de nombreux animaux. La verticalité aussi peut poser problème puisque peu d'espèces animales, or montagne, sont adaptés à ce mode de vie.

V. LES TOITURES VÉGÉTALISÉES

Ce dispositif est connu dès les années 90 dans les pays scandinaves et européens voisins comme l'Allemagne. Là-bas, il s'est rapidement développé, alors qu'en France il a eu plus de mal. Le marché s'est accru à partir de 2003 avec l'arrivée du label Haute Qualité Environnementale. Les acteurs publics souhaitaient que cela devienne une traduction visible du label. Depuis cette période environ 1,5 Millions de mètres carrés de toits végétalisés par an en France, d'après une source 2015³¹.

Trois grands types de végétalisation horizontale existent :

- Intensif ou toit-jardin :
Capable d'accueillir les grands arbustes
- Semi-intensif ou toit-jardin léger :
Capable d'accueillir des arbrisseaux
- Extensif :
N'accueille que des herbacés ou du sedum



En raison de l'idée principale de ce mémoire qui cherche des possibilités de végétalisation de l'existant, le procédé qui sera développé ici sera le mode extensif. En effet, étant le plus léger il peut s'installer sur des toitures traditionnelles ou toitures-terrasses qui n'étaient pas destinées à recevoir du poids. De plus, en rénovation lorsque le bâtiment a plus de dix ans il est parfois difficile de retrouver les notes de calculs des portances faites lors de sa conception. Il peut aussi être installé sur des toitures en pentes contrairement aux autres procédés, ce qui est pratique puisque sur de l'ancien les toits les plus fréquents sont en charpente traditionnelle.

Tableau 1 Différenciation des divers types de toiture verte.

Caractéristiques	Végétation intensive		Végétation extensive
	Toiture-jardin	Toiture-jardin légère	Toiture végétalisée
Epaisseur du substrat	≥ 0,25 m	entre 0,1 et 0,25 m	≤ 0,1 m
Poids propre de la toiture verte	≥ 400 kg/m ²	100 à 400 kg/m ²	30 à 100 kg/m ²

31. NAPPI-CHOULET, Ingrid (sous la dir.). ESSEC Business school, *Végétaliser la ville de demain : quel enjeu immobilier ?* 2015. Disponible sur : <<http://chaire-immobilier-developpement-durable.essec.edu/recherches-et-publications/les-cahiers-de-la-chaire/cahier-3>> [Consulté le 29 Juillet 2016]

A. Entreprise et responsabilités

Les professionnels qui posent les toitures végétalisées sont le plus souvent des entreprises qui ont un étancheur. En effet, comme tout un travail d'étanchéité est primordial dans un complexe de toiture végétale, ce sont eux qui les posent. Cependant, ils peuvent faire appel à un paysagistes ou un horticulteurs pour la pose des végétaux. Concernant ces travaux, il existe une garantie décennale qui couvre l'étanchéité et non les plantations.

À la suite de la réception des travaux, l'entreprise propose un contrat d'entretien qui comprend la vérification de l'étanchéité, et l'entretien des végétaux en cas de perte, par exemple. Ce contrat englobe toute la toiture, c'est-à-dire qu'il concerne aussi les zones stériles. Celles-ci sont gravillonnées et situées en bordure de toit, au niveau de l'acrotère, de tout élément en sailli telle qu'un évier, par exemple, ce qui permet de faciliter l'entretien et le remplacement en cas de problème de ces éléments. Ces détails de mise en œuvre sont précisés dans le DTU 43.1. Cependant considéré comme incomplet par le CSFE³², avec la participation de l'Adivet³³ et le CSTB³⁴, des « Règles professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées » ont été éditées, notamment en Novembre 2007 pour une deuxième édition.

Concernant l'entretien, certaines entreprises comme celle de Le Prieuré, grand fournisseur de systèmes de végétalisation détaillent leurs actions. Ainsi, ils interviennent pour désherber, fertiliser, en cas de besoin et de semis en cas de perte. Ils viennent aussi s'assurer du bon écoulement de l'eau en vérifiant l'ensemble des évacuations d'eaux pluviales, ainsi que le fonctionnement du drainage de l'ensemble.

Étant un des plus grands fournisseurs français et même européens, Le Prieuré propose différentes techniques de végétalisation souvent reprises par d'autres professionnels. C'est pourquoi, les différents exemples de végétalisation de toitures, de ce mémoire sont tirés de leurs produits, également parce qu'ils sont les mieux expliqués. Pour toutes les techniques qui vont suivre il faut savoir qu'aucun prix n'a été trouvé.

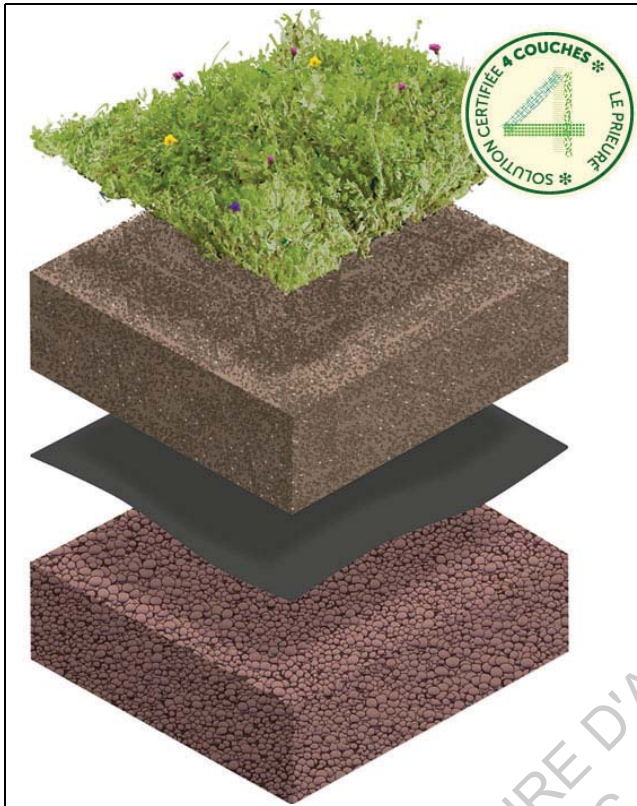
32. Chambre Syndicale Française de l'Étanchéité.

33. Association des toitures et façades végétalisées.

34. Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.

B. Les différentes couches des toitures de Le Prieuré

Toutes les toitures végétalisées de cette société sont composées de ces quatre couches :



1- Les végétaux : leur pose varie en fonction des techniques proposées.

