

**UNIVERSITE DE ROUEN**  
**UFR DE MEDECINE ET DE PHARMACIE**

2014 / 2015

N°

**THESE**  
**pour le DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR**  
**EN PHARMACIE**

Présentée et soutenue publiquement

le 23 Janvier 2015

par

***Sankari Emilie Rizan***

Née le 07/04/1986 à Jisir (Syrie)

***Végétalisation des toits et murs urbains.***

***Application à l'officine.***

Président du jury :

*Mme Elisabeth SEGUIN, Professeur de Pharmacognosie*

Membres du jury :

*Mlle Marie-Laure GROULT, Maître de Conférences en Botanique*

*Mr Francis DURAN, Docteur en Pharmacie*

# Remerciements

En tout premier lieu, je tiens à débiter ces remerciements  
par ma gratitude envers Dieu tout puissant,  
pour m'avoir donné la foi,  
pour m'avoir accordé la force et la patience de terminer mes études par ce travail,  
et pour la capacité qu'il m'a donné à toujours aller de l'avant.

# Remerciements

A **Madame Elisabeth Seguin**, Présidente du jury,

Vous m'avez fait l'honneur de bien vouloir juger ce travail,  
veuillez recevoir l'expression de mes sincères remerciements et de mon profond respect.

A **Mademoiselle Marie-Laure Groult**, Directrice de thèse et membre du jury,

Pour ce sujet de thèse, à la fois novateur et original,  
pour votre aide dans la correction de ce travail, et ce malgré la période des fêtes,  
je vous remercie très sincèrement.

A **Monsieur Francis Duran**, Membre du jury,

Je vous remercie pour l'intérêt que vous portez à ce sujet et pour votre présence dans ce jury. Dynamiques et professionnels, vous ainsi que votre femme et votre équipe, m'ont fait redécouvrir la pharmacie. Vous m'avez permis de me former, et grâce à votre devise « Je bosse à la puissance 3 » j'ai pu atteindre mes objectifs.  
Je vous remercie profondément pour votre accueil, votre soutien et votre disponibilité.

A ma **Famille**, mes parents, mon frère et mes sœurs,

ils m'ont entouré et apporté du courage, ce qui m'a permis de garder la foi, la volonté,  
et d'aller toujours de l'avant.

Pour leur confiance, leur patience et leur soutien durant mes longues années d'étude,  
je leur adresse mes plus sincères remerciements.

A mes **très chères Amies**, venant d'horizons divers,  
toujours présentes depuis de nombreuses années,  
A tous mes **Amis de la faculté**, avec qui j'ai partagé les bancs des amphithéâtres,  
Je vous remercie tous chaleureusement, pour votre présence et vos encouragements.

Je tiens également à adresser mes remerciements à :

**Madame Françoise Maupas et Monsieur Hervé Maupas**, titulaires à Rouen,  
qui ont été les premiers à me faire découvrir le monde officinal,

**Mademoiselle Louise Quillien**, historienne et amie, pour avoir participé  
à la correction de ce travail,

**Madame Pascale Saugier-Veber**, MCU-PH du laboratoire de Génétique, que je tiens en  
grand estime et dont la rencontre durant un stage m'a beaucoup apportée, la passion pour  
son domaine et la rigueur dans son travail m'ont émerveillé.

**Monsieur Richard Grassin Delye**, directeur de VGTal 3Design, qui a accepté  
d'apporter son aide pour me permettre de réaliser ce travail.

**Merci également à tous ceux que je ne peux citer, qui m'ont apporté courage  
et soutien au quotidien.**

**L'Université de Rouen et l'UFR de Médecine et de Pharmacie de Rouen n'entendent  
donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse.**

**Ces opinions sont propres à leurs auteurs.**

**ANNEE UNIVERSITAIRE 2014 - 2015**  
**U.F.R. DE MEDECINE ET DE-PHARMACIE DE ROUEN**

---

DOYEN : **Professeur Pierre FREGER**

ASSESEURS : **Professeur Michel GUERBET**  
**Professeur Benoit VEBER**  
**Professeur Pascal JOLY**  
**Professeur Stéphane MARRET**

<b>I – MEDECINE</b>
---------------------

**PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS**

Mr Frédéric <b>ANSELME</b>	HCN	Cardiologie
Mme Isabelle <b>AUQUIT AUCKBUR</b>	HCN	Chirurgie plastique
Mr Bruno <b>BACHY</b> ( <i>surnombre</i> )	HCN	Chirurgie pédiatrique
Mr Fabrice <b>BAUER</b>	HCN	Cardiologie
Mme Soumeya <b>BEKRI</b>	HCN	Biochimie et biologie moléculaire
Mr Jacques <b>BENICHOU</b>	HCN	Bio statistiques et informatique médicale
Mr Jean-Paul <b>BESSOU</b>	HCN	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
Mme Françoise <b>BEURET-BLANQUART</b> ( <i>surnombre</i> )	HCN	Commission E.P.P. D.P.C. Pôle Qualité
Mr Guy <b>BONMARCHAND</b> ( <i>surnombre</i> )	HCN	Réanimation médicale
Mr Olivier <b>BOYER</b>	UFR	Immunologie
Mr Jean-François <b>CAILLARD</b> ( <i>surnombre</i> )	HCN	Médecine et santé au travail
Mr François <b>CARON</b>	HCN	Maladies infectieuses et tropicales
Mr Philippe <b>CHASSAGNE</b>	HCN	Médecine interne (gériatrie)
Mr Vincent <b>COMPERE</b>	HCN	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale
Mr Antoine <b>CUVELIER</b>	HB	Pneumologie
Mr Pierre <b>CZERNICHOW</b>	HCH	Epidémiologie, économie de la santé
Mr Jean-Nicolas <b>DACHER</b>	HCN	Radiologie et imagerie médicale
Mr Stéfan <b>DARMONI</b>	HCN	Informatique médicale et techniques de communication

Mr Pierre <b>DECHELOTTE</b>	HCN	Nutrition
Mme Danièle <b>DEHESDIN</b> ( <i>surnombre</i> )	HCN	Oto-rhino-laryngologie
Mr Frédéric <b>DI FIORE</b>	CB	Cancérologie
Mr Fabien <b>DOGUET</b>	HCN	Chirurgie Cardio Vasculaire
Mr Jean <b>DOUCET</b>	SJ	Thérapeutique - Médecine interne et gériatrie
Mr Bernard <b>DUBRAY</b>	CB	Radiothérapie
Mr Philippe <b>DUCROTTE</b>	HCN	Hépatogastro-entérologie
Mr Frank <b>DUJARDIN</b>	HCN	Chirurgie orthopédique - Traumatologique
Mr Fabrice <b>DUPARC</b>	HCN	Anatomie - Chirurgie orthopédique et traumatologique
Mr Eric <b>DURAND</b>	HCN	Cardiologie
Mr Bertrand <b>DUREUIL</b>	HCN	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale
Mme Hélène <b>ELTCHANINOFF</b>	HCN	Cardiologie
Mr Thierry <b>FREBOURG</b>	UFR	Génétique
Mr Pierre <b>FREGER</b>	HCN	Anatomie - Neurochirurgie
Mr Jean François <b>GEHANNO</b>	HCN	Médecine et santé au travail
Mr Emmanuel <b>GERARDIN</b>	HCN	Imagerie médicale
Mme Priscille <b>GERARDIN</b>	HCN	Pédopsychiatrie
Mr Michel <b>GODIN</b> ( <i>surnombre</i> )	HB	Néphrologie
M. Guillaume <b>GOURCEROL</b>	HCN	Physiologie
Mr Philippe <b>GRISE</b> ( <i>surnombre</i> )	HCN	Urologie
Mr Olivier <b>GUILLIN</b>	HCN	Psychiatrie Adultes
Mr Didier <b>HANNEQUIN</b>	HCN	Neurologie
Mr Fabrice <b>JARDIN</b>	CB	Hématologie
Mr Luc-Marie <b>JOLY</b>	HCN	Médecine d'urgence
Mr Pascal <b>JOLY</b>	HCN	Dermato - Vénérologie
Mme Annie <b>LAQUERRIERE</b>	HCN	Anatomie et cytologie pathologiques
Mr Vincent <b>LAUDENBACH</b>	HCN	Anesthésie et réanimation chirurgicale
Mr Xavier <b>LE LOET</b>	HCN	Rhumatologie
Mr Joël <b>LECHEVALLIER</b>	HCN	Chirurgie infantile
Mr Hervé <b>LEFEBVRE</b>	HB	Endocrinologie et maladies métaboliques
Mr Thierry <b>LEQUERRE</b>	HB	Rhumatologie
Mr Eric <b>LEREBOURS</b>	HCN	Nutrition
Mme Anne-Marie <b>LEROI</b>	HCN	Physiologie
Mr Hervé <b>LEVESQUE</b>	HB	Médecine interne
Mme Agnès <b>LIARD-ZMUDA</b>	HCN	Chirurgie Infantile
Mr Pierre Yves <b>LITZLER</b>	HCN	Chirurgie cardiaque
Mr Bertrand <b>MACE</b>	HCN	Histologie, embryologie, cytogénétique
M. David <b>MALTETE</b>	HCN	Neurologie
Mr Christophe <b>MARGUET</b>	HCN	Pédiatrie

Mme Isabelle <b>MARIE</b>	HB	Médecine interne
Mr Jean-Paul <b>MARIE</b>	HCN	Oto-rhino-laryngologie
Mr Loïc <b>MARPEAU</b>	HCN	Gynécologie - Obstétrique
Mr Stéphane <b>MARRET</b>	HCN	Pédiatrie
Mme Véronique <b>MERLE</b>	HCN	Epidémiologie
Mr Pierre <b>MICHEL</b>	HCN	Hépatogastro-entérologie
Mr Bruno <b>MIHOUT</b> ( <i>surnombre</i> )	HCN	Neurologie
Mr Jean-François <b>MUIR</b>	HB	Pneumologie
Mr Marc <b>MURAINÉ</b>	HCN	Ophthalmologie
Mr Philippe <b>MUSETTE</b>	HCN	Dermatologie - Vénérologie
Mr Christophe <b>PEILLON</b>	HCN	Chirurgie générale
Mr Jean-Marc <b>PERON</b> ( <i>surnombre</i> )	HCN	Stomatologie et chirurgie maxillo-faciale
Mr Christian <b>PFISTER</b>	HCN	Urologie
Mr Jean-Christophe <b>PLANTIER</b>	HCN	Bactériologie - Virologie
Mr Didier <b>PLISSONNIER</b>	HCN	Chirurgie vasculaire
Mr Bernard <b>PROUST</b>	HCN	Médecine légale
Mr François <b>PROUST</b>	HCN	Neurochirurgie
Mme Nathalie <b>RIVES</b>	HCN	Biologie du développement et de la reproduction
Mr Jean-Christophe <b>RICHARD</b> ( <i>détachement</i> )	HCN	Réanimation médicale - Médecine d'urgence
Mr Horace <b>ROMAN</b>	HCN	Gynécologie - Obstétrique
Mr Jean-Christophe <b>SABOURIN</b>	HCN	Anatomie - Pathologie
Mr Guillaume <b>SAVOYE</b>	HCN	Hépatogastrologie
Mme Céline <b>SAVOYE-COLLET</b>	HCN	Imagerie médicale
Mme Pascale <b>SCHNEIDER</b>	HCN	Pédiatrie
Mr Michel <b>SCOTTE</b>	HCN	Chirurgie digestive
Mme Fabienne <b>TAMION</b>	HCN	Thérapeutique
Mr Luc <b>THIBERVILLE</b>	HCN	Pneumologie
Mr Christian <b>THUILLEZ</b>	HB	Pharmacologie
Mr Hervé <b>TILLY</b>	CB	Hématologie et transfusion
Mr Jean-Jacques <b>TUECH</b>	HCN	Chirurgie digestive
Mr Jean-Pierre <b>VANNIER</b>	HCN	Pédiatrie génétique
Mr Benoît <b>VEBER</b>	HCN	Anesthésiologie - Réanimation chirurgicale
Mr Pierre <b>VERA</b>	CB	Biophysique et traitement de l'image
Mr Eric <b>VERIN</b>	CRMPR	Médecine physique et de réadaptation
Mr Eric <b>VERSPYCK</b>	HCN	Gynécologie obstétrique
Mr Olivier <b>VITTECOQ</b>	HB	Rhumatologie
Mr Jacques <b>WEBER</b>	HCN	Physiologie

## MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES – PRATICIENS

### HOSPITALIERS

Mme Noëlle <b>BARBIER-FREBOURG</b>	HCN	Bactériologie – Virologie
Mr Jeremy <b>BELLIEN</b>	HCN	Pharmacologie
Mme Carole <b>BRASSE LAGNEL</b>	HCN	Biochimie
Mme Valérie <b>BRIDOUX HUYBRECHTS</b>	HCN	Chirurgie Vasculaire
Mr Gérard <b>BUCHONNET</b>	HCN	Hématologie
Mme Mireille <b>CASTANET</b>	HCN	Pédiatrie
Mme Nathalie <b>CHASTAN</b>	HCN	Physiologie
Mme Sophie <b>CLAEYSSENS</b>	HCN	Biochimie et biologie moléculaire
Mr Moïse <b>COEFFIER</b>	HCN	Nutrition
Mr Stéphanie <b>DERREY</b>	HCN	Neurochirurgie
Mr Manuel <b>ETIENNE</b>	HCN	Maladies infectieuses et tropicales
Mr Serge <b>JACQUOT</b>	UFR	Immunologie
Mr Joël <b>LADNER</b>	HCN	Epidémiologie, économie de la santé
Mr Jean-Baptiste <b>LATOUCHE</b>	UFR	Biologie cellulaire
Mr Thomas <b>MOUREZ</b>	HCN	Bactériologie
Mr Jean-François <b>MENARD</b>	HCN	Biophysique
Mme Muriel <b>QUILLARD</b>	HCN	Biochimie et biologie moléculaire
Mr Vincent <b>RICHARD</b>	UFR	Pharmacologie
Mr Mathieu <b>SALAUN</b>	HCN	Pneumologie
Mme Pascale <b>SAUGIER-VEBER</b>	HCN	Génétique
Mme Anne-Claire <b>TOBENAS-DUJARDIN</b>	HCN	Anatomie
Mr Olivier <b>TROST</b>	HCN	Chirurgie Maxillo Faciale

### PROFESSEUR AGREGE OU CERTIFIE

Mme Dominique <b>LANIEZ</b>	UFR	Anglais
Mr Thierry <b>WABLE</b>	UFR	Communication

## II – PHARMACIE

### PROFESSEURS

Mr Thierry <b>BESSON</b>	Chimie Thérapeutique
Mr Jean-Jacques <b>BONNET</b>	Pharmacologie
Mr Roland <b>CAPRON</b> (PU-PH)	Biophysique
Mr Jean <b>COSTENTIN</b> (Professeur émérite)	Pharmacologie
Mme Isabelle <b>DUBUS</b>	Biochimie
Mr Loïc <b>FAVENNEC</b> (PU-PH)	Parasitologie
Mr Jean Pierre <b>GOULLE</b>	Toxicologie
Mr Michel <b>GUERBET</b>	Toxicologie
Mme Isabelle <b>LEROUX - NICOLLET</b>	Physiologie
Mme Christelle <b>MONTEIL</b>	Toxicologie
Mme Martine <b>PESTEL-CARON</b> (PU-PH)	Microbiologie
Mme Elisabeth <b>SEGUIN</b>	Pharmacognosie
Mr Rémi <b>VARIN</b> (PU-PH)	Pharmacie clinique
Mr Jean-Marie <b>VAUGEOIS</b>	Pharmacologie
Mr Philippe <b>VERITE</b>	Chimie analytique

### MAITRES DE CONFERENCES

Mme Cécile <b>BARBOT</b>	Chimie Générale et Minérale
Mme Dominique <b>BOUCHER</b>	Pharmacologie
Mr Frédéric <b>BOUNOURE</b>	Pharmacie Galénique
Mr Abdeslam <b>CHAGRAOUI</b>	Physiologie
Mr Jean <b>CHASTANG</b>	Biomathématiques
Mme Marie Catherine <b>CONCE-CHEMTOB</b>	Législation pharmaceutique et économie de la santé
Mme Elizabeth <b>CHOSSON</b>	Botanique
Mme Cécile <b>CORBIERE</b>	Biochimie
Mr Eric <b>DITTMAR</b>	Biophysique
Mme Nathalie <b>DOURMAP</b>	Pharmacologie
Mme Isabelle <b>DUBUC</b>	Pharmacologie
Mr Abdelhakim <b>ELOMRI</b>	Pharmacognosie
Mr François <b>ESTOUR</b>	Chimie Organique
Mr Gilles <b>GARGALA</b> (MCU-PH)	Parasitologie

Mme Najla <b>GHARBI</b>	Chimie analytique
Mme Marie-Laure <b>GROULT</b>	Botanique
Mr Hervé <b>HUE</b>	Biophysique et mathématiques
Mme Laetitia <b>LE GOFF</b>	Parasitologie - Immunologie
Mme Hong <b>LU</b>	Biologie
Mme Sabine <b>MENAGER</b>	Chimie organique
Mr Mohamed <b>SKIBA</b>	Pharmacie galénique
Mme Malika <b>SKIBA</b>	Pharmacie galénique
Mme Christine <b>THARASSE</b>	Chimie thérapeutique
Mr Frédéric <b>ZIEGLER</b>	Biochimie

### **PROFESSEURS ASSOCIES**

Mme Cécile <b>GUERARD-DETUNCQ</b>	Pharmacie officinale
Mr Jean-François <b>HOUIVET</b>	Pharmacie officinale

### **PROFESSEUR CERTIFIE**

Mme Mathilde <b>GUERIN</b>	Anglais
----------------------------	---------

### **ASSISTANT HOSPITALO-UNIVERSITAIRE**

Mr Jérémie <b>MARTINET</b>	Immunologie
----------------------------	-------------

### **ATTACHES TEMPORAIRES D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE**

Mr Romy <b>RAZAKANDRAINIBE</b>	Parasitologie
Mr François <b>HALLOUARD</b>	Galénique
Mme Caroline <b>LAUGEL</b>	Chimie organique
Mr Souleymane <b>ABDOUL-AZIZ</b>	Biochimie
Mme Maïté <b>NIEPCERON</b>	Microbiologie

## LISTE DES RESPONSABLES DES DISCIPLINES PHARMACEUTIQUES

Mme Cécile <b>BARBOT</b>	Chimie Générale et minérale
Mr Thierry <b>BESSON</b>	Chimie thérapeutique
Mr Roland <b>CAPRON</b>	Biophysique
Mr Jean <b>CHASTANG</b>	Mathématiques
Mme Marie-Catherine <b>CONCE-CHEMTOB</b>	Législation et économie de la santé
Mme Elisabeth <b>CHOSSON</b>	Botanique
Mr Jean-Jacques <b>BONNET</b>	Pharmacodynamie
Mme Isabelle <b>DUBUS</b>	Biochimie
Mr Loïc <b>FAVENNEC</b>	Parasitologie
Mr Michel <b>GUERBET</b>	Toxicologie
Mr François <b>ESTOUR</b>	Chimie organique
Mme Isabelle <b>LEROUX-NICOLLET</b>	Physiologie
Mme Martine <b>PESTEL-CARON</b>	Microbiologie
Mme Elisabeth <b>SEGUIN</b>	Pharmacognosie
Mr Mohamed <b>SKIBA</b>	Pharmacie galénique
Mr Philippe <b>VERITE</b>	Chimie analytique

### **III – MEDECINE GENERALE**

#### **PROFESSEUR**

Mr Jean-Loup **HERMIL**

UFR Médecine générale

#### **PROFESSEURS ASSOCIES A MI-TEMPS**

Mr Emmanuel **LEFEBVRE**

UFR Médecine Générale

Mr Alain **MERCIER**

UFR Médecine générale

Mr Philippe **NGUYEN THANH**

UFR Médecine générale

#### **MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE A MI-TEMPS**

Mr Pascal **BOULET**

UFR Médecine générale

Mme Elisabeth **MAUVIARD**

UFR Médecine générale

Mme Yveline **SEVRIN**

UFR Médecine générale

Mme Marie Thérèse **THUEUX**

UFR Médecine générale

## ENSEIGNANTS MONO-APPARTENANTS

### PROFESSEURS

Mr Serguei **FETISSOV** (med)

Physiologie (ADEN)

Mr Paul **MULDER** (phar)

Sciences du Médicament

Mme Su **RUAN** (med)

Génie Informatique

### MAITRES DE CONFERENCES

Mr Sahil **ADRIOUCH** (med)

Biochimie et biologie moléculaire  
(Unité Inserm 905)

Mme Gaëlle **BOUGEARD-DENOYELLE** (med)

Biochimie et biologie moléculaire (UMR 1079)

Mme Carine **CLEREN** (phar)

Neurosciences (Néovasc)

Mme Pascaline **GAILDRAT** (phar)

Génétique moléculaire humaine (UMR 1079)

Mr Nicolas **GUEROUT** (phar)

Chirurgie Expérimentale

Mr Antoine **OUVRARD-PASCAUD** (med)

Physiologie (Unité Inserm 1076)

Mr Frédéric **PASQUET**

Sciences du langage, orthophonie

Mme Isabelle **TOURNIER** (phar)

Biochimie (UMR 1079)

**CHEF DES SERVICES ADMINISTRATIFS** : Mme Véronique **DELAFONTAINE**

*HCN - Hôpital Charles Nicolle*

*HB - Hôpital de BOIS GUILLAUME*

*CB - Centre Henri Becquerel*

*CHS - Centre Hospitalier Spécialisé du Rouvray*

*CRMPR - Centre Régional de Médecine Physique et de Réadaptation* *SJ – Saint Julien Rouen*

LISTES DES FIGURES  
ET DES TABLEAUX

---

# Liste des Figures

---

1. La pyramide du pharaon Khéops.....	p.5
2. La statue de Zeus à Olympie.....	p.5
3. Le temple d'Artémis à Ephèse.....	p.5
4. Le mausolée d'Halicarnasse.....	p.6
5. Le colosse de Rhodes.....	p.6
6. Le phare d'Alexandrie.....	p.6
7. Reconstitution de la ziggourat.....	p.8
8. Les ruines de la porte d'Ishtar.....	p.10
9. Reconstitution de la porte d'Ishtar.....	p.10
10. Emplacement des Jardins Suspendus dans le bâtiment Voûté du palais Sud.....	p.11
11. Reconstitution de l'emplacement des Jardins Suspendus dans le bâtiment Voûté du palais Sud.....	p.11
12. Prisme à huit faces, Ninive.....	p.13
13. Détail du bas relief, Ninive.....	p.14
14. Dessin du bas-relief, de Stephanie Dalley, Ninive.....	p.15
15. Carte de l'Irak situant Nineveh et Khinis.....	p.15
16. La structure du canal de Khinis.....	p.15
17. Images satellites déclassifiées du programme d'espionnage Corona.....	p.16
18. Ruines de l'Aqueduc de Jerwan, Nord de l'Irak.....	p.17
19. Inscription cunéiforme « Sennachérib roi du monde, roi de l'Assyrie ».....	p.17

20. Ruines des aqueducs de Jerwan, Nord de l'Irak.....	p.18
21. Ruines d'une arche en pierre supportant l'aqueduc de Jerwan, Nord de l'Irak.....	p.18
22. Schéma reconstituant les aqueducs de Jerwan.....	p.18
23. Stipe du palmier-dattier ( <i>Phoenix dactylifera</i> L.).....	p.19
24. Schéma de l'alamittu, ancêtre de la vis d'Archimède.....	p.20
25. Schéma du système éleveur d'eau.....	p.20
26. Reconstitution en image de synthèse du système hydraulique des Jardins suspendus.....	p.21
27. Reconstitution en image de synthèse des Jardins Suspendus sous forme d'amphithéâtre.....	p.21
28. Les Jardins suspendus de Babylone.....	p.23
29. L'entrée d'Alexandre dans Babylone.....	p.23
30. La chute de Babylone.....	p.24
31. Les Jardins suspendus de Babylone.....	p.24
32. Babylone.....	p.25
33. Les Jardins suspendus de Babylone.....	p.25
34. Cascade d'Ouzoud, au Maroc.....	p.27
35. Rochers recouverts d'algues aux abords d'une cascade en Indonésie.....	p.27
36. <i>Spathiphyllum</i> sp. plante rhéophyte, Rio de Janeiro, Brésil.....	p.28
37. Lapiez stérile (Haute Savoie).....	p.29
38. Résurgence de la Loue dans le Doubs.....	p.30
39. Cascade pétrifiée de Hierve el Agua, Oaxaca, Mexique.....	p.30

40. Tufière à Roquefort-les-Cascades.....	p.31
41. <i>Monophyllaea pendula</i> B. L. Burt dans une grotte.....	p.32
42. <i>Cymbalaria muralis</i> G.Gaertn., B.Mey. & Scherb. sur un muret du Sentier des philosophes à Heidelberg, Allemagne.....	p.33
43. Ornementation d'un mur du château de Heidelberg, Allemagne.....	p.34
44. <i>Mentha sp.</i> sur un muret du Sentier des philosophes à Heidelberg, Allemagne.....	p.35
45. <i>Cymbalaria muralis</i> G.Gaertn., B.Mey. & Scherb. sur un muret du Sentier des philosophes à Heidelberg, Allemagne.....	p.36
46. <i>Asplenium sp.</i> sur un muret du Sentier des philosophes à Heidelberg, Allemagne.....	p.36
47. <i>Hedera helix</i> L. poussant sur un mur dans les rues d'Heidelberg, Allemagne.....	p.37
48. <i>Ficus sp.</i> sur un mur urbain à Hong-Kong, en Chine.....	p.38
49. <i>Tetrameles nudiflora</i> R. Br, grand assassin des monuments.....	p.39
50. <i>Lagerstroemia calyculata</i> Kurz, le Lilas des Indes.....	p.40
51. <i>Lagerstroemia calyculata</i> Kurz, temple d'Angkor Wat, Cambodge.....	p.41
52. Formation des ions négatifs et des ions positifs.....	p.53
53. Schéma d'une coupe transversale de feuille et d'un stomate.....	p.59
54. Illustration de l'albédo selon la surface réfléchissant la lumière reçue.....	p.60
55. Gradient de température en ville et en milieu rural.....	p.61
56. Les bénéfices obtenus par les ecosystems.....	p.65
57. Système de Management d'Opération d'une opération HQE-Aménagement.....	p.70
58. Les enjeux globaux de la HQE-bâtiments.....	p.71
59. Principe de la démarche qualité.....	p.75

60. Efficacité de la photosynthèse en fonction de la longueur d'onde de la lumière reçue.....	p.84
61. Hydroponie sur nappe agricole.....	p.87
62. Technique de la paroi sandwich.....	p.88
63. Technique de la paroi taillée.....	p.89
64. Les casiers à plantes.....	p.90
65. <i>Hoya sp.</i> sur un mur végétal à Dubaï.....	p.92
66. <i>Pilea involucrata</i> (Sims) C.H.Wright & Dewar.....	p.93
67. <i>Episcia reptans</i> Mart.....	p.94
68. <i>Davallia canariensis</i> (L.) Sm.....	p.95
69. <i>Hypoestes phyllostachya</i> Baker.....	p.97
70. Vue d'ensemble des arbres du Garden by the Bay, Singapour.....	p.104
71. Jardin au Garden by the Bay, Singapour.....	p.104
72. Le Garden by the Bay illuminé la nuit, Singapour.....	p.105
73. Répartition des toitures à fort potentiel, par surfaces, à l'échelle de Paris.....	p.108
74. Toitures de la ville de Paris à faible potentiel.....	p.108
75. Toitures de la ville de Paris à fort potentiel.....	p.109
76. Répartition des toitures à fort potentiel, par type de propriétaire.....	p.109
77. Exemples de toitures à fort potentiel appartenant à la ville de Paris.....	p.110
78. Le jardin associatif sur le toit du gymnase des Vignolles.....	p.110
79. Choix du type de végétation en fonction du type de support.....	p.111

<b>80.</b> Capacité de stockage et de temporisation des eaux pluviales par une toiture végétalisée.....	p.112
<b>81.</b> Schéma d'une mare sur une toiture végétalisée.....	p.113
<b>82.</b> Illustration de l'îlot de chaleur urbain à Paris.....	p.113
<b>83.</b> Plan du ParkRoyal.....	p.116
<b>84.</b> ParkRoyal, Singapour.....	p.116
<b>85.</b> Vue surplongante du Parkroyal, Singapour.....	p.117
<b>86.</b> Les toits du HDB Car Park au 18 Holland Drive, Singapour.....	p.118
<b>87.</b> Les toits du HDB Car Park, au 88 Tanglin Halt Road, Singapour.....	p.119
<b>88.</b> Les toits du HDB Car Park Roof, au 28 Dover Crescent, Singapour.....	p.120
<b>89.</b> <i>Loriculus galgulus</i> caché sur un mur végétal de la résidence privée de Patrick Blanc.....	p.123
<b>90.</b> Mur végétal du bureau de Patrick Blanc.....	p.125
<b>91.</b> Bureau sur l'aquarium avec ruisseau.....	p.125
<b>92.</b> Jardin vertical, aquarium et poissons.....	p.126
<b>93.</b> Mur végétal et aquarium illuminé la nuit.....	p.126
<b>94.</b> Parking Perrache, Lyon.....	p.127
<b>95.</b> Parking Perrache, Lyon, vue d'ensemble.....	p.127
<b>96.</b> Pont Max Juvénal, Aix en Provence.....	p.128
<b>97.</b> Mur végétal du Musée du Quai Branly, Paris.....	p.128
<b>98.</b> L'incroyable mur végétal du Musée du Quai Branly, Paris.....	p.129
<b>99.</b> Esquisse de L'Oasis d'Aboukir, Hymne à la Biodiversité.....	p.130

<b>100.</b> Oasis d'Aboukir, Paris, vue en contre-plongée.....	p.130
<b>101.</b> Mur végétal de l'Oasis d'Aboukir, une semaine après l'installation des plantes, en Avril 2013.....	p.131
<b>102.</b> Mur végétal de l'Oasis d'Aboukir, en Juin 2013.....	p.131
<b>103.</b> L'Oasis d'Aboukir de nuit, en Août 2013.....	p.132
<b>104.</b> Esquisse.....	p.133
<b>105.</b> One Central Park, Sydney.....	p.134
<b>106.</b> Vagues colorées végétales le long du corridor du Sofitel Palm Jumeirah, Dubai.....	p.135
<b>107.</b> Mur végétal dans le Sofitel Palm Jumeirah, Dubai.....	p.136
<b>108.</b> Athenaeum, contre plongée de nuit.....	p.137
<b>109.</b> Vue en angle de l'Athenaeum.....	p.138
<b>110.</b> Schéma du mur végétal.....	p.139
<b>111.</b> Partie gauche du mur végétal de l'Icon Hotel, Hong Kong.....	p.139
<b>112.</b> Arbre Baobab, Jardin des Tuilleries.....	p.140
<b>113.</b> Arbre baobab, illuminé la nuit.....	p.141
<b>114.</b> Bulle végétale.....	p.142
<b>115.</b> Paravent végétal fermé.....	p.143
<b>116.</b> Paravent végétal ouvert.....	p.143
<b>117.</b> La robe végétale.....	p.144
<b>118.</b> Pont de Sentosa, prêt de la place Palawan, Singapour.....	p.145
<b>119.</b> Eve imaginée selon Susan Hill et Pete Hill pour l'Eden Project, à Cornwall....	p.146

<b>120.</b> Le bus végétalisé.....	p.147
<b>121.</b> Aménagement de l'officine.....	p.149
<b>122.</b> Mesures minimales à l'extérieur.....	p.150
<b>123.</b> Espace de manœuvre au niveau d'une porte.....	p.151
<b>124.</b> Mur végétal dans une officine.....	p.153
<b>125.</b> Module commercial.....	p.155
<b>126.</b> Mur végétal volumineux dans une officine.....	p.156
<b>127.</b> Mur végétal stabilisé dans une pharmacie.....	p.159
<b>128.</b> Tableau de végétaux stabilisés.....	p.160
<b>129.</b> Mur végétal stabilisé.....	p.161
<b>130.</b> Mur végétal vivant et rideau d'eau.....	p.162
<b>131.</b> Mur végétal stabilisé et rideau d'eau dans une officine.....	p.162

# Liste des Tableaux

---

1. Taux d'ions négatifs selon le lieu et le climat.....p.54
2. Albédo en fonction de la surface réfléchissant la lumière reçue.....p.59
3. Association entre les principaux services et fonctions des forêts urbaines.....p.67
4. Les mauvais services de l'écosystème des forêts urbaines.....p.68
5. Niveau de performance à atteindre selon la cible.....p.74
6. Questionnaire pour la conception d'un projet pour un espace publique.....p.81
7. Dureté d'une eau en fonction de son titre hydrotimétrique.....p.81
8. Richesse en nutriments en fonction de la conductivité.....p.82
9. Sélection de plantes peu exigeantes, cultivables sur un mur végétalisé.....p.91
10. Sélection de plantes peu exigeantes spécialement pour l'ombre.....p.91
11. Sélection de plantes exigeantes à éviter sur un mur végétalisé.....p.92
12. Végétaux reconnus pour leurs propriétés dépolluantes.....p.101
13. Caractéristiques des plantations intensives et extensives.....p.106
14. Valeur réglementaire d'éclairage en fonction du lieu.....p.152

# TABLE DES MATIERES

---

---

# 1<sup>ère</sup> PARTIE : LA VEGETALISATION DES MURS ET TOITS URBAINS : DE L'ORIGINE DU CONCEPT A SA MISE EN ŒUVRE

---

<b>Introduction</b> : Le concept de la végétalisation des murs et toits urbains.....	1
<b>1. Les origines de la végétalisation urbaine : la légende des jardins suspendus de Babylone, entre mythe et réalité.....</b>	<b>4</b>
1.1 Le mythe à Babylone : le paradis perse de Nabuchodonosor II.....	7
1.2 La naissance des jardins suspendus.....	12
1.3 L'hypothèse de Ninive : le parc luxuriant de Sennachérib.....	12
1.4 La survie du mythe des Jardins de Babylone.....	22
<b>2. L'exemple de la Nature.....</b>	<b>26</b>
2.1 Les modèles de reliefs naturels .....	26
2.1.1. Les cascades.....	26
2.1.2. Les berges et les rochers suintants.....	28
2.1.3. Les falaises et reliefs karstiques colonisés par la végétation.....	29
2.1.4. Les grottes des reliefs karstiques.....	31
2.2 Impacts des végétaux sur les édifices de l'Homme: de l'impact superficiel à l'impact destructeur.....	33
2.1.5. Impact superficiel de la Nature.....	34
2.1.6. Impact à risque de la Nature.....	37
2.1.7. Impact destructeur de la Nature.....	38
<b>3. Une vision globale de la végétalisation des toits et murs en milieu urbain.....</b>	<b>42</b>
3.1 Les avantages.....	42
3.1.1. La qualité de l'air.....	42
3.1.1.1. Le phénomène de « dry deposition » ou dépôt sec.....	43
3.1.1.2. Séquestration et piégeage du carbone par la photosynthèse.....	45
3.1.1.3. Pollen et spores.....	46
3.1.1.4. Les composés organiques volatils biogéniques (BVOC).....	47
3.1.2. Effets sur l'environnement sonore et biodiversité.....	48
3.1.3. Effets du service esthétique de l'infrastructure verte sur l'Homme : effets sur le stress, la santé, et les performances intellectuelles.....	50
3.1.4. Aspect économique des infrastructures végétalisées.....	51

3.1.5.	L'ionisation négative.....	53
3.1.6.	La gestion des eaux pluviales.....	57
3.1.7.	Les performances thermiques.....	57
3.1.8.	Les infrastructures végétales, une réponse au réchauffement urbain.....	61
3.2	Contraintes physiologiques des plantes sur les façades vertes en zone urbaine.....	62
3.2.1.	L'influence du Rayonnement Actif pour la Photosynthèse ou le PAR.....	62
3.2.2.	L'influence du vent.....	63
3.3	Les services de l'écosystème.....	64
3.3.1.	Notion générale de service de l'écosystème.....	64
3.3.2.	Notion de services de l'écosystème dans l'urbanisme végétal.....	66
3.4	Les murs et toits végétalisés : une réponse à la 15ème cible de la Haute Qualité Environnementale.....	69
3.4.1.	La démarche HQE-aménagement.....	69
3.4.2.	La démarche HQE-bâtiments.....	70
3.4.3.	Les cibles de la démarche HQE .....	71
3.4.3.1.	Les cibles de maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur.....	71
3.4.3.2.	Les cibles de création d'un environnement intérieur satisfaisant.....	73
3.4.3.3.	Niveau de performance des cibles.....	74
3.4.4.	Vers une 15 <sup>ième</sup> cible HQE : un remboursement de la dette écologique.....	75
3.4.4.1.	Rappel du principe de la démarche qualité.....	75
3.4.4.2.	La quinzième cible de la HQE et la végétalisation des murs et toits urbains .....	76
<b>4.</b>	<b>Végétalisation d'un mur : la conception d'un projet et la mise en œuvre.....</b>	<b>77</b>
4.1	Conception d'un projet de végétalisation.....	77
4.1.1.	Concevoir un projet de mur végétalisé chez un particulier.....	77
4.1.2.	Concevoir un projet pour un espace public.....	77
4.2	Paramètres à considérer pour la végétalisation d'un mur.....	81
4.2.1.	L'eau.....	81
4.2.2.	Les nutriments.....	82
4.2.3.	Le gaz carbonique CO <sub>2</sub> .....	83
4.2.4.	La température.....	83
4.2.5.	La lumière.....	84
4.2.5.1.	La capture de l'énergie lumineuse.....	84
4.2.5.2.	Le Photosynthetical Active Radiation (PAR).....	85
4.2.6.	Le vent .....	85

4.3 Techniques de création du mur végétal en intérieur.....	85
4.2.7. Choix du substrat et économie en eau.....	86
4.2.8. Différentes techniques de végétalisation d'un mur.....	86
4.2.8.1. L'aquanappe ou hydroponie sur nappe horticole.....	86
4.2.8.2. La paroi sandwich.....	88
4.2.8.3. Les parois taillées.....	89
4.2.8.4. Végétalisation du mur sur substrat traditionnel.....	90
4.4 Le choix des plantes pour végétaliser un mur.....	91
4.2.9. Les plantes cultivables en intérieur.....	91
4.2.9.1. Les plantes aux tiges retombantes.....	92
4.2.9.2. Les plantes tapissantes.....	93
4.2.9.3. Les fougères.....	94
4.2.9.4. Les plantes d'appoints.....	96
4.2.10. Les plantes cultivables en extérieur.....	98
4.2.11. Végétaux et risque sanitaire.....	99
4.2.12. Plantes et dépollution.....	99

---

## 2<sup>ème</sup> PARTIE : LA VEGETALISATION : APPLICATIONS URBAINES ET APPLICATIONS A L'OFFICINE

---

<b>1. La végétalisation des murs et toits urbains : des outils pour rendre une ville « biophilique ».....</b>	<b>103</b>
<b>2. Les toitures urbaines végétalisées.....</b>	<b>106</b>
2.1 Les toits végétalisés ou PCV <sub>H</sub> (Paroi Complexe Végétalisée Horizontale)...	106
2.2 Les toits végétalisés de la ville de Paris.....	107
2.2.1 Le potentiel des toitures de Paris.....	107
2.2.2 Les contraintes de structure.....	111
2.2.3 Préserver l'environnement et la biodiversité.....	112
2.2.3.1 Le Livre bleu.....	112
2.2.3.2 Le Plan Climat.....	113
2.2.3.3 Le plan Biodiversité.....	114
2.2.4 La réglementation.....	115
2.3 Les toits végétalisés dans le monde.....	121

<b>3. Les murs urbains végétalisés : les techniques et modèles de végétalisation de Patrick Blanc.....</b>	<b>121</b>
3.1 Les techniques de construction du mur végétal de Patrick Blanc.....	123
3.2 Les séquences végétales .....	124
3.3 Les grandes infrastructures végétalisées réalisées par Patrick Blanc.....	124
3.3.1 Réalisations dans la maison de Patrick Blanc.....	127
3.3.2 Réalisations urbaines : parking et pont.....	128
3.3.3 Réalisations dans la capitale, l’Oasis d’Aboukir et le Musée du Quai Branly.....	133
3.3.4 Réalisations dans le monde.....	133
3.3.4.1 Mur végétal au One Central Park, à Sydney en Australie.....	135
3.3.4.2 Mur végétal à Dubaï.....	137
3.3.4.3 Mur végétal à Londres.....	139
3.3.4.4 Mur végétal à Hong Kong, en Chine.....	140
<b>4. Autres inspirations artistiques de design végétal.....</b>	<b>140</b>
4.1 L’arbre baobab de Jardins de Babylone.....	140
4.2 Les bulles végétales de Jardins de Babylone.....	142
4.3 Le Corsairfly de Jardins de Babylone.....	143
4.4 La Robe végétale de Jean-Paul Gaultier.....	144
4.5 Le Link Bridge à Sentosa.....	145
4.6 La statue d’Eve végétalisée.....	146
4.7 Le bus végétalisé.....	147
<b>5. Le mur végétal à l’officine.....</b>	<b>148</b>
5.1 Mur végétal, législation et bonnes pratiques de l’aménagement de l’officine.....	148
5.1.1 Mur végétal et accessibilité de la pharmacie aux personnes handicapées.....	149
5.2 Mur végétal dans une officine : caractéristiques, contraintes, et solutions.....	154
5.2.1 Le mur végétal : un tableau « vivant » qui évolue.....	156
5.2.2 Un mur vivant qui a soif.....	157
5.2.3 Un mur vivant qui a besoin de lumière.....	157
5.2.4 Le mur végétal, système vivant, engendre-t-il risque et nuisances ?.....	157
5.2.5 Une alternative au mur vivant : les végétaux stabilisés.....	158

5.3 Des conceptions qui vont encore plus loin : le mur végétal et le rideau aquatique.....	162
---	-----

<b>Conclusion.....</b>	<b>163</b>
------------------------	------------

<b>Annexes.....</b>	<b>164</b>
---------------------	------------

<b>Bibliographie.....</b>	<b>187</b>
---------------------------	------------

<b>Sitographie.....</b>	<b>202</b>
-------------------------	------------

<b>Serment de Galien.....</b>	<b>219</b>
-------------------------------	------------

## 1<sup>ère</sup> Partie

La végétalisation des murs et toits urbains :  
de l'origine du concept à sa mise en œuvre

## INTRODUCTION

### Le concept de la végétalisation des murs et toits urbains

Le concept de mur végétal repose sur l'idée d'amener la nature en plein milieu urbain. Bien que la présence de végétaux dans les villes soit commune (arbres, arbustes, parterres de fleurs et roses dans les ronds-points...), le mur végétal est un concept nouveau qui apporte une dimension différente à la nature face à l'homme, avec une « sensation de nature libre s'invitant dans la ville »<sup>1</sup>. Cette perception de fraîcheur et de liberté s'explique par l'imaginaire, lié aux forêts tropicales, auquel renvoie la présence de végétaux sur un mur urbain. Les plantes poussent verticalement, elles se retrouvent face à l'homme ; nues car se dévoilant totalement, elles laissent entrevoir aussi bien leur feuillage que leurs racines. Ainsi elles « dialoguent [presque] d'égale à égale »<sup>2</sup> avec l'homme. Le concept va jusqu'à évoquer un Eden transposé en pleine ville.

La présence d'un peu du jardin d'Eden dans une ville urbaine fourmillant d'activités et de stress humain apporte ce retour aux sources que recherche de plus en plus l'homme moderne. Mais cette idée d'amener les plantes en milieu urbain est-elle nouvelle ? Car les parterres de fleurs en centre ville ou les plantes grimpantes sur les façades des habitations, existent depuis bien longtemps, et pas seulement en France. Dans les pays de la Méditerranée par exemple les populations ont l'habitude de créer de vrais toits vivants à l'aide de vignes. Alors qu'elle est l'innovation du mur végétal ? La nouveauté réside dans le fait de vouloir amener de l'exotisme là où il ne devrait pas y en avoir, là où il n'est pas permis d'en avoir selon tout esprit rationnel. Et cela en s'attaquant aux murs des immeubles froids des grandes villes. C'est ce concept nouveau qui a germé dans l'esprit du chercheur Patrick Blanc, véritable pionnier dans la végétalisation des murs urbains, et lui a permis après une multitude d'essais, d'aboutir à de remarquables créations, que nous verrons plus loin dans la deuxième partie.

La végétalisation des surfaces urbaines, aussi bien les toits que des murs, trouve son origine il y a bien longtemps, bien avant notre aire contemporaine. Elle remonte il y a près de 3000 ans à l'époque Babylonienne, quand les jardins de Babylone furent construits. Dans la première partie de notre travail (premier chapitre), nous développerons le mythe de ces jardins avant de nous intéresser aux exemples de la nature, sources d'inspiration pour

---

<sup>1</sup> Blanc P., 2011.

<sup>2</sup> Blanc P., 2011.

les végétalisations des structures urbaines, dans le second chapitre. Car les conceptions humaines trouvent bien souvent leur source dans les reliefs et tableaux de verdure que nous offre la nature. Nous nous intéresserons également à l'impact des végétaux sur les édifices construits par l'homme, allant du plus superficiel au plus destructeur.

Sujet émergent, les murs végétaux sont évoqués de deux façons dans la littérature scientifique qu'il convient de bien différencier, le « green wall » et le « Living Wall System » (LWS). Nous développerons ces concepts dans le quatrième chapitre.

La conception d'un projet de végétalisation d'un point de vue général, qui intéressera le cinquième chapitre, nécessite de poser quelques questions, de prendre en compte différents paramètres avant de choisir la technique la plus appropriée ainsi que les plantes les plus adaptées. C'est ainsi que nous terminerons notre première partie.

La seconde partie traitera des applications urbaines et officinales. Les végétaux ne s'invitent pas uniquement sur les murs des bâtiments des grandes villes, ils sont également de plus en plus présents sur les toits immeubles. Cette végétalisation participe à rendre les villes plus biophiliques, concept émergeant défini pour la première fois en 1995 par le Professeur Edward Osborne Wilson de l'Université d'Harvard. Notre deuxième partie débutera par la définition de ce concept avant de nous attarder sur les toitures urbaines végétalisées aussi bien en France que dans le monde. Puis nous poursuivrons par les techniques et grandes réalisations de Patrick Blanc, et nous continuerons par quelques inspirations artistiques de design végétal pour aller plus loin que la simple végétalisation des toits et murs urbains, avant de clôturer par l'étude de la végétalisation d'un mur au sein d'une officine.

## 1. Les origines de la végétalisation urbaine : la légende des jardins suspendus de Babylone, entre mythe et réalité

Ces célèbres jardins, construits il y a près de 3000 ans, ont fait rêver les hommes, au point qu'ils sont classés parmi les 7 merveilles de l'Antiquité. Celles-ci correspondent dans l'ordre à :

- la grande pyramide du pharaon Khéops, à Gizeh en Egypte (Figure n°1)
- les fameux jardins suspendus de Babylone en Mésopotamie
- la statue de Zeus à Olympie en Grèce (Figure n°2)
- le temple d'Artémis à Ephèse en Turquie (Figure n°3)
- le mausolée d'Halicarnasse à Bodrum en Turquie (Figure n°4)
- la statue d'Hélios, dite colosse de Rhodes en Grèce (Figure n°5)
- le phare d'Alexandrie, en Egypte (Figure n°6)

Autrefois le phare d'Alexandrie n'appartenait pas aux sept merveilles, il a supplanté la muraille de Babylone au Moyen-âge.

Les jardins suspendus ont suscité, et suscitent encore à l'heure actuelle, des interrogations quant à leur localisation et leur configuration. Les Grecs les ont imaginés à Babylone alors que les historiens d'aujourd'hui les situent plus probablement à Ninive.

Pour retracer l'histoire des jardins suspendus il faut tout d'abord étudier le mythe des jardins à Babylone sous le règne de Nabuchodonosor II ainsi que la naissance des jardins suspendus, pour ensuite appréhender l'hypothèse des jardins à Ninive, et finalement comprendre la survie du mythe jusqu'à notre époque actuelle.



Figure n°1 : La pyramide du pharaon Khéops, (Référence internet n°88).

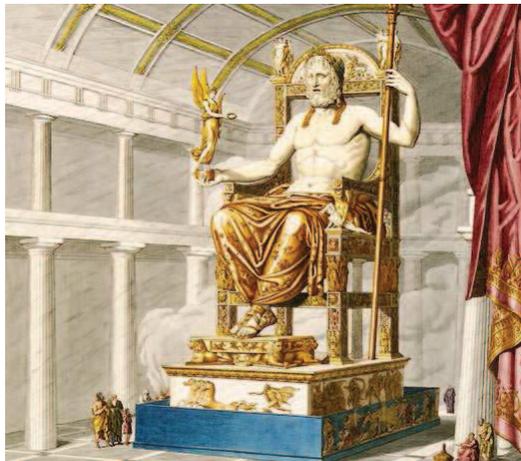


Figure n°2 : La statue de Zeus à Olympie, (Référence internet n°31).

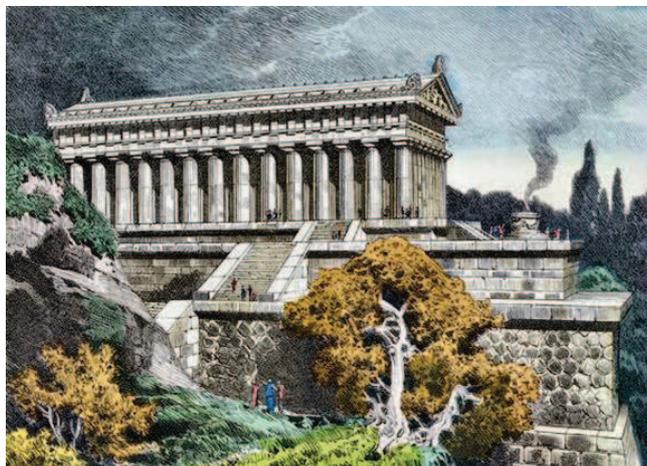


Figure n°3 : Le temple d'Artémis à Ephèse, (Référence internet n°18).

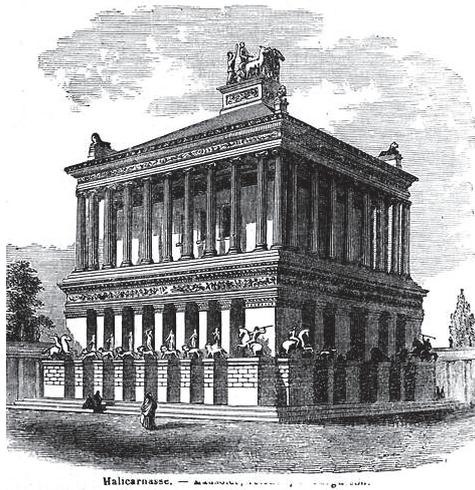


Figure n°4 : Le mausolée d'Halicarnasse, (Référence internet n°68).



Figure n°5 : Le colosse de Rhodes, (Green N., 2013).



Figure n°6 : Le phare d'Alexandrie, (Green N., 2013).

## 1.1. Le mythe à Babylone : le paradis perse de Nabuchodonosor II

Pendant longtemps, les jardins suspendus ont été imaginés à Babylone. Les Grecs de l'Antiquité ont été les premiers à les situer dans la cité babylonienne comme en témoignent de nombreux écrits. Cependant les textes grecs datent d'après la période de gloire de Babylone, les auteurs avaient une certaine vision déformée de la cité, pour eux l'Orient représentait la démesure. Babylone suscitait l'admiration et la fascination pour sa splendeur. Hérodote (V<sup>ème</sup> siècle av J.-C.) considéré comme le premier historien, décrit dans son œuvre *Histoire* de façon très détaillée la cité (Larcher P.-H., 1850, voir l'annexe n°1). Il évoque la grandeur de la cité en dépeignant l'immensité des murs d'enceinte, la traversée de l'Euphrate, la configuration des routes et l'imposante ziggourat<sup>3</sup>. D'après les estimations actuelles, la cité comptait environ 180 000 habitants au VII<sup>ème</sup> siècle av J.-C. Elle se trouvait sur les rives de l'Euphrate à 100 km de Bagdad de l'Irak actuel. Babylone aurait été construite grâce aux butins de guerre récoltés par les grands conquérants de l'époque<sup>4</sup>. Elle fut à son apogée sous le règne de Nabuchodonosor II (634 – 562 av J.-C.), 2<sup>ème</sup> roi de l'empire néo-babylonien qui conquiert la majeure partie du proche et moyen orient. Pour commémorer ses victoires il édifia des monuments dans la cité, entre autre la ziggourat (Figure n°7) qui aurait inspirée la tour de Babel, et de somptueux jardins dans la ville. Diodore de Sicile (90 – 30 av J.-C), géographe, historien et philosophe grec en témoigne dans ses textes : « Les jardins sont remplis de parfums, les fleurs de grenadier poussent en grappes et exaltent un parfum qui embaume la brise. Les gouttes d'eau aux pieds de la cascade scintillent comme les étoiles dans la nuit ». Ces luxuriants jardins suspendus en pleine région désertique suscitent l'admiration. Ces références rappellent la perfection du jardin d'Eden biblique.

Les Jardins suspendus ont inspiré les Grecs d'une part par la technicité extrêmement élaborée qu'ils ont nécessitée, et d'autre part par le surprenant résultat obtenu : les jardins sont en hauteur, surélevés comme une montagne alors que le pays n'est qu'une vaste plaine. Ils forment une forêt verdoyante dans une région où seul le palmier subsiste, et surtout la fraîcheur de l'ombrage des arbres et l'eau qui s'écoule étonnent dans un pays sec.

