

Travail de fin d'études / Projet de fin d'études : Evaluation de la durabilité de solutions d'intégration de la nature dans l'architecture : Analyse de différentes méthodes

Auteur : Mailfert, Johra

Promoteur(s) : Reiter, Sigrid

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master en ingénieur civil architecte, à finalité spécialisée en ingénierie architecturale et urbaine

Année académique : 2021-2022

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/14602>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Année 2021-2022

Évaluation de la durabilité de solutions d'intégration de la nature dans l'architecture :

Analyse de différentes méthodes

Travail de fin d'études réalisé en vue de l'obtention du grade de master Ingénieur Civil-Architecte par Johra MAILFERT

Promotrice : Pr. Sigrid REITER

Jury : Xaviera CALIXTE, Aurélie DE BOISSIEU, Khansa DHAOUADI et Iris REUTER



Université de Liège – Faculté des Sciences Appliquées

Année académique 2021 - 2022

ABSTRACT

The construction industry is still one of the biggest contributors to CO₂ emissions and other negative environmental impacts, such as damage to biodiversity. Therefore, more and more buildings are designed to limit their environmental impacts from the design phase. In this context of sustainable design, several types of architecture are emerging. This thesis presents and analyses nature-based architecture, defined by the vegetation of its walls and/or spaces. More specifically, it studies the vegetation of buildings as a potential solution for sustainable and environmentally friendly construction.

Firstly, a state of the art is presented to highlight the main issues and current limits of vegetation on buildings. Then, the HQE approach, the WELL Standard Building method and the TOTEM tool are studied to compare the use of different technical systems resulting from nature-based architecture. Subsequently, interviews with actors involved in the design of projects that incorporate vegetation give an overview of the vision of this type of architecture in the professional world. Finally, streets interviews in front of the living wall of the quai Branly - Jacques Chirac museum allows us to see how architecture that incorporates vegetation on buildings is positioned in the minds of citizens.

The results obtained show the still weak use of nature-based architecture in environmental assessment methods. They highlight the opinions that sometimes diverge even among the actors of the architectural design. However, the analysis of the user interviews reveals the ecological sensitivity of citizens and their consideration for an ecological transition towards greener cities.

RESUME

Le domaine de la construction est encore aujourd'hui un des plus grands secteurs responsables des émissions de CO₂ et d'autres impacts néfastes sur l'environnement, tels que le dommage à la biodiversité. C'est pourquoi de plus en plus de bâtiments sont pensés pour limiter leurs impacts environnementaux dès la phase de conception. Dans cette optique de conception durable, plusieurs types d'architecture émergent. Ce mémoire présente et analyse l'architecture verte, définie par la végétalisation de ses parois et/ou de ses espaces. Il étudie plus particulièrement la végétalisation des bâtiments comme une solution potentielle pour construire durablement et dans le respect de l'environnement.

Dans un premier temps, un état de l'art permet de mettre en évidence les principaux enjeux et les limites actuelles de la végétalisation des bâtiments. Ensuite, la démarche HQE, la méthode WELL Standard Building et l'outil TOTEM sont étudiés pour comparer l'utilisation des différents systèmes techniques issus de l'architecture verte. Par la suite, des interviews d'acteurs impliqués dans la conception de projets d'architecture verte donnent un aperçu de la vision de ce type d'architecture dans le monde professionnel. Et enfin, la réalisation d'un micro-trottoir devant la façade végétale du musée du quai Branly - Jacques Chirac permet de constater le positionnement de l'architecture verte dans les mentalités des citoyens.

Les résultats obtenus montrent l'utilisation encore faible de l'architecture verte dans les méthodes d'évaluation environnementale. Ils mettent en évidence les avis qui divergent parfois aussi parmi les acteurs de la conception. L'analyse des interviews des usagers révèle toutefois la sensibilité écologique des citoyens et leur considération pour une transition écologique vers des villes plus vertes.

REMERCIEMENTS

Je voudrais, tout d'abord, remercier ma promotrice, Madame Sigrid REITER pour ses conseils avisés, son suivi constant tout au long de l'année et sa disponibilité.

Je tiens à remercier, ensuite, les membres de mon jury, Madame Xaviera CALIXTE, Madame Aurélie DE BOISSIEU, Madame Khansa DHAOUDI et Madame Iris REUTER pour leur aide et le temps qu'elles consacreront à la lecture de ce mémoire.

Merci également aux concepteurs qui se sont rendus disponibles pour mes entretiens et qui m'ont partagé leurs connaissances.

Je tiens aussi à remercier mes parents pour leur soutien et leur dévouement.

Je remercie également mes amis qui m'ont encouragée et ont été présents jusqu'à l'accomplissement de ce travail.

Table des matières

INTRODUCTION	8
1. CONTEXTE	8
2. OBJECTIFS	9
3. STRUCTURE DU TRAVAIL	9
CHAPITRE 1 : ETAT DE L'ART.....	11
1.1. ENJEUX DE L'ARCHITECTURE VERTE.....	11
1.1.1. <i>Des enjeux historiques...</i>	11
1.1.2. <i>...Et des enjeux actuels.....</i>	13
1.2. AVANTAGES ET FAIBLESSES DE L'ARCHITECTURE VERTE	15
1.2.1. <i>Les bénéfiques environnementaux.....</i>	15
1.2.1.1. Combattre les îlots de chaleur urbains.....	15
1.2.1.2. Protéger de la surchauffe et du bruit à l'échelle du bâti	19
1.2.1.3. Réduire la pollution au sein des villes et des bâtiments.....	21
1.2.2. <i>Les bénéfiques liés à la biodiversité</i>	23
1.2.2.1. Des habitats naturels en ville.....	23
1.2.2.2. Diversité des plantes utilisées	26
1.2.3. <i>Les bénéfiques psychologiques et esthétiques</i>	27
1.2.3.1. Actions mentales positives	27
1.2.3.2. Des lieux de rencontres et de partage.....	29
1.2.3.3. Requalifier des lieux délaissés	29
1.2.4. <i>Les limites de la végétalisation des surfaces de bâtiments.....</i>	31
1.2.4.1. Greenwashing.....	31
1.2.4.2. Durabilité et impacts environnementaux.....	32
1.3. TYPOLOGIES DE DISPOSITIFS CONSTRUCTIFS.....	33
1.3.1. <i>Les systèmes horizontaux</i>	33
1.3.1.1. Les toitures terrasses végétalisées	34

1.3.1.2.	Les plafonds végétalisés	35
1.3.2.	<i>Les systèmes verticaux</i>	36
1.3.2.1.	Les façades végétalisées	36
1.3.2.2.	Les murs végétalisés	38
1.4.	PRESENTATION DE BATIMENTS ISSUS DE L'ARCHITECTURE VERTE.....	40
1.4.1.	<i>Le musée du quai Branly – Jacques Chirac</i>	40
1.4.2.	<i>Les Magasins Généraux</i>	41
1.4.3.	<i>Le parking Perrache – Archives La Confluence</i>	42
1.4.4.	<i>L'espace Bienvenue</i>	42
CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE DU TRAVAIL DE RECHERCHE		44
2.1.	SCHEMA METHODOLOGIQUE	44
2.2.	METHODES D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE.....	45
2.2.1.1.	<i>Type de méthodes d'évaluation environnementale existantes</i>	45
2.2.1.1.1.	Les certifications écologiques.....	45
2.2.1.1.2.	Autres méthodes	46
2.3.	CHOIX DES METHODES ET TYPE D'ANALYSE.....	48
2.3.1.	<i>Sélection des méthodes d'évaluation</i>	48
2.3.1.1.	En lien avec les bâtiments exemplaires	48
2.3.1.2.	En lien avec l'architecture verte	48
2.4.	GRILLE DE LECTURE APPLIQUEE AUX METHODES CHOISIES	49
2.5.	CHOIX DES CAS D'ETUDES.....	53
2.5.1.	<i>Sélection selon les systèmes constructifs et les concepteurs</i>	53
2.5.2.	<i>Sélection en lien avec les méthodes environnementales</i>	54
2.6.	ÉLABORATION DES INTERVIEWS	55
2.6.1.	<i>Objectif des interviews</i>	55
2.6.2.	<i>Population visée</i>	55
2.6.2.1.	Les acteurs de l'architecture verte choisis	55
2.6.2.2.	Les passants.....	57

2.6.3.	<i>Réalisation des questionnaires d'interviews</i>	57
2.6.3.1.	Questionnaire pour les passants	57
2.6.3.2.	Questionnaire pour les concepteurs	58
2.6.3.3.	Questionnaire pour les employés du Musée quai Branly.....	59
2.7.	<i>Présentation des résultats</i>	60
CHAPITRE 3 : PRISE EN COMPTE DE L'ARCHITECTURE VERTE DANS LES OUTILS D'EVALUATION DES BATIMENTS.....		61
3.1.	ANALYSE DETAILLEE DES METHODES SELECTIONNEES.....	61
3.1.1.	<i>Méthode HQE</i>	61
3.1.2.	<i>Méthode WELL Standard Building</i>	77
3.1.3.	<i>Outil TOTEM</i>	84
3.2.	RESUME ET COMPARAISONS DES METHODES ETUDIEES.....	93
3.2.1.	<i>Discussion sur la prise en compte de l'architecture verte dans les méthodes d'évaluation environnementale</i>	93
CHAPITRE 4 : RESULTATS DES ENTREVUES ET DES MICRO-INTERVIEWS		95
4.1.	PRESENTATION DES RESULTATS	95
4.1.1.	<i>Avis et réponses des acteurs de la construction</i>	95
4.1.2.	<i>Avis et réponses des employés du musée quai Branly</i>	104
4.1.3.	<i>Visite d'un cas d'étude</i>	108
4.1.4.	<i>L'avis des passants et des usagers alentours</i>	109
4.1.4.1.	Caractéristiques socio-culturelles des individus	109
4.1.4.2.	Réponses au sondage	110
4.2.	ANALYSE DES RESULTATS.....	115
CHAPITRE 5 : DISCUSSION ET ANALYSE CRITIQUE		119
5.1.	LES METHODES D'EVALUATION ENVIRONNEMENTALES ET LA PRISE EN COMPTE DE L'ARCHITECTURE VERTE	119
5.2.	UNE ARCHITECTURE QUI AMELIORE LES QUALITES DURABLES DES BATIMENTS	120
5.3.	LE ROLE DE L'ARCHITECTURE VERTE DANS LE FUTUR DE LA CONSTRUCTION ENVIRONNEMENTALE	121
5.4.	REGARD CRITIQUE ET LIMITES DE L'ETUDE :	122
CONCLUSION		124

BIBLIOGRAPHIE	126
ARTICLES SCIENTIFIQUES, LIVRES ET PUBLICATIONS.....	126
REVUES ET RESSOURCES INTERNET.....	130
TABLE DES FIGURES	132
ANNEXES	136
ANNEXE 1 : GRILLE DE LECTURE DES CERTIFICATIONS	136
ANNEXE 2 : COMPARAISON DES CRITERES D’EVALUATION HQE	138
ANNEXE 3 : AUDIOS	142

INTRODUCTION

1. Contexte

Le domaine de la construction est encore aujourd'hui un des plus grands secteurs responsables des émissions de CO2 et d'autres impacts néfastes sur l'environnement, tels que le dommage à la biodiversité. C'est pourquoi de plus en plus de bâtiments sont pensés pour limiter leurs impacts environnementaux dès la phase de conception. Dans cette optique de conception durable, plusieurs types d'architecture et de techniques environnementales se distinguent. Parmi ceux-ci, la végétalisation des bâtiments connaît une forte expansion depuis le début du XXIème siècle, en raison du besoin social de réintroduire la nature en ville ainsi que de la prise de conscience accrue des impératifs écologiques (Bouattour and Fuchs, 2009). Dans ce mémoire, nous allons questionner la végétalisation des bâtiments à travers le concept d'architecture verte.

Bien qu'il existe plusieurs définitions de ce type d'architecture, nous utiliserons toujours, dans le cadre de ce travail de fin d'études, le concept d'architecture verte comme une 'architecture qui s'inscrit dans une démarche de protection de l'environnement en y intégrant de manière significative des végétaux vivants sur ses parois ou dans ses espaces. Ainsi, l'architecture verte implique l'utilisation de plantes et d'espaces verts dans la conception des bâtiments, en utilisant le végétal comme un élément constitutif du projet architectural (Galibois et al., 2012).

A première vue, la végétalisation des bâtiments devrait apporter de nombreux bénéfices environnementaux ainsi que renforcer la présence de la nature en ville (Edouard and Duncan, 2000). Toutefois certains architectes et paysagistes refusent complètement ce type d'architecture. Ainsi, le paysagiste français Michel Corajoud dit que « *la végétation a mieux à faire que de couvrir des murs de béton.* » et il dénonce une mauvaise conception de l'architecture verte : « *Le végétal devient une sorte de pansement, une « évitation ».*» (Duréault, 2013). De même, l'architecte Rudy Ricciotti proclamait en 2009 que « *la fourrure verte, c'est l'eldorado de l'arnaque* » (Ricciotti, 2009). A l'inverse, dans son ouvrage « *Vers une cité végétale* », Luc Schuiten envisage la végétalisation architecturale et urbaine comme le futur proche de nos villes et bâtiments, en proposant même un type d'habitat archiborescent. Ainsi, l'architecture verte est source de controverses. Il nous semble donc important de tenter d'objectiver ses qualités et ses limites.

2. Objectifs

Ce Travail de Fin d'Étude, s'intéresse à l'architecture verte et questionne son utilisation, son fonctionnement et son impact écologique. Ce type d'architecture est de plus en plus attractif pour les architectes qui souhaitent concevoir en accord avec la transition écologique mais peut-elle réellement améliorer les qualités environnementales et durables d'un bâtiment ?

Pour évaluer la durabilité des bâtiments, il existe différentes méthodes nationales et internationales (RIBA, HQE, ACV, ...). Chacune de ces méthodes permet d'analyser l'impact environnemental des bâtiments. Pour répondre à des enjeux de durabilité, les bâtiments sont évalués par ces méthodes environnementales mais reconnaissent-elles l'utilisation de l'architecture verte comme un atout dans leur évaluation ?

De plus, la conception d'une architecture verte « *met en relations différents acteurs appartenant à des disciplines variées telles que les sciences naturelles (biologie végétale, écologie), les sciences humaines et les disciplines de l'aménagement (architecture, paysage, ingénierie, construction)* » (Duréault, 2013) ainsi que les usagers des bâtiments et espaces végétalisés. Quels sont les points de vue de différents acteurs impliqués dans la conception, l'entretien ou l'utilisation d'une architecture végétalisée ?

Actuellement, l'urgence climatique et le besoin de changement tourné vers l'environnement dans le monde de la construction est nécessaire. Il convient donc de savoir si l'architecture verte a un rôle à jouer dans le futur de l'architecture durable.

3. Structure du travail

Afin de saisir les enjeux principaux de l'architecture verte, il s'agira dans un premier temps de définir ses qualités potentielles et de cibler ses limites actuelles.

Un état de l'art mettra en évidence les atouts potentiels de l'architecture verte du point de vue environnemental et les risques liés au « greenwashing ». Dans un second temps, une analyse mettra en évidence la place des critères spécifiquement liés à l'architecture verte dans différentes méthodes d'évaluation de la durabilité des bâtiments. Un des buts de ce TFE consiste à analyser si ce type d'architecture est toujours, souvent, parfois ou rarement compatible avec une haute qualité environnementale et dans quelle mesure l'architecture verte participe à l'amélioration des qualités environnementales et durables d'un bâtiment Par la suite, des interviews d'acteurs impliqués dans la

conception, l'entretien et l'utilisation de projets d'architecture verte donnent un aperçu de la vision de ce type d'architecture à la fois par le monde professionnel et par les citoyens. Finalement, cette étude permettra de mieux définir si l'idée d'intégration de la nature dans la conception architecturale est toujours pertinente du point de vue de la durabilité, d'exposer ses atouts et ses limites et de mettre en évidence les caractéristiques d'une architecture verte qui en feront une alliée dans la transition vers un milieu bâti durable.

CHAPITRE 1 : ETAT DE L'ART

1.1. Enjeux de l'architecture verte

1.1.1. Des enjeux historiques...

L'architecture verte s'intéresse à la relation entre la nature et l'architecture, un lien étroit qui a évolué au cours du temps et qui renvoie à différentes thématiques actuelles comme l'écologie, l'évolution du monde de la construction, la performance environnementale des bâtiments et la place de la végétation dans la ville. Avant de se retrouver dans des façades végétalisées ou des toitures vertes contemporaines, la nature s'est développée au sein des bâtiments sous la forme de jardins verticaux ou ornementaux en toiture. Les premières données disponibles sur ces jardins datent du VI^e siècle avant J.-C. Les premiers jardins intégrés à l'architecture de bâtiments sont connus pour leurs merveilles et les histoires qu'ils nous ont laissées. Un exemple célèbre est celui des *Jardins suspendus de Babylone* situés en Mésopotamie et faisait partie des sept merveilles du Monde Antique (He et al., 2017).

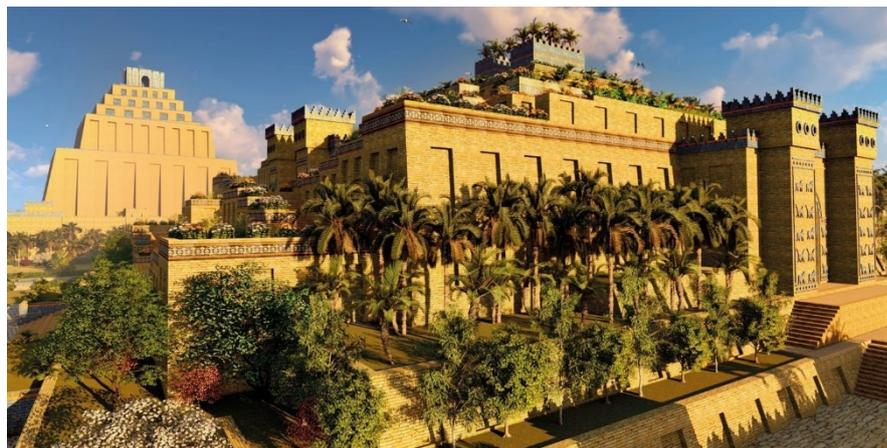


Figure 1 - Les jardins suspendus de Babylone, (nationalgeographic.fr, 2020)

Les murs végétalisés descendent des jardins verticaux qui qualifiaient l'utilisation des plantes grimpantes en façade il y a plus de 2000 ans dans la région Méditerranéenne (Köhler, 2008). Le développement de végétation en façade a été rapide puisqu'il a amené divers avantages notamment économiques par la culture de fruits pour les revendre, esthétiques puisque les plantes utilisées étaient ornementales comme les rosiers grimpants très en vogue à cette période ou encore liés au bien être avec la présence d'ombrages qui préservaient une température fraîche dans les habitations.

Les recherches sur les systèmes de végétalisation du bâtiment ont commencé au 18^{ème} siècle et se sont répandus autant dans le nord de l'Europe que dans les régions méditerranéennes (Perini & Magliocco, 2012).

Dans les années 1980, l'attrait pour les problèmes environnementaux s'est traduit par la volonté d'amener davantage de nature dans les villes. Ainsi, l'engouement pour les murs végétalisés s'est accéléré, mettant au second plan le développement des toitures vertes. Des programmes d'initiatives se sont aussi mis en place en Allemagne pour inciter les propriétaires à l'utilisation de plantes en façades (Köhler, 2008).

A la même période, l'architecte et artiste autrichien Friedrich Hundertwasser encourage fortement la végétalisation des bâtiments et intègre rapidement la nature dans ses projets architecturaux (Köhler, 2008). Il s'oppose à l'architecture traditionnelle d'après-guerre et prône une architecture plus « humaniste » en intégrant la nature sous forme de terrasses, toits-jardins collectifs ou d'arbres plantés en bordures de fenêtres comme sur la photo ci-dessous (figure n°2). Son architecture a pour but principal d'améliorer la vie des citoyens (ARTE, 2021).



Figure 2 - HundertwasserHaus, Vienne par l'architecte Friedrenreich Hundertwasser (wien.info, 2022)

La nature est présente depuis longtemps dans les habitations principalement sous la forme de jardins et de terrasses mais souvent elle était séparée des constructions. Son évolution comme partie

intégrante du système constructif du bâtiment ne date que de deux siècles. Cependant, les recherches importantes et fructueuses sur la végétalisation des bâtiments permettent aujourd'hui d'inclure l'architecture verte au cœur des débats sur l'écologie, l'adaptation aux changements climatiques et la performance environnementale des bâtiments.

1.1.2. ...Et des enjeux actuels

Depuis la fin du 20^{ème} siècle, l'écologie et les théories liées au réchauffement climatique ont pris une place importante dans les idéologies du monde de la construction. Des événements importants comme la reconnaissance de l'existence du trou dans la couche d'ozone en 1985 (Perini et al., 2011) ou le sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992 ont aussi influencé les acteurs du bâtiment en vue de construire plus durablement et en accord avec l'environnement. Tous les acteurs de la conception des bâtiments sont aussi concernés par les changements à opérer dans un objectif de neutralité d'émissions bas-carbone d'ici 2050. Il s'agit de ne plus utiliser d'énergies fossiles au profit des énergies renouvelables et de réduire fortement le bilan et la consommation énergétique des bâtiments pendant leur construction et leur utilisation. Le secteur européen de la construction représente 40% de l'énergie primaire consommée à partir de ressources non renouvelables sur un total de 87 % au niveau mondial (Oquendo-Di Cosola et al., 2019).

Ces constatations mettent en avant le besoin de changements importants dans la manière de concevoir les bâtiments de demain.

Prônée par des architectes de renommée, l'architecture verte connaît un développement rapide depuis 30 ans et permet d'envisager une nouvelle façon de concevoir basée sur l'intégration du végétal en architecture. En cela, les acteurs de la conception des bâtiments se diversifient comme, par exemple lors de la conception du Musée quai Branly où les Ateliers Jean Nouvel ont coopéré avec le biologiste, botaniste et chercheur Patrick Blanc (Jodidio, 2010).



Figure 3 - Façade du musée Quai Branly, Paris, (Photo personnelle, 2022)

A une échelle plus large, un architecte comme Luc Schuiten s'interroge sur le développement des villes et voit l'intégration du végétal comme le futur des villes et l'architecture verte comme le futur de la conception en architecture. Ses réflexions transparaissent dans son travail sur les « Cité arborescentes » (Schuiten, 2006) et les « Villes de demain », (Schuiten, 2009).

Mais avant d'envisager l'intégration de la nature dans les bâtiments comme un outil indiscutable de la conception architecturale de demain, il faut s'intéresser aux avantages et aux limites de cette architecture qui sont présentés dans les recherches scientifiques d'aujourd'hui.

1.2. Avantages et faiblesses de l'architecture verte

Intégrer des espaces verts en ville comme des parcs ou des jardins publics est un principe d'urbanisme qui permet de varier le paysage de la ville et d'apporter de la nature au plus proche des habitations, ce qui apporte un grand nombre de bénéfices urbains. Mais qu'en est-il de l'intégration de la nature sur et à l'intérieur des bâtiments ? Quels sont les bénéfices et les limites de ces techniques ?

1.2.1. Les bénéfices environnementaux

Les sociétés ont besoin d'évoluer vers des systèmes de vie plus durables et consciencieux de l'environnement. Beaucoup d'impacts négatifs sur l'environnement sont dus à notre manière de construire et l'architecture verte peut être un atout pour réduire ces impacts (Sheweka & Magdy, 2011).

1.2.1.1. Combattre les îlots de chaleur urbains

Parmi les recherches effectuées sur les systèmes techniques de l'architecture verte, plusieurs d'entre elles montrent que ces systèmes permettent de réduire le phénomène d'îlot de chaleur urbain. Ce phénomène est caractérisé par une température de l'air plus élevée dans les endroits densément construits par rapport à la température de l'air dans un environnement rural (Sheweka & Magdy, 2011).

De plus, les surfaces imperméables des façades et des rues accentuent la manifestation des îlots de chaleur urbains puisque qu'ils absorbent et rejettent, moins vers le ciel, la chaleur issues des sources anthropiques. C'est un effet dont les conséquences se déclarent plus fortement la nuit avec le refroidissement lent des revêtements imperméables des routes et du bâti. En période de refroidissement des bâtiments, cela entraîne l'augmentation de l'utilisation de la climatisation pour rafraîchir les bâtiments et donc un surplus de consommation énergétique ainsi qu'un risque accru d'inconfort dans les bâtiments qui ne sont pas climatisés (Koch et al., 2020).

A l'inverse, l'îlot de chaleur urbain est bénéfique pour réduire la consommation énergétique des bâtiments pendant la période où ils sont chauffés. C'est ce que montre Li et ses collègues (2019), dans son étude : les îlots de chaleur urbains permettent de réduire de 18,7% la consommation de chauffage en hiver.

Ainsi, l'îlot de chaleur urbain est étudié depuis des dizaines d'années à des endroits variés dans des conditions climatiques différentes et les espaces verdurisés permettent de réduire ce phénomène

localement. En effet, l'air chaud qui s'élève du sol au-dessus des revêtements imperméables est, dans ce cas, absorbé par les végétaux et remplacé par de l'air frais : la température de l'air est alors rafraîchie. Mais il est difficile d'obtenir des résultats concrets en se basant seulement sur les espaces verts caractérisés par des parcs et des jardins. Plus la surface végétalisée est importante, plus la réduction de température sera efficace. C'est pourquoi l'emploi combiné des différents systèmes verts comprenant les toitures, les murs et les façades est pertinent. Les végétaux absorbent aussi les rayons directs du soleil et empêchent ainsi une augmentation directe de la température des façades, murs et toitures. L'air ambiant est donc moins chaud dans les espaces urbanisés végétalisés que dans ceux qui sont artificialisés. Enfin un dernier phénomène se produit pour réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain grâce aux plantes, qui est l'évapotranspiration des plantes (Sheweka & Mohamed, 2012).

Le phénomène d'évapotranspiration se produit en deux effets distincts. L'évaporation consiste au transfert de l'eau issue de la rosée ou de la pluie conservée sur la plante dans l'air. La transpiration est l'eau relâchée par les végétaux lorsque leurs stomates sont ouverts pour capturer du CO₂. Ces deux processus permettent de rafraîchir l'air ambiant. Son intensité dépend toutefois de la nature des plantes employées et des conditions météorologiques (Koch et al., 2020).

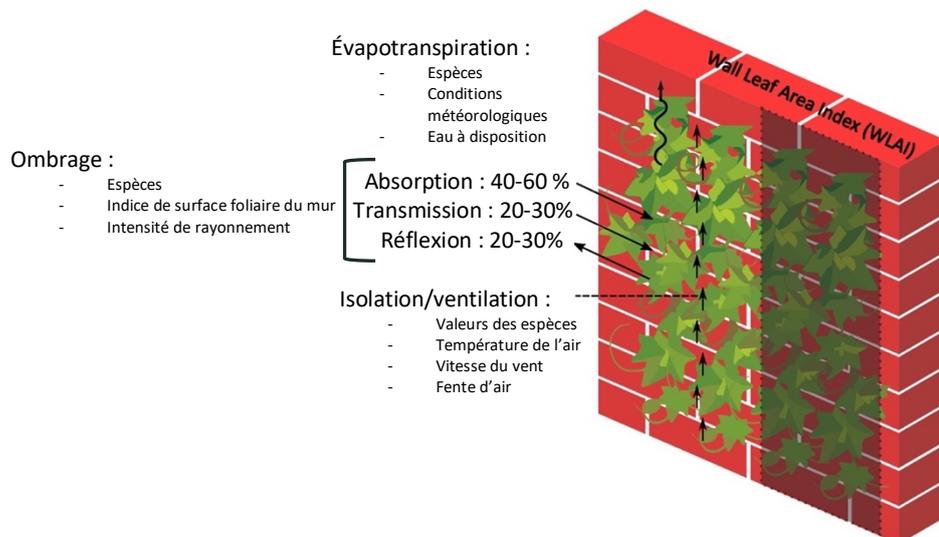


Figure 4 - Schéma des différents mécanismes qui font que les surfaces végétalisées des bâtiments réduisent l'effet d'îlot de chaleur urbain, (Koch et al., 2020)

Différents tests ont été réalisés dans des villes faisant face à l'effet d'îlot de chaleur urbain pour démontrer l'efficacité des systèmes de végétation. Par exemple, Detroit aux Etats-Unis fait face à d'importantes vagues de chaleur qui sont accentuées par les revêtements imperméables des rues et des constructions et 59% de la température de l'air est lié aux types de surfaces imperméables utilisées dans cette ville. Pour atténuer cet effet, la ville prévoit de développer l'utilisation des toitures végétalisées comme le montre la figure n°5. Les surfaces vertes représentent les aires où des espaces verts sont présents dans des quartiers résidentiels ou des quartiers avec maisons et immeubles. Les points verts sont les toits verts qui sont susceptibles d'être mis en place et les points bleus indiquent l'emplacement des centres de refroidissement, c'est-à-dire des espaces publics climatisés mis en place par les autorités américaines pour faire face aux vagues de chaleur. En rouge sont marquées les zones où le risque de dépasser la température de 32°C est élevé (Sanchez & Reames, 2019).

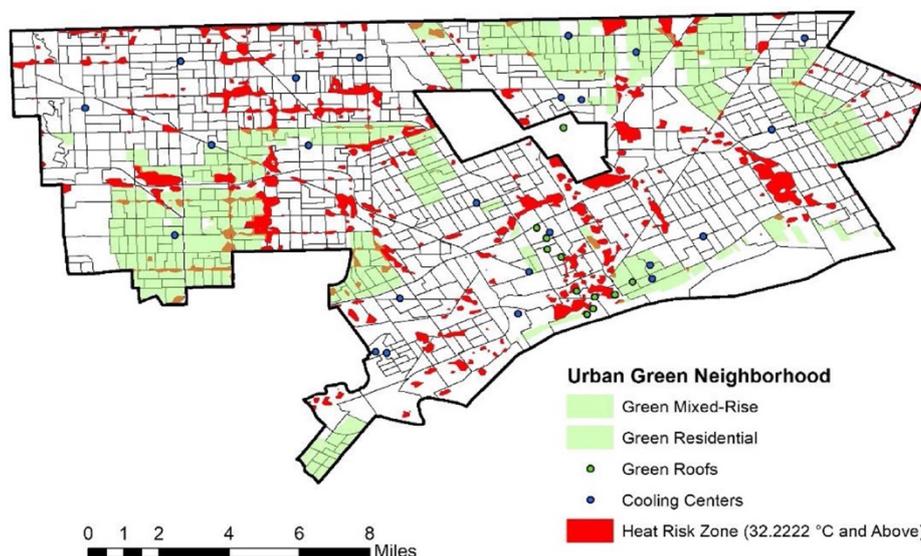


Figure 5 - Schéma des différents pôles de chaleur urbain à Détroit, (Sanchez & Reames, 2019)

Dans la même optique, une autre expérience a été menée à Shiraz en Iran en septembre qui est l'un des mois les plus chauds de l'année. La recherche de Shafiee et al. (2020) a expérimenté l'efficacité d'un mur végétalisé pour abaisser la température des parois et l'îlot de chaleur grâce à une chambre climatique contrôlée de 2,4m sur 3m. Le même dispositif était comparé avec une couverture végétale et sans celle-ci.



Figure 6 - Chambre de test exposée au sud-ouest conçue pour analyser l'impact de la végétalisation d'une surface, (Shafiee et al., 2020)

Les résultats de cette recherche montrent que la température de l'air a diminué grâce à la présence du mur végétal. Ainsi le mur végétal, réduit les écarts de la température de l'air entre le jour et la nuit et protège la façade de la chambre de test.

Une expérience in situ a été tenue à Colombo sur la côte ouest du Sri Lanka dans un climat chaud et humide. La température et l'humidité ont été prélevées pendant 48 heures durant deux jours en août à des endroits sans toitures vertes et d'autres où les bâtiments avaient des toits végétalisés. Les résultats ont montré une baisse de température pour les endroits avec toitures vertes contre les endroits urbains sans végétation (Herath et al., 2018)

La simulation numérique permet aussi de vérifier les effets des systèmes végétalisés sur l'atténuation de l'effet d'îlot de chaleur urbain. C'est le cas pour la ville d'Austin au Texas où l'efficacité de l'implémentation de toitures vertes a été prouvée grâce à une modélisation d'Asadi et ses collègues (2020).

Ces études ont ainsi montré que la végétalisation des bâtiments est un moyen écologique, durable et efficace pour réduire le phénomène d'îlot de chaleur urbain qui sévit dans les milieux densément urbanisés.

1.2.1.2. Protéger de la surchauffe et du bruit à l'échelle du bâti

Pour améliorer le confort des habitants et usagers des constructions, il est important de garder une température agréable et une qualité sonore adéquate à l'intérieur des bâtiments. Les différents systèmes de végétalisation peuvent aussi se montrer efficaces pour répondre à ces enjeux.

Dans une étude datant de 2021, les chercheurs italiens Fabiana Convertino, Giuliano Vox et Evelia Schettini ont essayé de modéliser et évaluer les effets de l'ombrage et de l'évapotranspiration créés par la végétation d'une façade. Pour cela, ils ont réalisé un prototype expérimental d'un bâtiment avec une façade verte d'exposition sud. Ils ont aussi défini un indice de surface foliaire (Leaf Area Index en anglais), installé un dynamomètre et évaluer l'évapotranspiration par bilan énergétique. Les mesures d'échanges de chaleur latente entre l'air et le système vert ont été prises à Valenzano en Italie dans un climat méditerranéen.

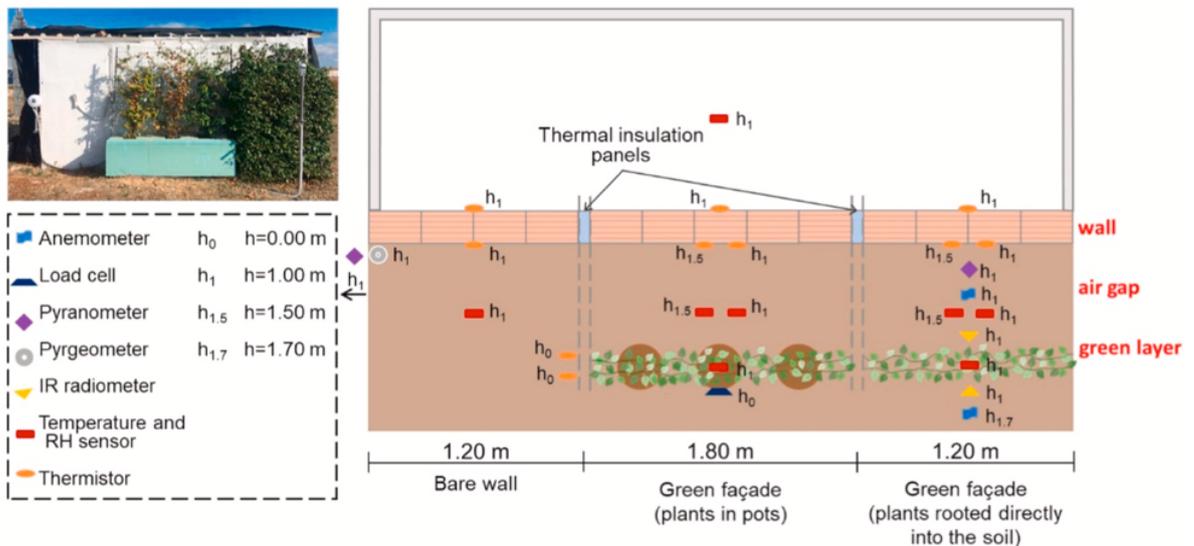


Figure 7 - Prototype expérimental de façade verte et positionnement des capteurs, (Convertino, et al., 2021)

Les résultats de cette expérience ont montré que l'effet rafraîchissant de la végétation était mesurable à l'extérieur comme à l'intérieur du bâtiment. Effectivement, la végétation en façade permet de réduire l'augmentation de la température à l'intérieur d'un bâtiment en créant un masque d'ombrage sur les murs. La variation de température quotidienne peut être deux fois moindre dans un bâtiment avec des plantes en façade par rapport au même bâtiment sans végétation. Entre 40 et 80 % des rayons du soleil peuvent être réfléchis ou absorbés par les feuilles selon le type et l'abondance de la couverture végétale (Sheweka & Mohamed, 2012).

Dans la même optique, une étude avait déjà été menée en 2014 sur les façades végétales isolées et les façades non végétales et isolées en Espagne dans le même type de climat (méditerranéen) en été (Olivieri et al., 2014). Les résultats avaient montré des écarts conséquents entre les types de façades et mis en avant les effets positifs de la végétalisation. Les auteurs ont recommandé les façades végétales comme stratégie pour combattre la surchauffe et garder une température agréable à l'intérieur des bâtiments avec une différence moyenne de 5°C.

L'étude de Jamei et de ses collègues (2021) a montré que les toitures végétalisées contribuaient à l'atténuation de la surchauffe urbaine dans les trois principaux climats, chaud-humide, tempéré et sec. Les résultats des 89 articles examinés ont montré que les toitures extensives ont contribué à des améliorations thermiques supplémentaires pour les niveaux des toitures et des piétons.

Pour montrer les effets d'ombrages de la végétation, une couverture végétale a été comparée au système d'ombrage existant d'un bâtiment à Accra au Ghana (Mangone & van der Linden, 2014). Le système d'ombrage existant consistait en des panneaux extérieurs fixes en métal qui créaient de l'ombrage sur 80 % de la surface vitrée du bâtiment. Les effets thermiques de la couverture végétale se sont avérés plus importants que le système d'ombrage.

Une autre expérience pour montrer l'efficacité des façades végétalisées contre la surchauffe a été menée par Ahmad Ridzwan Othman et Norshamira Sahidin (2016) sur la différence de température et d'humidité relative entre deux bâtiments de bureaux en Indonésie (climat chaud et humide) et orientés similairement. L'un des deux avait une façade végétalisée. Le but de cette étude est d'analyser les différentes mesures prélevées et de les comparer pour savoir si les plantes implémentées sur la façade permettent une amélioration du confort thermique des usagers du bâtiment. Les données sont présentées sous forme de graphique dans la figure n°8.