2- Le substrat : composé d'un mélange de matières minérales et organiques. Il a été étudié pour favoriser la rétention d'eau pour une bonne irrigation par l'eau de pluie en été et un bon drainage l'hiver pour éviter le pourrissement des plantes. Enfin, il est prévu pour une longévité d'une dizaine d'années au moins.

3- Le filtre puis la couche drainante : tous deux permettent un meilleur écoulement de l'eau de pluie vers les évacuations. La couche drainante peut elle aussi varier selon la technique de mise en œuvre.

La technique de mise en œuvre du substrat se fait par soufflage comme le montre l'image ci-dessous :



C. Système Hydropack/Acropack

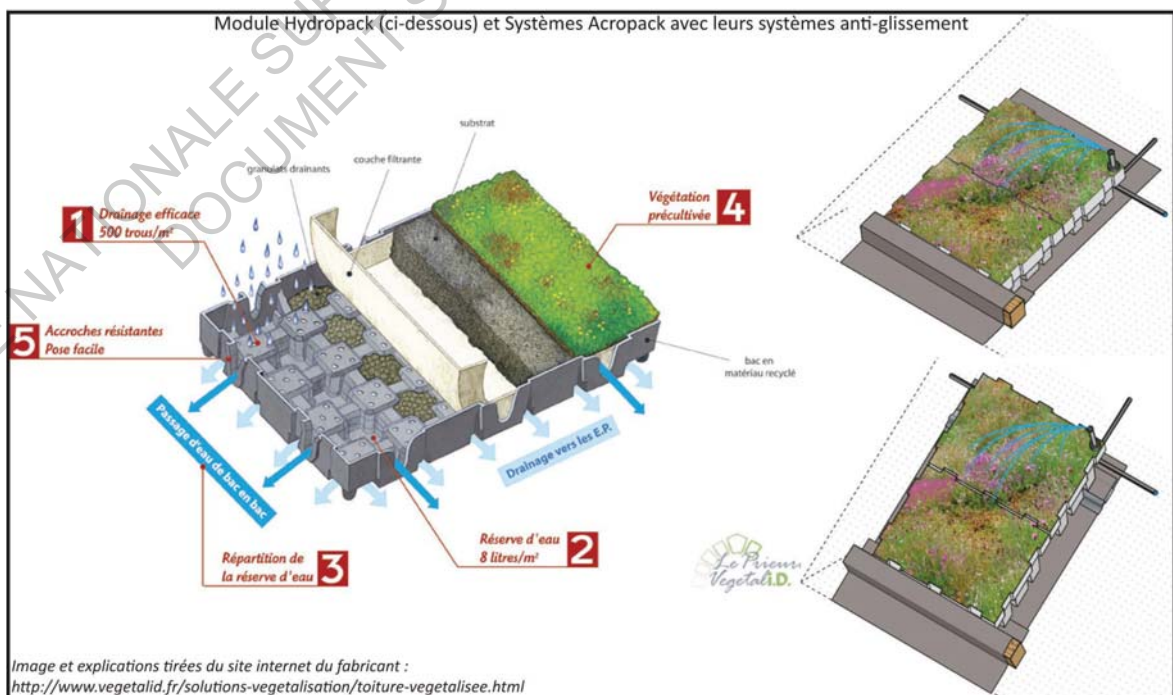
Il s'agit de bacs pré-cultivés qui ont obtenus le premier prix de l'innovation en 2005. Ces bacs regroupent les quatre couches vues précédemment. Ils contiennent une réserve en eau dans des alvéoles situées sous le substrat. Elles comprennent des billes d'argile qui facilitent le drainage. Ces réserves d'eau peuvent contenir jusqu'à 8L/m². Cependant, en cas d'excès d'eau, celle-ci peut s'écouler par les 500 trous/m² situés au fond des bacs. En cas de sécheresse un système d'irrigation par aspersion est aussi installé.

Il existe également un système hydropack light pour les toitures qui n'acceptent que de toutes petites charges de l'ordre de 83kg/m².

La mise en place de ces dispositifs est assez simple puisque les bacs se posent et se clipent entre eux. Les bacs se découpent facilement pour s'adapter à la forme de la toiture. Il est toutefois nécessaire de poser le complexe sur une membrane d'étanchéité anti-racinaire. Le système proposé ici peut s'installer sur toutes sortes de toitures qu'elles soient plates ou en pente allant jusqu'à 20%. Or les toitures traditionnelles peuvent avoir une pente allant jusqu'à 35% dans notre région voire même 45% en zone de montagne. Le Prieuré a donc conçu un système adapté à ce système pour une meilleur accroche sur ce type de pente. Les différents bacs acropack sont plus appropriés pour les toitures en pente.

Acropack 35 est alors étudié pour les pentes allant de 20 à 35%. Au système hydropack s'ajoute un système anti-glissement en bas de pente pour mieux maintenir en place les modules. Quant à l'Acropack 100 qui permet d'atteindre une pente de 100%, un système de retenue dans la pente s'ajoute aux bacs précédents.

Les végétaux proposés pour ces dispositifs sont exclusivement des herbacés ou du sedums, cependant les variétés qui peuvent vivre ensemble sont pré-sélectionnées, selon une palette de couleur et de floraison souhaitée mais également par rapport à l'orientation que peut avoir la toiture. Quel que soit le choix des végétaux, l'entreprise préconise deux visites par an pour l'entretien pour la toiture en module hydropack, alors qu'il en faut quatre pour les bacs acropack. Ainsi, plus la pente est importante plus il est nécessaire de contrôler le système et le développement des végétaux. Ceci est valable pour les différents procédés.



D. ID Mat/AcroMat

Le principe est de pré-cultiver en pépinières pendant six mois les plantes qu'il faudrait installer en toiture. Avant la pose, des tapis sont constitués à partir de ces cultures. Ils peuvent alors être déroulés sur les couches mises en place au préalable, qui sont nécessaires au bon développement de ces végétaux. Pour rappel, il s'agit de quatre couches vu en début de partie.

Cette technique peut aussi s'installer sur tous types de toitures et de bâtiments. Cependant, elles doivent pouvoir supporter une charge un peu plus importante vu que ce complexe a un poids de 110kg/m^2 . Cette méthode peut être mise en œuvre sur des toitures jusqu'à 20% de pente. Dans les cas où la pente est supérieure, tout comme le procédé précédent, l'entreprise a élaboré des techniques pour un meilleur maintien. Il s'agit du système AcroMat. Pour celui-ci, le substrat varie légèrement pour limiter l'érosion due aux écoulements des eaux, à cela s'ajoute des plaques anti-érosion alvéolaire qui limitent aussi le glissement du substrat. Un système anti-glissement en bas de pente est aussi installé. Au-delà de 35% de pente, un système de retenue dans la pente est également ajouté en plus des derniers éléments. La première méthode pour faible pente demande un entretien d'une fréquence d'environ deux fois par an. Toutefois, le second a besoin de quatre visites par an. Ces entretiens concernent la taille des végétaux, le désherbage et nettoyage des zones stériles ainsi qu'une fertilisation si besoin et une vérification des systèmes d'irrigation.