---

<sup>3</sup> La ziggourat était un édifice religieux. Elle était érigée dans chaque grande ville de Mésopotamie, dédiée à la divinité protectrice de la ville et située à côté du temple de celle-ci.

<sup>4</sup> Voir en annexe n°2 la frise chronologique : Histoire de la Mésopotamie.



Figure n°7 : Reconstitution de la ziggourat, (Yongkyu L., 2013).

Pour protéger la ville des invasions le roi fit construire des douves autour de la cité : des tranchées furent creusées et le cours de l'Euphrate fut dévié. Derrière les douves, huit portes furent bâties, chacune portant le nom d'une divinité mésopotamienne couplé à un dicton :

- La porte d'Urash, « L'ennemi, lui est répugnant »
- La porte de Zababa, « Elle déteste ses attaquants »
- La porte d'Adad, « Ô Adad, protège la vie des troupes »
- La porte d'Ishtar, « Ishtar vainc son assaillant »
- La porte de Shamash, « Ô Shamash, soutiens les troupes ! »
- La porte de Mardouk, « Son Seigneur est berger »
- La porte d'Enlil, « Enlil la fait briller »
- la Porte du Roi : « Que son fondateur prospère ! »

Les remparts de Babylone, autrefois inclus dans les sept merveilles du monde, participent à la grandeur de la cité. Hérodote déclare qu'ils sont si larges qu'un char à quatre chevaux pouvait y passer (Larcher P.-H., 1850). Dans son œuvre *Histoire de l'Orient*, Ctésias de Cnide (médecin grec du Vème siècle av J.C) va même jusqu'à prétendre que deux chars à

quatre chevaux pouvaient s'y croiser (voir l'annexe n°3). Ce chiffre est repris par de nombreux auteurs grecs (Strabon, Quinte-Curce<sup>5</sup>...) voir surenchéri (jusqu'à six chars pour Diodore de Sicile<sup>6</sup>). Les allusions à la gigantesque muraille de Babylone se multiplient dans la littérature gréco-romaine, notamment chez les poètes (Théocrite, Lucain,...).

L'existence de jardins royaux à Babylone ne fait pas de doute pour les historiens, mais la problématique est de déterminer s'il s'agissait des jardins suspendus décrits par les Grecs. Tout comme les Grecs, le découvreur des ruines de Babylone pensait également que les jardins suspendus se trouvaient dans la cité babylonienne. A l'aube du XXème siècle, en 1899, l'archéologue allemand Robert Koldewey<sup>7</sup> (1855 – 1925) mit à jour les ruines de la ville. Il retrouva entre autre la grande porte d'Ishtar, preuve majeure de l'existence de la cité (Figures n°8). Cette porte représentait la principale entrée de la ville. Actuellement reconstituée au musée de Pergame à Berlin, elle mesurait 14 mètres de haut et avait la particularité d'être revêtue de briques bleues émaillées qui étaient ornées d'animaux dorés (Figure n°9). Mais les jardins ont laissé peu de traces. R. Koldewey pensait situer les fondations des jardins dans le bâtiment Voûté du palais Sud (Figure n°10) car les écrits grecs les décrivaient à proximité à la fois de la ziggourat, du centre ville, du temple et du palais (Figure n°11). Le Bâtiment Voûté, situé près du mur d'enceinte intérieur comportait 14 salles qui auraient pu contenir les machineries nécessaires à l'alimentation en eau des jardins.

Cependant les chercheurs actuels estiment qu'il s'agissait plus certainement d'entrepôts ou de geôles. De plus, le secteur sud est trop petit et trop éloigné de l'Euphrate pour être plausible. En effet, pour maintenir une végétation luxuriante il est essentiel d'avoir une alimentation en eau importante et à proximité. Le géographe, historien et philosophe grec Strabon<sup>8</sup> (I<sup>er</sup> siècle av J.-C.) décrit le système hydraulique utilisé à Babylone comme des « vis hydrauliques, destinées à faire monter l'eau de l'Euphrate dans le jardin, et qui fonctionnent sans interruption par l'effort d'hommes commis à ce soin. ». Outre l'acheminement de l'eau, les architectes de l'époque ont dû palier au problème de

---

<sup>5</sup> Auguste M.M. et Trognon A., 1861. Voir l'annexe n°4.

<sup>6</sup> Hoefér F., 1851. Voir l'annexe n°6.

<sup>7</sup> Boissier A., 1904.

<sup>8</sup> Tardieu A., 1867. Voir annexe n°5

l'étanchéité. Celle-ci était assurée grâce à une superposition de différents matériaux : une couche de briques cuites, suivie d'une couche de roseaux, et enfin une couche à base de plomb. Cette superposition était répétée à chaque étage, car les jardins étaient distribués sous la forme de terrasses construites l'une sur l'autre selon les descriptions de Diodore de Sicile<sup>9</sup> (90 – 30 av J-C). Un escalier principal menait aux terrasses superposées, et face à chacune d'elles se trouvait une galerie soutenue par des colonnes de pierre. La végétation à chaque étage cachait les supports et laissait ainsi l'imagination supposer que les jardins flottaient dans les airs. L'image de « jardins suspendus » s'impose donc à l'esprit.



Figure n°8 : Les ruines de la porte d'Ishtar, (Yongkyu L., 2013).



Figure n°9 : Reconstitution de la porte d'Ishtar, (Yongkyu L., 2013).

---

<sup>9</sup> Hofer F., 1851. Voir l'annexe n°6.

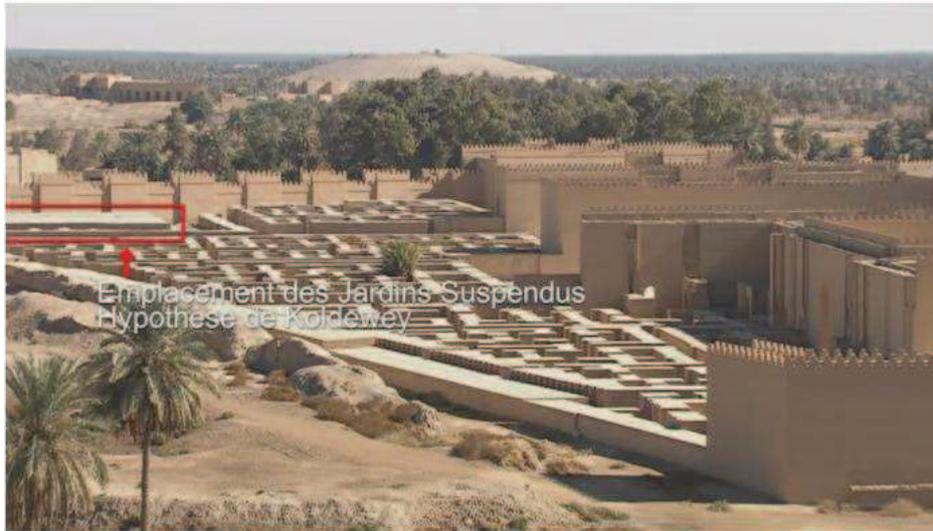


Figure n°10 : Emplacement des Jardins Suspendus dans le bâtiment Voûté du palais Sud, (Yongkyu L., 2013).

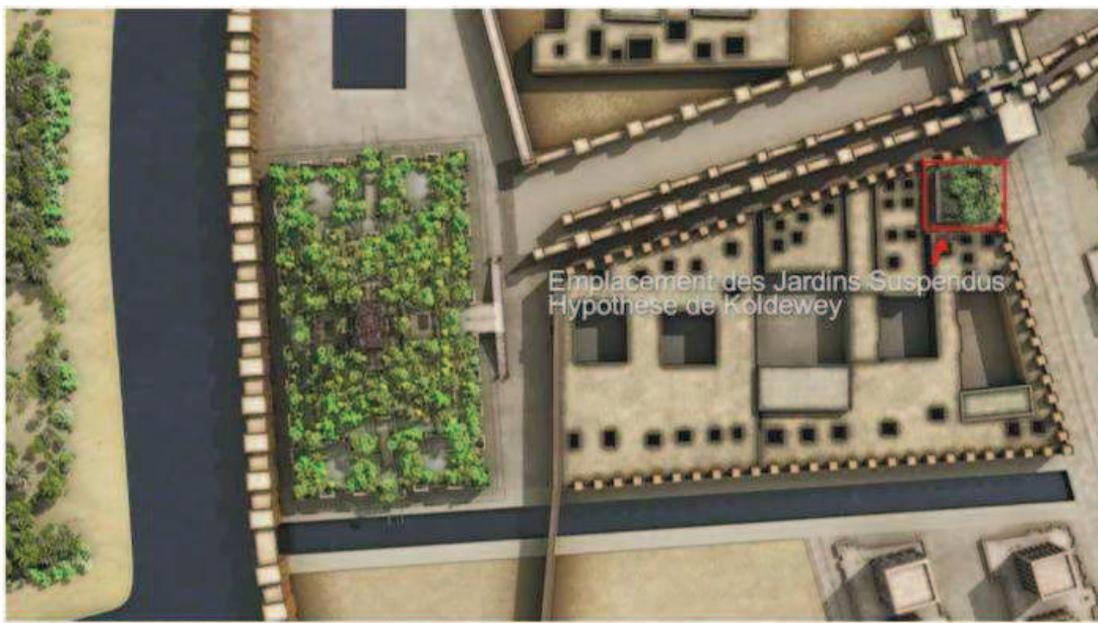


Figure n°11 Reconstitution de l'emplacement des Jardins Suspendus dans le bâtiment Voûté du palais Sud, (Yongkyu L., 2013).

## 1.2. La naissance des jardins suspendus

Mise à part la volonté d'une démonstration de la puissance du souverain, le but des jardins pourrait être tout autre. Si les jardins se situaient à Babylone comme le pensaient les grecs, ils auraient pu être édifiés pour tromper la nostalgie d'une femme. Selon Flavius Joseph <sup>10</sup> (historien judéen, 37-100 ap. J-C), le roi Nabuchodonosor II fit installer les jardins pour sa femme la reine Amytis. Celle-ci était la fille de Cyaxare, roi des Mèdes. La cité de Babylone étant entourée de sable, la reine se languissait des forêts luxuriantes et des montagnes de son royaume natal. Pour soulager le mal du pays de la reine, le roi aurait fait établir un jardin surélevé sur plusieurs étages et fait acheminer des plantes venant de la Médie (située au niveau de l'Iran actuel). Le royaume de Cyaxare comprenait de nombreux jardins avec fontaines, un certain nombre de vestiges en témoignent aujourd'hui, comme les ruines des jardins de Pasargades. Celles-ci sont décrites par l'historien grec Arrien de Nicomédie (II<sup>ème</sup> siècle après J-C) : « Le pays est couvert d'herbages, de fraîches prairies, de nombreuses vignes et de toutes espèces d'arbres fruitiers, sauf l'olivier. Des paradis de toutes sortes y fleurissent, des fleuves limpides et des eaux dormantes l'arrosent ; elle nourrit toutes les espèces d'oiseaux qui vivent autour des fleuves ou au bord de l'eau, les chevaux, les bêtes de somme, on y trouve beaucoup de forêts et de gibier» (Briant P., 1996).

## 1.3. L'hypothèse de Ninive : le parc luxuriant de Sennachérib

L'emplacement des jardins suspendus à Babylone est sujet à controverse, car en plus d'être nécessairement proches du fleuve, les jardins étaient bien trop éloignés du palais. Le roi aurait dû traverser de nombreuses portes et des murs colossaux pour y accéder. Le Professeur Stéphanie Dalley de l'université d'Oxford émet l'hypothèse que les jardins suspendus étaient probablement ailleurs : sur les bords du Tigre, à Ninive capitale de l'Assyrie au VII<sup>ème</sup> siècle av J.-C (Green N., 2013). Deux indices retrouvés dans la capitale constituent le point de départ de cette thèse : un prisme à huit faces (Figure n°12) avec des inscriptions en cunéiformes et un bas-relief orné d'images.

---

<sup>10</sup> Flavius Josèphe, *Contre-Apiion*, I, XIX, 141 : « Dans cette résidence royale, il fit élever de hautes terrasses de pierre, leur donna tout à fait l'aspect des collines, puis, en y plantant des arbres de toute espèce, il exécuta et disposa ce qu'on appelle le parc suspendu, parce que sa femme, élevée dans le pays mède, avait le goût des sites montagneux. » (Harmand R., 1911).

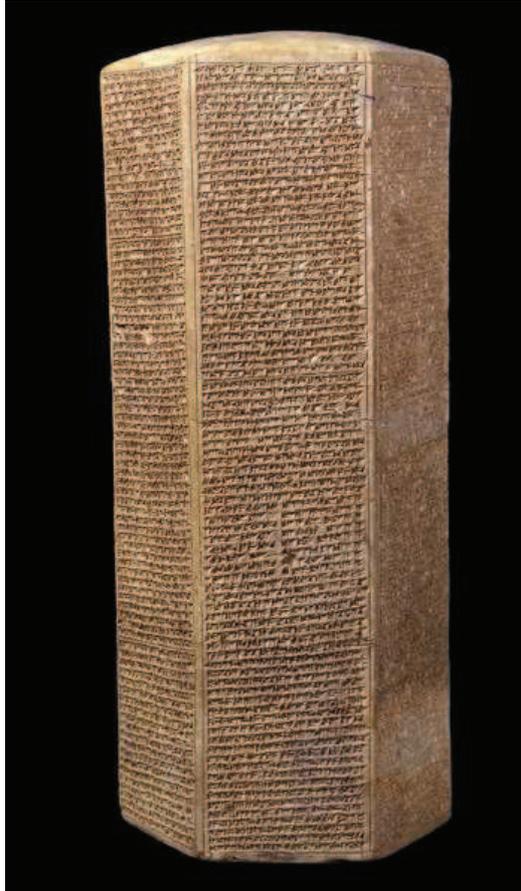


Figure n° 12 : Prisme à huit faces, Ninive, (Référence internet n°9).

Le polyèdre (Figures n°12) était caché dans les murs du palais du roi assyrien Sennachérib (VII<sup>ème</sup> siècle av J-C) qui vécut un siècle avant Nabuchodonosor II. Le professeur S. Dalley y déchiffre une allusion à des jardins somptueux aménagés à côté du palais : « J'ai surélevé les abords du palais [références aux jardins]. Il sera une merveille pour tous les peuples [...] un jardin surélevé qui imite les chaînes de l'Amanus [chaîne de montagnes en Turquie]. Il y est planté d'essences aromatiques, d'arbres qui font la richesse des montagnes et de Babylone, ainsi que d'arbres qui donnent de la laine.»<sup>11</sup>. Le bas-relief (Figures n°13, 14) illustre cette description : un jardin avec des terrasses et de l'eau qui s'écoule le long d'arches en pierre.

---

<sup>11</sup> Citation du Pr S. Dalley, d'après le documentaire de Green N., 2013.



Figure n°13 : Détail du bas relief, Ninive, (Référence internet n°8).

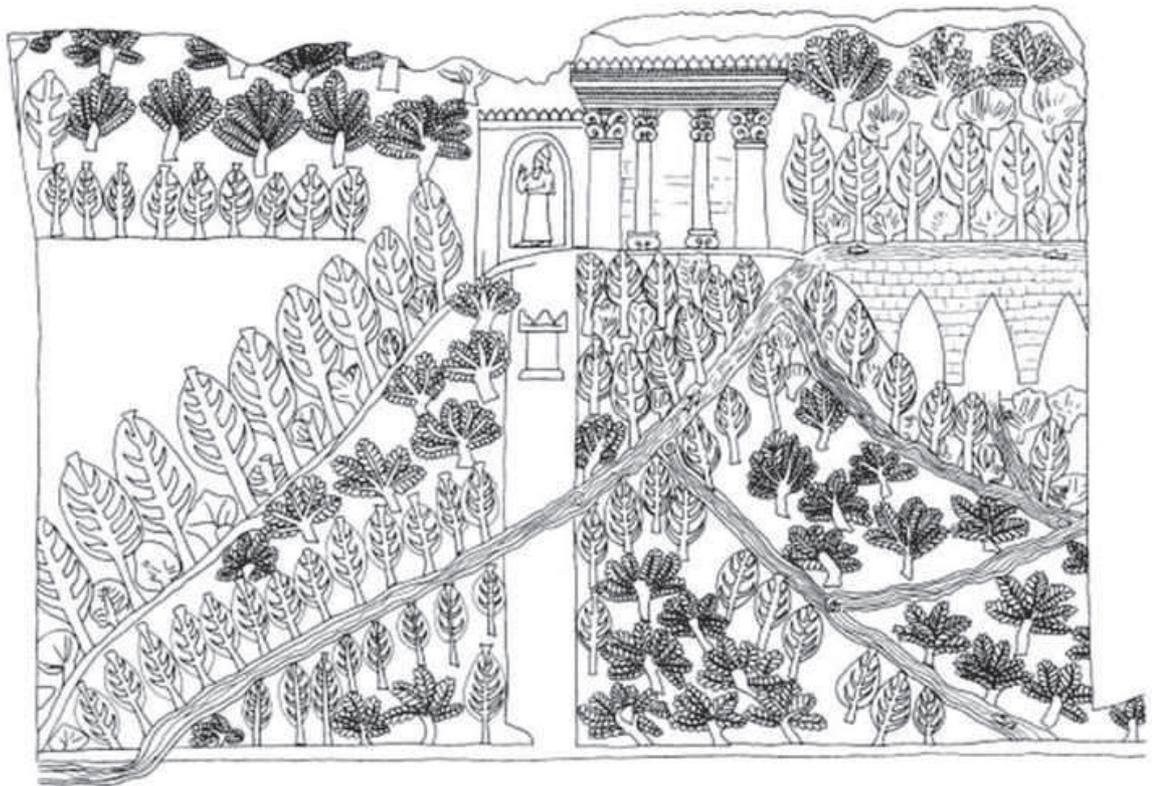


Figure n°14 : Dessin du bas-relief, de Stephanie Dalley, Ninive, (Référence internet n°4).

Les Grecs auraient donc confondu dans leurs écrits les deux cités de par leurs importances et leurs architectures similaires. Ninive comportait tout comme Babylone de nombreuses portes, et de grands parcs avec fontaines y étaient aménagés. Ceux-ci permettaient de montrer l'autorité du souverain assyrien. De grands aqueducs apportaient l'eau des montagnes pour irriguer les parcs. Certains portaient de la ville de Khinis située dans les montagnes (Figure n°15). Les aqueducs étaient alimentés par une rivière encore existante aujourd'hui. Elle était en partie détournée grâce à un rocher qui la séparait en deux cours. Puis s'en suivait une dénivellation progressive (1mètre tous les km) pour assurer un écoulement de l'eau lent et régulier (Figure n°16). Le site de Khinis était très certainement raccordé au système hydraulique de Ninive.



Figure n° 15 : Carte de l'Irak situant Nineveh et Khinis, (Green N., 2013).

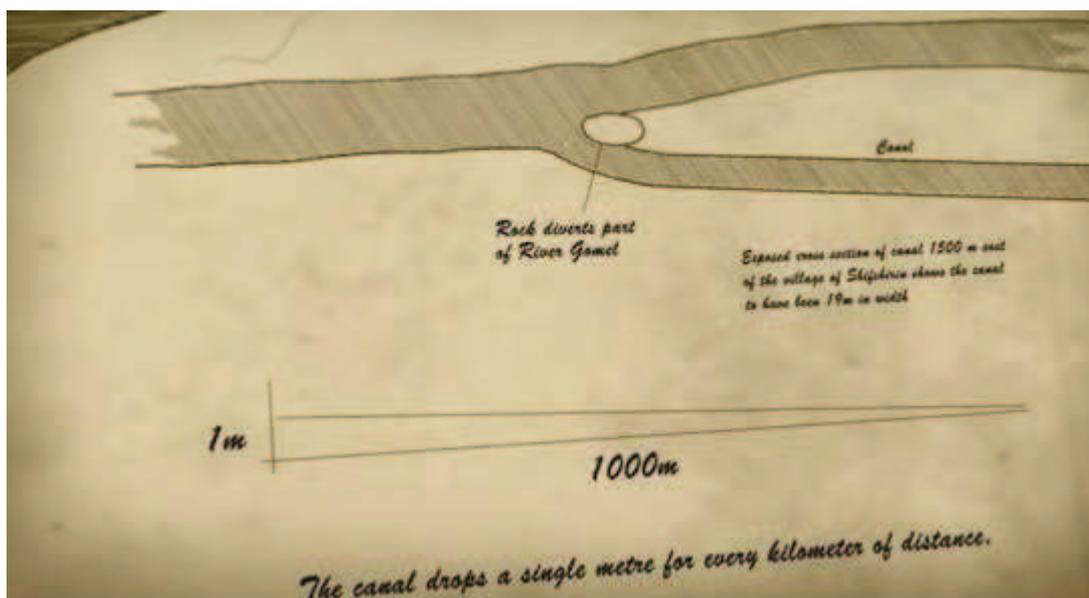


Figure n° 16 : La structure du canal de Khinis, (Green N., 2013).

Pour retrouver le réseau fluvial, Jason Ur de l'université d'Harvard utilise des images satellites déclassifiées (Figure n°17) du programme d'espionnage Corona (Green N., 2013). Ces images datant des années soixante ont permis de révéler des vestiges de l'empire assyrien avant que la construction des villes et routes modernes ne surplombe tout. Ainsi a pu être découvert l'immense réseau de canaux partant des monts Zagros le long de la frontière iranienne jusqu'à Ninive. L'ouvrage devait être immense et nécessiter une prouesse technique exceptionnelle. Plusieurs vestiges d'aqueducs en témoignent comme les ruines de l'Aqueduc de Jerwan au nord de l'Irak (Figure n°18). Il s'agit du plus ancien aqueduc connu, antérieur de plus de 500 ans aux ouvrages romains. Il a été érigé par le roi Sennachérib qui signa son ouvrage dans la pierre par une inscription cunéiforme : « Sennachérib roi du monde, roi de l'Assyrie »<sup>12</sup> (Figure n°19). Le Pr Dalley voit là une preuve du savoir-faire requis pour l'irrigation des jardins. De plus elle remarque un détail important : les aqueducs de Jerwan étaient supportés par cinq arches de pierre (Figures n°20, 21, 22). Or ces cinq arches sont justement représentées sur le bas-relief retrouvé à Ninive (Figure n°13). Cela signifie que le jardin qui y est représenté est bien la description d'une réalité et non une invention.



Figure n°17 : Images satellites déclassifiées du programme d'espionnage Corona, (Green N., 2013).

---

<sup>12</sup> Traduction du Pr S.Dalley, (Green N., 2013).



Figure n°18 : Ruines de l'Aqueduc de Jerwan, Nord de l'Irak, (Yongkyu L., 2013).



Figure n°19 : Inscription cunéiforme « Sennachérib roi du monde, roi de l'Assyrie »,  
(Green N., 2013).



Figure n°20 : Ruines des aqueducs de Jerwan, Nord de l'Irak, (Green N., 2013).



Figure n°21 : Ruines d'une arche en pierre supportant l'aqueduc de Jerwan, Nord de l'Irak, (Green N., 2013).

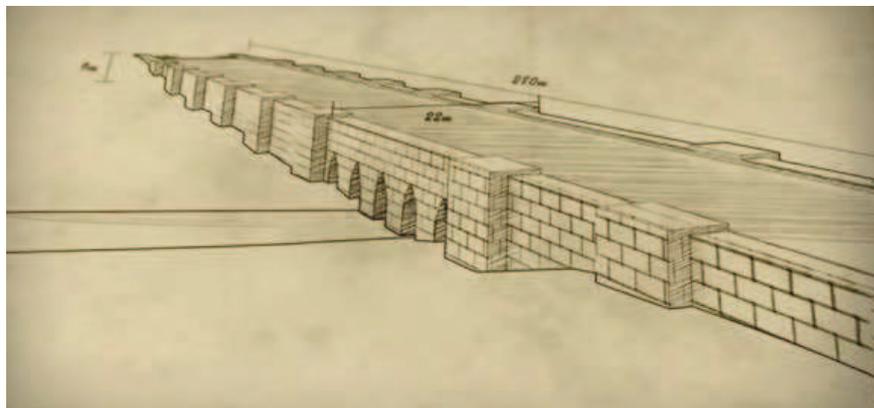


Figure n°22 : Schéma reconstituant les aqueducs de Jerwan, (Green N., 2013).

Les fabuleux jardins du palais de Ninive ont donc nécessité un système hydraulique qui parcourait plus de 100 km pour atteindre la capitale. Une fois l'eau acheminée jusqu'à la ville, il fallait des infrastructures capables de l'amener en hauteur jusqu'à chaque terrasse. Les chercheurs estiment que l'irrigation des jardins nécessitait 300 tonnes d'eau par jour. Le mystère de l'approvisionnement en eau est élucidé dans les écrits de Sennachérib traduits par le Pr. S. Dalley : « Afin qu'on puisse monter de l'eau toute la journée [...] j'ai fait fabriquer des cordes, des câbles et des chaînes et placer les alamittu et les grands cylindres au-dessus des citernes » (Green N., 2013). Selon le professeur, le terme « alamittu » se traduirait par « palmier-dattier ». Il s'agirait du nom donné à une invention qui rappellerait le stipe de l'arbre (Figure n°23) dont les cicatrices laissées par la coupe des feuilles donneraient une forme de spirale (Figures n°24 et n°25). Ce cylindre constituant un système élévateur d'eau serait l'ancêtre de la vis d'Archimède (Figures n°26).

Selon le Pr Dalley, l'emplacement des jardins à Ninive se localisait derrière le palais. Les dimensions des jardins n'ont jamais été abordées dans les écrits de Sennachérib. Seules subsistent les mesures données par Diodore de Sicile (Hoefler F., 1851) : « 4 plèthres de côté », soit 123 mètres (une plèthre équivalant à 30 mètres environ). Il décrit la configuration de la construction comme un « amphithéâtre grec » avec des jardins qui « descendaient en terrasses » (Figure n°27). Ces mesures coïncident justement avec l'emplacement suggéré par S. Dalley. Cependant le Professeur n'a pu confirmer l'existence des jardins par des fouilles sur le site Ninive (actuellement ville de Mossoul en Irak) en raison du contexte géopolitique actuel.



Figure n°23 : Stipe du palmier-dattier (*Phoenix dactylifera* L.), (Green N., 2013).

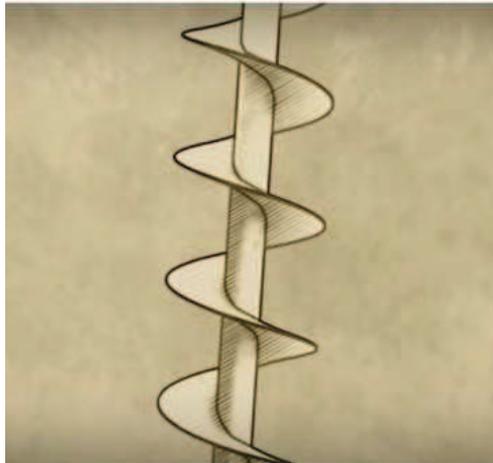


Figure n°24 : Schéma de l'alamittu, ancêtre de la vis d'Archimède, (Green N., 2013).

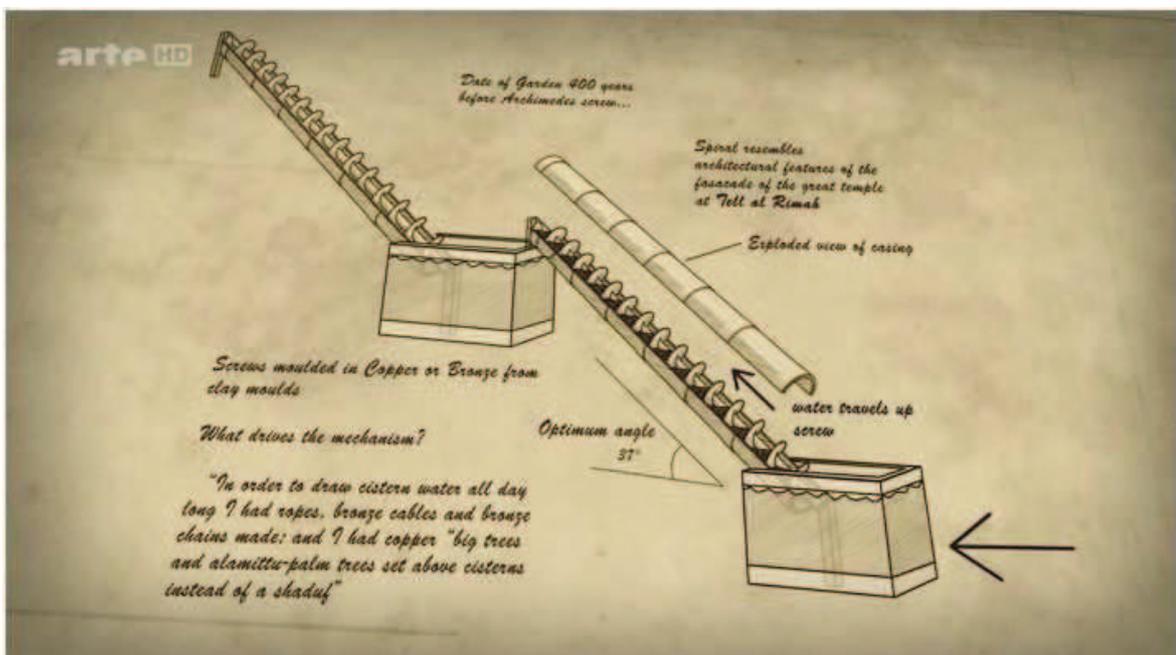


Figure n°25 : Schéma du système élévateur d'eau, (Green N., 2013).



Figure n°26 : Reconstitution en image de synthèse  
du système hydraulique des Jardins suspendus, (Green N., 2013).



Figure n°27 : Reconstitution en image de synthèse  
des Jardins Suspendus sous forme d'amphithéâtre, (Green N., 2013).

#### 1.4. La survie du mythe des Jardins de Babylone

A l'heure actuelle, il n'y a pas de consensus quant à l'emplacement des jardins suspendus. Les historiens s'accordent à dire qu'ils ont certainement existé mais des incohérences et incertitudes laissent planer le doute sur leur localisation. Néanmoins, le mythe reste ancré dans la littérature française, et survit dans des œuvres littéraires comme celles de Victor Hugo et de Voltaire. Le premier en fit un recueil de poèmes : *La légende des siècles*<sup>13</sup>, et le second un conte philosophique : *La Princesse de Babylone*<sup>14</sup>.

On peut également citer un extrait du poème *Chant premier des Jardins ou L'Art d'embellir les paysages* (1801) de l'Abbé Jacques Delille (1738 – 1812) :

L'art innocent et doux que célèbrent mes vers,  
Remonte aux plus beaux jours de l'antique univers.  
Dès que l'homme eut soumis les champs à la culture,  
D'un heureux coin de terre il soigna la parure ;  
Et plus près de ses yeux il rangea sous ses lois  
Des arbres favoris et des fleurs de son choix.  
Du simple Alcinoüs le luxe encor rustique  
Décorait un verger. D'un art plus magnifique  
Babylone éleva des jardins dans les airs.  
Quand Rome au monde entier eut envoyé des fers,  
Les vainqueurs, dans des parcs ornés par la victoire,  
Allaient calmer leur foudre et reposer leur gloire.  
La sagesse autrefois habitait les jardins,  
Et d'un air plus riant instruisait les humains :  
Et quand les dieux offraient un élysée aux sages,  
Était-ce des palais ? C'était de verts bocages ;  
C'était des prés fleuris, séjour des doux loisirs,  
Où d'une longue paix ils goûtaient les plaisirs.

---

<sup>13</sup> Hugo V., 2001.  
Voir l'annexe n°7.

<sup>14</sup> Voltaire, 1942.  
Voir texte en annexe n°8.

Les jardins sont aussi source d'inspiration dans diverses œuvres artistiques, comme cette célèbre gravure du XVI<sup>e</sup> siècle de l'artiste néerlandais Maarten van Heemskerck (Figure n°28) :



Figure n°28 : Les Jardins suspendus de Babylone, (Référence internet n°85).

Ou encore ce tableau de Charles Le Brun, *Entrée d'Alexandre dans Babylone* (1664), de la période Baroque, où l'on distingue au fond à droite les Jardins Suspendus (Figure n°29) :



Figure n°29 : L'entrée d'Alexandre dans Babylone, (Référence internet n°17).

D'autres tableaux peuvent être cités, comme *The Fall of Babylone* (1831) de John Martin (Figure n°30) de la période du Romantisme, *Hanging Gardens of Babylon* (1886) de Ferdinand Knab (Figure n°31), *Babilonia* de František Kupka peintre de l'Art moderne (Figure n°32), et *Hanging Gardens of Babylon* de Mario Larrinaga (Figure n°33) :



Figure n°30 : La chute de Babylone, (Référence internet n°28).



Figure n°31 : Les Jardins suspendus de Babylone, (Référence internet n°28).



Figure n°32 : Babylone, (Référence internet n°28).



Figure n°33 : Les Jardins suspendus de Babylone, (Référence internet n°28).

Le mythe perdure jusqu'à l'heure actuelle et inspire la société. Une entreprise de design végétal (élaboration de murs végétaux et diverses conceptions botaniques originales) créée en 2004 pris le nom « Les jardins de Babylone » en référence au mythe.

## 2. L'exemple de la Nature

Étudions premièrement quelques exemples de modèles de reliefs naturels, puis intéressons nous aux impacts des végétaux sur les édifices de l'Homme.

### 2.1. Les modèles de reliefs naturels

Pour recréer un mur végétal il faut tout d'abord étudier les différents modèles et structures de la nature. Celle-ci offre une grande variété de reliefs et milieux naturels qui peuvent servir de socle aux idées de créations.

#### 2.1.1. Les cascades

Edifice naturel le plus évident, les cascades fascinent par leur majestuosité (Figure n°34). Elles attirent aussi bien par la végétation exubérante qu'elles présentent que par le mouvement continu de l'eau qui hypnotise l'œil de l'observateur. La particularité de ce milieu naturel est l'absence de stress hydrique associé à une forte luminosité qui favorisent la reproduction active des plantes. Le support minéral est facilement et rapidement recouvert. Les espèces végétales entrent en compétition et en moyenne seules quatre espèces différentes cohabitent aux abords d'une même cascade. Bien qu'elle constitue un milieu très favorable à la croissance, elle est défavorable à la diversification des espèces végétales. La roche, les racines et les feuilles sont mouillées en permanence, ce qui va promouvoir le développement d'algues, de diatomées<sup>15</sup> et de bactéries qui vont recouvrir la roche d'un voile gluant (Blanc P., 2011) (Figure n°35). Ce voile n'empêche pas la croissance végétale et participe à la flore locale.

---

<sup>15</sup> Les diatomés sont de micro algues unicellulaires.



Figure n°34 : Cascade d'Ouzoud, au Maroc. Photo de Manéro M., Août 2006.

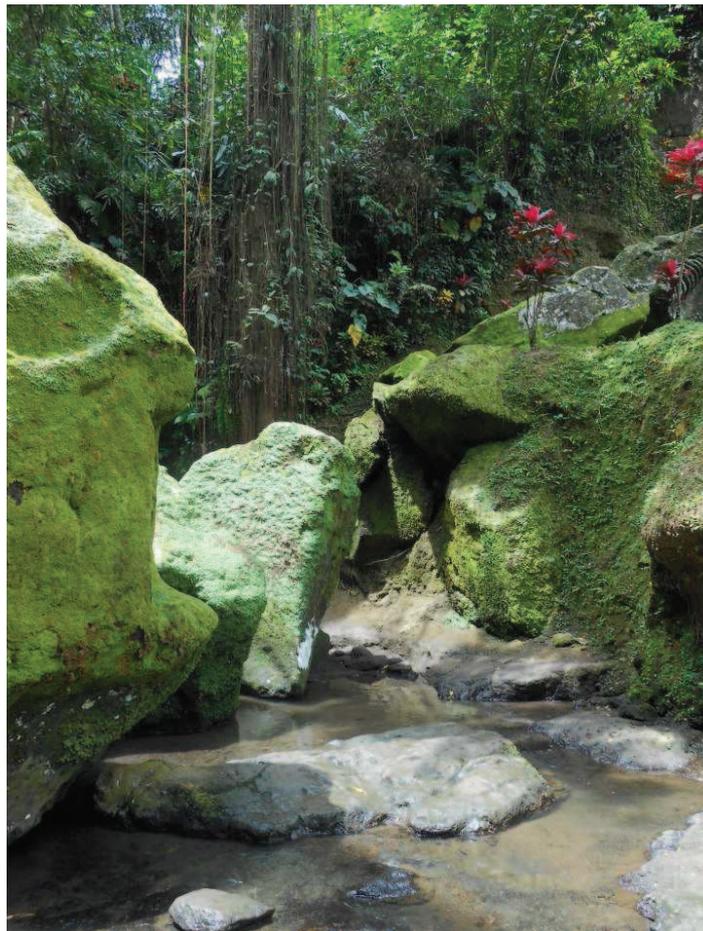


Figure n°35 : Rochers recouverts d'algues aux abords d'une cascade en Indonésie.

Photo de Manéro M., 2012.

### 2.1.2. Les berges et les rochers suintants

Les berges sont des structures instables et polymorphes, subissant l'érosion et la dynamique du courant. Pour lutter contre cela, les rebords rocheux sont colonisés par des plantes ripicoles (qui vivent sur les rives d'un cours d'eau<sup>16</sup>) dont le système racinaire est intriqué dans les anfractuosités de la roche. Sont également présents des végétaux rhéophytes (Figure n°36) (qui se développent dans les eaux animées d'un fort courant<sup>17</sup>), régulièrement humidifiés par l'eau imbibant le tapis de mousses. Les végétaux rhéophytes, comme le saule et le laurier-rose, présentent des feuilles coriaces, allongées, à tiges réduites, et avec un système racinaire épais qui forme un matelas recouvrant les rochers. Le modèle végétal qui correspondrait le plus au mur végétal serait les rochers suintants verticaux aux abords des cascades. Il est aisé d'imaginer un parallèle entre les structures : le film d'algues sur la roche est remplacé par la nappe d'irrigation du mur végétal et la roche rigide par la structure de soutien en PVC.



Figure n°36 : *Spathiphyllum sp.* plante rhéophyte, Rio de Janeiro, Brésil,  
(Référence internet n°51).

---

<sup>16</sup> Moureau M., Brace G., 2000.

<sup>17</sup> Moureau M., Brace G., 2000.

### 2.1.3. Les falaises et reliefs karstiques colonisés par la végétation

Le relief karstique est un paysage naturel formé par l'infiltration de l'eau dans la roche (en sous-sol), dissolvant la pierre et la redéposant plus loin. La dissolution de la roche et la formation des concrétions font intervenir des processus chimiques. Les lapiez et la résurgence sont deux exemples de reliefs karstiques végétalisés.

Les lapiez (Figure n°37) correspondent à des roches calcaires creusées de rigoles plus ou moins parallèles. La présence d'argile (provenant de la décalcification du calcaire) dans les aspérités permet la croissance de végétaux.

La résurgence (Figure n°38) se traduit par l'eau qui traverse les massifs calcaires puis ressort à un niveau inférieur, pouvant ainsi créer une cascade. Lorsque la végétation se pétrifie avec le temps, la structure forme alors de véritables « cascades pétrifiées » (Figure n°39). Puis lorsque la masse calcaire s'épaissit elle crée des « tuffières » (Figure n°40). Finalement ces structures finissent par donner naissance à de petits cours d'eau qui descendent le vallon.



Figure n°37 : Lapiez stérile (Haute Savoie), (Référence internet n°25).

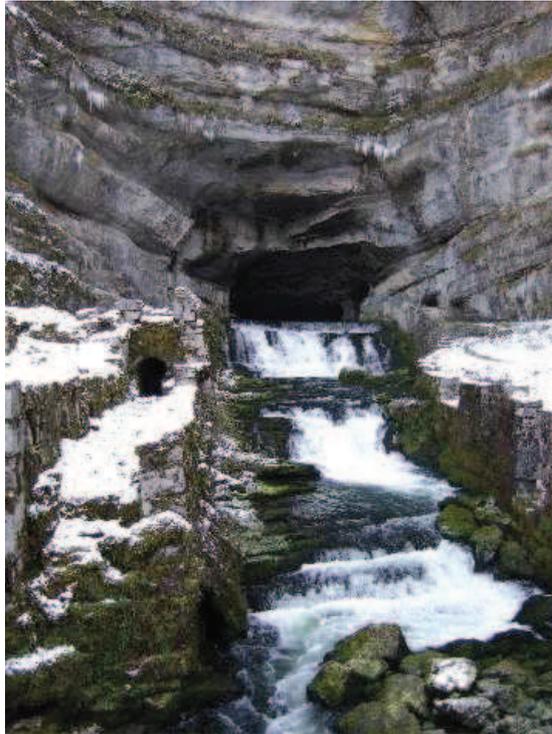


Figure n°38 : Résurgence de la Loue dans le Doubs, (Référence internet n°34).



Figure n°39 : Cascade pétrifiée de Herve el Agua, Oaxaca, Mexique,  
(Référence internet n°21).



Figure n°40 : Tufière à Roquefort-les-Cascades, (Référence internet n°73).

#### 2.1.4. Les grottes des reliefs karstiques

Dans la formation des reliefs karstiques, lorsque l'eau s'infiltré suffisamment elle élargit les failles et les espaces dans la roche créant ainsi de véritables grottes. Les grottes sont caractérisées d'une part, par un apport d'eau indirecte par suintement (percolation à travers la roche).

Les structures végétales vont alors être différentes selon leur localisation et leur position dans la grotte. Dans les zones extrêmement peu éclairées, poussent surtout des algues, mousses et fougères. Le long des parois les plantes auront un feuillage de forme plutôt ovale, et pour certaines espèces il sera réduit à une feuille unique portée par une courte tige (Figure n°41).



Figure n°41 : *Monophyllaea pendula* B. L. Burt dans une grotte,  
(Référence internet n°33).

## 2.2. Impacts des végétaux sur les édifices de l'Homme : de l'impact superficiel à l'impact destructeur

« L'Homme se retrouve confronté à cette dualité, s'entourant de plantes tout en essayant de les empêcher de se propager librement. Et pourtant, c'est précisément cette forme de liberté du monde végétal qui le fascine. » Par cette citation<sup>18</sup>, P. Blanc montre le paradoxe auquel se retrouve confronté l'être humain face au végétal.

Le développement des végétaux sur les édifices construits par l'Homme n'est pas dénué d'impact. Les conséquences peuvent être diverses et de gravité variable. La flore saxicole<sup>19</sup> (Figure n°42) qui pousse sur les murs des édifices urbains est identique à celle retrouvée sur les falaises<sup>20</sup>. L'impact est souvent plus destructeur sur les édifices dans les régions à climat tropical qu'en région tempérée en raison du type de végétation qui s'y développe. Dans nos régions tempérées il s'agit le plus souvent d'arbustes, d'herbacées et très peu d'espèces ligneuses.



Figure n°42 : *Cymbalaria muralis* G.Gaertn., B.Mey. & Scherb. sur un muret du Sentier des philosophes à Heidelberg, Allemagne. Photo de l'auteur, décembre 2013.

---

<sup>18</sup> Blanc P., 2011.

<sup>19</sup> Flore saxicole : flore qui pousse sur les rochers (Moureau M., Brace G., 2000).

<sup>20</sup> Blanc P., 2011.

### 2.2.1. Impact superficiel de la Nature

Les petites herbacées, mousses (Figure n°43), et fougères recouvrent facilement les murs humides et les tuiles sur les toits sans les altérer. Leur système racinaire n'est pas suffisamment épais pour risquer d'abîmer le mur sur lequel elles s'installent, comme les espèces des genres *Asplenium*, *Cymbalaria*, *Mentha* etc.... (Figures n°44, n°45 et n°46).



Figure n°43 : Ornementation d'un mur du château de Heidelberg, Allemagne.

Photo de l'auteur, décembre 2013.

L'ornementation en tête de lion est intacte malgré la mousse qui la recouvre.



Figure n°44 : *Mentha sp.* sur un muret du Sentier des philosophes à Heidelberg, Allemagne. Photo de l'auteur, décembre 2013.



Figure n°45 : *Cymbalaria muralis* G.Gaertn., B.Mey. & Scherb. sur un muret du Sentier des philosophes à Heidelberg, Allemagne. Photo de l'auteur, décembre 2013.



Figure n°46 : *Asplenium sp.* sur un muret du Sentier des philosophes à Heidelberg, Allemagne. Photo de l'auteur, décembre 2013.

### 2.2.2. Impact à risque de la Nature

Certaines plantes s'installent sur les gouttières des édifices. Lorsqu'elles ont un fort développement racinaire elles risquent de pénétrer les gouttières et de créer un déséquilibre de poids sur la façade et ainsi de desceller les murs. D'autre part, les tiges volubiles exercent des forces de traction qui déforment le support. Cependant le feuillage dense protège le mur des intempéries. Ce phénomène est retrouvé avec les glycines, et autres espèces ligneuses. Les autres plantes à risque sont les plantes arbustives qui se développent au cœur des murs, comme sur la figure n°47. Le plus redoutable est le figuier étrangleur, ainsi nommé car il s'installe sur autre arbre, ses racines poussant jusqu'à littéralement étrangler l'arbre hôte (Figure n°48).



Figure n°47 : *Hedera helix* L. poussant sur un mur dans les rues d'Heidelberg, Allemagne.

Photo de l'auteur, décembre 2013.



Figure n°48 : *Ficus sp.* sur un mur urbain à Hong-Kong, en Chine,  
(Référence internet n°84).

### 2.2.3. Impact destructeur de la Nature

Le figuier étrangleur peut aussi être considéré comme arbre à risque destructeur. Cet arbre ainsi que le faux fromager (*Tetrameles nudiflora* R. Br.) sont les plus redoutables au Cambodge. Le faux fromager (Figure n°49) est particulièrement dangereux. Il pousse avec aisance entre les pierres des bâtiments, il déplace, désolidarise les pierres et finalement les édifices ne tiennent plus que grâce au végétal. Le danger réside dans le cycle de vie de l'arbre : lorsqu'il meurt (naturellement ou de la main de l'Homme) il se désagrège en peu de temps (quelques mois) et tombe littéralement en poussière. La béquille de l'édifice ayant disparu, le bâtiment finit tout simplement par s'effondrer. A l'inverse, le ficus étrangleur persiste. Une fois ses racines installées dans l'édifice, elles continuent de s'insinuer et l'arbre pousse jusqu'à étrangler totalement le bâtiment. Ainsi s'il n'est pas coupé régulièrement et de façon drastique, l'impact à risque devient un impact destructeur. Un autre exemple d'arbre destructeur est le Lilas des Indes (*Lagerstroemia calyculata* Kurz). Ses racines sont redoutables car en plus de s'insinuer entre les pierres, elles s'épaississent et finissent par desceller complètement les pierres (Figures n°50 et n°51).



Figure n°49 : *Tetrameles nudiflora* R. Br, grand assassin des monuments,  
(Référence internet n°7)



Figure n°50 : *Lagerstroemia calyculata* Kurz, le Lilas des Indes,  
(Référence internet n°7).



Figure n°51 : *Lagerstroemia calyculata* Kurz, temple d'Angkor Wat, Cambodge,  
(Référence internet n°91).

### 3. Une vision globale de la végétalisation des toits et des murs en milieu urbain

La végétalisation des murs et toits urbains présente des avantages et des contraintes avec un impact considérable sur la qualité de vie en milieu urbain.

#### 3.1. Les avantages

##### 3.1.1. La qualité de l'air

La végétation affecte positivement la qualité de l'air urbain par trois processus : le phénomène de dépôt sec qui permet d'éliminer les polluants de l'air, la séquestration du dioxyde de carbone par le mécanisme de la photosynthèse, et le ralentissement de la formation du brouillard photochimique « le smog » ( $O_3$ ) par le refroidissement de la température ambiante. Mais elle possède néanmoins des effets négatifs par la production de BVOC (Biogenic Volatile Organic Compounds), de pollen et de spores.

##### 3.1.1.1. Le phénomène de « dry deposition » ou dépôt sec

Le tronc, les branches, et les feuilles des arbres éliminent les polluants gazeux et les particules dans l'air par le phénomène de « dépôt sec » (Bolund P. and Hunhammar S., 1999 ; Thornes J. *et al.*, 2010).

Les polluants dans l'air peuvent être générés à partir de différentes sources : les routes, les gaz d'échappement des véhicules, les émissions provenant des procédés industriels de combustion, de construction et de démolition, les pesticides en poudre, les bio-aérosols et les cendres volcaniques (Dickey J.H., 2000). De nombreux auteurs de la littérature scientifique s'accordent sur le caractère dangereux de ces particules pour la santé.

- Le phénomène de dépôt sec en physique

Dans la physique des aérosols, le dépôt est le processus par lequel des particules d'aérosol<sup>21</sup> se déposent à la surface des solides, diminuant leur concentration dans l'air (Référence internet n°12). Ce phénomène se subdivise en deux processus : le dépôt sec et le dépôt humide. Les dépôts humides sont définis comme étant le transfert de matière causé par des précipitations (pluie, neige, grêle, brouillard, nuages de montagne), à l'opposé des dépôts secs qui par définition sont dus à des phénomènes autres que la précipitation : sédimentation, adsorption, absorption et réaction chimique.

Les processus du dépôt sec permettant l'élimination des particules sont (Beckett K.P. *et al.*, 2000 ; Bell J.N.B. and Treshow M., 2002) :

- La sédimentation gravitationnelle : elle concerne les grosses particules,
- L'interception : les petites particules suivent les lignes de courant, mais si elles s'écoulent trop près d'un obstacle elles peuvent se heurter,
- La diffusion moléculaire, pour les gaz,
- La diffusion turbulente,
- La diffusion brownienne, pour les particules très fines
- Le processus d'impact par inertie, pour les autres types de particules

La contribution de la végétation urbaine à la dépollution, par le processus de dépôt sec a été étudié par des chercheurs grâce à des modélisations, les plus connues étant le modèle UFORE<sup>22</sup> (Yang J. *et al.*, 2005 ; Nowak D.J. *et al.*, 2006 ; Escobedo F.J. *et al.*, 2008 ; Jim C.Y. and Chen W.Y., 2008) et le modèle FRAMES<sup>23</sup> (Bealey W.J. *et al.*, 2007).

Les modélisations utilisent différents paramètres pour évaluer le processus de dépôt des particules sur les végétaux : le flux de dépôt sec ponctuel et le flux intégré (Tallis M. *et al.*, 2011). Les modélisations vont ensuite combiner ces données aux informations sur les différents types de canopées (d'après les données satellitaires) et prendre en compte les adaptations climatiques pour établir des scénarios sur la dépollution.

---

<sup>21</sup> Aérosol : Tout ensemble de particules solides ou liquides en suspension dans un milieu gazeux. Les particules sont considérées en suspension si leur vitesse limite de chute maximale n'excède pas 0.25m/s. (Référence internet n°24).

<sup>22</sup> UFORE : The Urban Forest Effects model

<sup>23</sup> FRAME : The Fine Resolution Atmospheric Multi-pollutant Exchange

- Les particules polluantes dans le dépôt sec

Les principaux polluants de l'air éliminés par les végétaux sont (Fowler D. *et al.*, 1989) :

- Les matières particulaires, notées « PM » : elles sont l'un des polluants les importants de l'air, et représentent un danger potentiel pour la santé de l'Homme (Riley W.J. *et al.*, 2002 ; Colbeck I. *et al.*, 2010). Elles sont classées en différentes fractions en fonction de leur taille. Les plus courantes sont : les PM<sub>1</sub>, les PM<sub>2.5</sub>, et les PM<sub>10</sub>.
- Les polluants gazeux néfastes pour la santé (Zipprich J.L. *et al.*, 2002 ; Baxter L.K. *et al.*, 2007) comme le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), le monoxyde d'azote (NO), le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), et l'ozone (O<sub>3</sub>).
- Le carbone élémentaire (Kinney P.L. *et al.*, 2000 ; Baxter L.K. *et al.*, 2007)
- L'ammoniaque (NH<sub>3</sub>), et l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>).

Les PM<sub>10</sub> correspondent aux particules de moins de  $10 \times 10^{-6}$  m (soit 10 micromètres) de diamètre aérodynamique<sup>24</sup>. Elles constituent un véritable problème de santé publique. Selon le rapport de l'AQEG de 2005, une exposition à court et à long terme à des PM engendre des maladies respiratoires et cardio-vasculaires, voir des décès. Des estimations au Royaume-Uni en 2002, suggèrent qu'une exposition à court terme à des PM<sub>10</sub> serait responsable de 6500 décès et de 6400 admissions à l'hôpital (AQEG, 2005)<sup>25</sup>.

Le dépôt sec des PM<sub>10</sub> sur les arbres se fait principalement par sédimentation (sous l'effet de la gravité et du phénomène d'impaction dû au vent) (McPherson E.G., 1994). Il est peu influencé par les fluctuations météorologiques rapides, mais est largement affecté par la zone foliaire totale du couvert végétal (Nowak D.J. *et al.*, 2006).

---

<sup>24</sup> Le diamètre aérodynamique d'une particule est une grandeur abstraite concernant les particules de gaz, se définissant comme le diamètre d'une sphère équivalente de masse volumique de 1 g/cm<sup>3</sup> et ayant la même vitesse limite de chute dans l'air que la particule considérée dans les mêmes conditions de température, de pression et d'humidité relative.  
(Référence internet n°24).