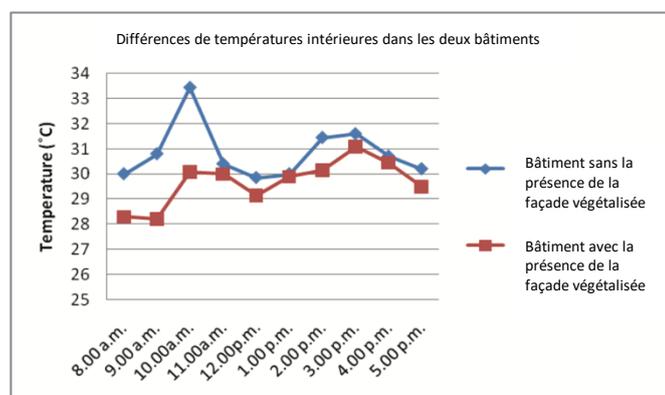


Figure 8 - Différence de températures intérieures dans les deux bâtiments expérimentaux, (Othman & Sahidin, 2016)

La différence de température intérieure est toujours plus basse au cours de la journée dans le bâtiment avec la façade verte comparé au bâtiment sans ce dispositif.

L'humidité relative ne varie pas beaucoup entre les deux bâtiments malgré la présence de végétation mais l'implémentation d'un système de façade verte pour un bâtiment de bureaux s'avère être utile et un choix judicieux pour abaisser la température intérieure sous ce climat. Les façades végétales sont donc une solution passive efficace contre la surchauffe dans les zones urbaines. Elles sont particulièrement efficaces sous un climat tropical.

Les façades végétalisées permettent aussi de réduire le bruit extérieur à l'intérieur des édifices. En effet, les plantes peuvent absorber ou réfléchir les ondes sonores, ce qui participe à l'amélioration du confort des usagers des bâtiments. Cette propriété est néanmoins relative à des facteurs précis comme la profondeur du milieu de croissance, les matériaux utilisés pour la structure du système végétalisé et la taille de la couverture du système par rapport à celles des constructions (Sheweka & Mohamed, 2012). De plus, une toiture végétale comprenant une végétation dense et une couche de substrat épaisse peut également atténuer la pollution sonore extérieure (Peiger & Baumann, 2018).

Si la surchauffe et la pollution sonore sont des problèmes bien connus dans les villes, qui doivent être traités pour préserver le confort dans les bâtiments, la pollution de l'air est aussi un enjeu important pour la santé des habitants.

1.2.1.3. Réduire la pollution au sein des villes et des bâtiments

Les villes se sont développées de plus en plus au cours des dernières décennies afin d'être plus attractives et de répondre à une demande de logements en hausse. Cette croissance urbaine entraîne aussi des problèmes écologiques et sur la santé des habitants notamment la pollution de l'air. Les émissions de particules sont l'un des principaux composants de la pollution atmosphérique. Ils sont constitués de petites particules, gouttes liquides de produits chimiques, acides, métaux, terre et poussières. Elles sont principalement dues au trafic routier et à une surconsommation du chauffage domestique. Causant ensuite des maladies cardio-vasculaires et respiratoires, elles doivent être contrôlées et atténuées pour préserver une atmosphère saine au sein des villes.

La végétation joue un rôle dans la réduction de la pollution de l'air. En effet, les plantes modifient le flux d'air et sont capables de capturer différentes émissions et particules dans leurs feuilles et sur leurs tiges.

Les systèmes de végétalisation verticaux et horizontaux des bâtiments peuvent donc être efficaces contre la pollution de l'air. Les murs végétalisés sont particulièrement efficaces puisqu'ils peuvent couvrir beaucoup de surfaces en ville et peuvent être placés à proximité des endroits où la pollution est émise. Il y a deux processus d'actions pour la réduction des particules de pollution, la dispersion et la déposition. La dispersion caractérise le transport par le vent et la dilution des particules par mélange avec l'air. La déposition décrit le dépôt des particules sur les feuilles et peut être humide (avec les précipitations météorologiques) ou sèche (par la gravité, l'interception, l'impaction...).

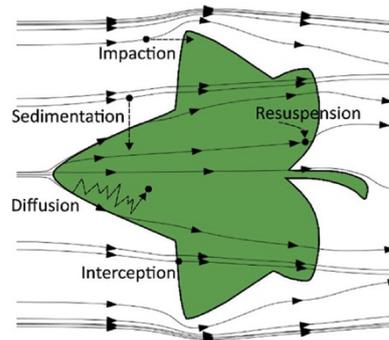


Figure 9 - Mécanismes de la déposition sèche des particules de pollutions sur la surface d'une feuille, (Ysebaert et al., 2021)

Les caractéristiques des plantes influencent ce dépôt. Sa structure macroscopique, que qualifie sa porosité ou sa densité, et sa structure microscopique faisant référence à sa forme et la géométrie de sa surface sont d'autant plus importantes pour capturer les particules (Ysebaert et al., 2021). De plus, la surface supérieure (nervures en creux) et la surface inférieure (nervures saillantes) des feuilles capturent différemment les particules. La surface supérieure peut attraper jusqu'à deux fois plus de particules polluantes que la face inférieure d'une feuille (Ottelé et al., 2009).

Les plantes permettent aussi de réduire les taux de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'air grâce à la photosynthèse. La plante va consommer six molécules de CO_2 pour former une molécule de glucose qui va être propice à son stockage d'énergie et fait partie des nutriments fondamentaux. Plus la plante grandit rapidement, plus elle va consommer du CO_2 pour former du glucose mais pendant la nuit elle va relâcher 50% du CO_2 qu'elle aura emmagasinée pendant la journée. Ce CO_2 va retourner dans l'atmosphère sous forme de poussières microbiennes (Seyedabadia et al., 2021).

Il faut aussi constater que les plantes réagissent différemment aux composants de pollution et cela peut avoir des impacts sur la conductance des stomates, les cuticules, leur respiration et la photosynthèse. Un contact élevé avec des particules néfastes peut augmenter la perméabilité de leurs cellules et ainsi réduire l'absorption d'eau et de nutriment menant à une désagrégation de la santé des

végétaux. C'est pourquoi les plantes sont classées en deux catégories dont il faut tenir compte dans la réalisation de systèmes végétaux verticaux ou horizontaux. Les catégories « sensibles » traduisent des signes de lésions et de malformations directement liés aux polluants alors que les « accumulateurs » collectent les composants polluants de l'air. Les espèces tolérantes peuvent donc être utilisées dans des endroits connus pour une pollution élevée tandis que les espèces plus sensibles peuvent être utilisées comme un indicateur du niveau ambiant de pollution de l'air (Paull et al., 2021).

Shannon Gourджи (2018) a étudié les plantes particulièrement compétentes pour réduire la présence de particules polluantes, d'ozone et de dioxyde de nitrogène dans l'air à Montréal au Québec, Canada. Les toitures végétalisées avec des arbustes et des arbres ou des plantes intensives sont les solutions les plus efficaces et recommandées contre la pollution de l'air pour des bâtiments en rénovation ou neufs. Plus précisément, les pins capturent très bien les particules en suspension, les arbres à feuilles caduques comme les érables japonais lisses réduisent la formation d'ozone (O₃) et les magnolias attirent le dioxyde d'azote (NO₂) qu'ils utilisent dans leur métabolisme.

Pour étudier les combinaisons végétales les plus efficaces afin de réduire la pollution de l'air, un logiciel de modélisation nommé Urban Forest Effects ou UFORE, développé par le USDA Forest Service Northeastern Regional Station, a été utilisé dans certaines études comme celle menée par Anne Beth Currie et Brad Bass (2008) dans la ville de Toronto au Canada. Six scénarios de combinaisons de végétaux ont été modélisés pour comparer leurs effets sur la pollution atmosphérique. Les résultats ont permis d'identifier les scénarios les plus efficaces. Par exemple, l'ajout d'herbes sur une toiture verte extensive complète l'action des arbres et des haies et l'augmentation de la surface de ces toitures de 10 % en ville permettrait déjà une différence significative dans la réduction de particules polluantes dans l'air.

Les bénéfices environnementaux des systèmes de végétalisation du bâti sont maintenant étudiés depuis plusieurs années et leur utilisation se révèle efficace.

1.2.2. Les bénéfices liés à la biodiversité

1.2.2.1. Des habitats naturels en ville

Ajouter de la végétation en ville sous formes de toitures vertes, de murs ou de façades vertes c'est aussi favoriser la biodiversité et permettre la création de nouveaux écosystèmes pouvant attirer différents types d'animaux (insectes, oiseaux, etc.).

Il existe différentes solutions pour favoriser la biodiversité sur des toitures vertes (Peiger & Baumann, 2018). Souvent à la recherche de place où faire leur nid, les oiseaux des jardins comme le Merle noir ou le Moineau domestique vont être attirés par des toitures terrasses présentant des espèces végétales diversifiées, un relief et des substrats minéraux variés. Les possibilités sont nombreuses pour constituer des maillages verts et des corridors écologiques selon la trame urbaine des villes pour que les espèces animales puissent se déplacer d'un endroit à un autre en recréant des équilibres naturels. Une autre idée est de réintroduire les abeilles dans les villes avec l'installation de ruches sur les toitures vertes. En utilisant des espèces végétales variées, de l'arbuste à la plante à pollens, la faune va pouvoir retrouver des habitats en ville et compenser la perte de biodiversité liée à la construction des bâtiments.



Figure 10 - Ruches aménagées sur une toiture verte en ville, (apiculteur-marseille.com, 2018)

Pour aider à la diversification des espaces verts à une localisation adéquate de la végétation, il existe des plans représentant la trame verte et bleue, communément appelés Schéma Régional de Cohérence Ecologique en France et Structure Ecologique Principale en Wallonie. Ils permettent de spatialiser les zones de protection de la biodiversité, de renseigner sur les écosystèmes présents et d'appuyer la pertinence de la présence d'infrastructures vertes en ville puisqu'il faut maintenir ce réseau écologique.

Grâce aux trames vertes et bleues, les espèces animales assurent leur survie en ayant des espaces pour s'alimenter, circuler, communiquer, se reproduire ou se reposer. Les infrastructures végétalisées verticales et horizontales jouent alors le rôle de corridors biologiques ou d'îlots de refuge pour la migration de la faune et de la flore (Peck et al., 1999).

Cependant, afin de recréer des écosystèmes propices au développement de la faune, il faut parfois faire appel à des spécialistes, que ce soient des biologistes, des entomologistes, des ornithologues... (Peiger & Baumann, 2008). Pour aider les espèces en voie de disparition, les toitures vertes et les façades ou murs végétalisés peuvent reproduire des écosystèmes en danger. C'est notamment le cas des toitures vertes extensives inaccessibles (sauf pour la maintenance) qui peuvent être des endroits assez protégés pour accueillir des espèces sensibles. De même, les systèmes verticaux végétalisés permettent de faire pousser des végétaux avec des baies et des fruits qui sont ensuite facilement accessibles pour être mangés par les oiseaux et les insectes (Peck et al., 1999).

Il existe deux systèmes de corridors écologiques en Europe (figure n° 11). Le premier est le corridor discontinu aussi appelé « en pas japonais » qui relie des réservoirs de biodiversité isolés. Il s'agit d'une connexion qui s'effectue par voie aérienne pour les espèces volantes principalement puisqu'il est difficile d'atteindre les toitures vertes autrement.

Le deuxième est le corridor continu qui accueille des plantes dont la reproduction ne s'effectue pas par la propagation du vent sur de courtes distances.

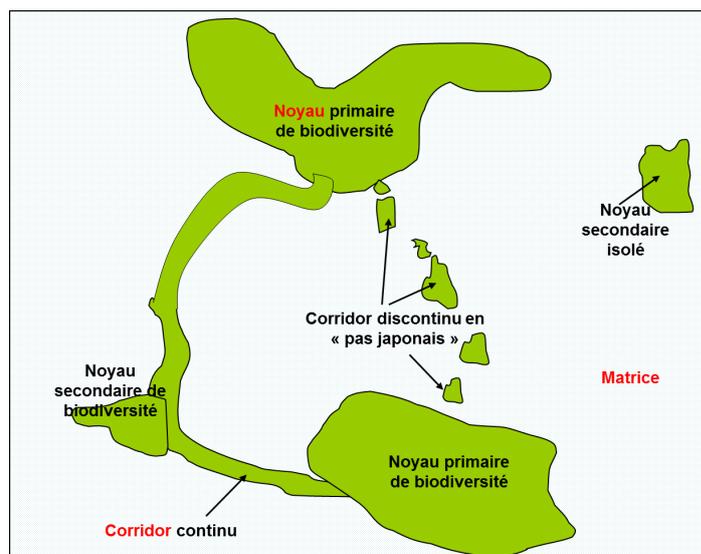


Figure 11 – Les deux types de corridors écologiques, (journals.openedition.org, 2016)

Ainsi, pour être des habitats naturels prisés par une faune variée en ville, il faut que les systèmes techniques végétalisés présentent une diversité de plantes adaptées à leur environnement et leur but.

1.2.2.2. Diversité des plantes utilisées

Les plantes utilisées pour les différents systèmes constructifs sont de natures différentes et sont utilisées dans des conditions spécifiques. La végétalisation est utilisée différemment en fonction des climats, des saisons, du type d'implantation, de la biodiversité à recréer...

D'abord, il convient de savoir si les plantes installées sont exotiques ou indigènes. Une plante est appelée exotique lorsque l'homme la transfère de son habitat d'origine vers un emplacement où elle ne pousse pas habituellement (Ooreka.fr, 2022). Il faut alors faire attention à l'équilibre écologique de la zone de transfert pour ne pas perturber un écosystème.

Pour les toitures vertes végétalisées localisées dans les régions au climat sec et aride, des plantes aux caractéristiques particulières sont utilisées pour pouvoir survivre dans ces conditions, telles que les plantes succulentes ce qui signifie qu'elles ont la capacité de stocker de l'eau dans leurs feuilles, leurs tiges et leurs racines afin d'être capables de résister aux périodes de sécheresse (Williams et al., 2019).



Figure 12 - Mousses et sédums sur une toiture verte végétalisée, (guidebatimentdurable.brussels, s.d.)



Figure 13 - Plantes succulentes, (architecte-interieur-83.com, s.d.)

Une expérience a d'ailleurs été menée avec succès par C. Farrell et ses collègues en 2012 pendant 113 jours à Melbourne dans une serre contrôlée pour tester la résistance aux températures des plantes succulentes, en vue de les utiliser sur des toitures vertes. De même, les sédums et les mousses sont très résistants à la sécheresse.

Les fleurs sauvages comme le thym, l'origan et la ciboulette sont très utilisées pour favoriser la pollinisation puisqu'elles attirent les insectes pollinisateurs.

Pour les façades et murs végétalisés, certaines plantes sont à favoriser pour accentuer l'effet rafraichissant qu'elles procurent. Les performances d'évapotranspiration et la surface de couverture d'un mur, d'une façade sont les éléments principaux à traiter pour augmenter le potentiel de refroidissement de ce type de systèmes (Cameron et al., 2013 ; Koyama et al., 2013).



Figure 14 - Toiture intensive comprenant différentes variétés de plantes sur la station de traitement des eaux Alcântara à Lisbonne au Portugal, (efb-greenroof.eu,2011)

1.2.3. Les bénéfiques psychologiques et esthétiques

1.2.3.1. Actions mentales positives

Les critères de bien-être ont évolué avec le temps et peuvent aujourd'hui être définis par quatre domaines principaux qui sont le confort, la santé, l'adaptabilité des lieux et la sécurité (Mansor & Sheau-Ting, 2020).

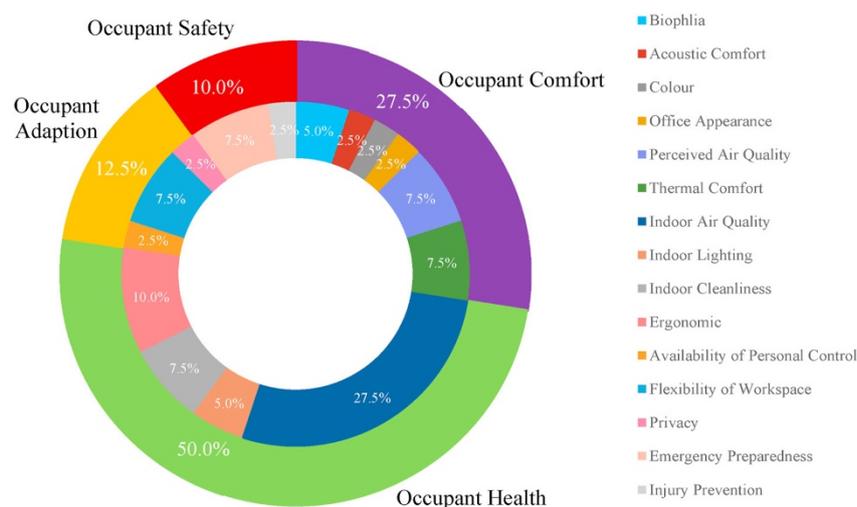


Figure 15 - Schéma des critères de bien-être et de leurs paramètres intérieurs associés, (Mansor & Ting, 2020)

Un moyen de plus en plus exploité pour améliorer le bien-être des usagers des bâtiments est l'utilisation des végétaux. En effet, à l'heure de la densification des villes, le contact de la nature se fait plus rare alors qu'il reste un des besoins biologiques fondamentaux de tout être humain. Les espaces verts ont des effets positifs sur la santé mentale et psychologique des habitants. Une étude réalisée en 2020 par Razlin Mansor et Low Sheau-Ting a démontré qu'une connexion visuelle avec de la verdure pouvait améliorer considérablement la santé mentale des occupants dans des immeubles de bureaux. Les murs végétaux et les jardins intérieurs sont des moyens très efficaces et simples à mettre en place pour recréer ce rapport à la nature dans les centres de ville constitués de bâtiments élevés.

Le contact visuel avec des scènes naturelles permet de retenir l'attention du spectateur et de le distraire de pensées négatives, stressantes, presque de susciter un état de méditation. Cette présence de végétation peut aussi permettre une guérison accélérée des malades ce qui a été montré par Roger S. Ulrich en 1984. Quarante-six patients ont été répartis dans des chambres similaires après une opération chirurgicale. Vingt-trois patients avaient une fenêtre dont la vue donnait sur un espace vert naturel, et les vingt-trois autres patients avaient une vue sur un mur d'un bâtiment en briques. L'étude a montré que les patients avec la vue sur de la nature ont eu une récupération plus rapide après l'opération que l'autre moitié des patients. Une autre étude indique que les toitures végétalisées accessibles dans les hôpitaux permettent aux patients d'avoir un temps de répit émotionnel (Milanovic et Al., 2018). Les personnes côtoyant chaque jour des espaces verts auraient aussi tendance à être plus productifs et moins anxieux. Il paraît donc nécessaire d'offrir des espaces communs verdurés dans les bâtiments et gratte-ciels situés dans les milieux densément urbanisés.

La proximité avec des espaces verts est aussi un moyen d'augmenter les performances des employés, des travailleurs. Faire une pause dans un espace vert extérieur a un impact positif sur leur production par la suite. D'après Giancarlo Mangone et Kees van der Linden (2013), la productivité des travailleurs augmente de 10-15% et leur créativité entre 11 et 34,7 % lorsqu'ils voient des végétaux dans leur zone de travail. Cela montre que la végétation a bien des effets mentaux positifs sur les personnes qui en côtoient quotidiennement que ce soit dans le cadre du travail ou de la vie privée.

1.2.3.2. Des lieux de rencontres et de partage

Les espaces verts permettent d'améliorer l'état psychologique des êtres humains mais ils permettent aussi de renforcer les liens sociaux et les moments de partage. Effectivement, les toitures terrasses accessibles sont généralement utilisées pour se détendre ou pour des lieux de divertissement. C'est le cas de la toiture terrasse de la piscine Molitor inaugurée en 1929 et dessinée par l'architecte Lucien Pollet, qui a été rénovée en 2014 avec notamment l'installation d'un jardin sur le toit ainsi que d'un « roof bar ».



Figure 16 - Espace de détente et de partage sur le toit de l'ancienne piscine Molitor, (jardinsdefrance.org, 2022)

Dans leur ouvrage Philippe Peiger et Nathalie Baumann (2008) font remarquer que les toitures vertes accessibles sont une valeur ajoutée pour les entreprises et qu'elles favorisent l'interaction sociale entre les employés et leurs bonnes relations.

D'autres études soulignent le lien entre la possibilité d'avoir une toiture terrasse verte accessible et les bienfaits que cela apporte aux interactions humaines (Williams et al., 2019 ; Milanovic et al., 2018) et plus globalement au bien-être des citoyens.

Les toitures vertes permettent de se rencontrer et de partager un moment avec ses collègues, ses amis ou sa famille mais elles peuvent aussi être repensées pour offrir de nouvelles fonctions à un espace qui était délaissé.

1.2.3.3. Requalifier des lieux délaissés

Les espaces verts accessibles permettent aussi de transformer la qualité paysagère d'un lieu tout en éduquant les riverains sur l'enjeu environnemental actuel comme l'indiquent Philippe Peiger et Nathalie Baumann (2008).

Les lieux délaissés peuvent retrouver une qualité de vie agréable s'ils sont bien rénovés et leur végétalisation est une opportunité de requalification. Ainsi, installer une toiture terrasse ou un jardin sur le toit d'un bâtiment est un moyen pertinent de donner un nouveau souffle à un espace auparavant inutilisé tout en tenant compte de l'aspect environnemental de la rénovation d'un bâtiment. C'est par exemple le cas de la Piscine Molitor à Paris de l'architecte Lucien Pollet, qui fermée après de nombreuses controverses a été réaménagée en hôtel luxueux avec un jardin sur le toit. Le jardin présente une réelle diversité florale et est aménagé comme un jardin méditerranéen avec des essences issues de la garrigue et de plantes aromatiques. Ce bâtiment a retrouvé aujourd'hui une qualité esthétique et de nouveaux usages après avoir été abandonné et délaissé pendant près de 20 ans.



Figure 17 - Végétation du jardin sur le toit de l'ancienne piscine Molitor, (jardinsdefrance.org, 2022)

Un autre exemple de réhabilitation de grande ampleur mettant en valeur des systèmes constructifs végétalisés a été réalisé à Londres : il s'agit des friches industrielles de la Battersea Power Station, qui était une des premières grandes centrales électriques au charbon d'Angleterre. Il s'agit maintenant d'un complexe avec diverses fonctions comme un hôtel de luxe, un centre commercial, des bureaux et des logements. Ce complexe propose des toitures vertes accessibles pour les résidents, conçues par Foster + Partners et James Corner et appelées Battersea Roof Gardens. Ces jardins suspendus comprennent des espaces de pique-nique, de fitness ou pour se détendre et bronzer. De plus, des espaces végétalisés spécifiques ont été pensés pour attirer les insectes et les oiseaux et leur offrir un endroit où se reproduire, couvrir ou hiberner (landscapeinstitute.org, 2014).

Dans ce projet, les espaces verts permettent de redonner un sens aux toitures d'une ancienne centrale électrique mais ils permettent aussi de développer des habitats naturels pour les animaux et les insectes dans un milieu densément urbanisé, ce qui est très utile pour la population et la biodiversité.



Figure 18 - Battersea Power Station Gardens, (landscapeinstitute.org, 2019)

Les surfaces externes des bâtiments sont souvent seulement utilisées dans un but esthétique voire inutilisées. Il paraît donc judicieux de transformer ces surfaces en les végétalisant autant pour l'esthétique que pour les différents avantages présentés précédemment. Toutefois, il y a des limites à l'emploi de ces systèmes et des précautions à prendre pour que cela soit efficace écologiquement tout en répondant à l'exigence de qualité de confort attendu par les usagers des bâtiments ou des habitants des villes.

1.2.4. Les limites de la végétalisation des surfaces de bâtiments

Si la végétalisation des bâtiments est utilisée depuis longtemps en architecture et a évolué pour s'adapter aux milieux urbains, en leur procurant un grand nombre de bénéfices, elle connaît, toutefois, aussi des limites à son emploi et différents inconvénients.

1.2.4.1. Greenwashing

Le terme « Greenwashing » reprend le concept d'utiliser des arguments issus du développement durable dans la publicité sans préciser les limites de ces solutions environnementales. Comme il s'agit d'un phénomène récent, il n'existe pas de critères précis pour le percevoir et il s'étend à beaucoup de domaines où la question environnementale est abordée comme l'économie, la communication, les sciences sociales, les sciences appliquées et notamment l'architecture (de Freitas Netto et al., 2020).

Pour pallier ce phénomène, plusieurs traités ont été mis en place comme la Charte d'engagements et d'objectifs pour une publicité éco-responsable en 2008 (Cordelier & Breduillieard, 2013).

Les systèmes de végétalisation verticaux et horizontaux présentent de nombreux bénéfices mais ils ont aussi des limites qui ne sont pas toujours explicitées lorsqu'ils sont mis en place ou qui se révèlent lors de leur utilisation.

Par exemple, dans l'écoquartier de Bonne à Grenoble, plusieurs habitants se plaignent de problèmes liés à l'interface entre la façade végétalisée de leur logement et leur balcon. Du lierre est disposé sur les façades et les insectes sont très présents, ce qui gêne fortement certains habitants qui finissent par utiliser des produits chimiques pour les éloigner). Même si un des bénéfices des dispositifs végétatifs sur les bâtiments est de recréer des habitats naturels dans le milieu urbain, il faut que le confort des usagers soit préservé pour que cet équilibre fonctionne.

Cela peut aussi se traduire par un déficit de mise en œuvre ou de maintenance qui ne permettent pas d'exploiter pleinement le potentiel du système issu de l'architecture verte. De même, lorsque la végétation est aussi utilisée seulement pour son aspect esthétique et vient camoufler les façades alors, le terme « Greenwashing » peut être utilisé. La plupart du temps, cela se retrouve sous la forme de publicité. Perini et Magliocco (2012), expliquent dans leur étude que les systèmes techniques végétalisés sont parfois utilisés pour être des outils de communication afin de montrer des aspects durables grâce à la végétation. Dans cette optique, ils ne sont pas utilisés pour les autres apports environnementaux reconnus par la littérature scientifique. C'est d'ailleurs un aspect important traité dans le travail d'Emilio Ambasz avec son slogan « The green over the grey » (Perini & Magliocco, 2012).

1.2.4.2. Durabilité et impacts environnementaux

Les systèmes techniques végétalisés présentent des bénéfices environnementaux lorsqu'ils sont utilisés mais ils ont aussi un impact sur l'environnement au cours des différentes phases de leur cycles de vie.

Ce sont notamment les matériaux qui entraînent les impacts environnementaux les plus importants lorsque sont produits les systèmes techniques végétalisés. Une étude de Kosareo et Ries a comparé les impacts environnementaux entre une toiture verte extensive, une toiture verte intensive et une toiture plate conventionnelle. Le bilan environnemental des toitures vertes est important notamment lors de sa phase de production. Effectivement, les matériaux nécessaires à la mise en place de ces toitures sont très énergivores lors de la phase de production. L'étude conclue que les toitures vertes restent, tout de même, un choix bénéfique à l'environnement malgré le besoin de ressources supplémentaires des matériaux utilisés.

Ce n'est toutefois pas le cas de l'étude menée par Tams et de ses collègues (2022) sur deux toitures vertes différentes. Les analyses comparatives d'une toiture verte « conventionnelle » avec de l'argile expansée, de la pierre ponce et du compost dans le substrat et de l'autre toiture verte « alternative » avec des briques recyclées dans le substrat et un drainage en liège ont permis de conclure que les toitures vertes ne devraient pas être encore présentées comme des solutions environnementales durables. Le choix des matériaux est très important, il influence énormément l'énergie primaire, la consommation d'eau et le potentiel de réchauffement global, des toitures vertes extensives. Les conclusions montrent que des recherches supplémentaires doivent être menées concernant les matériaux des toitures végétalisées.

Il en est de même pour les systèmes végétalisés verticaux. Une étude menée par Ottelé et ses collègues (2014) met en avant des pistes d'améliorations pour réduire les impacts environnementaux des murs et des façades végétalisés. Les systèmes de support des plantes en acier inoxydable des façades végétalisées indirectes exercent une influence négative importante sur l'impact environnemental total du système végétalisé. De la même manière, les murs végétalisés composés de couches de feutre ont un impact environnemental élevé à cause des matériaux utilisés.

1.3. Typologies de dispositifs constructifs

Il existe différents types de systèmes constructifs végétalisés. Certains sont horizontaux et d'autres verticaux.

1.3.1. Les systèmes horizontaux

Les systèmes horizontaux les plus utilisés sont les toitures végétalisées mais il existe de nouvelles techniques issues de l'architecture verte comme des plafonds végétalisés.

1.3.1.1. Les toitures terrasses végétalisées

Il existe trois types de toitures vertes qui se différencient par leur végétation, leur épaisseur de couche de substrat, leur poids, leur système d'irrigation et leur coût (Besir & Cuce, 2017). Le détail de leur composition est donné sur la figure n° 19. Les toitures intensives peuvent accueillir de la végétation haute comme des arbres ou des arbustes. Les toitures extensives ont une couche de substrat peu épaisse et la végétation est basse principalement composée de sédums et de mousses. Enfin, les toitures semi-intensives sont situées entre les deux types de toitures citées et accueillent des espèces végétales variées.



Figure 19 - Schéma des différents composants des toitures terrasses, (Besir & Cuce, 2017)

Les toitures intensives :

Ce type de toitures possède l'épaisseur de substrat la plus épaisse, généralement de 30cm à 1m. Le substrat utilisé est de la terre et la végétation haute permet de faire des toits-jardins. Ces toitures sont, généralement, accessibles au public et se développent de plus en plus. Toutefois, elles nécessitent beaucoup d'entretien, sont plus coûteuses et plus lourdes (plus de 600daN/m²). Elles ne peuvent pas être installées sur tous les bâtiments et doivent être réfléchies consciencieusement lors de la conception des bâtiments (Moreteau, 2009).

Les toitures semi-intensives :

Les toitures semi-intensives ont un substrat compris entre 12 et 30 centimètres. Elles sont plus légères que les toitures intensives, leur charge totale est comprise entre 150 à 350 daN/m² (Guinaudeau, 2012).

Néanmoins, des plantes d'espèces végétales variées peuvent pousser, ce qui en fait un abri riche pour la biodiversité animale. Ces toitures peuvent accueillir du public mais la fréquentation est généralement modérée pour préserver les végétaux qui se développent (Moreteau, 2009).

Les toitures extensives :

Le dernier type de toiture est intitulé « toiture extensive ». Il est caractérisé par l'utilisation d'un substrat léger et de faible épaisseur (de 4 à 15 centimètres). Les végétaux plantés reçoivent un apport en eau limité, ce sont donc principalement des espèces habituées à vivre en milieu sec comme les mousses ou les sédums. De plus, leurs racines ne sont pas profondes et s'adaptent vite à la faible épaisseur de substrat (Moreteau, 2009).

Ce sont des toitures légères, la charge totale est de 60 à 180 daN/m², et elles ne nécessitent que peu d'entretien et sont donc souvent des toitures non accessibles. Les toitures extensives sont considérées comme peu esthétiques mais les bienfaits environnementaux qu'elles apportent comme la réduction des besoins climatiques des bâtiments font d'elles une solution écologique efficace.

Le schéma ci-dessous reprend les trois types de toitures existants.



Figure 20 - Schéma des trois types de toitures existants, toiture extensive (à gauche), toiture semi-intensive (au milieu) et toiture intensive (à droite), (Besir & Cuce, 2017)

1.3.1.2. Les plafonds végétalisés

Les plafonds végétalisés sont encore des prototypes issus du domaine de la recherche scientifique, il n'existe pas encore, aujourd'hui, de produits commercialisés. Ils sont conçus pour que les végétaux évoluent de manière « renversée », c'est-à-dire que les feuilles soient en dessous des racines. Les variantes de ces plafonds sont uniques car ce sont souvent des projets sur mesure pour lesquels ils

sont réalisés. Ces systèmes techniques végétalisés sont généralement en forme de voûte et l'eau est amenée aux plantes dans la sphaigne qui est une mousse hydro-rétentrice et fibreuse, capable de retenir l'eau. Le forme en voûte est une solution adéquate pour l'acoustique et le drainage des eaux. Pour évacuer l'eau, des réservations et des anneaux de passage permettent de faire passer les canalisations (Daures, 2012).



Figure 21 - Plafond végétal (Daures, 2012)

Des petites lampes à diodes sont utilisées pour éclairer les végétaux et le spectre lumineux spécifique peut stimuler la croissance de ces plantes. L'œil humain ne reçoit jamais la lumière électronique issu de cet éclairage.

1.3.2. Les systèmes verticaux

Les systèmes verticaux végétalisés peuvent être classés dans deux catégories différentes : les façades végétalisées et les murs végétalisés (Manso & Castro-Gomes, 2014). Les façades vertes sont caractérisées par les plantes grimpantes qui poussent le long du mur et qui vont venir le recouvrir. Tandis que sur les murs végétalisés, les plantes sont plantées à l'horizontale à l'aide de moyens variés comme, par exemple, des panneaux pré-végétalisés, des sacs végétalisés ou des bacs (Martin, 2015 ; Guinaudeau 2015).

1.3.2.1. Les façades végétalisées

Les plantes des façades végétalisées peuvent pousser selon deux directions. Elles peuvent monter depuis le sol, le long de la paroi ou être attachées en haut du mur et descendre parallèlement au mur. Il existe deux types de façades végétalisées catégorisées comme façades vertes directes ou façades vertes indirectes (Manso & Castro-Gomes, 2014).

Dans le cas d'une façade végétalisée directe, les plantes grimpantes sont attachées directement à la paroi (1) tandis que dans l'autre cas, pour une façade végétalisée indirecte, les plantes sont accrochées à une structure porteuse positionnée devant le mur (2), comme le montre la figure suivante (Martin, 2015). Pour les deux types de façades vertes, les plantes grimpantes peuvent être plantées en pleine terre, dans une tranchée d'au moins 60cm de large et 60 cm de profondeur ou dans une grande jardinière posée sur le sol et adossée contre le mur, permettant de faire pousser les plantes au-dessus d'un trottoir ou d'une cour.

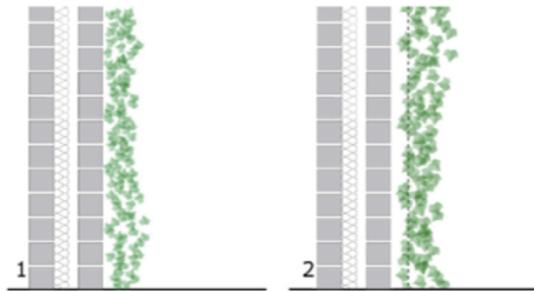


Figure 22 - Schéma d'une façade végétalisée directe à gauche (1) et une façade végétalisée indirecte à droite (2), (Martin, 2015)

Pour les façades vertes directes, Il est nécessaire de faire attention dans les deux cas au substrat terreux qui doit être d'une qualité adéquate pour les plantes utilisées et à l'évacuation des eaux de drainage qui doivent être dirigées vers un exutoire. Afin que les plantes s'accrochent et grimpent au mur, la façade végétalisée doit être en très bon état et sa surface doit être rugueuse. Les façades vertes directes sont donc souvent en pierre ou en crépi. Des surfaces en béton lisse ou en métal ne fonctionnent pas pour ce système (Guinaudeau 2015).

Pour les façades végétalisées indirectes, les plantes grimpantes peuvent s'accrocher à différents types de fixations : les treillages, les poteaux, les fils horizontaux ou les câbles verticaux (Guinaudeau 2015). Le système végétalisé le plus répandu est la façade végétalisée indirecte avec l'utilisation de câbles verticaux car elle est facile à mettre en œuvre (Daures, 2012).

Pour les façades vertes directes et indirectes, les espèces des végétaux doivent être choisies avec soin en fonction de l'utilisation et de la hauteur souhaitée. Les plus grandes plantes grimpantes peuvent atteindre 10 à 12 mètres. Il y a généralement 3 catégories de plantes à utiliser pour les façades végétalisées : les plantes basses qui grimpent jusqu'à 3 mètres, les plantes moyennes pouvant se développer jusqu'à 3 mètres de haut et les plantes hautes qui peuvent atteindre 10 mètres (Guinaudeau 2015).

1.3.2.2. Les murs végétalisés

Les murs végétalisés sont les systèmes les plus souvent utilisés en architecture puisqu'ils permettent de recouvrir de larges et hautes façades. Les systèmes de support des plantes peuvent être fixés sur la majorité des murs extérieurs ou intérieurs si ces derniers supportent la charge des fixations et des végétaux (Guinaudeau 2015).

Les techniques de végétalisation ne varient pas entre un mur extérieur et un mur intérieur mais le concepteur doit prendre en compte les conditions climatiques et adapter l'irrigation des plantes et le choix du substrat (Moreteau, 2009).

Il existe plusieurs marques déposées, concepteurs et fabricants de systèmes de murs végétalisés mais ces systèmes peuvent être répartis en deux catégories : les murs végétalisés continus ou en nappe continue, ou les murs végétalisés modulaires (Manso & Castro-Gomes, 2014).

Les murs végétalisés continus :

Ce système de végétalisation des murs a été conçu par Patrick Blanc qui est biologiste, botaniste et chercheur au Centre National de la Recherche Scientifique. Il a déposé un brevet pour la création de ce type de mur en 1988 (Guinaudeau 2015). Les murs végétalisés en nappe continue sont composés d'une structure primaire en métal qui vient se fixer au mur porteur en laissant un vide ventilé pour protéger la paroi du bâtiment de l'humidité. Le support de culture est continu sur toute la partie du mur végétalisé. Une nappe d'irrigation double en feutre imputrescible dans laquelle on vient percer des poches va accueillir les végétaux (figures n°23 et n°24). Cette nappe, fixée sur une plaque de PVC, va être imbibée d'eau nutritive pour les végétaux, par un système automatique d'irrigation (Moreteau, 2009 ; Guinaudeau 2015).



Figure 24 - Détail de la nappe en feutre imputrescible de la façade du musée Quai Branly, (photo personnelle, 2022)



Figure 23 - Poches créées dans la nappe de la façade du Musée quai Branly, (photo personnelle, 2022)

Un collecteur est positionné au pied du mur pour recevoir l'eau qui ruisselle de la nappe du mur végétalisé. Les murs végétalisés en nappe doivent être installés rigoureusement pour fonctionner correctement et peuvent vivre autant à l'extérieur qu'à l'intérieur (Moreteau, 2009).

Les murs végétalisés modulaires :

Ce système de végétalisation des murs se présente sous différentes formes. Il est composé d'éléments généralement de la même taille qui sont assemblés et fixés sur une structure rigide. Il y a deux sortes de modules : les modules préformés et les cages métalliques.