E. ID Fragments

Seules les toitures plates ou ayant un maximum de 10% de pente peuvent accueillir ce procédé. Cependant, la charge de ce dernier est faible puisqu'il est d'environ 95kg/m², au minimum, car le poids varie aussi selon le taux d'humidité. Cette technique n'est pas immédiate puisque après soufflage du substrat, les professionnels mettent en place les semis. Deux méthodes sont possibles. La première est une mise en place des semis de manière manuelle, ainsi il est possible de planter une surface de 2000m² au maximum et le résultat est assez aléatoire. La seconde consiste à mettre en place les fragments par projection hydraulique avec un mélange de colle végétale. Cette mise en œuvre permet de recouvrir de grandes surfaces, supérieures à 1000m², et de garantir un meilleur résultat car la colle végétale et l'eau limite le stress hydrique que les plantes pourrait subir, selon la saison de l'installation. Ces fragments doivent prendre racine pour ensuite former le couvert végétal. Cela peut donc prendre jusqu' à trois ans avant d'avoir une végétalisation complète de la toiture.

Afin de s'assurer d'un bon résultat les deux années qui suivent l'installation quatre entretiens par an sont nécessaires puis deux suffisent. Cette fréquence est liée à un contrôle régulier du bon enracinement des fragments.



Ainsi, ces différents procédés sont assez limités et sont plus efficaces sur des toitures plates. De plus, même si les prix ne sont pas donnés, il est évident que plus la pente est importante plus la mise en œuvre est complexe, avec l'ajout de système de fixation, donc plus le coût sera élevé. Enfin, leurs actions sur la gestion de l'eau et l'environnement reste limité puisque ces dispositifs ont un substrat de faible épaisseur. Or, comme il a été expliqué en début de ce mémoire plus le substrat est épais, plus il est efficace.

VI. AIDES AU DÉVELOPPEMENT DE CES DISPOSITIFS

A. Aides financières

Tous les dispositifs développés dans ce mémoire ont un coût plus ou moins important. Ils ne sont pas nécessaires mais apportent beaucoup de choses vues précédemment. Ainsi, une personne sur deux, d'après le sondage de proximité, ne pense pas en installer en raison du budget que cela demande.

Afin de les promouvoir, déjà en 1986, l'Allemagne apportait un soutien financier pour l'installation de toitures végétalisées, « à hauteur de 51 000 €/an pour une subvention maximale de 17,90€/m² »³⁵. Par la suite, elle a instauré une réduction de taxe dite environnementale. Autre exemple, à Berlin, 60% des dépenses pour ces réalisations ainsi que celles liées au traitement des eaux pluviales sont prises en charge par la ville.³⁶ En France, ces aides apparaissent environ dix ans plus tard. Ceci est dû à l'avance qu'ont nos voisins sur ces techniques et qu'ils ont développés bien plus tôt.

Toutefois, actuellement l'État participe par de multiples aides, et à différents niveaux.

Tout d'abord à échelle nationale, dès le financement, la banque peut fournir un Eco-prêt à taux zéro. Ceci est possible si le demandeur est propriétaire, sans plafond de ressources pour les résidences principales construites avant le 1er Janvier 1990, et avec une condition d'occupation. De plus, si les travaux sont réalisés par un professionnel, la TVA est réduite à 5,5%. Il existait aussi un crédit d'impôt « développement durable », aujourd'hui remplacé par le Crédit d'impôt pour la transition énergétique (Cite). Il participe à hauteur de 30% au montant des travaux, avec un plafond de 8 000€ pour une personne seule ou le double pour un couple. Enfin, des subventions peuvent être demandées à l'Agence nationale de l'Habitat. D'autres aides à échelles régionales ou départementales existent. Par exemple, la région Île-de-France soutient les toitures végétalisées en subventionnant 50% de l'investissement (plafonné à 45€/m²) dans le cas de construction ou de rénovation de logements sociaux. Quant au Conseil Général des Hauts de Seine, il subventionne les travaux de végétalisation sur tout bâtiment, à hauteur de 60% des coûts plafonnés à 48€/m². Enfin, la région Nord Pas de Calais propose un prêt dit « Isolto ». Parfois, certaines communes peuvent aussi aider notamment sur de investissements.

Pour finir, à ce jour, aucune aide connue participe à l'installation de murs végétaux.

35. Extrait de l' Étude pour la définition d'une démarche de développement des toitures végétalisées, Étude réalisée par le cabinet Ernst & Young avec la collaboration du cabinet Eco-Med pour la Direction de l'Environnement et de l'Énergie Nice Côte d'Azur, en 2009.

36. D'après un article Le toit végétal, datant de Février 2008, sur www.notreterre.org

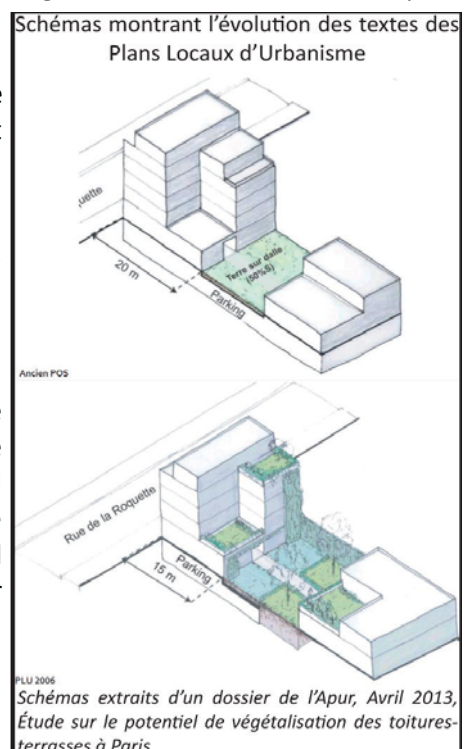
B. Articles de lois

D'après un article « Des carottes sur les toits », du mois de Mars 2016, tiré de la revue lenouveleconomiste.fr, écrit par Antoine Garbay, Paris est une capitale pauvre en espaces verts comparée à ses voisines. En effet, Bruxelles en compterait dix fois plus et Rome cinquante fois plus ! Alors, comment la France peut-elle faire pour améliorer sa situation ?