<sup>25</sup> AQEG = Air Quality Expert Group

Le taux d'élimination des polluants peut être estimé à partir du Leaf Area Index (LAI) ou indice de surface foliaire (Tallis M. *et al.*, 2011). Il correspond au ratio entre la surface totale supérieure des feuilles et la surface du sol sur laquelle la végétation se développe (Référence internet n°26). Ainsi selon le LAI du végétal, le potentiel de captation des particules comme les PM sera différent. Les conifères par exemple, ne perdent pas leurs aiguilles en hiver, période où en général la qualité de l'air est la moins bonne. Ils ont un potentiel supérieur de réduction des PM<sub>10</sub> par rapport aux arbres à feuilles larges (Tallis M. *et al.*, 2011). Les PM<sub>10</sub> sont les particules auxquels sont le plus exposés les arbres des rues. Plus les plantes ont des feuilles petites ou velues, plus la capacité à capturer les particules sera supérieure (Beckett K.P. *et al.*, 2000). Par ailleurs, plus les arbres seront grands et sains, meilleur sera la dépollution. C'est la conclusion d'une étude comparant la dépollution de l'air par une forêt urbaine entretenue par rapport à une forêt protégée à Auburn en Alabama aux USA (Martin N.A. *et al.*, 2012)

### 3.1.1.2. Séquestration et piégeage du carbone par la photosynthèse

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est le principal gaz à effet de serre. Lors de la photosynthèse, les plantes assimilent le CO<sub>2</sub> à partir de l'atmosphère, le carbone est capturé et stocké dans le végétal en tant que biomasse<sup>26</sup> (Mcpherson E.G. and Simpson J.R., 1999). Les arbres vont agir contre l'excès de dioxyde de carbone dans l'atmosphère comme de véritables puits à carbone. Le piégeage du carbone<sup>27</sup> par les végétaux a été exploré comme une stratégie de lutte contre le réchauffement climatique en diminuant l'effet de serre (Leung D.Y.C. *et al.*, 2011). Certains auteurs vont jusqu'à estimer la quantité de carbone piégée. Pour Akbari H. (2002) le taux moyen de séquestration pour un arbre de couronne<sup>28</sup> de 50 m<sup>2</sup> est d'environ 11 kg de carbone par an. La quantité de carbone stockée dans un arbre augmente avec sa biomasse, mais elle dépend aussi de la vitesse de croissance du

---

<sup>26</sup> La biomasse est l'ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale. La biomasse végétale désigne la masse de matière vivante végétale présente à un moment donné dans un milieu donné. (Référence internet n°1)

<sup>27</sup> Le piégeage et le stockage du dioxyde de carbone est un processus consistant à séparer le CO<sub>2</sub> de ses sources industrielles et énergétiques, à le transporter dans un lieu de stockage et à l'isoler de l'atmosphère sur le long terme. (Référence internet n°39)

<sup>28</sup> La couronne de l'arbre est l'ensemble des ramifications et du feuillage porté au-dessus du fût (soit entre la première branche à la cime). (Moureau M., Brace G., 2000).

végétal. Les espèces à croissance rapide stockent plus de carbone avant l'âge de 10 ans que les espèces à croissance lente (Montagnini F. and Porras C., 1998 ; Redondo-Brenes A., 2007). Mais sur le long terme la quantité de carbone accumulée par les végétaux à croissance lente sera plus importante.

Le stockage du carbone et la séquestration par les arbres a été étudiée dans différentes villes du monde (Nowak D.J. and Crane D.E., 2002 ; Yang J. *et al.*, 2005 ; Ren Y. *et al.*, 2011 ; Cox H.M., 2012 ; Wang Y.C. and Lin J.C., 2012). La quantité de carbone stockée par les zones urbaines végétalisées varie de 321g de carbone par m<sup>2</sup> à Xiamen en Chine à 36 kg de carbone par m<sup>2</sup> à Sacramento en Californie aux USA (Wang Y. *et al.*, 2014). Elle est donc très variable. La quantité de carbone cumulée va dépendre de plusieurs facteurs (Wang Y. *et al.*, 2014) :

- La localisation des végétaux,
- Le DBH (diameter at breast height), diamètre à hauteur de poitrine, c'est-à-dire le diamètre de l'arbre mesuré à 1,30 mètre du sol,
- La densité en végétaux sur la zone concernée,
- La pente de la zone,
- Le couvert végétal et l'humidité.

De plus des études (Martin N.A. *et al.*, 2012) ont démontré que les arbres des zones protégées (forêts protégées) qui sont plus grands et plus sains, séquestraient plus de carbone que les arbres des zones entretenues (en milieu urbain). Par ailleurs, les espèces à feuilles persistantes ont un pouvoir de photosynthèse en continu, durant toute l'année, ce qui leur permet d'absorber plus de carbone qu'un arbre à feuilles caduques (Gratani L. and Varone L., 2006).

### 3.1.1.3. Pollen et spores

Les végétaux, qu'ils soient en milieu urbain ou naturel, produisent du pollen et des spores. Les infrastructures végétales comme les murs et toits végétalisés n'en font pas exception. Le pollen et les spores produits vont s'infiltrer à l'intérieur des habitats par les portes et les fenêtres (Hugg T. and Rantio-Lehtimäki A., 2007). Leur concentration à l'intérieur du bâtiment dépend de plusieurs facteurs : la situation géographique, le climat, la saison et les caractéristiques de l'habitat. Bien qu'ils ne représentent qu'une faible partie

des particules en suspension, les pollens et spores peuvent être sources de réactions allergiques chez les sujets sensibles, en particulier les enfants (Leung D.Y.C. *et al.*, 2011). Les spores sont libérées par des champignons qui coexistent avec les plantes. Elles sont de dimension plus petite que les grains de pollens et sont capables d'atteindre les surfaces alvéolaires et ainsi induire une inflammation chronique du tissu pulmonaire, favorable à l'asthme. Elles peuvent également être à l'origine de rhinite allergique (Simon-Nobbe B. *et al.*, 2008) et de dermatite atopique (Leung D.Y.M., 2000). Cela pose donc un problème de santé publique (Denning D.W. *et al.*, 2006 ; Taketomi E.A. *et al.*, 2006 ; Simon-Nobbe B. *et al.*, 2008).

#### 3.1.1.4. Les composés organiques volatils biogéniques (BVOC)

Les BVOC (Biogenic Volatile Organic Compounds) sont des traces organiques retrouvées dans l'atmosphère, émises par des plantes en réponse à un stress environnemental comme un excès de lumière ou une température élevée (Lerdau M. and Guenther A., 1997 ; Kesselmeier J. and Staudt M., 1999). Il s'agit de composés tels que l'isoprène, les terpènes, des alcanes, des alcènes, des alcools, des esters, des carbonyles et des acides. La moyenne mondiale estimée du taux de BVOC émis est de 7.5 tonnes de carbone par km<sup>2</sup> par année (Guenther A. *et al.*, 1995). Les BVOC émis par la végétation réagissent avec divers composants de l'atmosphère, ce qui en modifie sa composition chimique. Par exemple, en présence de radiations solaires, les BVOC réagissent avec l'oxyde d'azote pour conduire à la formation d'ozone (O<sub>3</sub>) potentiellement dangereux pour la santé (Atkinson R., 2000). Une exposition à un excès d'O<sub>3</sub> va provoquer une diminution des capacités fonctionnelles pulmonaires (Abelsohn A. *et al.*, 2002), et exacerber potentiellement un asthme préexistant (Watson B.K. and Sheppard V., 2005). En outre, l'O<sub>3</sub> est un important gaz à effet de serre qui retient l'énergie infrarouge émise par la Terre, qui s'ajoute à l'énergie thermique du système atmosphérique terrestre (d'après le rapport 2001 du GIEC<sup>29</sup> issu de la référence internet n°40). Les BVOC contribuent donc indirectement au réchauffement climatique.

---

<sup>29</sup> GIEC = Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.

Il a pour mission d'évaluer, sans parti pris et de façon méthodique, claire et objective, les informations d'ordre scientifique, technique et socio-économique qui sont nécessaires pour mieux comprendre les fondements scientifiques des risques liés au changement climatique d'origine humaine.

Les avantages des végétaux (comme l'atténuation des îlots de chaleur urbains, la séquestration du carbone, la filtration des polluants de l'air) sont donc contrebalancés par l'émission de BVOC (Leung D.Y.C. *et al.*, 2011). Mais cet inconvénient peut-être limité par le choix d'espèces végétales à faible potentiel d'émission de BVOC (Leung D.Y.C. *et al.*, 2011). Celles-ci sont référencées dans la base de données de la référence internet n°6.

### 3.1.2. Effets de l'environnement sonore et biodiversité

Un bruit se définit comme un son indésirable qui dérange, une nuisance, et donc ressenti comme un stress environnemental (Stansfeld S.A. and Matheson M.P., 2003). Les bruits affectent différentes composantes de l'écosystème comme l'habitat animal (Brown A.L. and Raghu S., 1998 ; Warren P. *et al.*, 2006), ainsi que la santé humaine (Stansfeld S.A. and Matheson M.P., 2003 ; Babisch W., 2005 ; Sobotova L. *et al.*, 2010) et le comportement humain (Garza F.J.E., 2004). Plusieurs études scientifiques ont démontré l'effet néfaste d'une exposition importante au bruit : elle peut engendrer des pathologies telles qu'une déficience auditive, des pathologies cardio-vasculaires (hypertension artérielle, cardiomyopathies ischémiques), mais également une perturbation du sommeil et une baisse des performances scolaires (Evans G.W. *et al.*, 1995 ; Bolund P. and Hunhammar S., 1999 ; Stansfeld S.A. and Matheson M.P., 2003 ; Babisch W., 2005).

Les infrastructures végétales présentent deux avantages sur l'environnement sonore que nous verrons successivement. D'une part, elles contribuent à la réduction du bruit. Les feuilles des plantes absorbent le son en retenant une partie de l'énergie de l'onde sonore qui les traverse (de façon comparable à un mur insonorisé) (Magrab E.B. and Jackson F.J., 1973). Ce simple phénomène ne masque pas le bruit urbain mais contribuera dans une certaine mesure à sa réduction. D'autres processus participent de façon plus importante à l'effet acoustique des structures végétalisées. D'autre part, les infrastructures vertes urbaines offrent des sonorités agréables, par l'intermédiaire du bruissement des feuilles et éventuellement du chant d'oiseaux si l'habitat est propice à la nidification (Miller R.W., 1997 ; Irvine K., *et al.*, 2009).

- Biodiversité et vertus psychologiquement apaisantes

Les infrastructures végétales participent à la biodiversité en offrant un habitat potentiel à la faune environnante. En général, elles sont habitées par des espèces communes d'insectes, coléoptères, fourmis, cicadelles, abeilles, araignées... (Coffman R. and Davis G., 2005). Mais quelques espèces rares peuvent aussi être retrouvées sur les toits verts, comme des coléoptères et araignées (Brenneisen S., 2006 ; Grant G., 2006). La richesse en espèces d'insectes va être corrélée positivement avec la richesse des espèces végétales (Gedge D. and Kadas G., 2004). Des oiseaux peuvent même y élire domicile (Baumann N., 2006). La présence localement en zone urbaine d'une faune et d'une flore va permettre la génération de sons agréables. Il existe très peu d'études sur le sujet, la plus récente étant celle d'Irvine K. *et al.*, (2009), qui étudia le paysage sonore de trois espaces verts au Royaume-Uni.

- Effet acoustique des structures urbaines végétalisées : lutte contre le bruit et amélioration de l'acoustique

Les structures urbaines végétalisées (toits et murs) participent à l'effet acoustique du bâtiment-support. Outre le simple effet de barrière de la présence d'un bâtiment, il existe un effet supplémentaire lié à la structure végétale. Un toit végétalisé par exemple, peut réduire de façon significative le son par rapport à un même toit non végétalisé. Une réduction d'au moins 10 dB peut-être attendue (d'après les expérimentations de Van Renterghem T. and Botteldooren D., 2011).

Ce phénomène s'explique par deux mécanismes. D'une part, la structure végétale fournit une meilleure isolation acoustique au bâtiment-support. Et d'autre part, elle va absorber les ondes sonores diffractées (Hadden J. and Pierce A., 1981). Le taux d'absorption du son dépend du type de matériaux avec lequel les ondes sonores interagissent. Le substrat utilisé pour les toits verts possède une importante porosité, cette propriété augmentant les interactions car les ondes pénètrent beaucoup plus dans le milieu, et donc le taux d'absorption sera meilleur. Plus les interactions sont nombreuses plus l'atténuation est importante (Van Renterghem T. and Botteldooren D., 2011). En observant la structure du toit végétal il est aisé d'appréhender comment il apporte une meilleure isolation acoustique. La structure d'un toit végétalisé comporte plusieurs couches

différentes, chacune ayant des caractéristiques et buts spécifiques. L'exemple standard comprend tout d'abord une membrane d'étanchéité qui sert de barrière aux racines des plantes entre le toit et la structure végétale. Puis une couche de drainage vient par-dessus pour permettre l'évacuation de l'excès d'eau, et du géotextile pour empêcher la perte de substrat. Et enfin vient le substrat par-dessus. Selon les plantations désirées, l'épaisseur des différentes couches va varier, tout en prenant en compte le poids maximum autorisé par le toit support.

Outre la lutte contre le bruit urbain, la présence d'un mur végétal permet s'il est placé en intérieur, d'améliorer l'acoustique d'une pièce (Daures J.-F., 2012) où il existe des échos (comme les piscines internes). Bien que l'air soit chargé de chlore, le taux n'est pas suffisant pour incommoder les plantes.

### 3.1.3. Effets de l'infrastructure verte sur l'Homme : effets sur le stress, la santé, et les performances intellectuelles

- Effets sur le stress et la santé

Il existe une corrélation positive entre l'exposition à la nature et la santé humaine (Ulrich R.S. *et al.*, 1991 ; Van den Berg A.E. *et al.*, 2010). La nature a des influences plus réparatrices que les environnements urbains sur plusieurs dimensions affectives : la colère, l'agressivité, et la peur. Plusieurs études convergent sur le fait que pour des individus stressés, une rencontre avec un environnement naturel non menaçant aura une réduction du stress ou une influence réparatrice, alors qu'un environnement urbain entravera la récupération. (Ulrich R.S. *et al.*, 1991). Les espaces verts agissent donc comme un « tampon » entre les événements stressants de la vie et la santé (Van den Berg A.E. *et al.*, 2010). Les paysages naturels aident les gens à gérer le stress ou l'anxiété en offrant une qualité visuelle agréable, qui est un des avantages que procurent les murs et toits végétalisés.

Des psychologues ont démontré les effets bénéfiques de la nature (parcs, jardin,...) sur plusieurs aspects de la santé : la réduction du stress (Ulrich R.S., 1981), la réduction de la fatigue mentale (Hartig *et al.*, 1991) et l'amélioration de l'humeur (Hull IV R.B. and

Michaels S.E., 1995). Les infrastructures végétales<sup>30</sup> comme les murs et toits urbains peuvent donc fournir des environnements sains et bénéfiques pour la santé physique et psychologique pour les personnes (Tzoulas K. *et al.*, 2007). Une étude menée dans un hôpital a révélé que les vues sur de la verdure influençaient le rétablissement des patients. Après une opération, les patients qui ont eu accès à une vue verdoyante à travers la fenêtre de la chambre ont requis moins de médicaments et d'attention en soins infirmiers et récupéré plus rapidement (Ulrich R.S. 1984 ; Van den Berg A.E, *et al.*, 2010).

- Effets sur les performances intellectuelles

Les bâtiments entourés d'éléments naturels visibles à travers la fenêtre permettent de stimuler la capacité des gens à se concentrer (Kaplan R. 2001). L'équipe de Taylor A.F. *et al.*, a examiné la relation entre la nature près des maisons et l'autodiscipline à Chicago aux USA (Taylor A.F. *et al.*, 2002). Les résultats ont montré que la vue d'espaces verts à proximité des maisons a un effet positif sur la performance des enfants sur la concentration et l'inhibition des impulsions.

#### 3.1.4. Aspect économique des infrastructures végétalisées

Les économies en termes de consommation d'énergie grâce à la végétalisation peuvent être traduites en taux d'émission de CO<sub>2</sub>. En 2011, Fahmy M. et Sharples S. ont étudié des modélisations d'agencement d'espaces verts en zone urbaine (trois modèles<sup>31</sup> urbains comparés à un tracé urbain de référence de 1 km<sup>2</sup> de surface). Ils ont pu établir une estimation des réductions du taux de dioxyde de carbone. Une diminution atteignant jusqu'à 2.8% d'émission de CO<sub>2</sub> est attendue en ajoutant des herbes (de 8 cm de hauteur) et des arbres avec un LAI de 3 (indice de surface foliaire)<sup>32</sup>. Une autre étude de la même

---

<sup>30</sup> Les infrastructures vertes se définissent comme tout réseau naturel, semi-naturel et artificiel de systèmes écologiques multifonctionnels dans, autour et entre les zones urbaines, à toute échelle spatiale (Tzoulas K. *et al.*, 2007).

<sup>31</sup> Les modèles analysés variaient au niveau de la disposition des espaces verts, de l'albédo des toits et des murs, ainsi que de l'orientation spatiale (Fahmy M. and Sharples S., 2011).

<sup>32</sup> LAI = indice de surface foliaire. Pour un sol nu, il est de 0, pouvant atteindre la valeur de 15 pour une forêt dense tropicale (Référence internet n°26).

année menée par Lin et al (Lin W. *et al.*, 2011) confirme la corrélation entre biomasse, taille et forme des espaces verts, et économies de carbone.

Les infrastructures végétales offrent donc un avantage économique considérable en termes de réduction de l'énergie et du coût de la santé.

Elles offrent différents bénéfices pour l'Homme, mais selon le type de service apporté, la valeur monétaire du service est calculée différemment. Elle a été étudiée par différentes méthodes d'évaluation dans la littérature scientifique (Wang Y. *et al.*, 2014). Ces méthodes sont les suivantes :

- La méthode du « **coût-évité** » ou la méthode du « coût de remplacement » grâce à :
  - l'économie d'énergie directe,
  - au stockage et à la séquestration du carbone,
  - l'élimination des polluants atmosphériques.
- La méthode **d'évaluation contingente** : basée sur des enquêtes, elle permet d'évaluer la valeur estimée par la population de l'environnement sonore et du service esthétique.
- La **tarification hédonique**<sup>33</sup> : elle analyse la valeur ajoutée des unités de construction en raison de la végétation environnante (De Groot R. *et al.*, 2002). Elle évalue également le service esthétique.

La valeur monétaire peut être exprimée en différentes unités selon la mesure. Pour une économie de coût par :

- la régulation du climat : l'unité est le \$/arbre,
- l'élimination des polluants de l'air : l'unité est le \$/m<sup>2</sup> de surface arborée
- la régulation de l'environnement sonore et l'atout esthétique : l'unité est le \$/personne.

Les bénéfices économiques d'une structure urbaine végétale et de toits verts peuvent aller jusqu'à 250 \$/arbre/an. L'amélioration de la qualité de l'air est évaluée de 0,12 \$/m<sup>2</sup>/an à 0,6 \$/m<sup>2</sup>/an. La valeur attribuée par la méthode d'évaluation contingente à l'effet sonore est de 20 \$/personne/an et l'appréciation esthétique de 25 \$/personne/an. Ces chiffres issus de la littérature scientifique sont indicatifs mais permettent d'estimer le potentiel économique d'une infrastructure urbaine végétalisée (Wang Y. *et al.*, 2014).

---

<sup>33</sup> La tarification hédonique correspond au prix calculé à partir de l'ensemble des caractéristiques qui compose un produit.

### 3.1.5. L'ionisation négative

La présence de végétation participe au phénomène d'ionisation négative de l'air. L'air contient de façon naturelle des ions positifs et des ions négatifs. Nous verrons comment se forment des ions dans l'atmosphère, puis les effets des ions négatifs sur l'Homme.

- Processus de formation et vie des ions dans l'air

Les ions positifs et négatifs présents dans l'atmosphère terrestre se créent lorsqu'une force suffisante vient déplacer un électron des couches électroniques externes des atomes d'oxygène et d'azote (Krueger A.P., 1985), par exemple sous l'influence des rayonnements cosmiques et solaires (Figure n°52).

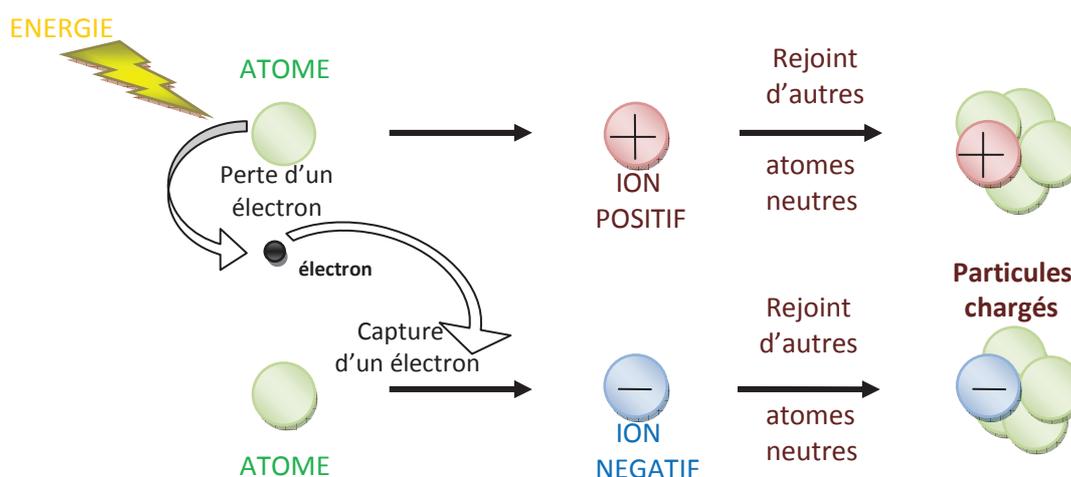


Figure n°52 : Formation des ions négatifs et des ions positifs.

Ils ont une durée de vie de quelques minutes, mais cette durée peut décroître rapidement sous l'effet d'un champ électrique, en présence de polluants atmosphériques, ou encore simplement à cause de la présence de plusieurs personnes dans une même pièce (Krueger A.P. and Reed E.J., 1976). En milieu urbain, les ions positifs sont majoritaires tandis que les ions négatifs sont peu présents, particulièrement au niveau des étages bas des grands bâtiments (Möse J.R. *et al.*, 1981).

Le tableau ci-dessous (Tableau n°1) regroupe des exemples de taux d'ions négatifs en fonction du lieu.

<b>LIEU</b>	<b>Nombre d'ions négatifs par cm<sup>3</sup></b>
<b>Cascade</b>	10 000 à 50 000
<b>Montagne</b>	2 000 à 8 000
<b>Mer</b>	4000
<b>Forêt</b>	3000
<b>Ville</b>	50 à 500
<b>Bureau</b>	20
<b>Voiture</b>	14 à 20
<b>Local climatisé</b>	0
<b>Campagne avant un orage</b>	800 à 1500
<b>Campagne après un orage</b>	2500
<b>Local traité par un ioniseur</b>	9000

Tableau n°1 : Taux d'ions négatifs selon le lieu et le climat

Tableau réalisé avec les données issues du livre de Musarella P. et Jacquemart P., 1994.

Un mur végétalisé participe à la formation des ions négatifs par plusieurs mécanismes :

- la photosynthèse du végétal : par production d'oxygène chargé négativement sous l'effet de la lumière,
- la pulvérisation de l'eau par « effet Lénard » : l'impact de gouttelettes d'eau arrache des électrons qui seront capturés par l'oxygène tandis que l'ion positif formé est piégé par le sol,
- la tribo-électricité par frottement de l'air dans le feuillage : c'est le transfert d'un électron par contact entre deux surfaces.

- Effets sur l'homme des ions négatifs dans l'air

Les ions dans l'air ont des tailles différentes. Mais seuls les petits ions négatifs à mobilité rapide sont biologiquement actifs et assimilables. Les effets sur l'Homme et son environnement ont fait l'objet de nombreuses études, les effets principaux sont les suivants :

- **L'élimination des poussières :** un ioniseur performant permet d'aboutir, après seulement 30 minutes de fonctionnement, à l'élimination de 97 % des particules de 0.1  $\mu\text{m}$  et de 95 % des particules de 1  $\mu\text{m}$  (Lee B.U., *et al.*, 2004). De plus les ions négatifs réduisent la concentration des aérosols de bactéries viables (Krueger A.P. and Reed E.J., 1976 ; Luo C.H. *et al.*, 2009).
- **Effet subjectif sur le bien-être :** l'ionisation négative augmenterait le sentiment d'éveil, la sensation de fraîcheur atmosphérique et de confort (Hawkins L.H., 1981).
- **Effet sur le stress, la fatigue et l'humeur :** plusieurs études rapportent des effets sur la réduction du stress, le sentiment de relaxation et une moindre irritabilité (Krueger A.P., 1985 ; Livanova L.M. *et al.*, 1996 ; Goel N. and Etwaroo G.R., 2006 ; Ogungbe A.S. *et al.*, 2010).
- **Effet sur les performances physiques et récupération après effort :** des expositions de 20 minutes à 17.000 ions négatifs par  $\text{cm}^3$  conduiraient à une meilleure adaptation cardiovasculaire et respiratoire à l'effort, avec un retour à la normale plus rapide du pouls et de la pression artérielle (Laza V. 2009).
- **Normalisation de la pression artérielle :** l'ionisation négative provoquerait une augmentation de la pression artérielle chez les sujets hypotendus et une diminution de la pression artérielle chez les personnes hypertendus (Oliverreau J.M., 1976).
- **Effets sur les performances cognitives :** l'ionisation négative permettrait d'améliorer la mémoire incidente (Morton L.L. and Kershner J.R. 1984) et les capacités cognitives (Morton L.L. and Kershner J.R. 1990), aussi bien chez les hommes que chez les femmes (Baron R.A., 1987).
- **Effets sur l'asthme :** en excluant l'ozone qui a un effet bronchoconstricteur, une thérapie régulière par des ions négatifs permettrait de réduire les prescriptions de médicaments (corticoïdes, théophylline, antihistaminiques) chez les sujets asthmatiques (Le Cossec M.D., 1988).

- **Effet sur la dépression** : la dépression saisonnière avec hypersomnie serait liée à une exposition moindre au soleil en périodes automnale et hivernale. Lorsque les durées d'exposition aux rayonnements solaires sont faibles, la sécrétion de mélatonine est augmentée (Kellogg E.W., 1984). La mélatonine est une hormone libérée par l'épiphyse, responsable des variations du rythme circadien. Les ions négatifs font baisser le taux de sérotonine dans le cerveau, or c'est à partir de cette hormone qu'est synthétisée la mélatonine. L'exposition à des ions négatives, de même que la simulation d'aube naturelle, agirait aussi bien sur la dépression saisonnière (Terman M. and Terman J.S., 2006) que sur la dépression chronique (Goel N., *et al.*, 2005 ; Goel N. and Etwaroo G.R. 2006).
- **Effet sur le sommeil** : de par leur caractère biologiquement actif, les ions négatifs ont un effet sur le rythme circadien (Reilly T. and Stevenson I.C., 1993).
- **Neutralisation et élimination des allergènes** (Grinshpun S.A. *et al.*, 2005 ; Dolejs J. *et al.*, 2006)
- **Effet sur les désordres neuro-végétatifs** : des désordres neurovégétatifs pourraient être normalisés par l'ionisation négative de l'air (Livanova L.M. *et al.*, 1999).
- **Sensations de douleurs chroniques réduites** après exposition brève à des ions négatifs (Itchiro A. *et al.*, 2010)
- **Contrôle des pathogènes** : plusieurs études ont démontré le potentiel de réduction du taux de pathogènes (*Staphylococcus aureus*, *Acinetobacter*, Bacille tuberculeux) en surface et dans l'air (Makelaa P. *et al.*, 1979 ; Escombe A.R. *et al.*, 2009 ; Shepherd Simon J. *et al.*, 2010)
- **Amélioration de l'oxygénation des tissus** (Bhartendu H. and Menon I.A., 1978)
- **Absence d'effets dommageables** sur la santé des ions négatifs produits par un ioniseur (Krueger A.P., 1985).
- **Renforcement de l'effet anti-infectieux d'huiles essentielles** : l'ionisation négative de l'air aurait un effet synergique sur l'action antibactérienne des huiles essentielles diffusées dans l'air (de menthe poivrée et d'eucalyptus globuleux) (Tyagi A.K. and Malik A. 2010).
- **Effet sur la guérison des blessures** : d'après des expériences sur des rats, les ions positifs de l'air retarderaient la guérison de blessures épidermiques contrairement aux ions négatifs de l'air qui activeraient la guérison et la cicatrisation (Jaśkowski J. and Myśliwski A., 1986).

### 3.1.6. La gestion des eaux pluviales

La gestion des eaux pluviales est un enjeu environnemental majeur pour les collectivités. Avec le développement croissant des villes, le risque d'inondation d'une part et de pollution d'autre part ne feront que s'accroître. Les zones urbaines comprennent en grande partie des surfaces dures et non poreuses qui contribuent fortement au ruissellement des eaux pluviales. De plus les pluies de ruissellement transportent des polluants (pesticides et résidus de pétrole notamment) qui nuisent aux habitats fauniques et contaminent les réserves d'eau potable. Les systèmes classiques de gestion des eaux pluviales sont les réservoirs de stockage, les étangs, les marais artificiels et les filtres de sable. Mais ces systèmes sont difficilement implantables dans les zones urbaines à forte densité. Les murs et toits végétalisés représentent donc une solution complémentaire intéressante car ils exploitent des surfaces déjà présentes sans encombrement supplémentaire. Ils permettent de stocker l'eau de pluie, retardant le ruissellement lors des précipitations importantes, et permettent ainsi leur élimination progressive par évaporation dans l'atmosphère (Oberndorfer E. *et al.*, 2007). La capacité de rétention des précipitations par an peut varier de 75% pour les toits verts intensifs (avec une profondeur de substrat de 150 mm) à 45% pour les toits verts extensifs (avec une profondeur de substrat de 100 mm) (Mentens *et al.*, 2006). L'importance de la rétention dépend de la structure du toit végétalisé (le nombre et la profondeur des couches), des conditions climatiques et de la quantité des précipitations.

### 3.1.7. Les performances thermiques

L'utilisation d'une végétalisation horizontale ou verticale urbaine a un important impact sur la performance thermique du bâtiment-support aussi bien en été qu'en hiver. En hiver et surtout dans les régions à climat froid, la couche végétale empêche la déperdition de la chaleur interne. En été et notamment dans les régions à climat chaud, l'infrastructure végétale va avoir un effet de refroidissement en diminuant les transferts de chaleur (le « cooling effect » décrit dans la littérature scientifique) (Perini K. *et al.*, 2011).

La performance thermique des murs et toits végétalisés permet de réduire la consommation d'énergie du bâtiment support. Elle va diminuer les besoins en énergie pour le refroidissement interne et pour le chauffage (Holm D., 1989 ; Perez G. *et al.*, 2011).

Plusieurs études ont évalué et mesuré les performances thermiques de murs végétalisés. Par exemple, pour chaque diminution de la température de l'air interne de 0,5 °C, permet d'obtenir une réduction de la consommation d'électricité pour la climatisation de 8% (Kingsbury N. and Dunnett N., 2004). D'autres études avec des mesures de terrain ont comptabilisé le degré de refroidissement d'une paroi végétalisée en comparaison à une paroi nue. Les expérimentations de Bartfelder F. et Köhle M. en 1987 ont par exemple mesuré une réduction de 2 à 6°C. De même, l'équipe de Wong N.H. *et al.*, en 2010 a même enregistré des variations allant jusqu'à 11,6°C à Singapour.

Les processus participant à la performance thermique sont :

- L'interception des radiations solaires et le phénomène d'ombrage
- L'évapotranspiration
- L'albédo
- Cavité thermique isolante
- Protection par convection

Les plantes fonctionnent comme un filtre solaire, elles empêchent l'absorption des rayonnements thermique par les matériaux du bâtiment. Le végétal va absorber le rayonnement solaire pour l'utiliser pour sa croissance et ses fonctions biologiques (Perini K. *et al.*, 2011). L'énergie lumineuse arrivant sur la feuille subit plusieurs mécanismes :

- 5 à 30% sont réfléchis
- 5 à 20% sont utilisés par la photosynthèse
- 10 à 50% sont transformés en chaleur
- 20 à 40% sont utilisés pour l'évapotranspiration
- 5 à 30% passent à travers la feuille

Par ailleurs, le végétal va refroidir l'air chauffé par le soleil par un phénomène d'évapotranspiration (Wong N.H., *et al.*, 2010). L'évaporation correspond à la transformation de l'eau sur le végétal humide, en vapeur, et à son passage dans l'atmosphère (Figure n°53). La transpiration végétale est l'élimination de l'eau contenue dans le végétal à travers les stomates, après avoir été vaporisé dans les espaces intercellulaires.

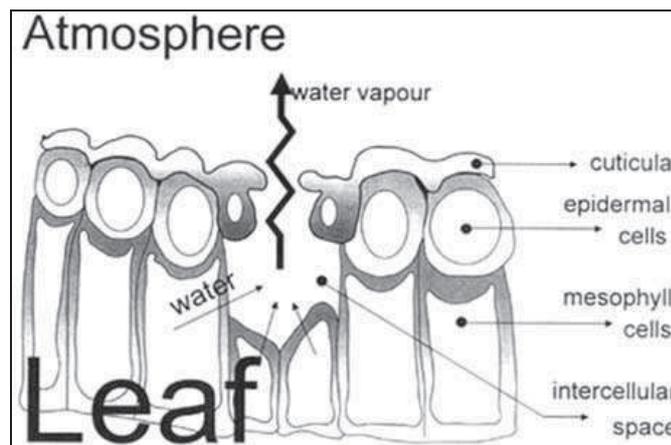


Figure n°53 : Schéma d'une coupe transversale de feuille et d'un stomate,  
(Référence internet n°32).

D'autre part, la structure végétalisée va augmenter l'albédo de la surface. L'albédo est une grandeur sans dimension, elle correspond au rapport de l'énergie du rayonnement solaire réfléchi sur l'énergie de rayonnement solaire reçue. Les rayonnements étant réfléchés, ils ne chaufferont donc pas la surface où ils arrivent. Ainsi une surface blanche réfléchissant toute la lumière reçue aura un albédo de 100%. Inversement, une surface noire absorbe l'intégralité du rayonnement solaire reçue et ne réfléchira aucune lumière, son albédo sera alors nul (Référence internet n°15). Selon le type de surface, l'albédo varie (Tableau n°2 et Figure n°54).

<b>SURFACE</b>	<b>ALBEDO</b>
<b>Océan</b>	5 A 10%
<b>Sable</b>	25 A 40%
<b>Banquise</b>	60 A 90%

Tableau n°2 : Albédo en fonction de la surface réfléchissant la lumière reçue,  
(Tableau réalisé avec les données issues de la référence internet n°15).

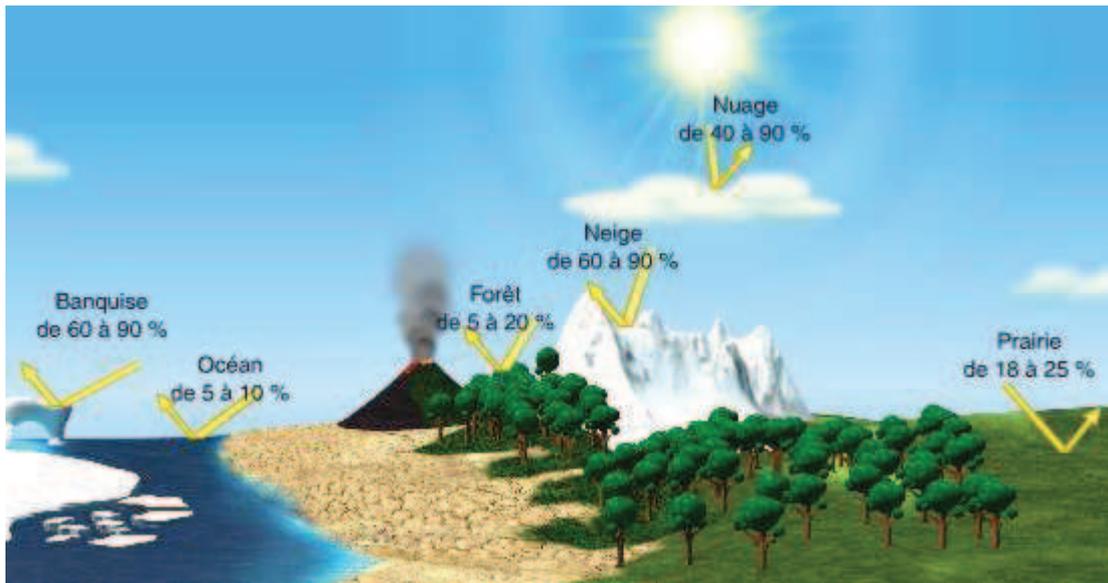


Figure n°54 : Illustration de l'albédo selon la surface réfléchissant la lumière reçue, (Référence internet n°11).

Outre l'interception des radiations solaires, l'évapotranspiration et l'albédo, le végétal protège la structure sur lequel il se trouve en créant une cavité thermique. Entre la paroi et l'épaisseur du feuillage, il existe une couche d'air stagnant qui a un effet isolant (Perini K. *et al.*, 2011). Cette cavité thermique isolante ralentit le taux de transfert de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Et d'autre part, la présence d'une structure végétale va protéger le bâtiment-support par un phénomène de convection, c'est-à-dire qu'elle diminue la vitesse du vent autour de la façade (Holm D., 1989 ; McPherson E.G., 1994 ; Taha H., 1997). La couche végétale va agir comme un tampon contre le vent, elle l'empêche de se déplacer le long de la surface du bâtiment, ce qui contribue donc à éviter son refroidissement.

### 3.1.8. Les infrastructures végétales, une réponse au réchauffement urbain

Dans les villes du monde entier, le développement et la croissance urbaine nous ont fait perdre le bénéfice du refroidissement par l'évaporation et par l'ombrage des plantes. Des îlots de chaleur se forment (Figure n°55). Ils se définissent par une élévation de la température de l'air urbain sur un après-midi par rapport à la température en milieu rural. Ce phénomène est dû au réchauffement des toits et trottoirs, qui à leur tour réchauffent l'air, et d'autres activités humaines qui réchauffent l'air extérieur (climatisation, transport...) (Référence internet n°37). L'effet des îlots de chaleur urbains dépasse les prédictions climatiques des scientifiques (Grimm N.B. *et al.*, 2008 ; McCarthy M.P. *et al.*, 2010). Ces microclimats artificiels augmentent la consommation en énergie pour le refroidissement (air conditionné, systèmes de refroidissement,...) créant un feedback positif, avec augmentation de l'émissions de gaz à effet de serre, dégradations de la qualité de l'air et paradoxalement libération de chaleur résiduelle (Ohashi Y. *et al.*, 2007). L'utilisation stratégique des infrastructures végétales (arbres d'ombrage, toits verts, façades végétales) sont une solution permettant d'atténuer cela (Del Barrio E.P., 1998 ; Sailor D.J., 2008). Dans les villes où l'espace est limité pour la plantation d'arbres, les façades des bâtiments industriels, résidentiels et commerciaux offrent un potentiel non négligeable (Cheng C.Y. *et al.*, 2010 ; Jim C.Y. and He H.M., 2011).

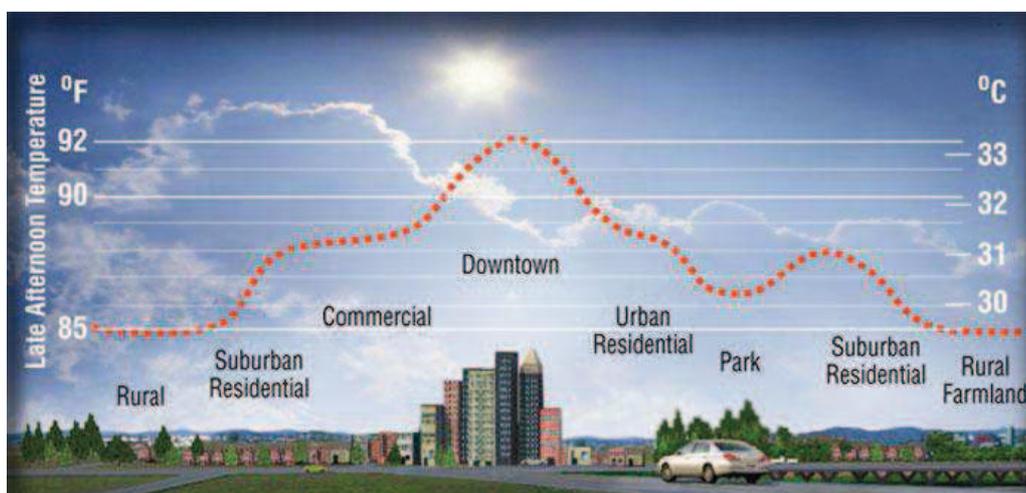


Figure n°55 : Gradient de température en ville et en milieu rural,  
(Référence internet n°37).

### 3.2. Contraintes physiologiques des plantes sur les façades vertes en zone urbaine

Plusieurs auteurs estiment que le mur végétal peut s'autogérer (Mitsch W.J. and Jørgensen S.E. 2003 ; Barot S. *et al.*, 2012 ; Mitsch WJ. 2012). C'est le principe et l'un des avantages des murs verts. Il est même courant de lire dans la littérature que les végétaux peuvent s'adapter sans problème à tout type d'environnement. Néanmoins plusieurs études viennent nuancer cela :

- D'après les expérimentations de l'équipe de William N.S.G. *et al.*, en 2010, il est difficile de maintenir une couverture végétale permanente sur des toits urbains dans un climat chaud et sec de type méditerranéen.
- De même pour des plantes grimpantes : elles poussent péniblement sur les murs urbains exposés à la lumière, à beaucoup de vent et à peu d'humidité. Car dans leur habitat naturel elles vivent dans les sous-bois des forêts où l'exposition à la lumière varie, le vent souffle peu et l'humidité est relativement élevée (Pohlman C.L. *et al.*, 2009).

Certains éléments sont donc déterminants dans le maintien du végétal, qui est influencé en particulier par le rayonnement actif pour la photosynthèse (le PAR) d'une part et par le vent d'autre part.

#### 3.2.1. L'influence du rayonnement actif pour la photosynthèse ou le PAR

Dans les sous-bois, les plantes grimpantes sont soumises à la pénombre car une grande partie du Rayonnement Actif pour la Photosynthèse (le PAR) a déjà été intercepté par la canopée<sup>34</sup> au dessus (Valladares F. *et al.*, 2002 ; Selaya N.G. *et al.*, 2007 ; Lambers H. *et al.*, 2008). Ce phénomène n'est pas retrouvé en zone urbaine, car l'environnement lumineux est marqué par une alternance entre les radiations solaires intenses et les zones d'ombrage profond dues aux bâtiments (Stec W.J. *et al.*, 2005 ; Cheng C.Y. *et al.*, 2010 ; Rayner J.P. *et al.*, 2010). En 2010, l'équipe de Rayner J.P. *et al.*, a expérimenté ce phénomène en attribuant l'échec d'une façade verte, sur un mur de plusieurs étages dans le

---

<sup>34</sup> Canopée : partie supérieure de la couronne des arbres.  
(Moureau M., Brace G., 2000)

quartier central des affaires de Melbourne en Australie, à plusieurs facteurs dont l'insuffisance en PAR. Bien que les plantes fussent sélectionnées pour leur tolérance à la pénombre, elles n'ont pas été capables de se développer à l'étage bas du bâtiment, dominé par un éclairage faible. Des études sont donc nécessaires pour déterminer le seuil de PAR optimal et satisfaisant pour la croissance et pour la longévité du végétal.

### 3.2.2. L'influence du vent

Le vent se forme localement, en bas des bâtiments au niveau des rues et se transforme en hauteur en courant ascendant fort provoquant des rafales qui peuvent atteindre plus de 100 km/heure (O'Loan T., 2009). Les vents forts, combinés à une température de l'air élevée, typique en zone urbaine, donnent lieu à des pressions de vapeur importantes et une humidité relativement faible (Oke TR. 1988 ; Stone J.B. and Rodgers M.O., 2011). Dans ces conditions, la transpiration<sup>35</sup> du végétal va augmenter jusqu'à un seuil où les stomates<sup>36</sup> de la plante se fermeront pour éviter la déperdition en eau et la cavitation<sup>37</sup> du xylème (Whitehead D. and Beadle C.L., 2004 ; Hernández-Santana V., *et al.*, 2008 ; Chen L., *et al.*, 2011). Si les conditions extrêmes perdurent, la plante ne pourra maintenir la transpiration car les stomates seront fermés. Cela créera des dommages aux tissus photosynthétiques provoquant alors la chute des feuilles. Le vent est donc un élément important à prendre en compte dans le choix des espèces végétales.

Il faut déterminer et comprendre les limites physiologiques des plantes. Des études expérimentales et d'observation, associant ingénieurs, architectes et biologistes, sont nécessaires pour identifier les caractéristiques des plantes dans des conditions de stress élevé. Selon l'étude de Hunter A.M. *et al.*, en 2014, ces expérimentations doivent refléter les conditions environnementales du milieu urbain, et sélectionner des plantes sur des bases biogéographiques en fonction de leur tolérance environnementale.

---

<sup>35</sup> Transpiration : évaporation à la surface des tissus de l'eau interne.  
(Moureau M., Brace G., 2000)

<sup>36</sup> Stomate : orifice situé à la face inférieure des feuilles et permettant les échanges gazeux d'oxygène et de gaz carbonique nécessaires à la photosynthèse.  
(Moureau M., Brace G., 2000)

<sup>37</sup> Cavitation : formation de cavités éphémères, remplies de gaz au sein d'un liquide en mouvement.  
(Moureau M., Brace G., 2000)

### 3.3. Les services de l'écosystème

#### 3.3.1. Notion générale de service de l'écosystème

La notion de **service de l'écosystème**<sup>38</sup> (Figure n°57) est utilisée par les chercheurs dans de nombreux articles traitant de l'urbanisme vert, c'est pourquoi nous le développerons ici. Ils définissent cette notion comme les bénéfices que tire la population de l'écosystème<sup>39</sup> (Bolund P. and Hunhammar S., 1999).

Selon l'Evaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire<sup>40</sup> (*Millenium Ecosystems Assessment*), il existe quatre types de service d'écosystème :

- les services support : ils sont nécessaires pour la production de tous les autres services de l'écosystème, par exemple : la production d'oxygène atmosphérique, la formation et la rétention du sol, les cycles bio-géo-chimiques, le circuit de l'eau...
- les services d'approvisionnement : comme les fibres, les plantes médicinales, la faune chassable, le combustible... Ils permettent aux hommes d'obtenir des biens commercialisables par l'exploitation des écosystèmes.
- les services de régulation : ils correspondent aux bénéfices obtenus de la régulation des processus des écosystèmes, par exemple : le maintien de la qualité de l'air, la régulation du climat...

---

<sup>38</sup> Définition d'écosystème : Un écosystème est un complexe dynamique composé de communautés de plantes, d'animaux et de micro-organismes et de la nature inerte, sujet à des interactions en tant qu'entité fonctionnelle. Les êtres humains sont partie intégrante des écosystèmes. Les écosystèmes varient énormément en taille. Un bassin temporaire dans le creux d'un arbre et un bassin océanique sont tous deux des exemples d'écosystème.

<sup>39</sup> Bénéfices tirés des écosystèmes : Ce sont les bénéfices que les écosystèmes procurent aux hommes. Ils comportent les services de prélèvement tels que celui de la nourriture et de l'eau; les services de régulation comme la régulation des inondations, de la sécheresse, de la dégradation des sols, et des maladies ; les services d'auto-entretien tels que la formation des sols, le développement du cycle nutritionnel; enfin les services culturels tels que les bénéfices d'agrément, les bénéfices d'ordre spirituel, religieux et les autres avantages non matériels.

<sup>40</sup> Evaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire : l'Évaluation pour le millénaire cherche à savoir comment l'homme a modifié les écosystèmes et comment les changements des fonctions écosystémiques ont eu une incidence sur le bien-être humain, comment les changements écosystémiques pourraient influencer sur les humains au cours des prochaines décennies et quels types de réponses l'on peut adopter aux échelles locale, nationale ou mondiale pour améliorer la gestion des écosystèmes et ainsi assurer le bien-être humain et alléger la pauvreté. Le programme a été instauré par le Secrétaire général des Nations Unies, Kofi Annan, en juin 2001 et les principaux rapports d'évaluation seront publiés par Island Press en 2005.

- les services culturels et sociaux, sont des bénéfiques non-matériels obtenus par les hommes à partir des écosystèmes à travers l’enrichissement spirituel, le développement cognitif, la réflexion et la création.

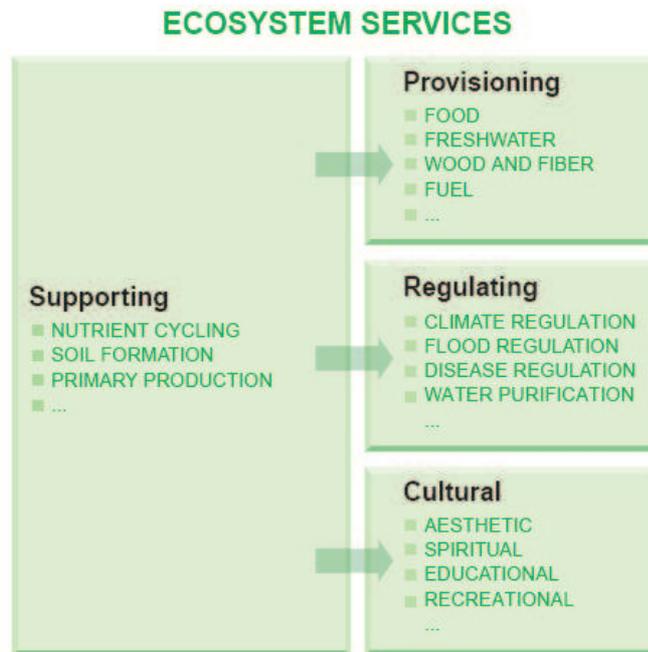


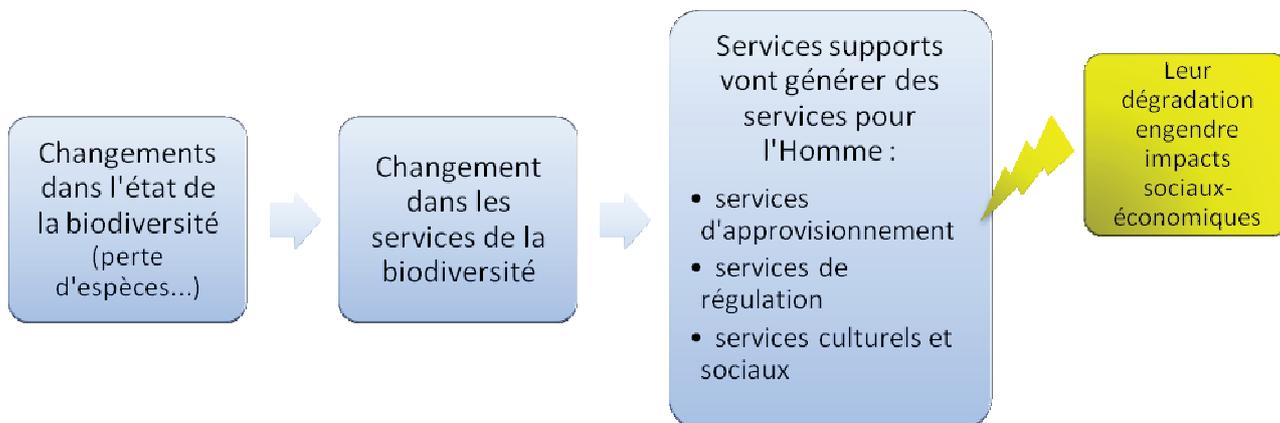
Figure n°56 : Les bénéfices obtenus par les écosystèmes,  
(Référence internet n°49).

Les relations entre ces quatre types de services sont résumées dans la figure n°57. Tout changement au sein de la biodiversité des espèces végétales ou animales entraîne un changement dans les services que procure cette biodiversité. De là les services supports seront modifiés et par conséquent les services pour l’Homme aussi. Ainsi le bien-être<sup>41</sup> humain est étroitement lié aux services que procure la biodiversité.

---

<sup>41</sup> Bien-être : Le bien-être de l’Homme est composé de multiples éléments dont, les éléments de base pour une vie agréable, la liberté et la possibilité de choisir, la santé, les bonnes relations sociales et la sécurité. Représenté sur un continuum, le bien-être est à l’opposé de la pauvreté définie comme une “absence prononcée de bien-être”. Les constituants du bien-être tirés de l’expérience humaine et tels que perçus par les hommes sont dépendants des situations elles-mêmes reflètent des conditions géographiques, culturelles et écologiques locales. (Référence internet n°48).