Les modules préformés sont des bacs en matériaux synthétiques, comme le PVC, dans lesquels on ajoute du substrat qui est souvent de la laine de roche horticoles (Moreteau, 2009). Ces modules sont en suspension au-dessus du sol comme des « jardinières multiples ». Le système d'irrigation contenant les nutriments nécessaires aux plantes est incorporé dans les murs végétalisés modulaires (Guinaudeau 2015).

Les cages métalliques sont des volumes fermés où le substrat est enfermé. Les plantes poussent dans ce substrat constitué d'un mélange hydrophile et de matières organiques comme de la tourbe.

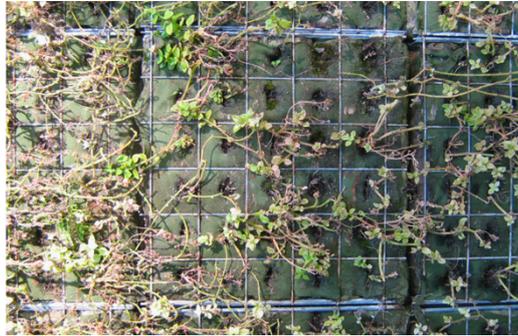


Figure 25 - Mur végétalisé modulaire avec cage métallique (Manso & Castro-Gomes, 2014)

Finalement, la réalisation et la gestion des murs végétalisés exigent un haut niveau de technicité qui doit être détaillé au cours de la conception de bâtiments issus de l'architecture verte.

1.4. Présentation de bâtiments issus de l'architecture verte

Dans ce travail, quelques bâtiments avec des systèmes techniques végétalisés sont présentés.

1.4.1. Le musée du quai Branly – Jacques Chirac

Le musée du quai Branly – Jacques Chirac est un bâtiment qui abrite les collections d'arts et des civilisations d'Afrique, d'Asie, d'Océanie et des Amériques. Il a été conçu par les Ateliers Jean Nouvel et a été inauguré en 2006. La caractéristique de cet ouvrage architectural est le mur végétalisé qui constitue sa façade. En effet, les architectes des Ateliers Jean Nouvel ont collaborés avec le botaniste et chercheur Patrick Blanc pour réaliser ce système technique végétalisé. Il est d'une superficie de 1 022 m² et de 22m de haut. Cette réalisation comprend 15 000 végétaux plantés issus de 376 espèces différentes, ce qui en fait un ouvrage particulièrement riche en biodiversité végétale (quaibrantly.fr, s.d.).



Figure 26 - Détail du mur végétalisé du musée quai Branly, (murvegetalpatrickblanc.com, 2012)



Figure 27 - Mur végétal du musée quai Branly, (murvegetalpatrickblanc.com, 2019)

Ce mur a été rénové en 2017, à la suite d'une campagne de fonds lancée par le musée quai Branly – Jacques Chirac, pour refaire l'étanchéité ainsi que renforcer l'isolation thermique et acoustique du bâtiment. De nouvelles essences ont été plantées et le système d'arrosage a été repensé pour être répondre automatiquement aux besoins en eau et en nutriments des plantes (n2b-arrosage.com, s.d.).

1.4.2. Les Magasins Généraux

Le projet des Magasins Généraux a été réalisé par les architectes Jung Architectes et l'équipe de paysagistes de l'Atelier Foïs en 2019. Il s'agit d'une reconversion des bâtiments portuaires du port de Pantin en bureaux. Une attention particulière est portée aux aménagements des espaces verts. Les toitures de ces deux immeubles sont des toitures vertes intensives accessibles. Elles sont rendues disponibles pour les occupants des bâtiments et intègrent une grande diversité d'usage. Par exemple, un jardin potager est présent et est entretenu par les employés des bâtiments et des ruches sont installées sur l'une des toitures-terrasses favorisant la biodiversité de ces espaces (atelierfois.com, 2019).



Figure 29 - Toiture terrasse des Magasins Généraux, (atelierfois.com, 2019)



Figure 28 - Jardin potager sur le toit des Magasins Généraux, (atelierfois.com, 2019)

1.4.3. Le parking Perrache – Archives La Confluence

Le parking Perrache-Archives La Confluence est un projet, à Lyon, qui a été réalisé par l'architecte Dominique Bourreau et son agence Atelier Arche en collaboration avec le botaniste et chercheur Patrick Blanc. Cette réalisation, datant de 2010, est constituée d'un parking souterrain en forme de huit et de deux murs végétalisés situés dans les rampes d'entrée et de sortie. Ce parking de 649 places descend du niveau -1 au niveau -8 et les véhicules tournent autour des murs verts de 22m de haut. Il y a 26 essences plantées différentes qui ont été sélectionnées selon le taux d'humidité et les contraintes de ventilation et luminosité du parking souterrains (ecolopop.info, 2011).



Figure 31 - Mur végétalisé intérieur du parking Perrache-Archives La Confluence, (murvegetalpatrickblanc.com, 2016)



Figure 30 - Mur végétalisé intérieur de la rampe de sortie du parking Perrache-Archives La Confluence

1.4.4. L'espace Bienvenue

Cet ouvrage architectural a été conçu par les architectes de l'agence Pargade basée à Paris en collaboration avec les paysagistes de l'agence David Besson-Girard. Ce pôle scientifique et technique a été réalisé dans le prolongement de la trame verte du campus universitaire de Marne-la-Vallée. Il est caractérisé par sa toiture verte ondulante accessible. L'espace public invite les promeneurs à continuer leur chemin sur cette toiture végétalisée. Le projet a coûté 95 millions d'euros et a été réalisé en 2006 (pargade.com, 2017).



Figure 32 - Toiture végétalisée et promenade de l'Espace Bienvenue, (pargade.com, 2017)



Figure 33 - Toiture végétalisée de l'Espace Bienvenue, (pargade.com, 2017)

CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE DU TRAVAIL DE RECHERCHE

2.1. Schéma méthodologique

Trois parties constituent ce travail, la première est théorique et retranscrit les enjeux et les caractéristiques de l'architecture verte ainsi que quelques exemples spécifiques à ce type d'architecture. La deuxième partie présentera et analysera, dans un premier temps, des méthodes environnementales sélectionnées pour étudier la place laissée aux critères ou aux systèmes de construction traitant de l'architecture verte dans ces méthodes. Dans un second temps, des cas d'étude seront choisis pour obtenir l'avis de concepteurs engagés dans cette démarche architecturale ainsi que celui d'utilisateurs de ce type de bâtiments. Enfin, dans la dernière partie, les données traitées dans la partie précédente seront analysées de manière critique et un retour sur l'ensemble de l'étude permettra de discuter du futur de l'architecture verte.

Le schéma ci-dessous présente la structure du travail de manière plus synthétique.

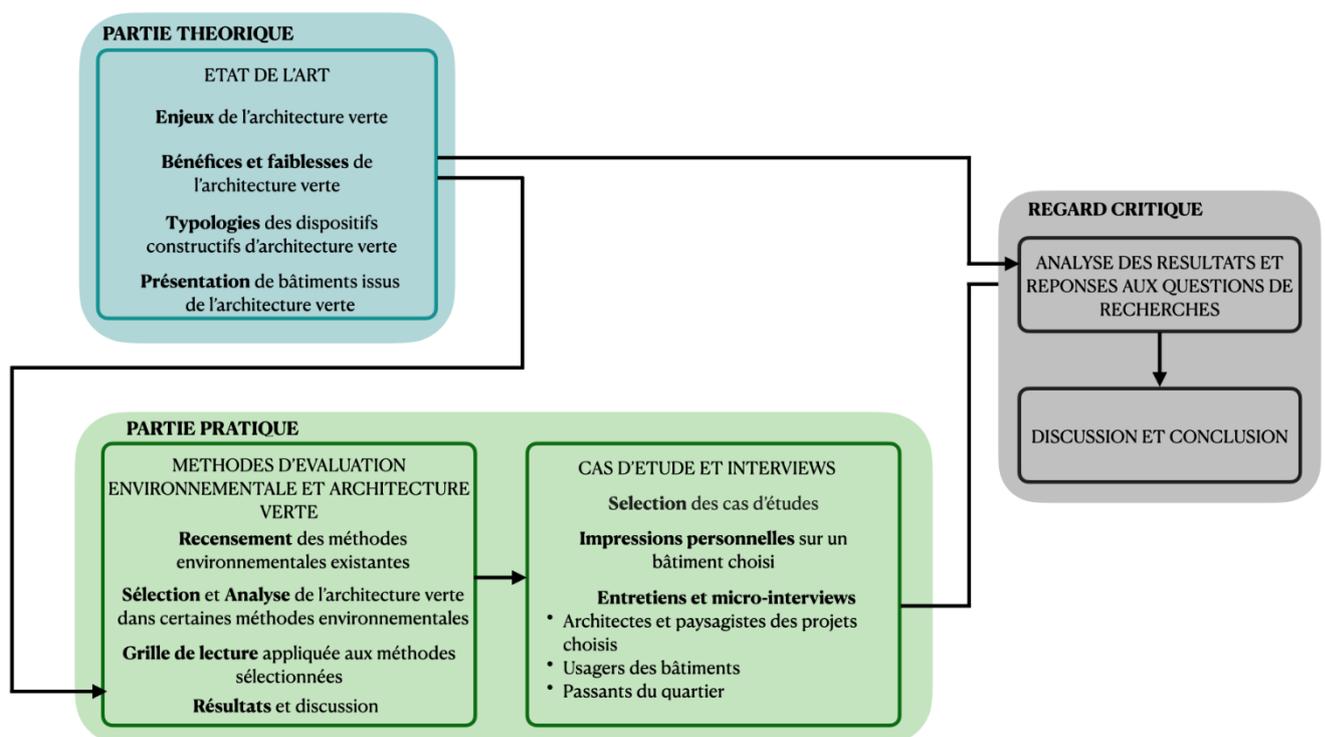


Figure 34 - Schéma de présentation de la méthodologie, Schéma personnel

Après l'analyse des parties théorique et pratique, la conclusion essaiera de répondre à la question suivante :

« L'architecture verte, définie comme une architecture qui intègre des végétaux vivants dans ses parois et/ou ses espaces, permet-elle d'améliorer les qualités environnementales et durables des constructions actuelles et quel rôle a-t-elle à jouer dans le futur de l'architecture écologique ? »

2.2. Méthodes d'évaluation environnementale

Afin de savoir si l'architecture verte est prise en compte dans les méthodes d'évaluation environnementale de la durabilité, un récapitulatif de l'emploi de ces méthodes est nécessaire.

2.2.1.1. Type de méthodes d'évaluation environnementale existantes

Il existe beaucoup de certifications et labels dans le monde de la construction. Elles sont applicables à différentes échelles, celles concernant la construction et rénovation de bâtiments, celles portant sur la qualité d'exploitation et d'usage du bâtiment et celles qui agissent à l'échelle des quartiers.

Dans ce travail, les méthodes d'évaluation environnementale étudiées porteront sur le bâtiment et ses composantes.

2.2.1.1.1. Les certifications écologiques

Les certifications écologiques permettent de qualifier la performance environnementale d'un bâtiment selon des thèmes variés. Elles s'intéressent par exemple à la consommation de ressources (eau, énergie et matériaux), à la génération de polluants (eaux usées, émissions de gaz à effet de serre, etc.), à la qualité de l'environnement intérieur (qualité de l'eau et de l'air, confort thermique, etc.) et aussi parfois à l'accessibilité en transport en commun et les aménagements paysagers (Derghazarian, 2011).

Il convient de remarquer que ces méthodes d'évaluation environnementale ne sont actuellement pas obligatoires mais qu'elles sont engagées volontairement par le maître d'ouvrage ou un promoteur. Elles permettent de montrer le potentiel en termes de confort, respect de l'environnement et économie de charges d'un bâtiment et s'appliquent généralement à plusieurs phases de la vie d'un bâtiment (conception, utilisation...). Elles guident la maîtrise d'ouvrage qui souhaite obtenir une certaine qualité environnementale et énergétique. Dans la même optique, elles renseignent les prochains acheteurs ou locataires (Maes, 2009).

Si les certifications sont internationales et présentent des similarités dans les critères qui les caractérisent, chaque système d'évaluation est bien différent (Derghazarian, 2011). La plus connue et la plus ancienne des certifications est BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method). Elle a été lancée au Royaume-Uni et permet de mesurer les performances d'un

bâtiment en termes d'utilisation énergétique, santé et confort, pollution, transport, utilisation du sol, écologie, management, gestion de l'eau et matériaux (Gu et al., 2007). La certification LEED Green Building Rating System (Leadership in Energy and Environmental Design) est originaire des Etats-Unis et est la plus utilisée outre-Atlantique. Les critères de cette certification sont listés par ordre alphabétique sans catégories distinctes ou structure particulière. Les critères peuvent porter sur la gestion de l'eau et de l'énergie, la qualité des espaces intérieurs ou encore l'innovation dans le projet (Cole, 2010 ; LEED v4 for Building Design and Construction, 2019). D'autres certifications ont déjà fait leur preuve comme GBTool (Green Building) à l'international, Ecoprofile en Norvège, Green Star and Nabers en Australie, Green Mark for Buildings à Singapour... En Belgique et en France, la certification la plus utilisée est nommée HQE (Haute Qualité Environnementale) et s'applique à différentes phases de la construction et de l'utilisation d'un bâtiment. Il existe aussi des certifications qui vont se caractériser par leurs critères spécifiques à un aspect de la vie des bâtiments comme la certification WELL. Celle-ci s'intéresse à la qualité de vie générée par les espaces intérieurs ce qui sous-entend la qualité de l'air, la luminosité ou encore le confort thermique ainsi qu'au bien-être humain (v2.wellcertified.com). Ces certifications sont reconnues internationalement et permettent aux maîtres d'ouvrage et autres acteurs de la conception d'assurer une construction respectueuse de l'environnement dans le souci du bien-être de ses usagers.

2.2.1.1.2. Autres méthodes

Il existe d'autres méthodes d'évaluation environnementale qui ont été instituées par différents organismes. Les concepteurs qui souhaitent s'engager dans des démarches favorables à l'environnement peuvent aussi entreprendre le RIBA 2030 Climate Challenge et suivre le guide « RIBA Sustainable Outcomes Guide ». Il s'agit d'une méthode d'auto-évaluation lancée en 2019 et composée de huit parties qui permet aux architectes de renforcer leur positionnement environnemental dans la conception.

Les labels sont issus du regroupement d'exigences auxquelles les produits labellisés doivent répondre. Les organismes qui les mettent en place sont publics ou privés et sont donc moins encadré que les certifications. Cette méthode permet de qualifier l'impact écologique d'un produit pendant la totalité



Figure 35 - Logo du label « Blaue Engel », labelinfo.be

de son cycle de vie complet mais sans obligation d'utiliser la méthode ACV. Par exemple, le label « Blaue Engel » créé en 1978 en Allemagne est utilisé pour des services, des matériaux de construction ou des produits pour la maison. Il permet de garantir le respect de l'environnement et que le produit ou le service à un faible impact environnemental. Ils sont attribués à l'issue d'une démarche volontaire.

Les bâtiments peuvent aussi être évalués par leurs impacts environnementaux. Effectivement, l'outil belge TOTEM (Tool to Optimise the Total Environmental impact of Materials) permet d'évaluer les impacts de certains matériaux et éléments de construction qui constituent un bâtiment ainsi que de configurations simples de bâtiments. Cet outil utilise une base de données qui prend en compte les distances de transport et est adapté au mixte énergétique belge. S'appuyant sur la méthode scientifique de l'analyse en cycle de vie et sur le marché belge de la construction, cet outil peut s'avérer très utile pour comparer des propositions de projets en phase de conception (totem-building.be).

Les normes sont des règles qui s'appliquent à différents organismes des entreprises aux Etats et permettent de structurer la production pour limiter la destruction des ressources naturelles. Les normes environnementales ont pour but de diminuer l'impact des entreprises sur l'environnement. Par exemple, la norme ISO 14 001 de Management Environnemental s'applique sur les activités, produits et services d'un organisme pour démontrer le niveau de performance environnementale et la maîtrise des impacts sur l'environnement (Reiter, 2021). Parmi les plus connus, les normes thermiques issues de la RT 2012 et de la RT 2020 sont à appliquer pour les constructions neuves. Elles fixent des limites sur la consommation énergétique des bâtiments.

L'analyse en cycle de vie permet d'avoir des informations sur les aspects environnementaux et les impacts environnementaux potentiels au cours du cycle de vie d'un produit. C'est un outil d'aide à la décision systémique qui est utilisé « du berceau à la tombe », de la production à la mise au rebut du produit étudié. C'est une méthode régie par la norme internationale ISO 14040 (Blanc, 2010). Elle peut être appliquée à un produit de construction, un élément du bâtiment ou un bâtiment dans sa totalité. Son déroulement passe par quatre phases. La première est la phase de définition des objectifs et du champ de l'étude, ensuite vient la phase d'inventaire LCI (Life Cycle Inventory) où se passe la collecte des données, la modélisation et les vérifications. La troisième phase est la phase d'évaluation de l'impact LCIA (Life Cycle Impact Assessment) qui traduit les émissions en impact environnemental pour la santé et la dernière phase est l'interprétation où s'effectue l'étude de sensibilité des différents paramètres, les recommandations et les rapports de synthèse (Reiter, 2021).

Ces méthodes d'évaluations environnementales variées permettent de structurer la construction, le cycle de vie des bâtiments et l'utilisation de matériaux dans une optique tournée vers l'écologie.

2.3. Choix des méthodes et type d'analyse

Parmi toutes ces méthodes, une sélection est nécessaire afin de traiter les méthodes pertinentes pour l'étude de l'architecture verte et des cas d'étude.

2.3.1. Sélection des méthodes d'évaluation

2.3.1.1. *En lien avec les bâtiments exemplaires*

Dans le but d'étudier la place de l'architecture verte dans différentes méthodes environnementales, il faut repartir des différents bâtiments présentés dans la partie « 1.4 Présentation de bâtiments exemplaires en architecture verte » puisque différentes typologies constructives sont détaillées. En effet, les méthodes environnementales doivent être choisies en tenant compte de la variété d'utilisation de l'architecture verte dans les constructions. Les toitures vertes ne sont pas étudiées de la même manière que les façades vertes selon les critères qu'il faut respecter. De manière à obtenir des résultats généraux sur la question de la pertinence de l'architecture verte dans les méthodes environnementales, trois méthodes ont été choisies. La première méthode retenue est la démarche HQE. Elle est intéressante puisqu'elle est applicable à la conception de bâtiments en neuf et a beaucoup de succès en Europe et notamment en France de nos jours. Cela permettra de considérer si l'architecture verte est une valeur ajoutée pour créer des bâtiments à haute qualité environnementale. Afin de mener une étude générale complète, certains bâtiments comportent des systèmes d'architecture verte dans leur intérieur comme des murs végétalisés. Pour étudier la pertinence de ce système dans les méthodes d'évaluations environnementales actuelles, la méthode WELL Standard Building a été choisie puisqu'elle traite des qualités intérieures d'un bâtiment. D'un point de vue quantitatif, une comparaison du score environnemental entre une toiture verte et une toiture plate « classique » à l'aide de l'outil TOTEM permettra d'avoir une idée de l'impact environnemental de ce système technique. Enfin, il sera intéressant de constater les différences et les similarités entre les différentes méthodes étudiées et la manière dont elles intègrent ou non l'architecture verte parmi leurs solutions durables.

2.3.1.2. *En lien avec l'architecture verte*

L'architecture verte présente plusieurs bénéfices comme exposés dans la partie « 1.2.1. Les bénéfices environnementaux ». Afin de savoir si ces bénéfices ressortent dans les méthodes d'évaluations environnementales, il convient d'étudier différents types de méthodes et critères. Ainsi, la démarche

HQE s'intéresse à l'éco construction, l'éco gestion, le confort et la santé. La méthode RIBA est utilisée en vue de réduire les émissions carbone issues de la construction et la méthode WELL Standard Building traite des espaces intérieures en vue d'améliorer la santé et le bien-être des êtres humains. L'outil TOTEM, quant à lui, permet de quantifier différents impacts environnementaux grâce à la méthode d'analyse en cycle de vie.

2.4. Grille de lecture appliquée aux méthodes choisies

La grille de lecture est un tableau permettant de reporter et trier les différents critères d'analyse des méthodes d'évaluations environnementales. Cette grille a été faite en lien avec les bénéfices et les avantages étudiés dans la partie 1.2 « Avantages et faiblesses de l'architecture verte ». Je l'ai remplie au fur et à mesure de la lecture des méthodes. Pour la démarche HQE, elle ne concerne que le référentiel HQE et non pas le guide pratique du référentiel. Elle permet d'obtenir le nombre de critères sur l'architecture verte selon le système constructif employé, les avantages énoncés et son exploitation intérieure ou extérieure ainsi que de déterminer si le champ lexical de l'architecture verte n'est jamais, peu ou est beaucoup employé. Cette grille comprend 3 parties.

Une première partie de la grille présente les méthodes d'évaluations environnementales étudiées avec leur application, leur but et leur nombre de projets certifiés. Cela permet d'avoir une vision résumée et globale sur les méthodes présentées dans ce travail.

Ensuite la deuxième partie de la grille de lecture porte sur le contenu des méthodes. Afin de savoir plus précisément quelles parties portent sur l'architecture verte, les critères sont comptés en fonction de leur thème (système constructifs, domaines, etc.). Par exemple pour HQE, il y a 5 critères qui traitent des façades des bâtiments et parmi ceux-là, il y en a 2 où sont évoquées les façades végétalisées.

Enfin la dernière partie se base sur les mots employés dans les textes des méthodes d'évaluations environnementales. Ainsi, des mots du champ lexical de l'architecture verte ont été recensés, comme « biodiversité » et « écologie », puis recherchés dans les référentiels des méthodes.

Il y a 12 mots et expressions choisis qui ont été utilisés, comme le montre le tableau ci-dessous :

Mots et expressions issues du champ lexical de l'architecture verte
"biodiversité"
"toiture verte/végétalisée"
"façade verte/végétalisée"
"mur vert/végétalisé"
"architecture verte"
"jardin intérieur"
"végétaux/végétation"
espèces végétales
"plantes/essences plantées"
"toiture extensive/intensive"
"développement durable"
"écologie/écologique"
"végétalisation/végétalisé"
"nature"

Figure 36 - Tableau des mots et expressions recherchés dans les méthodes environnementales

En ce qui concerne la démarche HQE, 2348 projets ont déjà été certifiés par NF HQE Bâtiments Tertiaires entre 2005 et 2022 (certimap.certivea.fr). Il est imposé d'avoir au moins 3 cibles Très Performant, 4 cibles Performant et le reste en niveau Base. La cible 4 doit être traitée au minimum en Performant. Seules 3 cibles sont demandées au niveau TP alors que 5 critères sur 8 concernant l'architecture verte doivent être validés à ce niveau de performance. Toutefois, la cible 4 comporte deux critères au niveau Performant qui proposent des solutions architecturales végétalisées et doivent donc être validés pour obtenir la certification HQE.

Pour les critères concernant la qualité de l'air intérieur, les mots « ventilation » et « intérieur » ont été recherchés. Pour les critères sur la surchauffe le mot « température » a été recherché en plus de « surchauffe » et pour les critères concernant les matériaux, le mot « produit » a aussi été ajouté et le contexte a permis de définir s'il était employé en tant que synonyme de matériau ou non.

Il faut remarquer qu'il n'y a aucun critère sur les espaces verts intérieurs et le bien-être physique des usagers n'est jamais mentionné directement. Il peut se deviner dans certains critères comme le 8.2.4 où l'utilisateur peut choisir l'ambiance thermique qu'il souhaite en période froide. En revanche, il y a 18 critères concernant la pollution. Il peut s'agir de différents types de pollution, celle des eaux, des sols, de l'air, sonore... Qui n'interviennent pas de la même manière (chronique ou accidentelle, interne ou externe). Mais sur ces 18 critères, un seul mentionne les végétaux pour l'impact allergènes qu'ils pourraient avoir sur la santé. Pour la surchauffe et la qualité de l'air intérieur, il y a aussi

respectivement 14 et 15 critères dans la méthode HQE sur ces sujets mais seulement 1 parlent des toitures et écrans végétaux pour traiter la surchauffe et aucun ne porte sur l'air intérieur. Le champ lexical de l'architecture verte est aussi peu employé dans la méthode environnementale HQE. Les mots présentés dans le nuage de mots ci-dessous sont les seuls qui apparaissent dans le texte officiel.



Figure 37 - Nuage de mots présents dans la démarche HQE

« Biodiversité » est le mot qui apparaît le plus grand nombre de fois, 7 au total. Suivi par « développement durable » (5 fois) et « végétalisation/végétalisé » (3 et 4 fois). Les expressions « espèces végétales », « plantes/essences plantées » et « écologie/écologique » se retrouvent au maximum 2 fois dans le référentiel. Tous les autres mots et expressions analysés ne se retrouvent pas dans le référentiel. Le tableau ci-dessous reprend la liste des mots analysés qui apparaissent dans le référentiel HQE.

Mots et expressions issus du champ lexical de l'architecture verte
"biodiversité"
"toiture verte/végétalisée"
"façade verte/végétalisée"
"mur vert/végétalisé"
"architecture verte"
"jardin intérieur"
"végétaux/végétation"
espèces végétales
"plantes/essences plantées"
"toiture extensive/intensive"
"développement durable"
"écologie/écologique"
"végétalisation/végétalisé"
"nature"

Figure 38- Tableau récapitulatif des mots et expressions trouvés dans le référentiel HQE

Les systèmes constructifs sont énoncés dans le guide pratique du référentiel. Il faut donc déjà s'intéresser à la démarche de certification HQE et avoir consulté le guide pour savoir quels systèmes constructifs issus de l'architecture verte peuvent être utilisés. Le terme « architecture verte » n'est jamais employé directement pour qualifier les critères se reportant à ce type d'architecture.

Pour la méthode WELL Building Standard, plus de 4350 projets ont déjà été certifiés depuis 2014. Pour les exigences s'intéressant aux toitures les mots « roof » et « rooftop » ont été recherchés. Pour les façades les mots « facade », « enveloppe » et « exterior wall » ont été recherchés. Les autres exigences ont été relevées lors de la lecture du référentiel WELL.

Il faut remarquer qu'aucune exigence de cette certification ne traite des toitures et de la qualité de l'air extérieur. En revanche, le bien-être mental des usagers fait l'objet de 29 exigences, et les matériaux et la qualité de l'air intérieur sont intégrés dans 9 et 13 exigences.

Le champ lexical de l'architecture verte est très peu employé dans cette certification. Le nuage de mots ci-dessous résume les mots qui apparaissent dans le guide de la méthode WELL Building Standard.



Figure 39 – Nuage de mots présents dans la certification WELL Building Standard

Les mots « végétaux/végétation », « plantes/essences plantées » sont apparus le plus grand nombre de fois, 19 fois au total. Les mots « nature » et « végétalisation/végétalisé » ont été utilisés, respectivement, 10 et 6 fois. Le mot « mur végétalisé » est employé une fois. Tous les autres mots et expressions analysés ne se retrouvent pas dans le référentiel. Le tableau ci-dessous reprend la liste des mots analysés qui apparaissent dans la certification WELL Building Standard.

Mots et expressions issus du champ lexical de l'architecture verte
"biodiversité"
"toiture verte/végétalisée"
"façade verte/végétalisée"
"mur vert/végétalisé"
"architecture verte"
"jardin intérieur"
"végétaux/végétation"
espèces végétales
"plantes/essences plantées"
"toiture extensive/intensive"
"développement durable"
"écologie/écologique"
"végétalisation/végétalisé"
"nature"

Figure 40 - Tableau récapitulatif des mots et expressions trouvés dans la certification WELL

2.5. Choix des cas d'études

Pour compléter ce travail, des cas d'études ont été choisis dans le but d'obtenir des interviews avec des concepteurs et différents acteurs de la conception ainsi que des riverains et usagers. Les bâtiments choisis sont le musée quai Branly et son mur végétalisé, l'Espace Bienvenue et ses toitures végétalisées, le parking Perrache-Archives La Confluence et ses murs végétalisés et enfin les Magasins Généraux et leurs toitures végétalisées incluant des potagers.

2.5.1. Sélection selon les systèmes constructifs et les concepteurs

Dès le début, il paraissait intéressant de traiter des bâtiments comprenant différents aspects techniques de l'architecture verte. Les systèmes d'architecture verte sont variés et leur structure doit être pensée de la conception jusqu'à la réalisation. Il s'agissait donc de choisir des bâtiments de grande ampleur avec des toitures, des façades ou des murs végétalisés. Ma sélection s'est faite à partir des grandes réalisations en architecture verte des vingt dernières années. Plusieurs bâtiments étaient remarquables mais les disponibilités des concepteurs m'ont très vite freinées. Par exemple, un de mes premiers choix fut la Nouvelle Tour Montparnasse qui est en train d'être rénovée par le groupe d'associés Nouvelle AOM (Agence architecturale de l'Opération Maine-Montparnasse). Celle-ci est transformée avec l'ajout de jardins et terrasses végétalisées et la création d'une serre bioclimatique au 59^{ème} étage (lemoniteur.fr, 2021). Mais le projet lancé par un concours en 2016 et dont les travaux

viennent de commencer est encore confidentiel si bien que les concepteurs ne peuvent pas répondre à des questions pour le moment. Ainsi, le choix des bâtiments est la conséquence des réponses positives des concepteurs.

2.5.2. Sélection en lien avec les méthodes environnementales

Pour sélectionner les différents cas d'études, une attention particulière a aussi été portée sur le lien qu'il était possible de faire avec les méthodes environnementales étudiées précédemment. La méthode HQE porte sur les bâtiments neufs, en rénovation et en exploitation et évalue les impacts du bâtiment sur l'environnement. Elle évalue des aspects extérieurs et intérieurs des bâtiments et est très utilisée en France. Il s'avérait donc pertinent de choisir des bâtiments français ou européens. Elle aborde aussi des points de la construction bioclimatique qui sont en lien avec l'architecture verte comme la gestion de l'eau ou la qualité de l'air. Cela permet donc de mettre en lien la pertinence des différents systèmes constructifs végétalisés avec l'obtention de la démarche HQE. La certification WELL traite, quant à elle, de la qualité et du confort des espaces internes, ainsi que du bien-être des occupants des bâtiments. Il a donc été envisagé d'obtenir l'avis des concepteurs de murs végétaux intérieurs mais le printemps étant la pleine saison des paysagistes, il a été difficile d'obtenir une réponse positive. Cependant, le parking Perrache-Archives La Confluence est, à mon sens, un bon compromis puisqu'il comprend une partie de mur végétalisé intérieur.

Finalement, les cas d'études retenus sont les suivants :

Bâtiments choisis	Ville et pays	Date de réalisation	Systèmes constructifs	Fonctions	Types d'interventions
Musée Quai Branly	Paris, France	2006	Façade végétalisée	Musée des Arts et des Civilisations	Construction neuve
Parking Perrache-Archives La Confluence	Lyon, France	2010	Mur végétalisé	Parkings de 649 places	Construction neuve
Magasins Généraux	Pantin, France	2016	Toiture végétale et potager	Centre de création	Rénovation
Espace Bienvenüe	Marne-La-Vallée, France	2016	Toiture végétale et cultures	Centre de recherche aux sciences de l'environnement	Construction neuve

Figure 41 - Cas d'études retenus

2.6. Élaboration des interviews

Afin d'étudier la perception actuelle de l'architecture verte dans le monde de l'architecture et dans les esprits, trois questionnaires ont été élaborés selon deux types d'interviews différents.

2.6.1. Objectif des interviews

Les deux premiers questionnaires ont été créés pour l'obtention de données qualitatives auprès des acteurs de la conception en architecture verte et des usagers des bâtiments. Il questionne leur définition et leur vision de l'architecture verte, leurs motivations ainsi que leurs méthodes de travail et de conception en s'appuyant sur certaines de leurs réalisations. Il a pour but d'obtenir une tendance concernant le futur de l'architecture verte dans la construction environnementale.

Le troisième questionnaire a été instauré pour obtenir des réponses rapides sur le ressenti des citoyens concernant certains systèmes techniques végétalisés et l'architecture verte plus généralement. Il s'agit d'un format plus court puisqu'il s'effectue sous la forme d'un micro-trottoir.

2.6.2. Population visée

Le public a été choisi selon la nature différente des interviews expliquées précédemment.

2.6.2.1. Les acteurs de l'architecture verte choisis

Pour ces interviews, plusieurs concepteurs ont été contactés avec des statuts différents.

Luc Schuiten est un architecte né en 1944 à Bruxelles. Il fonde en 1987 son agence d'architecture l'Atelier d'architecture Schuiten SPRL. Son travail en architecture découle de sa prise de conscience des problèmes écologiques et du devenir de l'humanité. Dès ces premiers projets, il se démarque par le lien fort avec la nature et le végétal qu'il établit et ses constructions bioclimatiques inspirées du biomimétisme. Il est président de l'asbl VEGETAL CITY et a écrit deux livres sur son parcours professionnel et sa vision future de l'architecture. J'ai contacté M. Schuiten par mail depuis son site internet.

Le deuxième concepteur interviewé est M. Dominique Bourreau, architecte et membre fondateur de l'agence Atelier Arche basée à Lyon en France. Né en 1954, il exerce son métier au sein de l'agence depuis 1989 et conçoit des projets de natures différentes comme des bâtiments culturels, des parkings, etc. L'agence participe à beaucoup de concours d'architecture, de design et d'art comme le concours de la maison du Japon à Paris où elle s'est fait remarquer. J'ai contacté M. Bourreau par téléphone après une recherche internet concernant son agence.

Les troisième et quatrième personnes interrogées étaient Mme Clémence Gros, chargée de mission Responsabilités Sociétales des Organisations (RSO) au Musée Quai Branly et M. William Weil chargé de projet au sein de la Direction des Moyens Techniques et de la Sécurité (DMTS). Mme Gros travaille sur la prise en compte des enjeux environnementaux, sociaux, économiques et éthiques au sein d'établissement publics en l'occurrence ici le musée installé sur le quai Branly. Elle est rattachée à la direction générale du musée.

M. Weil, âgé de 33 ans, est rattaché au service du bâtiment du musée et a une formation d'architecte. J'ai contacté le musée par mail via son site internet et Mme Gros m'a répondu et mise en contact avec M. Weil également. Ces deux personnes ont été interviewées au même moment.

La cinquième personne interrogée était Mme Carolina Foïs. Il s'agit de la fondatrice de l'agence Atelier Foïs créée en 2015. Mme Foïs est née en 1978 en Italie où elle suit une formation complète d'architecte puis arrive en France où elle étudie une formation de paysagiste à l'École Nationale du Paysage à Versailles pendant un an. Après avoir exercé son métier de paysagiste, elle décide de monter sa propre agence de paysage, urbanisme et programmation. Les projets de l'Atelier Foïs sont variés et étudiés à différentes échelles, du quartier jusqu'au cœur d'îlot, de la cour jusqu'à la toiture. Mme Foïs a aussi écrit un livre nommé « Réinvestir les Toits » sur les programmations d'aménagements des toitures. J'ai contacté Mme Foïs par mail depuis son site internet et par téléphone qui se trouve également sur le site internet de son agence.

Enfin la dernière personne interrogée fut M. David Besson-Girard, fondateur de l'agence de paysage David Besson-Girard paysagiste DPLG. Âgé de 57 ans, il a obtenu une licence en géologie à Lyon, suivie d'une formation d'architecte-paysagiste à l'École Nationale Supérieure du Paysage de Versailles (ENSP). Il dirige son agence depuis plus de 20 ans et a été primé plusieurs fois pour ses réalisations. En collaboration avec des paysagistes et des artistes, il s'occupe de projets variés et enseigne aussi à l'ENSP ainsi qu'à l'École Supérieure de l'Architecture des Jardins, à Paris. J'ai contacté M. Besson-Girard par mail depuis son site internet.

J'ai contacté ces personnes avec un degré de distance important puisque les enquêtés qui sont les concepteurs et les usagers du musée ne me connaissait pas. Cela a induit un discours formel pour me présenter et aborder l'objet de mon étude (Barbot, 2012).

Les caractéristiques des personnes interviewées sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Interviews de plus de 20 minutes					
Personnes interviewées	Situation	Rôle	Agence	Ville, Pays	Référence
Luc Schuiten	Architecte	Concepteur en architecture et urbanisme	Atelier Schuiten	Bruxelles, Belgique	Vision de l'architecture verte globale
Dominique Bourreau	Architecte	Concepteur en architecture et urbanisme	Atelier Arche	Lyon, France	Parking Perrache-Archives La Confluence
Clémence Gros	Chargé de mission RSO	Employée du Musée Quai Branly	/	Paris, France	Musée Quai Branly
William Weil	chargé de projet à la DMTS	Employé du Musée Quai Branly	/	Paris, France	Musée Quai Branly
Carolina Foïs	Paysagiste	Concepteur en paysage et urbanisme	Atelier Foïs	Paris, France	Magasins Généraux
David Besson-Girard	Architecte-paysagiste	Concepteur en paysage et urbanisme	David Besson-Girard paysagiste DPLG	Paris, France	Espace Bienvenüe

Figure 42 – Caractéristiques des personnes interviewées

2.6.2.2. Les passants

Pour sonder les réactions de personnes sur des réalisations issues de l'architecture verte, j'ai réalisé des micro-trottoirs devant la façade du musée quai Branly. Les passants étaient choisies aléatoirement dans la rue qui longe le mur végétal. Seul leur intérêt pour le système végétal était pris en compte. Lorsque les personnes prenaient du temps devant la façade et l'observaient, j'allais leur parler et j'enregistrais les interviews avec mon téléphone portable.

Aucune catégorie d'individus n'a été écartée puisque le but de ces interviews était de mesurer l'appréciation de personnes « ordinaires » devant ce mur végétalisé.

2.6.3. Réalisation des questionnaires d'interviews

Le choix de l'interview comme méthode de récolte de données était le moyen le plus pertinent et efficace pour obtenir le positionnement de populations différentes sur l'architecture verte. Plusieurs questionnaires ont été réalisés pour récolter des données qualitatives comme énoncé précédemment.