Premièrement, de multiples lois nationales se sont développées en raison d'une prise de conscience de problèmes écologiques. A partir des années 1990, le concept de développement durable émerge. Ainsi, pour la période 2003-2008, le gouvernement a développé une stratégie nationale de développement durable (SNDD). Par la suite, en 2004 et 2005, un Plan Climat est mis en place. En 2009 et 2010, les lois du Grenelle I et II sont votées, en parallèle est mise en place une stratégie nationale pour la biodiversité (SNB). Le Grenelle de l'environnement II possède 268 engagements dont le numéro 76 qui présente la question de la réintroduction de la nature en ville. Tout cela sensibilise certaines agglomérations, comme Paris.

Des espèces d'oiseaux disparaissent notamment en raison d'une population d'insectes qui diminue tout comme le nombre d'espaces verts. Ainsi, le Plan Biodiversité est voté en 2011. La ville de Paris se donne comme objectif de créer sept hectares de toitures végétalisées d'ici 2020. L'action 9 de ce plan s'intitule « Renforcer les capacités d'accueil de la biodiversité sur les bâtiments ». Elle énonce le but de créer des toits végétalisés sur les équipements publics futurs et à rénover. Cette approche, déjà née en 2005, a permis la création de quatre hectares de toits de ce type en cinq ans. Elle n'est pas méconnue dans nos pays voisins puisque l'Allemagne, à compter de l'année 1998, avait végétalisé 10% de ses toits en dix ans. Cela s'explique aussi par une réduction de la taxe environnementale. Berlin prenait en charge 60% des dépenses pour leur mise en place. Le Plan Biodiversité de Paris possède une autre action intéressante, n°11 « Articuler le plan biodiversité avec les autres plans d'actions parisiens en faveur du développement durable ». En effet, il annonce le départ de plusieurs plans d'actions, que ce soit la modification de textes de loi ou d'urbanisme, ou encore des appels à projets. Par exemple, le Plan Local d'Urbanisme de Paris encourage la végétalisation des bâtiments. D'après l'article UG.11.1.1., sur les constructions existantes, « Lorsque cela est possible, il est recommandé que les pignons, balcons et loggias soient végétalisés. » Cela se retrouve également dans le PADD (Plan d'aménagement et développement durable) au paragraphe 1-B. « Le végétal doit investir de nouveaux espaces comme les clôtures, les façades, les terrasses et les murs pignons d'immeubles ainsi que les multiples recoins aujourd'hui délaissés ».

En Février 2013, au niveau même national, s'applique un nouvel article du Code de l'urbanisme (Art. L111-6-2). Celui-ci empêche tous services instructeurs de s'opposer à un projet possédant une toiture végétalisée même si cela est en désaccord avec le Plan Local d'Urbanisme. Paris inaugure alors sa plus grande toiture végétalisée. Située au-dessus du centre commercial Beaugrenelle (15^{ème} arrondissement), elle s'étale sur 7000m², l'équivalent d'un stade de football. Pour un souci de biodiversité, elle se compose de ruches, de nichoirs afin d'attirer insectes et oiseaux.



C. Démarches, associations et colloques

En réponse à ces textes de lois, certaines agglomérations ont développé des démarches comme des appels à projets ou des propositions d'actions. C'est par exemple le cas de notre capitale avec l'opération « Du vert près de chez nous » lancée en Juillet 2014. La Mairie de Paris donnait la possibilité aux habitants de proposer des idées pour apporter plus de végétation à des endroits bien précis que eux-même désignent. Entre Juillet et Septembre 2014, 1500 contributions ont été relevées, montrant l'intérêt que portent les Parisiens pour la végétalisation de leur ville. Ainsi, fin Juillet, sur le nombre qui avait déjà été reçu 30% portait sur la mise en place de murs végétalisés, 20% pour mettre des bacs de fleurs, 20% pour la plantation de nouveaux arbres et 10% pour des jardinières en pleine terre.

Des experts et la municipalité ont étudié les différentes propositions afin de choisir celles qui ont un véritable intérêt. Celui-ci est déterminé selon différents critères :

- la faisabilité technique
- la superficie
- le type de projet
- le nombre d'habitants placés sur le projet
- la présence d'espaces verts existants ou non
- les priorités données par les maires

A la suite de ces choix, 209 projets ont été sélectionnés. Grâce à ce procédé, fin Juin 2015, douze murs ont été végétalisés sur quarante et un choisis.

En novembre 2015 un appel à projets est lancé celui des « Parisculteurs ». Suite à tout cela 47 sites ont été choisis pour faire l'objet de site d'études pour accueillir des projets capable de végétaliser la ville. Cette fois ce sont des professionnels tels que jardiniers, paysagistes, agriculteurs, entrepreneurs et même architectes qui doivent proposer des projets.

En Janvier 2016, une nouvelle charte voit le jour : « Objectif 100 hectares » que Paris signe avec trente-trois partenaires divers notamment dans le but de développer l'agriculture urbaine. En 2013, l'Apur (Atelier parisien d'urbanisme) réalisant une étude montrant que quarante-quatre hectares de toitures végétalisées existaient, dont 85% dans les arrondissements périphériques (du 12^{ème} au 20^{ème}). Cela s'explique par le système constructif, le béton armé utilisé depuis les années 20 qui rend propice ces installations. Ils ont aussi relevé 460 hectares de toitures plates et minérales. Ils ont retenus quatre-vingt hectares dits « à fort potentiel » en raison d'une surface supérieure à 200m², d'une pente inférieure à 2% et d'une structure capable d'accueillir ce dispositif. Vingt hectares de bâtiments municipaux devrait être végétalisé d'ici 2020.

Afin de promouvoir les dispositifs relatifs aux toits et murs végétalisés, une association est créée en 2002. L'Association pour le Développement et l'Innovation sur la Végétalisation Extensive des Toitures (ADIVET). Comme le montre son intitulé, d'abord intéressé sur le système extensif des toitures, leur démarche s'est développée avec le marché et l'évolution des systèmes. Cette association a plusieurs buts.

Le premier est de regrouper les maîtres d'œuvre, tels que étancheurs, paysagistes, horticulteurs, et même des centres de recherches comme le CSTB³⁷, de formations ou encore divers organisations professionnelles comme l'UNEP³⁸, la FFP³⁹ ou la CSFE⁴⁰. Elle met aussi en évidence toute une liste de fournisseurs capable de répondre à la demande de ces professionnels pour les aider dans la mise en œuvre de leurs produits. Ce regroupement facilite

37. Centre Scientifique des Technique du Bâtiment

38. Union Nationale des Entreprises du Paysages

39. Fédération Française du Paysage

40. Chambre Syndicale Française de l'Étanchéité

la recherche d'intervenants pour les maîtres d'ouvrage qui souhaitent faire appel à leurs services.