Les relations entre les services de la biodiversité et le bien-être de l'homme peuvent être résumées comme suit :



### 3.3.2. Notion de services de l'écosystème dans l'urbanisme végétal

Fisher B. *et al.*, (2009) définissent plus précisément les services de l'écosystème comme les aspects des écosystèmes utilisés activement ou passivement, directement ou indirectement, pour produire le bien-être humain. Boyd J. and Banzhaf S. (2007) ainsi que Kroeger T. and Casey F. (2007) affinent la définition en affirmant que seuls les composants de la nature qui sont directement appréciés, consommés ou utilisés pour produire le bien-être humain doivent être considérés comme des services d'écosystèmes. De plus, les scientifiques établissent une distinction entre « fonction de l'écosystème » et « service de l'écosystème » (Brown A.L. and Raghu S., 2007). Le service de l'écosystème est défini comme le résultat spécifique des fonctions de l'écosystème qui maintiennent ou améliorent la vie humaine. Ainsi, un arbre interceptant les polluants atmosphériques ou hydriques est une fonction de l'écosystème. Mais lorsque cette fonction améliore la qualité de l'air et est donc bénéfique pour la santé humaine, c'est un service de l'écosystème (Escobedo F.J. *et al.*, 2011). Les services de l'écosystème représentent les composants des forêts urbaines qui sont utilisés, appréciés ou consommés pour produire des bienfaits mesurables et précis pour l'Homme (Escobedo F.J. *et al.*, 2011).

Escobedo F.J. *et al.*, (2011) en décrivent plusieurs exemples (Tableau n°3) : la biomasse des arbres est un service de l'écosystème car elle permet la production de bois utilisable par l'Homme, dérivant de la productivité des arbres, fonction de l'écosystème. La qualité de l'air est un service contribuant à la santé humaine, c'est un bénéfice résultant du dépôt

atmosphérique qui est une fonction. L'amélioration de la température est un service qui contribue à la santé et au confort de l'Homme, résultant de l'ombrage des arbres et de l'absorption des radiations solaires, qui sont des fonctions.

SERVICE	FONCTION	BENEFICES
<b>Production de biomasse ligneuse</b>	Productivité primaire des arbres	Production de bois
<b>Amélioration de la qualité de l'air (faibles niveaux de polluants)</b>	Dépôt atmosphérique, filtration et interception des polluants	Santé humaine
<b>Amélioration de la température</b>	Ombrage des arbres et absorption des radiations solaires	Réduction des coûts de refroidissement / chauffage

**Table 1**  
Benefits and associated final ecosystem services provided by urban forest ecosystem structure and functions.

Benefit	Ecosystem service	Intermediate ecosystem function
<i>Information functions</i>		
Outdoor recreation	Provision of natural areas for human use (exercise, cultural, wildlife viewing).	Primary productivity, biodiversity
Residential amenities	Provision of aesthetics, views	Primary productivity
Property value premiums	Habitat and refugia provision for humans and wildlife	Biodiversity, primary productivity
<i>Production functions*</i>		
Food harvests (crops; domesticated and wild animals)	Production of grains, fruits, nuts and seeds; water availability	Primary productivity, nutrient cycling, pollination, soil productivity; disease regulation
Wood products	Production of woody biomass	Primary productivity.
Fuel production	Production of woody biomass	Primary productivity
<i>Regulation functions relevant to pollution mitigation</i>		
Cooling/heating cost reduction	Tree shade	Primary productivity
Drinking water provision – avoided treatment costs	Aquifer and surface water quality (nutrient and sediment removal)	Soil quality, nutrient cycling, hydrologic cycle
Drinking water provision – avoided pumping/transport costs	Aquifer and surface water availability and decreased storm water runoff	Soil quality, hydrologic cycle
<i>Damage avoidance – health</i>		
Temperature-related mortality and morbidity	Tree shade and wind reduction, carbon sequestration	Primary productivity
Nutrient, bacterial, toxin-related mortality and morbidity	Drinking water quality	Soils quality; hydrologic cycle, biogeochemical cycling
Air pollution related mortality and morbidity	Air quality improvements (low pollutant levels)	Atmospheric deposition, filtering and interception of pollutants
Extreme weather event-related mortality and morbidity	Natural land cover and soils attenuation of tidal waves, floods, hurricanes through C sequestration	Primary productivity, biogeochemical cycling
<i>Damage avoidance – property</i>		
Built infrastructure repair costs	Storm water reduction; soil infiltration, air quality improvement	Soil quality, hydrologic cycle, atmospheric deposition
<i>Climate mitigation and avoided damages</i>		
Decreased fertilization use and resulting costs	Attenuation of tidal waves and wind storms, C sequestration	Primary productivity, climate change,
	Erosion control, soil nutrient retention	Primary productivity, biogeochemical cycling, soil quality

\* These ecosystem services are also referred to as "ecosystem goods". C, Carbon.

Tableau n°3 : Association entre les principaux services et fonctions des forêts urbaines, (Escobedo F.J. *et al.*, 2011).

Parallèlement au service de l'écosystème, la notion de « mauvais services de l'écosystème » (ecosystem disservices) peut être définie. Elle correspond à un service négatif pour l'Homme, concernant son bien-être, ou qui est source de nuisance social, économique, ou encore environnementale (Zhang W. *et al.*, 2007 ; Lyytimäki J. and Sipilä M., 2009).

Les principaux mauvais services de l'écosystème sont résumés dans le tableau suivant (Tableau n°4).

Examples of costs and associated ecosystem disservices of urban forests.	
Costs	Ecosystem disservices
Financial (land, labor, and capital)	Pruning, planting, replacement, removal, transplants, pest-disease control, irrigation Vegetation damage to urban infrastructure: litigation, homes and property, cables, sidewalks, roads Increased humidity – decreased human comfort Foregone land use opportunities Blocked sunlight – increased energy use Green waste – debris, falling tree, branches, litter, Human injuries due to illness, wildlife/insect bites, allergies
Social nuisances	Allergenic pollen and urushiol Refugia for vector-spread diseases: Lyme disease, West Nile encephalitis, dengue fever, rabies Attraction of wild animals – damage to structures and ornamental plants, droppings, attacks on pets, annoyance to humans, wild animal bites Obscured views, decreased aesthetics Fear of crime, safety hazards from tree fall
Environmental	Water quantity and quality – fertilizer and pesticide runoff, Soil nutrient inputs – altered nutrient cycles Increased energy consumption from management Air pollution emissions from maintenance activities – carbon and methane from decomposition, air pollutants Volatile organic compound and secondary aerosol emissions Displacement of native species Introduction of invasive species

Tableau n°4 : Les mauvais services de l'écosystème des forêts urbaines,  
(Escobedo F.J. *et al.*, 2011).

### 3.4. Les murs et toits végétalisés : une réponse à la 15<sup>ème</sup> cible de la Haute Qualité Environnementale

L'association Haute Qualité Environnementale est association française à but non lucratif reconnue d'utilité publique. Elle applique une démarche qualité pour faire évoluer les cadres de référence. Le concept Haute Qualité Environnementale est une démarche qualité regroupant deux visions : la HQE aménagement et la HQE bâtiments.

#### 3.4.1. La démarche HQE-aménagement

La HQE-Aménagement définit un cadre pour la réalisation d'opérations d'aménagement intégrées à leur territoire. Il s'agit d'une méthode globale visant à améliorer la qualité environnementale des bâtiments neufs et existants. Elle s'applique à toute opération d'aménagement sans distinction de taille, de procédure, de contexte territorial ou de destination, et à tous les acteurs de l'aménagement, publics ou privés. La HQE-aménagement propose une certification « HQE Aménagement<sup>TM</sup> » qui atteste que pour une opération d'aménagement, les acteurs ont suivi une démarche rigoureuse et adaptée pour intégrer le développement durable (Référence internet n°5). Elle vise les objectifs suivants :

- l'intégration et la cohérence du quartier avec le tissu urbain,
- préserver les ressources naturelles,
- favoriser la qualité environnementale et sanitaire de l'aménagement.

La démarche se base sur un Système de Management d'Opération (=SMO) dont l'objectif est la conduite efficace de l'opération. Ce SMO est un « fil conducteur » (Référence internet n°5) pour le projet.

Les étapes clés du SMO sont décrites dans la figure n° 57 suivante.

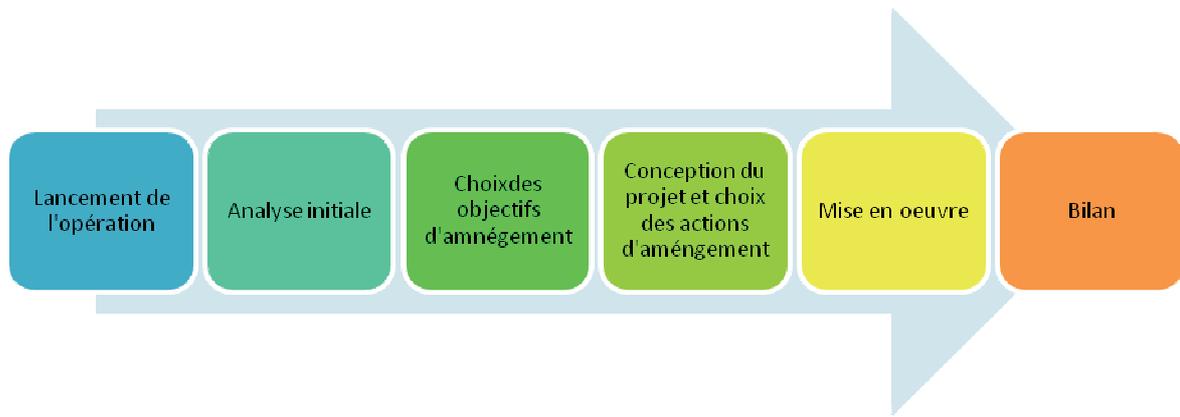


Figure n°57 : Système de Management d'Opération d'une opération HQE-Aménagement

Schéma modifié à partir de la référence internet n°5.

### 3.4.2. La démarche HQE-bâtiments

La démarche HQE-bâtiments est une méthode globale visant à améliorer la qualité environnementale des bâtiments neufs et existants. Elle s'appuie sur un **système de management environnemental** de l'opération (=SME). Le SME permet de définir les objectifs environnementaux visés et les moyens d'organisation de l'opération pour les atteindre. La qualité environnementale du bâtiment va se structurer en deux grandes catégories de **cibles**. La première se rapporte aux **impacts des bâtiments sur l'environnement extérieur**. Elle concerne les enjeux globaux (Figure n°58) organisés en deux thèmes : l'éco-construction (gestion des ressources, nuisances de chantier, etc.) et l'éco-gestion (consommation d'énergie, d'eau, entretien,...). La deuxième correspond aux **impacts des bâtiments sur l'environnement intérieur**, elle s'organise autour des aspects de confort (acoustique, hygrothermique,...) et de santé pour l'occupant (qualité de l'air, de l'eau,...). Au total 14 cibles interdépendantes sont définies. La démarche qualité HQE s'appuie également sur des indicateurs de performance. Le SME, les cibles, et les indicateurs font parties d'un **référentiel générique de la démarche HQE** formalisé en trois documents (Référence internet n°5) : les normes NF P01-020-1 et XP P01-020-3 et le guide d'application (GA) P 01 030.

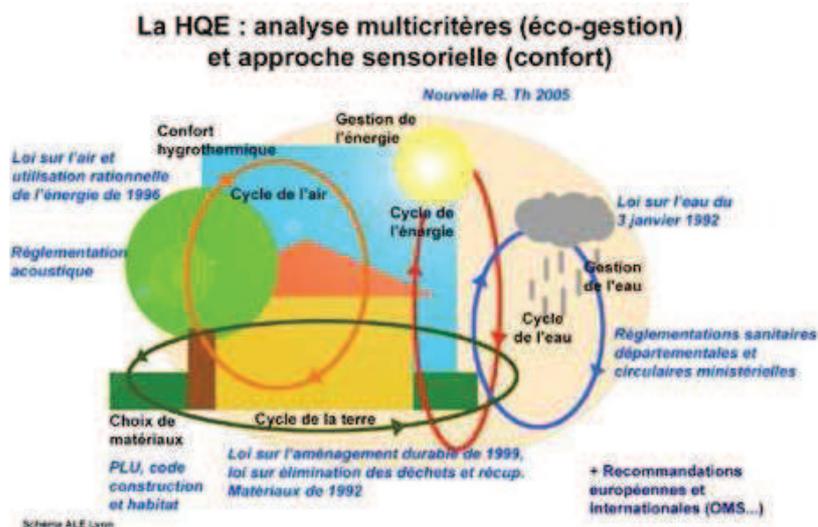


Figure n°58 : Les enjeux globaux de la HQE-bâtiments, (Référence internet n°2).

### 3.4.3. Les cibles de la démarche HQE

Quatorze cibles officielles permettent de structurer la réponse technique, architecturale et économique aux objectifs du maître d'ouvrage. Une quinzième cible vient les compléter, intéressant la végétalisation des murs et toits urbains. Les quatorze cibles sont regroupées en deux enjeux : maîtriser les impacts sur l'environnement extérieur, et créer un environnement intérieur satisfaisant<sup>42</sup>.

#### 3.4.3.1. Les cibles de maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur

Les cibles de maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur s'articulent autour de deux thèmes : l'éco-construction et l'éco-gestion.

- **Les cibles d'éco-construction :**

Cible n°1 : Relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat :

- utilisation des opportunités offertes par le voisinage et le site,
- gestion des avantages et désavantages de la parcelle,
- organisation de la parcelle pour créer un cadre de vie agréable,
- réduction des risques de nuisances entre le bâtiment, son voisinage et son site.

<sup>42</sup> D'après ADEME, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. *Brochure Bâtiments et démarche HQE*. Issue de la référence internet n°67.

Cible n° 2 : Choix intégré des procédés et produits de construction :

- adaptabilité et durabilité des bâtiments,
- choix des procédés de construction,
- choix des produits de construction.

Cible n° 3 : Chantier à faibles nuisances :

- gestion différenciée des déchets de chantier,
- réduction du bruit de chantier,
- réduction des pollutions de la parcelle et du voisinage,
- maîtrise des autres nuisances de chantier.

- **Les cibles d'éco-gestion :**

Cible n° 4 : Gestion de l'énergie :

- renforcement de la réduction de la demande et des besoins énergétiques,
- renforcement du recours aux énergies environnementalement satisfaisantes,
- renforcement de l'efficacité des équipements énergétiques,
- utilisation de générateurs propres lorsqu'on a recours à des générateurs à combustion.

Cible n° 5 : Gestion de l'eau :

- gestion de l'eau potable,
- recours à des eaux non potables,
- assurance de l'assainissement des eaux usées,
- aide à la gestion des eaux pluviales.

Cible n° 6 : Gestion des déchets d'activités :

- conception des dépôts de déchets d'activités,
- adaptée aux modes de collecte actuelle et future probable,
- gestion différenciée des déchets d'activités,
- adaptée au mode de collecte actuel.

Cible n° 7 : Entretien et maintenance :

- optimisation des besoins de maintenance,
- mise en place de procédés efficaces de gestion technique et de maintenance,
- maîtrise des effets environnementaux des procédés de maintenance.

### 3.4.3.2. Les cibles de création d'un environnement intérieur satisfaisant

Les cibles de création d'un environnement intérieur satisfaisant s'articulent autour du thème du confort.

- **Les cibles de confort :**

Cible n° 8 : Confort hygrothermique :

- permanence des conditions de confort hygrothermique,
- homogénéité des ambiances hygrothermiques,
- zonage hygrothermique.

Cible n° 9 : Confort acoustique :

- correction acoustique,
- isolation acoustique,
- affaiblissement des bruits d'impact et d'équipements,
- zonage acoustique.

Cible n° 10 : Confort visuel :

- relation visuelle satisfaisante avec l'extérieur,
- éclairage naturel optimal en termes de confort et de dépenses énergétiques,
- éclairage artificiel satisfaisant et en appoint de l'éclairage naturel.

Cible n° 11 : Confort olfactif :

- réduction des sources d'odeurs désagréables,
- ventilation permettant l'évacuation des odeurs désagréables.

Cible n° 12 : Conditions sanitaires :

- création de caractéristiques non aériennes des ambiances intérieures satisfaisantes,
- création des conditions d'hygiène,
- facilitation du nettoyage et de l'évacuation des déchets d'activités,
- facilitation des soins de santé,
- création de commodités pour les personnes à capacités réduites.

Cible n° 13 : Qualité de l'air :

- gestion des risques de pollution par les produits de construction,
- gestion des risques de pollution par les équipements,
- gestion des risques de pollution par l'entretien ou l'amélioration,
- gestion des risques de pollution par le radon,

- gestion des risques d'air neuf pollué,
- ventilation pour la qualité de l'air.

Cible n° 14 : Qualité de l'eau :

- protection du réseau de distribution collective d'eau potable,
- maintien de la qualité de l'eau potable dans les bâtiments,
- amélioration éventuelle de la qualité de l'eau potable,
- traitement éventuel des eaux non potables utilisées,
- gestion des risques liés aux réseaux d'eaux non potables.

### 3.4.3.3. Niveau de performance des cibles

Lors de l'application de la démarche HQE à un projet, il faut hiérarchiser les cibles (déterminer les cibles prioritaires) pour définir les exigences pour chacune d'elles et ainsi établir le niveau de performance à atteindre pour chaque cible (Tableau n°5).

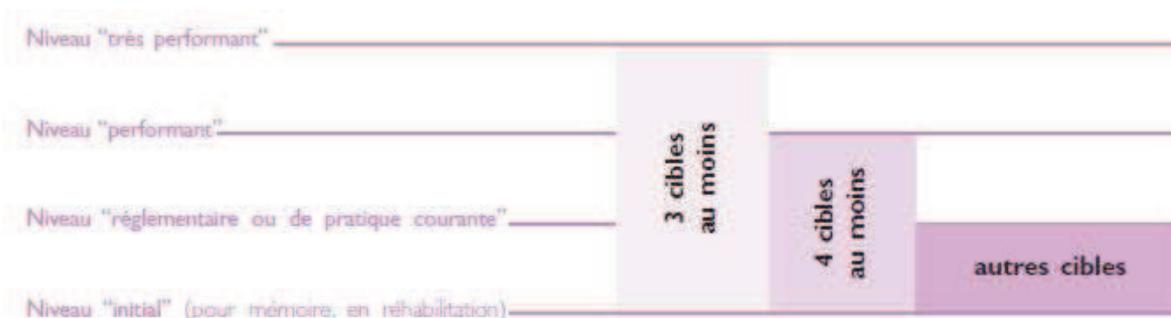


Tableau n°5 : Niveau de performance à atteindre selon la cible,  
(Référence internet n°29).

Il existe trois niveaux de performance d'application des cibles : « Très performant », « Performant » et « Réglementaire » (ainsi qu'un niveau « Initial » en réhabilitation). Pour un projet, il faut choisir au moins 3 cibles (parmi les 14 listées) sur lesquels se concentrer pour y répondre de façon très performante, ainsi que 4 cibles avec un niveau performant. Les autres cibles doivent être traitées avec un niveau réglementaire.

### 3.4.4. Vers une 15<sup>ième</sup> cible HQE : un remboursement de la dette écologique

La quinzième cible HQE est une cible complémentaire aux quatorze cibles de la démarche HQE et qui s'articule autour de la **biodiversité**. Elle ne fait pas partie du référentiel HQE validé par l'Association HQE. Mais elle tend à le compléter car la démarche HQE est une démarche qualité qui doit suivre un processus d'amélioration continue, d'autant plus que les connaissances actuelles, les techniques et le changement climatique sont en pleine évolution.

#### 3.4.4.1. Rappel du principe de la démarche qualité

Une démarche qualité s'appuie sur « la roue de Deming » du nom de son inventeur, ou « cycle PDCA » (Plan, Do, Check, Act). Elle s'organise en quatre points successifs composant la démarche à suivre (Figure n°59) :

- 1°) PLAN = Planifier : il faut tout d'abord **définir les objectifs** à atteindre et **planifier** la mise en œuvre d'actions.
- 2°) DO = Mettre en place : il s'agit de **mettre en œuvre des actions** correctives.
- 3°) CHECK = Contrôler : il faut **vérifier** que les **objectifs** fixés ont été **atteints**.
- 4°) ACT = Agir : selon les résultats obtenus, il convient **d'entreprendre des actions** pour **améliorer** en permanence les performances des processus.

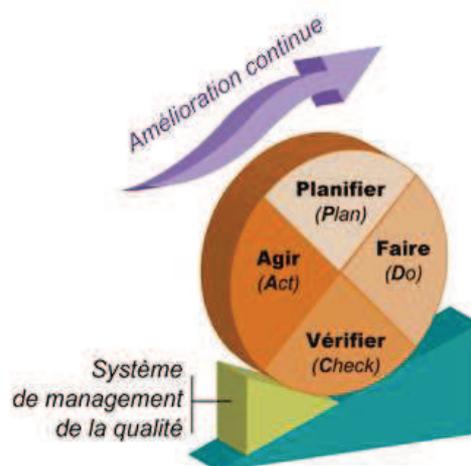


Figure n°59 : Principe de la démarche qualité,  
(Référence internet n°41).

#### 3.4.4.2. La quinzième cible de la HQE et la végétalisation des murs et toits urbains

La quinzième cible a pour objectif de promouvoir la biodiversité en favorisant la multiplication et le croisement des espèces animales et végétales. Un bâtiment ciblant la 15<sup>ème</sup> cible pourrait par exemple offrir autant de place pour la biodiversité naturelle qu'en l'absence de construction. C'est ainsi que les murs et toits végétaux pourraient atteindre cette cible complémentaire. Ils permettraient d'offrir une réponse à l'impact des constructions urbaines sur la nature et la biodiversité. Contrairement à la première cible dont l'objectif est la relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat, la quinzième cible intègre une notion de **compensation et de restauration de la biodiversité**. C'est-à dire qu'elle propose de compenser l'impact de l'urbanisme et des constructions par des édifices à biodiversité positive<sup>43</sup>. La restauration et le maintien de la biodiversité comprend plusieurs impératifs : la nécessité d'un écosystème complexe (plus un milieu est complexe plus il abritera une faune diversifiée), la capacité d'auto-entretien du milieu (avec une intervention minimum de la main humaine), et la sécurité pour l'Homme. Un exemple de projet répondant à la quinzième cible de la HQE est le Plan local d'urbanisme (PLU) de la ville de Paris, que nous développerons dans la 2<sup>ème</sup> partie : Applications urbaines et applications à l'officine.

---

<sup>43</sup> Biodiversité positive : qualificatif des édifices, « bâtiments à biodiversité positive », créé par analogie avec le terme « énergie positive » et qui désigne la capacité du bâti à favoriser la biodiversité. (Référence internet n°35).

#### 4. Végétalisation d'un mur : la conception d'un projet et la mise en œuvre

Avant d'établir la mise en œuvre d'un projet de végétalisation d'un mur urbain avec les techniques de création, il faut s'attarder sur la conception et les questions qu'elle révèle.

##### 4.1. Conception d'un projet de végétalisation

###### 4.1.1. Concevoir un projet de mur végétalisé chez un particulier

La conception d'un projet valide et réalisable, nécessite d'étudier plusieurs points. Il faut tout d'abord définir de façon claire **l'objectif** du mur végétalisé (but esthétique, dissimuler un mur vieillissant...) avant de débiter le projet. Cela permet de choisir les techniques de réalisation et la palette végétale les plus appropriées. Ensuite vient le **choix des espèces végétales** compatibles avec les conditions climatiques où se situera le mur. Il faut une adéquation la plus exacte entre les plantes choisies et les conditions d'ensoleillement, de température, et d'exposition au vent. De plus les différentes plantes doivent avoir les mêmes besoins en entretien et en eau. Puis il faut se pencher sur le **type de support** qui va être utilisé, il doit permettre une culture stable et être suffisamment rétenteur en eau. Tous les autres éléments de la structure doivent aussi être choisis de façon méthodique : les différents **matériaux** de la structure verticale doivent être résistants à la corrosion, le **système d'arrosage** performant et facile d'utilisation. En dernier point il faudra veiller à effectuer des **contrôles** réguliers du système d'arrosage et **entretenir** les plantes composant le mur végétal.

###### 4.1.2. Concevoir un projet pour un espace publique

La conception d'un projet pour un espace publique relève des mêmes questions principales que pour un espace privé, mais sur une échelle différente et doit en plus prendre en compte des éléments supplémentaires. Les principaux points sont synthétisés dans le tableau n°6 suivant, sous la forme d'un questionnaire. Ils sont valables pour la conception d'un mur végétalisé et des toitures végétalisées. Les différentes parties du questionnaire sont : l'objectif de la démarche, le contexte (l'identité et la demande), la stratégie d'intervention, les espaces et le bilan de la démarche.

---

## **OBJECTIF DE LA DEMARCHE**

Quels sont les enjeux de la démarche d'embellissement (environnementaux, sociaux, économiques...)?

Quels sont les interlocuteurs politiques et techniques de la démarche ?

Quels sont les compétences internes disponibles ? Quelles compétences externes faut-il mobiliser ?

Quel budget faut-il affecter au projet ? Quelle gestion du temps et quelle organisation interne doivent être définies ?

## **CONTEXTE : L'IDENTITE ET LA DEMANDE**

Quels sont les points forts et points faibles du territoire où se situera le projet ? Quelles potentialités peuvent-être développées ?

Quels outils peuvent-être mobilisés pour définir le contexte (diagnostic paysager, concertation des différents acteurs) ?

Quels sont les caractéristiques géographiques du territoire (climat, relief...) ? Dans quel environnement se situe le projet (urbain, périurbain...) ? La faune et la flore environnante sont-elles répertoriées ?

Quelle est l'identité paysagère du territoire (ambiance paysagère, typologie et état de la végétation déjà présente) ?

Quelle est l'identité culturelle du territoire (histoire du quartier, atouts culturels, savoir-faire lié au végétal) ?

Quelle est l'identité architecturale du territoire (volumes, couleurs, typologies) ?

Connaît-on la demande des usagers ? Quels sont les usagers existants et en devenir ? Quels sont les attentes et suggestions ? Quel impact y a-t'il sur les personnes à mobilité réduite ?

Quelle est la concertation préalable avec les différents acteurs ? Comment les demandes et propositions sont-elles recueillies ?

---

## **STRATEGIE D'INTERVENTION**

- **Projet communal dans un espace public** : élaborer un projet politique et intégrer le projet dans les documents d'urbanisme
- **L'animation** : sensibiliser les acteurs, et faire participation les usagers
- **La gestion** : gérer durablement l'espace végétalisé, agir sur l'environnement (maîtriser la gestion de l'eau, des produits chimiques, de l'énergie, des déchets, du bruit et de la qualité de l'air)
- **La communication** : définition des cibles, actions de communication de la démarche, moyens de valorisation touristique

## **ESPACES**

Quels sont l'échelle, l'ambiance, l'usage et la morphologie de l'espace à aménager ?

Quels sont les atouts et contraintes de cet espace ? Quelle image souhaite-on lui donner ?

De quels moyens techniques et humains dispose-t-on pour mettre en œuvre et entretenir le projet ?

Les végétaux retenus sont-ils adaptés au lieu, à son échelle, aux sujétions d'entretien ? Assurent-ils une structure pérenne ou saisonnière ? Participent-ils au renforcement de la biodiversité ? Les ressources écologiques du lieu sont-elles respectées ?

Les réseaux, les signalétiques, l'affichage et les enseignes ont-ils été pris en compte dans l'aménagement de l'espace ? Les matériaux et le mobilier urbain sont-ils assortis à la qualité du lieu et à son usage ? L'aménagement végétal est-il cohérent avec le contexte urbain ?

Le choix des végétaux est-il adapté aux usagers, à l'image du quartier, aux espaces privatifs ? La qualité de l'aménagement végétal participe-t'il à l'image de la zone ? au confort sonore ? à la qualité de l'air ? La gestion et l'entretien de l'espace végétalisé sont-ils respectueux de l'environnement et de la santé ?

Le service espaces verts de la commune a-t'il été associé dans le processus de conception et de décision de la création du projet ? Le projet exprime t'il pleinement le savoir-faire des jardiniers ? Y a-t-il un effort de composition, d'harmonie et de créativité ?

Le projet contribue t'il à favoriser les lieux de convivialité et les espaces de rencontre ? Quel est le rôle pédagogique du projet ? Participe-t-il à une amélioration de la perception du lieu ?

### **BILAN DE LA DEMARCHE**

➤ **Le suivi de l'évolution du paysage**

Quelle est l'évolution du paysage ? Comment suivre cette évolution (photographie, documents d'urbanisme) ? Quelles conclusions en tirer ? Quelles nouvelles orientations est-il possible d'envisager ?

➤ **Le suivi écologique**

Quels indicateurs peuvent-être mis en place (inventaires floristiques et faunistiques, mesure de la qualité de l'eau, de l'air, des émissions de gaz à effet de serre...) ? Comment évoluent-ils ?

➤ **Le suivi de la végétalisation**

La palette végétale prévue à l'origine est-elle maintenue ? Quelles modifications ont été apportées ? Comment ces végétaux sont-ils perçus par la population et les visiteurs ?

➤ **Le suivi pédagogique**

Comment l'aménagement est-il perçu par la population ? La population s'est-elle appropriée l'aménagement et de quelle manière ?

➤ **Le suivi des ressources**

Quelles sont les évolutions dans le suivi des paramètres environnementaux (consommation d'énergie, production de déchets verts...) ? Les actions de réduction ont-elles produits des effets positifs sur la qualité du milieu (progression de la biodiversité, réduction du carbone, amélioration de la qualité de l'air...) ?

➤ **Le suivi financier**

Quel bilan financier peut-être tiré de la démarche ? Comment ces éléments de bilan permettent-ils d’orienter positivement la démarche ? Quelles sont les marges de progrès ?

➤ **Le suivi économique et social**

Comment les services et le personnel est-il impliqué dans la démarche ? Quelle est sa part dans la conception du projet ?

Tableau n°6 : Questionnaire pour la conception d’un projet pour un espace public, (CERTU<sup>44</sup>, 2011).

4.2. Paramètres à considérer pour la végétalisation d’un mur

Plusieurs paramètres sont à prendre en considération pour réussir un mur végétalisé viable : l’eau, les nutriments, le gaz carbonique, la température, la lumière et le vent.

4.2.1. L’eau

L’eau est l’un des éléments fondamentaux à réguler, sa présence étant indispensable à la vie. Quelque soient les types de plantes utilisées, il faut un apport hydrique minimum. Celui-ci est assuré grâce à une pompe qui alimente le mur végétal à partir d’un bac rempli d’un mélange défini d’eau et d’éléments nutritifs. Le liquide nutritif arrose le substrat dans lequel les racines des plantes se trouvent. L’eau renferme les différents nutriments de croissance des végétaux mais contient aussi du calcaire, néfaste pour les végétaux. Le taux de calcaire dans l’eau représente la dureté de l’eau ou le TH (Titre hydrotimétrique). Il est exprimé en degré °fH (Tableau n°7).

TH (°fH)	7 à 15	15 à 30	+ 40
Dureté de l’eau	Eau douce	Eau moyennement dure	Eau dure

Tableau n°7 : Dureté d’une eau en fonction de son titre hydrotimétrique, (données issues de la référence internet n°45).

<sup>44</sup> CERTU : Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques.

Pour un mur végétal il est souhaitable d'utiliser une eau de dureté inférieure à 15°fH, la meilleure solution étant l'eau de pluie. Une autre option est l'utilisation d'un osmoseur, mais l'inconvénient est qu'il n'est pas sélectif aux seuls ions calcium et magnésium. Il faut alors prévoir d'ajouter une solution nutritive pour rétablir le contenu en ions. Attention toutefois à ne pas utiliser une eau excessivement douce, car les végétaux ont besoin de calcium bien qu'en quantité limitée. Un signe de carence en calcium est la décoloration du bord des feuilles.

#### 4.2.2. Les nutriments

Les nutriments regroupent les macronutriments et les oligo-éléments dont a besoin le végétal pour sa croissance et son maintien. Les macronutriments sont les éléments nécessaires en grande quantité : l'azote et les sels de potassium, de phosphore, de soufre, et de magnésium. Ils composent souvent les engrais des plantes. L'azote permet la croissance des feuilles vertes, le phosphore est utilisé par les racines et le potassium par la tige. Les oligoéléments sont également indispensables mais en petites quantités, il s'agit de molécules organiques et de minéraux (zinc, bore, sélénium, le fer etc.....). Un défaut en oligoélément risque de créer une carence pour le végétal, la plus courante étant le déficit en fer, provoquant la décoloration et le jaunissement des feuilles (mais avec des nervures restant vertes), on parle alors de « chlorose ferrique ». Lorsque les feuilles sont entièrement décolorées de façon uniforme la carence est générale, il faut renouveler la solution nutritive ou ajuster le dosage. Le calcium est également un oligoélément nécessaire, il est naturellement présent dans l'eau, sauf si elle en a été débarrassée. Le taux de nutriments est fonction de l'apport d'engrais. La teneur en nutriments peut-être suivie à l'aide d'un conductimètre. Plus la solution est riche, plus la conductivité est importante (Tableau n°8), l'objectif à atteindre étant de 1,5 millisiemens/cm<sup>2</sup>.

<b>Conductivité (millisiemens/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>2.5</b>
<b>Richesse en nutriments</b>	Solution pauvre	Solution normale	Solution très riche

Tableau n°8 : Richesse en nutriments en fonction de la conductivité,  
(données d'après Groult J.-M., 2008).

Il est important de noter que la conductivité mesurée représente la totalité des ions présents dans la solution, elle ne reflète en aucun cas la proportion de chaque ion. La conductivité peut avoir une valeur normale mais néanmoins cacher une insuffisance en un oligoélément particulier et donc cacher une carence. C'est pourquoi il est important de remplacer de façon régulière toute la solution nutritive, et ne pas simplement ajouter de l'engrais. Le mélange de la solution peut être assuré par un système comme un bulleur d'aquarium, placé dans la cuve d'irrigation. Pour les circuits fermés, le dosage en engrais doit être plus léger, car les débris de végétaux et les insectes enrichissent déjà dans une certaine proportion la solution. Le dosage va varier selon le climat, lorsque la température est élevée l'évaporation de l'eau va concentrer la quantité de sels dans le support, il faudra alors diminuer la ration en engrais. De même lorsque la croissance des plantes est ralentie (en hiver la photosynthèse est moindre) le besoin en nutriments sera aussi diminué.

#### 4.2.3. Le gaz carbonique CO<sub>2</sub>

Le gaz carbonique est essentiel à la croissance du végétal. Il est présent en quantité suffisante dans l'air atmosphérique, voir parfois en surplus. C'est un paramètre qui n'a donc pas besoin d'être ajusté.

#### 4.2.4. La température

Selon la situation du mur végétal les contraintes thermiques vont être différentes. A l'extérieur, le risque majeur est le gel des racines, beaucoup plus exposées au froid que si elles se trouvaient en pleine terre. Pour pallier à ce problème il faut choisir des plantes adaptées au risque climatique et augmenter le débit de ruissèlement en période hivernale pour éviter le risque de congélation du support. Car l'eau qui circule va avoir un point de congélation plus bas qu'une eau stagnante. Une autre solution, mais à n'utiliser que de façon exceptionnelle, est d'ajouter un sirop à la solution nutritive (à la concentration de 1Kg de sucre pour 100L de solution)<sup>45</sup>. Il est important de noter que les solutions d'antigel (à base d'éthylène glycol) sont à bannir car elles sont toxiques pour les végétaux. En intérieur, le problème sera, à l'inverse, un risque de surchauffage de l'air à cause des radiateurs, qu'il faudra donc veiller à bien régler.

---

<sup>45</sup> Groult J.-M., 2008.

#### 4.2.5. La lumière

La lumière est un point à prendre en compte tout aussi important que l'eau pour que la vie se maintienne. Pour un mur végétal en intérieur, l'éclairage est plus délicat qu'en extérieur, où seule la lumière du soleil suffit (à condition d'être correctement exposé). L'utilisation d'une lumière artificielle nécessite d'appréhender certains points sur l'utilisation de la lumière par les végétaux.

##### 4.2.5.1. La capture de l'énergie lumineuse

Les plantes utilisent la lumière en capturant l'énergie lumineuse par des pigments chlorophylliens. La chlorophylle brute d'un végétal se compose d'un mélange de pigments : les chlorophylles (pigments verts), les xanthophylles (pigments jaunes) et les caroténoïdes (pigments oranges). Les pigments chlorophylliens absorbent certaines radiations lumineuses, comme le rouge et le bleu-violet, mais pas le vert d'où la couleur verte des végétaux perçue par l'œil humain. Les radiations lumineuses captées constituent le **spectre d'absorption** des pigments chlorophylliens (Larose C., 2004). Les radiations efficaces pour la photosynthèse (le rouge surtout et dans une moindre mesure le bleu) constituent le **spectre d'action**. Il existe ainsi une correspondance entre le spectre d'action et le spectre d'absorption des pigments chlorophylliens (Figure n°60). Ainsi, cela permet de déduire quelle lumière est utilisable : une lumière verte par exemple, est inutile pour les végétaux. Elle doit au contraire être riche en radiations bleues et rouges. Les ampoules à filaments à incandescences sont peu efficaces car produisant peu de lumière bleue, contrairement aux luminaires industriels de type ampoule à décharge.

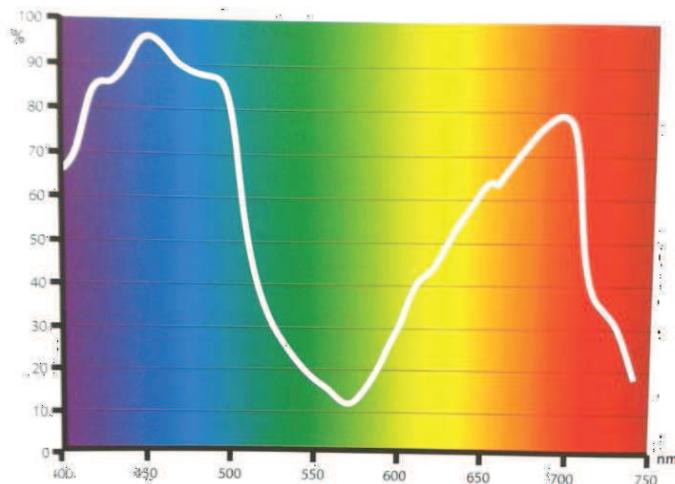


Figure n°60 : Efficacité de la photosynthèse en fonction de la longueur d'onde de la lumière reçue, (Groult J-M., 2008).

#### 4.2.5.2. Le Photosynthetical Active Radiation (PAR)

Outre la qualité du rayonnement lumineux (radiations absorbables par les plantes), il faut aussi prendre en compte sa quantité. Le PAR (Photosynthetical active radiation) représente la quantité de radiations actives sur la photosynthèse. Il faut que la lampe utilisée ait un pourcentage de PAR le plus élevé possible, ce pourcentage correspond au pourcentage du rayonnement de la lampe utilisé par le végétal<sup>46</sup>. Les lampes ayant un PAR avoisinant les 100% sont les lampes à décharge et les tubes fluorescents. Les premières sont à placer plutôt au niveau de plafond pour éviter de brûler les végétaux car elles chauffent beaucoup, contrairement aux secondes qui chauffent peu mais ne sont efficaces qu'à proximité du feuillage (en raison d'une faible dispersion de la lumière). Pour optimiser l'éclairage il peut être intéressant d'ajouter en plus des réflecteurs de lumières qui serviront à focaliser le flux lumineux sur les surfaces souhaitées. Il faut que quelque soit la lumière déjà présente dans la pièce où se situe le mur végétal (lumière naturelle par une fenêtre par exemple) il est indispensable d'installer un éclairage adapté.

#### 4.2.6. Le vent

Le vent est à prendre en compte pour les murs végétalisés en extérieur. Dans les zones où les courants d'air sont importants, la solution va être de choisir des plantes adaptées. Au niveau des marges de la composition murale il faut placer des plantes à feuillage coriace pour réaliser une sorte de haie brise-vent. Elles doivent être suffisamment grandes pour déborder par rapport à la verticale.

#### 4.3. Techniques de création du mur végétal en intérieur

Les principales techniques de création de mur végétal sont : l'hydroponie sur nappe horticole, la « paroi sandwich », les parois taillées, et les murs végétaux sur substrat traditionnel. Les techniques utilisées par P. Blanc ainsi que par les entreprises d'installation de murs végétaux seront développées dans la deuxième partie de la thèse. Avant de présenter successivement chaque technique, nous nous attardons sur le choix du substrat et de l'économie en eau.

---

<sup>46</sup> Groult J.-M., 2008.

#### 4.3.1. Choix du substrat et économie en eau

Le choix du substrat dépend de la technique de réalisation du mur végétal utilisée mais aussi de différents critères. Pour avoir une meilleure économie en eau par exemple, il faut une matière durable qui ne se tasse pas avec le temps (Daures J.-F., 2012). Cela n'est pas le cas de la fibre de coco non traitée qui se dégrade et se tasse de plus de 50 % en trois ans. Le substrat doit aussi présenter un caractère drainant et de préférence de nature acide. Il ne doit pas nécessiter non plus un arrosage continu. Or les supports dérivés des cultures hydroponiques (feutres non tissés) et les billes argiles ont besoin d'un arrosage quasi-continu pour maintenir les racines humides. Le choix le plus judicieux pour économiser de l'eau se porte donc sur la sphaigne (pour les murs végétaux en intérieur) car elle a l'avantage de réguler l'hygrométrie ambiante. Elle humidifie l'air de la pièce lorsqu'il est sec, et inversement capte l'humidité lorsqu'elle est élevée. De plus elle agit comme agent de dépollution en captant, entre autre, les microparticules chargées de pentachlorophénol. Par ailleurs elle possède un pouvoir antibactérien et anti-moisissures. La seule contrainte réside dans le fait qu'elle ne doit pas être saturée de produits chimiques et d'engrais sinon elle risque d'être détériorée. Un autre point est l'homogénéité du substrat, il ne doit pas y avoir de zones sur-irriguées ou de zones sèches. La sphaigne lorsqu'elle est très irriguée va transférer de l'eau au système racinaire des plantes simplement par capillarité et selon les besoins du végétal. Cette particularité va autoriser l'utilisation concomitante et côte à côte de plantes à besoin hydrique différent (ex : fougère et cactus) (Daures J.-F., 2012).

#### 4.3.2. Différentes techniques de végétalisation d'un mur

##### 4.3.2.1. L'aquanappe ou hydroponie sur nappe horticole

L'hydroponie sur nappe est une technique de culture hors-sol, elle est notamment utilisée dans les productions de fruits hors saison en serre. Le support de culture est un substrat inerte, ici la nappe horticole. Le principe est le suivant : les plantes sont enchâssées dans une nappe hydrophile, celle-ci est arrosée d'une substance nutritive, qui draine vers le bas et est récupérée dans un bac au pied du mur. Le circuit fonctionne grâce à une pompe qui véhicule l'eau en haut de la nappe puis s'égoutte et descend jusqu'au bac de récupération (Figure n°61).

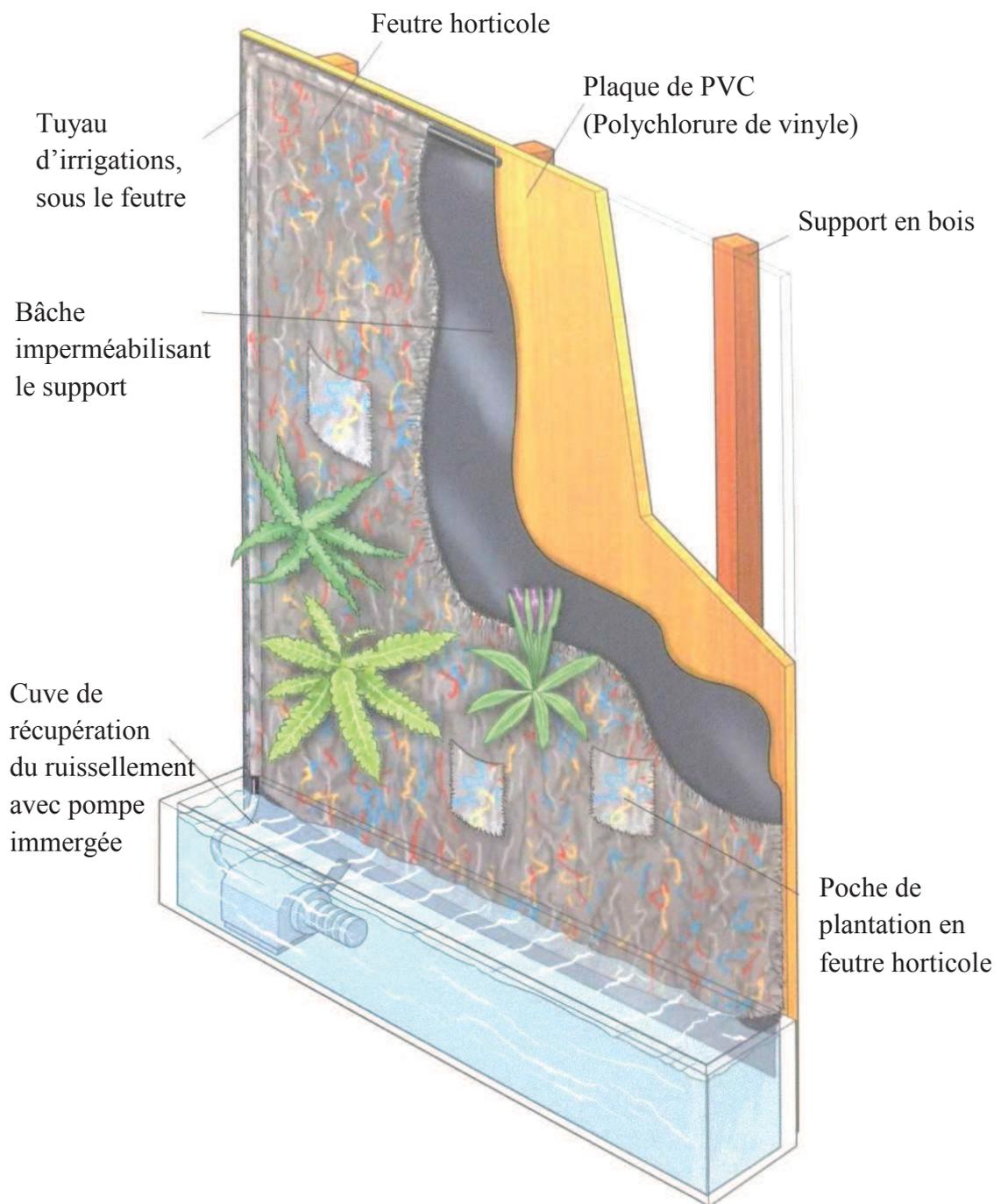


Figure n°61 : Hydroponie sur nappe agricole, (Groult J-M., 2008).

#### 4.3.2.2. La paroi sandwich

La végétalisation d'un mur peut également se faire à l'aide d'une « paroi sandwich » (Figure n°62). Il s'agit de remplacer la nappe horticole par un autre support hydrophile, tel que la laine de mouton, la laine de roche horticole, ou encore la fibre de coco... Ce support hydrophile est maintenu verticalement par une maille (grillage ou filet en plastique) rendue rigide par une structure interne.

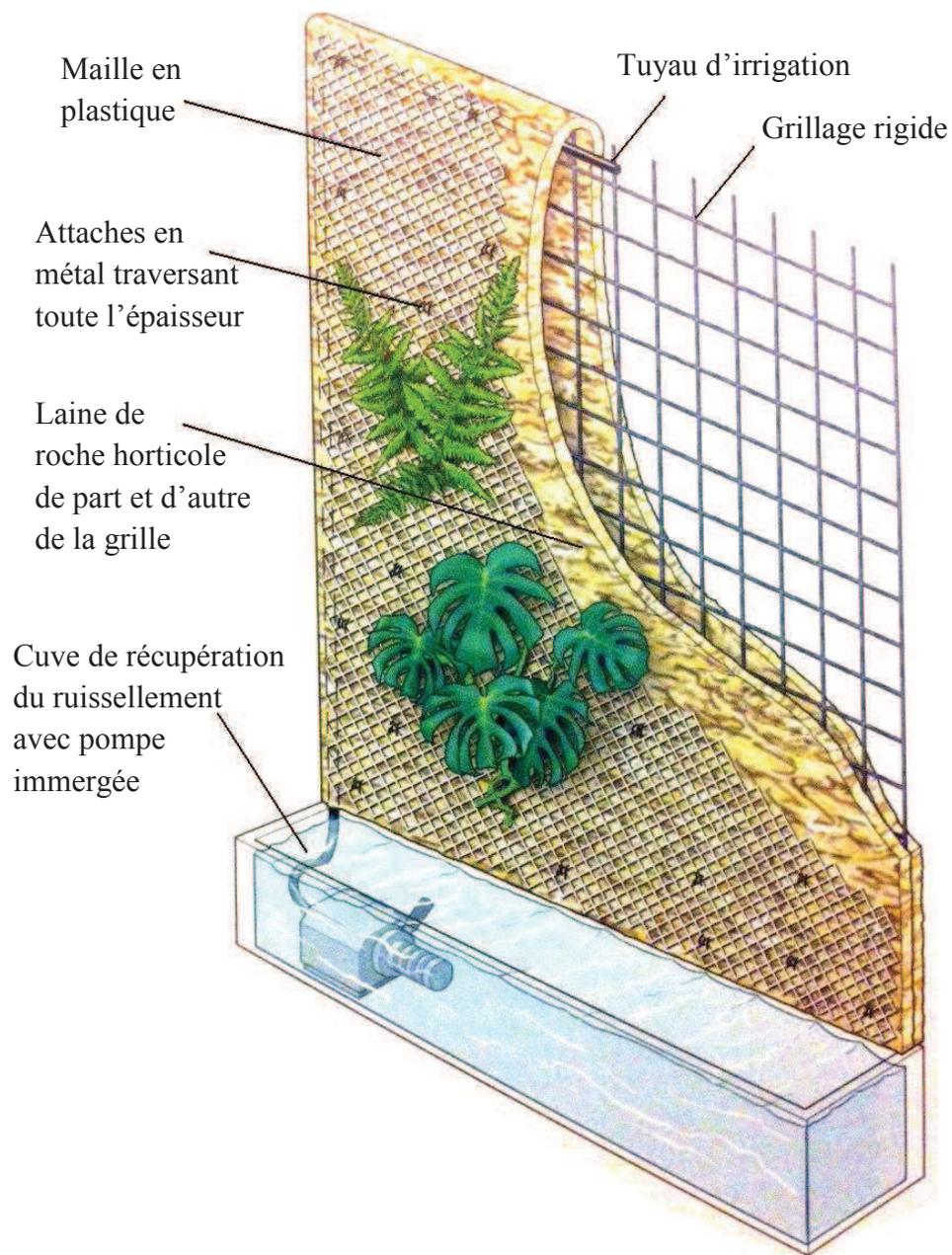


Figure n°62 : Technique de la paroi sandwich, (Groult J-M., 2008).

#### 4.3.2.3. Les parois taillées

Une autre technique un peu plus originale est d'utiliser des parois de roche taillée (Figure n°63). Les plantes sont placées dans les cavités d'une masse rocheuse (basalte, pierre ponce, béton cellulaire de structure mousseuse...). Ces cavités sont irriguées à partir du sommet de la structure grâce à de petits tuyaux. L'eau s'écoule à la surface de la pierre et en profondeur, jusqu'au bassin au pied de la paroi.

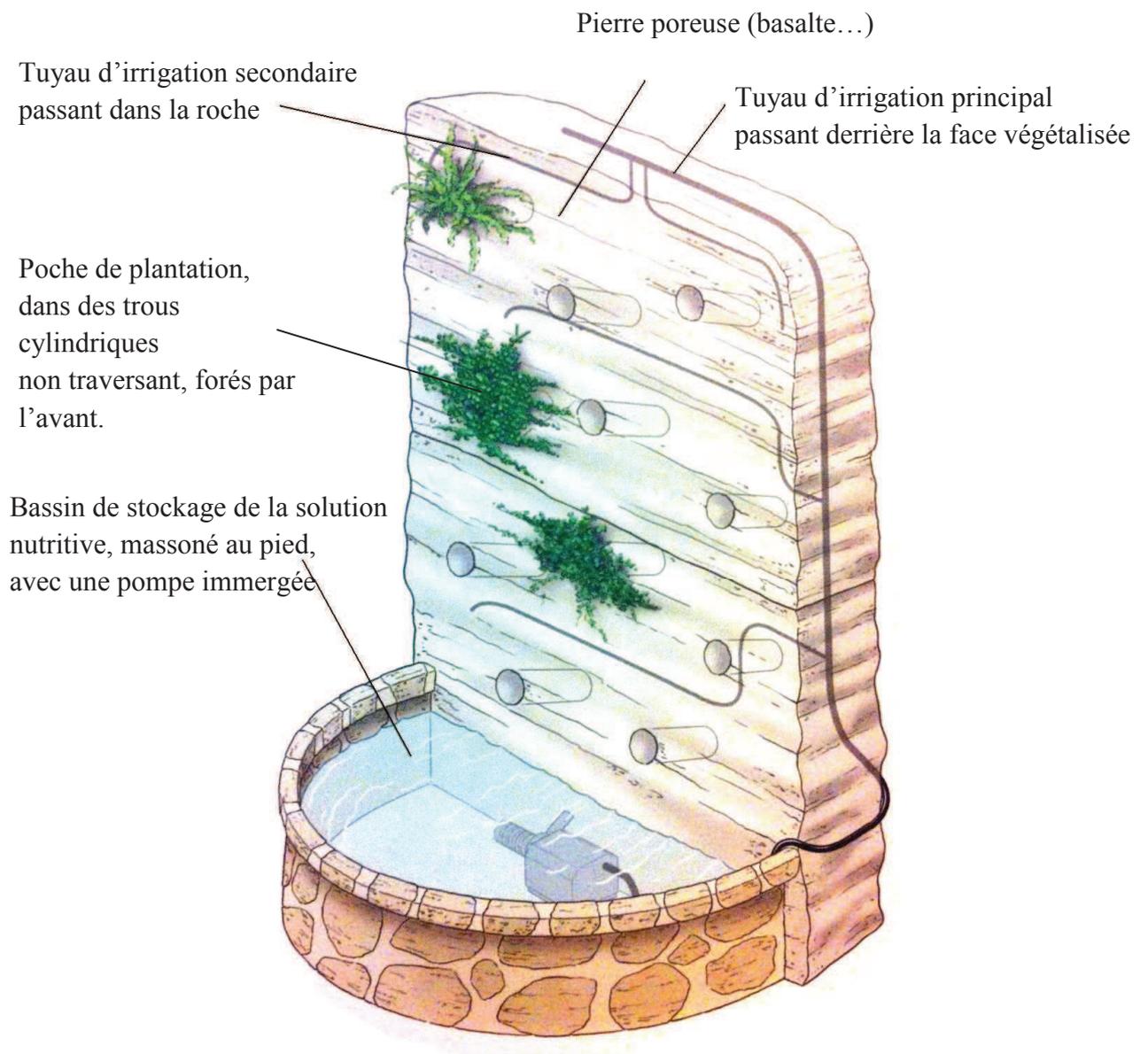


Figure n°63 : Technique de la paroi taillée, (Groult J-M., 2008).