2.6.3.1. Questionnaire pour les passants

Chaque interview doit être assez courte puisque les personnes visées sont interrogées directement dans la rue. Le questionnaire comporte donc huit questions. Trois des questions se voulaient à réponse

rapide et s'intéressent à l'interlocuteur même pour mieux cerner son profil. La première porte sur son métier, s'il est en lien avec l'architecture et la construction, la deuxième est sa catégorie d'âge et la dernière demande la raison de sa présence devant la façade végétalisée. Ces questions permettent de situer l'analyse et de nuancer éventuellement certaines réponses par la suite. Les questions suivantes, ouvertes pour la plupart, invitent à décrire le ressenti de l'interviewé, sa perception du lieu et sa vision de la façade végétalisée. La plupart des questions sont prévues pour une réponse brève afin de se positionner vis-à-vis de l'architecture verte grâce à l'exemple de la façade. L'avant dernière question est « Pensez-vous que la végétation intégrée dans ou sur les bâtiments est favorable à l'environnement ? », elle permet d'ouvrir sur des idées générales concernant l'architecture verte. Enfin la dernière question traite des connaissances par rapport à d'autres réalisations en architecture verte. Il s'agit de savoir si les personnes ont déjà été sensibles à l'emploi de ces techniques et si elles ont déjà une idée de la diversité possible de l'utilisation de l'architecture verte. J'ai aussi traduit le questionnaire en anglais pour pouvoir interviewer des personnes étrangères. Les analyses de ce questionnaire seront étudiées de manière qualitative.

2.6.3.2. Questionnaire pour les concepteurs

Afin d'étudier le futur de l'architecture verte et sa diffusion dans le monde de l'architecture, plusieurs concepteurs qui maîtrisent déjà l'emploi de certains systèmes végétalisés et sont sensibles aux enjeux de la construction environnementale ont été soumis à un unique questionnaire. La majorité des questions sont ouvertes afin de permettre aux interviewés de développer leur conception de ce type d'architecture. Toutes les entrevues seront réalisées à distance, en visioconférence sur Zoom via un lien que j'envoie. Une interview test a été faite avec Mme Iris Reiter, doctorante et architecte à l'Université de Liège.

Questions sur les acteurs :

Après les présentations d'usage des acteurs (nom, âge, métier, ville actuelle...), je leur demande de définir l'architecture verte. Mais aussi comment, quand et pourquoi ils ont commencé à s'intéresser à ce type d'architecture.

Questions sur les projets architecturaux et paysagers :

Pour poursuivre, les questions portent sur leurs réalisations, il s'agit donc de savoir dans combien de projets ils ont déjà utilisé de l'architecture verte. Puis si certains se sont distingués avec l'obtention d'une certification environnementale et le rôle de l'architecture verte dans cette distinction.

Questions sur la conception :

Plusieurs questions portent sur la manière de concevoir les systèmes techniques végétalisés : le choix des végétaux, leurs origines (essences indigènes...), le système technique le plus utilisé et comment conçoivent-ils en intégrant les végétaux. La question suivante permet de comprendre leur intérêt pour ce type d'architecture (points positifs et limites perçues) et enfin comment est prévu l'entretien et la maintenance des systèmes verts.

Questions sur l'architecture verte et son avenir :

Les dernières questions portent sur leur vision actuelle et future de l'architecture verte :

« Pensez-vous que l'utilisation de l'architecture verte joue un rôle important dans la construction environnementale ? » et « Quel est le futur de l'architecture verte selon vous ? ».

2.6.3.3. Questionnaire pour les employés du Musée quai Branly

Pour avoir un retour complémentaire sur la présence du mur végétalisé du quai Branly, deux personnes travaillant au musée ont été interrogées.

Questionnaire pour les employés du musée :

Les questions commencent aussi par leur présentation et leur définition de l'architecture verte.

Ensuite les questions sont générales sur les systèmes techniques en architecture verte : « A votre avis quels sont les avantages et les inconvénients d'une paroi végétalisée ou d'une toiture verte dans un lieu ou dans un bâtiment ? » et « Est-ce que vous pensez que la végétation intégrée dans ou sur les bâtiments est favorable à l'environnement ? »

Puis des questions plus précises sur la façade sont abordées. Il y a les possibles changements sur le bâtiment, son entretien et sa maintenance, son coût, sa rénovation, les retours des visiteurs, son aspect et son évolution ainsi que le rôle de la maîtrise d'ouvrage dans le processus de conception.

Enfin, on retrouve deux questions générales : « Est ce que vous pensez que l'architecture verte joue actuellement un rôle important dans la construction environnementale ? Et « Est ce que vous pensez qu'il devrait y avoir plus de construction avec ce type de paroi végétalisée ? ». Cela permet de préciser leur point de vue sur l'architecture verte et son avenir.

2.7. Présentation des résultats

Les résultats de ces trois questionnaires sont présentés dans le « CHAPITRE 4 : RESULTATS DES ENTREVUES ET DES MICRO-INTERVIEWS » et s'appuient sur des citations des propos tenus par les interviewés. Une analyse thématique qualitative a été faite pour traiter les résultats. Il s'agit de confronter les propos des répondants et de les classer dans des thématiques qui répondent aux questions de recherches formulées (Quintin, 2012). Les réponses ont été interprétées et résumées dans des grilles en fonction des thématiques choisies par rapport aux questions de recherche.

Ainsi, chacun des points de vue est présenté pour montrer s'ils sont complémentaires, opposés ou similaires.

Les audios des enregistrements sont disponibles en annexe n°3.

CHAPITRE 3 : PRISE EN COMPTE DE L'ARCHITECTURE VERTE DANS LES OUTILS D'EVALUATION DES BATIMENTS

3.1. Analyse détaillée des méthodes sélectionnées

3.1.1. Méthode HQE

Pour analyser cette méthode, il convient de détailler son fonctionnement. Il y a plusieurs types de certifications HQE. Celle qui sera étudiée par la suite concerne les bâtiments tertiaires. Développée par le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) en France en 1993, elle permet d'évaluer le processus de conception et de réalisation d'un projet et les performances du bâtiment. La démarche HQE comprend deux parties, le Système de Management Environnemental (SME) et l'objectif de Qualité Environnementale des Bâtiments (QEB). Le SME est défini par la norme internationale ISO 14 0001 comme « la composante du système de management global qui inclut la structure organisationnelle, les activités de planification, les responsabilités, les pratiques, les procédures, les procédés et les ressources pour élaborer, mettre en œuvre, réaliser, passer en revue et maintenir la politique environnementale ». Pour cette partie, un référentiel est aussi disponible et il définit le cadre de conception et de mise en place du Système de Management Environnemental du maître d'ouvrage afin de l'aider à obtenir puis maintenir la qualité environnementale des bâtiments. La partie étudiée dans ce travail est la deuxième partie de la certification HQE : la démarche de QEB. Cette démarche est divisée en 14 cibles réunies en 4 familles. C'est une démarche qui accorde de l'importance au processus de conception et accompagne le projet jusqu'à sa réalisation. Elle est disponible sous forme de listes de critères à vérifier et peut être téléchargée en ligne. Cette méthode est caractérisée par son adaptation aux différents projets puisque certaines cibles peuvent être choisies pour avoir plus de poids dans la totalisation des points finaux en vue de l'obtention de la certification. Les quatre familles de critères sont l'éco-construction, le confort, l'éco-gestion et la santé. Elles comprennent entre 3 et 4 critères chacune, comme l'illustre la figure ci-dessous.

Maîtriser les impacts sur l'environnement extérieur	Créer un environnement intérieur satisfaisant
Éco-construction	Confort
1. Relations des bâtiments avec leur environnement immédiat	8. Confort hygrothermique
2. Choix intégré des procédés et produits de construction	9. Confort acoustique
3. Chantier à faibles nuisances	10. Confort visuel
	11. Confort olfactif
Éco-gestion	Santé
4. Gestion de l'énergie	12. Qualité sanitaire des espaces
5. Gestion de l'eau	13. Qualité sanitaire de l'air
6. Gestion des déchets d'activité	14. Qualité sanitaire de l'eau
7. Gestion de l'entretien et de la maintenance	

Figure 43 - Familles de critère de la démarche HQE ; Hetzel, 2009

Dans le but d'obtenir la certification, un score total est attribué au bâtiment examiné et à sa conception. Chaque cible présente des critères d'évaluation qui précisent l'objectif à atteindre pour faire le meilleur score possible. A titre d'exemple, la figure ci-dessous montrent 2 critères permettant de répondre à la cible « Maîtriser les sources d'odeurs désagréables ». Le premier doit être atteint dans tous les cas puisqu'il s'agit du niveau de base indiqué par B et le second permet d'obtenir 2 points du type très performant mentionné par TP et 2. Tous les points B doivent être validés pour atteindre le niveau de Base et tous les points P pour atteindre le niveau Performant mais seulement un certain nombre de points sont nécessaires pour que la cible soit considérée comme très performante. Certains points sont toutefois obligatoirement à valider pour atteindre le niveau TP et sont alors indiqués en couleur verte dans le référentiel et expliqués clairement comme obligatoires dans le guide pratique.

Pour valider la cible correctement, un document intitulé « Guide pratique du référentiel pour la qualité environnementale des bâtiments » a été créé en complément du référentiel.

11.2. Maîtriser les sources d'odeurs désagréables			
EXIGENCES GÉNÉRIQUES			
Secteurs	Entités programmatiques	Espaces	
TOUS	Toutes	Espaces caractéristiques et espaces associés : à définir selon l'entité programmatique Se reporter au document « Principes de déclaration des entités programmatiques »- novembre 2014	
critère d'évaluation		niveau	points
11.2.1. Identifier et réduire les effets des sources d'odeurs Identification des sources d'odeurs internes et externes ET dispositions justifiées et satisfaisantes prises au regard du projet pour en réduire les effets.		B	
11.2.2. Traiter les rejets malodorants pour éviter la diffusion des odeurs Identifier les rejets sources de mauvaises odeurs et dispositions prises pour traiter ces odeurs afin d'éviter leur diffusion.		TP	2

Sous-cibles de la cible
« Confort olfactif »

Caractérisation des espaces concernés

Critères d'évaluation à respecter

Pondération et valeur des points attribués

Figure 44 - Structure d'évaluation de la démarche HQE ; Référentiel pour la qualité environnementale des bâtiments, 2015

Certaines cibles ne permettent pas d'analyser le poids des qualités architecturales et techniques issues de l'architecture verte. Leurs intitulés traduisent l'absence de l'aspect architectural recherché. Toutefois, elles sont quand même importantes dans la pondération du score total de la démarche HQE. Il faut donc remarquer que l'analyse de la méthode HQE présentée par la suite ne portera pas sur ces cibles. La première est la cible 3 s'intéressant au chantier à faible impact environnemental avec les 3 sous-cibles suivantes : optimisation de la gestion des déchets de chantiers, limitation des nuisances et des pollutions sur le chantier et limitation des consommations de ressource sur le chantier. La deuxième est la n°6 « Gestion des déchets d'activité » avec pour sous-cibles « Optimisation de la valorisation des déchets d'activités » et « Qualité du système de gestion des déchets d'activités ». Puis la cible n°12 concernant la qualité sanitaire des espaces avec pour sous-parties : « Limitation de l'exposition magnétique » et créations des conditions d'hygiène spécifique. Et enfin, la dernière cible portant sur la qualité sanitaire de l'eau avec les sous-cibles : « qualité de conception du réseau intérieur », « maîtrise de la température dans le réseau intérieur », « maîtrise des traitements », et « qualité de l'eau des espaces de baignade ». Il y a donc déjà quatre cibles qui ne concernent pas l'architecture verte dans leur thématique mais qu'il est obligatoire de valider au moins au niveau de base. Finalement, dix cibles semblent pertinentes dans leur intitulé concernant l'architecture verte.

Il s'agit maintenant de détailler les critères qui sont en lien avec ce type d'architecture, ses bénéfices, ses désavantages et ses limites. Pour cela, une lecture du référentiel a été effectuée. La recherche de

mots-clés issus du champ lexical de l’architecture verte comme « toitures végétalisées », « toitures vertes », « façades vertes », « façades végétalisées », « biodiversité », etc. a aussi permis de cerner les critères concernés. Seules les exigences génériques ont été traitées car elles concernent tous les secteurs et toutes les entités programmatiques.

La première cible concerne le bâtiment et sa relation avec son environnement immédiat. Dans cette cible, la sous-cible « 1.2. Aménagement de la parcelle et prise en compte de la biodiversité » comprends un critère d’évaluation portant sur la végétalisation des surfaces. Effectivement, la figure ci-dessous montre le critère d’évaluation concernant les toitures vertes et les façades végétalisées.

Taux de végétalisation du bâti			
▶ Toiture : Surface végétalisée supérieure à 50% de la surface de toiture		TP	1
▶ Façades : Présence d'une surface verticale végétalisée représentant au minimum 10% de la surface totale de façades.		TP	1

Figure 45 - Détail du critère d’évaluation « 1.2.1. Végétalisation des surfaces » de la cible « Relation du bâtiment avec son environnement immédiat » p18/176, (AFNOR, 2011)

Ces critères sont évalués au niveau TP. Le rapport entre les surfaces végétalisées totales d’un projet et une surface donnée correspond au taux de végétalisation. Ce critère se traduit dans la conception par les plans de toiture et de façade avec une note du pourcentage de verdure atteint. Ainsi que dans le CCTP avec des fiches techniques de la mise en œuvre des systèmes de construction. Puis dans la réalisation avec des visites de site, le document des ouvrages exécutés et un plan d’entretien et de maintenance des façades et des toitures vertes (Guide du référentiel, 2015).

Un autre critère pour valider la même sous-cible est « 1.2.2. Préserver/ Améliorer la biodiversité » qui concerne la flore employée et la faune que cela va attirer. Ce critère peut être validé à plusieurs niveaux, les niveaux de base, performant ou très performant avec lui-même deux niveaux qui valent 3 points. Le critère permet d’assurer le maintien de la biodiversité voire de l’améliorer. Pour le niveau de base il faut s’assurer que les espèces végétales doivent être choisies consciencieusement en adéquation avec le climat et le terrain, sans être invasives. Pour être performant, il faut permettre la continuité écologique constituée par des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques comme expliqué dans la partie « 1.2.3.1. Des habitats naturels en ville ». Cela se traduit dans la

conception par une notice d'intégration paysagère, un plan de masse avec des explications de dispositifs mis en place pour ne pas perturber la faune et abîmer la flore, un plan précis des trames vertes et bleues et de la continuité envisagée. Dans la réalisation, il faut prévoir la bonne mise en œuvre lors des visites de chantier, un plan d'entretien et de maintenance des végétaux ainsi qu'un document à destination des utilisateurs pour les informer de la biodiversité présente.

Pour les niveaux TP, il faut réaliser un diagnostic écologique par un écologue au premier niveau. Puis le deuxième niveau s'intéresse à la conception des surfaces végétalisées. Elles doivent favoriser la biodiversité, cela signifie que les toitures et façade végétalisées doivent avoir été étudiées en fonction de trois facteurs :

- « La diversification des espèces végétales plantées »,
- « L'augmentation de l'épaisseur du substrat »,
- « La nature du substrat ».

Cela signifie concevoir un plan masse paysager, une notice d'intégration paysagère ainsi qu'une note explicitant « les dispositifs mis en œuvre pour reconstituer l'habitat et les conditions de vie de la faune sur la parcelle ». Un calcul du biotope par surface (CBS+) est aussi nécessaire et explicité selon la formule ci-dessous (guidebatimentdurable.brussels) :

$$CBS+ = \frac{\sum \text{type de surface} \times \text{facteur de pondération}}{\text{surface totale de la parcelle}}$$

Ce coefficient exprime le rapport entre les surfaces favorisant la biodiversité et la surface totale d'une parcelle. Selon les types de zones, il varie entre 0 pour une surface artificialisées imperméables à 0,9 pour une zone arbustive et arborée/Haie.

Enfin, le dernier critère de la sous-cible 1.2 évoque rapidement l'emploi de toitures végétalisées comme solutions techniques pour la rétention et l'infiltration des eaux pluviales. C'est un niveau TP valant 2 points et demandant un plan de masse présentant l'intégration paysagère des dispositions définies dans les notes de calcul ci-dessus (ex : bassin de rétention...), des images de synthèse présentant l'intégration, note de calcul « débit de fuite » / étude sur le traitement des eaux usées, des fiches techniques pour la conception. Pour la réalisation, il est demandé des visites de site ainsi qu'un plan d'entretien et de maintenance.

Ensuite, la sous-cible 3 qui concerne la qualité d'ambiance des espaces extérieurs pour les usagers contient un critère demandant la mise en place de dispositifs permettant de diminuer les effets d'îlots de chaleur. Ce critère est un niveau TP à 2 points. Il est proposé d'avoir recours à la végétalisation des surfaces avec notamment l'utilisation de façades et de toitures vertes. En conception, cela revient à montrer les dispositifs prévus sur les plans ; en réalisation, à renseigner le bon déroulement avec des photos et mettre un guide à destination des usagers.

Dans la même sous-cible, le critère 1.3.4. « Assurer des espaces extérieurs sains » incite à privilégier l'utilisation de végétaux traitants par absorption des polluants de l'air au niveau de base. Puis de minimiser les plantes allergènes et de réaliser une notice d'intégration paysagère pour les risques allergènes des essences utilisées pour le niveau performant. En conception cela revient à la présentation d'un plan de masse avec les sources de pollution extérieure et leur dispersion ainsi qu'une notice d'intégration paysagère montrant comment les plantes allergènes sont limitées dans leur disposition et leur potentiel allergisant explicité. Il faut ajouter aussi la liste des essences allergènes. Pour la réalisation, des visites de site et renseigner le bon déroulement avec des photos suffit.

La sous-cible 1.4 va évaluer les impacts du bâtiment sur les riverains. Sur 5 critères d'évaluation, seul le critère 1.4.3. « Assurer le droit aux vues des riverains » évoque la végétalisation du bâti. Il est conseillé de prendre des dispositions d'aménagement pour améliorer les vues des riverains. Au niveau de base, cela peut être traité par la 5^{ème} façade, la toiture, de manière végétalisée. Pour justifier cela, un plan de masse, les plans architecturaux, des images 3D du site et une étude comparative des ombres portées pour comparer les changements sont pertinents. Pendant la réalisation, des visites de site et un reportage photos montrant les changements peuvent valider le critère. Au niveau TP (2 points), un choix s'opère pour améliorer l'existant et être supérieur au niveau précédent. Parmi les propositions, la végétalisation du bâti est envisageable que ce soient les façades ou les toitures. Au niveau de la conception, les mêmes documents qu'au niveau de base permettent de justifier le critère avec en complément des plans montrant un avant/après de la volumétrie des bâtiments riverains ainsi qu'une note comparative du pourcentage d'espaces paysagers ajoutés comme justificatifs. Pour la réalisation, une enquête sur l'avis des riverains est demandée en plus des documents de base.

La cible 1 comprend donc 4 sous-cibles dont 3 prennent en compte l'utilisation de l'architecture verte. Sur 17 critères d'évaluation, 5 évoquent explicitement la végétalisation des toitures et des façades comme représenté sur la figure n°47.

Pour valider cette cible, les niveaux TP des critères en lien avec l'architecture verte ne sont pas obligatoirement respectés. Seuls les critères aux niveaux de base et performant sont obligatoires, alors que le niveau TP peut être atteint avec 50 % des points TP applicables.

La pondération des critères concernant l'architecture verte est assez hétérogène mais une majorité de critères sont de niveaux Très Performant.

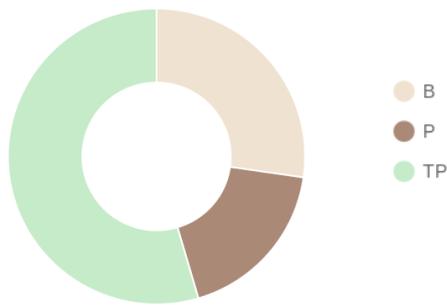


Figure 46 - Répartition de la pondération des critères concernant l'architecture verte

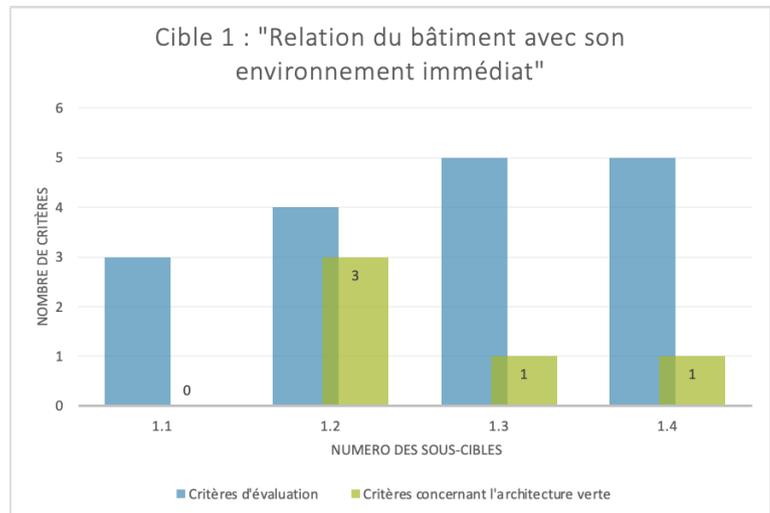


Figure 47 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 1

La cible 2 s'intéresse aux produits, systèmes et procédés de construction. Ils sont définis respectivement comme un élément individuel constitué d'un ou plusieurs matériaux mis en forme tel qu'un équipement, une solution architecturale et technique, ou une solution architecturale en lien avec la structure du bâtiment.

Cette cible contient quatre sous-cibles.

La première sous-cible traite des choix de construction lié à la pérennité et l'adaptabilité de l'ouvrage. Aucun des 4 critères d'évaluation ne concerne des systèmes constructifs issus de l'architecture verte et de l'utilisation de végétaux sur le bâti. La deuxième sous-cible met en lumière les dispositions constructives pour faciliter l'accès lors de l'entretien et la maintenance de l'ouvrage. Comme la première, aucun des 2 critères d'évaluation ne traite de systèmes constructifs issus de l'architecture verte et de l'utilisation de végétaux sur le bâti.

Dans la troisième et la quatrième sous-cible, sur 7 critères d'évaluation concernant le choix des produits de construction afin de limiter les impacts environnementaux de l'ouvrage et les impacts sanitaires, aucun des critères ne traite de l'architecture verte.

Pour obtenir la validation de cette cible, au niveau TP, il est demandé la validation de toutes les préoccupations au niveau B et P ainsi que 35 % des points TP applicables, dont certains critères sont obligatoires. Notamment, 2 points au choix de la sous-cible 2.3 et 3 points au choix de la sous-cible 2.4.

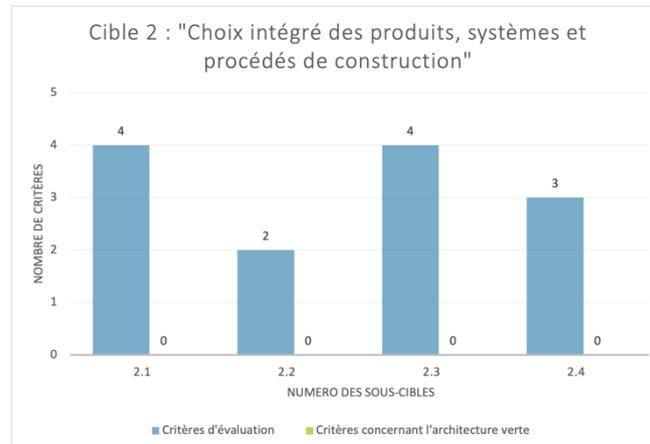


Figure 48 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 2

La cible 4 s'intéresse à la gestion de l'énergie. Elle comprends 4 sous-cibles. Pour commencer, la sous-cible 4.1 concerne les dispositions architecturales prises pour réduire la demande énergétique. Dans cette partie, les critères d'évaluation 4.1.1 et 4.1.2 portent sur le bâtiment et ses besoins énergétiques en été et en hiver. Pour améliorer la conception bioclimatique il est proposé différentes solutions architecturales. Les toitures végétalisées et les écrans végétaux sont cités comme des dispositions passives permettant d'améliorer les aptitudes du bâtiment à réduire ses besoins énergétiques. Cela est évalué au niveau performant. Pour faire valider cette cible, il faut prévoir dès la conception une note justifiant l'optimisation du parti architectural, un calcul thermique règlementaire ou une simulation thermique dynamique. Pour la réalisation, un calcul thermique règlementaire issu de cette phase ou une simulation thermique dynamique, des visites de site, des fiches techniques des éléments mis en œuvre et une note montrant les changements architecturaux de la phase programme jusqu'à la réalisation. Cette préoccupation s'applique aux bâtiments soumis ou non soumis à la RT. Il n'y pas plus de critères d'évaluation traitant de l'architecture verte dans cette cible. Sur 12 critères d'évaluation, 2 proposent des solutions architecturales végétalisées.

La cible 4 est évaluée au niveau TP par la validation de tous les critères d'évaluation au niveau B et P puis au moins 35 % des points TP applicables dont ceux qui sont obligatoires. Au niveau de base, toutes les préoccupations B doivent être remplies et au niveau performant, les critères P doivent être respectés.

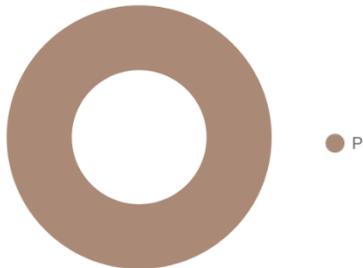


Figure 49 - Répartition de la pondération des critères concernant l'architecture verte

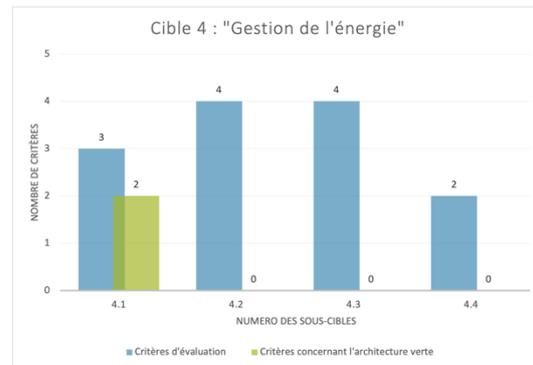


Figure 50 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 4

La 5^{ème} partie du référentiel HQE va cibler la gestion de l'eau en 3 sous-parties, les eaux potables, pluviales et usées. Elle est évaluée de la manière suivante :

- Toutes les sous-cibles validées au niveau B pour le niveau de base,
- Toutes les sous-cibles validées au niveau B et P pour le niveau performant,
- Toutes les sous-cibles validées au niveau B et P avec au moins 30% des points TP applicables pour le niveau très performant.

La première sous-cible liée à la réduction de la consommation d'eau potable ne présente pas de préoccupations liées à l'architecture verte.

La deuxième détaille les exigences en lien avec les eaux pluviales à la parcelle. Le critère 5.2.1 « Limiter l'imperméabilisation de la parcelle » se traduit au niveau performant par le calcul du coefficient d'imperméabilisation global. Pour améliorer la perméabilité de la parcelle, il est suggéré l'emploi de complexes végétalisées en toiture.

Les coefficients d'imperméabilisation unitaires par type de surface sont aussi présentés pour les toitures vertes comme le montre la figure ci-dessous :

Type de surfaces	Détails	Coefficient d'imperméabilisation unitaire
Toitures	Toitures en pente ou terrasse (gravillonnée ou non)	1
	Toitures végétalisées extensives (épaisseur de substrat inférieur à 15 cm)	0,7
	Toitures végétalisées semi-intensives (épaisseur de substrat entre 15 et 30 cm)	0,6
	Toitures végétalisées intensives (épaisseur de substrat au-delà de 30 cm)	0,4

Figure 51 - Tableau de référence des coefficients d'imperméabilisation, Guide du référentiel HQE, 2015

Pour la conception, il faut justifier le calcul du coefficient d'imperméabilisation global, mettre à disposition des fiches techniques des équipements comme les toitures végétalisées. Dans la phase réalisation, un calcul du coefficient d'imperméabilisation global permet de justifier les préoccupations ainsi que des fiches techniques des équipements mis en place. Des photos de ce qui a été mis en place en fonction des types de surface et un carnet d'entretien et de maintenance permettent de valider les critères d'évaluation.

Le critère d'évaluation 5.2.2 indique comment gérer les eaux pluviales de manière alternative. C'est un point de niveau TP. Une des techniques alternatives préconisées est la mise en place de toitures végétalisées. Pour permettre l'utilisation de ces techniques, il est requis en conception, un calcul du volume réglementaire d'eau pluviale à stocker ainsi que des plans comprenant les ouvrages de gestion des eaux pluviales et des fiches techniques de ces mêmes ouvrages. Pour la réalisation, des plans de récolement du réseau d'assainissement pluvial avec les ouvrages de collecte, les volumes stockés et les différents secteurs de collecte sont pertinents. Des photographies des techniques assurées et un carnet d'entretien et de maintenance doivent aussi être mis en place. La dernière sous-cible sur la gestion des eaux usées ne traite pas de l'architecture verte.

Finalement sur 10 critères d'évaluation, 2 évaluent l'utilisation de systèmes issus de l'architecture verte.



Figure 52 - Répartition de la pondération des critères concernant l'architecture verte

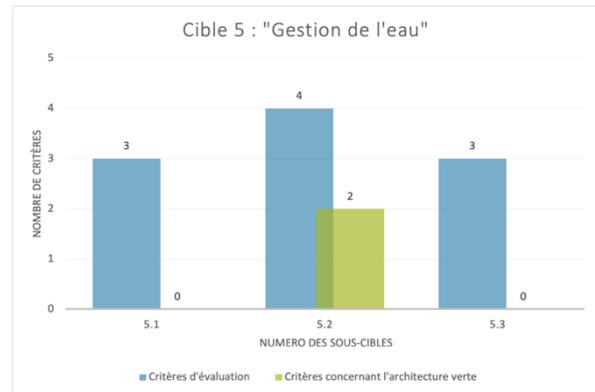


Figure 53 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 5

La cible n°7 caractérise la maintenance et la pérennité des performances environnementales. Elle comprend 3 sous-cibles et est validée au niveau TP lorsque toutes les préoccupations B et P sont remplies avec au moins 50% des points TP applicables. La première sous-cible concerne l'accès à la maintenance et l'entretien simplifiés pour les systèmes et aucun des deux critères ne traite de l'architecture verte. La deuxième sous-cible indique les mesures à respecter pour concevoir l'ouvrage pour le suivi et le contrôle des consommations. Aucun des deux critères ne traite de l'architecture verte. La troisième sous-cible traite des mesures à respecter pour concevoir l'ouvrage pour le suivi et le contrôle des systèmes et des conditions de confort. Comme les deux sous-cibles précédemment, aucun des critères ne traite de l'architecture verte. Pour la cible 7, sur 6 préoccupations, aucune ne porte sur les systèmes de constructions issus de l'architecture verte.

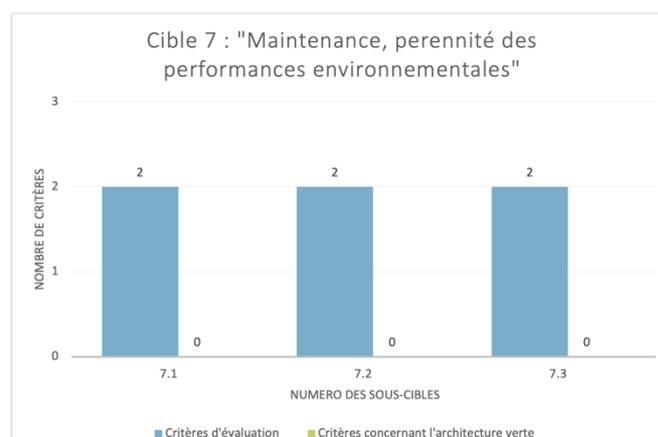


Figure 54 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 7

La cible 8 détaille les caractéristiques liées au confort hygrothermique. Elle comprend 4 sous-cibles et est évaluée comme la cible précédente. La sous-cible 1 vise les mesures prises pour améliorer le confort hygrothermique en été mais aussi en hiver. Le critère 8.1.2 vise les dispositions architecturales prises pour optimiser les conditions hygrothermiques du bâtiment en été comme en hiver et suggère l'emploi de toitures végétalisées et d'écrans végétaux en façade. Pour la conception, cela peut se justifier avec des plans, un descriptif des murs extérieurs et des dispositions passives permettant de limiter les besoins de chauffage et de refroidissement, des études spécifiques si besoin et des fiches techniques. Pour la phase de réalisation des visites de site sont des preuves suffisantes pour valider ce critère. Les sous-cibles 2, 3 et 4 ne contiennent pas de critère concernant l'architecture verte. Elles traitent des conditions de confort hygrothermique en été et en hiver.

Dans cette cible, 15 préoccupations sont évaluées et 1 critère concerne l'architecture verte.

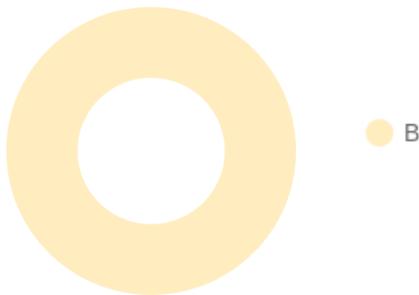


Figure 55 - Répartition de la pondération des critères concernant l'architecture verte

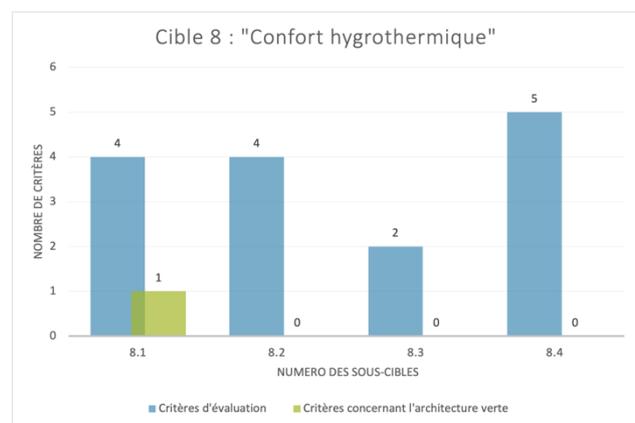


Figure 56 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 8

La cible 9 concerne le confort acoustique. Elle comprend 2 sous-cibles sur les dispositions architecturales permettant l'amélioration de la qualité acoustique et la prise en compte de la qualité d'ambiance acoustique des différents locaux. Cette cible est évaluée au niveau très performant avec toutes les préoccupations au niveau B et P satisfaites et au moins 70% des points TP applicables par espace avec certains points obligatoires.

Dans cette cible, aucun des critères d'évaluation sur 10 n'évoque l'utilisation des systèmes architecturaux végétalisés pour améliorer le confort acoustique des usagers.

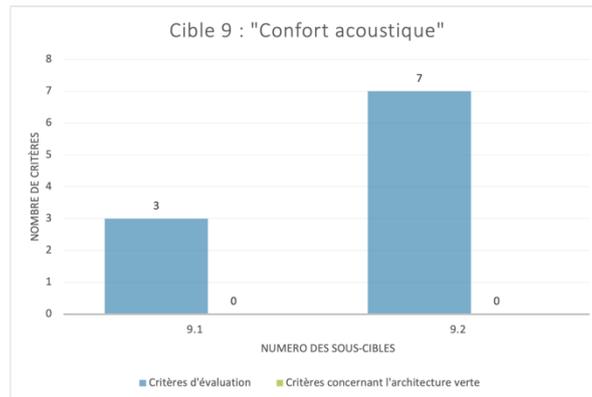


Figure 57 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 9

La cible 10 s'intéresse au confort visuel et est détaillée par 2 sous-cibles, « Optimisation de l'éclairage naturel » et « Optimisation de l'éclairage artificiel ». L'évaluation de cette cible au niveau TP est validée lorsque toutes les préoccupations sont satisfaites au niveau B et P et chacune des sous-cibles doit avoir au moins 50 % des points TP applicables. Pour l'amélioration de l'éclairage naturel, la question de la disposition des espaces pour l'accès à la lumière du jour ou aux vues sur l'extérieur ou l'éblouissement direct ou indirect est évoqué ainsi que l'ambiance visuelle qui peut être gérée par les usagers mais aucun de ces critères ne concerne l'architecture verte. Dans la sous-cible traitant de l'éclairage artificiel, les mêmes critères sont évalués et l'architecture verte n'est pas envisagée. Ainsi, aucun des 9 critères d'évaluations de cette cible ne concerne l'architecture verte.

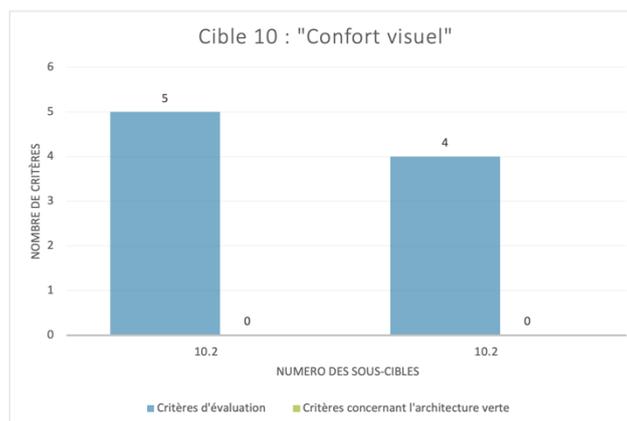


Figure 58 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 10

La cible 11 traite du confort olfactif et est structurée en 2 sous-cibles qui vont évaluer l'efficacité de la ventilation et la maîtrise des odeurs désagréables. Pour atteindre le niveau Très Performant, il est nécessaire d'avoir validé toutes les préoccupations au niveau B et P et d'avoir au moins 45 % des points TP applicables des critères TP validés dont le point obligatoire de la sous-cible 1, « Garantir une ventilation efficace ». Dans cette sous-cible, aucun critère ne fait mention de l'utilisation de l'architecture verte pour assurer les besoins en ventilation. La deuxième sous-cible traitant de la maîtrise des odeurs désagréables ne comprend pas de critères suggérant l'emploi de l'architecture verte dans ce but. Dans cette cible, sur 8 préoccupations environnementales portant sur le confort olfactif au sein des bâtiments, aucune ne suggère l'emploi de végétaux, par exemple en murs intérieurs pour absorber les odeurs.

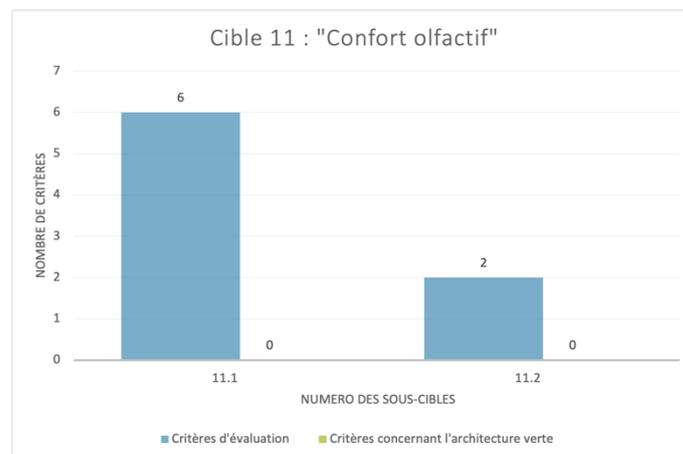


Figure 59 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 11

La cible 13 évalue la qualité sanitaire de l'air. Elle est composée de deux sous-cibles et doit être validée avec au moins 30% des points TP dont 4 dans la première sous-cible et 3 parmi les points obligatoires de la deuxième sous-cible. Pour commencer, la sous-cible 13.1 reprend les critères de la sous-cible 11.1 sur la ventilation efficace mais appliquée à des espaces spécifiques. Elle ne concerne donc pas l'architecture verte. Ensuite la sous-cible 13.2 s'intéresse à la maîtrise des sources de pollution de l'air intérieur. Comme la sous-cible précédente, il n'y a aucun critère d'évaluation qui propose l'utilisation de l'architecture verte.

Dans cette cible, dédiée à l'évaluation de la qualité sanitaire de l'air, aucune des 12 préoccupations environnementales n'évoque des systèmes constructifs issus de l'architecture verte.

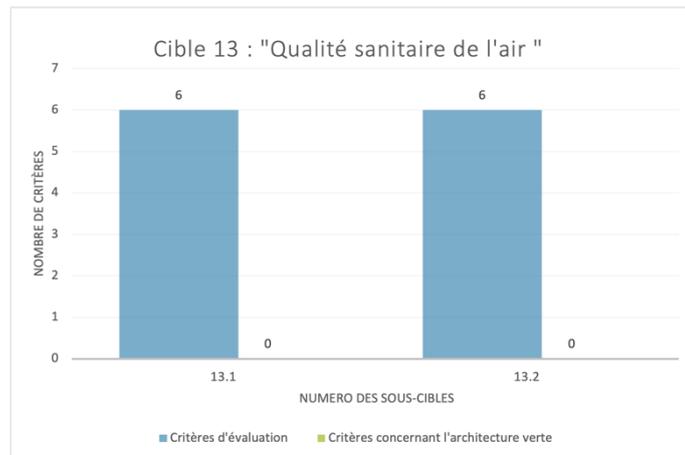


Figure 60 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 13

Finalement, sur 14 cibles, 4 cibles présentent l'architecture verte comme une solution pour valider des critères d'évaluation. Parmi ces 4 cibles, il y a 15 sous-cibles dont 5 présentent des critères d'évaluation concernant l'architecture verte. Dans ces 15 sous-cibles, il y a 55 préoccupations environnementales et 10 évoquent l'architecture verte comme une perspective à envisager pour valider les préoccupations. Ces 10 critères comprennent différents niveaux de pondération. Le niveau de base est représenté dans 4 critères, le niveau performant dans 5 critères et très performant dans 6 critères dont 3 où il est le seul niveau acceptable. Parmi les quatre cibles qui concernent l'architecture verte, la cible 4 et la cible 5 contiennent des critères TP d'évaluation obligatoires mais ils ne sont pas relatifs à ceux traitant de l'architecture verte. Les graphiques ci-dessous traduisent les résultats de cette analyse de la méthode environnementale NF HQE Bâtiment Tertiaires.

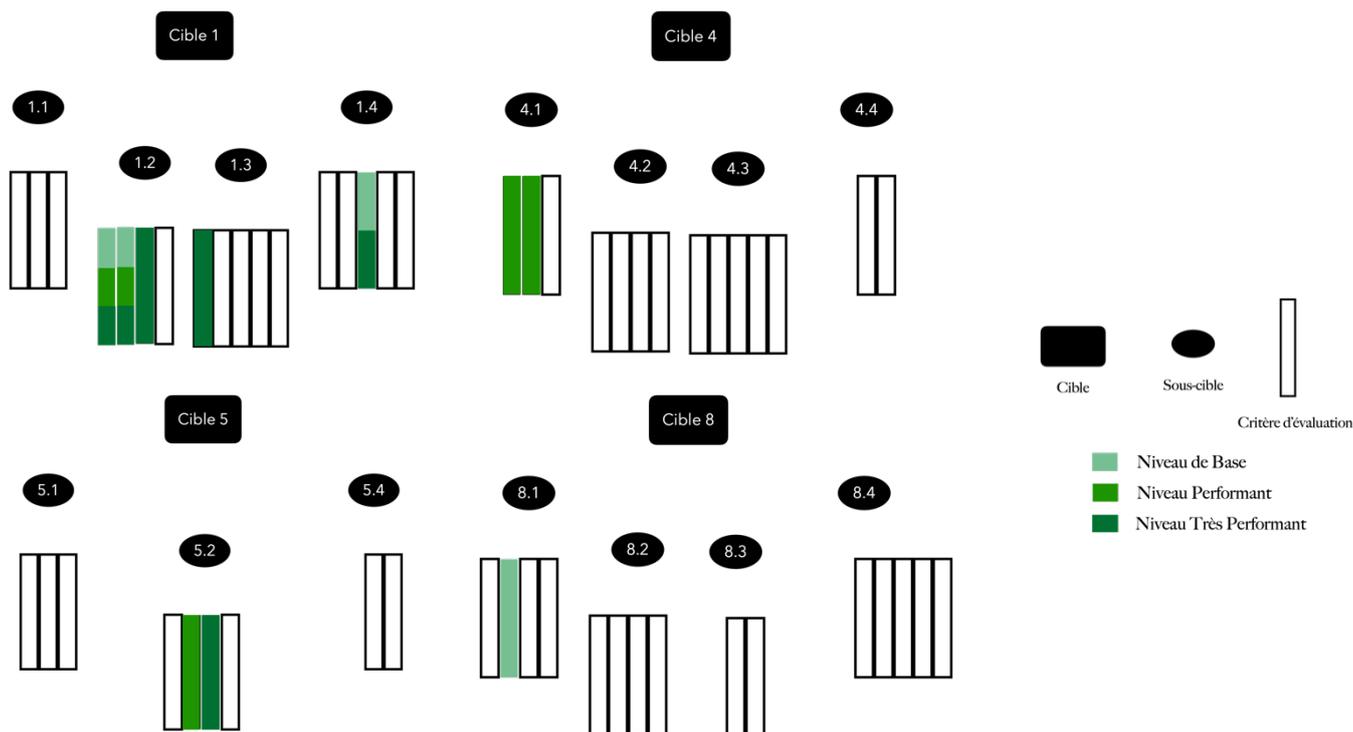


Figure 61 - Schéma résumé de la présence de l'architecture verte dans la démarche NF HQE Bâtiments Tertiaires

Les différents points cités dans l'état de l'art comme bénéfiques de l'architecture verte ne se retrouvent pas ou peu dans les critères d'évaluation de la démarche HQE. La pollution sonore, par exemple, comme évoquée dans la partie « 1.2.1.2 Protéger de la surchauffe et du bruit à l'échelle du bâti » pouvant être abaissée par les façades végétalisées n'est pas traitée dans le référentiel. Le référentiel HQE mentionne très peu les possibilités de requalification de lieux par la végétation et l'utilisation de plantes pour la rénovation des toitures comme citée dans la partie « 1.2.2.3 Requalifier des lieux délaissés ». Si les autres points sont mentionnés dans le référentiel, ils restent utilisés de manière faible sur les 142 préoccupations environnementales et la majorité de ces critères sont de niveau Très Performant sans être obligatoires. Le maître d'ouvrage est donc tout à fait libre de ne pas les appliquer lorsqu'il vise le niveau TP. D'autre part, le champ lexical de l'architecture verte est peu mentionné dans cette certification, le vocabulaire ne montre pas que l'architecture verte est importante dans les critères d'évaluation. Il faut déjà s'intéresser au guide pratique en plus du référentiel pour obtenir des informations sur les toitures vertes et façades végétalisées. Le référentiel comptabilise 176 pages et le guide pratique en fait 615.

De plus, les critères concernant l'architecture verte ne sont pas propres à ce type d'architecture, ils sont évalués au même titre que les aménagements des espaces verts comme les jardins et parcs. Néanmoins, l'utilisation de toitures et façades végétalisées est mentionné pour 4 critères au niveau de base. Cela signifie que pour l'obtention de la certification, il est nécessaire de compléter ces critères au moins au niveau de base et donc d'avoir une légère approche de l'architecture verte.

Il s'agit d'un type d'architecture spécifique qui n'a pas encore beaucoup de place dans la certification HQE : le bâtiment peut être évalué au niveau très performant pour sa qualité environnementale sans que l'architecture verte ne joue un rôle décisif dans l'obtention de cette certification NF HQE Bâtiments Tertiaires. Toutefois, l'utilisation de systèmes d'architecture verte peuvent contribuer à l'obtention de la certification HQE, notamment à travers l'acquisition de différents sous-critères performants et très performants.

3.1.2. Méthode WELL Standard Building

La méthode WELL Building Standard replace l'être humain au sein de son évaluation et tend à créer des espaces qui sont bénéfiques pour la santé et le bien-être des personnes présentes. Cette norme se base sur dix catégories qui sont appelées des Concepts. Ceux-ci comprennent les notions suivantes : Air, Eau, Nutrition, Lumière, Activité physique, Mouvement et Confort thermique, Son, Matériaux et Communauté. Dans ces Concepts il y a plusieurs éléments qui sont eux-mêmes divisés en différentes parties. Ces parties comprennent une ou plusieurs exigences.

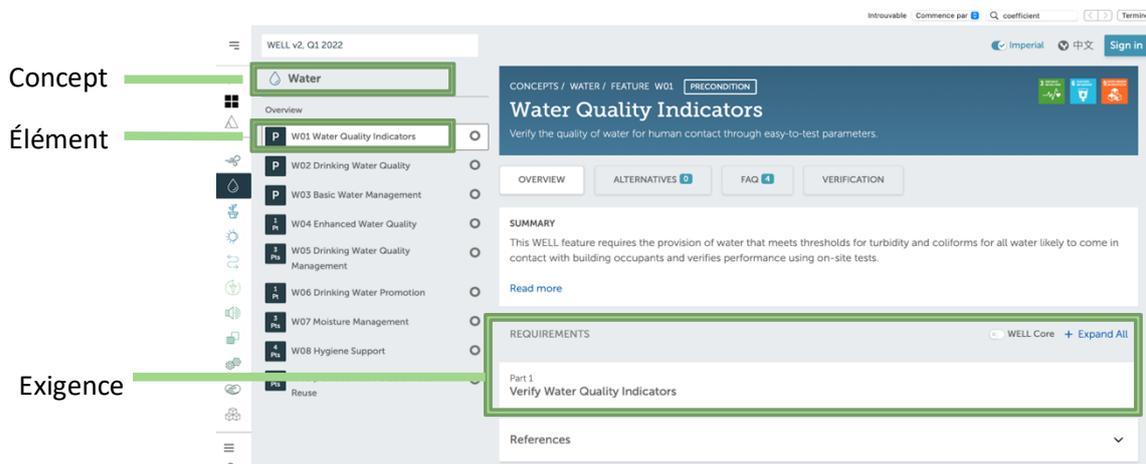


Figure 62 - Description des parties de la méthode WELL Building Standard, v2.wellcertified.com

Les éléments de cette méthode sont catégorisés comme « Conditions Préalables » ou « Optimisations ». Pour chacun des niveaux, il est nécessaire de valider les conditions préalables. Les optimisations doivent être validées selon un certain nombre de points pour atteindre le niveau de certification visé. Le système de points est mis en place pour obtenir la certification WELL Bronze, WELL Argent, WELL Or et WELL Platine comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Points total à atteindre	Points minimum par concepts	Niveau de certification
40	0	WELL Bronze
50	1	WELL Argent
60	2	WELL Or
80	3	WELL Platine

Figure 63 - Score des niveaux de la méthode WELL Building Standard

La version étudiée est la dernière version de la méthode choisie WELL Building Standard v2 et compte 24 conditions préalables et 98 optimisations.

Certains Concepts ne permettent pas d'analyser le poids des qualités architecturales et techniques issues de l'architecture verte. Leurs intitulés traduisent l'absence de l'aspect architectural recherché et leur description ne correspond pas aux bénéfices issus de l'emploi de l'architecture verte traités dans la partie « État de l'art ». Cependant, ils sont quand même importants dans la pondération du score total de la certification WELL Building Standard. Il faut donc remarquer que l'analyse de cette certification présentée par la suite ne portera pas sur ces Concepts.

Le premier Concept est celui intitulé « Nourriture » qui traduit des spécifications sur les aliments qui doivent être mis en avant pour la santé des usagers des bâtiments. Le deuxième est le Concept « Mouvement » qui concernent l'activité physique des usagers, les circulations et le mobilier adéquat pour le bien-être des humains. Le dernier Concept est nommé « Lumière » et traite de l'accès à la lumière naturelle. Pour finir, sept catégories semblent pertinentes dans leur intitulé concernant l'architecture verte.

Pour continuer, les Concepts restants vont être détaillés. Le même déroulement a été effectué que l'étude précédente pour la démarche HQE. Une lecture du référentiel WELL Building Standard a été faite ainsi que la recherche de mots-clés traduits en anglais et issus du champ lexical de l'architecture

verte comme « toitures végétalisées », « toitures vertes », « façades vertes », « façades végétalisées », « biodiversité », etc.

Dans le premier concept qui est l’Air, il y a 4 conditions préalables et 10 optimisations. Ce concept vise une haute qualité d’air intérieur selon différents moyens comme réduire ou éliminer la source de pollution, prévoir une conception des espaces intérieurs innovante, ou faire intervenir les usagers dans le processus de purification de l’air. Les quatre conditions préalables sont la qualité de l’air, un environnement sans fumée, la conception de la ventilation et la gestion de la pollution due à la construction. La qualité de l’air ne traite que des seuils attendus pour les matières particulaires, les gaz organiques, les gaz inorganiques et le radon, et la mesure des paramètres de l’air. Pour la condition préalable d’un environnement sans fumée, il faut interdire les espaces fumeurs intérieurs et certains voire tous les espaces fumeurs extérieurs. La conception de la ventilation s’intéresse à l’installation de la ventilation mécanique dans les espaces intérieurs. La dernière condition préalable a pour exigence l’atténuation de la pollution due à la construction. Cela implique les conduits du bâtiment, le système de ventilation et différentes procédures à appliquer contre la poussière tel que le choix du mobilier intérieur ou la séparation des espaces intérieurs par des portes. Aucune des conditions préalables n’évoque l’utilisation des systèmes architecturaux végétalisés pour améliorer la qualité de l’air intérieur. Les optimisations qui permettent d’acquérir des points lorsqu’un certain niveau de la certification WELL est visé sont l’amélioration de la qualité de l’air, l’amélioration de la conception de la ventilation, les fenêtres ouvrantes, les dispositifs de contrôle de la qualité de l’air intérieur, la gestion de l’infiltration de la pollution, la minimisation de la combustion, la séparation de sources potentielles d’odeurs, l’infiltration de l’air, l’amélioration de l’air d’alimentation et le contrôle des microbes et de la moisissure. Aucune de ces optimisations ne concernent l’emploi de l’architecture verte pour valider les exigences. Finalement, l’Air ne concerne pas l’architecture verte.

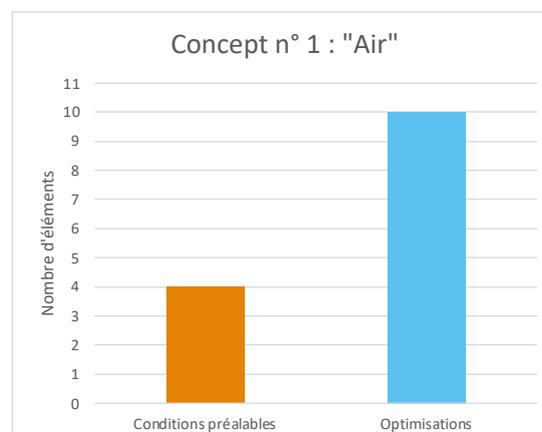


Figure 64 - Répartition graphique des éléments concernant l'architecture verte dans le Concept "Air"

Le deuxième Concept est nommé « Eau » qui se compose de 3 conditions préalables et de 6 optimisations. Il est établi pour vérifier la qualité de l'eau destinée à être en contact avec l'être humain. Les trois conditions préalables sont les indicateurs de la qualité de l'eau, la qualité de l'eau potable et la gestion de base de l'eau. La première condition préalable a pour exigence « Vérifier les indicateurs de la qualité de l'eau ». La deuxième condition préalable indique les seuils à atteindre pour les produits chimiques, les produits organiques et les pesticides. La dernière condition préalable traite de la gestion de la légionellose ainsi que de la surveillance de la qualité chimique et biologique de l'eau. Aucune de ces conditions préalables n'évoque l'architecture verte. Les optimisations sont l'amélioration de la qualité de l'eau, la gestion de la qualité de l'eau potable, la promotion de l'eau potable, la gestion de la moisissure, le soutien à l'hygiène et la réutilisation et la conservation de l'eau non potable. Dans ces optimisations, aucune ne concerne l'utilisation de l'architecture verte.

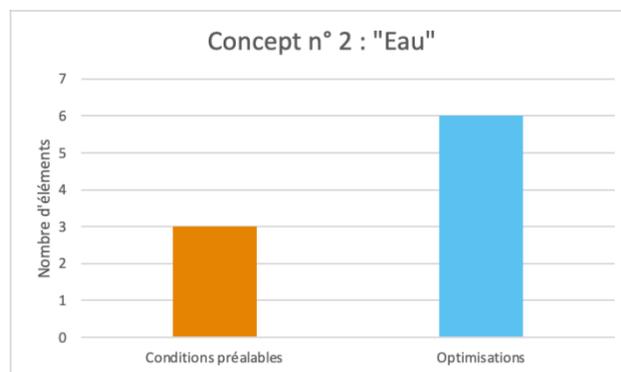


Figure 65 - Répartition graphique des éléments concernant l'architecture verte dans le Concept "Eau"

Le Concept n°6 est intitulé « Confort thermique » et comprend 1 condition préalable et 8 optimisations. Il s'agit de procurer un niveau de confort thermique agréable à tous les usagers des bâtiments ainsi qu'un contrôle des systèmes de chauffage ventilation et climatisation. La seule condition préalable s'appelle « Performance Thermique ». La première exigence traite du niveau acceptable de confort thermique et chiffre les performances que l'environnement intérieur doit vérifier. La deuxième indique les dispositifs à mettre en place pour mesurer les paramètres thermiques. Dans ces deux exigences, il n'est pas mentionné l'utilisation de l'architecture verte. La première optimisation est la vérification du confort thermique. Il s'agit de faire une enquête auprès des occupants réguliers des bâtiment pour savoir si le confort thermique procuré leur convient. Trois optimisations traitent du contrôle individuel thermique, du contrôle du confort thermique et du contrôle de l'humidité. Les deux suivantes sont l'utilisation de systèmes rayonnants pour atteindre le confort thermique requis et l'amélioration du flux entrant d'air extérieur. La dernière optimisation porte sur le confort thermique extérieur. Elle vaut 3 points et comporte une exigence intitulée

« Soutenir l'accès à la nature en plein air ». Toutefois, cette dernière n'évoque pas les systèmes techniques utilisés en architecture verte et décrit seulement de fournir un accès à la nature extérieure. Dans ce Concept portant sur le confort thermique, l'architecture verte n'est pas évoquée.

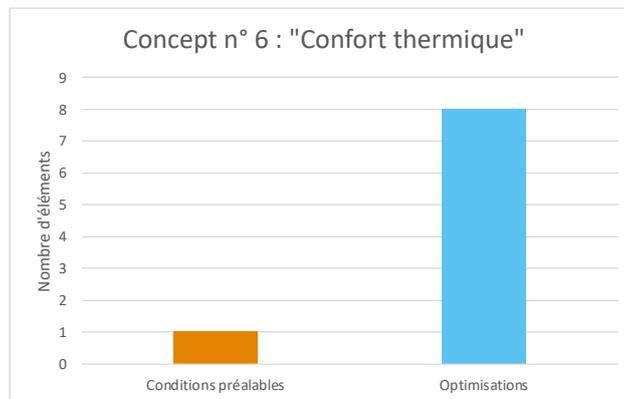


Figure 66 - Répartition graphique des éléments concernant l'architecture verte dans le Concept "Confort thermique"

Le Concept suivant est nommé « Son ». Il a pour but d'identifier et d'atténuer les paramètres acoustiques qui nuisent à la santé et le bien-être des occupants. Il y a une seule condition préalable et huit optimisations. La condition est nommée « Cartographie sonore ». Elle est validée si les zones acoustiques sont repérées sur les plans et réparties selon différentes catégories (bruyantes, calmes, mixtes etc.), et qu'un plan de conception acoustique est fourni. Il n'est pas mentionné l'utilisation de l'architecture verte. Les huit optimisations sont le respect des niveaux maximums sonores, l'augmentation de l'isolation sonore, la conception d'espace pour avoir un temps de réverbération confortable, la conception d'espaces avec des surfaces réductrices de bruit, l'augmentation de l'intimité acoustique, la gestion des bruits d'impacts, l'amélioration des appareils audios et la conservation de la santé auditive. Finalement, comme dans le Concept précédent il n'y a pas d'éléments qui évoquent l'utilisation de l'architecture verte.

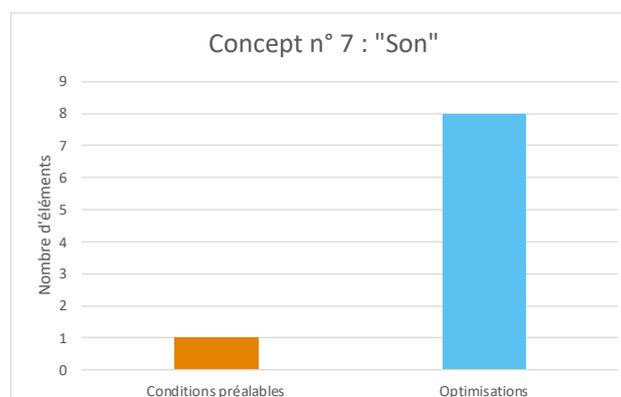


Figure 67 - Répartition graphique des éléments concernant l'architecture verte dans le Concept "Son"

Le huitième Concept correspond aux matériaux. Il comporte trois conditions préalables et 9 optimisations visant à réduire l'exposition des usagers à des produits chimiques susceptibles d'avoir un impact sur leur santé. Cela est évalué pendant la construction, la rénovation l'aménagement et l'exploitation des bâtiments. Les trois conditions préalables sont intitulées « Restrictions matérielles », « Gestion des matériaux intérieurs dangereux » et « Gestion du plomb et de l'arséniate de cuivre chromé ». Aucun de ces éléments ne comprend l'utilisation de l'architecture verte. Les optimisations sont nommées « Assainissement du site », « Restrictions matérielles renforcées », « Restrictions des composés organiques volatils », « Transparence des matériaux », « Optimisations des matériaux », « Gestion des déchets », « Gestion des nuisibles et utilisation des pesticides », « Produits et protocoles de nettoyage » et « Réduction des surfaces de contact avec des éléments pathogènes ». Aucun de ces éléments ne porte sur les systèmes de constructions issus de l'architecture verte.

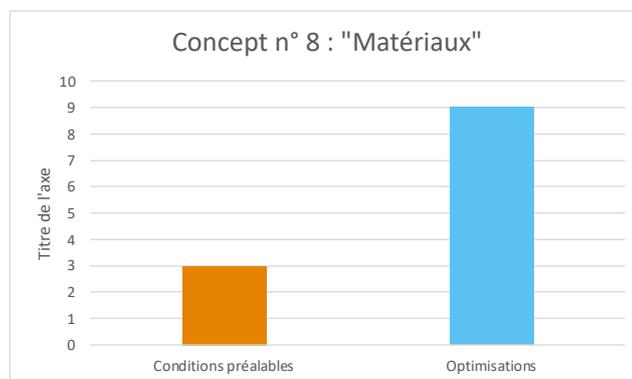


Figure 68 - Répartition graphique des éléments concernant l'architecture verte dans le Concept "Matériaux"

Le Concept suivant est nommé « Esprit ». Il s'intéresse à la santé mentale des usagers et à la mise en place de stratégies politiques, programmatiques, et conceptuelles adéquates pour préserver le bien-être émotionnel des personnes du bâtiment. Ce Concept se compose de 2 conditions préalables et de 14 optimisations. Les 2 conditions préalables portent sur la promotion de la santé mentale et du bien-être auprès des usagers du bâtiment, ainsi que sur la nature et les espaces. La deuxième condition préalable comporte 2 exigences qui sont « Offrir une connexion à la nature » et « Offrir une connexion au lieu ». Dans la première exigence, il est cité l'utilisation de l'architecture verte et notamment l'emploi de murs végétalisés pour procurer un espace naturel aux usagers. Cette exigence précise qu'un espace naturel doit être accessible depuis toutes les pièces différentes du bâtiment. Il y a donc une condition préalable sur les deux de ce Concept qui évoquent l'architecture verte.

Parmi les optimisations, l'une d'elle qui est intitulée « Améliorer l'accès à la nature » recommande la vue d'au moins 75% des postes de travail sur de la nature intérieure ou extérieure mais n'évoque pas l'utilisation de l'architecture verte en particulier.

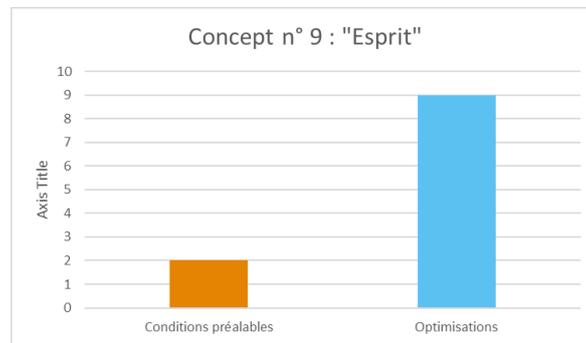


Figure 69 - Répartition graphique des éléments concernant l'architecture verte dans le Concept "Matériaux"

Le dernier Concept est intitulé « Communauté ». Il s'intéresse à l'accès aux soins de santé essentiels pour tous les occupants et à la création d'une culture de la santé qui répond aux besoins de chacun des usagers. Ce Concept est composé de 4 conditions préalables et de 14 optimisations. Les quatre conditions préalables sont nommées « Promotion de la santé et du bien-être », « Conception intégrative », « Préparation aux situations d'urgence » et « Enquête auprès des occupants ». Aucune de ces 4 conditions préalables ne traite de l'architecture verte. Les 14 optimisations abordent les services de santé, les congés maternité et paternité, le soutien de la vie de famille, la diversité et l'inclusion de tous les occupants ainsi que le soutien aux victimes de violence domestique. Ces optimisations n'évoquent pas l'utilisation de l'architecture verte.

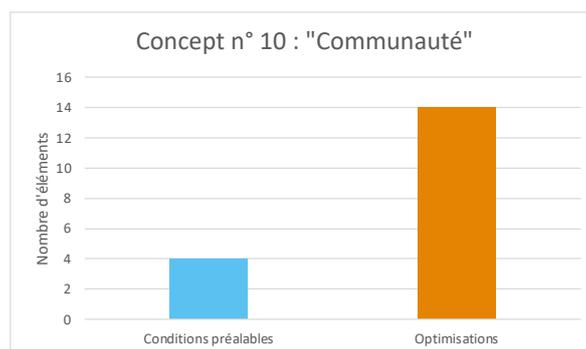


Figure 70 - Répartition graphique des éléments concernant l'architecture verte dans le Concept "Communauté"

Finalement, il n'y a qu'un Concept sur les dix présentés qui évoque l'emploi de systèmes végétalisés. Parmi les 24 conditions préalables, il n'y a qu'une condition préalable qui suggère l'utilisation de l'architecture verte. Aucune des 98 optimisations envisage l'utilisation de l'architecture verte comme une solution pour valider les exigences demandées.

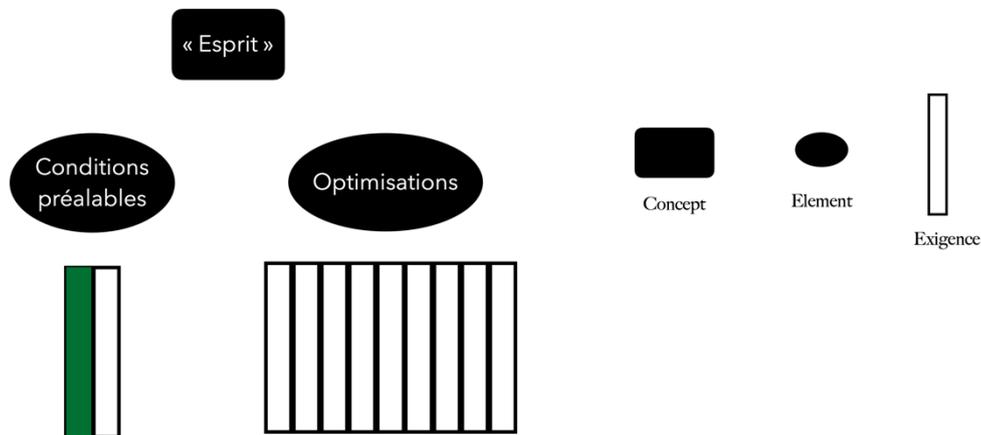


Figure 71 - Schéma résumé de la présence de l'architecture verte dans la certification WELL Building Standard

Les bénéfices psychologiques liés à l'emploi de l'architecture verte cités dans le chapitre « État de l'art » ne se retrouvent que très peu dans les exigences de la méthode WELL Building Standard pour améliorer le confort des occupants des bâtiments. Même si la condition préalable qui mentionne l'architecture verte doit obligatoirement être validée pour obtenir la certification WELL, l'utilisation de murs végétalisés reste une suggestion au même titre que l'installation de plantes en pots. Il ne s'agit donc pas d'une exigence propre à l'emploi de l'architecture verte dans le but d'améliorer le confort et le bien-être des occupants des bâtiments.

3.1.3. Outil TOTEM

L'outil TOTEM est un outil belge permettant d'évaluer l'impact environnemental des bâtiments au cours de leur cycle de vie. Il propose différentes possibilités de choix architecturaux et permet des variantes de conception. Il est efficace pour calculer les impacts environnementaux à l'échelle du bâtiment et des éléments. Il est destiné aux concepteurs de bâtiments comme les architectes ou les bureaux d'études.

Son fonctionnement est basé sur 19 indicateurs d'impact environnemental réparties dans 12 catégories et évaluer en fonction du cycle de vie du bâtiment. Les phases du cycle de vie prises en compte sont la phase de production des composants, la mise en œuvre sur chantier, l'utilisation du bâtiment et sa fin de vie. Chacune de ses phases sont découpées en étapes. Par exemple, la phase de

production comprend trois étapes qui sont l'extraction de matières premières, le transport de celle-ci vers l'usine puis le procédé de fabrication ou de transformation. La figure ci-dessous reprend les phases du cycle de vie. TOTEM ne traite pas de toutes les étapes, notamment celles nommées B1, B3, B5, B7.

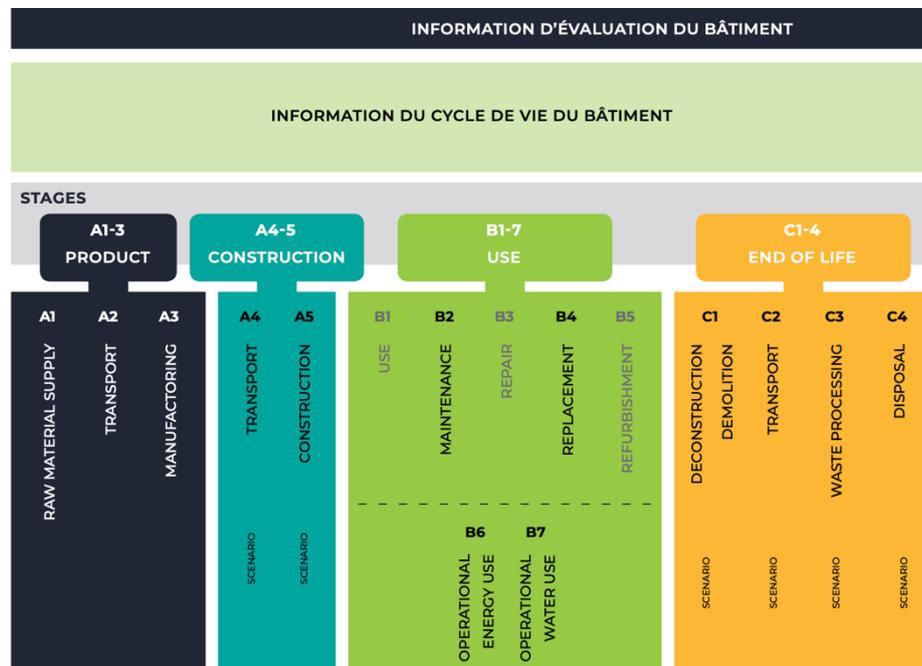


Figure 72 - Phase de cycle de vie d'un bâtiment selon la norme EN 15978, (developpementdurable.wallonie.be)

L'outil TOTEM a quatre niveaux d'analyse qui sont les matériaux, les matériaux mis en œuvre, les éléments de construction et le bâtiment. Cette analyse se fait selon une structure hiérarchique puisque le bâtiment découle des éléments de construction eux-mêmes mis en œuvre grâce aux matériaux. L'évaluation des impacts peut être réalisée sur un bâtiment neuf ou en rénovation mais les phases du cycle de vie prise en compte seront différentes. Dans cette étude, nous nous intéresserons aux éléments issus de l'architecture verte et comparerons leur impact à d'autres éléments qui ne sont pas de ce type d'architecture mais présente un coefficient de transmission thermique noté U identique ce qui traduit des performances similaires. Le coefficient thermique est exprimé en W/m^2K et est défini comme étant « la quantité de chaleur traversant une paroi en régime permanent, par unité de temps, par unité de surface et par unité de différence de température entre les ambiances situées de part et d'autre de ladite paroi. » (actu-environnement.com, s.d).

La bibliothèque contient 450 éléments de construction et environ 950 matériaux à choisir pour faire un projet. Il est rapide d'effectuer une recherche d'éléments en utilisant les filtres et les catégories

d'éléments à filtrer. La figure ci-dessous montre la recherche effectuée pour classer les toitures plates en fonction de leur coefficient U.

The screenshot shows the 'Éléments' section of the TOTEM website. The search results are filtered for 'Toiture plate' and sorted by 'Valeur U [W/m²K]' in ascending order. The results list six different roof types, each with a cross-section diagram and technical specifications.

Éléments	U [W/m²K]	mPt/m²	Épaisseur [m]	Durée de vie [ans]
ToiturePlate18	0.24	25.35	0.49	≥ 60
ToiturePlate16	0.24	17.86	0.37	≥ 60
ToiturePlate06	0.24	18.41	0.26	≥ 60
ToiturePlate26	0.24	15.29	0.52	≥ 60
ToiturePlate21	0.24	29.41	0.5	≥ 60
ToiturePlate27	0.25	17.71	0.55	≥ 60

Figure 73 - Recherche des toitures plates selon leur coefficient U sur le site web TOTEM

Dans ce qui est proposé, parmi les 35 toitures plates, une seule correspond à la composition d'une toiture verte. Ses composants sont détaillés dans le tableau ci-dessous : Dans L'outil TOTEM, elle est nommée « Toiture Plate 18 ».

Composants				
Nom	Définition	Statut	Epaisseur (mm)	Rôle
C1	Remblais - Substrat : tourbe	Nouveau	40	Revêtement de toiture
C2	Matelas - Laine de roche	Nouveau	25	Couche de rétention d'eau
C3	Panneau - PS	Nouveau	7	Système de drainage
C4	Feuille d'étanchéité - pp	Nouveau	1	Membrane anti-racine
C5	Feuille d'étanchéité - Bitume polymère avec des paillettes d'ardoise	Nouveau	7	Revêtement de toiture
C6	Panneau - Laine de roche : feutre en fibre de verre	Nouveau	140	Isolation thermique
C7	Feuille d'étanchéité - Bitume renforcé de fibres de verre	Nouveau	3	Pare-vapeur
C8	Chape - Ciment	Nouveau	50	Couche de pente
C9	Coulé sur site - Béton armé	Nouveau	150	Couche de compression
C10	Prédalle - Béton armé	Nouveau	50	Dalle
C11	Enduit épais - Plâtre	Nouveau	12	Revêtement intérieur
C12	Feuille souple - Paper peint	Nouveau	1	Traitement du revêtement

Figure 74 - Composants de la Toiture Plate 18 (toiture verte de TOTEM)

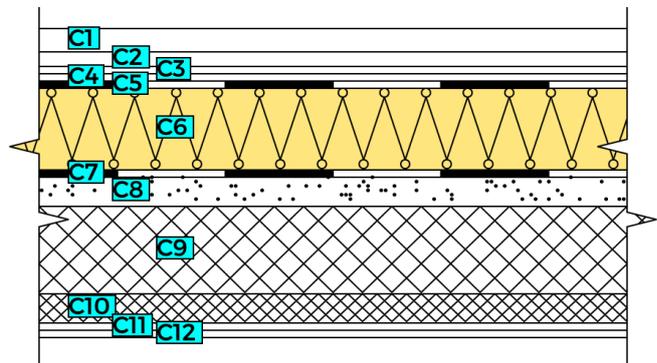


Figure 75 - Toiture verte nommée « Toiture Plate 18 » issue du site web TOTEM

Pour la comparer, quatre autres toitures ont été sélectionnées avec un coefficient thermique de 0,24 W/m²K. Une toiture plate « classique » en dalle béton nommée « Toiture plate 06 », une toiture plate gravillonnée nommée « Toiture plate 26 » et une toiture plate avec un revêtement en carreaux de béton intitulée « Toiture plate 21 ». Leur composition générale est détaillée ci-dessous :

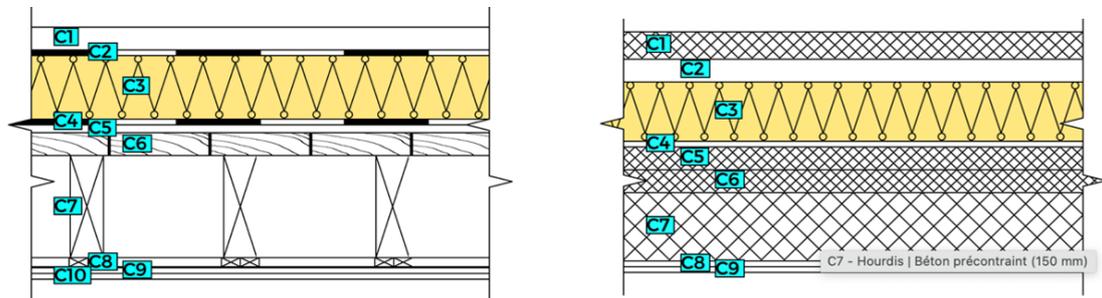


Figure 76 – Toiture gravillonnée nommée Toiture Plate 26, à gauche, et toiture en carreaux de béton intitulée Toiture Plate 21, à droite (TOTEM)

Composants - Toiture Plate 26				
Nom	Définition	Statut	Épaisseur (mm)	Rôle
C1	Remblais - Gravier	Nouveau	50	Revêtement de toiture
C2	Feuille d'étanchéité - EPDM	Nouveau	1,2	Revêtement de toiture
C3	Panneau - Liège expansé	Nouveau	140	Isolation thermique
C4	Feuille d'étanchéité - PP LPDE	Nouveau	0,22	Pare-vapeur
C5	Panneau - Contreplaqué	Nouveau	18	Structure portante
C6	Profilés - Bois résineux	Nouveau	50	Couche de pente
C7	Soives et arbalétriers - Bois résineux	Nouveau	50	Structure portante
	Couche d'air - non ventilée	Nouveau	225	Lame d'air
C8	Lattes - bois résineux	Nouveau	47 x 22	Structure portante
C9	Panneau - Plâtre	Nouveau	12,5	Revêtement intérieur
C10	Film - Peinture acrylique	Nouveau	Négligeable	Traitement du revêtement

Composants - Toiture Plate 21				
Nom	Définition	Statut	Épaisseur (mm)	Rôle
C1	Carreaux rigides - Béton	Nouveau	500 x 500 x 60	Revêtement de toiture
C2	Support de dalle - Caoutchouc	Nouveau	50	Lit de pose
C3	Panneau - XPS	Nouveau	130	Isolation thermique
C4	Enduit étanche à l'eau	Nouveau	2	Revêtement
C5	Enduit épais - Béton maigre	Nouveau	50	Couche de pente
C6	Coulé sur site - Béton armé	Nouveau	50	Couche de compression
C7	Hourdis - Béton précontraint	Nouveau	150	Dalle
C8	Enduit épais - Plâtre	Nouveau	12	Revêtement intérieur
C9	Film - Peinture acrylique	Nouveau	Négligeable	Traitement du revêtement

Figure 77 – Composants des Toitures Plates 26 et 21

Composants - Toiture Plate 06				
Nom	Définition	Statut	Epaisseur (mm)	Rôle
C1	Feuille d'étanchéité - EPDM	Nouveau	1,2	Revêtement de toiture
C2	Panneau - PUR - feutre en fibre de verre bitumineux	Nouveau	94	Isolation thermique
C3	Feuille d'étanchéité - Bitume - renforcé de fibres de verre	Nouveau	3	Pare-vapeur
C4	Coulé sur site - Béton armé	Nouveau	150	Dalle
C5	Enduit épais - Plâtre	Nouveau	12	Revêtement intérieur
C6	Film - Peinture acrylique	Nouveau	Négligeable	Traitement du revêtement

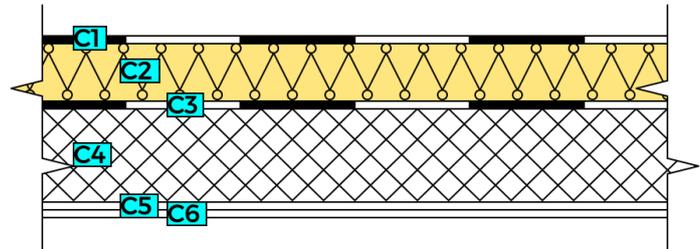


Figure 78 - Toiture en dalle béton Toiture Plate 06 issue du site web TOTEM

Figure 79 - Composants de la Toiture Plate 06 (toiture dalle béton de TOTEM)

L'outil TOTEM permet de comparer les éléments entre eux directement pour obtenir les impacts environnementaux. Après avoir créé un projet et insérer les quatre toitures présentées ci-dessus, la fonctionnalité de comparaison a été appliquée.

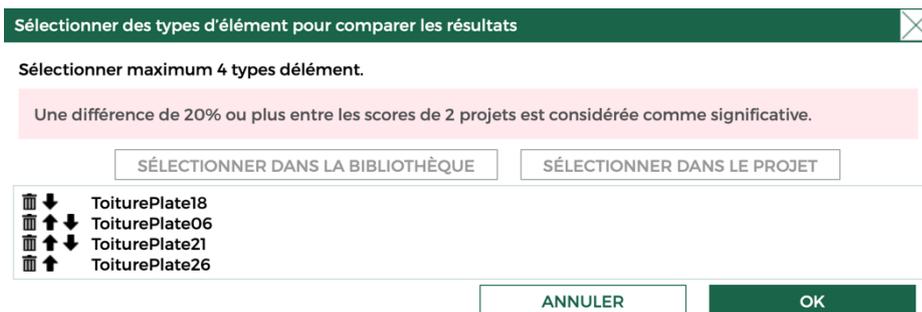


Figure 80 - Fonction de comparaison des résultats dans TOTEM

Plusieurs résultats sont disponibles pour analyser l'impact environnemental des toitures et présentés dans la partie « 3.1.1. Évaluation individuelle des méthodes ».

Il n'y a pas de murs ou de façades végétalisées à disposition dans la bibliothèque d'éléments. L'outil TOTEM permet de créer ces composants mais il ne permet pas de rajouter des matériaux et des composants pour créer de nouveaux éléments dans la bibliothèque. L'utilisateur doit alors remplir un formulaire pour décrire son projet et faire une demande auprès des développeurs pour suggérer l'ajout d'un composant ou d'un matériau (totem-building.be). Il n'est donc pas envisageable de créer un mur ou une façade végétale dans cet outil.

Les résultats sont présentés sous forme de graphiques permettant d'obtenir différentes informations des éléments comparés. Le score environnemental obtenu est exprimé en millipoints par unité fonctionnelle.

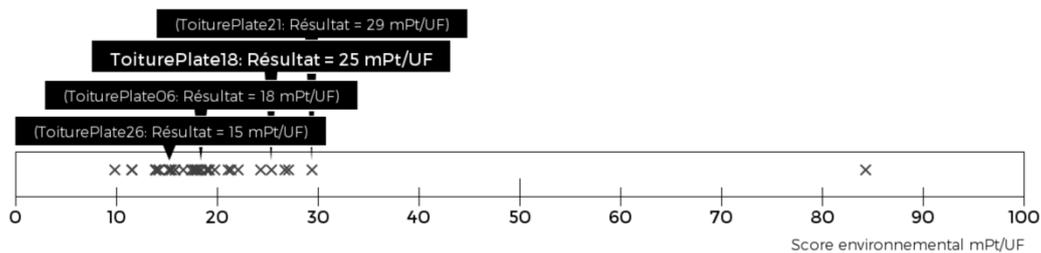


Figure 81 - Répartition des impacts environnementaux des toitures étudiées (totem-building.be)

Il est obtenu par l'addition des scores de chaque indicateur d'impact environnemental multipliés par un facteur d'agrégation spécifique. Ces scores sont pondérés par des coefficients de la consultation des parties prenantes, de critères factuels et de l'avis d'experts et une correction supplémentaire est ajoutée correspond à la robustesse des indicateurs. Dans le cas de toitures, l'unité fonctionnelle est le m² puisqu'il s'agit d'éléments planaires. La figure n° 81 montre le score final des toitures comparées. La toiture verte nommée Toiture Plate 18 a obtenu un score environnemental de 25 mPt/UF. La toiture plate en dalle béton classique (Toiture Plate 06) et la toiture plate gravillonnée (Toiture Plate 26) ont eu un score plus faible de respectivement 18 mPt/UF et 15 mPt/UF. La toiture en carreaux de béton (Toiture Plate 21) a un score plus élevé de 29 mPt/UF. Les autres croix noires représentent les autres toitures plates de la bibliothèque.

Le premier graphique définit les impacts environnementaux par cycle de vie.

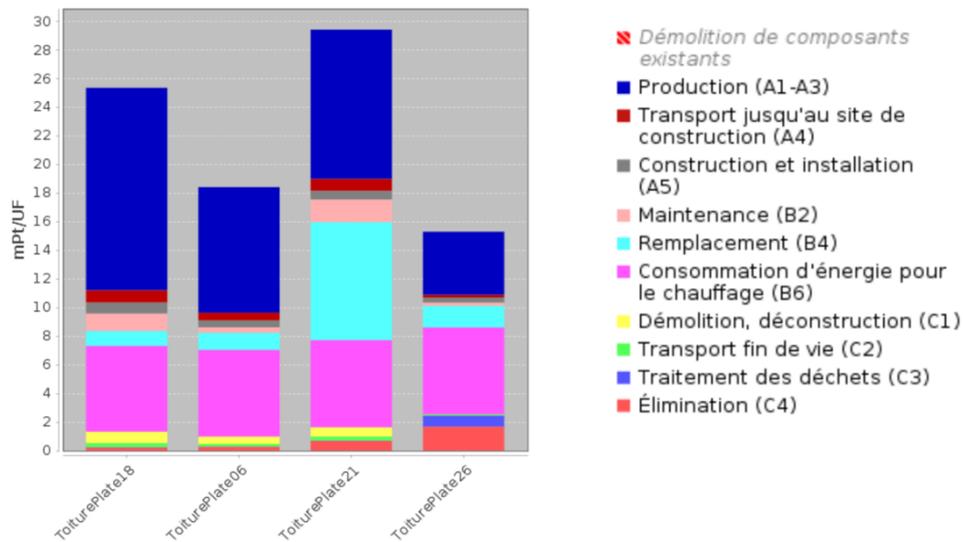


Figure 82 - Impact environnementaux par cycle de vie des toitures étudiées, (totem-building.be)

On peut voir sur la figure n° 82 que les composants de la toiture verte (Toiture Plate 18) engendrent un impact significatif dans leur production par rapport aux autres toitures. Effectivement la toiture verte est la toiture qui comprend le plus de composants, elle est donc plus susceptible d'avoir un impact conséquent lors de sa production. La phase de maintenance est plutôt similaire entre la toiture verte, la toiture en dalle béton (Toiture Plate 06) et la toiture en carreaux de béton (Toiture Plate 21). La toiture verte présente le moins d'impact pour la phase d'élimination des éléments alors que la toiture gravillonnée a le score le plus élevé de cette phase.

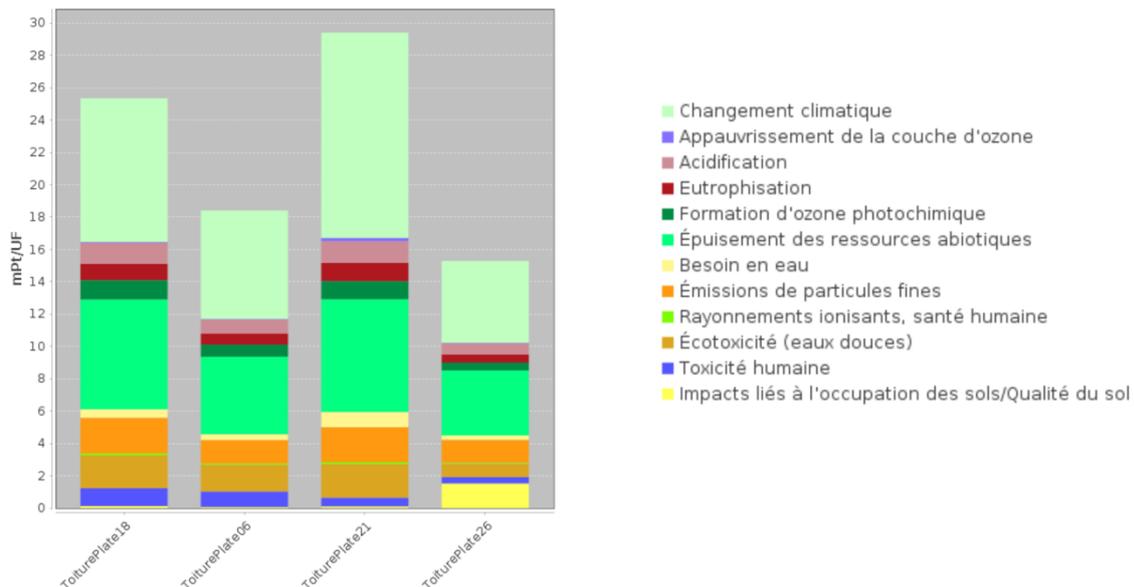


Figure 83 - Impacts environnementaux par indicateur environnemental individuel, (totem-building.be)

Le graphique de la figure n°83 montre les impacts environnementaux par indicateurs environnemental individuel. Cela permet d'avoir une information sur l'aspect environnemental le plus touché par le choix des composants. Il y a 17 indicateurs au total. Dans le cas de la toiture verte (Toiture Plate 18), les aspects environnementaux qui ont le score environnemental le plus important sont l'indicateur concernant le réchauffement climatique et celui concernant l'épuisement des ressources abiotiques. L'étude montre que la toiture verte favorise l'augmentation de la concentration moyenne de diverses substances d'origine anthropique comme le CO₂ ou le CH₄ et qu'elle contribue à l'épuisement des matières premières minérales ou des combustibles fossiles (environnement.brussels). D'autre part, il faut remarquer que les impacts environnementaux sur la santé humaine et la toxicité pour l'Homme sont très faibles.

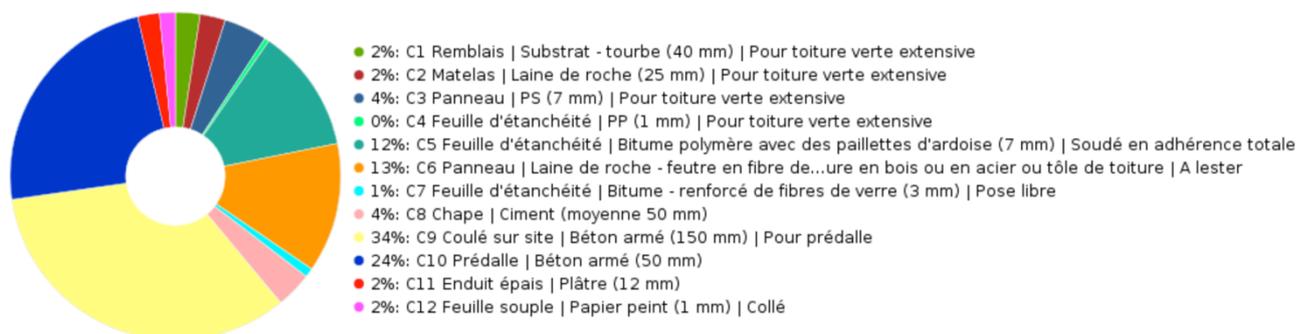


Figure 84 - Impacts environnementaux par composant pour la toiture verte, (totem-building.be)

Cette figure montre les impacts environnementaux par composant pour la toiture verte étudiée. L'élément qui a un impact environnemental très important est la structure porteuse de cette toiture. En effet, les composants en béton comme la prédalle et la dalle ont un fort impact environnemental (24 et 34 %) comparé au substrat (2%) qui est de la tourbe et à la couche de rétention d'eau en laine de roche. Il faudrait donc étudier plusieurs systèmes de structure porteuse pour réduire les impacts environnementaux de cette toiture verte.

Cette toiture ne semble pas le meilleur choix lorsqu'on constate son impact environnemental après avoir analysé les résultats et comparé avec les scores environnementaux des autres toitures sélectionnées mais cette analyse présente plusieurs points qui peuvent nuancer les résultats obtenus.

Au niveau de l'outil, l'architecture verte n'est pas mise en valeur pour être présentée comme un choix judicieux pour les concepteurs. Les systèmes constructifs présents en architecture verte ne sont pas nombreux, il n'y a qu'une toiture verte disponible et aucun mur végétalisé. Néanmoins les utilisateurs

peuvent modifier les caractéristiques techniques de cette toiture et changer ses composants avec ceux qui sont disponibles dans la bibliothèque. Pour ajouter un nouveau composant, ils doivent adresser une requête auprès des développeurs et décrire ce qu'ils souhaiteraient ajouter.

Il faut remarquer que la toiture verte a une structure en béton et la toiture gravillonnée en bois. La structure porteuse n'est pas la même et cela peut aussi influencer les résultats de l'étude. D'autre part, pour la toiture verte, les végétaux ne sont pas représentés dans l'outil. Les bénéfices environnementaux qu'ils apportent pendant le cycle de vie du système technique ne sont pas pris en compte dans cette étude.

3.2. Résumé et comparaisons des méthodes étudiées

3.2.1. Discussion sur la prise en compte de l'architecture verte dans les méthodes d'évaluation environnementale

Les méthodes d'évaluation environnementales étudiées dans ce chapitre s'intéressent à différents domaines de la construction. La majorité des bénéfices comme l'amélioration de la qualité de l'air ou le confort thermique des occupants cités dans le premier chapitre se retrouvent dans les exigences des deux certifications environnementales NF HQE Bâtiments Tertiaires et WELL Building Standard. Cependant, les deux méthodes environnementales n'intègrent que faiblement l'utilisation de l'architecture verte pour atteindre les exigences demandées alors que l'état de l'art met en avant l'utilisation de ces systèmes pour améliorer les bénéfices environnementaux. De même, l'outil TOTEM ne présente que peu de choix concernant les éléments de sa bibliothèque qui sont issus de l'architecture verte alors que l'état de l'art présente différentes variétés de systèmes techniques végétalisés existants. En ce qui concerne les bénéfices liés au bien-être et au confort des usagers, la certification WELL compte 29 exigences concernant la santé mentale des usagers mais ne mentionne l'architecture verte qu'une fois pour offrir aux occupants des bâtiments un accès à la nature. Pour la certification HQE, les critères traitant du bien-être mental des usagers sont au nombre de 5 mais aucun n'aborde l'architecture verte pour contribuer à l'amélioration du confort des occupants des bâtiments.

L'analyse comparative d'une toiture verte et des autres toitures plates disponibles sur l'outil TOTEM a mis en avant les faiblesses de ce type de systèmes végétalisés comme présentées dans le premier chapitre, à savoir l'impact environnemental lié aux composants des toitures vertes.

Dans chacune des certifications environnementales, le champ lexical de l'architecture verte étudié dans la grille de lecture (chapitre 2) ne met pas en avant l'emploi de systèmes techniques végétalisés. Il n'est pas mentionné dans le référentiel de la certification HQE les noms des systèmes techniques verts présentés dans l'état de l'art. De même, pour la certification WELL seule l'expression « mur végétalisé » est mentionné une fois.

Pour chacune de ces méthodes d'évaluation environnementales, l'architecture verte n'est pas perçue comme une solution durable et efficace pour l'environnement et le confort des usagers des bâtiments. Elle n'a pas encore assez de place dans les certifications WELL Standard Building, NF HQE Bâtiments Tertiaires et l'outil TOTEM pour accélérer son développement. Toutefois, l'architecture verte peut contribuer à l'obtention de ses méthodes car elle permet de valider des exigences qui s'intéressent à la nature ou à la biodiversité. Elle est suggérée aux acteurs du monde de l'architecture et de la construction qui doivent faire le choix d'utiliser les systèmes techniques végétalisés lors de la réalisation de leurs projets.

CHAPITRE 4 : RESULTATS DES ENTREVUES ET DES MICRO-INTERVIEWS

Ce chapitre détaille les interviews réalisées auprès des acteurs de la conception, des employés du musée du quai Branly ainsi que les micro-interviews de passants prises devant le mur végétalisé du musée. Nous verrons d'abord les réponses des architectes, paysagistes et employés du musée, puis mon ressenti vis-à-vis du mur végétalisé lors de ma visite et enfin seront présentés les profils des passants ainsi que leurs réponses.

4.1. Présentation des résultats

4.1.1. Avis et réponses des acteurs de la construction

Les réponses suivantes sont les résultats obtenus lors des interviews auprès de quatre acteurs présentés dans la partie « 2.6.2.1. Les acteurs de l'architecture verte choisis », à savoir deux architectes, un paysagiste et un architecte-paysagiste.

COMMENT DEFINIRIEZ-VOUS L'ARCHITECTURE VERTE ?

Chacun des interviewés devait d'abord donner sa propre définition de l'architecture verte.

Luc Schuiten parle des constatations faites par rapport à « *l'acte de construire* » qui commence par « *une destruction du terrain sur lequel on allait travailler et une recherche de mettre en valeur l'objet architectural que l'on va construire au détriment de l'environnement naturel existant* ». Ce n'est pas ce qu'il souhaite dans ses réalisations. Il cherche à s'intégrer au tissu existant et à l'environnement naturel végétal et animal.

Carolina Foïs s'interroge sur l'existence de ce qu'on appelle « architecture verte », elle ne saurait pas la définir mais constate qu'il y a « *beaucoup d'architectures déguisées par du végétal* ».

Dominique Bourreau raconte sa vision de l'architecture verte qu'il qualifie de « *donnée de base [...] de l'architecture* ». Il explique que ce serait comme un « immeuble qui pousse » et que ce qui est intéressant dans ce type d'architecture c'est d'avoir des façades vivantes qui se renouvellent et changent d'aspect contrairement à d'autres matériaux qui ne bougent plus en extérieur. Il positionne son agence et sa démarche architecturale en disant : « *Ce qu'on essaie de faire déjà c'est d'utiliser au mieux les ressources naturelles* ».

L'architecte et paysagiste David Besson-Girard définirait l'architecture verte comme « *un mode d'expression de relation au monde qui n'est pas propre aux hommes, tous les êtres vivants sont en interaction dans un paysage* ». Il explique que l'architecture du paysage prend en compte des « *catégories sensibles* » comme l'air, le feu, l'eau, la terre et traduit la manière dont la matière se présente aux êtres humains. Il complète en ajoutant que le paysage est un langage, il montre comment le monde est et imagine comment il sera à l'avenir.

COMMENT ET DEPUIS COMBIEN DE TEMPS VOUS INTERESSEZ-VOUS A L'ARCHITECTURE VERTE ?

Luc Schuiten a commencé par la construction de sa propre maison en 1975. Construire une maison autonome a été le déclenchement de sa recherche de solutions issues de l'architecture verte.

Carolina Foïs a commencé à exercer dans le paysage il y a 16 ans. Concernant les systèmes d'architecture verte qu'elle utilise, pour les « *façades végétalisées* », c'est « *uniquement quand la plante est au sol* ». En effet, elle « *n'exerce pas au sein de tous ces systèmes suspendus aux façades* ». Sinon elle décrit que son agence « *fait beaucoup de toitures végétalisées de natures très différentes* ». Par exemple les magasins généraux à Pantin qui comprennent des espaces de cultures de potager, des aménagements pour la biodiversité des insectes, des oiseaux et des ruches.

Depuis la création de son agence Atelier Arche dans les années 80, Dominique Bourreau s'intéresse à l'utilisation de ressources naturelles en architecture.

David Besson-Girard a commencé à s'intéresser au végétal sur les bâtiments il y a environ 30 ans. Son premier projet est la construction d'un immeuble où il a installé une centaine de plantes en pots et recréé un verger.

DANS COMBIEN DE PROJETS AVEZ-VOUS DEJA UTILISE CES SOLUTIONS ARCHITECTURALES ?

« C'est absolument une constante. »

Lorsqu'on regarde le travail de Luc Schuiten, on constate que tous ses projets sont liés à la nature et au vivant. Il ajoute qu'« *Il faut qu'il y ait quelque chose à expérimenter dans ce domaine là, à créer ou sinon je n'y vais pas.* ».

Carolina Foïs indique qu'elle utilise ces solutions architecturales dans tous les projets où elle est associée avec des architectes. Elle définit la toiture comme « une surface beaucoup plus intéressante » de nos jours.

« *Le végétal pas beaucoup malheureusement mais plutôt dans des concours qui n'ont pas abouti malheureusement* » déclare M. Bourreau à cette question. Il ajoute que la plupart du temps pour réaliser des projets d'envergures avec du végétal il faut déjà avoir accès à une certaine notoriété.

David Besson-Girard indique que la plupart de ses projets utilisent ce type de solutions architecturales. « *Presque tous mes projets ont des parties où il y a des jardins sur dalle terrasse* ». Il a déjà utilisé cela dans probablement plus d'une cinquantaine de travaux.

EST-CE QUE LES PROJETS REALISES ONT OBTENU UNE CERTIFICATION ENVIRONNEMENTALE ?

Si au début de sa carrière, certains projets de M. Schuiten ont eu un suivi sur la recherche architecturale et énergétique, les récents projets ne s'intéressent pas « *réellement à rentrer dans cette voie-là* ».

Certains projets de Mme Foïs ont reçu des distinctions notamment un écolabel et la certification HQE.

Dominique Bourreau rejoint les propos de M. Schuiten concernant les certifications environnementales, « *ce n'est pas notre recherche* ». A son agence, il ne fait pas de projet pour chercher à répondre à des méthodes d'évaluations environnementales.

Certains projets de M. Besson-Girard ont déjà obtenu des distinctions issues de méthodes d'évaluations environnementales.

EST-CE QUE L'ARCHITECTURE VERTE A TENU UNE PART IMPORTANTE DANS L'OBTENTION DE CES CERTIFICATIONS ?

« A l'époque, ça se passait dans les années 80 donc on ne parlait pas encore d'architecture verte » souligne M. Schuiten. L'architecture verte n'était pas encore une notion qui jouait un rôle conséquent dans l'obtention de certifications environnementales.

« [...] *le label, je trouve souvent dans des points, sur des choses qui ne sont pas intéressantes à l'avenir.* »

« *Je trouve qu'ils ne nous aident pas à aller dans la bonne direction* »

Pour Mme Foïs, les méthodes d'évaluation environnementales ne marquent pas assez les points vraiment importants de la construction environnementale et passent au travers des ressources importantes du futur.

« *L'architecture verte et le paysage en général est un des critères qui est placé en tête des attendus heureusement* ». Pour M. Besson-Girard, il est clair que ce type d'architecture a une importance dans l'obtention des certifications mais il continue en nuanciant son propos puisque les « *attendus on va dire très pointus et pragmatiques de ces méthodes d'évaluation peuvent être un peu contre-productif sur certains points* ». Effectivement, il explique que les exigences sont parfois très élevées et demandent énormément « *d'arguments à la fois écologique, à la fois sémantique, à la fois urbanistiques et culturelles* ». Les réponses à émettre pour atteindre ce niveau d'excellence finissent parfois par faire perdre de sens le travail de l'architecte paysager.

COMMENT CHOISISSEZ-VOUS LES VEGETAUX A UTILISER ?

La question est vaste et il est « *difficile de donner une réponse assez générale* » pour M. Schuiten. Il explique par la suite que la nature du système de construction choisie définit aussi les végétaux à utiliser. Pour les toitures, il faut travailler sur les « *possibilités de portance, de stabilité* » et sur les façades cela peut être l'utilisation « *de plantes grimpantes qui peuvent avoir un effet d'ombre* ». Les plantes caduques sont aussi considérées puisque « *perdre leurs feuilles en hiver permet une insolation plus importante l'hiver et ainsi réguler un peu mieux la température.* »

Mme Foïs déclare à cette question, « *On le choisit en fonction de l'exposition, en fonction de la fréquentation du bâtiment, en fonction de la capacité d'entretien du client, de l'épaisseur du sol, de la présence ou pas de dalle ou de la pleine terre de la région, du climat, du changement climatique.* ». Autant de critères importants pour choisir « *la palette végétale* » qui est plus restreinte dans son choix dans le cadre de végétaux sur les constructions, que plantés en pleine terre.

Dominique Bourreau décrit le choix des végétaux en fonction du système d'architecture verte utilisé. Par exemple, dans le cas de toitures vertes, « *il faut qu'il y ait un substrat pour pousser alors en fonction de l'épaisseur du substrat ben on choisit, si on fait une toiture végétalisée on a très peu de substrat 4 ou 5 cm* ».

Pour M. Besson-Girard, il faut que la palette végétale soit faite en symbiose avec l'environnement immédiat et les humains. Elle doit traduire tous les aspects sensibles. « *L'espace produit et les qualités de lumière, de fraîcheur, de l'oxygène, les qualités de vue, les qualités d'ergonomique, de préhension*

de l'espace, des qualités dans tous les aspect sensibles ». Ce choix des végétaux est important puisqu'il raconte la géographie, l'écologie et l'histoire dans un même travail.

UTILISEZ-VOUS DES PLANTES D'ESSENCES INDIGENES ?

Parmi les plantes utilisées, M. Schuiten utilise des essences indigènes mais aussi d'autres espèces comme le bambou. Il « *a des propriétés qui peuvent être intéressantes pour arriver à avoir quelque chose qui perdure durant toute l'année* ». Effectivement, il est décrit comme une plante avec de grandes « *qualités d'ombre et une possibilité de contrôle dans la masse végétale qui est un peu plus facile qu'avec d'autres éléments* ». De plus, c'est une plante qu'on trouve facilement en Belgique et pour les espèces plus délicates, il y a la « *Bamboueraie d'Anduze* » en Cévennes.

« *C'est un grand débat* » répond Mme Foïs à cette question. Elle explique qu'il faut définir la zone géographique dont on parle pour qualifier les plantes d'indigène ou non. « *Moi, je suis plutôt pour redécouvrir les plantes indigènes tout en les mélangeant intelligemment aux plantes acclimatées parce qu'on sait très bien que les plantes migrent avec le réchauffement climatique.* »

« *C'est intéressant de placer ces essences parce qu'elles sont l'habitat de beaucoup de faune et flore et elles parlent de notre géographie* ». Selon M. Besson-Girard, il est important de conserver des essences indigènes puisqu'elles racontent l'histoire de l'homme. Elles se sont transformées, ont évolué avec le réchauffement climatique et les migrations des êtres humains et des animaux.

QUELS SYSTEMES TECHNIQUES ISSUS DE L'ARCHITECTURE VERTE UTILISEZ-VOUS LE PLUS ?

« *Je dirais un peu tout. J'aime bien utiliser au maximum de ce que le bâtiment, l'environnement, le programme, les utilisateurs, les gens qui vont vivre dans l'habitation ont comme relation avec ce vivant.* ». Luc Schuiten ajoute que ces systèmes permettent d'élever la qualité de vie d'une habitation, c'est pourquoi il apprécie les utiliser au maximum lorsque c'est en accord avec le programme architectural.

Carolina Foïs utilise, elle aussi, différents systèmes pour les toitures végétales, elle commente qu'elle s'intéresse à « *Tout type de terre allégée, terre végétale en partie et quand ce sont des terres allégées on essaie de faire des substrats* ». Au sein de son agence, elle essaye d'« *utiliser des produits recyclés, issus des différentes filières bois, brique, béton* ».

Dominique Bourreau a utilisé le végétal dans certains de ses projets et notamment les murs végétaux comme dans le parking Perrache-Archives La Confluence. Mais il a aussi fait un projet avec des plafonds végétaux. Toutefois, certains concours avec des systèmes végétalisés n'ont pas abouti.

« *J'ai fait plein de systèmes différents mais ce sont des situations très différentes* » décrit M. Besson-Girard. A travers différentes collaborations avec des artistes comme Jean-Pierre Raynaud ou des architectes, ils expérimentent différents systèmes, des jardins sur dalle, de l'hydro-culture, des systèmes mixtes comme l'Espace Bienvenue à Marne-la-Vallée. Pour ce bâtiment, le système d'architecture verte qui le caractérise est une grande toiture terrasse en vague où les surfaces en herbes sont sur 30 cm de substrat de culture allégée et les champs de fleurs sont réalisés dans des sillons de culture où il y a de la terre fraîche un peu plus épaisse d'environ 40 cm. La difficulté de ce bâtiment a été de mettre de la terre légère et drainante sur des surfaces en pentes.

EN QUOI CELA CHANGE-T-IL LA CONCEPTION ?

« *Mon but est réellement de pouvoir construire avec le végétal. Il y a une notion de temps qui est importante, le végétal prend beaucoup de temps à se développer* » indique Luc Schuiten.

« *Ça change tout parce que tous ces sols qu'on reconstituent ont des qualités complètement différentes* ». Carolina Foïs raconte que les acteurs de la conception comme les ingénieurs et les architectes doivent discuter du sol qui est le point de départ de toutes les constructions qui vont suivre.

« *Un projet urbain paysager architectural prend en compte tous les éléments aussi bien les éléments minéraux que l'air, que le végétal, que l'oxygène* » commente M. Besson-Girard. Ainsi intégrer des végétaux dans la conception doit être pris en considération au même titre d'importance que les matériaux qui vont constituer le bâtiment.

POUR QUELS AVANTAGES UTILISEZ-VOUS L'ARCHITECTURE VERTE ?

« *C'est avant tout pour avoir cette relation privilégiée avec le vivant, ce sont des organismes vivants.* » Luc Schuiten fait remarquer que la base de son travail c'est de travailler avec le vivant pour atteindre une forme de symbiose. S'épanouir en architecture c'est concevoir avec l'environnement et ne pas s'enfermer dans des constructions qui sont isolées à tel point que l'enveloppe est totalement hermétique. Il déclare d'ailleurs : « *Je conçois des habitations qui sont respirantes, c'est-à-dire que les parois extérieures sont des peaux qui nous permettent de rester en relation entre l'intérieur et l'extérieur.* »

Pour Carolina Foïs, les systèmes de toitures végétalisées issues de l'architecture verte sont « *des systèmes très intéressants parce que ça offre un vrai point de vue haut sur la ville* ». En effet, Mme Foïs souligne que cela permet de toucher des publics différents et ces derniers se retrouvent dans des endroits où il y a un vrai travail à mener sur la lumière et le soleil contrairement au sol où l'ombre peut déjà être présente.

Dominique Bourreau raconte les avantages de l'architecture verte en parlant du parking Perrache-Archives La Confluence. Le mur végétal permet de créer un réservoir de biodiversité pour les oiseaux qui arrivent à y rentrer. Cela permet aussi de s'orienter et d'apporter un aspect apaisant pour les personnes claustrophobes et mal à l'aise en sous-sol. Enfin les plantes se nourrissant de carbone, cela va aussi abaisser le taux de CO₂ qui est produit par les véhicules. D'une manière générale, M. Bourreau décrit que l'idée principale c'est « *de s'approcher au maximum de la nature* ».

M. Besson-Girard explique que les végétaux permettent de transformer le gaz carbonique, d'apporter de la fraîcheur et fait le parallèle avec l'équation de la photosynthèse. Les plantes récupèrent l'énergie lumineuse pour en faire de l'énergie chimique. Ainsi, plus on installe de plantes, plus on doit savoir leur donner la juste quantité d'accès à la lumière pour avoir plus de fraîcheur et d'oxygène.

QUELS SONT, SELON VOUS, LES LIMITES ET DESAVANTAGES DE CE TYPE D'ARCHITECTURE ?

Luc Schuiten fait remarquer que l'architecture verte joue très souvent un rôle secondaire dans la conception actuelle. « *La plupart du temps imaginé comme étant un élément décoratif il ne joue pas un rôle important dans la construction* ». Ce type d'architecture est souvent jugé comme une tendance et il n'y a pas encore assez de recherches pour être à la base de travaux de grandes ampleurs, ce qui limite son utilisation. Dans ses recherches, il souhaite replacer ce type d'architecture au centre de sa conception pour lui donner un « *rôle plus fondamental* ».

« *[...] quand on plante un jardin sur un bâtiment, on est intimement lié à la durée de vie du bâtiment* », ce qui peut être une limite à l'architecture verte selon Carolina Foïs. Effectivement, les arbres et les plantes des jardins se développent pleinement au bout de 20 ou 30 ans alors que le bâtiment qui dure environ 50 ans commence déjà à se détériorer. Il faut donc penser à refaire l'étanchéité alors que les arbres s'approprient l'espace et deviennent beaux au même moment. C'est ce décalage lié à la pérennité des structures que souligne la paysagiste et qui peut être une source de frustration lorsqu'on utilise l'architecture verte.

Pour M. Bourreau, un des enjeux importants de l'architecture verte est d'utiliser des systèmes pour toucher le plus de gens possible. Chaque habitant aimerait un coin de végétal, surtout en ville. Il explique que « *la problématique c'est d'offrir ça au plus grand nombre et donc de manière simple d'apporter un peu de végétal dans l'architecture* ». Pour cela, une part du budget doit être déjà consacré à ce type d'architecture, ce qui n'est pas tout le temps le cas.

COMMENT PREVOYEZ-VOUS L'ENTRETIEN/LA MAINTENANCE DES VEGETAUX ?

Carolina Foïs structure sa pensée en trois points importants. D'abord, « *on doit faire très attention notamment à toutes les questions d'arrosage* ». Effectivement, lorsque l'eau qui alimente les toitures vertes est distribuée depuis l'intérieur du bâtiment vers l'extérieur, vient se poser la question du gel. Le risque de dégâts et de fuites à l'intérieur du bâtiment n'est pas à négliger lorsqu'on plante des végétaux sur un bâtiment. Ensuite, elle continue en informant sur le point de départ des végétaux, « *il y a toute la question du sol* ». Se questionner sur son comportement lorsqu'il est en pot ou sur dalle, savoir quoi lui donner pour qu'il reste fertile sont aussi des réponses à apporter pour l'entretien et la maintenance des végétaux. Enfin, la dernière question c'est celle des plantes. Leur entretien devient compliqué si elles se développent trop. Il faut donc considérer l'accessibilité à ces espaces pour venir faire l'entretien à la main. Sans ça, les coûts d'entretien et d'évacuation sont trop importants. Mme Foïs souligne que tout est plus sensible lorsqu'il ne s'agit pas de planter des végétaux en pleine terre, « *vous êtes directement confronté au climat, aux intempéries, au gel, aux vents extrêmes* ».

Dominique Bourreau explique qu'« *il faut prévoir effectivement un lot spécifique qui comprend la mise en œuvre du mur végétal par exemple* ». L'entretien dépend des systèmes de construction utilisés, pour un mur végétal, c'est un entretien permanent et selon sa nature, il nécessitera un entretien plus léger ou plus lourd. M. Bourreau aimerait « *que chacun entretienne sa partie de façade végétale et en fasse ce qu'il veut dessus* ». Mais cette idée n'a pas abouti, il y a trop de restrictions quant à la vue des tiers qu'il faut respecter et aux permis qu'il faut demander pour entreprendre ce type d'entretien.

David Besson-Girard pense que cette problématique « *se résout presque d'elle-même [...] si on est dans une attitude de penser les lieux avec des gens, des enfants, des personnes qui vivent dedans* ». Il faut penser l'utilisation de l'architecture verte dans son ensemble et non pas comme une simple « *décoration* » de toiture ou de façade. L'accessibilité doit être prévue, la démarche qui sera réalisée pour entretenir ou se promener doit aussi être pensée en amont de la réalisation.

PENSEZ-VOUS QUE L'UTILISATION DE L'ARCHITECTURE VERTE JOUE UN ROLE IMPORTANT DANS LA CONSTRUCTION ENVIRONNEMENTALE ?

Les mentalités doivent encore évoluer pour Luc Schuiten car « la plupart des gens qui utilisent ça sont des opportunistes qui ont compris qu'un projet passait beaucoup plus facilement si on mettait du vert dedans ». Selon lui, les villes sont devenues trop froides et trop technologiques ces dernières décennies et l'on commence à rechercher à nouveau à inclure de la nature. Mais cette recherche se traduit par une intégration superficielle de la nature actuellement. Toutefois, Luc Schuiten déclare qu'il vaut mieux « *une opération de Greenwashing [...] que celle d'une architecture qui se veut uniquement minéral, matériaux artificiels et composites* ».

Mme Foïs indique qu'elle ne peut pas exactement répondre à cette question parce qu'il faudrait juger de calculs environnementaux mais elle pense quand même que l'architecture verte « *joue un rôle social, médiatique, pédagogique* » et que « *ça contribue sans doute à améliorer la biodiversité* ». Il faut utiliser cette architecture en complément d'autres actions architecturales bioclimatiques pour « *réintroduire de vraies dynamiques naturels* » et assumer les coûts d'entretien derrière.

Dominique Bourreau croit en ce type d'architecture mais ajoute que cela ne se voit pas encore assez actuellement parce que « *c'est une évolution qui est lente mais qui est assez durable quand même donc il faut y aller progressivement* ».

QUEL EST LE FUTUR DE L'ARCHITECTURE VERTE SELON VOUS ?

Selon Luc Schuiten, l'architecture verte a « un tel intérêt à tout point de vue rien que pour lutter contre les changements climatiques ». Il fait remarquer que les végétaux et les arbres permettent de créer de l'ombre et de lutter contre la pollution de CO₂. « *Un arbre est un climatiseur fantastique* » qui abrite en même temps une biodiversité importante et a un rôle positif à l'échelle de la ville. Mais cette évolution est lente, elle ne fait que démarrer, les mentalités commencent à changer mais cela se fait petit à petit. Il ajoute « *ça met beaucoup de temps avant d'arriver à être intégré et accepté par les pouvoirs publics, les écoles ingénieurs qui ont toujours quelques décennies de retard sur les progrès que l'on peut faire ailleurs mais ça commence à être un réel courant* ».

Carolina Foïs est plus sceptique quant au futur de l'architecture verte. Elle ne sait pas trop quoi en penser mais si l'on ne maîtrise pas les systèmes techniques qui ont été mis en place, les conséquences seront importantes au niveau écologique, « *Je pense qu'il va y avoir sur certains projets un retour de bâton parce que je pense que des choses n'ont pas été faites suffisamment bien* ». Elle prévoit dans ses

projets des vies différentes aux systèmes qu'elle met en place pour que cela perdure dans le temps. Elle raconte, par exemple, dans les Magasins Généraux que les jardins potagers pédagogiques en toiture pourront être reconvertis en friches ou pourront avoir d'autres fonctions lorsque les usagers ne s'y intéresseront plus. Cela sera possible si « *la qualité du sol doit pouvoir permettre qu'il soit colonisé par autre chose et s'il y a 5 cm de substrats voilà ça va se limiter très fortement* ».

"J'espère que la nature reprend toujours ses droits alors qu'on le veuille ou non c'est le futur ». Dominique Bourreau constate que les villes deviennent des grandes mégalo-poles avec une concentration de personnes qui commence à chercher des moyens d'habiter plus agréablement et cela passe par le retour de la nature dans l'espace urbain. Toutefois, il y a quand même un frein important au développement de ce type d'architecture qui est la différence de richesses entre les pays. Effectivement, pour M. Bourreau, « Dans les pays riches on essaye d'être « vertueux » mais dans les pays pauvres ce n'est pas cette tendance qui est à l'œuvre ». Ce contraste montre que l'évolution de l'architecture verte n'est pas encore acceptée partout et qu'elle doit encore se développer pour ne pas rester une pratique « élitiste ».

« *Il n'y a pas d'avenir écologique en général [...] sans une réflexion sur la place de l'eau, du végétal, d'essence et de l'être là-dedans* ». M. Besson-Girard explique que l'architecture verte doit se penser à l'échelle des villes et dans sa globalité. Le bâtiment est un chaînon dans l'organisation vivante que ce sont les espaces urbains. Il avertit aussi sur la construction de bâtiments de plus en plus autonomes, si autonomes qu'ils ne seraient plus en relation avec la terre et la ville, des « bâtiments-scapandres ».

4.1.2. Avis et réponses des employés du musée quai Branly

Les réponses des employés du musée quai Branly sont reprises à la suite.

COMMENT DEFINIRIEZ-VOUS L'ARCHITECTURE VERTE ?

William Weil commence en décrivant la technicité de « *faire pousser des plantes végétales sur un mur en général en béton* ». La question de l'entretien semble complexe aussi. Il continue en définissant l'architecture verte comme « *une sorte de croisement au centre du bâtiment* » qui répond à « une envie de certains j'ai bien dit certains architectes de mêler l'architecture et la végétalisation au sein d'une ville ».

« *Moi qui n'y connais rien quand tu dis architecture verte, le premier truc qui vient ce serait architecture vertueuse* ». Clémence Gros indique que les premières pensées qui lui viennent à l'esprit en entendant ces termes sont une architecture qui limiterait son impact sur l'environnement à travers des matériaux

plus durables ou une consommation d'énergie plus limitée. Mais cela ne se traduit pas tout le temps par l'utilisation des végétaux.

A VOTRE AVIS QUELS SONT LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS D'UNE PAROI VEGETALISEE OU D'UNE TOITURE VERTE DANS UN LIEU OU DANS UN BÂTIMENT ?

Clémence Gros commence en décrivant les avantages esthétiques et sociaux de ce système, « *c'est joli, c'est bien perçu par les passants* ». Elle explique ensuite que le musée est facilement identifiable grâce à sa façade, il s'agit d'« *un outil de communication très puissant* », voire que cela permet de donner des valeurs au musée puisque « *certaines personnes se disent mais du coup, c'est un musée écolo* ». Elle décrit en outre les inconvénients de cette paroi végétale qui sont notamment l'entretien qui tend à être lourd techniquement et la consommation très importante d'eau pour alimenter les végétaux.

Pour William Weil, il y a une technicité différente entre les façades végétalisées et les toitures vertes et cela se traduit dans leurs avantages. Les toitures vertes, vont permettre de « *conserver une certaine fraîcheur et une certaine humidité pour le béton* » selon la région dans laquelle elles sont construites. Les façades vont aider au niveau de l'acoustique, elles vont pouvoir « *étouffer les bruits de véhicules motorisés* ». Pour ce qui est de l'entretien, c'est « *beaucoup plus simple d'entretenir une toiture qu'une façade* ». Effectivement, d'après lui, pour les façades, l'entretien est un gros inconvénient, il est « *assez lourd, faut bien que ce soit bien configuré* ».

EST-CE QUE VOUS PENSEZ QUE LA VEGETATION INTEGREE DANS OU SUR LES BATIMENTS EST FAVORABLE A L'ENVIRONNEMENT ?

William Weil répond que c'est favorable à l'environnement. Certaines études ont été menées pour le prouver et l'intégration des végétaux permet d'avoir un impact positif sur l'environnement, « *[...] des études ont été menées pour montrer en quoi ça pouvait faire baisser d'un ou 2° la température ressentie* ».

EST CE QUE VOUS COTOYEZ LA FAÇADE TOUS LES JOURS ?

William Weil utilise un autre chemin pour se rendre dans son bâtiment, il ne côtoie donc pas la façade tous les jours, « *je la vois de temps en temps en effet mais je ne passe pas tous les jours devant* ».

Tandis que Clémence Gros a sa « *fenêtre qui donne sur la façade végétale mais du coup je ne la vois pas je suis à l'intérieur.* » Elle raconte que de l'intérieur, on n'a pas l'impression d'avoir une façade végétale, elle ne voit que des petits bouts de feuilles et des « *espèces de gros moustiques* ».

EST CE QUE VOUS AVEZ REMARQUE UN FONCTIONNEMENT DIFFERENT DU BATIMENT PAR RAPPORT A CETTE FAÇADE ?

M. Weil explique que la façade est à l'extérieur mais qu'elle a aussi une partie qui continue à l'intérieur et qui passe dans certains bureaux. Cela va permettre de « *flouter la limite extérieure et intérieure* » mais que s'il y a des différences, elles ne sont pas remontées jusqu'à lui.

Clémence Gros fait remarquer qu'il s'agit certainement d'« *une question d'entretien qui est plus lourde qu'un mur lambda* ».

COMMENT EST PREVU LA MAINTENANCE DE LA FAÇADE ?

William Weil répond qu'il ne sait pas comment est géré la maintenance, *il pense qu'« il y en a un contrat-cadre, on a un contrat avec une société qui entretient l'ensemble du jardin »* mais ce n'est pas sûr qu'elle s'occupe aussi de la façade.

EST CE QUE LE COUT DE L'ENTRETIEN EST PREVU DANS LE BUDGET DU MUSEE ?

A cette question, William Weil explique que le musée réalise un budget global chaque année et qu'il est réparti entre différents services, il y a donc une partie qui est accordée à l'entretien de la végétation du bâtiment, que ce soit le jardin ou la façade.

COMMENT LE MUR VEGETALISE A-T-IL PU ETRE RENOVE ?

Clémence Gros raconte que les végétaux de la façade n'étaient pas en grande forme et que le musée a décidé de rénover la paroi végétale et « *de comprendre ce qui n'avait pas fonctionné dans la version un de ce mur végétal* ». Pour récupérer des fonds, le musée a aussi lancé une campagne de fonds, ce qui était « *une opération de communication parce que le mur végétal il est très identifié, très apprécié par les publics* ». Et cette campagne a effectivement bien marché, ils ont récupéré près de 55 000€ sur les 50 000€ demandés par près de 300 donateurs.

EST-CE QUE VOUS AVEZ DES RETOURS DES PERSONNES QUI SE PROMENENT DANS LE MUSEE CONCERNANT LA FAÇADE VEGETALE ?

« *Des retours positifs, c'est apprécié parce que c'est beau, c'est rare* » explique Clémence Gros par rapport à la présence perçue de la façade de Patrick Blanc.

EST CE QUE VOUS AVEZ REMARQUE COMMENT EST-CE QU'ELLE EVOLUE AU COURS D'UNE ANNEE ?

Clémence Gros a répondu qu'elle ne l'a pas trop remarqué depuis qu'elle travaille au musée. William Weil pense, en effet, qu'elle « *évolue en fonction des saisons c'est ça qui est aussi intéressant, c'est que ça donne aussi une façade qui change en fonction des saisons* ».

EST-CE QUE LA MAITRISE D'OUVRAGE A CONTRIBUE AU CHOIX DES VEGETAUX ?

Pour William Weil, il n'y a que l'architecte qui est intervenu dans le choix des végétaux. Il s'est cependant aussi appuyé sur une autre maîtrise d'œuvre qui est Patrick Blanc.

EST CE QUE VOUS PENSEZ QUE L'ARCHITECTURE VERTE JOUE ACTUELLEMENT UN ROLE IMPORTANT DANS LA CONSTRUCTION ENVIRONNEMENTALE ?

William Weil distingue les systèmes d'architecture verte. Pour ce qui est des toitures vertes, il pense qu'effectivement, elles sont de plus en plus utilisées et que « *c'est très intéressant c'est un peu plus coûteux mais ça permet aussi d'avoir une isolation différente de ton bâtiment* ». Il reste sceptique quant à l'emploi de façades végétalisées.

EST CE QUE VOUS PENSEZ QU'IL DEVRAIT Y AVOIR PLUS DE CONSTRUCTION AVEC CE TYPE DE PAROI VEGETALISEE ?

De son point de vue William Weil, ne pense pas qu'il devrait y avoir plus de constructions avec des façades végétalisées. Il explique que ce genre de structures a un caractère exceptionnel et qu'il devrait le conserver en n'étant pas répété par la suite. Pour construire en végétal, il faut qu'il y ait une unité sociale pour que cela fonctionne, « *une unité avec des gens qui ont un peu la même vision végétal* ».

Clémence Gros assure que « *c'est un vrai mouvement de société* » ce type de construction. Elle fait remarquer qu'il est temps que les enjeux du développement durable soient pris en compte dans beaucoup de domaines différents « *et notamment dans l'urbanisme et l'architecture* ». Toutefois, elle nuance ses propos en expliquant que cela ne se manifeste pas forcément avec l'emploi de façades vertes mais aussi par la plantation d'un maximum d'arbres. Elle ajoute que la « *façade végétale c'est aussi un dispositif un peu comment dire luxe, un peu de communication, un peu un geste d'architecte mais qui n'a pas forcément pour objectif d'être vertueux* ».

4.1.3. Visite d'un cas d'étude

Pour les micro-interviews, je me suis rendue à Paris pendant plusieurs jours. J'ai pu observer de près le mur végétal du musée Quai Branly. Elle est placée tout près de la tour Eiffel et du jardin du Champ-de-Mars, ce qui en fait un point de visite attrayant. Elle est située en bordure de trottoir longeant une route très fréquentée par les véhicules à moteur et est accolée à un bâtiment de logements avec des petits balcons comme on peut le voir sur la figure n° 85 :



Figure 85 - Emplacement de la façade végétalisée du Musée Quai Branly (earth.google.com, 2020)

Le mur végétalisé est visible de loin. Il impressionne par sa luxuriante végétation. Les couches de feutrine et les poches où poussent les plantes sont visibles à certains endroits et l'eau qui s'écoule de la façade est récupérée par une grille en métal placée juste en dessous. Je me suis rendue sur place le 18 et le 19 avril 2022, au printemps, les végétaux et les fleurs étaient bien colorés ce qui rendait la façade d'autant plus attractive. Les végétaux sont disposés autour des fenêtres de certains bureaux. Le mur végétalisé continue à l'intérieur du bâtiment et les bureaux des directeurs ont une partie des végétaux dans leur espace de travail.



Figure 87 - Fenêtres de la façade végétalisée, (photo personnelle)



Figure 88 - Couches de feutrine derrière les végétaux de la façade, (photo personnelle)



Figure 86 - Grille en métal sous la façade et poches de végétaux, (photo personnelle)

Malgré le bruit de la double voie et des véhicules qui circulent, la façade encourage la biodiversité : les oiseaux sifflent et les abeilles viennent butiner dans les fleurs. Il n'y a pas vraiment d'odeurs qui se dégagent mais la sensation de fraîcheur apparaît lorsqu'on marche en dessous. Cette création issue de l'architecture végétale contient 376 espèces différentes, venue du monde entier, et a été renouvelée en 2017. Des panneaux, disposés directement entre les plantes fournissent au public ces informations.

Finalement, cette façade végétalisée contraste avec les bâtiments alentours et donne au musée un aspect vivant qui intrigue autant qu'il fascine.

4.1.4. L'avis des passants et des usagers alentours

D'abord nous analyserons la composition des personnes interrogées au cours des micro-interviews.

4.1.4.1. Caractéristiques socio-culturelles des individus

Il y a eu 10 personnes interrogées sur 2 jours, 6 le premier jour et 4 le deuxième jour.

Genre

Au cours des enquêtes, il y a presque eu une parité au sein des passants interrogés, six femmes et quatre hommes ont répondu aux questions. Cependant, le genre n'influence pas les réponses données par la suite et ne fera pas partie des paramètres pris en compte pour analyser les réponses dans la suite de ce travail.

Âge des interviewés

Parmi les personnes issues de l'échantillon, il faut noter qu'aucune personne de plus de 80 ans ou de moins de 29 ans n'a été interviewée. La moyenne d'âge est de 53 ans. Il y a eu deux passants interrogés de chaque catégorie d'âge entre 29 et 80 ans (les tranches d'âge étant de 10 ans).

Il faut remarquer que les tranches d'âges de cet échantillon sont représentatives des personnes que j'ai croisées entre 16h et 18h, le 18 et le 19 avril 2022 mais elle n'est pas représentative de toutes les personnes qui passent devant le mur végétalisé tous les jours.

Métier

Afin de savoir si les interviewés connaissaient des notions d'architecture verte et le monde de la construction grâce à leur métier, je les ai interrogés sur la nature de leur travail. Parmi les 10 personnes interrogées, 9 ne font pas des métiers en lien avec le monde de la construction contre une personne qui est architecte d'intérieur. Il faut remarquer qu'une des personnes qui ne travaillent pas dans le secteur de la construction est à la direction comptable du musée Quai Branly et connaît bien cette façade puisque son bureau se situe juste derrière.

4.1.4.2. Réponses au sondage

But du passage

Une des premières questions posées fut le but de leur passage devant le mur végétalisé. Cette information permet de replacer leurs intentions vis-à-vis de ce mur. En fonction de leurs réponses, j'ai pu établir si les personnes étaient déjà passées devant cette construction ou non. Quatre personnes ont déjà côtoyé cette façade alors que six ne l'avaient jamais vue.

Pour toutes les personnes interviewées, le but de ce passage était le tourisme. En effet, chacune d'elle se promenait lorsqu'elle je l'ai sollicitée soit pour montrer à des amis ou de la famille, les végétaux, soit par hasard sur le chemin pour aller rejoindre la tour Eiffel.

Une des personnes est venue se promener pour voir les changements de la façade directement. Elle l'avait déjà vu quelques années auparavant et voulait voir le résultat au printemps.

Ressenti

La question du ressenti vis-à-vis de la présence de plantes sur ce mur a reçu des réponses positives généralement. Les personnes interrogées ont décrit cette façade comme « jolie » voire « magnifique », et la présence de végétaux sous cette forme en ville est perçue de manière « très agréable ». Certains ont trouvé cela « atypique » ou « original » d'avoir une façade qui change d'aspect au cours du temps.

Mais la majorité apprécie ce contact avec les fleurs, être « proche de la nature ». Le nuage de mots suivant illustre les réponses énoncées.



Figure 89 - Nuage de mots du ressenti des passants devant la façade végétalisée du Musée quai Branly

Sensations

La question suivante posée lors des micro-interviews portait sur les sensations que les passants pouvaient percevoir aux alentours de la façade.



Figure 90 - Nuage de mots concernant les sensations perçues par les personnes interrogées

Parmi les différentes sensations ressenties, la « fraîcheur » est celle qui a été citée le plus grand nombre de fois. Il faut noter que les jours où j'ai mené les interviews étaient des journées chaudes. D'après le site AccuWeather, il a fait 20°C et 22°C les 18 et 19 avril lorsque j'ai interrogé les personnes dans l'après-midi, cela peut influencer la perception des sensations relevées. La deuxième sensation qui a été perçue était celle du bien-être. Les passants trouvaient agréable d'avoir cet écrin de verdure proposé pendant leur promenade et certains avaient « envie de rester », d'autres ressentaient même un certain « dépaysement » comme s'ils n'étaient plus au cœur de Paris devant cette façade. Les sensations perçues sont positives et mettent en avant certains avantages de l'utilisation de l'architecture verte dans les espaces urbanisés.

Avantages liés à ce système d'architecture verte

Les personnes ont pu définir les avantages que cette façade devait engendrer. Des réponses reviennent plusieurs fois au cours des interviews. Elles sont représentées sur ce graphique.

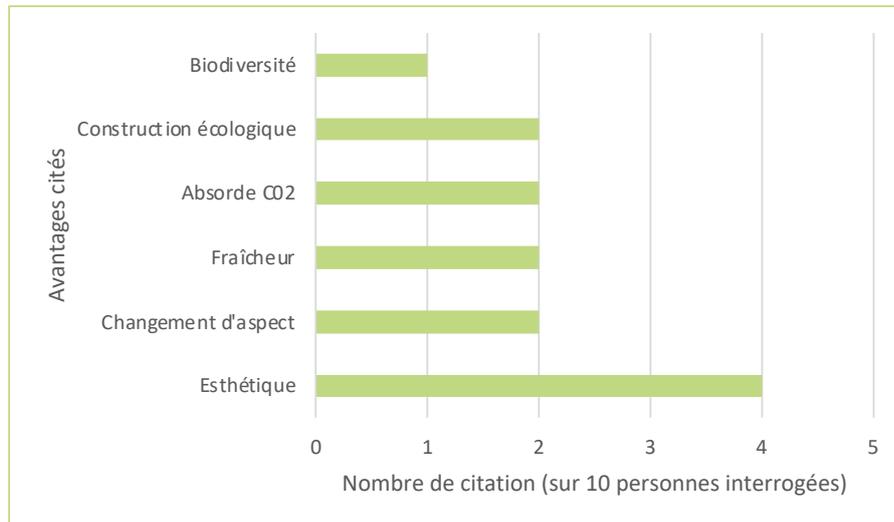


Figure 91 - Répartition des avantages cités par les 10 personnes interrogées

L'aspect de la façade est un avantage qui est revenu le plus grand nombre de fois. En effet, voir des végétaux dans une ville très urbanisée comme Paris est très bien perçu par les personnes qui s'y promènent. Quelques personnes aiment que la façade soit vivante et change d'aspect mais aucune n'a cité l'aspect positif mentale, le « bien-être » qu'ils ont fait remarquer dans les sensations précédemment citées.

Inconvénients liés à ce système d'architecture verte

En ce qui concerne les inconvénients, beaucoup s'interrogent sur l'entretien et pensent qu'il est excessif pour faire vivre une structure comme celle-là. De manière générale, les inconvénients ont bien été cernés par les passants comme les enjeux de la « consommation d'eau » et de « l'isolation ».

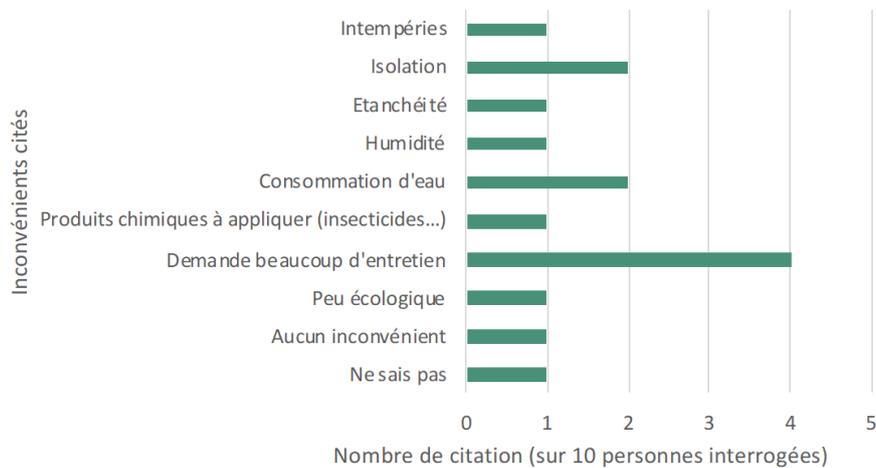


Figure 92 – Répartition des inconvénients cités par les dix personnes interrogées

Certaines personnes ne savaient pas dire quels étaient les inconvénients voire ne pensaient pas qu'ils en existaient.

Système favorable à l'environnement

A la question « est-ce que vous pensez que cette façade végétalisée est favorable à l'environnement ? », sept personnes sur dix ont répondu positivement et trois personnes ont répondu de manière plus nuancée. En effet, une femme a souligné qu'il fallait faire attention aux plantes et à leur toxicité lorsqu'on entreprenait ce genre de construction. Une autre a insisté sur le fait qu'il fallait que ce soit bien fait pour que l'entretien ne soit pas trop important et un homme a répondu qu'on avait besoin de végétation mais que ce système pouvait aussi être défavorable à l'environnement. Dans l'ensemble les réponses sont positives et encourageantes pour l'utilisation de l'architecture verte en ville, il faut que les systèmes techniques soient bien exécutés selon les personnes avec un avis mitigé.

Autres exemples de systèmes d'architecture verte

Enfin la dernière question portait sur leurs connaissances d'autres systèmes d'architecture verte. Six personnes ont répondu qu'elles ne connaissaient pas ou n'avaient pas vu d'autres façades ou toitures végétalisées. Les quatre autres ont pu citer plusieurs exemples comme le mur végétal des magasins

BHV ou des toitures vertes en Suède ainsi que le jardin aménagé sur le toit du gymnase dans le 20^{ème} arrondissement de Paris fait par TOA Architectes associés.

Dans l'ensemble les gens ont peu de connaissances des systèmes de l'architecture verte et de leur variété d'emploi. La sensibilisation à ce type d'architecture est donc aussi portée par la façade végétalisée qui est à portée des gens et touche plusieurs de leur sens, que ce soit la vision, le toucher, l'odorat, elle marque par sa luxuriante végétation et son accessibilité.

Finalement, ces micro-interviews ont permis de mettre en avant l'accueil favorable des passants par rapport à l'architecture verte et le rôle de la façade végétalisée pour sensibiliser à ce type de construction. Elles ont aussi été intéressantes pour recueillir le ressenti de personnes extérieures au monde de la construction.

4.2. Analyse des résultats

Dans cette partie, les points de vue des acteurs de la conception ont été répartis dans les grilles suivantes selon les thématiques dégagées pour situer la place de l'architecture verte de nos jours et dans le futur. Les points de vue des passants sont aussi résumés et seront ensuite croisés avec ceux des acteurs de la conception et les employés du musée.

La place de l'architecture verte dans la construction environnementale actuelle :

Pour les acteurs de la construction, le tableau suivant résume les avis obtenus :

	Perception actuelle de l'architecture verte	Interêt écologique de l'architecture verte	Réflexions sur les méthodes d'évaluation environnementales
Architecte 1	Intégration superficielle de l'architecture verte sur les bâtiments, "greenwashing". Mais c'est quand même un début d'utilisation de l'architecture verte	Interêt peu perçu par les concepteurs actuellement car l'utilisation de l'architecture verte reste superficielle	Ne s'intéresse pas à aller dans cette voie
Paysagiste 1	Rôle centré sur l'utilisateur. L'architecture verte n'est pas encore assez efficace pour changer et avoir un réel impact positif sur l'environnement	Certains aspects oui, mais à utiliser avec d'autres techniques architecturales bioclimatiques	Les méthodes d'évaluation environnementales n'appuient pas sur les points importants de la construction environnementale
Architecte 2	Evolution lente, qui ne se voit pas encore	Oui, un réel intérêt pour améliorer la biodiversité et l'environnement	Non renseigné
Paysagiste 2	L'intégration des végétaux doit être prise en compte au même niveau de réflexion que les matériaux des bâtiments	Oui, notamment pour la fraîcheur et l'oxygène que les végétaux apportent	L'architecture verte est bien attendue mais les exigences sont souvent trop pointues
Employé 1	Seules les toitures sont de plus en plus utilisées	Distinction entre les systèmes techniques : un intérêt écologique pour les toitures vertes mais pas pour les façades vertes	Non renseigné
Employée 2	Architecture vertueuse mais pas forcément écologique	Faible, notamment pour les façades végétalisées	Non renseigné

Figure 93 - Récapitulatif des propos des concepteurs et des employés classés par thématiques

Pour les concepteurs, la place actuelle de l'architecture verte est encore peu évoluée. Elle n'est pas assez intégrée dans les pratiques de conception pour présenter un réel intérêt écologique en étant utilisée comme seule solution environnementale. La plupart du temps, l'architecture verte est utilisée pour apparaître comme un projet dans l'air du temps parce que la conscience écologique des gens se développe lentement. Parmi les professionnels de la construction, certains systèmes sont plus utilisés que d'autres notamment les toitures vertes car elles ont été plus appuyées par la recherche scientifique. Finalement, l'architecture verte n'a pas encore un rôle prononcé dans la construction environnementale actuelle et son intérêt écologique est encore peu perçu puisqu'elle a principalement un rôle secondaire. En ce qui concerne les méthodes d'évaluation environnementales, l'architecture verte n'a pas encore une place conséquente. Les exigences sont parfois trop élevées ou l'emploi de l'architecture verte n'a pas assez de poids dans les évaluations. La majorité des concepteurs interrogés se désintéressent des méthodes d'évaluation environnementales.

L'architecture verte est toutefois bien reçue par la population comme l'ont montré les micro-interviews. La majorité des personnes ont déclaré que cette nature en ville améliorerait leur bien-être et leur permettait une déconnexion mentale. Certains bénéfices de l'architecture verte sont perçus directement par les passants comme l'apport de fraîcheur ou l'augmentation de la biodiversité. En majorité, les gens s'interrogent sur l'entretien de ces systèmes verts et perçoivent la transition écologique qui est menée en architecture grâce à l'utilisation de l'architecture verte.

La place de l'architecture verte dans la construction environnementale future :

Le tableau suivant résume les avis concernant le futur de l'architecture verte.

	Intérêt écologique futur de l'architecture verte	Progression de l'architecture verte	Maîtrise des systèmes techniques végétalisés	Sensibilisation des citoyens à l'architecture verte
Architecte 1	Intérêt écologique pour lutter contre les changements climatiques	Lente	Pas assez de recherches là-dessus, rôle secondaire	En retard, il faut commencer plus tôt pour les élèves et la population mais cela commence à rentrer dans les esprits
Paysagiste 1	Avis mitigé car beaucoup d'exemples qui ne marchent pas actuellement	Non renseigné	Bien maîtriser les systèmes sinon ça ne marchera pas. Les concepteurs doivent penser à une reconversion potentielle de ces systèmes	Pas assez développée, les concepteurs doivent continuer de penser au réemploi des systèmes végétalisés et en informer les usagers
Architecte 2	Réel intérêt écologique car la nature revient en ville	Lente et freinée par le coût économique qui crée des inégalités	Restent inaccessibles pour certaines villes : systèmes coûteux	En hausse, plus de gens souhaitent le retour de la nature en ville
Paysagiste 2	Réel intérêt écologique : c'est l'avenir écologique, les concepteurs doivent penser à l'intégration du végétal et à la gestion de l'eau	Lente et freinée par la conception de bâtiments de plus en plus autonomes ("bâtiments-scaphandres")	Doit être pensé à une échelle large (celle des villes), si cela n'est pas bien fait, c'est invivable	Rôle fondamental de l'architecte et du paysagiste qui doivent "éduquer"
Employé 1	Seulement pour les toitures végétalisées	Pour les toitures vertes seulement : elles sont de plus en plus utilisées	La maîtrise des systèmes techniques végétalisés ne doit pas s'opérer pour ceux qui sont verticaux car ils ne devraient pas être plus répandus	Non renseigné
Employée 2	Faible, notamment pour les façades végétalisées	L'architecture et l'urbanisme intègrent de plus en plus les enjeux du développement durable	Non renseigné	Commence avec les systèmes déjà mis en place qui sont des "outils de communication"

Figure 94 - Récapitulatif des propos des concepteurs et des employés classés par thématiques

Pour les concepteurs, la majorité estime que l'emploi de l'architecture verte présente un réel avantage écologique pour le futur de la construction environnementale. Une paysagiste émet un avis plus nuancé parce qu'il y a encore beaucoup de projets qui ont été fait où les systèmes techniques ne sont pas maîtrisés et auront un impact environnemental néfaste à l'avenir. De même, les employés du musée ne sont pas convaincus du futur intérêt écologique de l'architecture verte. Tout le monde s'accorde à penser que la progression de son utilisation est lente et parfois freiner par des facteurs

économiques ou technologiques. Pour rendre accessible et élargir l'étendu de l'architecture verte, les systèmes techniques végétalisés doivent encore évoluer et être complètement maîtrisés à l'avenir. La recherche scientifique pour ce type d'architecture est encore trop peu importante, ce qui freine le rôle fondamental que l'architecture verte pourrait avoir dans le futur. Pour avoir un impact positif dans la construction environnementale, les concepteurs s'accordent à dire que cela passe par la sensibilisation des étudiants, des futurs concepteurs et de la population. Cette sensibilisation doit être d'abord portée par les architectes, les paysagistes ou les urbanistes en imaginant des systèmes végétalisés accessibles à des publics différents (travailleurs, habitants, touristes...). Une employée du musée indique que les systèmes qui sont accessibles depuis la rue ou à hauteur d'humain sont déjà des outils de communication efficaces pour sensibiliser la population. Effectivement, la majorité des passants interrogés ne connaissaient pas ou n'avaient pas vu d'autres systèmes d'architecture verte avant la façade végétalisée du musée quai Branly. En majorité, l'architecture verte a été perçue comme un aspect favorable à l'environnement et la plupart des interviewés espèrent que cela va se populariser dans les villes, à l'avenir.

CHAPITRE 5 : DISCUSSION ET ANALYSE CRITIQUE

5.1. Les méthodes d'évaluation environnementales et la prise en compte de l'architecture verte

Une intégration faible

Les analyses du chapitre 4 ont mis en évidence l'intégration superficielle de l'architecture verte dans les méthodes d'évaluation environnementales. En effet, la méthode HQE n'évoque l'architecture verte que dans 4 cibles sur les 14 qu'elle développe et la méthode WELL, quant à elle, ne mentionne l'architecture verte que dans une condition préalable sur 24. De plus, dans ces deux méthodes l'utilisation des systèmes techniques végétalisés est considérée au même titre que les aménagements d'espaces verts ou la présence de plantes en pots. Quant à l'outil TOTEM, il ne présente qu'un type de toiture verte et aucun autre système technique végétalisé dans sa bibliothèque d'éléments ne laissant que peu de choix aux concepteurs pour étudier les impacts environnementaux de leurs projets. Ce problème est aussi soulevé par les concepteurs. Rappelons ensuite que pour Carolina Foïs et Luc Schuiten, les méthodes d'évaluations environnementales n'aident pas à appliquer les systèmes issus de l'architecture verte et ils ne cherchent plus à faire évaluer leurs projets par ces méthodes environnementales. Ainsi, ces constatations nous permettent d'affirmer que l'architecture verte est faiblement prise en compte dans les méthodes d'évaluation environnementale. Il faudrait alors essayer de comprendre pourquoi elle ne joue pas un rôle plus prononcé dans l'évaluation de la durabilité et des qualités environnementales des bâtiments.

Une évaluation trop sévère

A la suite de l'étude sur la méthode HQE, nous avons relevé que les critères qui évoquaient l'emploi de l'architecture verte étaient majoritairement des critères de niveau Très Performant, ce qui exige un niveau de conception détaillé pour les valider. Les documents à fournir pour valider les critères de niveau très performant qui suggèrent l'emploi de l'architecture verte sont souvent fastidieux. Ils constituent par conséquent un potentiel découragement quant à l'utilisation de cette dernière. Ce problème est d'ailleurs soulevé par David Besson-Girard dans son interview. En effet, il explique que les exigences demandent une multitude d'arguments pointus et de différentes natures et peuvent dès lors, dénaturer le projet du concepteur. Dans l'outil TOTEM, les acteurs de la construction doivent

contacter les développeurs de l'outil pour leur permettre de créer leur propre système végétalisé s'ils ne veulent pas utiliser les éléments de la bibliothèque. Cette démarche contraste avec la facilité de prise en main de l'outil. Nous pouvons conséquemment admettre que les méthodes environnementales n'incitent pas à l'utilisation de l'architecture verte dans leur évaluation. Par ailleurs, il serait intéressant de revoir les pondérations attribuées aux points qui évoquent l'architecture verte ou de rendre plus accessible l'utilisation des systèmes végétalisés en ajoutant des critères dans les certifications environnementales et en mettant à disposition davantage d'éléments dans la bibliothèque de l'outil TOTEM.

5.2. Une architecture qui améliore les qualités durables des bâtiments

Les points bénéfiques

L'architecture verte présente de réels bénéfices environnementaux. Les différents avantages présentés dans le premier chapitre témoignent du potentiel de l'intégration des végétaux sur les bâtiments. Ces atouts sont mis en avant dans certaines méthodes d'évaluation environnementales par la suggestion d'utilisation de toitures vertes ou d'intégration de la nature dans le bâtiment. Effectivement, dans la méthode HQE NF Bâtiments Tertiaires, les cibles comme la gestion de l'énergie ou l'impact du bâtiment sur son environnement évoquent l'emploi de l'architecture verte. Dans la méthode WELL, il est mentionné que le bien-être de l'utilisateur peut être amélioré par la présence des végétaux intégrés dans les bâtiments. C'est d'ailleurs ce que Dominique Bourreau, un des architectes interviewés présente comme bénéfique quand il explique le but de l'emploi du mur végétalisé dans le parking Perrache-Archives La Confluence. Il maintient également que les végétaux permettent la diminution du taux de CO₂, avis soutenu par les témoignages des passants lors des micro-interviews. Ainsi, l'emploi de l'architecture verte présente plusieurs aspects favorables à la qualité environnementale et durable d'un bâtiment.

Les limites de son utilisation

Comme évoqué dans le premier chapitre, l'architecture verte présente, toutefois, des limites qui freinent son utilisation. Luc Schuiten explique que l'architecture verte est actuellement encore perçue comme une nouveauté et que son utilisation, jusqu'à présent, trop superficielle ne lui permet pas d'avoir un réel impact environnemental. Carolina Foïs renforce ce point de vue par l'affirmation que l'architecture verte joue pour le moment un rôle principalement médiatique et cette pensée est

partagée par Clémence Gros qui travaille au musée. Les passants ont d'ailleurs principalement mentionné que l'aspect esthétique de la façade du musée quai Branly leur plaisait beaucoup. Certains ont aussi abordé la problématique de la gestion de l'eau et de l'entretien, et cela a aussi été soulevé par Mme Foïs au cours de son interview. De plus, l'outil TOTEM a mis en avant que la recherche scientifique concernant les toitures vertes doit se poursuivre, impliquant notamment que la structure porteuse de ce type de systèmes constructifs végétalisés doive être étudiée pour engendrer moins d'impacts environnementaux.

5.3. Le rôle de l'architecture verte dans le futur de la construction environnementale

Les dimensions positives

L'architecture verte est bien perçue par la majorité des passants que j'ai interviewés. La plupart ont répondu qu'ils aimeraient que ces systèmes se développent davantage en ville. Clémence Gros a aussi fait remarquer que les visiteurs ont émis des retours très positifs sur la façade végétalisée. Les mentalités commencent à évoluer et les citoyens souhaitent plus de nature dans les espaces urbains. Pour la majorité des concepteurs, il y a un réel intérêt à développer son l'emploi de l'architecture verte. Effectivement, Luc Schuiten et Dominique Bourreau expliquent que cela va permettre de favoriser la biodiversité, principalement. C'est d'ailleurs cet emploi de l'architecture verte qui est mis le plus en avant dans la méthode HQE.

Finalement, la perception de l'architecture verte par les citoyens est positive. Elle peut jouer un rôle dans le futur de l'architecture durable si elle est utilisée consciencieusement par les acteurs de la construction en vue d'une transition vers un milieu bâti durable.

Les limites de son développement

Les interviews des concepteurs mettent en évidence la progression lente de l'architecture verte. En effet, la sensibilisation à l'utilisation de ce type d'architecture est encore peu développée. A ce propos, Luc Schuiten explique qu'il faut commencer à parler de l'intégration des végétaux sur les bâtiments le plus tôt possible dans les écoles. Pour David Besson-Girard, les concepteurs jouent un rôle fondamental dans cette sensibilisation et doivent mettre en avant les avantages de l'utilisation de l'architecture verte. Parmi les passants, moins de la moitié ont pu citer d'autres exemples de systèmes issus de l'architecture verte.

Le développement de ce type d'architecture est aussi endigué par son intégration superficielle dans les méthodes d'évaluation environnementales. L'outil TOTEM ne présente qu'un type de toiture verte et aucun mur végétalisé dans sa bibliothèque d'éléments. Les concepteurs ont aussi fait remarquer que les méthodes d'évaluation environnementale ne mettaient pas assez en valeur ce type d'architecture. La recherche scientifique doit aussi se poursuivre pour développer des systèmes techniques végétalisés plus performants. Carolina Foïs et David Besson-Girard expliquent à ce sujet que la maîtrise de ces systèmes est impérative pour qu'ils puissent perdurer et jouer un rôle important dans le futur de la construction environnementale.

Pour faire avancer la sensibilisation à l'architecture verte et favoriser son développement, il paraît nécessaire d'éveiller les consciences à ce type d'architecture dans les écoles. Cela peut se faire sous forme de visites de site ou d'étude de cas. Cette sensibilisation peut aussi venir des concepteurs par le biais de conférences ou d'expositions de leurs travaux.

5.4. Regard critique et limites de l'étude :

Le cadre de la recherche

L'architecture verte a été définie de façon personnelle au cours de ce travail comme étant une architecture qui s'inscrit dans une démarche de protection de l'environnement et comprend l'intégration de végétaux vivants sur les parois extérieures ou intérieures des bâtiments. Il n'est pas étudié dans ce travail les jardins, parcs et aménagements verts qui intègrent des végétaux et seraient bénéfiques pour la construction environnementale. Ce travail se base donc sur une définition subjective et individuelle de ce type d'architecture ce qui constitue une limite à son interprétation.

Pour ce travail, il a été choisi d'étudier des aspects précis de l'architecture verte et notamment sa place dans les méthodes d'évaluations environnementales. Celles-ci ont été choisies avec soin et si la généralisation des propos est possible grâce aux résultats obtenus, l'étude d'autres types de méthodes comme les labels ou la méthode RIBA aurait aussi été pertinente. Cela aurait permis d'élargir le cadre d'étude et d'analyser avec plus de précision la place de l'architecture verte dans les méthodes d'évaluation environnementales.

Les interviews

Dans cette étude, cinq interviews ont été réalisées, deux concernent des architectes, deux autres exposent le point de vue de paysagistes et la dernière transcrit l'avis d'employés du musée quai Branly.

Elles ont permis d'avoir un aperçu de la vision de l'architecture verte dans le monde professionnel. Néanmoins, pour compléter ces points de vue, une interview d'un professionnel de l'entretien et de la maintenance des systèmes végétalisés ainsi que d'un concepteur de systèmes végétalisés comme Patrick Blanc aurait permis de compléter l'étude.

Le micro-trottoir

Les micro-interviews réalisées ont permis d'avoir le ressenti de différents citoyens majoritairement extérieurs au monde de l'architecture et de la construction. Les âges de ces personnes étaient assez variés, de 30 à 80 ans mais aucune personne de moins de 30 ans n'a été interviewée. L'étude aurait pu être enrichie par des retours sur leur ressenti par rapport à l'architecture verte.

Par ailleurs, la visite des bâtiments n'a pu se faire que pour la façade végétale du musée quai Branly. Il aurait été intéressant de se rendre aussi aux autres bâtiments faute de temps et de moyens disponibles pour se déplacer.

CONCLUSION

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés à l'architecture verte, définie comme une architecture qui s'inscrit dans une démarche de protection de l'environnement en y intégrant de manière significative des végétaux vivants sur ses parois ou dans ses espaces. Nous avons étudié sa place dans les méthodes d'évaluations environnementales et le rôle qu'elle pourrait jouer dans le futur de la construction environnementale.

La littérature scientifique actuelle relate des bénéfices et des faiblesses des systèmes techniques issus de l'architecture verte qui permettraient d'améliorer les qualités environnementales et durables des bâtiments. Les méthodes d'évaluations environnementales permettent de réglementer et de mesurer les impacts environnementaux des bâtiments. Nous nous sommes donc intéressés à ces différentes méthodes et plus particulièrement à la méthode NF HQE Bâtiments Tertiaires, la méthode WELL Building Standard ainsi qu'à l'outil TOTEM. L'analyse de ces méthodes d'évaluations environnementales a montré que l'architecture verte était encore faiblement prise en compte dans les réglementations actuelles.

Nous avons pu percevoir le positionnement de l'architecture verte dans le monde professionnelle. Les interviews des acteurs impliqués dans la conception ont mis en avant les ressentis de ceux-ci, pour la majorité, positifs quant à l'intérêt écologique que présente l'architecture verte dans la construction environnementale. Les réponses des passants ont aussi démontré une opinion favorable quant à l'utilisation de systèmes techniques végétalisés. Ils ajoutent également qu'ils perçoivent bel et bien la transition écologique qui se met en place dans le monde de l'architecture.

Les acteurs de la conception nous ont aussi fait part des limites que rencontre l'architecture verte à se développer et à devenir un pilier fondamental de la transition vers un milieu bâti plus durable. La sensibilisation des citoyens et plus particulièrement des étudiants affiliés au domaine de l'architecture et de la construction à l'architecture verte doit évoluer plus rapidement. Les passants ont également indiqué qu'ils aimeraient que la nature soit davantage présente en ville grâce aux murs végétalisés, aux toitures vertes accessibles et autres systèmes techniques issus de l'architecture verte.

Finalement, l'étude a permis de faire ressortir différentes conclusions :

- Les méthodes environnementales n'intègrent que superficiellement l'architecture verte. Elle est suggérée pour valider certaines exigences dans les certifications écologiques mais les

documents à fournir et les arguments nécessaires sont souvent fastidieux ce qui n'incite pas les concepteurs à s'investir dans cette voie. De plus, les outils numériques comme TOTEM n'évoluent pas dans cette direction actuellement.

- L'architecture verte présente de réels atouts environnementaux qui sont soulignés par les concepteurs et suggérés dans les méthodes d'évaluations environnementales. Elle favorise notamment la biodiversité et permet de refaire le lien avec les trames écologiques vertes et bleues qui se dessinent dans et entre les villes. Les mentalités sont positives quant à son intérêt écologique.
- Les limites de l'utilisation de l'architecture verte freinent son développement et amincissent le rôle qu'elle joue dans la construction environnementale future. Son caractère médiatique permet de sensibiliser les citoyens à l'intégration des systèmes techniques végétalisés dans les espaces urbains sous réserve qu'ils soient consciencieusement exécutés pour que les bénéfices connus soient ressentis. Certaines personnes ont tout de même une vision plus pessimiste de son utilisation future mais la recherche scientifique se poursuit pour développer des systèmes techniques végétalisés plus performants

Ce travail de mémoire se base sur l'intégration des végétaux sur ou dans les bâtiments, mais pour continuer d'approfondir les recherches sur la construction environnementale, il serait intéressant de poursuivre en étudiant la notion de biodiversité positive et d'analyser comment une architecture végétalisée permet d'atteindre les exigences d'une architecture créatrice d'impacts positifs sur la biodiversité.

BIBLIOGRAPHIE

Articles scientifiques, livres et publications

- Asadi, A., Arefi, H., & Fathipoor, H. (2020). Simulation of green roofs and their potential mitigating effects on the urban heat island using an artificial neural network : A case study in Austin, Texas. *Advances in Space Research*, 66(8), 1846-1862.
- AFNOR CERTIFICATION. Référentiel pour la qualité environnementale de bâtiments. NF 380. Septembre 2011. La Plaine-Saint Denis : AFNOR, 2011, 176p.
- AFNOR CERTIFICATION. Guide pratique du référentiel pour la qualité environnementale de bâtiments. NF 380. Septembre 2011. La Plaine-Saint Denis : AFNOR, 2011, 615p
- Barbot, J. (2012). 6 – Mener un entretien de face à face. In *L'enquête sociologique* (p. 115-141). Presses Universitaires de France; Cairn.info.
- Besir, A. B., & Cuce, E. (2018). Green roofs and facades : A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 915-939.
- Bouattour, M., & Alain, F. 2009. La végétalisation des bâtiments. DREIF et EPA d'Ile-de-France. Paris : 46 pages.
- Cameron, R. W. F., Taylor, J. E., & Emmett, M. R. (2014). What's 'cool' in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. *Building and Environment*, 73, 198-207.
- Convertino, F., Vox, G., & Schettini, E. (2021). Evaluation of the cooling effect provided by a green façade as nature-based system for buildings. *Building and Environment*, 203, 108099.
- Cordelier, B., & Breduillieard, P. (2014). Publicité verte et greenwashing: *Gestion 2000, Volume 30(6)*, 115-131.
- Currie, B. A., & Bass, B. (2008). Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. *Urban Ecosystems*, 11(4), 409-422.
- de Freitas Netto, S. V., Sobral, M. F. F., Ribeiro, A. R. B., & Soares, G. R. da L. (2020). Concepts and forms of greenwashing : A systematic review. *Environmental Sciences Europe*, 32(1), 19.
- Daures, J.-F. (2011). Architecture végétale. Eyrolles.
- Duréault, 2013. Architecture contemporaine et nature en ville, mémoire de fin d'études, Agrocampus Ouest, Angers, France.
- Farrell, C., Mitchell, R. E., Szota, C., Rayner, J. P., & Williams, N. S. G. (2012). Green roofs for hot and dry climates : Interacting effects of plant water use, succulence and substrate. *Ecological Engineering*, 49, 270-276.

- Galibois C., Mh Demers C. & Potvin A. (2012). Le végétal comme composante de l'espace architectural. *Ambiances en acte(s) – International Congress on Ambiances*, 2, pp. 267-272
- Gourdji, S. (2018). Review of plants to mitigate particulate matter, ozone as well as nitrogen dioxide air pollutants and applicable recommendations for green roofs in Montreal, Quebec. *Environmental Pollution*, 241, 378-387.
- Guinaudeau, C., Houssin, E., & Burdloff, J.-C. (2012). Les toitures végétalisées : Conception, réalisation et entretien
- He, Y., Yu, H., Ozaki, A., Dong, N., & Zheng, S. (2017). Influence of plant and soil layer on energy balance and thermal performance of green roof system. *Energy*, 141, 1285-1299.
- Herath, H. M. P. I. K., Halwatura, R. U., & Jayasinghe, G. Y. (2018). Modeling a Tropical Urban Context with Green Walls and Green Roofs as an Urban Heat Island Adaptation Strategy. *Procedia Engineering*, 212, 691-698.
- Jamei, E., Chau, H. W., Seyedmahmoudian, M., & Stojcevski, A. (2021). Review on the cooling potential of green roofs in different climates. *Science of The Total Environment*, 791, 148407.
- Jodidio, P., Le Bon, L., & Lemonier, A. (s. d.). *Chef d'oeuvre ? - Architectures de musée 1937—2014* (Vol. 1-239). Centre Pompidou, Metz.
- Koch, K., Ysebaert, T., Denys, S., & Samson, R. (2020). Urban heat stress mitigation potential of green walls : A review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 55, 126843.
- Köhler, M. (2008). Green facades—A view back and some visions. *Urban Ecosystems*, 11(4), 423-436.
- Kosareo, L., & Ries, R. (2007). Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. *Building and Environment*, 42(7), 2606-2613
- Koyama, T., Yoshinaga, M., Hayashi, H., Maeda, K., & Yamauchi, A. (2013). Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green façades using freestanding walls. *Building and Environment*, 66, 96-103.
- Li, X., Zhou, Y., Yu, S., Jia, G., Li, H., & Li, W. (2019). Urban heat island impacts on building energy consumption : A review of approaches and findings. *Energy*, 174, 407-419.
- Mangone, G., & van der Linden, K. (2014). Forest microclimates : Investigating the performance potential of vegetation at the building space scale. *Building and Environment*, 73, 12-23.
- Mansor, R., & Sheau-Ting, L. (2020). Criteria for occupant well-being : A qualitative study of Malaysian office buildings. *Building and Environment*, 186, 107364.
- Milanovic, D., Djuric-Mijovic, D., & Savic, J. (2018). *GREEN ROOFS AS A MODEL OF RE-USING FLAT ROOFS*.
- Moréteau, S. (2009). Murs et toits végétalisés. Rustica éd.

- Olivieri, F., Olivieri, L., & Neila, J. (2014). Experimental study of the thermal-energy performance of an insulated vegetal façade under summer conditions in a continental mediterranean climate. *Building and Environment*, 77, 61-76.
- Oquendo-Di Cosola, V., Olivieri, F., Ruiz-García, L., & Bacenetti, J. (2020). An environmental Life Cycle Assessment of Living Wall Systems. *Journal of Environmental Management*, 254, 109743.
- Othman, A. R., & Sahidin, N. (2016). Vertical Greening Façade as Passive Approach in Sustainable Design. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 222, 845-854.
- Ottelé, M., van Bohemen, H. D., & Fraaij, A. L. A. (2010). Quantifying the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls. *Ecological Engineering*, 36(2), 154-162.
- Ottelé, M., Perini, K., & Haas, E. M. (2014). Life cycle assessment (LCA) of green façades and living wall systems. In *Eco-efficient Construction and Building Materials* (p. 457-483). Elsevier.
- Paull, N. J., Krix, D., Irga, P. J., & Torpy, F. R. (2021). Green wall plant tolerance to ambient urban air pollution. *Urban Forestry & Urban Greening*, 63, 127201.
- Peck, S. W., Callaghan, C., Kuhn, M. E., & Bass, B. (s. d.). *STATUS REPORT ON BENEFITS, BARRIERS AND OPPORTUNITIES FOR GREEN ROOF AND VERTICAL GARDEN TECHNOLOGY DIFFUSION*. 78.
- Peiger, P., & Baumann, N. (2018). *Végétalisation biodiverse et biosolaire des toitures*. Eyrolles.
- Pérez, G., Coma, J., & Cabeza, L. F. (2018). Vertical Greening Systems for Acoustic Insulation and Noise Reduction. In *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability* (p. 157-165). Elsevier.
- Perini, K., & Magliocco, A. (2012). The Integration of Vegetation in Architecture, Vertical and Horizontal Greened Surfaces. *International Journal of Biology*, 4(2), P79.
- Perini, K., Ottelé, M., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Greening the building envelope, facade greening and living wall systems. *Open Journal of Ecology*, 01(01), 1-8.
- Quintin, J.-J. (2012). *Analyse de données qualitatives Outils de production de données qualitatives et méthode d'analyse*. 101.
- Ricciotti R. (2009). HQE, les renards du temple. Al Dante / Clash, Marseille, 80 p.
- Sanchez, L., & Reames, T. G. (2019). Cooling Detroit : A socio-spatial analysis of equity in green roofs as an urban heat island mitigation strategy. *Urban Forestry & Urban Greening*, 44, 126331.
- Schuiten L. & Loze P. (2010). *Vers une cité végétale*. Mardaga, Wavre, 166 p.
- Schuiten, L., Loze, P., Chapelle, G., & Wagner, F. (2006). *Archiborescence*. Mardaga.
- Seyedabadi, M. R., Eicker, U., & Karimi, S. (2021). Plant selection for green roofs and their impact on carbon sequestration and the building carbon footprint. *Environmental Challenges*, 4, 100119.

- Shafiee, E., Faizi, M., Yazdanfar, S.-A., & Khanmohammadi, M.-A. (2020). Assessment of the effect of living wall systems on the improvement of the urban heat island phenomenon. *Building and Environment*, *181*, 106923.
- Sheweka, S. M., & Mohamed, N. M. (2012). Green Facades as a New Sustainable Approach Towards Climate Change. *Energy Procedia*, *18*, 507-520.
- Sheweka, S., & Magdy, Arch. N. (2011). The Living walls as an Approach for a Healthy Urban Environment. *Energy Procedia*, *6*, 592-599.
- Standard | WELL V2. (s. d.). Consulté 30 mai 2022 : <https://v2.wellcertified.com/en/wellv2/overview>
- Tams, L., Nehls, T., & Calheiros, C. S. C. (2022). Rethinking green roofs- natural and recycled materials improve their carbon footprint. *Building and Environment*, *219*, 109122.
- Ulrich, R. S. (1984). View Through a Window May Influence Recovery from Surgery. *Science*, *224*(4647), 420-421.
- Williams, K. J. H., Lee, K. E., Sargent, L., Johnson, K. A., Rayner, J., Farrell, C., Miller, R. E., & Williams, N. S. G. (2019). Appraising the psychological benefits of green roofs for city residents and workers. *Urban Forestry & Urban Greening*, *44*, 126399.
- Ysebaert, T., Koch, K., Samson, R., & Denys, S. (2021). Green walls for mitigating urban particulate matter pollution—A review. *Urban Forestry & Urban Greening*, *59*, 127014.

Revue et ressources internet

- Andy Sturgeon reveals Battersea roof garden designs* | Landscape Institute. (s. d.). Consulté 25 février 2022 : <https://www.landscapeinstitute.org/news/andy-sturgeon-reveals-battersea-roof-garden-designs/>
- Battersea Power Station*. (s. d.). Battersea Power Station. Consulté 25 février 2022 : <https://batterseapowerstation.co.uk/>
- CAUE Haute-Savoie. (2016, janvier 26). *Vers une cité végétale*. Par Luc Schuiten, architecte-artiste. <https://www.youtube.com/watch?v=MAOwc2WkQo0>
- Coefficient de transmission thermique (U)—Définition*. (s. d.). Consulté 3 juin 2022 : https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/coefficient_de_transmission_thermique_u.php4
- En Autriche, l'architecture nature de Hundertwasser—Invitation au voyage (14/12/2021)—Regarder le documentaire complet*. (s. d.). ARTE. Consulté 18 janvier 2022 : <https://www.arte.tv/fr/videos/106820-001-A/en-autriche-l-architecture-nature-de-hundertwasser/>
- Google Earth*. (s. d.). Consulté 8 mai 2022 : <https://earth.google.com/web/@48.85882994,2.29639779,34.64337836a,1020.95878898d,35y,33.1919108h,0t,0r>
- Hundertwasserhaus Vienne—Vienna.info*. (s. d.). Consulté 13 avril 2022 : <https://www.wien.info/fr/visites-%C3%A0-vienne/sites-touristiques-%C3%A0-vienne/hundertwasserhaus-vienne-348476>
- Intensive Green Roof, Portugal* | EFB. (s. d.). Consulté 10 avril 2022, à l'adresse <https://efb-greenroof.eu/work/intensive-green-roof-portugal/>
- Le mur végétalisé du Quai Branly—N2B Arrosage*. (s. d.). Consulté 9 avril 2022, : <https://www.n2b-arrosage.com/realisations/paris/mur-vegetalise-quai-branly/>
- Les jardins suspendus de Babylone, la plus mystérieuse des sept merveilles du monde* | National Geographic. (s. d.). Consulté 6 juin 2022 : <https://www.nationalgeographic.fr/histoire/2020/07/les-jardins-suspendus-de-babylone-la-plus-mysterieuse-des-sept-merveilles-du-monde>
- Méthodologie de mise en place d'une Trame verte urbaine : Le cas d'une communauté d'agglomération, Plaine Commune*. (s. d.). Consulté 16 avril 2022 : <https://journals.openedition.org/cyberge0/27713>
- Musée du Quai Branly Jacques Chirac | Mur Vegetal Patrick Blanc*. (s. d.). Consulté 9 juin 2022 : <https://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/paris-ile-de-france/musee-du-quai-branly-jacques-chirac>
- Musée du quai Branly—Jacques Chirac—Production—Musée du quai Branly—Jacques Chirac—Le mur végétal*. (s. d.). Consulté 2 juin 2022 : <https://www.quaibrantly.fr/fr/les-espaces/le-mur-vegetal/>

Paris : Feu vert à la réhabilitation de la tour Montparnasse. (s. d.). Consulté 2 juin 2022 :
<https://www.lemoniteur.fr/article/paris-feu-vert-a-la-rehabilitation-de-la-tour-montparnasse.2179542>

Parking Perrache, Lyon | Mur Vegetal Patrick Blanc. (s. d.). Consulté 31 mai 2022 :
<https://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/lyon/parking-perrache-lyon>

Piscine Molitor : Un jardin sur le toit—Jardins de France. (s. d.). Consulté 21 mai 2022 :
<https://www.jardinsdefrance.org/piscine-molitor-un-jardin-sur-le-toit/>

Plantes exotiques : Définitions, caractéristiques - Ooreka. (s. d.). Ooreka.fr. Consulté 13 mars 2022 :
[//cactus.ooreka.fr/comprendre/plantes-exotiques](https://cactus.ooreka.fr/comprendre/plantes-exotiques)

Rûches sur toits installées par l'apiculteur Gérard Jourdan. (s. d.). Consulté 23 mai 2022 :
<https://apiculteur-marseille.com/ruches-toit/>

Toiture verte extensive | Guide Bâtiment Durable. (s. d.). Consulté 19 mai 2022 :
<https://www.guidebatimentdurable.brussels/toiture-verte-extensive>

Tout savoir sur la composition du substrat de toiture végétale. (s. d.). Consulté 15 mai 2022 :
<https://architecte-interieur-83.com/substrat-toiture-vegetale/>

TABLE DES FIGURES

Figure 1 - Les jardins suspendus de Babylone, (nationalgeographic.fr, 2020)	11
Figure 2 - HundertwasserHaus, Vienne par l'architecte Friedensreich Hundertwasser (wien.info, 2022).....	12
Figure 3 - Façade du musée Quai Branly, Paris, (Photo personnelle, 2022)	14
Figure 4 - Schéma des différents mécanismes qui font que les surfaces végétalisées des bâtiments réduisent l'effet d'îlot de chaleur urbain, (Koch et al., 2020).....	16
Figure 5 - Schéma des différents pôles de chaleur urbain à Détroit, (Sanchez & Reames, 2019).....	17
Figure 6 - Chambre de test exposée au sud-ouest conçue pour analyser l'impact de la végétalisation d'une surface, (Shafiee et al., 2020)	18
Figure 7 - Prototype expérimental de façade verte et positionnement des capteurs, (Convertino, et al., 2021).....	19
Figure 8 - Différence de températures intérieures dans les deux bâtiments expérimentaux, (Othman & Sahidin, 2016)	20
Figure 9 - Mécanismes de la déposition sèche des particules de pollutions sur la surface d'une feuille, (Ysebaert et al., 2021).....	22
Figure 10 - Ruches aménagées sur une toiture verte en ville, (apiculteur-marseille.com, 2018)	24
Figure 11 – Les deux types de corridors écologiques, (journals.openedition.org, 2016)	25
Figure 12 - Mousses et sédums sur une toiture verte végétalisée, (guidebatimentdurable.brussels, s.d.)	26
Figure 13 - Plantes succulentes, (architecte-interieur-83.com, s.d.)	26
Figure 14 - Toiture intensive comprenant différentes variétés de plantes sur la station de traitement des eaux Alcântara à Lisbonne au Portugal, (efb-greenroof.eu,2011)	27
Figure 15 - Schéma des critères de bien-être et de leurs paramètres intérieurs associés, (Mansor & Ting, 2020)	27
Figure 16 - Espace de détente et de partage sur le toit de l'ancienne piscine Molitor, (jardinsdefrance.org, 2022)	29
Figure 17 - Végétation du jardin sur le toit de l'ancienne piscine Molitor, (jardinsdefrance.org, 2022)	30
Figure 18 - Battersea Power Station Gardens, (landscapeinstitute.org, 2019)	31
Figure 19 - Schéma des différents composants des toitures terrasses, (Besir & Cuce, 2017).....	34
Figure 20 - Schéma des trois types de toitures existants, toiture extensive (à gauche), toiture semi-intensive (au milieu) et toiture intensive (à droite), (Besir & Cuce, 2017)	35
Figure 21 - Plafond végétal (Daures, 2012)	36
Figure 22 - Schéma d'une façade végétalisée directe à gauche (1) et une façade végétalisée indirecte à droite (2), (Martin, 2015).....	37
Figure 23 - Poches créées dans la nappe de la façade du Musée quai Branly, (photo personnelle, 2022).....	39
Figure 24 - Détail de la nappe en feutre imputrescible de la façade du musée Quai Branly, (photo personnelle, 2022).....	39

Figure 25 - Mur végétalisé modulaire avec cage métallique (Manso & Castro-Gomes, 2014)	40
Figure 26 - Détail du mur végétalisé du musée quai Branly, (murvegetalpatrickblanc.com, 2012)	41
Figure 27 - Mur végétal du musée quai Branly, (murvegetalpatrickblanc.com, 2019).....	41
Figure 28 - Jardin potager sur le toit des Magasins Généraux, (atelierfois.com, 2019)	41
Figure 29 - Toiture terrasse des Magasins Généraux, (atelierfois.com, 2019)	41
Figure 30 - Mur végétalisé intérieur de la rampe de sortie du parking Perrache-Archives La Confluence.....	42
Figure 31 - Mur végétalisé intérieur du parking Perrache-Archives La Confluence, (murvegetalpatrickblanc.com, 2016).....	42
Figure 32 - Toiture végétalisée et promenade de l'Espace Bienvenue, (pargade.com, 2017)	43
Figure 33 - Toiture végétalisée de l'Espace Bienvenue, (pargade.com, 2017)	43
Figure 34 - Schéma de présentation de la méthodologie, Schéma personnel	44
Figure 35 - Logo du label « Blaue Engel », labelinfo.be	46
Figure 36 - Tableau des mots et expressions recherchés dans les méthodes environnementales	50
Figure 37 - Nuage de mots présents dans la démarche HQE	51
Figure 38- Tableau récapitulatif des mots et expressions trouvés dans le référentiel HQE.....	51
Figure 39 – Nuage de mots présents dans la certification WELL Building Standard.....	52
Figure 40 - Tableau récapitulatif des mots et expressions trouvés dans la certification WELL.....	53
Figure 41 - Cas d'études retenus	54
Figure 42 – Caractéristiques des personnes interviewées	57
Figure 43 - Familles de critère de la démarche HQE ; Hetzel, 2009.....	62
Figure 44 - Structure d'évaluation de la démarche HQE ; Référentiel pour la qualité environnementale des bâtiments, 2015	63
Figure 45 - Détail du critère d'évaluation « 1.2.1. Végétalisation des surfaces » de la cible « Relation du bâtiment avec son environnement immédiat » p18/176, (AFNOR, 2011)	64
Figure 46 - Répartition de la pondération des critères concernant l'architecture verte.....	67
Figure 47 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 1	67
Figure 48 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 2	68
Figure 49 - Répartition de la pondération des critères concernant l'architecture verte.....	69
Figure 50 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 4	69
Figure 51 - Tableau de référence des coefficients d'imperméabilisation, Guide du référentiel HQE, 2015.....	70
Figure 52 - Répartition de la pondération des critères concernant l'architecture verte.....	71
Figure 53 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 5	71
Figure 54 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 7	71
Figure 55 - Répartition de la pondération des critères concernant l'architecture verte.....	72
Figure 56 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 8	72
Figure 57 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 9	73
Figure 58 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 10	73
Figure 59 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 11	74
Figure 60 - Répartition graphique des critères concernant l'architecture verte dans la cible 13	75

Figure 61 - Schéma résumé de la présence de l'architecture verte dans la démarche NF HQE Bâtiments Tertiaires	76
Figure 62 - Description des parties de la méthode WELL Building Standard, v2.wellcertified.com	77
Figure 63 - Score des niveaux de la méthode WELL Building Standard	78
Figure 64 - Répartition graphique des éléments concernant l'architecture verte dans le Concept "Air"	79
Figure 65 - Répartition graphique des éléments concernant l'architecture verte dans le Concept "Eau"	80
Figure 66 - Répartition graphique des éléments concernant l'architecture verte dans le Concept "Confort thermique"	81
Figure 67 - Répartition graphique des éléments concernant l'architecture verte dans le Concept "Son"	81
Figure 68 - Répartition graphique des éléments concernant l'architecture verte dans le Concept "Matériaux"	82
Figure 69 - Répartition graphique des éléments concernant l'architecture verte dans le Concept "Matériaux"	83
Figure 70 - Répartition graphique des éléments concernant l'architecture verte dans le Concept "Communauté"	83
Figure 71 - Schéma résumé de la présence de l'architecture verte dans la certification WELL Building Standard	84
Figure 72 - Phase de cycle de vie d'un bâtiment selon la norme EN 15978, (developpementdurable.wallonie.be)	85
Figure 73 - Recherche des toitures plates selon leur coefficient U sur le site web TOTEM	86
Figure 74 - Composants de la Toiture Plate 18 (toiture verte de TOTEM)	87
Figure 75 - Toiture verte nommée « Toiture Plate 18 » issue du site web TOTEM	87
Figure 76 – Toiture gravillonnée nommée Toiture Plate 26, à gauche, et toiture en carreaux de béton intitulée Toiture Plate 21, à droite (TOTEM)	88
Figure 77 – Composants des Toitures Plates 26 et 21	88
Figure 78 - Toiture en dalle béton Toiture Plate 06 issue du site web TOTEM	89
Figure 79 - Composants de la Toiture Plate 06 (toiture dalle béton de TOTEM).....	89
Figure 80 - Fonction de comparaison des résultats dans TOTEM.....	89
Figure 81 - Répartition des impacts environnementaux des toitures étudiées (totem-building.be) ...	90
Figure 82 - Impact environnementaux par cycle de vie des toitures étudiées, (totem-building.be) ...	91
Figure 83 - Impacts environnementaux par indicateur environnemental individuel, (totem-building.be).....	91
Figure 84 - Impacts environnementaux par composant pour la toiture verte, (totem-building.be)....	92
Figure 85 - Emplacement de la façade végétalisée du Musée Quai Branly (earth.google.com, 2020)	108
Figure 86 - Grille en métal sous la façade et poches de végétaux, (photo personnelle)	109
Figure 87 - Fenêtres de la façade végétalisée, (photo personnelle).....	109
Figure 88 - Couches de feutrine derrière les végétaux de la façade, (photo personnelle).....	109

Figure 89 - Nuage de mots du ressenti des passants devant la façade végétalisée du Musée quai Branly.....	111
Figure 90 - Nuage de mots concernant les sensations perçues par les personnes interrogées	111
Figure 91 - Répartition des avantages cités par les 10 personnes interrogées	112
Figure 92 – Répartition des inconvénients cités par les dix personnes interrogées.....	113
Figure 93 - Récapitulatif des propos des concepteurs et des employés classés par thématiques	115
Figure 94 - Récapitulatif des propos des concepteurs et des employés classés par thématiques	117

ANNEXES

Annexe 1 : Grille de lecture des certifications

	MEBD		
	HQE	WELL	TOTEM
Application	Bâtiments neufs, en rénovation et en exploitation	Bâtiments neufs	Bâtiments de bureaux ou résidentiels neufs ou en rénovation
Mesure	Impacts des bâtiments sur l'environnement du processus à l'utilisation	Stratégies architecturales et techniques mises en place pour améliorer le confort et le bien-être des occupants des bâtiments	Impacts environnementaux
Projets certifiés	2348 en France (avec DOM-TOM)	Plus de 4 350	Non renseigné
Détails des méthodes environnementales			
<i>total</i>	14 cibles, 41 sous-cibles, 142 critères d'évaluation	10 Concepts, 24 conditions préalables, 98 optimisations	450 éléments
<i>concernant les façades</i>	5 critères	4 (Air, Lumière, Water, Matériaux)	
<i>concernant les toitures</i>	5 critères	0	
<i>concernant les matériaux</i>	5 critères	9 exigences (Matériaux)	
<i>concernant la qualité de l'air extérieur</i>	3 critères (cibles 1,3)	0	
<i>concernant la qualité de l'air intérieur</i>	15 critères (cibles 2, 11, 13)	13 exigences (Air)	
<i>concernant la surchauffe</i>	14 critères (cibles 7, 8)	6 exigences (Confort thermique)	

<i>concernant la pollution extérieur</i>	18 critères (cibles 1,2,3,4,5,11,13,14)	2 (Air)	
<i>concernant le bien-être mental des usagers</i>	5 (cibles 1,5,10)	29 exigences (Nourriture, Son, Esprit, Communauté)	
<i>concernant la végétation/les espaces verts intérieurs</i>	0 critère	2 exigences (Esprit)	
<i>concernant la végétation/les espaces verts extérieurs</i>	4 critères (cible 1)	4 (Nourriture, Esprit)	
<i>concernant les toitures vertes</i>	0	0	
<i>concernant les façades vertes/murs verts</i>	0	0	
Nombre d'apparition de "biodiversité"			
<i>"toiture verte/végétalisée"</i>	7 (cible 1)	0	
<i>"façade verte/végétalisée"</i>	0	0	
<i>"mur vert/végétalisé"</i>	0	1 (Concept n°9)	
<i>"architecture verte"</i>	0	0	
<i>"jardin intérieur"</i>	0	0	
<i>"végétaux/végétation"</i>	0	19	
<i>espèces végétales</i>	1 (cible 1)	0	
<i>"plantes/essences plantées"</i>	1 (cible 1)	19	
<i>"toiture extensive/intensive"</i>	0	0	
<i>"développement durable"</i>	5 (cible 1)	0	
<i>"écologie/écologique"</i>	2	0	
<i>"végétalisation/végétalisé"</i>	7 (cible 1)	6	
<i>"nature"</i>	0	10	

Annexe 2 : Comparaison des critères d'évaluation HQE

Cible	Sous - cible	Critère	Pondération	Systèmes techniques	Application dans la conception	Application dans la réalisation
1	1.2	1.2.1	B	Toitures et façades	Plan masse, notice d'intégration paysagère	Visite de site
			P	Toitures et façades	Plan masse, notice d'intégration paysagère	Visite de site, Plan d'entretien et de maintenance
			TP 1 point	Toitures et façades	Plan de toiture et de façade, note montrant le pourcentage de surface de toiture/façade végétalisée, fiches techniques	Visite de site, Plan d'entretien et de maintenance
		1.2.2	B	Toitures et façades	Notice d'intégration paysagère, Plan masse avec dispositions concernant la faune et la flore	Visite de site, Plan d'entretien et de maintenance, document pour les utilisateurs
			P	Toitures et façades	Notice d'intégration paysagère, Plan masse avec dispositions concernant la faune et la flore	Visite de site, Plan d'entretien et de maintenance, document pour les utilisateurs
			TP niveau 1, 3 points	Toitures et façades	Idem niveau B, diagnostic par un écologue, note avec dispositifs mis en place pour la faune et son habitat, fiches techniques	Visite de site, Plan d'entretien et de maintenance, document pour les utilisateurs
			TP niveau 2, 3 points	Toitures et façades	Idem TP niveau 1, calcul du CBS+	Visite de site, Plan d'entretien et de maintenance, document pour les

						utilisateurs, calcul du CBS+
		1.2.3	TP 2 points	Toitures	Plan de masse présentant l'intégration paysagère des dispositions définies dans les notes de calcul ci-dessus (ex : bassin de rétention...), images de synthèse présentant l'intégration, note de calcul « débit de fuite » / étude sur le traitement des eaux usées, fiches techniques	Visite de site, Plan d'entretien et de maintenance
	1.3	1.3.1	TP 2 points	Toitures et façades	Détail des dispositions prises pour la stratégie de réduction de l'effet d'îlot de chaleur (plans)	Visite de site, reportage photos, document pour les utilisateurs
	1.4	1.4.3	B	Toitures	un plan de masse, les plans architecturaux, des images 3D du site et une étude comparative des ombres portées pour comparer les changements	Visite de site, reportage photos
			TP 2 points	Toitures et façades	idem B + plans montrant un avant/après de la volumétrie des bâtiments riverains, note comparative du pourcentage d'espaces paysagers ajoutés	Visite de site, reportage photos, enquête auprès des riverains
2	Pas de sous-cibles en lien avec l'architecture verte					

3	Cible non pertinente					
4	4.1	4.1.1 & 4.1.2	P	Toitures et écrans végétaux	Note justifiant l'optimisation du parti architectural, un calcul thermique réglementaire ou une simulation thermique dynamique	Calcul thermique réglementaire ou simulation thermique dynamique, visites de site, fiches techniques des éléments mis en œuvre, note montrant les changements architecturaux de la phase programme jusqu'à la réalisation
5	5.2	5.2.1	P	Toitures	Calcul du coefficient d'imperméabilisation global, fiches techniques des équipements	calcul du coefficient d'imperméabilisation global, fiches techniques des équipements, photos de ce qui a été mis en place en fonction des types de surface, carnet d'entretien et de maintenance
		5.2.2	TP 2 points ou 4 points	Toitures	Calcul du volume réglementaire d'eau pluviale à stocker, plans avec ouvrages de gestion des eaux pluviales, fiches techniques	plans de récolement du réseau d'assainissement pluvial avec ouvrages de collecte, volumes stockés et secteurs de collecte, photographies des techniques assurées, carnet d'entretien et de maintenance
6	Cible non pertinente					
7	Pas de sous-cibles en lien avec l'architecture verte					

8	8.1	8.1.2.	B	Toitures et écrans végétaux	Plans, descriptif des murs extérieurs et des dispositions passives permettant de limiter les besoins de chauffage et de refroidissement, études spécifiques si besoin et fiches techniques.	Visite de site
9	Pas de sous-cibles en lien avec l'architecture verte					
10	Pas de sous-cibles en lien avec l'architecture verte					
11	Pas de sous-cibles en lien avec l'architecture verte					
12	Cible non pertinente					
13	Pas de sous-cibles en lien avec l'architecture verte					
14	Cible non pertinente					

Annexe 3 : Audios

Les enregistrements audios Université de Liège – Faculté des Sciences Appliquées - Année académique 2021/2022 des interviews sont disponibles dans le dossier « Annexe 3 » joint à ce document.