Leur deuxième but est de développer des règles professionnelles mieux adaptées à ces dispositifs. En effet, elles ont longtemps été réduite au système d'étanchéité, expliqué dans les DTU (Documents techniques unifiés) de la série 43.1. En partenariat avec la CSFE, ADIVET a instauré les règles professionnelles pour la conception et la réalisation des toitures-terrasses végétalisées.

Enfin, cette association intervient dans le cadre de formation pour accroître le savoir des professionnels. Cela leur permet aussi de se tenir à jour des nouvelles techniques, des innovations et même des recherches qui ont pu être faites.

ADIVET vient aussi à la rencontre du grand public pour leur faire davantage connaître ces procédés techniques qui peuvent effrayer. Comme l'a montré l'enquête de proximité, beaucoup s'inquiètent du budget, de la technicité et de l'entretien. Afin de les rassurer, elle propose des visites de sites sur lesquels travaillent notamment les entreprises partenaires. Les intervenants peuvent alors répondre aux questions de manière concrète. Elle participe souvent à des événements qui met en évidence les techniques de développement de la végétalisation de la ville. Ainsi, elle est souvent présente à des conférences, ou colloques, que ce soit en tant que partenaire ou même intervenant. En cherchant, il est possible de voir que les colloques sur ce sujet se multiplient. Il y en a d'ailleurs deux à la fin du mois de Septembre 2016. En général, les thèmes qu'ils abordent sont : Comment végétaliser la ville ?, Quels apports pour la gestion des eaux pluviales ? Peut-elle améliorer l'inconfort thermique ou acoustique ? Est-elle un atout pour la biodiversité ? Tous ces colloques regroupent de nombreuses conférences tenues par des représentants de centres scientifiques ou de professionnels de ces dispositifs, ou encore urbanistes, architectes et paysagistes. Le but est de familiariser le public avec cette idée et leur faire comprendre l'importance de cette démarche. Il s'agit de les sensibiliser à tous ce que cela apporte mais aussi à tous les problèmes qui peuvent être limités voire évités.

Pour finir, les personnes qui sont davantage intéressées par tout ceci ont aussi la possibilité de s'informer grâce à des publications d'organismes divers comme l'UNEP. Ces publications informent souvent sur les nouveautés de recherche ou même sur des enquêtes publiques réalisées. Celles-ci peuvent faire prendre conscience de certaines choses et même renseigner sur l'opinion publique, qui peut parfois surprendre. D'autres ouvrages de plus grande importance peuvent aussi apporter d'autres réponses. Des exemples sont donnés en bibliographie. Ces livres visent autant les particuliers que les professionnels, d'autres visent surtout les professionnels en donnant des apports plus techniques, comme ceux édités par le CSTB.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

CONCLUSION

La végétation est attrayante et les citoyens en sont demandeurs. Elle permet une meilleure qualité de vie, d'un point de vue sanitaire, social et même environnemental. Ainsi, plusieurs dispositifs sont mis en place et soutenus par des actions politiques ou financières. Cependant, dans une idée de requalification de la ville existante les procédés sont plus limités tout comme les qualités qu'ils peuvent apporter. De plus, tous ces systèmes posent encore beaucoup de questions, sur les qualités qu'ils offrent et leur durabilité. Enfin, le but de l'architecte est de savoir comment bien les utiliser pour qu'ils y trouvent leur intérêt. Comme l'explique Édouard François, lors d'un entretien pour les « Cahiers de la Chaire immobilière et développement durable » de 2015, « *Il n'est pas rare que les esquisses d'immeubles incluent de grands coups de crayons vert, sans que l'architecte ne se soit réellement soucié du sens ni des fonctions de ce verdissement* ». C'est donc une des difficultés de l'architecte de bien cerner l'impact de cette végétalisation autant sur l'environnement qui entoure le bâtiment étudié, que sur l'architecture elle-même. L'utilisation du végétal ne doit pas faire écran à l'édifice mais le rendre plus agréable.

Tous les bâtiments doivent-ils être végétalisés ? Jusqu'où devons-nous développer ces idées ? Quelle sera réellement la ville de demain ?



VII. ANNEXES

A. Sondage

Questionnaire pour une étude dans le cadre d'un mémoire en 4^{ème} année d'École d'Architecture à Toulouse.

Les réponses peuvent être multiples.

1. Dans quelle tranche d'âge vous situez-vous ?
 20-30 Ans 30-40 Ans 40-50 Ans 50 ans et +
2. Habitez-vous :
 Un appartement Une maison
3. Avez-vous un espace extérieur ?
 Un balcon Une terrasse Un jardin : Quel superficie ? m² Aucun
4. Ces espaces sont-ils plantés , que ce soit en pot ou en terre ?
 Beaucoup Un peu Pas du tout

Si oui, pourquoi ? Parce que c'est :

- Esthétique Relaxant Fonctionnel (potager,...)
 Une occupation Un apport de fraîcheur

Si non, pourquoi ? Pour des raisons :

- Esthétique D'entretien D'usage, de place De budget

5. Comment vous sentez-vous en ville ?
 Bien Stressé(e) Angoissé(e) Oppressé(e)
6. En cas de mal-être en ville, recherchez-vous refuge dans un parc, un square ?
 Souvent De temps en temps Pas du tout
7. Pensez-vous qu'il est possible d'améliorer nos villes en végétalisant des toits et/ou des murs ?

Oui, pour :

- Mieux gérer les eaux de pluies
 Apporter plus de fraîcheur l'été
 Mieux isoler les bâtiments
 Améliorer l'esthétique des espaces urbains
 Permettre de se sentir mieux

Non, pourquoi ? :

8. Pensez-vous mettre en place un de ces procédés (toit végétalisé ou mur végétalisé) ?

- Oui Non, pour des raisons de : Mise en place
 Budget
 Entretien
 Esthétique

Exemple de réponse

**Questionnaire pour une étude dans le cadre d'un mémoire en 4^{ème} année
d'Ecole d'Architecture à Toulouse.**

Les réponses peuvent être multiples.