#### 4.3.2.4. Végétalisation du mur sur substrat traditionnel

La technique la plus simple, mais la moins impressionnante bien que le résultat puisse être quand même attrayant, est la végétalisation du mur sur substrat traditionnel (Figure n°64). Elle se réalise tout simplement à l'aide d'étagère avec des rayonnages comportant des loges de culture obliques. L'étagère doit être solide et étanche. Mais chaque logette doit laisser l'eau s'écouler dans la loge en dessous. Une gouttière tout en bas permet de récolter l'excédent d'arrosage.

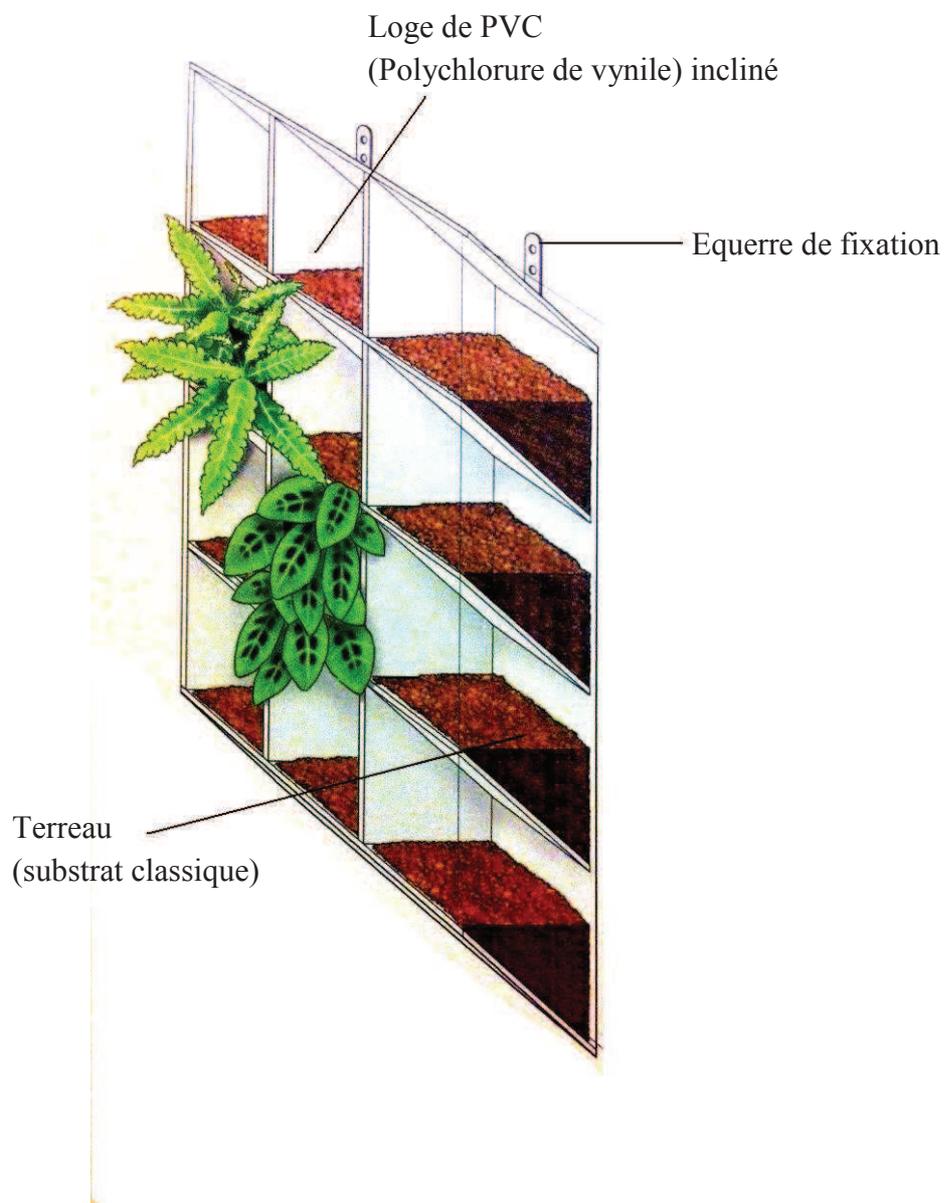


Figure n°64 : Les casiers à plantes, (Groult J-M., 2008).

#### 4.4. Le choix des plantes pour végétaliser un mur

Les plantes cultivables en intérieur ne le sont pas forcément en extérieur, et vice versa. En effet les contraintes, les conditions climatiques, et l'environnement sont différents. Il est possible de réaliser une sélection de plantes classées selon le lieu de culture (en intérieur ou en extérieur) et selon l'architecture qu'elles peuvent offrir d'après leur type de croissance.

##### 4.4.1. Les plantes cultivables en intérieur

Avant d'étudier quelques végétaux par type de morphologie, voici une sélection des meilleures plantes implantables pour un mur intérieur (Tableaux n°9, n°10 et n°11).

<b>Plantes faciles à cultiver peu exigeantes</b>
<i>Begonia sp.</i>
<i>Cyperus alternifolius L.</i>
<i>Dracaena sp.</i>
<i>Soleirolia soleirolii (Req.) Dandy</i>
<i>Rhoeo sp.</i>
<i>Ornithogalum caudatum Jacq.</i>
<i>Peperomia sp.</i>
<i>Schefflera sp.</i>
<i>Spathiphyllum sp.</i>
<i>Tillandsia usneoides L.</i>

Tableau n°9 : Sélection de plantes peu exigeantes, cultivables sur un mur végétalisé, (selon les données de Groult J-M., 2008).

<b>Plantes à placer à l'ombre</b>
<i>Adiantum sp.</i>
<i>Aglaonema sp.</i>
<i>Ardisia sp.</i>
<i>Episcia sp.</i>
<i>Fasthедера sp.</i>
<i>Hedera helix L.</i>
<i>Ludisia sp.</i>
<i>Philodendron sp.</i>
<i>Scindapsus sp.</i>

Tableau n°10 : Sélection de plantes peu exigeantes spécialement pour l'ombre, (selon les données de Groult J-M., 2008).

**Plantes à éviter car exigeantes  
et incompatibles avec une irrigation continue**

*Citrus sp.*

*Echinocactus sp.*

*Clivia sp.*

*Cyclamen sp.*

*Jatropha sp.*

*Pachypodium lamerei* Drake

*Adenium obesum* Roem. & Schult.

*Zamioculcas zamiifolia* Lodds.

Tableau n°11 : Sélection de plantes exigeantes à éviter sur un mur végétalisé,  
(selon les données de Groult J-M., 2008).

4.4.1.1. Les plantes aux tiges retombantes

La plupart des plantes aux tiges retombantes demandent une taille assez régulière pour les forcer à se ramifier et pour éviter un envahissement du support (risque d'étouffer les plantes situées en dessous) (Groult J-M., 2008). Mais elles ont l'avantage de camoufler assez facilement le mur. De plus elles donnent une impression de dynamisme au mur : les tiges retombantes suggèrent comme un mouvement et donne de la fluidité à l'ensemble. Voici quelques exemples :

- Les Hoyas dits « fleurs de porcelaine » : elles sont peu encombrantes et développent des grappes de fleurs très parfumées (Figure n°65).
- Le genre *Oplismenus* sp. : son feuillage rappelle celui des bambous, ce qui apporte une touche d'exotisme au mur.



Figure n°65 : *Hoya sp.* sur un mur végétal à Dubaï, (Référence internet n°53).

#### 4.4.1.2. Les plantes tapissantes

Elles permettent de couvrir le mur, et poussant à ras de celui-ci, elles évitent de former une masse trop imposante en largeur (Groult J-M., 2008). Utilisées seules elles donnent une composition assez plate, mais si ce n'est pas l'effet recherché elles doivent être associées à des plantes plus volubiles.

Les plus courantes sont les suivantes :

- Les *Nertera sp.* : à croissance plutôt lente, ils ont la particularité de porter de petits fruits oranges (non comestibles) qui égayent la composition. Seulement ils doivent être plantés dans une partie plutôt sèche du mur pour leur éviter le pourrissement.
- Les *Soleirolia sp.* : à petites feuilles panachées (variété *variegata*) ou non (variété *aurea*), ils couvrent très facilement le mur d'eux-mêmes car leurs tiges à plats développent rapidement des racines.
- Les *Pilea sp.* : à petites feuilles de couleur et forme variable selon la variété, ils présentent la particularité de pouvoir être bouturés très facilement ce qui peut servir pour combler les lacunes d'une composition (Figure n°66).



Figure n°66 : *Pilea involucrata* (Sims) C.H.Wright & Dewar,  
(Référence internet n°87).

- Les *Episcia sp.* : elles demandent une partie peu lumineuse du mur mais relativement humide. L'intérêt réside dans les petites fleurs qu'elles présentent juste au dessus du feuillage. De plus contrairement à la plupart des plantes tapissantes elles sont peu couvrantes (Figure n°67).
- Les *Peperomia sp.* : difficiles à installer (elles n'aiment pas l'humidité excessive) mais de grande longévité, elles possèdent un feuillage intéressant, comme l'espèce *Peperomia argyrea* dont les feuilles lisses sont veinées d'argent.



Figure n°67 : *Episcia reptans* Mart., (Référence internet n°10).

#### 4.4.1.3. Les fougères

Parfaites pour les milieux humides elles sont très intéressantes pour la réalisation d'un mur végétal. Il en existe de nombreuses variétés et elles ne nécessitent que peu d'entretien (comme couper les quelques feuilles mortes). Les éléments à prendre en compte sont leur développement assez lent (moins de lumière donc croissance lente) et la taille de l'espèce à choisir. Effectivement certaines sont trop imposantes pour être utilisées sur un mur végétal (exception pour les murs très importants comme ceux de grands immeubles). Par exemple, un plant de *Cyathea sp.* donnera une couronne de frondes de plus de 2 mètres de diamètre (Groult J-M., 2008).

Les fougères qui peuvent être utilisées sont les suivantes :

- Les *Davallia sp.* : nommées « patte-de-lapin » ou « pied d'écureuil » à cause du duvet qui pousse sur leurs rhizomes, donnant un aspect duveteux assez curieux (Figure n°68). Leurs croissances est assez rapide.
- Les *Phlebodium sp.* : il s'agit également de fougères velues qui permettent d'apporter des touches de bleu au tapis végétal, avec l'espèce *Galucum* par exemple.
- Les fougères à grandes frondes : certaines espèces bien qu'importantes en taille peuvent être utilisées sur un mur, à condition de leur réserver un emplacement en marge du mur, comme par exemple *Asplenium nidus* L. (= « nid d'oiseau »). Cet épiphyte doit son nom au fait qu'autrefois des oiseaux y élaient domicile. Son feuillage vert brillant forme une rosette de frondes légèrement ondulées.
- Les *Selaginella sp.* : proche des groupes des fougères, elles sont peu envahissantes mais permettent de garnir les espaces entre des fougères plus imposantes.



Figure n°68 : *Davallia canariensis* (L.) Sm., (Référence internet n°82).

#### 4.4.1.4. Les plantes d'appoint

Dans ce paragraphe nous traiterons de quelques plantes d'appoint, peu encombrantes mais suffisamment importantes pour faire partie de la composition végétale.

- Les Broméliacées : elles ont l'avantage d'être très résistantes et de ne nécessiter quasiment aucun entretien, en plus d'offrir des inflorescences assez remarquables. Le seul inconvénient est que leur floraison n'est généralement qu'annuelle. Par exemple, citons :
  - o Les *Ananas sp.* : à placer dans une zone qui ne soit pas trop humide, attention aux chocs thermique auxquels ils sont sensibles.
  - o Les *Guzmania sp.* : très résistants, ils apportent une touche de couleur par l'inflorescence qui peut être de couleur vive (rose, orange, ou rouge).
  - o Les *Billbergia sp.* : broméliacées en rosette facilement cultivables, à ne pas placer trop près des sources de lumière.
  
- Les orchidées : leur utilisation n'est pas impossible mais elles nécessitent des conditions spécifiques. Elles sont exigeantes, la température et le taux d'humidité doivent être constants et bien adaptés à l'espèce choisie sans quoi elles risquent de dépérir.
  
- Quelques plantes très colorées : pour parfaire une composition végétale il faut veiller à ajouter quelques touches de couleur pour relever l'ensemble qui peut paraître « trop vert ». Pour cela il est possible d'utiliser des plantes à fleurs vives ou des plantes à feuillage coloré. Les secondes seront plus intéressantes car la durée de floraison est en général assez limitée, comme :
  - o Les *Hypoestes sp.* : à feuillage bicolore, moucheté de rose, très facilement cultivables (Figure n°69).
  - o Les plantes de la famille des *Acanthaceae* : les *Crossandra sp.* à fleurs jaunes, les *Beloperone sp.* aux épis jaune-orangé, les *Fittonia sp.* dont les veines des feuilles sont colorées de rose ou de rouge.
  - o Les *Gynura sp.* : leur feuillage est recouvert d'un duvet violet pourpre à reflets, ils sont peu exigeants.



Figure n°69 : *Hypoestes phyllostachya* Baker,  
(Référence internet n°86).

- Certains arbustes : ils ont l'intérêt d'être résistants, à feuillage en général abondant mais aussi massifs et donc très imposants sur un mur végétal. Les arbustes doivent donc être systématiquement taillés et les bourgeons pincés.
  - o *Hibiscus rosa-sinensis* L. : il a l'avantage d'offrir de délicates fleurs de façon continue, mais il est sensible et risque de perdre ses feuilles si les conditions climatiques ne lui conviennent pas.
  - o *Ardisia* sp. : ils sont intéressants par les nombreuses petites baies rouges qu'ils produisent, mais leur feuillage est peu fourni.
  
- Les plantes particulières à l'esthétique graphique : elles complètent le tableau végétal en apportant des volumes et formes qui contrastent avec le reste de la composition.
  - o *Maranta leuconeura* E. Morren, au feuillage très décoratif avec ses nervures claires.
  - o *Cyperus alternifolius* Willd. ex Kunth, à croissance rapide et facile, le feuillage prenant l'aspect d'ombelles très graphiques.

#### 4.4.2. Les plantes cultivables en extérieur

La difficulté du choix des plantes pour un mur végétalisé en extérieur réside dans l'adaptation aux conditions climatiques externes, car la température, la luminosité et l'exposition au vent sont des paramètres non modifiables à l'extérieur. De façon non exhaustive, voici quelques exemples de végétaux de culture facile :

- Les *Acaena sp.* : plantes tapissantes à croissance rapide, très décoratives pendant la floraison.
- Les *Adiantum sp.* : petites fougères gracieuses, qui tolèrent le calcaire.
- Les *Alchemilla sp.* : leurs feuilles ont la particularité de garder les gouttelettes d'eau, elles apprécient l'humidité continue du mur.
- Le *Begonia evansiana* Andrews : bégonia rustique aux feuilles vertes-jaunes
- Les *Dichondra sp.* : à feuilles rondes, à utiliser pour recouvrir assez vite le support
- Les *Euonymus sp.* : certaines espèces de fusain ont l'avantage de s'enraciner par les tiges si elles touchent le support, ce qui les rend intéressantes pour une culture verticale.
- Les *Heuchera sp.* : il existe différentes variétés offrant des couleurs allant de l'orange (variété *Caramel*) au mauve (variété *Chocolate Ruffles*).

D'autres exemples peuvent être cités, comme *Euphorbia amygdaloides* L. (Euphorbe des bois) et *Asplenium scolopendrium* L., ainsi que les espèces des genres *Hibiscus sp.*, *Lysimachia sp.*, *Polygonum sp.*... Ainsi, quelque soit le végétal choisi, il doit pouvoir s'adapter aux conditions climatiques du terrain. Outre le choix à visée esthétique, il est possible de se tourner vers telle ou telle espèce en fonction du type de mur végétal voulu.

Des exemples de compositions (Vialard N., 2010) en extérieur (et de taille modérée) sont :

- Une composition anti-moustique : *Artemisia abrotanum* L., *Thymus pseudolanuginosus* Ronniger, *Melissa officinalis* L., *Aloysia citrodora* Palau et *Ocimum basilicum* L.
- Une composition gourmande : *Eruca sativa* Mill., *Fragaria ananassa* Duchesne, *Rumex acetosa* L., *Umbilicus rupestris* (Salisb.) Dandy, *Chenopodium bonus-henricus* L.
- Un mur d'aromatiques : *Rosmarinus officinalis* L., *Satureja hortensis* L., *Verbena officinalis* L., *Melissa officinalis* L., *Origanum vulgare* L., *Thymus vulgaris* L.

- Un Damier Black and white : *Ophiopogon planiscapus* 'Nigrescens' et *Heuchera* 'Black Out' pour représenter les cases noires, *Stachys byzantina* 'Silver carpet ' et *Artemisia schmidtiana* 'Nana' pour les cases blanches.

#### 4.4.3. Végétaux et risques sanitaires

Si le mur végétal est beaucoup trop irrigué, des moisissures risquent de se développer sur le substrat sur lequel poussent les végétaux. La prolifération des moisissures peut être dangereuse pour la santé. Par ailleurs, certaines plantes peuvent être responsables de phénomènes allergiques qui se traduisent par des symptômes de type asthme, eczéma, rhinoconjonctivite, dermatite, etc. Les plantes les plus incriminées dans la survenue de telles pathologies sont les *Ficus sp.* (dont *Ficus benjamina* L.), les *Schlumbergera sp.* (cactus de Noël), l'*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch (Poinsettia), ainsi que certaines variétés de primevères et de cyclamens. Les espèces du genre *Dieffenbachia sp.*, pourtant très communes dans les environnements intérieurs, sont responsables d'intoxications se traduisant par des irritations buccales, des œdèmes avec gêne respiratoire et difficultés de déglutition. La composition d'un mur végétal doit donc prendre en compte le risque sanitaire qu'il crée, ainsi il convient de sélectionner des plantes qui ne soient pas toxiques par contact ou ingestion.

#### 4.4.4. Plantes et dépollution

Une des caractéristiques intéressantes des murs végétaux est la capacité de dépollution des plantes qui le composent. Historiquement, le phénomène de dépollution par les plantes a été étudié la première fois par la NASA (National Aeronautics and Space Administration). En 1973, la NASA a identifié un grand nombre de composés organiques volatils (VOC<sup>47</sup>) dégagés à partir des matériaux synthétiques utilisés à l'intérieur des engins spatiaux<sup>48</sup>. A partir de là, elle s'est rendue compte qu'une pollution de l'air intérieur des bâtiments pouvait être néfaste pour la santé. Elle commença alors des recherches sur les systèmes fermés écologiques comme supports de la vie, et étudia le pouvoir de

---

<sup>47</sup> VOC : Volatile Organic Chemicals

<sup>48</sup> D'après Wolverton Environmental Services, Inc. Indoor Air Pollution. (Référence internet n°89)

purification de la nature à travers des réactions de synergie entre les plantes et les microorganismes. En 1984, la NASA publia une première étude démontrant que les plantes d'intérieurs pouvaient contribuer à éliminer les VOC de pièces fermées. Puis s'ensuivirent d'autres études dans le cadre de cette recherche de la dépollution de l'air.

Cette capacité de dépollution a été étudiée à partir de 2002 par le programme de recherche Phyt'air par les équipes de recherche du laboratoire de CSTB de Nantes (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) et de la Faculté de Pharmacie de Lille. Le programme Phyt'air est un programme de recherche qui a pour objectif de déterminer la capacité d'épuration des plantes en intérieur et les mécanismes biologiques et physiologiques des plantes mis en jeu (Daures J-F., 2012). Il propose également d'éventuelles applications de biosurveillance végétale de la qualité de l'air dans les environnements intérieurs. Les travaux menés en laboratoire ont démontré que les végétaux avaient des capacités intrinsèques à réduire la teneur de certains polluants gazeux présents dans l'air intérieur. Sur le plan physiologique, les mécanismes mis en jeu sont soit au niveau de l'appareil aérien, par les stomates des feuilles, ou par simple échange gazeux entre les tissus cellulaires et l'air, soit au niveau du système racinaire (via un transit par le substrat). Les études ont montré une efficacité supérieure du système racinaire au système foliaire. Elles ont également démontré le rôle essentiel des micro-organismes présents dans le processus d'épuration. L'efficacité de dépollution varie en fonction du type de plante et des polluants étudiés, de paramètres physico-chimiques et biologiques (température, humidité relative, luminosité, densité feuillage), de la saturation en polluant à l'intérieur du végétal. Bien que les capacités de dépollution soient certaines, elles ne sont pas suffisantes pour remplacer les premières mesures de dépollution qui sont de limiter la source de polluants.

Le tableau n°12 suivant énonce de façon non exhaustive les végétaux reconnus pour leurs propriétés dépolluantes.

PLANTES	POLLUANTS							Pouvoir dépolluant
	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4	n° 5	n° 6	n° 7	
<i>Aglaonema sp.</i>	*			**				**
<i>Anthurium sp.</i>			**	*	***			***
<i>Araucaria heterophylla</i> (Salisb.) Franco				*				*
<i>Begonia sp.</i>				*				*
<i>Chamaerops humilis L.</i>			**	***	**			***
<i>Rhapis excelsa</i> (Thunb.) A.Henry	**	**	*	***				***
<i>Chlorophytum comosum</i> (Thunb.) Jacques	***		**	**		***	***	***
<i>Sublimia areca</i> Comm. ex Mart.			***	**				***
<i>Chrysanthemum sp.</i>	***			***	**			***
<i>Rhoicissus sp.</i>				*				*
<i>Croton sp.</i>				*				*
<i>Cyclamen persicum</i> Sm.			*	*				*
<i>Dracaena marginata</i> Lam.	**	***	***	**		***	***	***
<i>Poinsettia sp.</i>				*				*
<i>Ficus binnendijkii</i> (Miq.) Miq.	*	*	*	**		*		**
<i>Ficus benjamina L.</i>			**	**	*			**
<i>Gerbera sp.</i>	***	***		***		*		***
<i>Hedera helix L.</i>	*	*	*	***		*		***
<i>Kentia sp.</i>	*							*
<i>Nephrolepis exaltata</i> (L.) Schott			***	***				***
<i>Phalaenopsis sp.</i>				*				*
<i>Philodendron erubescens</i> K.Koch & Augustin		*		***				***
<i>Rhapis sp.</i>			*	**	***			***

Tableau n°12 : Végétaux reconnus pour leurs propriétés dépolluantes

Légende du tableau n°12 :

Polluants : n°1 : benzène, n°2 : trichloréthylène, n°3 : xylène, n°4 : formaldéhyde, n°5 : ammoniac, n°6 : toluène, n°7 : monoxyde de carbone

Le nombre d'étoiles dans le tableau indique la capacité de la plante à plus ou moins absorber un polluant, ainsi que son pouvoir dépolluant global.

Données du tableau n°12 d'après Chaudet G. et Boixière A., 2007.

## 2<sup>ème</sup> Partie

La végétalisation : applications urbaines et  
applications à l'officine

## 1. La végétalisation des murs et toits urbains : des outils pour rendre une ville « biophilique »

La végétalisation des murs et toits urbains sont une solution pour la mise en place de la biophilie en milieu urbain. Le concept de « biophilie » (*biophilia* en anglais) a été introduit par le biologiste, écologiste et entomologiste de réputation internationale Edward Osborne Wilson de l'Université d'Harvard. Il utilise ce terme pour désigner la connexion entre l'être humain et la nature : « Biophilia, if it exists, and I believe it exists, is the innately emotional affiliation of human beings to other living organisms. Innate means hereditary and hence part of ultimate human nature. » (Kellert S.R., Wilson E.O., 1995). Par extension, le design biophilique s'est développé pour tendre à apporter de la nature et de la verdure au sein l'urbanisme. Les villes biophiliques sont définies par la biodiversité qui s'y trouve, mais aussi par les activités et habitudes de vie de ses habitants, ainsi que par le choix des institutions locales. Selon Joseph Clancy, expert en design biophilique de l'Université de Gloucestershire, une ville biophilique doit posséder certaines qualités. Tout d'abord, elle doit apporter une nature abondante à proximité de ses habitants. Par exemple, la ville de New York aux USA se place comme objectif dans le PlaNYC<sup>49</sup> d'installer un espace vert public accessible à moins de 10 min de tout résidant d'ici l'année 2030. De plus ses habitants doivent se sentir intéressés et même attachés à la faune et à la flore locale. Pour atteindre cet objectif, les autorités doivent inciter la population, via des programmes éducatifs et des campagnes de sensibilisation (visites des forêts environnantes, création de groupes pour la conservation de la biodiversité etc...). Elle doit aussi offrir un accès direct à la nature, même en plein centre ville, par exemple en reliant différents espaces verts de la ville par des réseaux d'accès, comme le Park Connector Network à Singapour. Il s'agit d'une vaste connection de parcs dont l'ensemble s'étend sur plus de 200km, relié de passerelles surélevées et de corridors. Un des jardins faisant partie du Park Connector Network est le Gardens by the Bay (Figures n°70, n°71 n°72).

---

<sup>49</sup> Le PlaNYC est un plan mis en place par la ville de New York qui prévoit de renforcer l'économie, de combattre le changement climatique, et d'améliorer la qualité de vie des résidents en offrant une ville plus verte. D'après la référence internet n°66.



Figure n°70 : Vue d'ensemble des arbres du Garden by the Bay, Singapour,  
(Référence internet n°90).



Figure n°71 : Jardin au Garden by the Bay, Singapour, (Référence internet n°36).



Figure n°72 : le Garden by the Bay illuminé la nuit, Singapour,  
(Référence internet n°46).

De même, elle offre un environnement riche en expériences multisensorielles : elle permet autant d’apprécier les sons de la nature que le visuel du végétal. Une façon de permettre cela est d’aménager des zones calmes (par la mise en œuvre de Plan de Réduction du Bruit). D’autre part, la ville doit décider d’investir un budget spécialement dédié aux projets de biophilie, permettant d’inciter les projets d’urbanisme vert. Par exemple, la ville de Singapour finance une partie des travaux de végétalisation des murs et toits urbains grâce au programme Skyrise Greenery<sup>50</sup>. Par ailleurs, elle doit soutenir activement la conservation de la biodiversité et de la nature par la mise en place de mesures, comme la désignation de sites protégés et la création d’un plan d’action pour la biodiversité. Par exemple, la ville de Vitoria-Gasteiz, capitale du Pays basque dans le nord de l’Espagne a mis en place la création d’une véritable ceinture verte<sup>51</sup> entourant la ville.

---

<sup>50</sup> « Skyrise greenery » signifie littéralement « la verdure levée au ciel ». C’est un programme qui offre des subventions et des distinctions aux réalisations les plus intéressantes, aussi bien les végétalisations horizontales sur les toits que les végétalisations verticales des murs (Référence internet n°79).

<sup>51</sup> D’après la référence internet n°81.

## 2. Les toitures urbaines végétalisées

### 2.1. Les toits végétalisés ou PCV<sub>H</sub> (Paroi Complexe Végétalisée Horizontale)

Les toits verts modernes sont nés à la fin du 20<sup>ème</sup> siècle en Allemagne, où la végétation a été installée sur les toits pour atténuer les effets nocifs du rayonnement solaire sur la structure du toit. Les premiers toits verts ont également été utilisés comme structures ignifuges<sup>52</sup> (Köhler M, 2003). Il existe actuellement plusieurs types de systèmes végétalisés : les toits extensifs et les toits intensifs. La réglementation de plusieurs pays oblige maintenant les nouvelles constructions urbaines à installer des toits verts, comme en Allemagne (Earth Pledge, 2005). Les différents modes de culture des toits, extensif et intensif sont généralement définis par l'épaisseur de la couche de substrat, le tableau n°13 suivant en résume les principales caractéristiques.

	<b>Plantation intensive</b>	<b>Plantation extensive</b>
<b>Substrat</b>	Epaisseur > 20 cm Poids variable, grande porosité, faible teneur en matières organiques	Epaisseur < ou = 20 cm Léger, grande porosité, faible teneur en matières organiques
<b>Arrosage</b>	Arrosage uniquement en période de sécheresse prolongée	Système munis d'un arrosage automatique
<b>But</b>	Fonctionnel et esthétique : augmenter l'espace de vie	Fonctionnel: gestion des eaux pluviales, isolation thermique, protection contre le feu
<b>Types de plantes</b>	Pas de restrictions autres que celles imposées par la profondeur du substrat, le climat, la hauteur du bâtiment, l'exposition et l'équipement d'irrigation	Plantes et mousses à faible croissance, sélectionnées pour leur tolérance au stress (ex : Sedum, Sempervivum)

Tableau n°13 : Caractéristiques des plantations intensives et extensives,  
(Oberndorfer E. *et al.*, 2007).

<sup>52</sup> Ignifuge : qui rend ininflammable.

## 2.2. Les toits végétalisés de la ville de Paris

Les toits de Paris, de tailles et formes aussi diverses que la complexité de l'architecture de la ville, offrent un potentiel non négligeable. Il serait même tentant d'imaginer d'aller jusqu'à installer des potagers en hauteur. L'école AgroParisTech a expérimenté un jardin potager sur les toits de Paris. Elle a observé un niveau de pollution des fruits et légumes récoltés nettement inférieur aux normes européennes.

Nous verrons tout d'abord le potentiel des toitures de Paris, puis les contraintes liées à la structure des bâtiments, et enfin comment préserver l'environnement et la biodiversité avant de terminer par les aspects réglementaires.

### 2.2.1. Le potentiel des toitures de Paris

Dans une ville où les nouvelles places accordées au végétal sont rares, il est intéressant de voir comment a été conçu le projet d'apposer de nouveaux jardins sur les toits. La DU (Direction de l'Urbanisme) et la DEVE (Direction des Espaces Verts et de l'Environnement) ont établi une étude en amont du projet pour montrer toutes les potentialités qu'offrait la ville de Paris. Depuis 2005, la végétalisation des toits de Paris a pris de l'ampleur, car chaque toiture publique restaurée doit bénéficier d'une végétalisation. Ainsi grâce à ce dispositif, entre 2005 et 2011 quatre hectares de toits verts ont été créés. Selon les données de l'APUR (Atelier Parisien de l'Urbanisme) regroupées avec les informations de la DU et la DEVE, au total en 2011 quarante-quatre hectares de toitures végétalisées à Paris ont été dénombrés, majoritairement dans les arrondissements périphériques, soit seulement 1,2% de l'ensemble des toits de la ville. Mais il reste encore un patrimoine de 80 hectares de toitures plates vierges (sur 3000 bâtiments) qui pourraient offrir de la place à une végétalisation. L'objectif jusqu'à 2020 est d'arriver à obtenir sept nouveaux hectares de toitures parisiennes végétalisées. Ci-dessous la figure n°73 illustre la répartition des toitures à fort potentiel en fonction de la surface. Les surfaces disponibles sont homogènes en taille, aussi bien des petites (200 m<sup>2</sup>) que de grandes surfaces (+1000m<sup>2</sup>).

Répartition des toitures à fort potentiel,  
par surfaces, à l'échelle de Paris

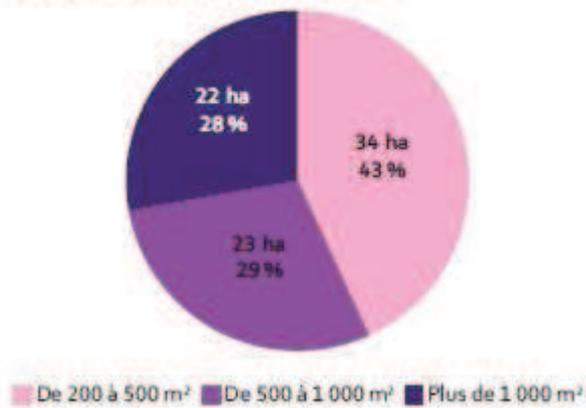


Figure n°73 : Répartition des toitures à fort potentiel, par surfaces, à l'échelle de Paris,  
(Référence internet n°3).

Selon la taille, la forme et la pente de la toiture les plantations seront plus ou moins aisées.  
Voici deux exemples à typologie différentes (Figures n°74 et n°75).



Figure n°74 : Toitures de la ville de Paris à faible potentiel, (Référence internet n°3).

Cette première illustration (Figure n°74) présente des toitures à potentiel faible du fait du type de revêtement et de l'encombrement de la toiture. Les matériaux comme ici le zinc sont peu adaptés car jugés peu résistants.

Ce second exemple (Figure n°75) montre des toits circulaires à fort potentiel. Ils sont peu encombrés, de surface plate et le revêtement (dalle en béton) peu supporter la structure végétale.



Figure n°75 : Toitures de la ville de Paris à fort potentiel, (Référence internet n°3).

En plus de la typologie des toitures, il faut prendre en compte les différents propriétaires du patrimoine urbain. Ci-dessous (Figure n°76) la répartition des toitures à fort potentiel en fonction du type de propriétaire.

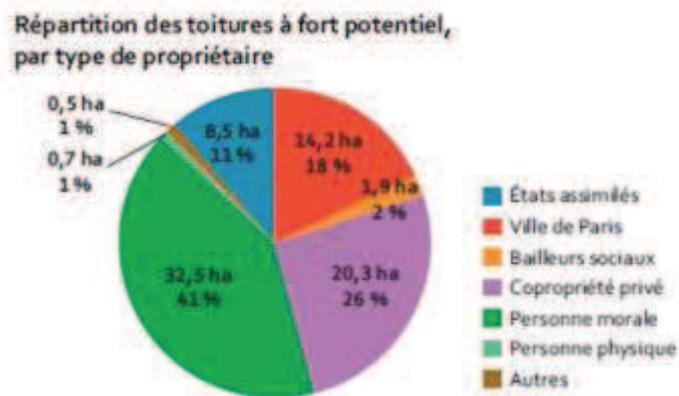


Figure n°76 : Répartition des toitures à fort potentiel, par type de propriétaire, (Référence internet n°3).

Un projet public viserait surtout les toitures appartenant à la ville de Paris et aux bailleurs sociaux. Des exemples peuvent être cités comme sur les photos ci-dessous (Figure n°77) : les toits de la bibliothèque municipale de la Goutte-d'Or (18<sup>ième</sup> arrondissement) et du collège Beaumarchais (11<sup>ième</sup> arrondissement).

**Exemples de toiture à fort potentiel, propriété Ville de Paris**



Collège Beaumarchais, 11<sup>e</sup>



Bibliothèque municipale de la Goutte-d'Or, 18<sup>e</sup>

Figure n°77 : Exemples de toitures à fort potentiel appartenant à la ville de Paris,  
(Référence internet n°3).

Un exemple concret est l'installation en 2009 d'un jardin associatif de 800 m<sup>2</sup> sur les toits du gymnase des Vignolles (Figure n°78).

**Jardin associatif sur le toit du gymnase des Vignolles, 89-91 rue des Haies, 20<sup>e</sup>**



Figure n°78 : Le jardin associatif sur le toit du gymnase des Vignolles,  
(Référence internet n°3).

## 2.2.2. Les contraintes de structure

La végétalisation des toits doit prendre en compte les contraintes liées à la structure du toit support. Elles sont de plusieurs types :

- La typologie du toit : son matériau, la pente...
- La charge permanente : c'est le poids réparti de façon homogène (canalisation, revêtement pour isolation et étanchéité, saturation en eau du complexe)
- La charge d'exploitation : il s'agit du poids des matières déposées, du mobilier et des personnes susceptibles d'occuper l'espace. Des normes définissent cette charge d'exploitation selon le bâtiment (normes NF P 06-001).

Ces contraintes doivent être étudiées pour chaque toiture. De façon simplifiée, le type de végétation à choisir en fonction du type de support peut être résumé selon le schéma suivant (Figure n°79) :

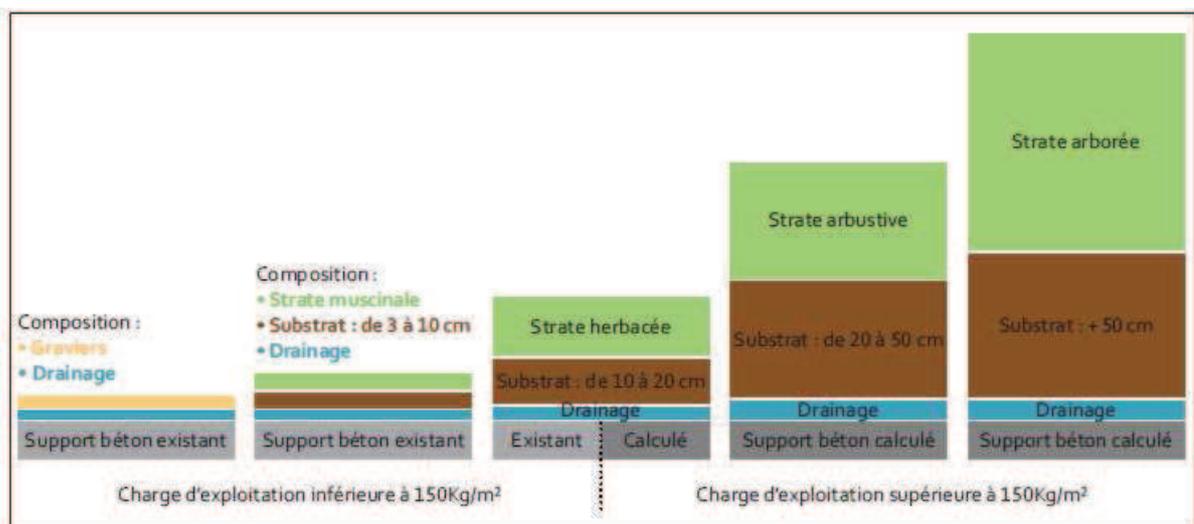


Figure n°79 : Choix du type de végétation en fonction du type de support, (Référence internet n°3).

La composition des différentes strates végétales est la suivante :

- La strate mucinale : mousses, lichens, sédums (plantes succulentes).
- La strate herbacée : herbacées annuelles, y compris avec bulbes, tubercules et rhizomes.
- La strate arbustive : arbustes moyens, accompagnés de graminées et plantes vivaces.
- La strate arborée : arbres de taille calculée, pour les jardins sur dalles.

Des exemples de végétaux utilisables pour les toitures de Paris sont listés de façon non exhaustive dans l'annexe n°9 (d'après le Cahier technique : toitures végétalisées, 2012, rédigé par les Services de la DEVE, DPA, DU, DPE et DLH<sup>53</sup>).

### 2.2.3. Préserver l'environnement et la biodiversité

La ville de Paris, par la végétalisation de ses toitures, participe à la préservation de l'environnement et de la biodiversité. Elle offre une réponse à différents programmes mis en place par la ville : le « Livre Bleu » (Référence internet n°70), le « Plan Climat » (Référence internet n°69) et le « Plan Biodiversité » (Référence internet n°71).

#### 2.2.3.1. Le Livre bleu

Il concerne la place de l'eau sous toutes ses formes dans la gestion de la ville. Les toitures végétalisées ont un intérêt hydrologique car elles améliorent le cycle de l'eau notamment grâce à l'évapotranspiration végétale qui élimine une part non négligeable de l'eau de pluie. En comparant l'effet d'une toiture végétalisée à une toiture nue imperméabilisée (Figure n°80 ci-dessous), il apparaît que la présence de plantes sur les toits engendre une réduction :

- du pic de débit des averses (par stockage de l'eau), ce qui permet d'éviter de surcharger le réseau d'eau de la ville et donc les inondations,
- du volume d'eau ruisselée (grâce à l'évapotranspiration), ce qui diminue la quantité d'eau polluée qui sera déversée dans les rivières (car les végétaux ont un certain effet filtrant de l'eau)

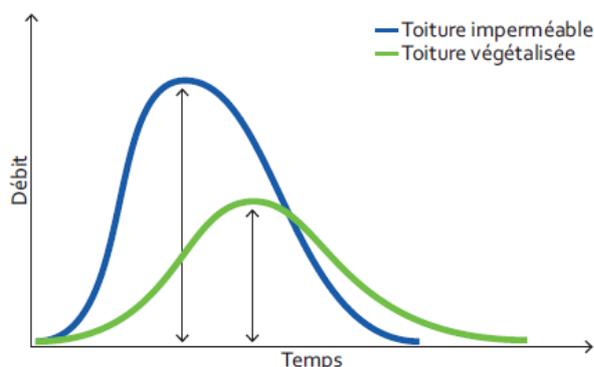


Figure n°80 : Capacité de stockage et de temporisation des eaux pluviales par une toiture végétalisée, (Référence internet n°3).

<sup>53</sup> DEVE : Direction des Espaces Verts et de l'Environnement, DPA : Direction du Patrimoine et de l'Architecture, DU : Direction de l'Urbanisme, DPE : Direction de la Propreté et de l'Eau, DLH : Direction du Logement et de l'Habitat.

Des mares peuvent aussi être aménagées sur certains toits. Ci-dessous un schéma d'une coupe d'une mare sur une toiture (Figure n°81) :

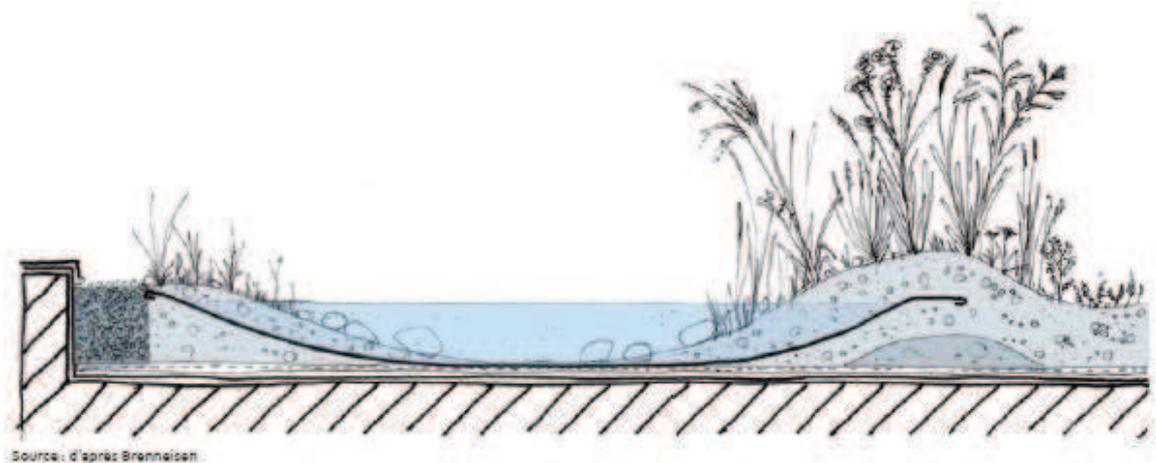


Figure n°81 : Schéma d'une mare sur une toiture végétalisée, (Référence internet n°3).

### 2.2.3.2. Le Plan Climat

Il comporte une réflexion sur l'anticipation de l'impact du changement climatique. Les toits verts permettent de réguler les îlots de chaleur urbains (Figure n°82). Car les surfaces végétales, contrairement aux surfaces minérales (zinc, ardoise...) ne stockent pas l'énergie solaire. De plus, le processus d'évapotranspiration va libérer de l'humidité dans l'air et donc participer au refroidissement.

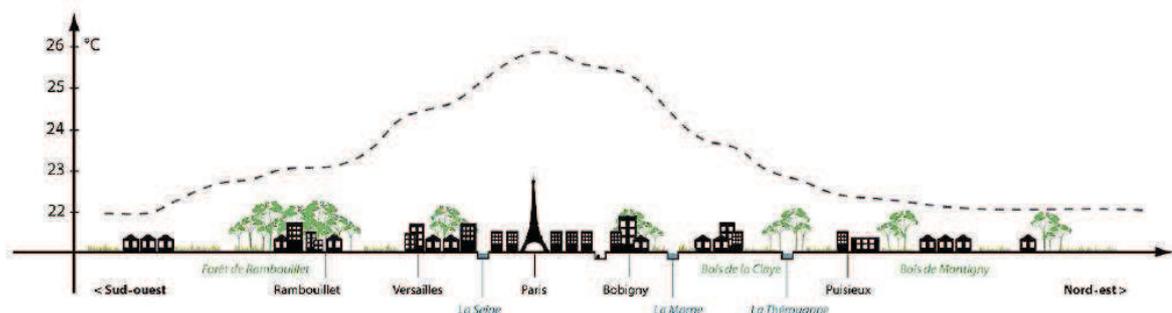


Figure n°82 : Illustration de l'îlot de chaleur urbain à Paris, (Référence internet n°69).

### 2.2.3.3. Le plan Biodiversité

Le plan Biodiversité est un plan d'action qui a pour but d'enrichir et de préserver la biodiversité en milieu parisien. Selon le type de substrat et les végétaux utilisés pour les toitures, la faune et la flore seront enrichis. La 8<sup>ième</sup> action du plan Biodiversité vise à créer quinze nouveaux jardins en terrasses, qui contribueront à renforcer le maillage vert parisien. Ils constitueront des zones refuges pour la faune dans des secteurs minéralisés.

### 2.2.4. La réglementation

Une réglementation incitative a permis dans plusieurs pays d'accroître fortement le taux de toits végétalisés. Pour exemple, les lois dans le canton de Bâle en Suisse obligent à créer un toit végétal sur tout nouveau bâtiment à toit plat. En France, l'article 123 du Plan Local d'Urbanisme (PLU)<sup>54</sup> a autorisé pour la première fois en 2006 la création de toits végétalisés à Paris. De plus, des dispositifs financiers ont été mis en place pour inciter les particuliers à intégrer les projets de végétalisation. Notons qu'il serait intéressant d'adjoindre à ces projets la création de panneaux solaires.

Les réglementations de constructions concernant les conditions de végétalisation des toits de Paris sont inscrites dans les normes DTU (Document Technique Unifié), partie 43.1 « Travaux d'étanchéité des toitures-terrasses avec éléments porteurs en maçonnerie »<sup>55</sup>. Elles stipulent les conditions d'étanchéité, de drainage, et le minimum de terre végétale nécessaire (30 cm). Concernant les réglementations d'accessibilité et de sécurité des toitures végétalisées, elles sont identiques aux toitures non végétalisées. Les différences se font selon qu'elles sont accessibles ou non au public. Lorsque la terrasse est inaccessible au public (seulement limitée aux personnels d'entretien) elle doit posséder un garde-corps selon la NF E 85-015 et son entretien doit respecter le dossier de maintenance de l'ouvrage (article R.4211-3 du Code du travail). Mais lorsqu'elle est accessible au public (propriétaires, visiteurs...), le garde-corps doit respecter la norme NF P 01-012 qui stipule que : le garde-corps doit assurer une hauteur de protection suffisante (un mètre, à majorer au besoin dans des cas particuliers), dissuader d'une escalade trop facile, empêcher

---

<sup>54</sup> La végétalisation d'une toiture doit faire l'objet d'une demande d'urbanisme et respecter les règles d'urbanisme en vigueur qui sont définies par le PLU de la ville.

<sup>55</sup> D'après DEVE *et al.*, 2012.

les jeunes enfants de passer la tête ou le pied, intégrer éventuellement le chasse-roue (pour le cheminement en pente accessible aux personnes en situation de handicap) et intégrer éventuellement une fonction anti-jet d'objets.

De plus elle doit répondre à la réglementation des Etablissements Recevant du Public c'est-à-dire qu'elle doit être accessible aux personnes en situation de handicap. Par ailleurs que la toiture soit accessible ou non aux usagers, elle doit bénéficier d'un système de protection antichute adapté selon le risque.

### 2.3. Les toits végétalisés dans le monde

Autres que les toitures de Paris, d'autres pays végétalisent les toits urbains, comme ceux de la ville de Sydney en Australie ou de Singapour, en Malaisie. Ces réalisations vont l'objet de plans d'action des villes et de mesures incitatives. En Avril 2014, le Conseil Municipal de Sydney a adopté la mise en œuvre d'une politique de verdissement de la ville par le biais d'un plan de végétalisation des toits et murs urbains, le Greening plan Sydney (Référence internet n°13). L'objectif est d'augmenter la couverture végétale de la ville de 50% d'ici 2030, pour atteindre 75% en 2050. Cette politique a été mise en place compte tenu du changement climatique subit et de la croissance de la ville (la population de Sydney devrait augmenter de 40% d'ici 2030). Un autre exemple est l'incitation financière par la ville de New York, où tout propriétaire d'immeuble qui végétalise plus de la moitié de l'espace disponible du toit peut bénéficier d'un crédit d'impôt foncier (allant jusqu'à 100.000 \$ par an) (Référence internet n°65).

Les toits végétalisés les plus fascinants sont les toits de Singapour. L'un des plus stupéfiants est le Parkroyal de l'hôtel Pickering situé au 8 Sentosa Gateway, Singapour (Figures n°85 et n°84). Occupant un terrain long et étroit dans le quartier des affaires, ce grand bâtiment de 12 étages présente des terrasses végétalisées ondulant sur les parois de l'immeuble. Il a été conçu par les studios WOA de Singapour (Figure n°83). Il remporta l'Award d'Exception des Skyrise Awards de 2013.

Le programme Skyrise Greenery encourage la végétalisation des toits urbains à Singapour, il décerne des Skyrise Awards<sup>56</sup> aux projets les plus ambitieux et intéressants (Référence

---

<sup>56</sup> Les trois premiers prix sont : l'Outstanding Skyrise Greenery Project Award, le Skyrise Greenery Excellence Awards le Skyrise Greenery Special Award.

internet n°78). Il s'agit d'un programme qui a pour but de promouvoir et de récompenser les efforts de verdissement des aménagements urbains, en jugeant la conception, la qualité, l'engagement communautaire et l'innovation du projet.

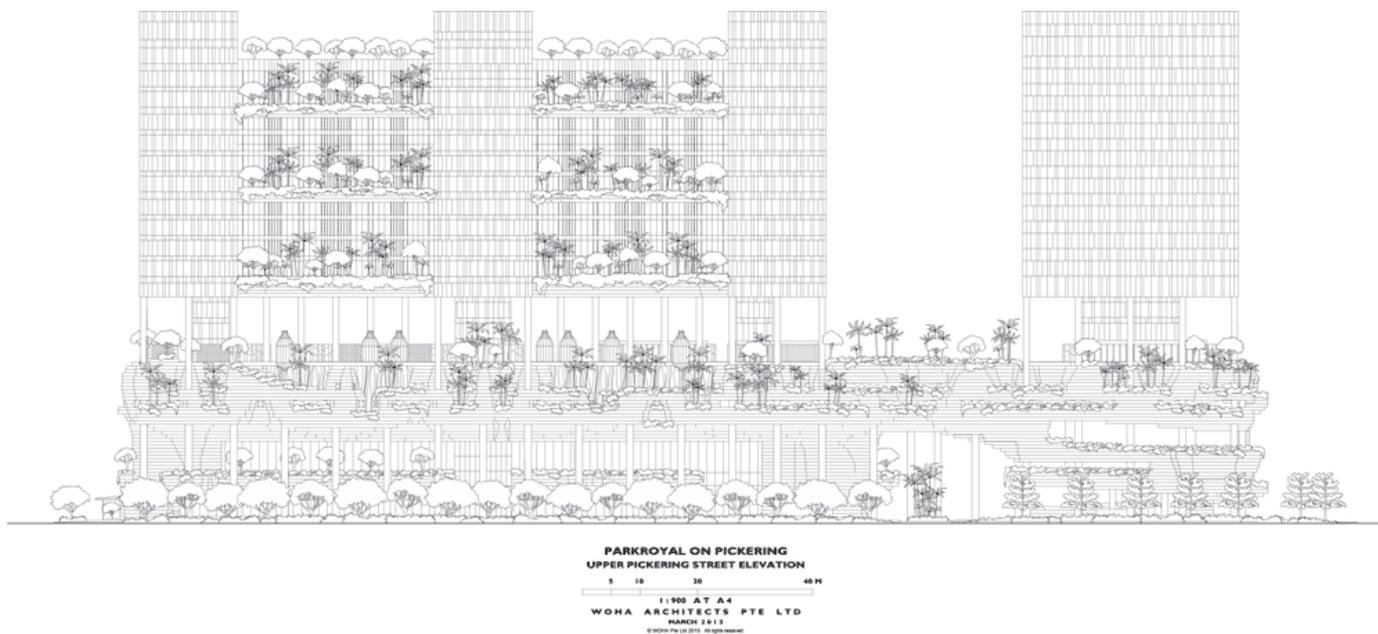


Figure n°83 : Plan du ParkRoyal, (Référence internet n°23).