1. Dans quelle tranche d'âge vous situez-vous ?
 20-30 Ans 30-40 Ans 40-50 Ans 50 ans et +
2. Habitez-vous :
 Un appartement Une maison
3. Avez-vous un espace extérieur ?
 Un balcon Une terrasse Un jardin : Quel superficie ? m² Aucun
4. Ces espaces sont-ils plantés , que ce soit en pot ou en terre ?
 Beaucoup Un peu Pas du tout

Si oui, pourquoi ? Parce que c'est :

- Esthétique Relaxant Fonctionnel (potager,...)
 Une occupation Un apport de fraîcheur

Si non, pourquoi ? Pour des raisons :

- Esthétique D'entretien D'usage, de place De budget

5. Comment vous sentez-vous en ville ?
 Bien Stressé(e) Angoissé(e) Oppressé(e)
6. En cas de mal-être en ville, recherchez-vous refuge dans un parc, un square ?
 Souvent De temps en temps Pas du tout
7. Pensez-vous qu'il est possible d'améliorer nos villes en végétalisant des toits et/ou des murs ?

Oui, pour :

- Mieux gérer les eaux de pluies
 Apporter plus de fraîcheur l'été
 Mieux isoler les bâtiments
 Améliorer l'esthétique des espaces urbains
 Permettre de se sentir mieux

Non, pourquoi ? :

8. Pensez-vous mettre en place un de ces procédés (toit végétalisé ou mur végétalisé) ?

- Oui Non, pour des raisons de :
 Mise en place
 Budget
 Entretien
 Esthétique

Tableau récapitulatif des réponses

Réponses	Tranche d'âge 20-30-40-50-60	Habitat		Espace extérieur			Plants		Oui			Non			Sensations en ville			Régère dans un parc			Végétalisation de la ville - amélioration			Mette en place de ces procédés													
		Appt	Maison	Balcon	Terrasse	Jardin	Acum	Besuclop	Ugly	Pas su tout	Esthétique	Raisant	Fonctionnel	Occupation	Fracheur	Esthétique	Dymension	D'usage	De budget	Bien	Stress	Agrosak	Oppressif	Souvent	Un peu	Pas du tout	Contrôl EP	Fracheur et labonrabil	Esthétique	Éta mieux	Non	Oui	Mais en place	Budget	Esthétique		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Totaux	12	19	5	2	10	28	7	12	28	0	13	23	2	29	18	19	8	11	0	2	2	2	4	19	9	14	29	21	25	20	1	4	18	21	18	1	
%	32	50	13	5	26	74	18	32	74	0	34	61	5	76	47	50	21	29	0	5	5	5	50	24	37	76	55	66	53	3	11	47	55	47	3		

B. Tableau des dispositifs auquel l'architecte peut intervenir

Par quels moyens ?	Faisabilité ?	Intervenant possible ?
A l'échelle du bâtiment		
Toit végétalisé	Soit prévu dès la réalisation pour le calcul de la structure, soit en rénovation bien déterminer la structure et sa capacité à porter car dispositifs parfois lourds. Difficile à mettre en place dans des bâtiments collectifs, en raison du coût et de l'entretien.	Architecte /Paysagiste/BET
Murs végétalisés	Mise en œuvre mal maîtrisée, manque de formation, dispositif récent > Prise de risque Réglementation urbaines pas toujours favorables	Architecte /Paysagiste/BET
Parois végétales	Simple à mettre en place par un individu sans expérience particulière ou dispositif prévu en amont de la réalisation.	Architecte /Paysagiste/Particulier
Jardinières et balcons	Mise en place sur un espace privé ou commune si acceptation de tous, etc...	Architecte /Paysagiste/Particulier

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

VIII. BIBLIOGRAPHIE

ADEME. CENTRE DE RESSOURCES POUR LES PLANS CLIMAT-ENERGIE TERRITORIAUX, *Programme de végétalisation de Paris*. Paris, 31 Mars 2016. Disponible sur : < <http://observatoire.pcet-ademe.fr/action/fiche/67/programme-de-vegetalisation-de-paris> > [Consulté le 8 Avril 2016]

ADIVT. ÉCOHABITAT-9, *Eco-habitat : les toitures végétalisées vont pouvoir fleurir*. 13 Février 2013. Disponible sur : < <http://ecohabitat-9.trouver-un-logement-neuf.com/infos/eco-habitat-toitures-vegetalisees-inopposables-2479.html> > [Consulté le 14 Juin 2016]

ALBA, Dominique (sous la dir.). APUR, *Étude sur le potentiel de végétalisation des toitures terrasses de Paris*. Paris, Avril 2013. Disponible sur : <http://www.apur.org/sites/default/files/documents/vegetalisation_toitures_terrasses.pdf > [Consulté le 16 Juillet 2016]

ALBERT, Laurence. LES ECHOS, *Paris veut végétaliser ses murs et ses toits*. Paris, 28 Octobre 2015. Disponible sur : < http://www.lesechos.fr/28/10/2015/LesEchos/22054-356-ECH_paris-veut-vegetaliser-ses-murs-et-ses-toits.htm > [Consulté le 2 Mai 2016]

ALBERT, Marie-Douce. LE MONITEUR, « *Paris doit aller plus loin pour renforcer la place de la nature en ville* », Pénélope Komitès, *Mairie de Paris*. Paris, 22 Mars 2016. Disponible sur : < <http://www.lemoniteur.fr/article/paris-doit-aller-plus-loin-pour-renforcer-la-place-de-la-nature-en-ville-penelope-komites-mairie-de-31838182> > [Consulté le 16 Juin 2016]

ALLAMAN, Martine. Pour une ville qui respire. *Diagonale*, Juin 2009, n°179, p. 52-54.

Auteur inconnu. NOTRE TERRE, L'info écologique au quotidien. *Le toit végétal*. 9 Février 2008. Disponible sur : < <http://www.notreterre.org/article-16474316.html> >. [Consulté le 5 Avril 2016]

Auteur inconnu. CSTB, *Le futur en construction*. 2007. Disponible sur : < <http://www.cstb.fr/archives/webzines/editions/19-fevrier-2008/toitures-vegetalisees-une-contribution-au-developpement-durable.html> >. [Consulté le 5 Avril 2016]

Auteur inconnu. CSTB, *Toitures végétalisées : une contribution au développement durable*. 5 Décembre 2007. Disponible sur : < <http://www.cstb.fr/archives/webzines/editions/decembre-2007/toitures-vegetalisees-une-contribution-au-developpement-durable.html> >. [Consulté le 9 Juillet 2016]

Auteur inconnu. BIODIVERSITÉ-POSITIVE, *Optimisation de la biodiversité sur les toitures végétalisées*. Octobre 2011. Disponible sur : <<http://www.biodiversite-positive.fr/wp-content/uploads/2011/10/Toitures-v%C3%A9g%C3%A9talises-05-janv.pdf> > [Consulté le 12 Juillet 2016]

BLANC, Patrick. *Le mur végétal : de la nature à la ville*. Paris. Michel Lafon, Nov 2011 . 208 p.

BONHOMME Marion, *Cours sur l'ilôt de chaleur urbain*, dans le cadre d'un enseignement à l'ENSA de Toulouse en Master 1, l'année 2014-2015.

BOUTEFEU, Emmanuel. *Composer avec la nature en ville.*, Paris. La Documentation Française, Mars 2001, n°19. 375 p.

BOUTEFEU, Emmanuel (sous la dir.). *Aménager le végétal : Pour des espaces verts durables*. Paris. La Documentation Française, 2011. 340 p.

CHOCAT Bernard, « Mieux intégrer la gestion de l'eau dans la ville : un enjeu de gestion durable », Conférence présentée dans le cadre d'un cycle de conférence, à l'INSA de Toulouse, le 3 Décembre 2015

Collectif. Dossier: Le retour du végétal. *Les cahiers techniques du bâtiment*, Octobre 2008, n°282, p .42 -65

CSTB (sous la dir.), *Contribution au confort urbain*. Décembre 2007. Disponible sur : <<http://www.cstb.fr/archives/fileadmin/documents/webzines/2007-12/pdf/contribution-confort-urbain.pdf> > [Consulté le 8 Juillet 2016]

CSTB (sous la dir.), *Le marché et ses acteurs*. Décembre 2007. Disponible sur : <<http://www.cstb.fr/archives/fileadmin/documents/webzines/2007-12/pdf/toiture-vegetalisee-marche-acteurs.pdf> > [Consulté le 16 Juillet 2016]

CSTB (sous la dir.), *Végétalisation de toitures et terrasses, de quoi s'agit-il ?* Décembre 2007. Disponible sur : <<http://www.cstb.fr/archives/fileadmin/documents/webzines/2007-12/pdf/toiture-vegetalisee-historique-enjeux-avantages-chiffres-cles.pdf> > [Consulté le 16 Juillet 2016]

CUNY Marie-Amélie, *Implantation de végétation en ville : quels sont les enjeux pour l'environnement, la santé et les pistes d'actions ?*. Rennes, 26 Novembre 2014. Disponible sur : <http://www.sfse.org/userfiles/files/Congres_2014/Presentations_du_congres_2014/1_3_Marie-Am%C3%A9lie_Cuny_2014_11_26.pdf > [Consulté le 8 Juillet 2016]

DE LA CHESNAY, Eric. LE FIGARO, *La Mairie de Paris cherche des espaces à végétaliser*. Paris, 23 Juillet 2014. Disponible sur : <<http://www.lefigaro.fr/jardin/2014/07/23/30008-20140723ARTFIG00104-la-mairie-de-paris-cherche-des-espaces-a-vegetaliser.php> > [Consulté le 2 Mai 2016]

DAURES, Jean-François. *Architecture végétale*. Paris. Eyrolles, 2011. 250 p.

EYME, Alicia. SLIDESHARE, *Ville en vert, ville en vie : Un nouveau modèle de société*. Paris, 24 Mars 2016. Disponible sur : <<http://fr.slideshare.net/mcarcreff/ville-en-vert-ville-en-vie-un-nouveau-mode-de-socit?ref=http://www.observatoirevillesvertes.fr/> > [Consulté le 26 Juin 2016]

GARBAY, Antoine. LE NOUVEL ECONOMISTE, *Des carottes sur les toits*. Paris, 4 Mars 2016. Disponible sur : <<http://www.lenouveleconomiste.fr/des-carottes-sur-les-toits-30015/> > [Consulté le 14 Juin 2016]

GARRIC, Audrey. LE MONDE, *Les toits verts se multiplient dans les villes françaises*. Paris, 6 Avril 2016. Disponible sur : <http://www.lemonde.fr/planete/article/2013/04/06/les-toits-verts-se-multiplient-dans-les-villes-francaises_3155246_3244.html > [Consulté le 2 Mai 2016]

GROLLEAU, VIRGINE. LE NOUVEL OBSERVATEUR, *Une charte pour végétaliser 100 hectares de toits et murs à Paris*. Paris, 12 Janvier 2016. Disponible sur : <tempsreel.nouvelobs.com/immobilier/vieurbaine/20160112.OBS2627/une-charte-pour-vegetaliser-100-hectares-de-toits-et-murs-a-paris.html > [Consulté le 2 Mai 2016]

HEGOBURU, Jean-Pierre. lors de sa conférence du 29 Octobre 2015, à l'ENSA de Toulouse dans le cadre de l'enseignement du séminaire « Architecture, Environnement et Paysage »

JUGUE, Loïc. PIXIFLORE, *Le jardin sur le toit*. Paris, Juillet-Septembre 2015. Disponible sur : <<http://www.pixiflore.com/webmag-environnement/juillet-septembre-2015/environnement/environnement.htm> > [Consulté le 20 Mai 2016]

KAREL DE CUYPER (sous la dir.). CSTC, *Toitures vertes : évacuation des eaux pluviales*. Paris, Décembre 2007. Disponible sur : <<http://www.cstb.fr/archives/fileadmin/documents/webzines/2007-12/pdf/toitures-vertes-evacuation-eaux-pluviales.pdf> > [Consulté le 16 Juillet 2016]

Des dispositifs de végétalisation du bâti existant

KAREL DE CUYPER (CSTC) , *Eau de pluie de toitures végétalisées : qualité, rétention et effet retard*. Paris, 5 Décembre 2007. Disponible sur : <<http://www.cstb.fr/archives/fileadmin/documents/webzines/2007-12/pdf/eau-de-pluie-toitures-vegetalisees.pdf> > [Consulté le 17 Juillet 2016]

KLEIBER, Marie-Anne. EUROPE1, *Paris va verdier des trottoirs jusqu'aux balcons*. 21 Mars 2016. Disponible sur : <<http://www.lejdd.fr/JDD-Paris/Paris-va-verdier-des-trottoirs-jusqu-aux-balcons-777819> > [Consulté le 16 juin 2016]

Mairie de Paris, *Appel à projets pour les parisculteurs*. Paris, Janvier 2016. Disponible sur : <<http://www.paris.fr/parisculteurs> > [Consulté le 8 Avril 2016]

Mairie de Paris, *Du vert près de chez moi*. Paris, Mars 2016. Disponible sur : <http://www.paris.fr/duvertpresdechezmoi#du-vert-pres-de-chez-moi_3 > [Consulté le 8 Avril 2016]