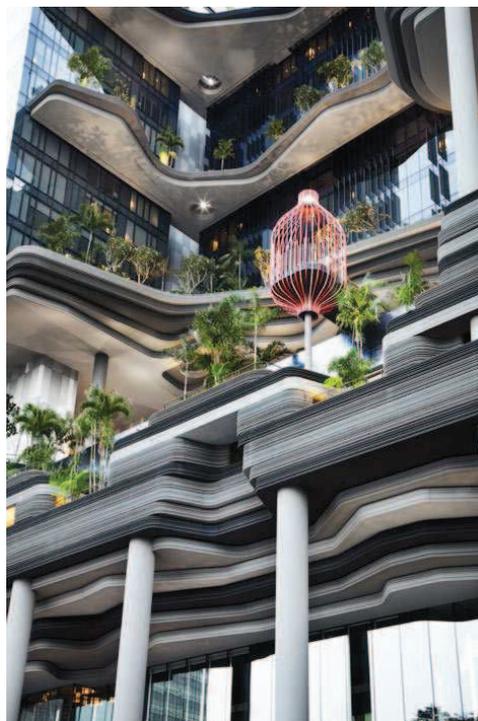


Figure n°84 : ParkRoyal, Singapour, (Référence internet n°23).



Figure n°85 : Vue surplongeante du Parkroyal, Singapour,  
(Référence internet n°50).

Les toits des hôtels ne sont pas les seuls à héberger des plantes, les parkings participent également au verdissement de la ville, comme ces parkings de Singapour : le HDB Car Park au 18 Holland Drive (Figure n°86), le HDB Car Park, situé au 88 Tanglin Halt Road (Figure n°87) et le HDB Car Park au 28 Dover Crescent (Figure n°88).



Figure n°86 : Les toits du HDB Car Park au 18 Holland Drive, Singapour,  
(Référence internet n°80).



Figure n°87 : Les toits du HDB Car Park, au 88 Tanglin Halt Road, Singapour,  
(Référence internet n°80).



Figure n°88 : Les toits du HDB Car Park Roof, au 28 Dover Crescent, Singapour,

(Référence internet n°80).

### 3. Les murs urbains végétalisés : les techniques et modèles de végétalisation de Patrick Blanc

Chercheur au CNRS, docteur en sciences et lauréat de l'Académie des sciences, Patrick Blanc est un botaniste qui a développé le concept de jardin vertical dans les années 90. Son travail concerne les plantes du sous-bois des forêts tropicales et plus particulièrement l'adaptation des plantes aux faibles intensités lumineuses. Sa première réalisation publique fut l'installation de panneaux végétaux dans la Cité des sciences et de l'industrie de la Villette, à Paris en 1986 (Référence internet n°57). Mais son idée prit racine dès son plus jeune âge quand il voulut purifier l'eau de l'aquarium de ses poissons en y mettant des racines de philodendron (Blanc P., 2011.). Il remarqua qu'elles poussaient et se développaient sans effort. A partir de là commença à germer l'idée de faire pousser des végétaux de façon à ne nécessiter aucun effort de la main de l'homme. Par la suite il ajouta de plus en plus de plantes au dessus de son aquarium, jusqu'à finalement vouloir sortir l'eau de l'aquarium, et ainsi il finit par aboutir au concept de mur végétal.

Les techniques utilisées par P. Blanc sont donc le résultat de plusieurs années d'expérimentations qui ont fait l'objet de plusieurs brevets dont le 1<sup>er</sup> a été déposé en 1988 (Annexe n°10).

Nous verrons en premier lieu ses techniques de construction du mur végétal puis comment il assemble les séquences végétales sur le système.

#### 3.1. Les techniques de construction du mur végétal de Patrick Blanc

La nouveauté de la végétalisation des murs par rapport à la culture hors sol classique réside dans le support des végétaux : au lieu de les faire pousser dans un volume, Patrick Blanc utilise une **surface plane** (un feutre). La conséquence va concerner le poids de la structure, en effet une structure mouillée pèsera beaucoup plus lourd qu'un système sec or le mur végétal est irrigué en permanence. Par exemple, une structure de 2 cm d'épaisseur pèsera 20 kg tandis qu'une de 10 cm ira jusqu'à 100 kg, d'où l'intérêt majeur de l'utilisation de la surface plane (Blanc P., 2011.).

Les principales caractéristiques du **support végétal** utilisé sont les suivantes :

- Un poids **léger**, par rapport à une structure volumineuse,
- Une structure non détériorée par déformation : pas de **tassement** ni de **déformations** car le matériau du feutre est non tissé (enchevêtrement de fibres) et **imputrescible**,
- Une structure **solide** grâce à la présence d'un film de polypropylène,
- Un micro-écosystème en lui-même : pas de nécessité de le nettoyer car il **recycle** biologiquement les éléments du système (vieilles racines, poussières...).

La nappe d'irrigation en feutre dans laquelle les racines s'infiltreront et pousseront, possède un **fort pouvoir de capillarité** pour permettre une distribution homogène de l'eau à toutes les plantes. Elle est installée en double couche, agrafée (par des agrafes en acier inoxydable) sur le **support en PVC** et incisée sur la première couche horizontalement pour déposer les tiges et racines des plantes (colonisation radiaire multidirectionnelle). Le support sur lequel repose la nappe est en PVC expansé, il est léger et ne se fissure pas sous l'effet des agrafes.

L'ensemble n'est pas fixé à même le mur du bâtiment mais sur une **structure tubulaire en métal** pour laisser respirer le mur support.

L'irrigation est assurée par des **tuyaux en plastique** placés horizontalement et percés régulièrement (de trous de 2 mm de diamètre tous les 10 cm). La fréquence de l'arrosage est de 3 à 5 fois par jour pendant 1 à 3 min. Une solution nutritive est ajoutée, très diluée (encore plus si l'eau d'irrigation provient de la pluie) pour apporter les éléments nutritifs aux végétaux.

Le poids total du mur végétal est relativement peu important, il est subdivisé comme suit :

- 7 kg/m<sup>2</sup> de panneau PVC expansé de 10 mm d'épaisseur,
- 3 à 5 kg/m<sup>2</sup> de nappe d'irrigation selon degré d'hydratation,
- 1 à 5 kg de plantes.

Soit environ 15 kg/m<sup>2</sup>, auquel il faut ajouter le poids du cadre métallique, soit entre 20 et 50 kg/m<sup>2</sup>.

### 3.2. Les séquences végétales

P. Blanc réalise de véritables « séquences végétales » pour chacune de ses créations. Il définit ses séquences comme la disposition et le choix de chaque essence végétale pour chaque projet (Blanc P., 2011.). Il s'applique à installer une grande diversité végétale sur chaque mur végétal pour, en plus d'apporter un esthétisme certain, permettre d'éviter la prolifération de maladies et l'apparition d'insectes ravageurs sur les plantes. Une astuce supplémentaire qu'il utilise pour les murs végétaux de sa résidence privée est l'adoption de petits oiseaux qui se nourrissent des éventuels petits insectes (Figure n°89).

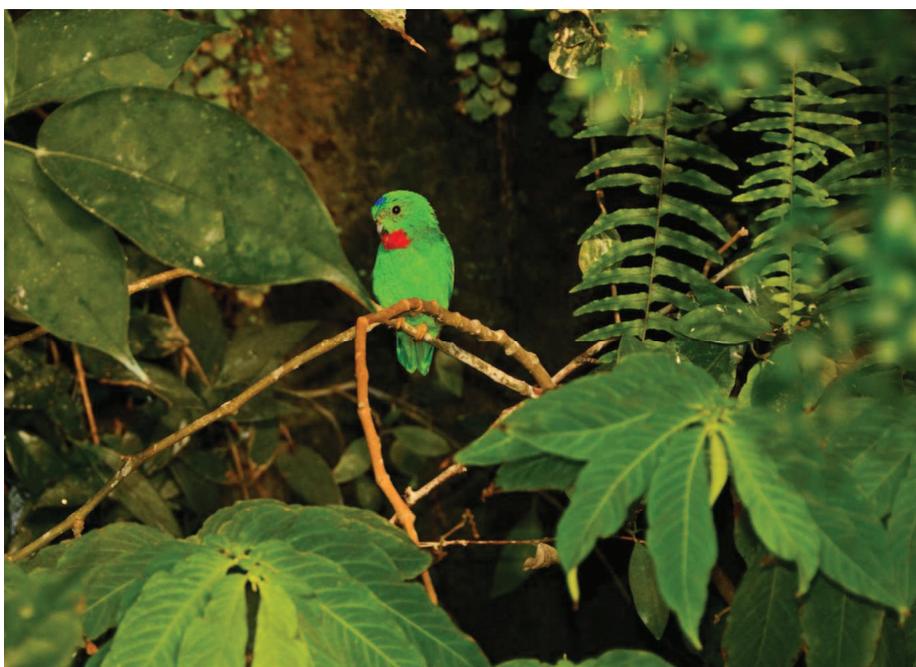


Figure n°89 : *Loriculus galgulus* caché sur un mur végétal de la résidence privée de Patrick Blanc, (Référence internet n°60).

L'élaboration des séquences végétales tient compte de l'emplacement géographique du mur, du climat local et de son exposition d'une part, et des espèces végétales disponibles localement d'autre part (les pépinières sont très différentes d'un pays à l'autre). Leur disposition est réfléchie, P. Blanc tend à toujours suivre une certaine logique dans ses créations. Il utilise deux schémas de base pour ses murs vivants. Pour les murs situés en extérieur, les séquences végétales miment le gradient de végétation des falaises, tandis que pour les murs d'intérieur il reproduit le gradient de végétation de la canopée forestière. Par exemple, pour la canopée forestière il découpe le mur virtuellement en trois zones : en haut

il place des plantes héli-épiphytes (*Ficus* sp., *Clusia* sp...), au milieu de plantes épiphytes (*Anthurium* sp., *Asplenium* sp. ...) et en partie basse les végétaux saxicoles (*Episcia* sp., *Aglaonema* sp. ...). De plus, il veille à toujours installer les plantes arbustives et imposantes dans la partie haute du mur et les plantes herbacées dans la partie basse pour ainsi éviter d'encombrer les voies de circulation. Par ailleurs les lignes de ses dessins de séquences végétales suivent des obliques, il souhaite par là recréer les fissures dans la roche dans lesquelles des graines seraient venues germer. Ces séquences végétales ne seront bien évidemment pas figées et évolueront parallèlement à la croissance du végétal.

### 3.3. Les grandes infrastructures végétalisées réalisées par Patrick Blanc

Véritable pionnier dans la création des murs végétaux, P. Blanc a réalisé un grand nombre de murs végétaux sur des bâtiments urbains aussi bien en France qu'à l'étranger. La réussite de ses œuvres tient particulièrement à ses connaissances en botanique<sup>57</sup>.

#### 3.3.1. Réalisations dans la maison de Patrick Blanc

La demeure de Blanc P. est le lieu où il réalise tous ses essais. En plus de ses expérimentations, il y installe son interprétation de la nature : un mur végétal envahi de plantes tropicales (Figure n°90), dont la base est parcourue tout le long par un petit ruisseau (Figure n°91), l'ensemble jouxtant un véritable aquarium habité par des poissons tropicaux, mais dont la surface est recouverte d'une dalle transparente (Figures n°92 et n°93). Celle-ci est suffisamment rigide pour que des usagers puissent marcher dessus, par ailleurs Blanc P. a même installé son bureau par-dessus. L'ensemble a été réalisé en 2009 sous la direction de l'architecte Ebersolt Gilles.

---

<sup>57</sup> Comme Blanc Patrick l'indique : « le procédé Mur Végétal est basé sur la connaissance botanique des plantes et de leurs exigences ». (Citation d'après Birck D., de la référence internet n°20)



Figure n°90 : Mur végétal du bureau de Patrick Blanc.

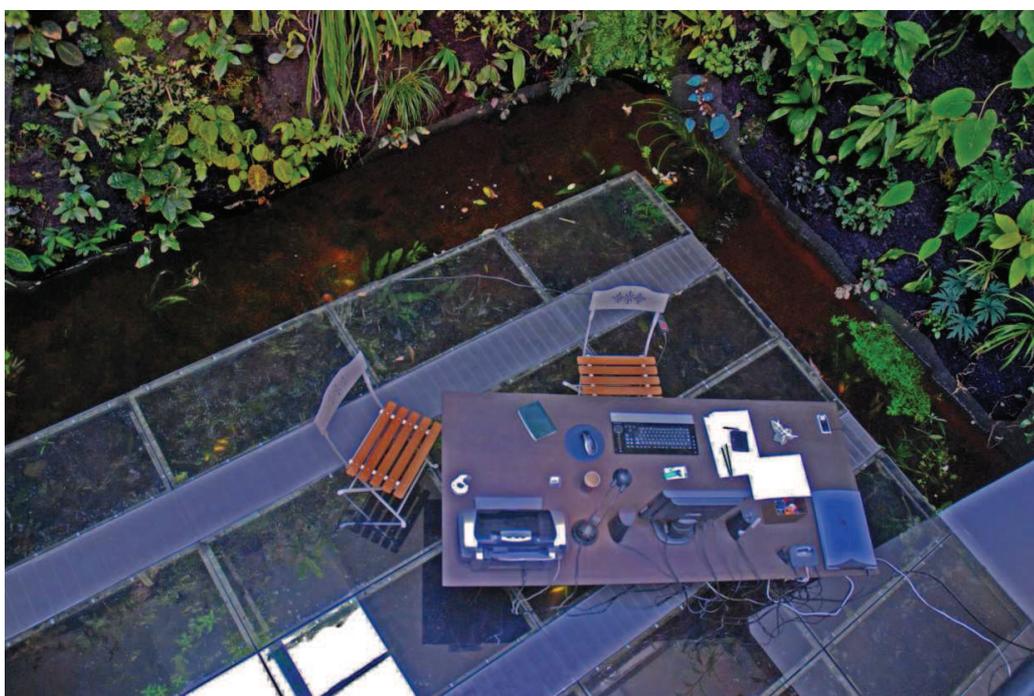


Figure n°91 : Bureau sur l'aquarium avec ruisseau.

Figures n°90 et n°91 d'après la référence internet n°60.



Figure n°92 : Jardin vertical, aquarium et poissons.



Figure n°93 : Mur végétal et aquarium illuminé la nuit.

Figures n°92 et n°93 d'après la référence internet n°60.

### 3.3.2. Réalisations urbaines : parking et pont

Un autre type de réalisation est la végétalisation d'un mur situé dans un parking souterrain à Lyon (Figures n°94 et 95) en 2010 par l'architecte Dominique Bourreau. Cette réalisation paradoxale tente de contrebalancer la création d'un parking, source de pollution par une tentative de dépollution par les végétaux.



Figure n°94 : Parking Perrache, Lyon  
(Référence internet n°47).



Figure n°95: Parking Perrache, Lyon, vue d'ensemble.  
(Référence internet n°56).

Une autre façon de mettre de la verdure en milieu urbain est la pose d'un mur végétal sur la façade d'un pont : comme le pont Max Juvénal (Figure n°96), à Aix en Provence. Cette réalisation en 2008 a nécessité la pose de plus de 200 espèces végétales.



Figure n°96 : Pont Max Juvénal, Aix en Provence, (Référence internet n°62).

### 3.3.3. Réalisations dans la capitale, l'Oasis d'Aboukir et le Musée du Quai Branly

L'une des réalisations les plus connues est la végétalisation de la façade du Musée du Quai Branly à Paris (Figures n°97 et n°98). P. Blanc a tenu à n'installer aucune barrière au pied du mur afin qu'elle soit accessible au public. Les plantes choisies sont adaptées au climat tempéré.



Figure n°97 : Mur végétal du Musée du Quai Branly, Paris, (Référence internet n°61).



Figure n°98 : L'incroyable mur végétal du Musée du Quai Branly, Paris, (Référence internet n°19).

Une autre réalisation sur Paris est la végétalisation d'un mur investissant un espace public : l'Oasis d'Aboukir, à l'angle de la rue d' Aboukir et de la rue des Petits Carreaux (Figures n°99et n°100) installé en 2013.

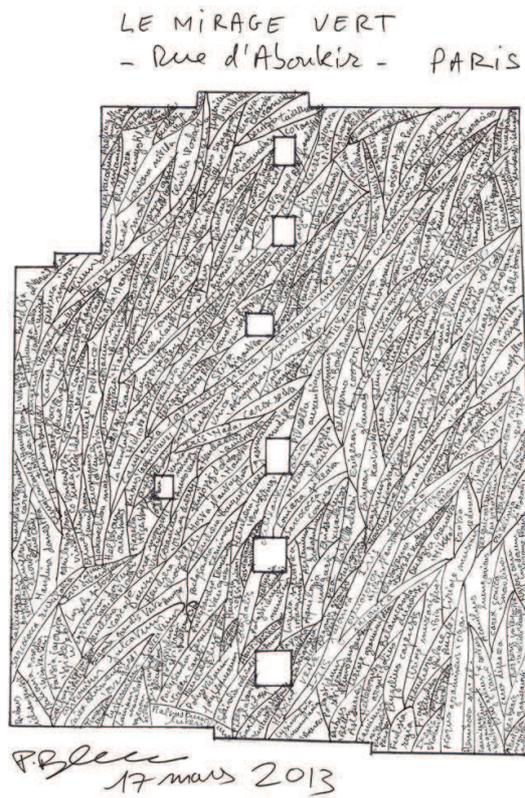


Figure n°99 : Esquisse de L'Oasis d'Aboukir, Hymne à la Biodiversité,  
(Référence internet n°59).



Figure n°100 : Oasis d'Aboukir, Paris, vue en contre-plongée, (Référence internet n°59).

Les plantes installées sont initialement de petite taille, ainsi au fur et à mesure de leur croissance il est intéressant d'observer comment le mur se végétalise petit à petit (Figures n°101 et n°102).



Figure n°101 : Mur végétal de l'Oasis d'Aboukir, une semaine après l'installation des plantes, en Avril 2013, (Référence internet n°59).



Figure n°102 : Mur végétal de l'Oasis d'Aboukir, en Juin 2013, (Référence internet n°59).

L'effet produit par le mur végétal végétal la nuit, illuminé par les lampadaires est assez fascinant (Figure n°103).



Figure n°103 : L'Oasis d'Aboukir de nuit, en Août 2013,  
(Référence internet n°59).

### 3.3.4. Réalisations dans le monde

#### 3.3.4.1. Mur végétal au One Central Park, à Sydney en Australie

Récemment (en 2013), P. Blanc végétalisa à l'aide des architectes Nouvel Jean, Johnson-Pilton-Walker & Peddle-Thorp-Walker la façade d'un immeuble au One Central Park à Sydney. Cette structure végétale se différencie des précédentes installations par les végétaux qui sont comme parsemés sur le mur, mais de façon astucieuse et cohérente, donnant un certain dynamisme à l'ensemble (Figures n°104 et n°105).



Figure n°104 : Esquisse, (Référence internet n°63).



Figure n°105 : One Central Park, Sydney,  
(Référence internet n°63).

### 3.3.4.2. Mur végétal à Dubaï

Une autre réalisation d'exception est la végétalisation de murs en intérieur, dans le Sofitel Palm Jumeirah à Dubaï, le premier dans un corridor (Figure n°106), le second dans une suite de l'hôtel (Figure n°107).



Figure n°106 : Vagues colorées végétales le long du corridor du Sofitel Palm Jumeirah, Dubai, (Référence internet n°57).



Figure n°107 : Mur végétal dans le Sofitel Palm Jumeirah, Dubai,  
(Référence internet n°57).

### 3.3.4.3. Mur végétal à Londres

En 2009, P. Blanc installa un mur végétal sur la façade de l’Althenaeum Hotel, à Londres (Figures n°108 et n°109).



Figure n°108 : Athenaeum, contre plongée de nuit, (Référence internet n°55).



Figure n°109 : Vue en angle de l'Athenaeum. Photo de l'auteur, Londres, Août 2014.

### 3.3.4.4. Mur végétal à Hong Kong, en Chine

Une œuvre intéressante de P. Blanc est la végétalisation des murs de l'Icon Hotel Hong Kong Polytechnic University. Sa particularité réside dans la forme de la structure globale, au lieu d'être rectangulaire comme la plupart des murs végétaux, P. Blanc l'a dessinée de façon à lui donner une « forme plus organique, s'enroulant autour des passerelles » (Figures n°110 et n°111) (Blanc P., 2011).

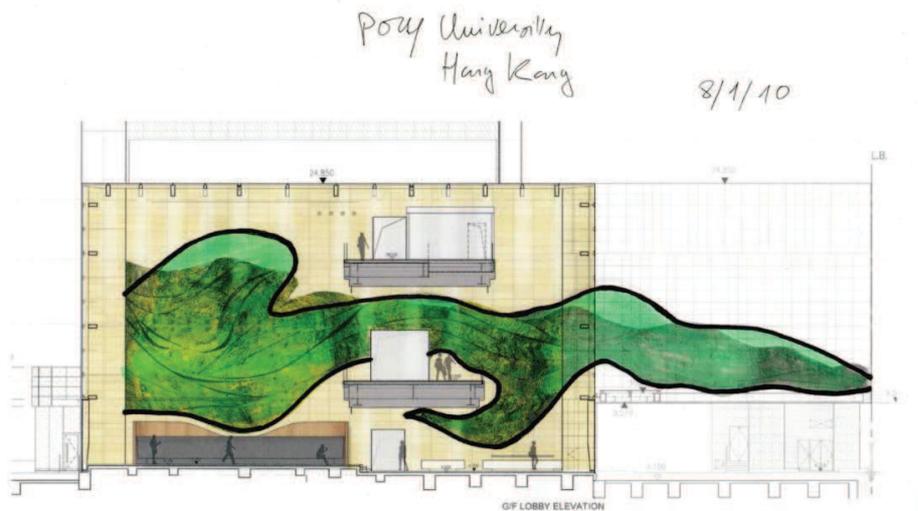


Figure n°110 : Schéma du mur végétal, (Référence internet n°54).



Figure n°111 : Partie gauche du mur végétal de l'Icon Hotel, Hong Kong, (Référence internet n°54).

#### 4. Autres inspirations artistiques de design végétal

##### 4.1. L'arbre baobab de Jardins de Babylone

La végétalisation des murs est source d'inspiration pour d'autres œuvres végétales. Citons par exemple, un arbre baobab réalisé par l'entreprise de design végétal « Jardins de Babylone », à partir de sections de bambous (Figure n°112). Cette réalisation a permis à Jardins de Babylone d'être lauréat des A'Design Award dans la catégorie « Jardin Design » (Référence internet n°16).

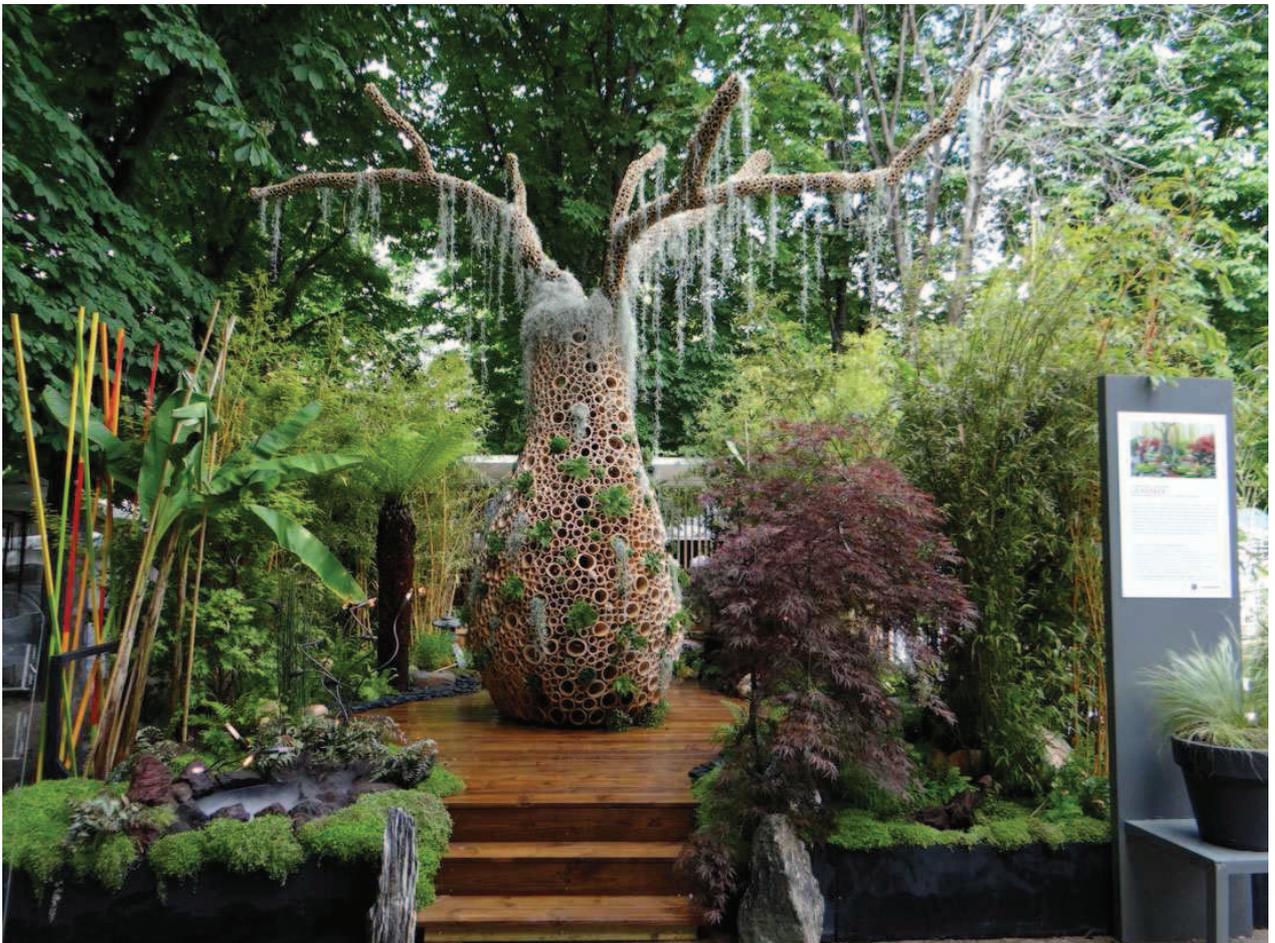


Figure n°112 : Arbre Baobab, Jardin des Tuilleries,  
(Référence internet n°42).

Le baobab (Figure n°113) représente une symbolique africaine importante, il est considéré comme « l'arbre pharmacien », jamais coupé car il est vu comme le « bienfaiteur tant au sens utilitaire (médecine, consommation de fruit, réservoir d'eau) qu'au sens idéologique. » (Référence internet n°42).

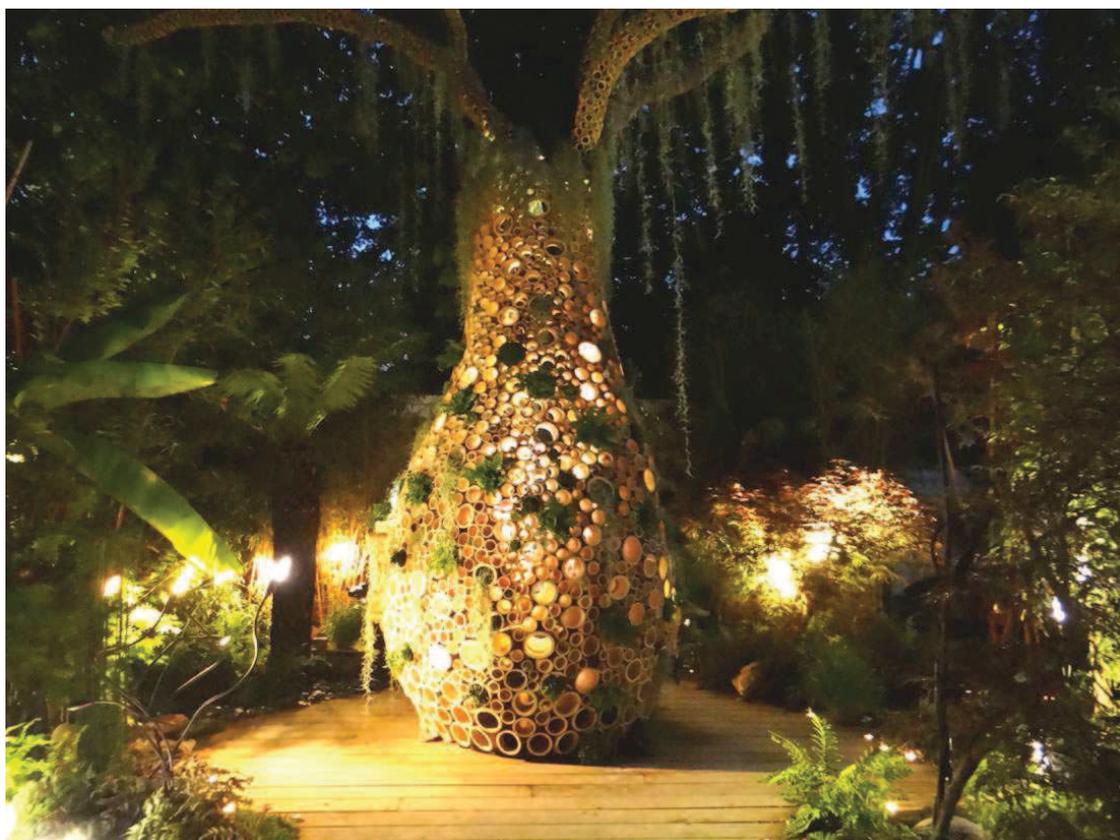


Figure n°113 : Arbre baobab, illuminé la nuit,  
(Référence internet n°42).

#### 4.2. Les bulles végétales de Jardins de Babylone

Jardins de Babylone a également végétalisé de véritables bulles temporaires (Figure n°114), situées dans quatre lieux touristiques différents de Paris. Elles ont été créées à la demande de l'Office Hollandais des Fleurs en Novembre 2010. Chacune évoque une atmosphère différente :

- La « bulle prestigieuse », ornée d'orchidées, était installée place Colette,
- La « bulle psychédélique », au niveau de la Cour St Emilion, comportait des plantes Chauve Souris (*Tacca chantrieri*),
- La « bulle Aérienne » trônait sur la place St Germain des Prés,
- La « bulle jungle » à la gare Montparnasse.



Figure n°114 : Bulle végétale, (Référence internet n°44)

#### 4.3. Le Corsairfly de Jardins de Babylone

Autre façon d'installer le végétal en intérieur, le paravent végétalisé ajoute une touche de nature dans le salon d'accueil de l'entreprise Jardins de Babylone. Ce « corsairfly » (Figures n°115 et n°116) a été réalisé en 2011 sur une structure en acier peinte en blanc.



Figure n°115 : Paravent végétal fermé, (Référence internet n°43).



Figure n°116 : Paravent végétal ouvert, (Référence internet n°43).

#### 4.4. La Robe végétale de Jean-Paul Gaultier

Le végétal ne fait pas que de vêtir les murs des habitations, il s'invite également dans les défilés de haute-couture et inspire les créateurs, comme cette robe végétale conçue par Patrick Blanc pour Jean-Paul Gaultier en 2002 (Figure n°117).



Figure n°117 : La robe végétale, (Référence internet n°64).

#### 4.5. Le Link Bridge à Sentosa

Un autre type de structure à végétaliser est le pont, comme le pont de Sentosa (île de Singapour), reliant le Coach Park à la station Sentosa Express Beach. Il a été achevé en 2012 et a reçu un Award Spécial des Skyrise Greenery Awards 2013. La superficie totale de végétalisation représente 500m<sup>2</sup> (Figure n°118). Le projet a été réalisé par l'entreprise Verditecture Pte Ltd, à la demande de la Sentosa Development Corporation.



Figure n°118 : Pont de Sentosa, près de la place Palawan, Singapour,  
(Référence internet n°80).

#### 4.6. La statue d'Eve végétalisée

Outre les structures urbaines rectilignes, d'autres formes peuvent être végétalisées comme cette représentation d'Eve dans le jardin « The Lost Gardens of Heligan » par les artistes Susan Hill et Pete Hill, en Cornouailles au Royaume-Uni (Figure n°119).



Figure n°119 : Eve imaginée selon Susan Hill et Pete Hill pour l'Eden Project, à Cornwall, (Référence internet n°27).

#### 4.7. Le bus végétalisé

Le designer Marc Grañén a eu l'idée de dynamiser les bus publics ternes de Barcelone en Espagne, en végétalisant leurs toits (Figure n°120). Il permet ainsi d'étendre la couverture végétale des zones urbaines, tout en faisant des transports en commun une attraction touristique. De plus il apporte une dimension écologique au projet par le biais des plantes qui absorbent le dioxyde de carbone des villes.



Figure n°120 : le bus végétalisé,  
(Référence internet n°81).

## 5. Le mur végétal à l'officine

La réalisation d'un mur végétal à l'intérieur ou à l'extérieur d'une pharmacie est subordonnée au respect du cahier des charges de l'officine et de son quartier. Il apporte une valeur ajoutée à la pharmacie que l'utilisateur soit patient, client ou professionnel de santé. Il apporte un climat d'apaisement dans lequel l'utilisateur aura envie de prendre soin de soi, cet aspect permet de dynamiser les ventes des gammes de produits de parapharmacie liés à la nature (Nuxe, Caudalie...). D'autre part, cela permet de contrebalancer l'image aseptique et médicale qui peut être négative pour le patient, rappelant la blouse blanche et l'hôpital. Il s'inclut dans une démarche de recherche du bien-être. La situation du mur végétal peut être en gondole ou dans le front office, voir même sous les comptoirs de la pharmacie.

Etudions tout d'abord les règles de bonnes pratiques d'aménagement et la législation qui incombe à la pharmacie en lien avec l'installation d'un mur végétal, puis comment intervenir avec un agenceur spécialisé et les difficultés qui pourraient être rencontrées.

### 5.1. Mur végétal, législation et bonnes pratiques de l'aménagement de l'officine

Le mur végétal ne doit pas entraver le respect des bonnes pratiques d'aménagement de l'officine. Elles sont résumées dans la figure n°121.

Par ailleurs, de nouvelles directives sur les locaux accessibles au public sont apparues, et doivent être mises en place avant 2015. Ces directives sont basées sur la loi du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances. Tout bâtiment recevant du public doit être aménagé pour être accessible aux personnes handicapées (handicap de nature auditif, cognitif, moteur, psychique et visuel). Les locaux des professionnels de santé dont l'officine sont donc concernés, et une installation d'un mur végétal doit respecter ces directives.



Figure n°121 : Aménagement de l'officine, (Référence internet n°30).

### 5.1.1. Mur végétal et accessibilité de la pharmacie aux personnes handicapées

L'accès à l'officine doit être praticable par tous, aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur.

- Aménagements à l'extérieur de l'officine

Au niveau du parking et du trottoir bordant la pharmacie des distances sont à respecter. Si un mur végétal est imaginé à l'extérieur de l'officine il ne doit pas entraver le déplacement des personnes à mobilité réduite, et l'espace doit être suffisant pour permettre le cheminement d'une personne. Le mur végétal ne doit donc pas déborder de façon exagérée sur le trottoir. En général, la largeur minimale du cheminement doit être de 1,40

mètres. Une personne valide doit pouvoir se croiser sans accrochage avec une personne circulant en fauteuil roulant. La figure n°122 suivante indique les six points (numérotés) concernant la signalisation et l'aménagement extérieur.

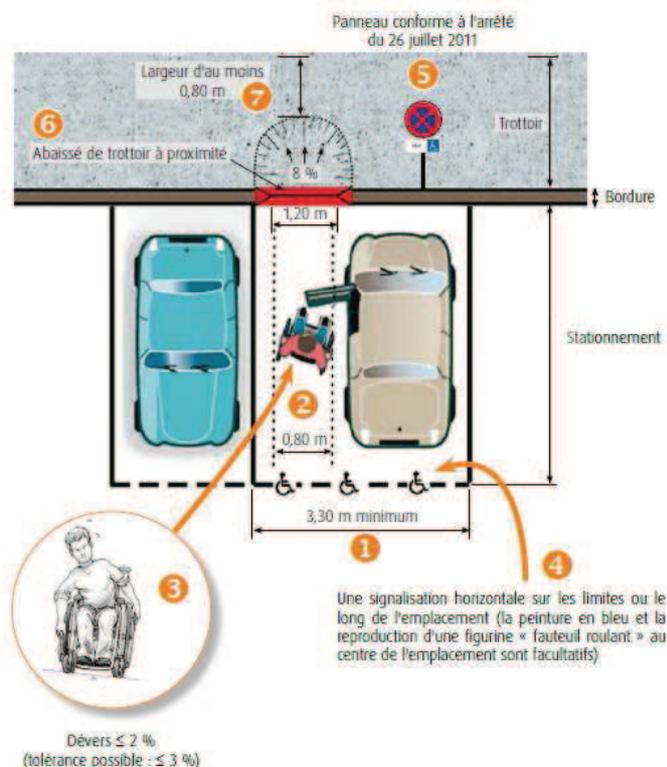


Figure n°122 : Mesures minimales à l'extérieur, (Référence internet n°22).

Par ailleurs, la présence d'une porte implique obligatoirement de prévoir un espace de manœuvre de porte (correspondant à un rectangle de même largeur que le cheminement mais dont sa longueur varie). Cet espace de manœuvre ne doit pas être entravé par la présence d'un mur végétal, là aussi il faut prendre en compte la dimension et l'emplacement de la structure végétale (Figure n°123).

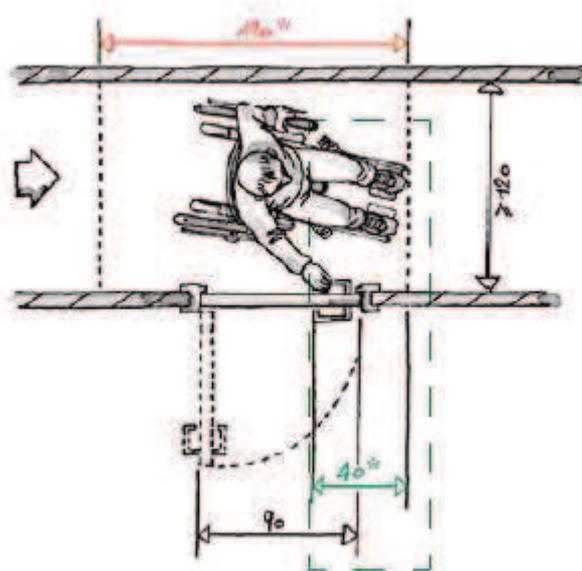


Figure n°123 : Espace de manœuvre au niveau d'une porte, (Référence internet n°22).

Lorsque les portes sont coulissantes il faut prévoir un palier de repos de 120 x 140cm, le mur végétal ne doit pas là non plus faire obstacle.

- Aménagements à l'intérieur de l'officine

A l'intérieur de la pharmacie il faut prendre en compte la présence d'escaliers, le type d'éclairage, la signalétique et d'autres points particuliers comme le respect des contrastes de couleur et la possibilité d'accueil des chiens guides ou d'assistance.

Si la pharmacie présente des escaliers, le mur végétal ne pourra se placer à ce niveau là car la présence d'une rampe est indispensable (de plus elle doit être visuellement différenciée du mur). Si le mur végétal nécessite un éclairage supplémentaire pour la croissance des plantes, il ne doit pas être gênant pour les usagers : il faut éviter tout effet d'éblouissement direct et éviter les reflets sur les signalétiques. Le niveau d'éclairage est réglementé dans l'officine, les valeurs réglementaires sont résumées dans le tableau n°14.

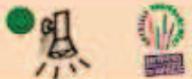
	Valeurs réglementaires d'éclairage à minima (en lux)
Cheminement extérieur	20
Circulations piétonnes des parcs de stationnement	50
Escalier et équipement mobile	150
Parcs de stationnement	20
Postes d'accueil	200
Circulation intérieure horizontale	100

Tableau n°14 : Valeur réglementaire d'éclairage en fonction du lieu,  
(Référence internet n°22).

D'autre part, le mur végétal ne doit pas empêcher la disposition de signalétiques obligatoires. Par exemple, la présence de la croix verte permettant d'identifier la pharmacie ne doit pas être cachée dans la végétation d'un mur extérieur. De même si le mur végétal est envisagé à l'intérieur au sein même d'un rayon, pour promouvoir des produits de parapharmacie par exemple, il ne doit pas cacher les étiquettes des produits, comme sur la figure n°124.



Figure n°124 : Mur végétal dans une officine, (Référence internet n°38).

Pour une personne malvoyante il est important de respecter un contraste de couleur entre deux éléments différentes (porte, interrupteur...). Le mur végétal ne doit pas se situer à côté d'un interrupteur ou de tout autre élément susceptible d'être de la même teinte. De même une personne handicapée peut être désorientée dans un espace uniformément de la même couleur, là le mur végétal d'intérieur joue un rôle important car il contraste avec les autres murs de la pharmacie.

Un autre point important est l'obligation pour la pharmacie de permettre l'accueil des chiens guides ou d'assistance dans les zones publiques (hors local où sont prodigués des soins). Les chiens guides peuvent être attirés par les plantes du mur végétal. Il faut veiller à ce que le mur végétal n'attise pas la curiosité de l'animal, pour éviter qu'il le détériore ou qu'il en mâche les plantes. Attention donc à ne pas mettre de plantes toxiques vers le bas du mur.

## 5.2. Mur végétal dans une officine : caractéristiques, contraintes, et solutions

La création d'un mur végétal à l'intérieur même d'une officine nécessite l'intervention d'un agenceur spécialisé dans le domaine. Une réalisation par le pharmacien lui-même n'est pas impossible mais pour obtenir un résultat rapide, qualitativement satisfaisant et dont la durée de vie soit importante il est préférable de passer par une entreprise spécialisée. Car il serait dommage que les usagers de la pharmacie soient spectateurs des nombreux essais nécessaires au pharmacien avant d'obtenir un résultat correct. Une entreprise spécialisée aura déjà étudié et sélectionné les meilleures plantes utilisables, et aura établi les différents paramètres liés au matériel de la structure. La problématique pour le pharmacien va être de confier son projet à une entreprise qualifiée car de plus en plus de copies fleurissent sur le marché et les systèmes proposés non fiables ternissent l'image des vrais concepteurs.

Un exemple d'agenceur spécialisé et qualifié est la société VGTal.3Design, née de l'idée de créer un esprit nouveau à la pharmacie par le biais du végétal. Elle utilise des modules brevetés dans lesquels les végétaux se développent dans un feutre horticole (culture hors sol), ce qui permet d'obtenir un système sain et propre. Nous prendrons pour exemples ses modules. Leur installation est rapide car elle ne nécessite aucun travaux (pas d'ancrage au mur, structure autoportante) ni de source d'eau extérieure et n'ont aucun contact avec le bâti.

Seule la proximité d'une arrivée électrique est nécessaire pour l'alimentation de la pompe. Une cuve dans la partie basse du module contient l'eau enrichie en solution nutritive adaptée. Elle ruissèle sur le panneau et est récupérée par gravité en partie basse puis est recyclée (circuit fermé). Le système est écologique, économique et 100% étanche.

Les modules qui existent sont de deux types : les modules « classiques » et des modules « commerciaux » (avec étagères incluses, Figure n°125). Quelque soit le type ils sont déplaçables.



Figure n°125 : Module commercial.  
D'après Richard Grassin Delyle, VGTal3Design.

Installer un mur végétal dans une officine nécessite de comprendre et d'accepter certains points préalablement, et éviter ainsi toute surprise que nous développerons successivement.

### 5.2.1. Le mur végétal : un tableau « vivant » qui évolue

Le mur végétal est une entité vivante, le pharmacien doit concevoir que le tableau végétal va changer au fil du temps car la structure n'est en aucun cas figée. L'image initiale donnée par l'agencement des plantes évoluera avec leur croissance. Cette perception du mur vivant est importante avant de commencer le projet. Par ailleurs, la structure végétale possède une certaine taille, il faut lui prévoir une place adéquate car certains végétaux sont volumineux dans l'espace (Figure n°126). Il est néanmoins possible de choisir d'installer des plantes plus petites donnant un aspect plus plat de la structure. Le concepteur pourra proposer au pharmacien une gamme de plantes de tailles et couleurs différentes selon l'effet souhaité. Les panneaux de VGTAL.3Design sont livrés pré-cultivé ce qui permet d'obtenir un effet esthétique immédiat (de par la forte densité de végétaux), point important pour un mur dans un lieu fréquenté par la clientèle.



Figure n°126 : Mur végétal volumineux dans une officine.

D'après Richard Grassin Delye, VGTal3Design.

### 5.2.2. Un mur vivant qui a soif

Bien que les concepteurs de ce type de structure prévoient le nécessaire pour qu'il y ait le moins d'intervention externe possible, il n'en demeure pas moins indispensable de veiller de temps en temps à certains points de l'entretien. Le système d'alimentation en eau fonctionne de façon autonome mais comme celle-ci est consommée par les végétaux et par l'évaporation naturelle, il faut alors ajouter de l'eau mélangée à une solution nutritive pour les plantes, auquel cas le mur risque de sécher. Cependant, un remplissage de la cuve n'est nécessaire en moyenne que toutes les 3 semaines (délai plus ou moins variable en fonction de l'exposition et de l'environnement).

### 5.2.3. Un mur vivant qui a besoin de lumière

De plus, le mur doit être régulièrement exposé à la lumière. Ceci ne pose pas de problème en temps normal car la lumière du soleil et les lampes spécifiques du mur jouent très bien leur rôle. Le problème se pose en cas de fermeture prolongée de la pharmacie car une mise à l'obscurité du mur de plus de 24h est d'emblée délétère pour le végétal (la fermeture du dimanche ne pose pas de problème, mais au-delà de 24h les effets se feront ressentir sur le végétal). Il faudra alors prévoir une tierce personne qui veillera à ce que le mur soit éclairé tout les jours en cas de fermeture de l'établissement.

### 5.2.4. Le mur végétal, système vivant, engendre t-il risque et nuisances ?

La pose d'un mur végétal dans une officine soulève quelques questions que pourrait se poser tout futur acquéreur de mur végétal. Le mur végétal présente t'il une éventuelle toxicité ? Comporte t'il un risque de développement de parasites, moucheron et champignons ? Les tuyaux d'arrosage risquent-ils de se boucher ? Est-ce qu'un possible sur-chauffage de la pompe risque t'il de provoquer un incendie ? La pompe engendre t'elle des nuisances sonores ? Ces questions ont été posées à Grassin Delyle Richard, créateur de VGTal3design, entreprise spécialisée dans les murs végétaux d'officine. Les réponses apportées sont les suivantes.

Tout d'abord, les plantes utilisées pour le mur végétal sont choisies de façon soigneuse, elles sont sélectionnées par le concepteur après étude de leurs caractéristiques dont leur viabilité et leur caractère non toxique (pour l'Homme et pour

l'animal). Effectivement, des végétaux placés dans un lieu où circule le public ne doivent pas présenter de toxicité dans l'éventuel cas où des enfants ou des animaux viendraient à ingérer des feuilles ou toute autre partie de la plante. Ensuite concernant l'arrosage de la structure végétale, celui-ci est automatisé : une pompe (silencieuse) reliée à un programmateur est immergée dans la réserve d'eau située en partie basse, elle pulse l'eau dans la partie haute qui s'écoule via un réseau de micro-goutteurs. Ce système permet un écoulement de l'eau en continu, ce qui évite la stagnation de l'eau et par conséquent le développement de mouches ou champignons. Par ailleurs le feutre horticole est traité contre le développement de moisissures. Les seuls cas d'infection répertoriés sont la venue de petits parasites sur le feuillage, dûs à la présence à proximité d'autres plantes externes au mur végétal. Mais ils sont facilement traitables comme pour toute plante d'intérieur et ne posent pas de problème. Par ailleurs, le réseau d'irrigation du module fonctionne grâce à des drains et l'écoulement de l'eau est permanent, ce qui évite ainsi les risques de tuyaux bouchés. Le choix de la pompe est un élément primordial du mur végétal. La pompe à eau utilisée dans les modules de VGTAL.3Design a été choisie pour ses propriétés anti-incendie. Elle ne fonctionne que 15min/24h et s'arrête d'elle-même si le niveau d'eau dans la cuve est insuffisant, ce qui évite ainsi tout risque de surchauffe. Comme la pompe à eau est complètement immergée dans la cuve du module et qu'elle ne fonctionne que 15 minutes par 24 heures, elle ne produit que très peu de bruit et par conséquent il n'y a pas de risque de nuisance sonore.

#### 5.2.5. Une alternative au mur vivant : les végétaux stabilisés

Si le pharmacien ne conçoit pas la viabilité de la structure de par son entretien et son évolution, mais qu'il souhaite néanmoins installer un tableau végétal, il existe une alternative que sont les végétaux stabilisés (Figure n°127). Ils sont naturels et écologiques. Ils résultent d'un procédé unique de conservation reposant sur la substitution de la sève par un produit de traitement stabilisant (solution glycérolée naturelle et écologique, 100% biodégradable permettant de stopper en douceur le développement des végétaux). Ainsi au lieu de planter des végétaux vivants sur une nappe horticole, des plantes stabilisées sont placées sur un support mural, comme un tableau. Véritables éléments de décoration intérieure, ces végétaux devenus intemporels conservent un aspect naturel gardant leur état d'origine (couleur, texture et élasticité). Ils présentent l'avantage de ne nécessiter aucun

arrosage, aucune condition de lumière ou de température. Ce concept est proposé sous forme de modules autoportants et modulables et fresques ou tableaux. Ils sont destinés à une décoration improbable, design, durable et écologique.



Figure n°127 : Mur végétal stabilisé dans une pharmacie.

D'après Richard Grassin Delye, VGTal3Design.

La composition joue sur différentes teintes de verts (en général pas d'utilisation de végétaux à feuillage rouge car rendu moins intéressant sur la texture) (Figures n°128 et n°129). L'utilisation de fleurs ne fait pas partie du concept car la seule fleur stabilisée actuellement disponible sur le marché est la rose, qui artistiquement n'entre pas dans le design du mur végétal. Les végétaux stabilisés ont une grande longévité, ils ont une tenue d'au moins 10 ans avant que n'apparaissent de légères variations de teintes.



Figure n°128 : Tableau de végétaux stabilisés.  
D'après Richard Grassin Delye, VGTal3Design.

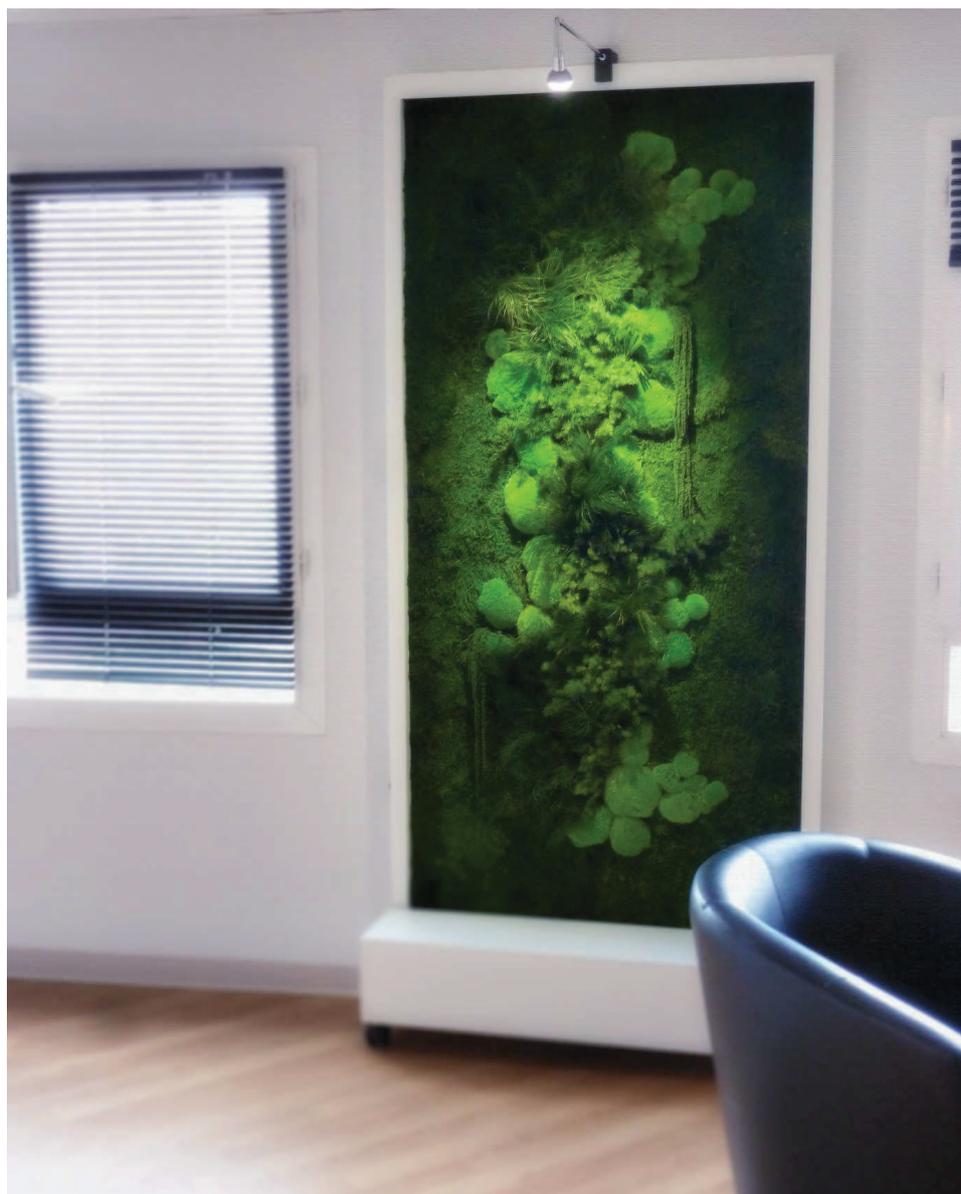


Figure n°129 : Mur végétal stabilisé.

D'après Richard Grassin Delyle, VGTal3Design.

En fin de compte, il est aisé de se rendre compte que l'utilisation d'un matériel spécifiquement étudié (choix de la pompe, drains...) et le choix soigneux des plantes (viables et cultivables sur support) est primordial pour obtenir un résultat satisfaisant pour le pharmacien et sa patientèle. C'est pourquoi il est recommandé de faire appel à des sociétés spécialisées. De plus, celles-ci proposent en général, comme c'est le cas de VGTal 3Design, des interventions régulières et entretiens quand cela s'avère nécessaire.

### 5.3. Des conceptions qui vont encore plus loin : le mur végétal et le rideau aquatique

Pour amener le mur végétal encore plus loin, il est possible d'y adjoindre un rideau aquatique pour se rapprocher encore plus de la nature. Cette structure est possible aussi bien pour les murs végétaux vivants (Figure n°130) que pour les murs végétaux stabilisés (Figure n°131).



Figure n°130 : Mur végétal vivant et rideau d'eau.

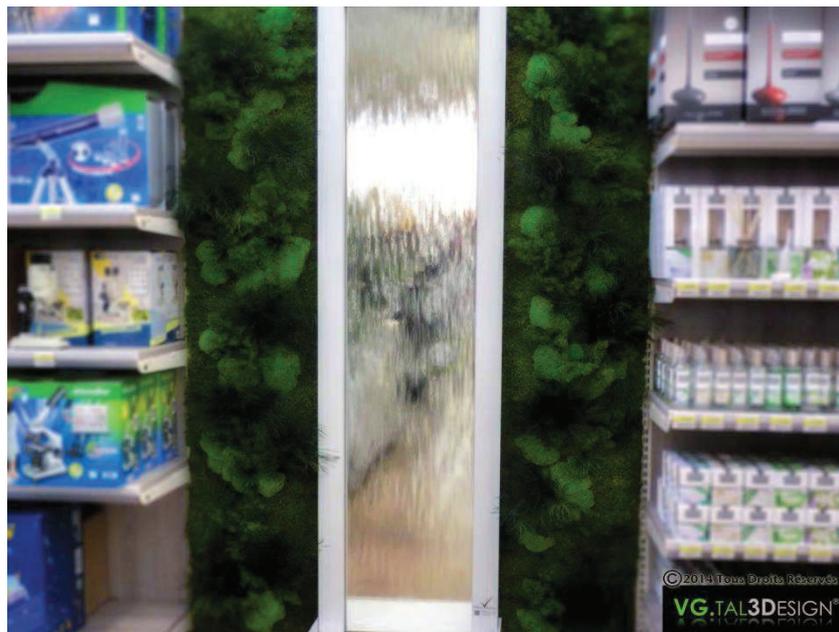


Figure n°131 : Mur végétal stabilisé et rideau d'eau dans une officine.  
Figures n°130 et n°131 d'après Richard Grassin Delyle, VGTal3Design.

## CONCLUSION

La végétalisation des toits et murs urbains a fasciné les peuples de l'Antiquité, et continue aujourd'hui encore à captiver l'homme, devenant en 2015 un véritable sujet d'actualité de plus en plus prisé. Il s'agit d'un concept ancien mais dont la technicité d'installation, en ce qui concerne les murs urbains, nous vient du chercheur Patrick Blanc. De nombreuses études scientifiques ont mis en lumière les avantages apportés par les murs et toits végétalisés aussi bien au niveau environnemental que pour l'être humain. Ces bénéfices ont fait écho jusqu'aux dirigeants de nombreuses villes au niveau international, si bien que plusieurs programmes d'incitation de végétalisation ont vu le jour au cours du siècle dernier. L'un des plus connus est le programme Skyrise Greenery. Grâce à lui, énormément de toits urbains à Singapour ont été recouverts de verdure, créant de véritables œuvres alliant le bitume froid à la chaleur du végétal vivant. En France, la végétalisation des toits est intégrée dans les PLU (Plan Local d'Urbanisme) de plus en plus de villes, dont la capitale. En revanche les murs végétalisés ne font surface dans les villes que de façon plus modeste. Le plus célèbre est le mur végétal du Musée des Arts Premiers du Quai Branly. Ils sont plus volontairement installés en intérieur, chez les particuliers ou dans les locaux d'entreprise. La mise en place fait appel à des sociétés spécialisées qui étudient les matériels et les plantes les plus adaptés. L'application à l'officine est un concept nouveau, très intéressant compte tenu de l'engouement actuel des français pour la nature et les produits d'origine végétale. Les murs végétalisés pourraient alors apporter une véritable valeur ajoutée à la pharmacie, en particulier dans les établissements officinaux où les produits cosmétiques d'origine végétale seraient à l'honneur, et ceci tout en apportant une atmosphère de bien-être. C'est ce dernier point qui nous semble le plus intéressant et novateur, et pour lequel nous encourageons les officines à intégrer en 2015 les murs végétalisés dans leur aménagement.

# ANNEXES

---

## TABLE DES ANNEXES

---

1. Extrait d' <i>Histoire</i> d'Hérodote.....	166
2. Frise chronologique : Histoire de la Mésopotamie.....	168
3. Extrait d' <i>Histoire de l'Orient</i> de Ctésias de Cnide.....	169
4. Extrait de <i>Livre Cinquième de Quinte-Curce</i> .....	173
5. Extrait de <i>Géographie</i> , Livre XVI, de Strabon.....	174
6. <i>Bibliothèque historique</i> , Livre II de Diodore.....	175
7. Victor Hugo, <i>La Légende des Siècles</i> .....	176
8. Voltaire, <i>La princesse de Babylone</i> .....	180
9. Liste de végétaux utilisables pour les toitures de Paris.....	181
10. Brevet « Dispositif pour la culture sans sol des plantes, sur une structure verticale ».....	186

## Annexe n°1 : Extrait d'*Histoire d'Hérodote*

### LIVRE I. CLIO

Trad. du grec par Larcher P.-H., 1850 (Référence internet n°76).

CLXXVIII. L'Assyrie contient plusieurs grandes villes, mais Babylone est la plus célèbre et la plus forte. C'était là que les rois du pays faisaient leur résidence depuis la destruction de Ninive. Cette ville, située dans une grande plaine, est de forme carrée; chacun de ses côtés a six vingts stades de long, ce qui fait pour l'enceinte de la place quatre cent quatre-vingts stades. Elle est si magnifique, que nous n'en connaissons pas une qu'on puisse lui comparer. Un fossé large, profond et plein d'eau, règne tout autour ; on trouve ensuite un mur de cinquante coudées de roi d'épaisseur sur deux cents en hauteur. La coudée de roi est de trois doigts plus grande que la moyenne.

CLXXIX. Il est à propos d'ajouter à ce que je viens de dire l'emploi qu'on fit de la terre des fossés, et de quelle façon la muraille fut bâtie. A mesure qu'on creusait les fossés, on en convertissait la terre en briques ; et, lorsqu'il y en eut une quantité suffisante, on les fit cuire dans des fourneaux. Ensuite, pour servir de liaison, on se servit de bitume chaud, et, de trente couches en trente couches de briques, on mit des lits de roseaux entrelacés ensemble. On bâtit d'abord de cette manière les bords du fossé. On passa ensuite aux murs, qu'on construisit de même. Au haut et sur le bord de cette muraille on éleva des tours qui n'avaient qu'une seule chambre, les unes vis-à-vis des autres, entre lesquelles on laissa autant d'espace qu'il en fallait pour faire tourner un char à quatre chevaux. Il y avait à cette muraille cent portes d'airain massif comme les jambages et les linteaux. A huit journées de Babylone est la ville d'Is, située sur une petite rivière de même nom, qui se jette dans l'Euphrate. Cette rivière roule avec ses eaux une grande quantité de bitume : on en tira celui dont furent cimentés les murs de Babylone.

CLXXX. L'Euphrate traverse cette ville par le milieu, et la partage en deux quartiers. Ce fleuve est grand, profond et rapide ; il vient de l'Arménie, et se jette dans la mer Érythrée. L'une et l'autre muraille forme un coude sur le fleuve. A cet endroit commence un mur de briques cuites, dont sont bordés les deux côtés de l'Euphrate. Les maisons sont à trois et quatre étages. Les rues sont droites, et coupées par d'autres qui

aboutissent au fleuve. En face de celles-ci on a pratiqué, dans le mur construit le long du fleuve, de petites portes pareillement d'airain, par où l'on descend sur ses bords. Il y en a autant que de rues de traverse.

CLXXXI. Le mur extérieur sert de défense. L'intérieur n'est pas moins fort, mais il est plus étroit. Le centre de chacun de ces deux quartiers de la ville est remarquable : l'un, par le palais du roi, dont l'enceinte est grande et bien fortifiée ; l'autre, par le lieu consacré à Jupiter Bélus, dont les portes sont d'airain, et qui subsiste encore actuellement. C'est un carré régulier qui a cinq stades en tout sens. On voit au milieu une tour massive qui a un stade tant en longueur qu'en largeur ; sur cette tour s'en élève une autre, et sur cette seconde encore une autre, et ainsi de suite : de sorte que l'on en compte jusqu'à huit. On a pratiqué en dehors des degrés qui vont en tournant, et par lesquels on monte à chaque tour. Au milieu de cet escalier on trouve une loge et des sièges, où se reposent ceux qui montent. Dans la dernière tour est une grande chapelle ; dans cette chapelle un grand lit bien garni, et près de ce lit une table d'or. On n'y voit point de statues. Personne n'y passe la nuit, à moins que ce ne soit une femme du pays, dont le dieu a fait choix, comme le disent les Chaldéens, qui sont les prêtres de ce dieu.

## Annexe n°2 : HISTOIRE DE LA MESOPOTAMIE

Frise chronologique réalisée à partir des données de la référence internet n°72.



## Annexe n°3 : Extrait d'*Histoire de l'Orient* de Ctésias de Cnide

Traduction Anonyme, issue du Référence internet n°14.

### Babylone

Sémiramis était ambitieuse par nature et remplie du désir de l'emporter par sa réputation sur celui qui avait régné avant elle ; elle projeta donc de fonder une ville en Babylonie, et après avoir choisi des architectes venus de partout ainsi que des ouvriers, elle prépara tout le reste du matériel nécessaire et rassembla pour accomplir cette œuvre deux millions d'hommes venus de tout le royaume. Elle fit passer l'Euphrate par le milieu de la cité et l'entoura d'un rempart de trois cent soixante stades, en plaçant à distances égales des tours puissantes et élevées. La taille de l'oeuvre était telle que la largeur du rempart permettait de faire passer six chars attelés et sa hauteur était incroyable pour ceux qui l'entendaient, à ce que dit Ctésias de Cnide ; d'après ce que dit Ctitarque et ceux qui sont venus avec Alexandre en Asie, le mur faisait trois cent soixante cinq stades ; ils disent qu'elle avait voulu le même nombre de stades qu'il y a de jours dans une année. Ayant assujetti des briques cuites avec de l'asphalte, elle construisit un rempart qui avait une hauteur, selon Ctésias, de cinquante brasses, et selon quelques écrivains plus récents, cinquante coudées ; et sa largeur était plus grande que celle de deux chars attelés ; il y avait deux cent cinquante tours et leur hauteur était de soixante ; selon ce que disent quelques écrivains plus récents, de soixante coudées. Il ne faut pas s'étonner que si peu de tours aient été construites pour une telle enceinte ; en effet, sur une grande partie, la ville est entourée de marais ; il ne sembla pas utile de construire des tours dans cet endroit, la nature des marais rendant l'abord inaccessible. Entre les maisons et les remparts, on fit un chemin de deux phlètres. Pour aller plus vite dans la construction, elle attribua à chacun de ses amis un stade, et après leur avoir donné le matériel nécessaire pour le travail, elle leur demanda d'achever le travail en une année. Comme ils avaient accompli la tâche avec un grand zèle, elle approuva leur ambition. Elle-même à l'endroit le plus resserré du fleuve fit construire un pont de cinq stades qui reposait sur des piles bien enfoncées, séparées l'une de l'autre de douze pieds. Les pierres furent liées ensemble par des tenons de fer et on remplit les jointures avec du plomb fondu. Pour la partie des piles qui se trouvaient en face du courant, on fit une partie en angle et des parties arrondies afin que les parties anguleuses coupent le courant tandis que les parties arrondies adoucissaient la violence du fleuve. Le pont donc fut construit avec des poutres de cèdre et de cyprès ainsi qu'avec des troncs immenses de

palmiers et il avait trente pieds de large. Il ne semble inférieur en rien aux autres réalisations de Sémiramis. De chaque côté du fleuve, elle fit un quai somptueux, à peu près aussi large que les remparts et long de cent soixante stades.

## Les deux bâtiments

Elle fit aussi édifier deux palais de part et d'autre du fleuve à chaque extrémité du pont ; depuis ces palais, on pouvait embrasser du regard toute la ville et l'on pouvait avoir comme deux clés pour les quartiers les plus importants de la cité. Comme l'Euphrate coulait au beau milieu de Babylone et qu'il se dirigeait vers le Sud, l'un des deux palais était tourné vers l'orient, l'autre vers l'occident, et tous deux étaient très richement construits. Elle fit faire pour celui qui regardait vers l'occident une première enceinte de soixante stades, avec des remparts élevés et magnifiques en briques cuites ; elle fit élever une autre à l'intérieur de celle-ci, de forme ronde, et sur les parois de briques elle fit dessiner des animaux de toute sorte, qui imitaient parfaitement la vérité par l'art de leurs couleurs. Cette enceinte était de quarante stades de longueur, et la largeur de trois cents briques ; quant à la hauteur, à ce que dit Ctésias, elle atteignait soixante brasses ; la hauteur des tours était de soixante dix brasses.

Elle fit construire une troisième enceinte à l'intérieur, qui entourait la citadelle, dont le périmètre était de vingt stades, et la hauteur ainsi que la largeur de la construction étaient supérieures à celle du rempart intermédiaire.

## La décoration

Il y avait sur les tours et sur les remparts des animaux de toute sorte, d'une belle réalisation pour les couleurs et l'imitation de leurs figures ; ils formaient dans leur ensemble une chasse avec de nombreux animaux, dont la taille était supérieure à quatre coudées ; Sémiramis s'était fait représenter parmi eux, à cheval, en train de lancer un javelot sur une panthère, et auprès d'elle son mari Ninus en train de tuer de sa main un lion avec une lance. Elle fit placer une triple porte, dont deux parties étaient en bronze et s'ouvraient grâce à une machinerie. Ce palais, tant par sa taille que par ses décorations, l'emportait sur celui qui se trouvait sur l'autre côté du fleuve ; celui-là avait une enceinte de trente stades en briques cuites ; à la place des sculptures d'animaux, il y avait les portraits de Ninus et de Sémiramis ainsi que les gouverneurs, et une statue de Zeus que les Babyloniens

appellent Bélios ; il y avait aussi des scènes de batailles et de chasses diverses, qui offraient à ceux qui les regardaient un divertissement varié.

## La citerne

Après cela, elle choisit le lieu le plus bas de Babylone pour faire une citerne carrée, dont chaque côté avait trois cents stades ; elle était de briques cuites et d'asphalte et sa profondeur était de trente cinq pieds. Elle fit détourner le fleuve vers cette citerne et fit faire une galerie qui communiquait avec chacun des deux palais.

## La galerie reliant les deux palais

Elle fit construire depuis les deux côtés des voûtes en briques cuites qu'elle fit enduire d'asphalte bouillie jusqu'à ce que l'épaisseur de l'enduit eût quatre coudées ; les murailles de cette galerie avaient plus de vingt briques d'épaisseur, et en hauteur, jusqu'à la voûte, elle était de douze pieds ; sa largeur était de quinze. Après avoir achevé ce travail en sept jours, elle fit revenir le fleuve dans son lit précédent, de sorte que, comme il coulait au dessus de la galerie, Sémiramis pouvait se rendre d'un palais à l'autre sans avoir à traverser le fleuve ; elle fit placer des portes de bronze de chaque côté de la galerie souterraine ; ces portes demeurèrent jusqu'à la royauté des Perses.

## Le sanctuaire de Zeus

Après cela, elle fit construire au centre de la cité un temple de Zeus, que les Babyloniens appellent, comme nous l'avons dit, Bélios. Au sujet de ce temple, les historiens sont en désaccord et comme le monument a été détruit par le temps, il n'est pas possible de le décrire précisément. On s'accorde à dire qu'il était extrêmement élevé et les Chaldéens y montaient pour faire leurs observations sur les astres, puisqu'ils pouvaient avec précision voir le lever et le coucher des astres grâce à la hauteur de la construction. Tout le bâtiment était construit en asphalte et en briques avec un art somptueux ; au sommet de l'escalier on fit placer trois statues en plaques d'or de Zeus, Héra et Rhéa.

## Les statues colossales

La statue de Zeus était debout, en train de marcher, elle dépassait quarante pieds et elle pesait mille talents babyloniens ; celle de Rhéa, assise sur un char d'or, avait le même poids que celle dont on vient de parler et sur ses genoux il y avait deux lions, et à côté d'elle d'immenses serpents en argent, chacun ayant un poids de trente talents ; la statue d'Héra, dressée, faisait huit cent talents d'argent et dans sa main droite elle tenait un serpent par la tête, avec sa main gauche, elle tenait un sceptre incrusté de pierreries. Il y avait en commun pour les trois statues une table en plaques d'or, dont la longueur était de quarante pieds et la largeur de quinze et qui pesait cinq cents talents ; sur elle on avait posé deux vases de trente talents. Il y avait aussi sur la table deux vases à parfums, chacun de trois cents talents ; il y avait encore trois cratères en or, dont l'un consacré à Zeus pesait mille deux cent talents et chacun des deux autres six cents.

## La disparition de Babylone

Mais ces richesses furent par la suite pillées par les rois des Perses ; et le temps fit disparaître dans leur totalité les palais et les autres constructions ou bien ils tombèrent en ruine. En effet, maintenant, Babylone n'est habitée que dans une petite partie et la plus grande, à l'intérieur des murailles, est rendue à la culture...

## Annexe n°4 : Extrait de *Livre Cinquième de Quinte-Curce*

### Livre V - Chapitre I

Trad. par Auguste M.M. et Trognon A., 1861, (Référence internet n°77).

1. [...] La beauté de la ville et son ancienneté attirèrent, comme elles le méritaient, l'attention d'Alexandre et de toute l'armée. Elle avait été fondée par Sémiramis, et non, comme on l'a cru, par Bélus, dont le palais se montre encore. Le mur qui en forme l'enceinte, bâti de briques, et enduit de bitume, a trente-deux pieds d'épaisseur; des chars attelés de quatre chevaux peuvent, dit-on, s'y rencontrer et y passer sans danger. La hauteur est de cent coudées au-dessus du sol; les tours sont de dix pieds plus élevées que le mur. L'enceinte tout entière embrasse une étendue de trois cent soixante-huit stades, et, s'il faut en croire la renommée, l'on en bâtissait un stade par jour. Les édifices ne touchent point aux murailles, ils en sont éloignés de la distance d'environ un arpent. La ville même n'est pas entièrement occupée par les maisons; il n'y a que quatre-vingt-dix stades qui soient habités, et encore les bâtiments ne sont-ils pas tous contigus, sans doute parce qu'on a jugé plus sûr de les disperser; le reste du terrain est cultivé et ensemencé, afin qu'en cas d'attaque du dehors, le sol même de la ville fournisse des aliments à la population. L'Euphrate la traverse, retenu dans son lit par des quais d'un travail immense. Mais, ce qui surpasse tous ces ouvrages, ce sont de vastes cavernes creusées profondément pour recevoir les grandes crues du fleuve: car, lorsque sa hauteur vient à excéder celle des quais, il entraînerait les maisons dans son cours, si des souterrains et des lacs ne s'ouvraient pour le recevoir. Ces bassins sont construits en briques cuites, et partout enduits de bitume. Un pont de pierre, élevé sur le fleuve, unit les deux côtés de la ville: c'est encore une des merveilles de l'Orient. L'Euphrate, en effet, roule une masse énorme de limon, et alors même que, pour asseoir des fondations, ce limon a été enlevé dans toute sa profondeur, on a peine à trouver un terrain solide pour recevoir les travaux. Des sables viennent en outre s'amonceler chaque jour, et, s'attachant aux piles du pont, retardent le cours du fleuve, qui, ainsi retenu, vient les battre avec bien plus de force que s'il coulait en liberté. On y voit aussi une citadelle qui a vingt stades de circuit; les fondations des tours descendent à trente pieds sous terre; le rempart en a quatre-vingts de hauteur. [...]

## Annexe n° 5 : Extrait de *Géographie, Livre XVI*, de Strabon

Traduit du grec par Tardieu A., 1867 (Référence internet n°74).

### Chapitre I : L'Assyrie, l'Adiabène et la Mésopotamie

#### Les Jardins suspendus

Babylone est située, elle aussi, dans une plaine. Ses remparts ont 365 stades de circuit, 32 pieds d'épaisseur et 50 coudées de hauteur dans l'intervalle des tours, qui elles-mêmes sont hautes de 60 coudées. Au haut de ce rempart on a ménagé un passage assez large pour que deux quadriges puissent s'y croiser. On comprend qu'un pareil ouvrage ait été rangé au nombre des sept merveilles du monde, et le Jardin suspendu pareillement. Ce jardin, immense carré de 4 plèthres de côté, se compose de plusieurs étages de terrasses supportées par des arcades dont les voûtes retombent sur des piliers de forme cubique. Ces piliers sont creux et remplis de terre, ce qui a permis d'y faire venir les plus grands arbres. Piliers, arcades et voûtes ont été construits rien qu'avec des briques cuites au feu et de l'asphalte. On arrive à la terrasse supérieure par les degrés d'un immense escalier, le long desquels ont été disposées des limaces ou vis hydrauliques, destinées à faire monter l'eau de l'Euphrate dans le jardin, et qui fonctionnent sans interruption par l'effort d'hommes commis à ce soin. L'Euphrate coupe en effet la ville par le milieu. Sa largeur est d'un stade et le jardin suspendu le borde. Le Tombeau de Bélus, aujourd'hui détruit, était dans le même cas. Ce monument, qu'on dit avoir été renversé par Xerxès, avait la forme d'une pyramide carrée, faite de briques cuites au feu, et mesurant un stade de hauteur en même temps qu'un stade de côté. Alexandre avait eu l'intention de le rebâtir, mais c'était là un travail immense, et qui eût demandé beaucoup de temps, car, rien que pour élever la terrasse qui devait servir à déblayer le terrain, il fallut faire travailler dix mille ouvriers pendant deux mois. Alexandre ne put donc pas achever le travail commencé : la maladie l'ayant surpris, il mourut auparavant. Et de ses successeurs pas un ne songea même à reprendre son projet. Les autres monuments de Babylone furent également négligés, et la ruine de la ville elle-même, œuvre à la fois des Perses, du temps et de l'incurie des Macédoniens en fait d'art, se trouva définitivement consommée, le jour surtout où Seleucus Nicator eut fondé Séleucie sur le Tigre à 300 stades tout au plus de Babylone.

## Annexe n°6 : *Bibliothèque historique, Livre II de Diodore*

Trad. du grec par Hoefel F., 1851 (Référence internet n°75).

X. Il y avait dans la citadelle le jardin suspendu, ouvrage, non pas de Sémiramis, mais d'un roi syrien postérieur à celle-ci : il l'avait fait construire pour plaire à une concubine. On raconte que cette femme, originaire de la Perse, regrettant les prés de ses montagnes, avait engagé le roi à lui rappeler par des plantations artificielles la Perse, son pays natal. Ce jardin, de forme carrée, avait chaque côté de quatre plèthres ; on y montait, par des degrés, sur des terrasses posées les unes sur les autres, en sorte que le tout présentait l'aspect d'un amphithéâtre. Ces terrasses ou plates-formes, sur lesquelles on montait, étaient soutenues par des colonnes qui, s'élevant graduellement de distance à distance, supportaient tout le poids des plantations ; la colonne la plus élevée, de cinquante coudées de haut, supportait le sommet du jardin, et était de niveau avec les balustrades de l'enceinte. Les murs, solidement construits à grands frais, avaient vingt-deux pieds d'épaisseur, et chaque issu dix pied de largeur. Les plates-formes des terrasses étaient composées de blocs de pierres dont la longueur, y compris la saillie, était de seize pieds sur quatre de largeur. Ces blocs étaient recouverts d'une couche de roseaux mêlés de beaucoup d'asphalte ; sur cette couche reposait une double rangée de briques cuites, cimentées avec du plâtre ; celles-ci étaient, à leur tour, recouvertes de lames de plomb, afin d'empêcher l'eau de filtrer à travers les atterrissements artificiels, et de pénétrer dans les fondations. Sur cette couverture se trouvait répandue une masse de terre suffisante pour recevoir les racines des plus grands arbres. Ce sol artificiel était rempli d'arbres de toute espèce, capables de charmer la vue par leur dimension et leur beauté. Les colonnes s'élevaient graduellement, laissaient par leurs interstices pénétrer la lumière, et donnaient accès aux appartements royaux, nombreux et diversement ornés. Une seule de ces colonnes était creuse depuis le sommet jusqu'à sa base ; elle contenait des machines hydrauliques qui faisaient monter du fleuve une grande quantité d'eau, sans que personne pût rien voir à l'extérieur. Tel était ce jardin qui, comme nous l'avons dit, fut construit plus tard.

## Annexe n°7 : Victor Hugo, *La Légende des Siècles*

(Hugo V., 2001)

### Les Sept merveilles du monde

#### II

Une deuxième voix s'éleva ; celle-ci,  
Dans l'azur par degrés mollement obscurci,  
Parlait non loin d'un fleuve à la farouche plage,  
Et cette voix semblait le bruit d'un grand feuillage.  
- Gloire à Sémiramis la fatale! Elle mit  
Sur ces palais nos fleurs sans nombre où l'air frémit.  
Gloire! en l'épouvantant elle éclaira la terre ;  
Son lit fut formidable et son coeur solitaire ;  
Et la mort avait peur d'elle en la mariant.  
La lumière se fit spectre dans l'orient,  
Et fut Sémiramis. Et nous, les arbres sombres  
Qui, tandis que les toits s'écroulent en décombres,  
Grandissons, rajeunis sans cesse et reverdis,  
Nous que sa main posa sur ce sommet jadis,  
Nous saluons au fond des nuits cette géante ;  
Notre verdure semble une ruche béante  
Où viennent s'engouffrer les mille oiseaux du ciel ;  
Nos bleus lotus penchés sont des urnes de miel ;  
Nos halliers, tout chargés de fleurs rouges et blanches,  
Composent, en mêlant confusément leurs branches,  
En inondant de gomme et d'ambre leurs sarments,

Tant d'embûches, d'appeaux et de pièges charmants,  
Et de filets tressés avec les rameaux frêles,  
Que le printemps s'est pris dans cette glu les ailes,  
Et rit dans notre cage et ne peut plus partir.  
Nos rosiers ont l'air peints de la pourpre de Tyr ;  
Nos murs prodigieux ont cent portes de cuivre ;  
Avril s'est fait titan pour nous et nous enivre  
D'âcre s parfums qui font végéter le caillou,  
Vivre l'herbe, et qui font penser l'animal fou,  
Et qui, quand l'homme vient errer sous nos pilastres,  
Font soudain flamboyer ses yeux comme des astres ;  
Les autres arbres, fils du silence hideux,  
Ont la terre muette et sourde au-dessous d'eux ;  
Nous, transplantés dans l'air, plus haut que Babylone  
Pleine d'un peuple épais qui roule et tourbillonne  
Et de pas et de chars par des buffles tramés,  
Nous vivons au niveau du nuage, étonnés  
D'entendre murmurer des voix sous nos racines ;  
Le voyageur qui vient des campagnes voisines  
Croit que la grande reine au bras fort, à l'oeil sûr,  
A volé dans l'éden ces forêts de l'azur.  
Le rayon de midi dans nos fraîcheurs s'émousse ;  
La lune s'assoupit dans nos chambres de mousse ;  
Les paons ouvrent leur queue éblouissante au fond  
Des antres que nos fleurs et nos feuillages font ;  
Plus d'une nymphe y songe, et dans nos perspectives  
Parfois se laissent voir des nudités furtives ;

La ville, nous ayant sur sa tête, va, vient,  
Se parle et se répond, querelle, s'entretient,  
Travaille, achète, vend, forge, allume ses lampes ;  
Le vent, sur nos plateaux et sur nos longues rampes.  
Mêle l'horizon vague et les murs et les toits  
Et les tours au frisson vertigineux des bois ;  
Et nos blancs escaliers, nos porches, nos arcades  
Flottent dans le nuage écumant des cascades ;  
Sous nos abris sacrés, nul bruit ne les troublant,  
Vivent le martinet, l'ibis, le héron blanc  
Qui porte sur le front deux longues plumes noires ;  
L'air ride nos bassins, inquiètes baignoires  
Où viennent s'apaiser les pâles voluptés ;  
Des boeufs à face humaine, à nos portes sculptés,  
Témoignent que Belus est le seul roi du monde ;  
A de certains endroits notre ombre est si profonde  
Que la nuit en montant aux cieux n'y change rien ;  
Nous avons vu grandir le trône assyrien ;  
Nos troncs, contemporains des anciens jours de l'homme,  
Ont vu le premier arbre et la première pomme,  
Et, vieux, ils sont puissants, et leurs antiques fûts  
Ont des rameaux si durs, si noueux, si touffus,  
Et d'un balancement si noir, que le zéphyre  
Epuisé s'y fatigue et ne peut leur suffire ;  
Et leur vaste branchage est fait d'un tel granit  
Qu'il faudrait l'ouragan pour y bercer un nid.  
Gloire à Sémiramis qui posa nos terrasses

Sur des murs que vient battre en vain le flot des races  
Et sur des ponts dont l'arche est au-dessus du temps !  
Cette reine, parfois, sous nos rameaux flottants,  
Venait rire entre deux écroulements d'empires ;  
Elle abattait au loin les rois moindres ou pires,  
Puis s'en allait ayant l'homme jusqu'aux genoux,  
Et venait respirer contente parmi nous ;  
Gaie, elle se couchait sur des peaux de panthère ;  
Quels lieux, quels champs, quels murs, quels palais sur la terre,  
Hors nous, ont entendu rire Sémiramis ?  
Nous, les arbres hautains, nous étions ses amis ;  
Nos taillis ont été les parvis et les salles  
Où s'épanouissaient ses fêtes colossales ;  
C'est dans nos bras, que n'a jamais touchés la faux,  
Que cette reine a fait ses songes triomphaux ;  
Nos parfums ont parfois conseillé des supplices ;  
De ses enivrements nos fleurs furent complices ;  
Nos sentiers n'ont gardé qu'une trace, son pas.  
Fils de Sémiramis, nous ne périrons pas ;  
Ce qu'assembla sa main, qui pourrait le disjoindre ?  
Nous regardons le siècle après le siècle poindre  
Nous regardons passer les peuples tour à tour  
Nous sommes à jamais, et jusqu'au dernier jour,  
Jusqu'à ce que l'aurore au front des cieux s'endorme,  
Les jardins monstrueux pleins de sa joie énorme.

## Annexe n°8 : Voltaire, *La princesse de Babylone*

(Voltaire, 1942)

### I

Le vieux Bélus, roi de Babylone, se croyait le premier homme de la terre; car tous ses courtisans le lui disaient, et ses historiographes le lui prouvaient. Ce qui pouvait excuser en lui ce ridicule, c'est qu'en effet ses prédécesseurs avaient bâti Babylone plus de trente mille ans avant lui, et qu'il l'avait embellie. On sait que son palais et son parc, situés à quelques parasanges de Babylone, s'étendaient entre l'Euphrate et le Tigre, qui baignaient ces rivages enchantés. Sa vaste maison de trois mille pas de façade s'élevait jusqu'aux nues. La plate-forme était entourée d'une balustrade de marbre blanc de cinquante pieds de hauteur qui portait les statues colossales de tous les rois et de tous les grands hommes de l'empire. Cette plate-forme, composée de deux rangs de briques couvertes d'une épaisse surface de plomb d'une extrémité à l'autre, était chargée de douze pieds de terre, et sur cette terre on avait élevé des forêts d'oliviers, d'orangers, de citronniers, de palmiers, de girofliers, de cocotiers, de cannelliers, qui formaient des allées impénétrables aux rayons du soleil.

Les eaux de l'Euphrate, élevées par des pompes dans cent colonnes creusées, venaient dans ces jardins remplir de vastes bassins de marbre, et, retombant ensuite par d'autres canaux, allaient former dans le parc des cascades de six mille pieds de longueur, et cent mille jets d'eau dont la hauteur pouvait à peine être aperçue : elles retournaient ensuite dans l'Euphrate, dont elles étaient parties. Les jardins de Sémiramis, qui étonnèrent l'Asie plusieurs siècles après, n'étaient qu'une faible imitation de ces antiques merveilles; car, du temps de Sémiramis, tout commençait à dégénérer chez les hommes et chez les femmes.

## Annexe n°9

(Services de la DEVE, DPA, DU, DPE et DLH, 2012).

**Liste nullement limitative, donnée à titre indicatif, dans laquelle figurent des exemples de végétaux résistants à la sécheresse, adaptés au climat parisien.**

Une gamme végétale diversifiée fait référence à une dizaine d'espèces minimum appartenant à des genres différents.

	Statut*	Caduc Persistant	Hauteur feuillage (cm) Hauteur floraison (cm)	Couleur floraison	Epoque floraison	Pouvoir couvrant	Exposition	Intérêt écologique	Observations Intérêts	Végétation & Epaisseur de substrat		
										Rase 8 à 10 cm	Herbacée 10 à 30 cm	Arbustive 30 à 80 cm
<i>Achillea millefolium</i>		persistant	20-50 20-70	blanc couleurs pastel	juin-juillet	moyen	soleil	nectarifère	se ressème naturellement développement rapide			
<i>Achillea crithmifolia</i>		persistant	5-10 20	blanc crème	juin-juillet	élevé	soleil à mi-ombre					
<i>Allium flavum</i>			10 10-30	jaune	juillet-août		soleil	attractif pour papillons et abeilles				
<i>Allium sphaerocephalon</i>			- 40-60	rose- pourpre	juin-août			attractif pour papillons et abeilles				
<i>Alyssum montanum</i>		persistant	10-15 20	jaune	avril-juillet	moyen à élevé			se ressème floraison abondante			
<i>Anthemis carpatica</i>		persistant	5 15	blanc	avril-juillet	moyen			longue floraison craint l'excès d'eau en hiver			
<i>Arabis caucasica</i>		persistant	15-20 20	blanc	mars-mai	moyen			floraison précoce et abondante			
<i>Armeria maritima</i>		persistant	5 15	rose- pourpre	mai-juillet	moyen	soleil					
<i>Armeria juniperifolia</i>		persistant	5-10 8-15	rose	avril-juin	moyen	soleil					
<i>Aster linosyris</i>			- 15-40	jaune	août- septembre		soleil	nectarifère pollinifère				
<i>Aster alpinus</i>			- 20-25 30-40	pourpre clair			plein soleil à mi-ombre		à diviser tous les 3-4 ans			

\* Statut :  plante indigène /  plante horticole

Le statut indigène correspond à des plantes de France métropolitaine

	Statut*	Caduc Persistant	Hauteur feuillage (cm) Hauteur floraison (cm)	Couleur floraison	Epoque floraison	Pouvoir couvrant	Exposition	Intérêt écologique	Observations Intérêts	Végétation & Epaisseur de substrat		
										Rase 8 à 10 cm	Herbacée 10 à 30 cm	Arbustive 30 à 80 cm
<i>Aubrieta x cultorum</i>		persistant	10 10-20	violet	avril-juin	moyen		nectarifère	floraison précoce et abondante			
<i>Carex buchananii</i>		persistant	30-40 30-40	bronze	juillet-août	moyen	soleil à mi-ombre					
<i>Carex montana</i>			- 10-20		mars-mai		mi-ombre	nectarifère				
<i>Centranthus ruber</i>		semi persistant	60-80 60-80	pourpre, rose ou blanc	mai-octobre		soleil à mi-ombre	nectarifère plante hôte pour papillons	se ressème			
<i>Cerastium tomentosum</i>		persistant	10 15	blanc	mai	moyen	soleil		couleur feuillage et fleur intéressante			
<i>Cymbalaria muralis</i>		persistant	10-15 10-15	bleu pâle	avril-octobre		ombre mi-ombre					
<i>Cytisus procumbens</i>			- 30	jaune			soleil	nectarifère				
<i>Daucus carota</i>			5 20-80	blanc	juin-octobre		soleil	nectarifère	bisannuelle, disparition après floraison			
<i>Delosperma cooperii</i>		persistant	10 10	rose violet	juillet-octobre		plein soleil		sensible au gel et à l'excès d'eau			
<i>Dianthus alpinus</i>		persistant	10 15	rose	mai-juin	faible à moyen						
<i>Dianthus anatolicus</i>		persistant	10 25	blanc rose	mai-juillet		soleil					
<i>Dianthus arenarius</i>		semi persistant	- 20	blanc	juillet-septembre							
<i>Dianthus carthusianorum</i>		semi persistant	- 40	pourpre	juin-septembre		soleil					
<i>Euphorbia cyparissias</i>		caduc	- 20-30	jaune-vert fluo	avril-juin	élevé	soleil à mi-ombre		se ressème			
<i>Festuca glauca</i>		persistant	- 15-30		juin-juillet				feuillage bleuté			
<i>Genista sagittalis</i>			- 20	jaune	début d'été		soleil					
<i>Geranium macrorrhizum</i>		semi persistant	30 30	rose pourpre	avril-juin		mi-ombre à ombre	nectarifère				

\* Statut :  plante indigène /  plante horticole

Le statut indigène correspond à des plantes de France métropolitaine

	Statut*	Caduc Persistant	Hauteur feuillage (cm) Hauteur floraison (cm)	Couleur floraison	Epoque floraison	Pouvoir couvrant	Exposition	Intérêt écologique	Observations Intérêts	Végétation & Epaisseur de substrat		
										Rase 8 à 10 cm	Herbacée 10 à 30 cm	Arbustive 30 à 80 cm
<i>Geranium sanguineum</i>		semi persistant	15-20 20	rose	mai-octobre	moyen	soleil	nectarifère	croissance rapide longue floraison			
<i>Gypsophila repens</i>			- 10-20	blanc	mai à juin		soleil					
<i>Helianthemum nummularium</i>		persistant	- 10-30	jaune	juin-septembre		soleil	nectarifère				
<i>Hieracium aurantiacum</i>			- 20	orange	juin-août		soleil	nectarifère	se ressème			
<i>Hieracium pilosella</i>			- 15	jaune	juin-juillet		soleil	nectarifère				
<i>Hypericum perforatum</i>		persistant	- 25-50	jaune	juillet-septembre		soleil ou mi-ombre	pollinifère				
<i>Hyssopus officinalis</i>		semi persistant	50 50	bleu	juin-août		soleil	nectarifère	feuillage parfumé			
<i>Jasione montana</i>			- 20	bleu pâle			soleil ou mi-ombre	nectarifère				
<i>Jasminum nudiflorum</i>		caduc	>50 >50	jaune	décembre février		soleil à mi-ombre					
<i>Juniperus sp.pl.</i>			- -			élevé						
<i>Lavandula sp.pl.</i>			- 20-50	violacé	été		soleil	nectarifère	tailler le feuillage après floraison			
<i>Melica ciliata</i>			- 30-50		mai-juin							
<i>Narcissus pseudonarcissus</i>			- 20-30	jaune	mars-avril		mi-ombre à soleil					
<i>Nepeta cataria</i>		caduc	50 50	lilas pâle	mai-juillet		soleil mi-ombre		feuillage parfumé			
<i>Origanum vulgare</i>		semi persistant	- 40	rose	juin-juillet	élevé	soleil	nectarifère pollinifère plante hôte pour les papillons	feuillage parfumé			
<i>Perovskia atriplicifolia</i>		caduc	- 50-100	violacé	juillet-septembre		soleil	nectarifère	à tailler très court feuillage parfumé			

\* Statut :  plante indigène /  plante horticole

Le statut indigène correspond à des plantes de France métropolitaine

	Statut*	Caduc Persistant	Hauteur feuillage (cm) Hauteur floraison (cm)	Couleur floraison	Epoque floraison	Pouvoir couvrant	Exposition	Intérêt écologique	Observations Intérêts	Végétation & Epaisseur de substrat		
										Rase 8 à 10 cm	Herbacée 10 à 30 cm	Arbustive 30 à 80 cm
<i>Petrorhagia saxifraga</i>			~ 20	rose pâle	été		soleil		se ressème doit être coupé tous les ans			
<i>Phlomis fruticosa</i>		persistant	~ > 100	jaune	avril-mai	élevé	soleil					
<i>Potentilla fruticosa</i>		persistant	~ 40-60	jaune			soleil					
<i>Pulsatilla vulgaris</i>			~ 20	pourpre foncé			soleil					
<i>Rosa multiflora</i>			~ 100-150				soleil	nectarifère				
<i>Rosa pimpinellifolia repens</i>			50-130 60	jaune	mai-juillet		soleil à mi-ombre	nectarifère				
<i>Rosmarinus officinalis</i>		persistant	40-150 40-150	blanc, bleu, rose			soleil	nectarifère	feuillage parfumé			
<i>Sanguisorba minor</i>			~ 20	verdâtre	été		soleil					
<i>Santolina chamaecyparissus</i>		persistant	~ 40-60	jaune	juillet		soleil		feuillage parfumé			
<i>Santolina rosmarinifolia</i>		persistant	~ 60	jaune pâle	juillet-août		soleil		feuillage parfumé			
<i>Saponaria ocyroides</i>			~ 30	rose	juillet-octobre		soleil					
<i>Sedum acre</i>		persistant	5 5-10	jaune	juin-août	moyen à élevé	plein soleil					
<i>Sedum album</i>		persistant	5-10 5-15	blanc	juillet-août		plein soleil		feuillage devenant rouge en hiver			
<i>Sedum reflexum</i> ( <i>S. rupestre</i> )		persistant	5-10 5-20	jaune	juillet-août		plein soleil		craint les excès d'eau			
<i>Sedum sediforme</i>		persistant	5-15 5-25	jaune	juillet-août		plein soleil					
<i>Sedum spectabile</i>		caduc	~ 30	rose	fin d'été		soleil mi-ombre					
<i>Sedum spurium</i>		persistant	5-10 10-15	rose	juin-août	élevé	plein soleil		feuillage devenant rouge en hiver			

\* Statut :  plante indigène /  plante horticole

Le statut indigène correspond à des plantes de France métropolitaine

	Statut*	Caduc Persistant	Hauteur feuillage (cm) Hauteur floraison (cm)	Couleur floraison	Epoque floraison	Pouvoir couvrant	Exposition	Intérêt écologique	Observations Intérêts	Végétation & Epaisseur de substrat		
										Rase 8 à 10 cm	Herbacée 10 à 30 cm	Arbustive 30 à 80 cm
<i>Sempervivum tectorum</i>		persistant	5-10 5-10	rose	juin-août		plein soleil					
<i>Teucrium chamaedrys</i>		Caduc à semi persistant	- 10-25	rose	mai-juillet		soleil mi ombre					
<i>Thymus ciliatus</i>		persistant	3-5 3-5	rose	mai	élevé	soleil		feuillage parfumé			
<i>Thymus pseudolanuginosus</i>		persistant	2-5 2-5	rose	juin-août	élevé	soleil		feuillage parfumé			
<i>Thymus serpyllum</i>		persistant	- 15	rose	mai- septembre	élevé	soleil		feuillage parfumé			
<i>Thymus vulgaris</i>		persistant	- 25	rose	avril-mai		soleil					
<i>Verbascum nigrum</i>		persistant	5 60-150	jaune	juillet- septembre		soleil					
<i>Verbascum thapsus</i>		persistant	5 50-200	jaune	juillet- octobre		soleil					

\* Statut :  plante indigène /  plante horticole

Le statut indigène correspond à des plantes de France métropolitaine

## Annexe n°10 :

Brevet « Dispositif pour la culture sans sol des plantes, sur une structure verticale ».

<p>19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE — INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE — PARIS —</p>	<p>11 N° de publication : <b>2 634 971</b> <small>(à utiliser que pour les commandes de reproduction)</small></p> <p>21 N° d'enregistrement national : <b>88 10705</b></p> <p>51 Int Cl<sup>e</sup> : A 01 G 31.02.</p>	
12	<b>BREVET D'INVENTION</b>	<b>B1</b>
<b>54</b> DISPOSITIF POUR LA CULTURE SANS SOL DES PLANTES SUR UNE SURFACE VERTICALE		
<p>22 Date de dépôt : 08.08.88.</p> <p>30 Priorité :</p>  <p>43 Date de la mise à disposition du public de la demande : 09.02.90 Bulletin 90/06.</p> <p>45 Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 10.07.92 Bulletin 92/28.</p> <p>56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche :</p> <p style="text-align: center;"><i>Se reporter à la fin du présent fascicule</i></p>	<p>60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :</p>  <p>71 Demandeur(s) : BLANC PATRICK. -FR.</p>  <p>72 Inventeur(s) : PATRICK BLANC</p>  <p>73 Titulaire(s) :</p>  <p>74 Mandataire(s) : CABINET NETTER</p>	
<b>FR 2 634 971 - B1</b>		
		

D'après P. Blanc. Premier Brevet Mur Végétal, 1988 (Référence internet n°52).

# BIBLIOGRAPHIE

---

AQEG, (2005). Air Quality Expert Group, Particulate matter in the UK : Summary Defra, London.

Abelsohn A., Stieb D., Sanborn M.D., Weir E., (2002). Identifying and managing adverse environmental health effects: outdoor pollution. *Can Med Assoc J*, 166(9):1161-7.

Akbari H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO<sub>2</sub> emissions from power plants. *Environ Pollut*, 16 Suppl 1:S119-26.

Atkinson R., (2000). Atmospheric chemistry of VOCs and NO<sub>x</sub>. *Atmos Environ*, Volume 34, Issues 12–14, 2000, Pages 2063–2101.

APUR, Atelier Parisien de l'Urbanisme, *Etude sur le potentiel de végétalisation des toitures et terrasses à Paris*, 2013.

Auguste M.M., Trognon A., *Livre cinquième de Quinte-Curce*. Ed. Paris, Garnier frères, 1861.

Babisch W., (2005). Guest Editorial : Noise and Health. *Environ Health Persp*, 113(1):A14-5.

Baron R.A., (1987). Effects of negative ions on cognitive performance. *J Appl Psychol*, 72(1):131-7.

Barot S., Lata J.C., Lacroix G. (2012). Meeting the relational challenge of ecological engineering within ecological sciences. *Ecol Eng*, Volume 45, August 2012, Pages 13-23.

Bartfelder F., Köhler M. Experimentelle untersuchungen zur function von fassadenbegrünungen. Diss, Univ. Tech. Berlin, 1987.

Baxter L.K, Clougherty J.E., Paciorek C.J., Wright R.J., Levy J.I., (2007). Predicting residential indoor concentrations of nitrogen dioxide, fine particulate matter, and elemental carbon using questionnaire and geographic information system based data. *Atmos Environ*, 41(31):6561-6571.

Baumann N., (2006). Ground-nesting birds on green roofs in Switzerland : Preliminary observations. *Urban Habitats*, 4, 37 – 50.

- Bealey W.J., McDonald A.G., Nemitz E., Donovan R., Dragosits U., Duffy T.R. *et al.*, (2007). Estimating the reduction of urban PM10 concentrations by trees within an environmental information system for planners. *J Environ Manage*, 85, 45 – 58.
- Beckett K.P., Freer-Smith P.H., Taylor G., (2000). Particulate pollution capture by urban trees : effect of species and windspeed. *Glob Change Biol*, Volume 6, Issue 8, pages 995–1003.
- Bell J.N.B., Treshow M., *Air pollution and Plant Life*. 2<sup>nd</sup> Ed. John Wiley & Sons, 2002.
- Bhartendu H., Menon I.A. (1978). Effects of atmospheric small negative ions on the oxygen consumption of mouse liver cells. *International Journal of Biometeorol*, Volume 22, Issue 1, pp 43-52.
- Blanc P., *Le mur végétal, De la nature à la ville*. Ed. Michel Lafon, 2011.
- Boissier A., (1904). Les Ruines de Babylone et les Fouilles de la Mission allemande. *Revue Archéologique*, Quatrième Série.
- Bolund P., Hunhammar S., (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecol Econ*, 29:293–301.
- Boyd J., Banzhaf S., (2007). What are the ecosystem services ? The need for standardized environmental accounting units. *Ecol Econ*, 63: 616-626.
- Brenneisen S., (2006). Space for urban wildlife : Designing green roofs as habitats in Switzerland. *Urban Habitats*, Volume 4, pages 27 – 36.
- Briant P., *Histoire de l'Empire perse : De Cyrus à Alexandre*. Fayard, 1996.
- Brown A.L., Raghu S., (1998). An overview of research on the effects of noise on animals. *Acoust Aust*, Vol 26, Iss 2, pp 63-67.
- Brown T.C., Bergstrom J.C., Loomis J.B., (2007). Defining, valuing and providing ecosystem goods and services. *Natural Resources Journal*, 47:329-376.
- CERTU, Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques, *Aménager avec le végétal*. Ed. La Documentation Française, 2011.

Chaudet G., Boixière A., *Les Plantes Dépolluantes, purifier l'air de la maison ou du bureau avec des plantes*. Ed. Rustica Éditions, 2007.

Cheng C.Y., Cheung K.S., Chu L.M., (2010). Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls. *Build Environ*, 45(5):1287-1303.

Chen L., Zhang Z., Li Z., Tang J., Caldwell P., Zhang W., (2011). Biophysical control of whole tree transpiration under an urban environment in Northern China. *J Hydrol*, 402: 388-400.

Coffman R., Davis G., (2005). Insect and avian fauna presence on the Ford assembly plant ecoroof. Proceedings of the Third Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference Awards and Trade Show. May 2005 ; Washington, D.C., 57(10):823-833.

Colbeck I., Nasir Z.A., Ali Z. (2010). Characteristics of indoor/outdoor particulate pollution in urban and rural residential environment of Pakistan. *Indoor Air*, 20(1), 40 – 51.

Cox H.M., (2012) A sustainability initiative to quantify carbon sequestration by campus trees. *J Geogr*, Vol. 111 Nr. 5, pp. 173-183.

Daures J.-F., *Architecture végétale*. Ed. Eyrolles, 2012.

De Groot R., Wilson M.A., Boumans R.M.J., (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecol Econ*, 41(3), 393 – 408.

Del Barrio, E.P., (1998). Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. *Energ Buildings*, 27, 179 – 193.

Dellile J., *Chant premier des Jardins ou L'Art d'embellir les paysages*. Ed. P. Le Boussonnier, 1801.

Denning D.W., O'Driscoll B.R., Hogaboam C.M., Bowyer P., Niven R.M., (2006). The link between fungi and severe asthma : a summary of the evidence. *Eur Respir J*, 27, 615 – 626.

DEVE, DPA, DU, DPE, DLH, *Cahier technique : toitures végétalisées*. Ed. Christine Laurent de la Mairie de Paris, 2012.

- Dickey J.H., (2000). Selected topics related to occupational exposures Part VII. Air Pollution : Overview of sources and health effects. *Dm-Dis Mon*, 46, pp.566 – 589.
- Dolejs J., Masata O., Toufar O., (2006) Elimination of dust production from stables for dairy cows. *Czech J Anim Sci*, 51(7): 305–310.
- Earth Pledge. *Green Roofs : Ecological Design and Construction*. Ed. Schiffer, 2005.
- Escobedo F.J., Wagner J.E., Nowak D.J., De la Maza C.L., Rodriguez M., Crane D.E., (2008). Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chile’s policy of using urban forests to improve air quality. *J Environ Manage*, 86(1):148-57.
- Escobedo F.J., Kroeger T., Wagner J.E., (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environ Pollut*, 159, 2078 – 2087.
- Escombe A.R., Moore D.A.J., Gilman R.H., Navincopa M., Ticona E., Mitchell B., (2009). Upper-Room Ultraviolet Light and Negative Air Ionization to Prevent Tuberculosis Transmission. *Plos Med*, 17;6(3):e43.
- Evans G.W., Hygge S., Bullinger M., (1995). Chronic noise and psychological stress. *Psychol Sci*, 6, 333 – 338.
- Fahmy M, Sharples S., (2011). Urban form, thermal comfort and building CO2 emissions - a numerical analysis in Cairo. *Build Serv Eng Res T*, 32(1), 73 – 84.
- Fisher B., Turner R.K., Morling P., (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecol Econ*, 68, pp.643 – 653.
- Fowler D., Cape J.N., Unsworth M.H., (1989). Deposition of atmospheric pollutants on forest, *Philos T Roy Soc B*, 2<sup>nd</sup> edn, pp. 247–265.
- Garza F.J.E., (2004). Reglamentos de ruido vs. naturaleza humana. *Ingenierías*, 7(25), 3–8.
- Gedge D., Kadas G. Bugs, bees, and spiders: Green roof design for rare invertebrates. Proceedings of the the Second Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show. 2004 ; Portland, Oregon, 57(10):823-833.
- Goel N., Terman M., Terman J.S., Macchi M.M., Stewart J.W., (2005). Controlled trial of bright light and negative air ions for chronic depression. *Psychol Med*, 35(7):945-55.

Goel N., Etwaroo G.R., (2006). Bright light, negative air ions and auditory stimuli produce rapid mood changes in a student population: a placebo-controlled study. *Psychol Med*, 36(9), pp.53 – 63.

Grant G., (2006). Extensive green roofs in London. *Urban Habitats*, 4, pp.51 – 65.

Gratani L., Varone L., (2006). Carbon sequestration by *Quercus ilex* L. and *Quercus pubescens* Willd. and their contribution to decreasing air temperature in Rome. *Urban Ecosys*, 9, pp.27 – 37.

Green N. Les Jardins suspendus de Babylone, Die hängenden gärten der Semiramis (documentaire télévisé). Andy R. Worboys, 2013.

Grimm N.B., Faeth S.H., Golubiewski N.E., Redman C.L., Jianguo W., Xuemei B., et al., (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319, pp.756 – 760.

Grinshpun S.A, Mainelis G., Trunov M., Adhikari A., Reponen T., Willeke K., (2005). Evaluation of ionic air purifiers for reducing aerosol exposure in confined indoor spaces. *Indoor Air*, 15(4):235-45.

Groult J.-M., *Créer un mur végétal*. Ed. Ulmer, 2008.

Guenther A., Hewitt C.N., Erickson D., Fall R., Geron C., Graedel T. *et al.*, (1995). A global model of natural volatile organic compound emissions. *J Geophys Res*, 100, pp.8873 – 8892.

Hadden W.J., Pierce A.D., (1981). Sound diffraction around screens and wedges for arbitrary point source locations. *Journal of the Acoustical Society of America*, 69, pp.1266 – 1276.

Harmand R., *Contre Apion de Flavius Josèphe*. 1911, Ed. Paris, Ernest Leroux.

Hartig T., Mang M., Evans G.W., (1991). Restorative effects of natural environment experiences. *Environ Behav*, 23(1), pp.3 – 26.

Hawkins L.H., (1981). The influence of air ions, temperature and humidity on subjective wellbeing and comfort, England. *J Environ Psychol*, 1(4), pp.279 – 292.

Hernández-Santana V., David T.S., Martínez-Fernández J., (2008). Environmental and plant-based controls of water use in a Mediterranean oak stand. *For Ecol Manage*, 255, pp.3707 – 3715.

Hoefler F., *Traduction Nouvelle, Bibliothèque historique Diodore*. Ed. Paris, Adolphe Delahays, 1851.

Holm D., (1989). Thermal improvement by means of leaf cover on external walls – asimulation model. *Energ Buildings*, 14, pp.19 – 30.

Hugg T., Rantio-Lehtimäki A., (2007). Indoor and outdoor pollen concentrations in private and public spaces during the Betula pollen season. *Aerobiologia*, 23(2), pp.19 – 29.

Hugo V., *La légende des siècles*. Ed. Presses universitaires de France, 2001.

Hull IV R.B., Michaels S.E., (1995). Nature-based recreation, mood change and stress restoration. *Leisure Sci*, 17(1), pp.1 – 14.

Hunter A.M., Williams N.S.G., Rayner J.P., Aye L., Hes D., Livesley S.J., (2014). Quantifying the thermal performance of green façades : A critical review. *Ecol Eng*, 63, pp.102 – 113.

Irvine K., Devine-Wright P., Payne S., Fuller R., Painter B., Gaston K., (2009). Green space, soundscape and urban sustainability : an interdisciplinary, empirical study. *The International Journal of Justice and Sustainability*, 14(2), pp.55 – 72.

Ichiro A., Itsuki N., Maiko S., Tomoko W., Toshiyuki Y., Mika T., *et al.*, (2010). Fine water droplets in air by electrostatic atomization improve chronic pain sensation thresholds and autonomic nerve functions. Proceedings of the ISMH 37th World Congress. 2010 ; Paris.

Jaśkowski J., Myśliwski A., (1986). Effect of air ions on healing of wounds of rat skin. *Exp Pathol-Jena*, 29(2), pp.3 – 7.

Jim C.Y., Chen W.Y., (2008). Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). *J Environ Manage*, 88(4), pp.65 – 76.

- Jim, C.Y., He H.M., (2011). Estimating heat flux transmission of vertical greenery ecosystem. *Ecol Eng*, 37, pp.1112 – 1122.
- Kaplan R., (2001). The nature of the view from home : psychological benefits. *Environ Behav*, 33(4), pp.7 – 42.
- Kellert S.R., Wilson E.O., *The Biophilia Hypothesis*. Island Press, 1995.
- Kellogg E.W., (1984). The effect of air ionisation electric fields, atmospheric and other electric phenomena on man and animals. *Electromagn Biol Med*, 3, pp.119 – 136.
- Kesselmeier J., Staudt M., (1999). Biogenic Volatile Organic Compounds (VOC) : an overview on emission, physiology and ecology. *J Atmos Chem*, 33, pp.23 – 88.
- Kingsbury N. and Dunnett N. *Planting green roofs and living walls*. Ed. Timber Press, 2004.
- Kinney P.L., Aggarwal M., Northridge M.E., Janssen N.A.H., Shepard P., (2000). Airborne concentrations of PM<sub>2.5</sub> and diesel exhaust particles on Harlem sidewalks : a community based pilot study. *Environ Health Perspect*, 108(3), pp.3 – 8.
- Köhler M., (2003). Plant survival research and biodiversity : Lessons from Europe. Presented at the First Annual Greening Roof tops for Sustainable Communities Conference. May 2003, Chicago, 57(10):823-833.
- Kroeger T., Casey F., (2007). An assessment of market-based approaches to providing ecosystem services on agricultural lands. *Ecol Econ*, 64, pp.321 – 332.
- Krueger A.P., (1985). The biological effects of air ions. *Int J Biometeorol*, 29(3):205-6.
- Krueger A.P., Reed E.J. (1976). Biological impact of small air ions. *Science*, 24, pp.9 – 13.
- Lambers H., Chapin III F.S., Pons T.L., (2008). Plant Physiological Ecology. *Springer*.
- Larcher P.-H., *Histoire d'Hérodote*. Ed. Charpentier, Paris, 1850.
- Larose C., *La photo-autotrophie pour le carbone*. Cours de terminale Scientifique, Lycée Pierre Corneille, Rouen, 2004.

- Laza V., (2009). Enhancing the Human Reactivity by Using the Negative Air Ions Generators. *IFMBE Proc*, Volume 26, 151-156.
- Le Cossec M.D. Contribution to the study of bronchial asthma by negative air ions, an epidemiological study. Th D Med, Brest, 1988.
- Lee B.U., Yermakov M., Grinshpun S.A., (2004). Removal of fine and ultrafine particles from indoor air environments by the unipolar ion emission. *Atmos Environ*, 38:4815 – 4823.
- Lerdau M., Guenther A., (1997). Plant production and emission of volatile organic compounds. *Bioscience*, 47, pp.373 – 374.
- Leung D.Y.M., (2000). Atopic dermatitis: new insights and opportunities for therapeutic intervention. *J Allergy Clin Immun*, 105, pp.860 – 876.
- Leung D.Y.C., Tsui J.K.Y., Chen F., Yip W.K., Vrijmoed L.L.P., Liu C.H., (2011). Effects of urban vegetation on urban air quality. *Landscape Res*, 36(2), pp.73 – 88.
- Lin W., Wu T., Zhang C., Yu T., (2011). Carbon savings resulting from the cooling effect of green areas : a case study in Beijing. *Environ Pollut*, 159(89), pp.48 – 54.
- Livanova L.M., Levshina I.P., Nozdracheva L.V., Kurochkina E.V., Elbakidze M.G., Airapetiants M.G., (1996). The prophylactic effect of negatively charged air ions in acute stress in rats with different typological behavioral characteristics. *Zh Vyssh Nerv Deyat+*, 46(3), pp. 64 – 70.
- Livanova L.M., Elbakidze M.G., Airapetiants M.G., (1999). Effect of the short-term exposure to negative air ions on individuals with vegetative disorders. *Zh Vyssh Nerv Deyat+*, Vol.6. No.1.:3-10.
- Luo C.H., Yang S., Huang Y.C., (2009). Removal efficiency of bioaerosols by combining negative air ions with electret filters. Proceedings of the 11th International Conference on Environmental Science and Technology Chania. September 2009 ; Crete, Greece.
- Lyytimäki J., Sipilä M., (2009). Hopping on one leg. The challenge of ecosystem disservices for urban green management. *Urban For Urban Gree*, pp.309 – 315.

Magrab E.B., Jackson F.J., (1973). Noise control. *Crit Rev Env Contr*, 3(14), pp.61 – 83.

Makelaa P., Ojajarvi J., Graeffe G., Lehtimäki M., (1979). Studies on the effects of ionization on bacterial aerosols in a burns and plastic surgery unit. *J Hyg (Lond)*, 83(2):199-206.

Martin N.A., Chappelka A.H., Loewenstein E.F., Keever G.J., (2012). Comparison of carbon storage, carbon sequestration, and air pollution removal by protected and maintained urban forests in Alabama, USA. *Int J Biodivers Sci*, 8(3), pp.65 – 72.

McCarthy M.P., Best M.J., Betts R.A., (2010). Climate change in cities due to global warming and urban effects. *Geophys Res Lett*, 37, pp.1 – 5.

McPherson E.G., Gregory E., (1994). Cooling urban heat islands with sustainable landscapes. Symposium, *The Ecological City : Preserving and Restoring Urban Biodiversity*. University of Massachusetts Press, Amherst, pp.63 – 82.

McPherson E.G., Nowak D.J., Rowntree R.A., (1994). Chicago's urban forest ecosystem : Results of the Chicago urban forest climate project. *USDA For Serv Ne Res*, Volume 1, Issue 1, pp 49-61.

Mcpherson E.G., Simpson J.R., (1999). Carbon dioxide reduction through urban forestry : guidelines for professional and volunteer tree planters. *USDA Pac Sw*.

Mentens J., Raes D., Hermy M., (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century ? *Landscape Urban Plan*, 77, pp.21 – 26.

Miller R.W., *Urban forestry : planning and managing urban green spaces*. 2<sup>nd</sup> Ed. Prentice Hall, 1997.

Mitsch W.J., Jørgensen S.E., (2003). Ecological engineering : a field whose time has come. *Ecol Eng*, 20, pp.363 – 377.

Mitsch W.J., (2012). What is ecological engineering? *Ecol Eng*, 45, pp. 5 – 12.

Montagnini F., Porras C., (1998). Evaluating the role of plantations as carbon sinks : an example of an integrative approach from the humid tropics. *Environ Manage*, pp. 459–470.

- Morton L.L., Kershner J.R., (1984). Negative air ionization improves memory and attention in learning-disabled and mentally retarded children. *J Abnorm Child Psych*, 12(2), pp.53 – 65.
- Morton L.L., Kershner J.R., (1990). Differential negative air ion effects on learning disabled and normal-achieving children. *Int J Biometeorol*, 34(1), pp.35 – 41.
- Möse J.R., Fischer G., (1981). On the evaluation of health factors in high-rise buildings. Bioclimatological consequences resulting from comparative measurements of the air ionisation in a high-rise building located in a heavily contaminated suburban area and at certain altitudes. *Zbl Bakt Mik Hyg B*, 172(4-5), pp.23 – 31.
- Moureau M., Brace G., *Dictionnaire des Science de la Terre, Comprehensive dictionary of earth science*. Ed. Technip, 2000.
- Musarella P. et Jacquemart P., *Alimentation, pollutions et habitat. Vaincre les maladies de notre environnement*. Ed. Du Rocher, 1994.
- Nowak D.J., Crane D.E., (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environ Pollut*, 116(3), pp.1 – 9.
- Nowak D.J., Crane D.E., Stevens J.C., (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban For and Urban Greening*, 4, pp.115 – 123.
- Oberndorfer E., Lundholm J., Bass B., Coffman R.R., Doshi H., Dunnett N., *et al.*, (2007). Green roofs as urban ecosystems : Ecological structures, functions, and services. *Bioscience*, 57, pp.823 – 833.
- Ogungbe, A.S., Akintoye H., Idowu B.A., (2010). Effects of Gaseous Ions on the Environment and Human Performance. *Appl Sci Res*, 6, pp.130 – 133.
- Ohashi Y., Genchi Y., Kondo H., Kikegawa Y., Yoshikado H., Hirano Y., (2007). Influence of air-conditioning waste heat on air temperature in Tokyo during summer : numerical experiments using an urban canopy model coupled with a buildingenergy model. *J Appl Meteorol Clim*, 46, pp.61 – 81.
- Oke T.R., (1988). The urban energy balance. *Prog Phys Geog*, 12, pp.471 – 508.

- Oliverreau J.M., (1976). L'ionisation atmosphérique et ses conséquences sur le comportement des animaux et de l'homme. *Ann psychol*, 76(1), pp.213 – 244.
- O'Loan T., *The Green City : Public Paper*. Woods Bagot, Melbourne, 2009.
- Perez G., Rincon L., Vila A., Gonzalez J.M., Cabeza L.F., (2011). Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. *Energy Convers Manage*, 52, pp.1861 – 1867.
- Perini, K., Ottele M., Fraaij A.L.A., Haas E.M., Raiteri R., (2011). Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Build Environ*, 11, pp.2287 – 2294.
- Pohlman C.L., Turton S.M., Goosem M., (2009). Temporal variation in microclimatic edge effects near powerlines, highways and streams in Australian tropical rain-forest. *Agr Forest Meteorol*, 149, pp.84 – 95.
- Rayner J.P., Raynor K.J., Williams N.S.G., (2010). Facade greening : a case study from Melbourne, Australia. *Acta Horti*, 881, pp.709 – 713.
- Redondo-Brenes A., (2007). Growth, carbon sequestration, and management of native tree plantations in humid regions of Costa Rica. *New Forest*, 34, pp.253 – 268.
- Reilly T., Stevenson I.C., (1993). An investigation of the effects of negative air ions on responses to submaximal exercise at different times of day. *J Hum Ergol*, 22(1):1-9.
- Ren Y., Wei X., Pan J., Xie P., Song X., Peng D., *et al.*, (2011). Relationship between vegetation carbon storage and urbanization : A case study of Xiamen, China. *Forest Ecol Manag*, 261(1), pp.14 – 23.
- Riley W.J., McKone T.E., Lai A.C.K., Nazaroff W.W., (2002). Indoor particulate matter of outdoor origin : importance of size dependent removal mechanisms. *Environ Sci Technol*, 36(2), pp.1 – 7.
- Sailor D.J., (2008). A green roof model for building energy simulation programs. *Energ Buildings*, 40, pp.1466 – 1478.

- Selaya N.G., Anten N.P.R., Oomen R.J., Matthies M., Werger M.J.A., (2007). Above ground biomass investments and light interception of tropical forest trees and lianas early in succession. *Ann Bot*, 99, pp.141 – 151.
- Shepherd S.J., Beggs C.B., Smith C.F., Kerr K.G., Noakes C.J., Sleigh P.A., (2010). Effect of negative air ions on the potential for bacterial contamination of plastic medical equipment. *Bmc Infect Dis*, 12;10:92.
- Simon-Nobbe B., Denk U., Poll V., Rid R., Breitenbach M., (2008). The spectrum of fungal allergy, *Int Arch Allergy Imm*, 145, pp.58 – 86.
- Sobotova L., Jurkovicova J., Stefanikova Z., Sevcikova L., Aghova L., (2010). Community response to environmental noise and the impact on cardiovascular risk score. *Sci Total Environ*, 408(6), pp.64 – 70.
- Stansfeld S.A., Matheson M.P., (2003). Noise pollution: non auditory effects on health. *Brit Med Bull*, 68(1), pp.43 – 57.
- Stec W.J., Van Paassen A.H.C., Maziarz A., (2005). Modelling the double skin façade with plants. *Energ Buildings*, 37, pp.419 – 427.
- Stone J.B., Rodgers M.O., (2001). Urban form and thermal efficiency. *J Am Plann Assoc*, 67, pp.186.
- Taketomi E.A., Sopelete M.C., De Sousa Moreira P.F., De Assis Machado Vieira F., (2006). Pollen allergic disease : pollens and its major allergens. *Braz J Otorhinolaryngol*, 72, pp.532 – 567.
- Taha H., (1997). Urban climates and heat islands : albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energ Buildings*, 25, pp.99 – 103.
- Tallis M., Taylor G., Sinnett D., Freer-Smith P., (2011). Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments. *Landscape Urban Plan*, 103(2), pp.129 – 138.
- Tardieu A., *Traduction Nouvelle, Géographie de Strabon*, Ed. Paris, Hachette et Cie, 1867.

- Taylor A.F., Kuo F.E., Sullivan W.C., (2002). Views of nature and self-discipline : evidence from inner city children. *J Environ Psychol*, 22(12), pp.49 – 63.
- Terman M., Terman J.S., (2006). Controlled Trial of Naturalistic Dawn Simulation and Negative Air Ionization for Seasonal Affective Disorder. *Am J Psychiat*, 163(12):2126-33.
- Thornes J., Bloss W., Bouzarovski S., Cai X., Chapman L., Clark J., *et al.*, (2010). Communicating the value of atmospheric services. *Meteorol Appl*, 17(2), pp.43 – 50.
- Tyagi A.K., Malik A., (2010). Antimicrobial action of essential oil vapours and negative air ions against *Pseudomonas fluorescens*. *Int J Food Microbiol*, 143(3), pp.5 – 10.
- Tzoulas K., Korpela K., Venn S., Yli-Pelkonen V., Kazmierczak A., Niemela J., *et al.*, (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure : a literature review. *Landscape Urban Plan*, 81, pp.167 – 178.
- Ulrich R.S., (1981). Natural versus urban scenes : some psychophysiological effects. *Environ Behav*, 13(5), pp.523 – 556.
- Ulrich R.S., (1984). View through a window may influence recovery from Surgery. *Science*, 224, pp.420 – 421.
- Ulrich R.S., Simons R.F., Losito B.D., Fiorito E., Miles M.A., Zelson M., (1991). Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *J Environ Psychol*, 11(3), pp.201 – 230.
- Valladares F., Skillman J.B., Pearcy R.W., (2002). Convergence in light capture efficiencies among tropical forest understory plants with contrasting crown architectures : a case of morphological compensation. *Am J Bot*, 89, pp.1275 – 1284.
- Van den Berg A.E., Maas J., Verheij R.A., Groenewegen P.P., (2010). Green space as a buffer between stressful life events and health. *Soc Sci Med*, 70(8), pp.1203 – 1210.
- Van Renterghem T., Botteldooren D., (2011). In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs. *Build Environ*, 46(3), pp.729 – 738.
- Vialard N., *Jardinons à la verticale*. Ed. Rustica, 2010.
- Voltaire, *La princesse de Babylone et autres contes*. Editions de Cluny, 1942.

- Wang Y.-C., Lin J.-C., (2012). Air quality enhancement zones in Taiwan : A carbon reduction benefit assessment. *Forest Policy Econ*, 23, pp.40 – 45.
- Wang Y., Bakker F., De Groot R., Wörtche H., (2014). Effect of ecosystem services provided by urban green infrastructure on indoor environment : A literature review. *Build Environ* 77, pp.88 – 100.
- Warren P., Katti M., Ermann M., Brazel A. (2006). Urban bioacoustics : it's not just noise. *Anim Behav*, 71(3), pp.491 – 502.
- Watson B.K., Sheppard V., (2005). Managing respiratory effects of air pollution. *Aust Fam Physician*, 34, pp.1033 – 1036.
- Whitehead D., Beadle C.L., (2004). Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus. *For Ecol Manage*, 193, pp.113 – 140.
- Williams N.S.G., Rayner J.P., Raynor K.J., (2010). Green roofs for a wide brown land : opportunities and barriers for roof top greening in Australia. *Urban For Urban Gree*, 9, pp.245 – 251.
- Wong N.H., Kwang Tan A.Y., Chen Y., Sekar K., Tan P.Y., Chan D., *et al.*, (2010). Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Build Environ*, 45(3), pp.663 – 672.
- Yang J., McBride J., Zhou J., Sun Z., (2005). The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban For. Urban Green*, 3(2), pp.65 – 78.
- Yongkyu Lee, *Les Jardins suspendus de Babylone (documentaire)*. Junhoon Park : Junchul Lee, 2013.
- Zhang W., Ricketts T.H., Kremen C., Carney K., Swinton S.M., (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecol Econ*, 64, pp.253 – 260.
- Zipprich J.L, Harris S.A., Fox J.C, Borzelleca J.F., (2002). An analysis of factors that influence personal exposure to nitrogen oxides in residents of Richmond, Virginia. *J Expo Anal Env Epid*, 12(4), pp.273 – 285.

# SITOGRAFIE

---

- 1. CogiTerra. Dictionnaire Environnement.**  
[www.actu-environnement.com/](http://www.actu-environnement.com/)  
[www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition.php4](http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition.php4)  
Consulté en Juillet 2014.
  
- 2. Agence Locale de l'Énergie de l'agglomération lyonnaise.**  
[www.ale-lyon.org/](http://www.ale-lyon.org/)  
[www.ale-lyon.org/illustrations/HQE.jpg](http://www.ale-lyon.org/illustrations/HQE.jpg)  
Consulté en Juillet 2014.
  
- 3. Atelier Parisien d'Urbanisme. Étude sur le potentiel de végétalisation des toitures terrasses à Paris.**  
[www.apur.org/](http://www.apur.org/)  
[www.apur.org/sites/default/files/documents/vegetalisation\\_toitures\\_terrasses.pdf](http://www.apur.org/sites/default/files/documents/vegetalisation_toitures_terrasses.pdf)  
Consulté en Novembre 2013.
  
- 4. Archaeology News Network. David Keys. The hanging gardens 'were not in Babylon'.**  
[www.archaeologynewsnetwork.blogspot.fr/](http://www.archaeologynewsnetwork.blogspot.fr/)  
[www.archaeologynewsnetwork.blogspot.fr/2013/05/the-hanging-gardens-were-not-in-babylon.html](http://www.archaeologynewsnetwork.blogspot.fr/2013/05/the-hanging-gardens-were-not-in-babylon.html)  
Consulté en Juillet 2014.
  
- 5. Association Haute Qualité Environnementale. Pour une contribution méthodologique aux éco-quartiers : la démarche HQE aménagement.**  
[www.assohqe.org/hqe/](http://www.assohqe.org/hqe/)  
[www.assohqe.org/hqe/IMG/pdf/HQEAMT\\_2012.pdf](http://www.assohqe.org/hqe/IMG/pdf/HQEAMT_2012.pdf)  
Consulté en Juillet 2014.
  
- 6. Biosphere-Atmosphere Interactions Group, Atmospheric Chemistry Division. Biogenic Volatile Organic Compounds Data.**  
<http://bai.acd.ucar.edu/Data/index.shtml>  
<http://bai.acd.ucar.edu/Data/BVOC/>  
Consulté en Juillet 2014.

**7. Tirawa. Cambodge : Balade chez les Khmers.**

<http://blog.tirawa.com/>

<http://blog.tirawa.com/balade-au-cambodge/2011/01/20/150111-beng-mealea-et-kok-ker-2/>

Consulté en Novembre 2013.

**8. The British Museum. Stone panel from the North Palace of Ashurbanipal.**

[www.britishmuseum.org](http://www.britishmuseum.org)

[www.britishmuseum.org/explore/highlights/highlight\\_objects/me/s/stone\\_panel\\_north\\_palace-4.aspx](http://www.britishmuseum.org/explore/highlights/highlight_objects/me/s/stone_panel_north_palace-4.aspx)

Consulté en Juillet 2014.

**9. The British Museum. The Taylor prism.**

[www.britishmuseum.org](http://www.britishmuseum.org)

[www.britishmuseum.org/explore/highlights/highlight\\_objects/me/t/the\\_taylor\\_prism.aspx](http://www.britishmuseum.org/explore/highlights/highlight_objects/me/t/the_taylor_prism.aspx)

Consulté en Juillet 2014.

**10. Kurt Stüber. Index of 4000 botanical images.**

<http://caliban.mpiz-koeln.mpg.de/mavica/index.html>

<http://caliban.mpiz-koeln.mpg.de/mavica/high/1500/01189.html>

Consulté en Octobre 2014.

**11. Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies renouvelables. Climat et environnement.**

[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

[www.cea.fr/jeunes/mediatheque/animations-flash/climat-environnement/l-effet-d-albedo](http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/animations-flash/climat-environnement/l-effet-d-albedo)

Consulté en Juillet 2014.

**12. Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique. Yelva Roustan. Pollution et aérocontamination.**

<http://cerea.enpc.fr/fr/>

[http://cerea.enpc.fr/fich/support\\_cours/SGE\\_M2/2011\\_2012/SGE-Depots.pdf](http://cerea.enpc.fr/fich/support_cours/SGE_M2/2011_2012/SGE-Depots.pdf)

Consulté en Juillet 2014.

**13. City of Sydney. Green roofs and walls.**

[www.cityofsydney.nsw.gov.au](http://www.cityofsydney.nsw.gov.au)

[www.cityofsydney.nsw.gov.au/vision/towards-2030/sustainability/greening-the-city/green-roofs-and-walls](http://www.cityofsydney.nsw.gov.au/vision/towards-2030/sustainability/greening-the-city/green-roofs-and-walls)

Consulté en Octobre 2014.

**14. Mussagora. Histoire de l'Orient de Ctésias De Cnide, traduction Anonyme.**

[www.cndp.fr/archive-musagora/site.htm](http://www.cndp.fr/archive-musagora/site.htm)

[www.cndp.fr/archive-](http://www.cndp.fr/archive-musagora/merveilles/merveillesfr/jardins/Textes_grecs/ctesias_francais.pdf)

[musagora/merveilles/merveillesfr/jardins/Textes\\_grecs/ctesias\\_francais.pdf](http://www.cndp.fr/archive-musagora/merveilles/merveillesfr/jardins/Textes_grecs/ctesias_francais.pdf)

Consulté en Juillet 2014.

**15. Centre National de la Recherche Scientifique. Le climat de la Terre.**

[www.cnrs.fr/](http://www.cnrs.fr/)

[www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/contenu/alternative/alter\\_etape1\\_4.html](http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/contenu/alternative/alter_etape1_4.html)

Consulté en Juillet 2014.

**16. A'Design Award and Competiton. Baobab Garden.**

[www.competition.adesignaward.com](http://www.competition.adesignaward.com)

[www.competition.adesignaward.com/design.php?ID=32192](http://www.competition.adesignaward.com/design.php?ID=32192)

Consulté en Octobre 2014.

**17. Imago Mundi. Encyclopédie.**

[www.cosmovisions.com](http://www.cosmovisions.com)

[www.cosmovisions.com/CharlesLeBrun.htm](http://www.cosmovisions.com/CharlesLeBrun.htm)

Consulté en Aout 2013.

**18. Imago Mundi. Encyclopédie.**

[www.cosmovisions.com](http://www.cosmovisions.com)

[www.cosmovisions.com/images/temple-Ephese.jpg](http://www.cosmovisions.com/images/temple-Ephese.jpg)

Consulté en Octobre 2014.

**19. Chrisitina Homem De Mello. Les Indiens des plaines, exposition au musée Quai Branly.**

[www.cristinamello.com.br](http://www.cristinamello.com.br)

[www.cristinamello.com.br/?p=30856](http://www.cristinamello.com.br/?p=30856)

Consulté en Septembre 2014.

**20. Danielle Birck. L'Oasis d'Aboukir : Patrick Blanc de retour à Paris.**

[www.debelleschoses.com](http://www.debelleschoses.com)

[www.debelleschoses.com/2013/09/14/loasis-daboukir-patrick-blanc-de-retour-a-paris/](http://www.debelleschoses.com/2013/09/14/loasis-daboukir-patrick-blanc-de-retour-a-paris/)

Consulté en Octobre 2014.

**21. L'archéologue Harry. DestiOaxaca, Hierve el Agua : les Cascades Pétrifiées.**

[www.destioaxaca.com/index.html](http://www.destioaxaca.com/index.html)

[www.destioaxaca.com/Hierve\\_El\\_Agua.html](http://www.destioaxaca.com/Hierve_El_Agua.html)

Consulté en Octobre 2014.

**22. Ministère des Affaires sociales et de la Santé. Les locaux des professionnels de santé : réussir l'accessibilité.**

[www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr)

[www.developpement-durable.gouv.fr/Les-locaux-des-professionnels-de.html](http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-locaux-des-professionnels-de.html)

Consulté en Juillet 2014.

**23. Dezeen Magazine. ParkRoyal on Pickering by WHOA.**

[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)

[www.dezeen.com/2013/10/10/parkroyal-on-pickering-by-woha/](http://www.dezeen.com/2013/10/10/parkroyal-on-pickering-by-woha/)

Consulté en Octobre 2014.

**24. Stéphane Varignier. Les poussières : définitions et rappels.**

[www.dte.gouv.nc/portal/page/portal/dte/](http://www.dte.gouv.nc/portal/page/portal/dte/)

[www.dte.gouv.nc/portal/page/portal/dte/librairie/fichiers/1\\_definitions\\_rappels.pdf](http://www.dte.gouv.nc/portal/page/portal/dte/librairie/fichiers/1_definitions_rappels.pdf)

Consulté en Juillet 2014.

**25. Pierre Davoust. EcoSocioSystème.**

[www.ecosociosystemes.fr](http://www.ecosociosystemes.fr)

[www.ecosociosystemes.fr/karst.html](http://www.ecosociosystemes.fr/karst.html)

Consulté en Octobre 2014.

**26. Université Virtuelle Environnement et Développement Durable.**

**Environnement terrestre, les caractéristiques spectrales de la végétation.**

<http://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uvcal/html/index.html>

<http://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uvcal/html/vegetation/caracteristique-vegetation/structure.html>

Consulté en Juillet 2014.

**27. Patricia Hamilton. Eden Project**

[www.eden-project.co.uk](http://www.eden-project.co.uk)

Consulté en Octobre 2014.

**28. Les Jardins suspendus de Babylone imaginés par des artistes du XVe au XXe siècle.**

[www.editionsdufaune.com](http://www.editionsdufaune.com)

[www.editionsdufaune.com/2014\\_04\\_01\\_archive.html](http://www.editionsdufaune.com/2014_04_01_archive.html)

Consulté en Aout 2014.

**29. Energie d'avenir. Bâtiment et démarche HQE.**

[www.energies-davenir.com](http://www.energies-davenir.com)

[www.energies-davenir.com/bibliotheque-ea/batiments\\_publics/brochure\\_hqe.pdf](http://www.energies-davenir.com/bibliotheque-ea/batiments_publics/brochure_hqe.pdf)

Consulté en Juillet 2014.

**30. Laboratoire expanscience. Les bonnes pratiques en pharmacie pour un développement durable.**

[www.expanscience.com/fr](http://www.expanscience.com/fr)

[www.expanscience.com/fr/ddpopups/video12fr](http://www.expanscience.com/fr/ddpopups/video12fr)

Consulté en Septembre 2013.

**31. Les galeries virtuelles de la bibliothèque nationale de France. Le panthéon d'Homère.**

[www.expositions.bnf.fr](http://www.expositions.bnf.fr)

[www.expositions.bnf.fr/homere/it/302/02.htm](http://www.expositions.bnf.fr/homere/it/302/02.htm)

Consulté en Octobre 2014.

**32. Natural Resources Management and Environment Department. Crop evapotranspiration.**

[www.fao.org](http://www.fao.org)

[www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e04.htm](http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e04.htm)

Consulté en Juillet 2014.

**33. Rainer Mnke. Naturgucker.**

[www.flickr.com](http://www.flickr.com)

[www.flickr.com/photos/12639178@N07/6986316562/in/photostream/](http://www.flickr.com/photos/12639178@N07/6986316562/in/photostream/)

Consulté en Novembre 2013.

**34. GeoWiki. Relief karstique.**

[www.geowiki.fr/index.php?title=Portail](http://www.geowiki.fr/index.php?title=Portail)

[www.geowiki.fr/index.php?title=Relief\\_karstique](http://www.geowiki.fr/index.php?title=Relief_karstique)

Consulté en Octobre 2014.

**35. Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble. Glossaire natures urbaines.**

[www.grenoble.archi.fr/](http://www.grenoble.archi.fr/)

[www.grenoble.archi.fr/cours-en-ligne/M1CV/glossaire-natures-urbaines.pdf](http://www.grenoble.archi.fr/cours-en-ligne/M1CV/glossaire-natures-urbaines.pdf)

Consulté en Août 2014.

**36. Hargraves Nursery. Garden by the Bay, Singapour.**

[www.hargravesnursery.com.au/](http://www.hargravesnursery.com.au/)

[www.hargravesnursery.com.au/knowledge/articles/gardens-by-the-bay-singapore#.VJCpc8mDmSo](http://www.hargravesnursery.com.au/knowledge/articles/gardens-by-the-bay-singapore#.VJCpc8mDmSo)

Consulté en Septembre 2014.

**37. The Heat Island Group, Lawrence Berkeley. Urban heat island : overview.**

<http://heatisland.lbl.gov/>

<http://heatisland.lbl.gov/coolscience>

Consulté en Août 2014.

**38. Home Vegetal. Murs végétaux.**

[www.homevegetal.fr/](http://www.homevegetal.fr/)

[www.homevegetal.fr/murs-vegetaux.php](http://www.homevegetal.fr/murs-vegetaux.php)

Consulté en Septembre 2014.

**39. Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat. Piégeage et stockage du dioxyde de carbone. Résumé à l'attention des décideurs.**

[www.ipcc.ch/](http://www.ipcc.ch/)

[www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs\\_spm\\_ts\\_fr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_spm_ts_fr.pdf)

Consulté en Octobre 2014.

**40. Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat. Activités du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.**

[www.ipcc.ch/](http://www.ipcc.ch/)

[www.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_french.shtml](http://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.shtml)

Consulté en Juillet 2014.

**41. Institut de Recherche pour le Développement. La démarche qualité dans un Institut de Recherche.**

[www.ird.fr/](http://www.ird.fr/)

[www.ird.fr/var/ird/storage/images/media/images/illustrations/demarche-qualite/la-roue-de-deming/69322-1-fre-FR/la-roue-de-deming.gif](http://www.ird.fr/var/ird/storage/images/media/images/illustrations/demarche-qualite/la-roue-de-deming/69322-1-fre-FR/la-roue-de-deming.gif)

Consulté en Octobre 2014.

**42. Jardins de Babylone. Arbre baobab.**

[www.jardinsdebabylone.fr](http://www.jardinsdebabylone.fr)

[www.jardinsdebabylone.fr/projects/design-vegetal/arbre-baobab/](http://www.jardinsdebabylone.fr/projects/design-vegetal/arbre-baobab/)

Consulté en Septembre 2014.

**43. Jardins de Babylone. Corsairfly.**

[www.jardinsdebabylone.fr](http://www.jardinsdebabylone.fr)

[www.jardinsdebabylone.fr/projects/design-vegetal/corsairfly-2/](http://www.jardinsdebabylone.fr/projects/design-vegetal/corsairfly-2/)

Consulté en Octobre 2014.

**44. Jardins de Babylone. Bulles végétales.**

[www.jardinsdebabylone.fr](http://www.jardinsdebabylone.fr)

[www.jardinsdebabylone.fr/projects/design-vegetal/les-bulles-3/](http://www.jardinsdebabylone.fr/projects/design-vegetal/les-bulles-3/)

Consulté en Octobre 2014.

**45. Laboratoire d'analyse de l'eau, des aliments et des surfaces. Degré hydrométrique.**

[www.laease.com/](http://www.laease.com/)

[www.laease.com/degre-hydrotimetrique.html](http://www.laease.com/degre-hydrotimetrique.html)

Consulté en Août 2014.

**46. Landscape Architects Network. Gardens by the Bay in Singapore**

<http://landarchs.com>

<http://landarchs.com/wp-content/uploads/2014/07/Grants.jpg>

Consulté en Octobre 2014.

**47. Julien Tilmant. Le parking Perrache à Lyon.**

[www.lyoncapitale.fr/Journal/Lyon](http://www.lyoncapitale.fr/Journal/Lyon)

[www.lyoncapitale.fr/Journal/Lyon/Actualite/Environnement](http://www.lyoncapitale.fr/Journal/Lyon/Actualite/Environnement)

Consulté en Juillet 2014.

**48. Millennium Ecosystem Assessment. Les écosystèmes et le bien-être de l'Homme : un cadre d'évaluation.**

[www.millenniumassessment.org/fr/index.html](http://www.millenniumassessment.org/fr/index.html)

[www.millenniumassessment.org/documents/document.6.aspx.pdf](http://www.millenniumassessment.org/documents/document.6.aspx.pdf)

Consulté le en Juillet 2014.

**49. Millennium Ecosystem Assessment. MEA finding.**

[www.millenniumassessment.org/fr/index.html](http://www.millenniumassessment.org/fr/index.html)

[www.millenniumassessment.org/en/Synthesis.html](http://www.millenniumassessment.org/en/Synthesis.html)

Consulté le en Juillet 2014.

**50. Patrick Bingham-Hall. Skyrise Greenery Awards.**

[www.mnd.gov.sg/mndlink/2014/2014\\_Jan-Feb/index.htm](http://www.mnd.gov.sg/mndlink/2014/2014_Jan-Feb/index.htm)

[www.mnd.gov.sg/mndlink/2014/2014\\_Jan-Feb/SkyriseGreeneryAwards2013.htm](http://www.mnd.gov.sg/mndlink/2014/2014_Jan-Feb/SkyriseGreeneryAwards2013.htm)

Consulté en Octobre 2014.

**51. Patrick Blanc. Inspirations.**

[www.murvegetalpatrickblanc.com](http://www.murvegetalpatrickblanc.com)

[www.murvegetalpatrickblanc.com/inspiration/cascades](http://www.murvegetalpatrickblanc.com/inspiration/cascades)

Consulté en Octobre 2014.

**52. Patrick Blanc. Premier Brevet du Mur Végétal.**

[www.murvegetalpatrickblanc.com](http://www.murvegetalpatrickblanc.com)

[www.murvegetalpatrickblanc.com/patrick-blanc/dates-clefs](http://www.murvegetalpatrickblanc.com/patrick-blanc/dates-clefs)

Consultés en Octobre 2014.

**53. Patrick Blanc. Mur végétal dans le Sofitel Palm Jumeirah.**

[www.murvegetalpatrickblanc.com](http://www.murvegetalpatrickblanc.com)

[www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/dubai](http://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/dubai)

Consulté en Octobre 2014.

**54. Patrick Blanc. Réalisations en Asie.**

[www.murvegetalpatrickblanc.com](http://www.murvegetalpatrickblanc.com)

[www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/hong-kong/icon-hotel-hong-kong-polytechnic-university](http://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/hong-kong/icon-hotel-hong-kong-polytechnic-university)

Consulté en Octobre 2014.

**55. Patrick Blanc. Réalisations à Londres.**

[www.murvegetalpatrickblanc.com](http://www.murvegetalpatrickblanc.com)

[www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/londres/athenaeum-hotel](http://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/londres/athenaeum-hotel)

Consulté en Octobre 2014.

**56. Patrick Blanc. Réalisations à Lyon.**

[www.murvegetalpatrickblanc.com](http://www.murvegetalpatrickblanc.com)

[www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/lyon/parking-perrache-lyon](http://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/lyon/parking-perrache-lyon)

Consulté en Septembre 2014.

**57. Patrick Blanc. Réalisations à Dubaï.**

[www.murvegetalpatrickblanc.com](http://www.murvegetalpatrickblanc.com)

[www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/middle-east/dubai](http://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/middle-east/dubai)

Consulté en Octobre 2014.

**58. Patrick Blanc. Mur végétal, Réalisations à Paris.**

[www.murvegetalpatrickblanc.com](http://www.murvegetalpatrickblanc.com)

[www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/paris-ile-de-france/cite-des-sciences-et-de-lindustrie-de-la-villette-paris](http://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/paris-ile-de-france/cite-des-sciences-et-de-lindustrie-de-la-villette-paris)

Consulté en Octobre 2014.

**59. Patrick Blanc. Réalisations, L'Oasis d'Aboukir, Hymne à la Biodiversité.**

[www.murvegetalpatrickblanc.com](http://www.murvegetalpatrickblanc.com)

[www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/paris-ile-de-france/loasis-daboukir-paris-angle-rue-d-aboukir-rue-des-petits-carreaux](http://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/paris-ile-de-france/loasis-daboukir-paris-angle-rue-d-aboukir-rue-des-petits-carreaux)

Consulté en Septembre 2014.

**60. Patrick Blanc. Mur végétal, Réalisations à Paris.**

[www.murvegetalpatrickblanc.com](http://www.murvegetalpatrickblanc.com)

[www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/paris-ile-de-france/maison-de-patrick-blanc](http://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/paris-ile-de-france/maison-de-patrick-blanc)

Consulté en Septembre 2014.

**61. Patrick Blanc. Réalisations à Paris.**

[www.murvegetalpatrickblanc.com](http://www.murvegetalpatrickblanc.com)

[www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/paris-ile-de-france/musee-du-quai-branly](http://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/paris-ile-de-france/musee-du-quai-branly)

Consulté en Septembre 2014.

**62. Patrick Blanc. Réalisations en Provence.**

[www.murvegetalpatrickblanc.com](http://www.murvegetalpatrickblanc.com)

[www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/provence-cote-d-azur/pont-max-juvenal-aix-en-provence](http://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/provence-cote-d-azur/pont-max-juvenal-aix-en-provence)

Consulté en Septembre 2014.

**63. Patrick Blanc. Réalisations, One Central Park, Sydney.**

[www.murvegetalpatrickblanc.com](http://www.murvegetalpatrickblanc.com)

[www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/sydney/one-central-park-sydney](http://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/sydney/one-central-park-sydney)

Consulté en Octobre 2014.

**64. Patrick Blanc. Réalisations.**

[www.murvegetalpatrickblanc.com](http://www.murvegetalpatrickblanc.com)

[www.murvegetalpatrickblanc.com/sites/default/files/styles/slideshow/public/media\\_s/image/9-5-201011-50-55578.jpg](http://www.murvegetalpatrickblanc.com/sites/default/files/styles/slideshow/public/media_s/image/9-5-201011-50-55578.jpg)

Consulté en Septembre 2014.

**65. NYC Buildings. Green roofs.**

[www.nyc.gov](http://www.nyc.gov)

[www.nyc.gov/html/dob/html/sustainability/green\\_roofs.shtml](http://www.nyc.gov/html/dob/html/sustainability/green_roofs.shtml)

Consulté en Octobre 2014.

**66. PlaNYC. About PlaNYC.**

[www.nyc.gov](http://www.nyc.gov)

[www.nyc.gov/html/planyc/html/about/about.shtml](http://www.nyc.gov/html/planyc/html/about/about.shtml)

Consulté en Octobre 2014.

**67. Observatoire FIBRA. Bâtiment et démarche HQE.**

<http://observatoire.fibra.net/>

<http://observatoire.fibra.net/IMG/pdf/brochure-hqe-2007-2.pdf>

Consulté en Juillet 2014.

**68. OBI, Old Book Illustration. Le mausolée d'Halicarnasse.**

[www.oldbookillustrations.com/](http://www.oldbookillustrations.com/)

[www.oldbookillustrations.com/pages/halicarnassus-mausoleum.php?lng=fr](http://www.oldbookillustrations.com/pages/halicarnassus-mausoleum.php?lng=fr)

Consulté en Octobre 2014.

**69. Mairie de Paris. Le Plan Climat.**

[www.paris.fr](http://www.paris.fr)

[www.paris.fr/pratique/energie-plan-climat/le-plan-climat-de-paris/le-plan-climat-de-paris/rub\\_8413\\_stand\\_69591\\_port\\_19609](http://www.paris.fr/pratique/energie-plan-climat/le-plan-climat-de-paris/le-plan-climat-de-paris/rub_8413_stand_69591_port_19609)

Consulté en Octobre 2014.

**70. Mairie de Paris. Le livre Bleu.**

[www.paris.fr](http://www.paris.fr)

[www.paris.fr/pratique/environnement/eau/le-livre-bleu/rub\\_134\\_stand\\_121837\\_port\\_3119](http://www.paris.fr/pratique/environnement/eau/le-livre-bleu/rub_134_stand_121837_port_3119)

Consulté en Octobre 2014.

**71. Mairie de Paris. Le Plan Biodiversité.**

[www.paris.fr](http://www.paris.fr)

[www.paris.fr/pratique/paris-au-vert/nature-et-biodiversite/plan-biodiversite/rub\\_9233\\_stand\\_109572\\_port\\_22522](http://www.paris.fr/pratique/paris-au-vert/nature-et-biodiversite/plan-biodiversite/rub_9233_stand_109572_port_22522)

Consulté en Octobre 2014.

**72. Nadia Pla. La Mésopotamie vue par les Grecs et les Romains.**

<http://patrick.nadia.pagesperso-orange.fr/>

<http://patrick.nadia.pagesperso-orange.fr/MesopotamieGrecs.html>

- 73. Le Petit Patrimoine. Cascades Pétrifiantes à Roquefort-les-Cascades.**  
[www.petit-patrimoine.com/index.php](http://www.petit-patrimoine.com/index.php)  
[www.petit-patrimoine.com/fiche-petit-patrimoine.php?id\\_pp=09250\\_1](http://www.petit-patrimoine.com/fiche-petit-patrimoine.php?id_pp=09250_1)  
Consulté en Octobre 2014.
- 74. Philippe Remacle. L'antiquité grecque et latine du moyen âge, Géographie.**  
<http://remacle.org/>  
<http://remacle.org/bloodwolf/erudits/strabon/livre161.htm>  
Consulté en Septembre 2014.
- 75. Philippe Remacle. L'antiquité grecque et latine du moyen âge, Bibliothèque historique.**  
<http://remacle.org/>  
<http://remacle.org/bloodwolf/historiens/diodore/>  
Consulté en Septembre 2014.
- 76. Philippe Remacle. L'antiquité grecque et latine du moyen âge, Histoire d'Hérodote.**  
<http://remacle.org>  
<http://remacle.org/bloodwolf/historiens/herodote/cliio.htm>  
Consulté en Octobre 2014.
- 77. Philippe Remacle. L'antiquité grecque et latine du moyen âge, Livre Cinquième.**  
<http://remacle.org/>  
<http://remacle.org/bloodwolf/historiens/quintecurce/cinq.htm>  
Consulté en Octobre 2014.
- 78. Skyrise Greenery. Skyrise Greenery Award.**  
[www.skyrisegreenery.com](http://www.skyrisegreenery.com)  
[www.skyrisegreenery.com/index.php/home/awards/SGA\\_main/](http://www.skyrisegreenery.com/index.php/home/awards/SGA_main/)  
Consulté en Octobre 2014.

**79. Skyrise Greenery. Introduction, what is Skyrise Greenery.**

Skyrise Greenery. [www.skyrisegreenery.com](http://www.skyrisegreenery.com)

[www.skyrisegreenery.com/index.php/home/skyrise/skyrise\\_greenery/](http://www.skyrisegreenery.com/index.php/home/skyrise/skyrise_greenery/)

Consulté en Octobre 2014.

**80. Skyrise Greenery. Projects.**

[www.skyrisegreenery.com](http://www.skyrisegreenery.com)

[www.skyrisegreenery.com/index.php/projects/all/P10/](http://www.skyrisegreenery.com/index.php/projects/all/P10/)

Consulté en Octobre 2014.

**81. Plaskoff Horton Robin. PhytoKinetic : Lightweight Green Roof System For City Buses and Vehicles.**

[www.urbangardensweb.com](http://www.urbangardensweb.com)

[www.urbangardensweb.com/2013/07/24/phyto-kinetic-green-roofs-for-city-buses-and-improved-urban-ecosystem/](http://www.urbangardensweb.com/2013/07/24/phyto-kinetic-green-roofs-for-city-buses-and-improved-urban-ecosystem/)

Consulté en Octobre 2014.

**82. Victoria Gasteiz. El anillo verde interior, hacia una infraestructura verde urbana en Vitoria-Gasteiz.**

[www.vitoria-gasteiz.org](http://www.vitoria-gasteiz.org)

[www.vitoria-gasteiz.org/wb021/http/contenidosEstaticos/adjuntos/es/44/11/44411.pdf](http://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/http/contenidosEstaticos/adjuntos/es/44/11/44411.pdf)

Consulté en Octobre 2014.

**83. Wikimedia. Davallia canariensis.**

<http://commons.wikimedia.org/wiki/>

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Davallia\\_canariensis\\_cult1.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Davallia_canariensis_cult1.jpg)

Consulté en Octobre 2014.

**84. Wikimedia. Ficus benghalensis poussant sur un mur en Chine.**

<http://commons.wikimedia.org/wiki/>

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:HK\\_Forbes\\_Street\\_Kennedy\\_Town\\_Stone\\_Wall\\_Trees\\_n\\_Minibus.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:HK_Forbes_Street_Kennedy_Town_Stone_Wall_Trees_n_Minibus.JPG)

Consulté en Novembre 2013.

**85. Wikimedia. Les jardins suspendus de Babylone.**

[http://commons.wikimedia.org/wiki/Main\\_Page](http://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hanging\\_Gardens\\_of\\_Babylon.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hanging_Gardens_of_Babylon.jpg)

Consulté en Juillet 2014.

**86. Academic encyclopédie. Hypoestes.**

[www.fracademic.com/](http://www.fracademic.com/)

[www.academic.ru/dic.nsf/frwiki/1969956](http://www.academic.ru/dic.nsf/frwiki/1969956)

Consulté en Octobre 2014.

**87. Wikimedia. Pilea involucrata.**

[http://commons.wikimedia.org/wiki/Main\\_Page](http://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pilea\\_involucrata\\_%28Sims%29\\_Urban\\_Moon\\_Valley.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pilea_involucrata_%28Sims%29_Urban_Moon_Valley.jpg)

Consulté en Octobre 2014.

**88. Wikimedia. La pyramide de Khéops.**

[http://commons.wikimedia.org/wiki/Main\\_Page](http://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page)

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kheops-apotheme-description.jpg>

Consulté en Septembre 2014.

**89. Wolverton Environmental Services, Inc. Indoor air pollution.**

[www.wolvertonenvironmental.com](http://www.wolvertonenvironmental.com)

[www.wolvertonenvironmental.com/air.htm](http://www.wolvertonenvironmental.com/air.htm)

Consulté en Juillet 2014.

**90. Grant Associated. Gardens by the Bay.**

[www.youtube.com](http://www.youtube.com)

[www.youtube.com/watch?v=geKHBz8JUhE](http://www.youtube.com/watch?v=geKHBz8JUhE)

Consulté en Novembre 2014.

**91. Zoonar. Lagerstroemia calyculata.**

[www.zoonar.de/](http://www.zoonar.de/)

[www.zoonar.de/photo/wuergefeige-lagerstroemia-calyculata-sralao-lythraceae-tempelanlage-angkor-wat-kambodscha-asien\\_1033377.html](http://www.zoonar.de/photo/wuergefeige-lagerstroemia-calyculata-sralao-lythraceae-tempelanlage-angkor-wat-kambodscha-asien_1033377.html)

Consulté en Novembre 2014.

# SERMENT DE GALIEN

Je jure d'**honorer** ceux qui m'ont instruit dans les **préceptes** de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant **fidèle** à leur enseignement.

D'exercer dans l'intérêt de la Santé publique ma profession avec **conscience** et de **respecter** non seulement la législation en vigueur mais aussi les règles de l'Honneur, de la Probité et du Désintéressement.

De ne jamais oublier ma **responsabilité** et mes **devoirs** envers le malade et sa dignité humaine.

De ne dévoiler à personne les **secrets** qui m'auraient été confiés ou dont j'aurais eu connaissance dans l'exercice de ma Profession.

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes **connaissances** et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser les actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur **estime** si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois méprisé de mes Confrères si je manque à mes **engagements**.



## **SANKARI Emilie Rizan**

### **Végétalisation des toits et murs urbains. Application à l'officine.**

Th. D. Pharm., Rouen, 2015, 219 p.

---

#### **RESUME**

La végétalisation des toits et murs urbains est un concept émergent du XXIème siècle qui trouve son origine dans les célèbres jardins suspendus de l'époque babylonienne. Bien que l'intégration du végétal au sein des villes urbaines soit courante, la présence de structures végétalisées verticales sur les murs, et horizontales sur les toits des bâtiments, constitue une véritable nouveauté dans l'aménagement de l'espace urbain. Par ailleurs, elle participe au concept de biophilie, notion introduite par le scientifique Edward Osborne Wilson. Le premier à développer le concept des murs végétaux est le chercheur Patrick Blanc dont les célèbres réalisations fleurissent partout dans le monde. De plus en plus de villes des cinq continents intègrent les murs et toits végétalisés dans leur Plan Local d'Urbanisme. Le concept peut même être étendu à la pharmacie, apportant une atmosphère de bien-être et oxygénant l'espace, tout en valorisant les produits de parapharmacie. Le mur végétal à l'officine constituerait l'innovation de l'officine contemporaine.

---

#### **MOTS CLES**

Végétalisation – Mur urbain végétalisé – Toit urbain végétalisé – Aménagement officine – Biophilic – Patrick Blanc – Jardins suspendus – VGTal 3Design

---

#### **JURY**

Président : Mme Elisabeth SEGUIN, Professeur à l'UFR de Rouen

Membres : Mlle Marie-Laure GROULT, Maître de Conférences à l'UFR de Rouen  
Mr Francis DURAN, Docteur en Pharmacie à Rouen

---

#### **DATE DE SOUTENANCE**

Le 23 Janvier 2015