Mairie de Paris. *PLU, Zone urbaine générale*. Paris, Juillet 2016. 70p. Disponible sur : <http://pluenligne.paris.fr/plu/sites-plu/site_statique_37/documents/772_Plan_Local_d_Urbanisme_de_P/778_Reglement/780_Tome_1_Reglements_par_zon/C_REG1UG-V13.pdf > [Consulté le 24 Juillet 2016]

Mairie de Paris, *Toitures végétalisées, Cahier technique*. 2012. Disponible sur : <<https://api-site.paris.fr/images/120425.pdf> > [Consulté le 29 Juillet 2016]

Mairie de Paris, *Végétalisation des murs et des toits*. Septembre 2014. Disponible sur : <<http://api-site-cdn.paris.fr/images/71023> > [Consulté le 29 Juillet 2016]

MASSON Valéry, *Analyse des scénarios ACCLIMAT pour l'agglomération toulousaine*. Toulouse, 2015. Disponible sur : <<http://lra.toulouse.archi.fr/lra/activites/projets/acclimat/fiche-4> > [Consulté le 20 Décembre 2015]

MOLLIE, Caroline. *Des arbres dans la ville : l'urbanisme végétal*. Arles. Actes Sud Cité Verte, 2009. 256 p.

NAPPI-CHOULET, Ingrid (sous la dir.). ESSEC Business school, *Végétaliser la ville de demain : quel enjeu immobilier ?* 2015. Disponible sur : <<http://chaire-immobilier-developpement-durable.essec.edu/recherches-et-publications/les-cahiers-de-la-chaire/cahier-3> > [Consulté le 29 Juillet 2016]

PARIS Magali, « Parois végétales, parois sensibles ? », mardi 26 octobre 2010, Conférence présentée à l'ENSA de Toulouse, dans le cadre du séminaire « Architecture, environnement et paysage »

PARIS Magali, « Les paysages intermédiaires, les espaces jardinables de la rue à la maison », Décembre 2015, Conférence présentée à l'ENSA de Toulouse, dans le cadre du séminaire « Architecture, environnement et paysage »

PUYO Jean-Yves, « De l'eau aux paysages de l'habiter...des lieux à révéler », 7 Avril 2016, Conférence présentée à l'ENSA de Toulouse, dans le cadre du séminaire « Architecture, environnement et paysage »

ROGER, Patrick. LE MONDE, *Tout comprendre de la hausse de la taxe foncière*. 25 Septembre 2015. Disponible sur : <http://www.lemonde.fr/politique/article/2015/09/25/tout-comprendre-de-la-hausse-de-la-taxe-fonciere_4771605_823448.html > [Consulté le 26 Juin 2016]

SABRE Maëva et DEFANCE Jérôme. Végétalisation des toitures et des façades-Améliorer les ambiances sonores et atténuer les îlots de chaleur. *Echo Bruit, le magazine de l'environnement sonore*. Paris, Mai 2016, n°149, p. 35-39

TETARD Mathieu, *Le sauvage dans la ville*. Toulouse, 2012 Disponible sur : <http://memoires.sciencespo-toulouse.fr/uploads/memoires/2012/5A/memoire_TETARD-MATTHIEU.pdf > [Consulté le 24 Novembre 2015]

THIBAUDON Michel et CUNY Marie-Amélie, *Végétation, qualité de l'air et aménagement urbain*. Nord-Pas-de-Calais, 16 Octobre 2012. Disponible sur : <http://www.appa.asso.fr/_docs/7/fckeditor/file/Manifestation/121016/Cuny_Thibaudon.pdf > [Consulté le 14 Novembre 2015]

VU Brigitte (CSTB), *La nouvelle donne en matière de gestion des eaux*. 25 Septembre 2007. Disponible sur : <<http://www.cstb.fr/archives/fileadmin/documents/webzines/2007-12/pdf/nouvelle-donne-gestion-des-eaux.pdf> > [Consulté le 17 Juillet 2016]

VERMANDEL (CSFE), *Étanchéité : les critères de réussite*. 5 Décembre 2007. Disponible sur : <<http://www.cstb.fr/archives/fileadmin/documents/webzines/2007-12/pdf/etancheite-criteres-de-reussite.pdf> > [Consulté le 29 Juillet 2016]

Site internet du fabricant LePrieuré : <http://www.vegetalid.fr/> [Consulté le 15 Juin 2016]

Site internet du fabricant Greenwall : <http://www.greenwall.fr/le-procede-vegetalis/> [Consulté le 4 Mai 2016]

Site internet du fabricant de Modulogreen : <http://www.modulogreen.com/modulo/index.php> [Consulté le 25 Juin 2016]

IX. TABLE DES MATIÈRES

Sommaire.....
Introduction.....	5
I.État de l'art.....	8
II.Apports de cette végétation.....	12
A.Un besoin de végétation déjà ancien.....	12
B.Confort social et psychologique.....	14
C.Confort urbain environnemental.....	15
a.Qualité de l'air.....	15
b.Gestion de l'eau.....	18
c.Îlot de chaleur urbain.....	20
d.Un atout pour la biodiversité.....	22
III.Les parois végétales.....	24
IV.Les façades végétalisées.....	26
A.Entreprise et responsabilité.....	26
B.Placage en un seul tenant, Dispositif de Patrick Blanc.....	27
a.Présentation de l'inventeur.....	27
b.Éléments constitutifs et mise en œuvre.....	28
c.Entretien et coût.....	29
B.Placage modulaire, deux exemples.....	31
a.Modulogreen.....	31
1. Éléments constitutifs et mise en œuvre.....	31
2. Entretien et coût.....	32
b.Vertipack.....	33
1. Éléments constitutifs et mise en œuvre.....	33
2. Entretien et coût.....	34
c.Végétalis.....	35
1. Éléments constitutifs et mise en œuvre.....	35
2. Entretien et coût.....	35
C.Habillage, unité constructive, Système Géomoss.....	36
a.Éléments constitutifs et mise en œuvre.....	36
b.Entretien et coût.....	36
D.Tableau comparatif des systèmes étudiés.....	37
V.Les toitures végétalisées.....	38
A.Entreprise et responsabilités.....	39
B.Les différentes couches des toitures de Le Prieuré.....	40
C.Système Hydropack/Acropack.....	41
D.ID Mat/AcroMat.....	42
E.ID Fragments.....	43
VI.Aides au développement de ces dispositifs.....	44
A.Aides financières.....	44
B.Articles de lois.....	45
C.Démarches, associations et colloques.....	46
Conclusion.....	48
VII.Annexes.....	49
A.Sondage.....	49
B.Tableau des dispositifs auquel l'architecte peut intervenir.....	52
VIII.Bibliographie.....	53
IX.Table des matières.....	57

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR