

Quel rôle l'architecte paysagiste peut-il jouer dans la planification et la mise en place des toitures végétalisées afin d'optimiser le phénomène de résilience urbaine au sein des territoires littoraux ?

Auteur : Bailleul, Erwan

Promoteur(s) : Mahy, Grégory

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master architecte paysagiste, à finalité spécialisée

Année académique : 2023-2024

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/20958>

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.

**Quel rôle l'architecte paysagiste peut-il jouer
dans la planification et la mise en place des toitures végétalisées
afin d'optimiser le phénomène de résilience urbaine
au sein des territoires littoraux ?**

**Essai méthodologique à travers 2 cas d'études
(Dunkerque & Lorient).**

Erwan BAILLEUL

Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master
d'architecte paysagiste

Année académique 2023-2024

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier mon promoteur Mahy Grégory et mon co-promoteur VANCUTSEM Didier pour le temps qu'ils m'ont consacré, leurs conseils, leurs expertises et pour la confiance qui m'a été donnée.

Ensuite, je souhaite également remercier la mairie de Lorient, en particulier madame LUBIN Violaine (architecte conseil de la ville de Lorient) pour sa disponibilité, son intérêt envers le sujet traité et son aide dans la réalisation de ce mémoire. La Communauté Urbaine de Dunkerque et notamment monsieur TRUANT Fabrice (responsable de l'unité Bureau Local de la Biodiversité) pour avoir pris le temps de me répondre et de m'avoir transmis des informations afin d'enrichir ce travail. Monsieur DESMARS Nicolas (représentant de l'entreprise Sopranature) pour son envie de transmettre ses connaissances, le temps qui m'a été consacré et l'aide apportée pour ce mémoire. Enfin, le lycée Guy Debeyre, représenté par Monsieur DESOUBRY Rémi, pour m'avoir permis d'observer la toiture végétalisée de l'établissement, de m'avoir décrit le projet initial et répondu à mes questions.

Je remercie également mes professeurs que j'ai côtoyé depuis mes débuts et pendant 11 ans dans le domaine du paysage. Ils m'ont permis d'atteindre l'objectif de devenir un jour architecte paysagiste. Chaque enseignant m'a énormément apporté au travers des cours enseignés, des discussions partagées et pour lesquelles je m'en suis inspiré pour la réalisation de ce mémoire.

Je finirai par remercier les différents lecteurs qui ont manifesté un vif intérêt pour ce travail, ainsi que mes proches, sans lesquels je ne serais probablement pas parvenu à atteindre cet objectif. Ils m'ont toujours apporté leurs soutiens tout au long de ces années de formation ainsi qu'à la réalisation de ce travail.

Résumé :

Le contexte de changement climatique ainsi que l'attrait économique des régions côtières ont entraîné tout deux une croissance démographique dans ces mêmes régions. La hausse de la fréquentation engendre chaque année des pressions anthropiques sur l'écosystème côtier. Afin de limiter ces pressions, les villes incitent à élaborer des solutions novatrices, souvent fondées sur une augmentation de la densité végétale. Les toitures végétalisées permettent le rendu de nombreux services écosystémiques tout en occupant des espaces dits « perdus » au sein des villes. C'est donc pour ces raisons que les autorités publiques s'intéressent de plus en plus à leur mise en œuvre.

L'hypothèse de départ sur ce travail est de définir le rôle que peut avoir l'architecte paysagiste lors de la planification pour la mise en place de toitures végétalisées. Les études déjà réalisées ont souligné le potentiel et l'intérêt du concept en matière de services écosystémiques au sein des zones urbaines. Des services permettant l'amélioration du bien-être en ville à condition qu'une analyse propre au territoire d'accueil soit réalisée en amont. En effet, la généralisation d'une méthode d'implantation ou de végétalisation sans considération du territoire, ainsi que sa mise en œuvre aléatoire et isolée, réduit son potentiel.

Le travail d'architecte paysagiste est considéré comme pluridisciplinaire, il intègre des enseignements spécifiques à la discipline architecturale, à l'aménagement des territoires ainsi qu'à d'autres disciplines comme l'hydrologie, l'écologie, la botanique, la géologie, etc. Grâce à ces connaissances, il pourrait jouer un rôle essentiel dans la planification et la mise en œuvre des toits végétalisés, en fonction des exigences des villes et du territoire d'accueil.

Pour répondre à l'hypothèse mentionnée précédemment et afin de permettre la comparaison, une approche a été mise au point dans deux villes du littoral français (Dunkerque et Lorient) qui sont situées dans des contextes géographiques, urbanistiques et environnementaux différents. L'objectif de la méthodologie est, dans un premier temps, de repérer à travers une analyse paysagère du territoire, des zones subissant des pressions pouvant être atténuées par la végétalisation des toitures. Cette initiative permettra, dans un second temps, en fonction des critères architecturaux, d'évaluer le potentiel de verdissement de ces zones. Si l'évaluation est concluante, une palette végétale en accord avec la biodiversité locale sera proposée.

La finalité de ce travail est de mettre en avant l'importance de l'étude paysagère sur le territoire afin de permettre l'optimisation du concept de toits végétalisés. En outre, cela permettra d'avoir une vision du rôle et des limites de l'architecte paysagiste dans la planification et la mise en œuvre de cet aménagement.

Cette étude permet de constater qu'il existe un potentiel de verdissement dans les cas d'études examinés. Chaque cas comporte des problèmes spécifiques, que l'installation de toitures végétalisées peut réduire. Toutefois, il a été démontré que l'étude paysagère du territoire est primordiale afin d'optimiser les services rendus par les toits verts et d'améliorer le bien-être des citoyens.

Mots-clés : Architecte paysagiste / Biodiversité / Écosystème côtier / Îlot de chaleur / Littoral / Réseau écologique / Réseau viaire / Services écosystémiques / Substrat / Territoire / Toitures végétalisées / Urbain / Végétalisation intensive - semi intensive / Verdissement

Abstract :

Climate change and the economic attractiveness of coastal regions have led to demographic growth in these regions. The increase in attendance creates anthropogenic pressures on the coastal ecosystem every year. In order to limit these pressures, cities are encouraging innovative solutions, often based on increased presence of vegetation. Vegetated roofs enable the rendering of many ecosystem services while occupying so-called “lost” spaces within cities. It is for these reasons that public authorities are increasingly interested in their implementation.

The starting point of this work is to define the role that the landscape architect can play in the planning and installation of green roofs. Studies already carried out have highlighted the potential of the concept in terms of ecosystem services in urban areas. Services that improve the well-being of the city, provided that an analysis of the host territory is carried out in advance. Indeed, the generalization of a method of planting or vegetation without consideration of the territory, as well as its random and isolated implementation, reduces its potential.

The work of landscape architect is considered to be multidisciplinary, integrating teachings specific to the architectural discipline, to the planning of territories as well as to other disciplines such as hydrology, ecology, botany, geology, etc. Through this knowledge, it could play a key role in the planning and implementation of green roofs, depending on the requirements of the cities and the host territory.

To respond to the previous hypothesis, an approach has been developed in two French coastal cities (Dunkerque and Lorient) which are located in different geographical, urban and environmental contexts in order to allow comparison. The objective of the methodology is, in the first place, to identify through a landscape analysis of the territory areas under pressure that can be mitigated by the vegetation of the roofs. This initiative will allow, in a second phase, based on architectural criteria, to assess the potential for greening of these areas. If the evaluation is conclusive, a plant palette in accordance with local biodiversity will be proposed.

The purpose of this work is to highlight the importance of the landscape study of the territory in order to enable the optimization of the concept of green roofs. In addition, this will enable you to have a vision of the role and limitations of the landscape architect in the planning and implementation of this outdoor space.

This study showed that there was a potential for greening in the case studies studied. Each case has specific problems, which the installation of vegetated roofs can reduce. However, it has been demonstrated that the landscape study of the territory is crucial in order to optimize the services provided by green roofs and improve the well-being of urban residents.

Keywords : Landscape architect / Biodiversity / Coastal ecosystem / Heat island / Coastline / Ecological network / Road network / Ecosystem services / Substrate / Territory / Green roofs / Urban / Vegetation inten-

Table des matières

Remerciements.....	I
Résumé - mots clés.....	II
Abstract.....	III
Glossaire.....	1-2
Introduction.....	3-4
 PARTIE I : ÉTAT DE L'ART.....	 5-8
1. Cadre théorique des toitures végétalisées.....	5-12
1.1 L'actualisation d'un concept ancien.....	5
1.2 Les composants spécifiques.....	6
1.3 Les différentes typologies.....	7
1.3.1 Les types de végétalisation.....	7
1.3.2 Les toitures végétalisées biodiverses.....	8
1.3.3 Les toitures végétalisées biosolaires.....	8
1.4 Les obstacles à sa mise en œuvre.....	9
1.4.1 Techniques.....	9
1.4.2 Economiques.....	10
1.4.3 De politiques publiques.....	10
1.4.4 Manque de volonté individuelle.....	10
1.5 Les acteurs permettant sa mise en œuvre.....	11
1.6 Les toitures végétalisées en France.....	11
2. Toitures végétalisées et services écosystémiques (SE) : Potentiels et enjeux de cette relation.....	13-21
2.1 L'émergence de la notion de SE.....	13
2.2 Le rôle des toitures dans la production de SE en milieu urbain.....	14
2.3 Toiture végétalisée - Service de régulation.....	15
2.3.1 Une solution face aux îlots de chaleur urbains.....	15
2.3.2 Réduction du ruissellement des eaux de pluie.....	16
2.3.3 Amélioration de la qualité des eaux de ruissellement.....	17
2.3.4 Amélioration de la qualité de l'air.....	17
2.3.5 Protection thermique des bâtiments.....	18
2.3.6 Protection phonique et acoustique.....	18
2.3.7 Protection de la membrane d'étanchéité.....	19
2.4 Toiture végétalisée - Service de soutien.....	19
2.4.1 Support pour la biodiversité et la pollinisation.....	19
2.5 Toiture végétalisée - Service culturel.....	20
2.5.1 Apport d'une valeur esthétique.....	21
3. Répercussion des processus anthropiques sur le paysage côtier.....	22-28
3.1 Présentation et évolution du littoral Français.....	22
3.2 Pression anthropique et littoralisation.....	24
3.2.1 Facteurs directs entraînant ces phénomènes.....	25
3.2.2 Facteurs indirects entraînant ces phénomènes.....	26
3.3 Les impacts sur le paysage naturel et la biodiversité des littoraux.....	27
3.4 L'apport des toitures végétalisées pour les écosystèmes marins et côtiers.....	28
 PARTIE II : HYPOTHESE, OBJECTIFS ET CAS D'ÉTUDES.....	 29-36
4.1 Hypothèse et objectifs.....	29

4.2 Sélection des sites d'études.....	30
4.2.1 Contextualisation à l'échelle supra-locale.....	31
4.2.2 Contextualisation à l'échelle locale.....	32
PARTIE III : MÉTHODOLOGIE.....	37-38
5.1 Schéma de la méthodologie de recherche.....	37
5.2 Justification des critères non retenus dans la méthodologie utilisée.....	38
5.3 Matériel de recherche.....	39
5.3.1 Utilisation des données multi-sources.....	39
5.3.2 L'approche cartographique des îlots de chaleur (classification LCZ).....	40
PARTIE IV : DÉTERMINATION ET PROPOSITION DE VÉGÉTALISATION DES TOITURES AU SEIN DE ZONES PRIORITAIRES.....	41-73
6.1 Analyse & identification des espaces urbains prioritaires.....	41
6.1.1 Bénéfice écologique - Analyse cartographique du contexte hydrographique et de l'occupation des sols.....	41
6.1.2 Bénéfice écologique - Analyse cartographique des îlots de chaleur.....	44
6.1.3 Bénéfice écologique - Analyse cartographique du réseau écologique.....	45
6.1.4 Bénéfice phonique et acoustique - Analyse cartographique des nuisances sonores.....	50
6.2 Choix d'une zone d'étude à fort potentiel.....	53
6.3 Analyse du potentiel de verdissement des toitures.....	54
6.4 Étude et proposition d'une palette végétale adaptée au contexte local.....	58
6.4.1 Recherche d'habitats écologiques permettant la création d'habitats analogues en toiture extensive et semi-intensive.....	59
6.4.2 Proposition de palettes végétales pour les habitats analogues.....	63
6.4.3 Étude de la faune locale possédant des habitats reproductibles sur des toitures extensives et semi-intensives.....	65
6.4.4 Mise en relation des résultats d'études avec un projet déjà existant.....	68
PARTIE V : ANALYSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.....	73-77
8.1 Discussion des résultats obtenus.....	73
8.1.1 La sélection des cas d'études.....	73
8.1.2 Le choix des sites d'intention.....	74
8.1.3 La relation entre le concept du toit vert et les différents services écosystémiques associés.....	74
8.1.4 L'apport de l'architecte paysagiste.....	74
8.2 Discussion à propos de la méthodologie développée et du matériel utilisé.....	75
8.2.1 Méthodologie par analyse multiscalaire.....	75
8.2.2 L'utilisation de l'indicateur simplifié des îlots de chaleur.....	75
8.2.3 L'utilisation des données multi-sources.....	75
8.3 Limite de l'étude et difficultés rencontrées.....	76
8.3.1 La simplification de la méthodologie utilisée et le choix des critères non retenus.....	76
8.3.2 L'imprécision liée aux visites de terrain.....	76
8.3.3 L'approche pluridisciplinaire et le manque de communication entre les disciplines.....	76
8.3.4 Le statut d'étudiant.....	77
Conclusion.....	78
Table des figures.....	79-82
Bibliographie.....	83-89
Annexes.....	90-100

Gloassaire :

Anthropisé : Processus par lequel les populations humaines modifient ou transforment l'environnement naturel.

Artificialisation : Modification du milieu (sol, climat) ou des plantes, provoquée par l'homme.

Biodiversité : Diversité des espèces vivantes (micro-organismes, végétaux, animaux) présentes dans un milieu.

Complexe industrialo-portuaire : Espace littoral associant des fonctions industrielles et portuaires.

Contexte hydrographique : Ensemble des milieux aquatiques (lacs, rivières, eaux souterraines, zones humides, etc.) présents sur un territoire donné.

Continuité écologique : Les continuités écologiques constituant la Trame verte et bleue comprennent des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques.

Corridor écologique : Passage qui relie des espaces naturels.

Directive Habitats : Directive prise afin de promouvoir la protection et la gestion des espaces naturels à valeur patrimoniale. Elle s'appuie pour cela sur un réseau cohérent de sites écologiques protégés, le Réseau Natura 2000.

Directive Oiseaux : Directive prise par l'Union Européenne afin de promouvoir la protection et la gestion des populations d'espèces d'oiseaux sauvages du territoire européen.

Drainage : Opération d'assainissement (des sols trop humides) permettant à l'eau retenue en excès dans les terres de s'écouler.

Ecosystème : Système formé par un environnement (biotope) et par l'ensemble des espèces (biocénose) qui y vivent, s'y nourrissent et s'y reproduisent.

Espèce endémique : Se dit des espèces vivantes propres à un territoire bien délimité.

Espèce indigène : Se dit des espèces vivantes originaires du pays où elles sont plantées.

Évapotranspiration : Quantité d'eau qui s'évapore par le sol, les nappes liquides et la transpiration des végétaux.

Faune locale : Ensemble des espèces animales vivant dans un espace géographique ou un habitat déterminé.

Fragmentation : Phénomène artificiel de morcellement de l'espace, qui peut ou pourrait empêcher une ou plusieurs espèces de se déplacer comme elles le devraient.

Géodonnée : Données à référence spatiale qui décrivent le territoire.

Graminée : Plante monocotylédone, à feuilles engainantes simples et rubanées, à tige généralement creuse (chaume), à fleurs généralement hermaphrodites sans calice ni corolle, à inflorescences en épis, en grappes ou en panicules d'épillets.

Habitat : Partie de l'environnement définie par un ensemble de facteurs physiques, et dans laquelle vit un individu, une population, une espèce ou un groupe d'espèces.

Ilot de chaleur urbain : Effet de dôme thermique, créant une sorte de microclimat urbain où les températures sont significativement plus élevées : plus on s'approche du centre de la ville, plus il est dense et haut.

Invasion biologique : Processus d'extension d'aire géographique de distribution d'une espèce partant d'une région vers une autre, capable de se reproduire dans la nouvelle région et d'y développer des populations pérennes.

Isolation acoustique / phonique : Ensemble de procédés permettant de réduire la propagation du bruit grâce à des matériaux absorbant le son.

Littoralisation : Mouvement de concentration croissante des populations et des activités industrielles ou touristiques sur les parties littorales des continents.

Membrane d'étanchéité : Ecran étanche, isolant et réfléchissant. Sa fonction de barrière radiante améliore le confort thermique en hiver, mais aussi en été en atténuant la pénétration de la chaleur.

Plante succulente : Plante charnue adaptée pour survivre dans des milieux arides du fait des caractéristiques du sol, du climat ou à forte concentration en sel

PLU / PLUi : Le plan local d'urbanisme est un document d'urbanisme (PLU) communal ou intercommunal (PLUi) qui détermine les conditions d'aménagement et d'utilisation des sols.

Polder : Région entourée de digues, afin d'éviter l'inondation par les eaux marines ou fluviales, puis drainée et mise en valeur.

Rade : Grand bassin, naturel ou artificiel, ayant issue libre vers la mer et où les navires peuvent mouiller.

Réseau d'assainissement : Ensemble des ouvrages construits par l'homme pour canaliser les eaux pluviales et les eaux usées à l'intérieur d'une agglomération.

Réserve naturelle : Partie du territoire où la conservation de la faune, de la flore, du sol, des eaux, des gisements de minéraux et de fossiles et, en général, du milieu naturel présente une importance particulière.

SCoT : Le schéma de cohérence territoriale est un document d'urbanisme qui, à l'échelle d'un territoire, de projet ou bassin de vie (périmètre intercommunal ou au-delà), détermine l'organisation spatiale et les grandes orientations de développement d'un territoire.

Services écosystémiques : Ce sont des « biens et services que les hommes peuvent tirer des écosystèmes, directement ou indirectement, pour assurer leur bien-être ».

Sedum : Genre de plantes succulentes appartenant à la famille des Crassulacées.

Station balnéaire : Localité située en bord de mer disposant d'infrastructures capables d'accueillir les touristes adeptes des bains des mers.

Submersion marine : Inondation temporaire et éventuellement épisodique de zone côtière, générée par la mer voisine, avec de l'eau salée ou saumâtre, lors d'événements météorologiques ou océanographiques.

Substrat : Matériau ou matière qui sert de support à un végétal, plante ou algue.

Taxon : Le taxon est une unité quelconque (genre, famille, espèce, sous-espèce, etc.) des classifications hiérarchiques des êtres vivants.

Toit végétalisé : Toit sur lequel est installé un écosystème végétal.

Trafic de cabotage : Type de navigation maritime consistant à se déplacer de port en port en restant à proximité des côtes.

Typologie Eunis : Classification des habitats naturels, semi-naturels et anthropiques des secteurs terrestres et marins d'Europe.

Vivace : Se dit d'une plante dont la période de végétation s'étend sur plusieurs années, même lorsque les parties souterraines subsistent seules en hiver.

ZNIEFF : Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique, inventorié en raison de son caractère remarquable abritant une biodiversité élevée.

Introduction

Selon les données du service européen Copernicus, le mois de juillet 2023 a été le plus chaud jamais enregistré sur Terre. Cela a engendré de nombreuses catastrophes naturelles, notamment des pluies diluviennes à Pékin (744,8 millimètres le 7 août 2023) ou encore d'importants incendies dont celui qui a quasiment rasé la ville entière de Lahaina (13 000 habitants) dans l'archipel américain de Hawaï.

La France n'est pas épargnée par cette situation et vient de vivre un été 2023 marqué par une canicule exceptionnelle, l'une des plus chaudes de l'histoire (4ème). Ces événements extrêmes poussent donc la population à venir se réfugier au sein des villes côtières afin d'y trouver un vent de fraîcheur par la présence de la mer. Le littoral devient ainsi un endroit très prisé en raison de son charme, de son attractivité et de son climat considéré comme doux.

Il y a quelques années, cette délocalisation était temporaire pour de nombreux visiteurs, aujourd'hui ce même mouvement en France est en constante hausse (3% par rapport à 2022 et 10% depuis 2019 - INSEE), ce qui entraîne une augmentation du tourisme pendant certaines périodes de l'année. En parallèle, la population voulant habiter au sein des villes du littoral augmente (hausse annuelle moyenne de 0,6 % depuis 1962 - Etalab) et on assiste ainsi à un phénomène de littoralisation (processus de concentration des populations et des activités humaines le long des littoraux). Des évolutions comportementales qui ne sont pas sans répercussion sur les paysages qui ne cessent de s'urbaniser au fil du temps.

Parmi les répercussions majeures de cette évolution, on retrouve l'imperméabilisation des sols, l'expansion urbaine, l'augmentation des îlots de chaleur, la dégradation sur la qualité de l'air et de l'eau, le risque d'inondation ou encore la perte d'habitat pour la faune, tout cela entraînent un changement des écosystèmes côtiers. Des pratiques qui devraient s'accroître dans les prochaines années (d'après l'INSEE, prévision de la population 2007-2040).

Afin d'anticiper la situation, il est impératif d'agir rapidement pour préserver cet écosystème de grande importance qui possède des milieux écologiques à la fois riches et fragiles. En tant qu'architecte paysagiste, il est de notre ressort de trouver et proposer des solutions pour limiter ces impacts. Toutefois, il devient de plus en plus rare de trouver des espaces libres en ville, ce qui oblige à se tourner vers les espaces dits «perdus». C'est la raison pour laquelle l'exploitation des toitures serait une solution. Dans les villes, elles occupent une place significative, allant de 15 à 35% (Ernst & Young et Associés, 2009), et peuvent jouer un rôle crucial dans l'amélioration du cadre de vie.

Une mise en œuvre généralisée des toitures végétalisées aurait un impact significatif sur l'environnement urbain grâce aux nombreux services écosystémiques qu'elles génèrent, faisant de ce type d'infrastructure un outil de plus dans la lutte contre le changement climatique (Berardi, 2013). En effet, les avantages qui y sont liés vont de la gestion de l'eau à la purification de l'air, en passant par l'atténuation de l'îlot de chaleur urbain (Zhang & He, 2021).

Historiquement nous connaissons depuis des siècles des bâtiments végétalisés, notamment grâce aux jardins de Babylone. Plus récemment les toitures végétalisées modernes ont été redécouvertes en Allemagne à la fin des années 1880 (Getter & Rowe, 2006), d'ailleurs l'Allemagne qui fait figure de pionnière à l'échelle mondiale, avec de nombreuses politiques publiques développées dans ses différentes villes depuis les années 1980 (Oberndorfer & al., 2007).

Les recherches scientifiques ont commencé à s'intensifier durant ces vingt dernières années sur les performances générales du concept. Toutefois, elles ont été réalisées dans de nombreuses disciplines séparées (urbaniste, écologiste, hydrologue, architecte, paysagiste...), sans pour autant être complètement associées et souvent sans prise en compte du contexte paysager. Cela ne permet donc pas d'avoir un aperçu et une exploitation optimale de ce concept.

Ce constat émet donc l'hypothèse que l'architecte paysagiste (reconnu pour ses compétences pluridisciplinaires) pourrait jouer un rôle important dans la planification et la mise en place de toitures végétalisées. C'est donc pour cette raison que j'ai décidé de réaliser ce travail avec comme problématique initiale : **Quel rôle l'architecte paysagiste peut-il jouer dans la planification et la mise en place des toitures végétalisées afin d'optimiser le phénomène de résilience urbaine au sein des territoires littoraux ?**

Pour répondre à cette problématique, ce travail débute par l'état de l'art qui vise à décrire l'évolution des toitures végétalisées et les services écosystémiques potentiels qui lui sont associés. Il aborde également le développement ainsi que les enjeux des territoires littoraux et met en avant les possibilités apportées par les toits verts au sein de ces derniers.

La méthodologie qui intervient ensuite permet d'unifier le concept au sein de différents cas d'études. Une analyse des résultats obtenus entre les deux villes pourra y être réalisée, ainsi qu'une comparaison avec d'autres projets déjà mis en place à proximité.

L'objectif final est de discuter du rôle de l'architecte paysagiste dans la planification et la mise en place de toits verts afin qu'ils soient exploités de manière optimale.



PARTIE I : ÉTAT DE L'ART

1. Cadre théorique des toitures végétalisées

Dans ce premier point de l'état de l'art, une revue de l'historique des toitures végétalisées sera expliquée de manière à comprendre leurs émergences et les raisons de leurs succès dans certains pays. Dans un second temps, l'aspect conceptuel et technique sera abordé afin de posséder une vision globale des différents types d'installations.

Enfin, le rôle des différents acteurs présents dans le processus de mise en œuvre et la progression du concept en France seront décrits.

1.1 L'actualisation d'un concept ancien

Tout d'abord, le concept de toiture végétalisée se définit comme étant l'addition d'une couche de substrat et de végétation à la surface d'un toit. Cette définition a été faite par Oberndorfer & al.(2007) et se retrouve dans de nombreuses publications scientifiques.

Ensuite, l'installation de plantes sur les toitures est une idée antique. Les jardins suspendus de Babylone édifiés il y a plus de 2500 ans sont l'exemple le plus célèbre et le plus ancien. On a également largement employé ce concept sur les toits engazonnés d'habitations scandinaves dites « traditionnelles ». Leurs fonctions principales étaient d'assurer l'isolation thermique et l'amélioration de l'écoulement des eaux pluviales sous des climats humides et froids (Dunnett & Kingsbury, 2006).

Selon l'article de Jim (2017a), professeur à l'Université d'éducation de Hong Kong, celles-ci ont souvent été développées par manque de matériel de construction et sous la pression de conditions climatiques extrêmes. Des propos confirmés dans l'étude de Getter & Rowe (2006), qui citent l'exemple des colons américains à la fin des années 1800 qui ont fait usage des toitures végétalisées par manque de bois.

La modernisation du concept est née à la fin des années 1880 par accident : un mélange de sable et de gravier est utilisé sur les toits en Allemagne afin de réduire le risque d'incendie (Getter & Rowe, 2006). Le mélange constitue un substrat idéal pour les plantes qui colonisent ce type de milieu.

Cet accident a inspiré la mise en place volontaire de ce type de toiture, avec des technologies et matériaux qui ont beaucoup évolué depuis (Jim, 2017b). C'est la raison pour laquelle l'Allemagne fait figure d'exemple en matière de végétalisation de toitures, puisqu'elle est la première à les avoir redécouvertes.

Par la suite, architectes et urbanistes se sont penchés sur ce type d'aménagement. Le Corbusier avait intégré celle-ci dans son manifeste, « les cinq points de l'architecture moderne », publié en 1926. L'utilité du concept pour sa gestion de l'eau et son gain d'espace public compensant la perte de l'espace au sol avait été mise en avant.

Cependant, le contexte de crise économique ainsi que le début de la Seconde Guerre mondiale ne sont pas propices à son expansion, à l'exception de leur usage en tant que camouflage d'infrastructures militaires (Getter & Rowe, 2006).

Il faudra attendre les années 70 et la montée en puissance d'une conscience écologique dans les pays anglo-saxons et plus spécialement en Allemagne (F. Lassalle, 2006) pour assister au concept actuel.

Dans ce contexte international de prise de conscience des enjeux environnementaux, l'Allemagne lance une politique active pour le développement d'une pensée, de technologies et de politiques publiques environnementales (Oberndorfer et al. 2007). Celle-ci permettra l'émergence des toitures végétalisées modernes.

En France, ce n'est qu'au début des années 2000 que l'on voit émerger les premières règles professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées par l'association française des toitures et façades végétales (Adivet, 2007).

1.2 Les composants spécifiques

Ces toitures sont composées de plusieurs couches spécifiques détaillées dans la figure n°1 et qui s'ajoutent à celles qui composent les toitures classiques.

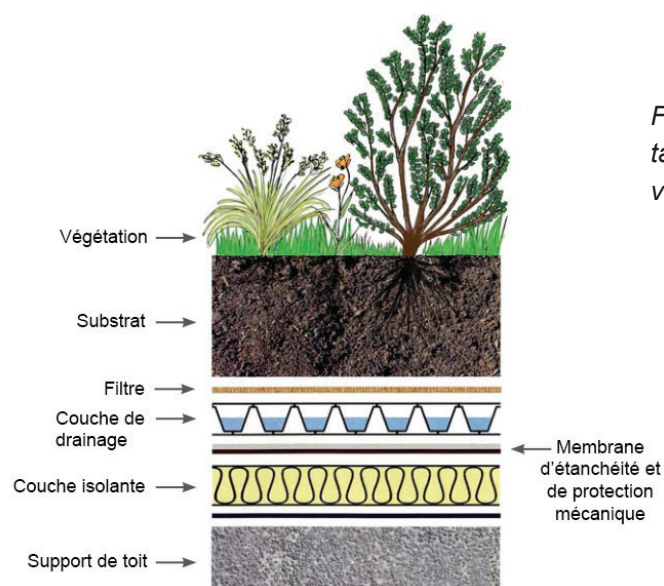


Figure n°1 : Schéma des couches types d'une toiture végétalisée. Source : (Cahier réalisé par la mairie de Paris sur la végétalisation des toits, 2012).

Le support de toit, la couche isolante et la membrane d'étanchéité sont des éléments architecturaux qui composent les toitures classiques et ne concernent pas directement les toitures végétalisées. C'est à partir de la couche de drainage que les couches spécifiques aux toitures végétalisées commencent à s'appliquer. Un filtre sépare la couche de drainage du substrat, généralement il est matérialisé par un géotextile, pour éviter que les particules fines du substrat ne bloquent le système de drainage et ne perturbent pas le bon écoulement des eaux pluviales. Enfin, la végétation constitue la dernière couche et son développement repose principalement sur le substrat ainsi que l'efficacité du système de drainage.

En ce qui concerne la couche de drainage, celle-ci vise à éliminer les excès d'eau susceptibles de causer le déclin de la végétation (Vijayaraghavan, 2016). Elles peuvent être constituées de granulats d'origine naturelle tels que du gravier ou de l'argile mais aussi de membranes synthétiques (Peiger & Baumann, 2018). Il est également possible de se passer de la couche de drainage, à condition que la pente du toit soit supérieure à 1.5 % et que le substrat soit suffisamment drainant (Peiger & Baumann, 2018).

Ensuite, le substrat joue un rôle essentiel dans le bon déroulement du concept, car il a un impact direct sur le type de végétation (Vijayaraghavan, 2016). Il est nécessaire qu'il présente certaines caractéristiques

optimales pour les plantes et qu'il reproduise idéalement un environnement naturel (Peiger & Baumann, 2018) afin de favoriser l'impact écologique de la toiture (Brenneisen, 2006). Les variations de types et d'épaisseurs de substrat favorisent l'implantation d'une plus grande diversité d'espèces (Catalano & al. 2016). Plus le substrat est épais, plus la végétation aura d'espace de stockage.

L'état et le comportement de la végétation sont le témoin de la réussite ou non de l'installation (Vijayaraghavan, 2016). Les facteurs biotiques et abiotiques imposent un choix de plantes, tout comme le type de substrat et sa profondeur.

Peiger & Baumann (2018) recommandent de privilégier des espèces sauvages indigènes et d'éviter les plantes exotiques « envahissantes » qui pourraient déséquilibrer le fonctionnement des écosystèmes locaux.

1.3 Les différentes typologies

Il existe plusieurs typologies, que cela soit pour la végétalisation de la toiture ou par rapport à sa fonction principale. En ce qui concerne le choix de la végétation importée, il sera principalement influencé par la profondeur du substrat et de la portance de la structure. Concernant ses fonctions, cela dépendra du rôle principal souhaité en termes de performance (thermique, écologique ou énergétique).

1.3.1 Les types de végétalisation

Comme mentionné précédemment, le choix du type de végétation sera influencé par la profondeur du substrat. Les entreprises de végétalisation ont développé une typologie des toitures en fonction de l'épaisseur de celle-ci. Cette classification sera largement reprise par les différents guides et publications scientifiques, comme le montre l'exemple du tableau ci-dessous.

Il présente également une synthèse des caractéristiques de ces toits selon les normes françaises.

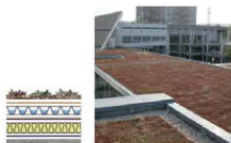
	LA VÉGÉTALISATION EXTENSIVE	LA VÉGÉTALISATION SEMI-INTENSIVE	LA VÉGÉTALISATION INTENSIVE
			
Aspect	Tapis végétal	Prairie avec relief végétal	Jardin
Types de végétalisation	Sedums, mousses, graminées, joubarde des toits, plantes grasses	Sedums, vivaces, graminées Herbacées	Herbacées, arbustes, arbres
Epaisseur du substrat	De 8 à 10 cm	De 10 à 30 cm	Supérieure à 30 cm
Charge supplémentaire	30 à 150 kg/m ²	De 150 à 350 kg/m ²	Supérieure à 800 kg/m ²
Pente maximum	30° (58%)*	30° (58%)	5%
Irrigation	Peu ou pas d'arrosage	Arrosage conseillé en été	Arrosage régulier indispensable au démarrage
Entretien	Faible (2 fois par an)	Limité (4 fois par an)	Régulier
Avantages	Adaptable à tout type de support		Meilleur impact phonique et thermique Intérêt pour la biodiversité
Accès	Non sauf entretien	Non sauf entretien	Oui
Coût moyen	De 25 à 100 €/m ²	De 100 à 200 €/m ²	De 150 à 300 €/m ²

Figure n°2 : Tableau des différentes typologies de toits végétalisés. Source : (Cahier réalisé par la mairie de Paris sur la végétalisation des toits, 2012).

Dans la littérature scientifique, les chiffres ne sont pas fixes selon les auteurs. Certains auteurs vont considérer un toit intensif à partir de 30 cm (Kotsiris et al. 2013), de 20 cm (Lee, Lee & Han 2015), ou encore de 15 cm (Berardi, GhaffarianHoseini 2014).

De même pour le type de végétation que l'on retrouve sur les toits extensifs, où vivaces, bulbeuses et ligneuses à faible développement peuvent parfois accompagner le sedum (Catalano & al., 2018).

1.3.2 Les toitures végétalisées biodiverses

L'objectif des toitures biodiverses pour la flore est de recréer un habitat qui se veut similaire à celui perdu avec la construction, en utilisant plusieurs substrats de compositions différentes sur la même toiture. Cela a pour objectif de permettre une augmentation de la richesse d'espèces susceptibles de s'implanter spontanément (Catalano & al., 2018).

L'étude Grooves, publiée en 2021 sur une trentaine de toitures d'Île-de-France, a révélé que 70 % des espèces floristiques présentes sur le toit n'avaient pas été plantées, certaines d'entre elles étant des représentantes d'espèces rares ou menacées.

Ce type de toiture se caractérise également par la présence de structures à biotopes : tas de branches, empierrements, bancs de sable ou encore flaques d'eau. Mais également par une épaisseur de substrat qui varie entre 8 et 30 centimètres, afin de créer un micropaysage et de favoriser également l'implantation de différentes espèces (Peiger & Baumann, 2018).

L'entretien se réduit au strict minimum afin de laisser la nature se développer comme elle l'entend.



Figure n°3 : Photographie de toiture végétalisée biodiverses sur les halles de Beaulieu à Lausanne.
Auteur : (Benoît Renevey, 2013).

1.3.3 Les toitures végétalisées biosolaires

La toiture biosolaire est le résultat d'une combinaison symbiotique entre des panneaux solaires et une toiture végétalisée (Catalano & Baumann, 2017). La végétation permet de refroidir les panneaux solaires photovoltaïques, ce qui augmente leur rendement de 0,08 % à 8,3 % par rapport à un toit recouvert de gravier (Lamnatou & Chemisana, 2015). De ce fait, l'ombrage provoqué par les panneaux sur la végétation, augmente la diversité des espèces pouvant s'implanter en toiture.

Cependant, la sélection des plantes et la répartition du substrat doivent être réfléchies afin d'éviter tout conflit entre la végétation et les panneaux solaires (Catalano & Baumann, 2017). De plus, une surveillance et un entretien plus conséquents dans le temps sont recommandés afin d'éviter que les plantes fassent de l'ombre aux panneaux, ce qui réduirait leur rendement.

Les toitures biosolaires permettent donc une meilleure utilisation de l'espace en toiture, en remplissant des fonctions écologiques et énergétiques (Lamnatou & Chemisana, 2015).

Figure n°4 : Photographie du toit biosolaire du Palais de Beaulieu à Lausanne. Auteur : (Aino Adriaens, 2015).



1.4 Les obstacles à sa mise en oeuvre

Bien que de nombreuses recherches démontrent l'efficacité du concept de toiture végétale, leur nombre demeure encore limité à l'heure actuelle. En effet, il y a de nombreux obstacles à la planification de ces dernières.

Plusieurs études en parlent, dont notamment celles de Getter & Rowe, 2006, Berardi & al., 2014, ou encore Zhang & He, 2021. Cette dernière datant d'il y a 3 ans, a souligné l'importance des politiques publiques en tant que moteur principal de leur mise en œuvre. Cependant, elle se heurte régulièrement à divers obstacles, qui sont divisés en quatre catégories distinctes : les obstacles techniques, les obstacles économiques, le manque de politiques publiques et le manque de volonté individuelle.

1.4.1 Techniques

Parmi les obstacles techniques, on retrouve dans un premier temps les contraintes liées directement aux caractéristiques du bâtiment et de ses environs. Cela concerne la capacité limitée de la structure du bâtiment, la pente du toit pouvant nécessiter une installation plus technique et coûteuse, ainsi que l'accessibilité pour assurer l'entretien.

Dans un second temps, ce sont les contraintes liées à un manque de connaissances / compétences de la part des professionnels du bâtiment, notamment des architectes qui vont demander l'intervention de sous-traitants et d'experts.

Dans un troisième temps, l'utilisation de matériaux de faible qualité, une mise en place et un entretien négligé ou inapproprié peuvent entraîner des catastrophes ou être à l'origine de pollutions. Cependant, ce sont généralement des erreurs qui peuvent être évitées.

Enfin, la qualité de la végétation permettant de remplir les fonctions d'une toiture végétalisée peut être une contrainte technique. Pour éviter cela, il faut que le substrat et les espèces soient soigneusement choisis. Il est également essentiel de prendre en compte les conditions locales dans sa conception.

1.4.2 Economiques

Les obstacles économiques concernent essentiellement le propriétaire à qui revient l'investissement initial pour ce type d'installation, celui-ci supporte également les frais d'entretien qui, selon les auteurs, ont souvent tendance à être surestimés.

De plus, la relation entre les coûts et les bénéfices engendrés est limitée. Effectivement, si les coûts de construction sont faciles à quantifier, le calcul des bénéfices est sujet à bien plus d'incertitudes. Certains avantages comme les gains de biodiversité ou encore la qualité de l'air sont difficilement quantifiables. Ils sont donc souvent ignorés dans les analyses coûts-bénéfices.

Pour finir, les incertitudes liées au retour sur investissement, les rendent peu attractives d'un point de vue purement économique. En effet, même avec une analyse coûts-bénéfices positive, le retour sur investissement ne peut pas être prévu avec précision et se fait souvent à très long terme (plus de 20 ans). Cela n'est donc pas forcément compatible avec les attentes du marché de la construction.

1.4.3 De politique publique

Le manque de volontés de politiques publiques est également un obstacle, car elles jouent un rôle crucial dans la dissémination des toitures végétalisées dont les performances dépendent des conditions locales. Cependant, le manque de connaissances locales sur les coûts et bénéfices de celles-ci de la part des scientifiques, du grand public et des propriétaires, associé à des préjugés négatifs, ne permet pas son bon développement.

La présence de nombreux facteurs à prendre en considération pour accroître les chances de succès d'un toit vert par rapport à d'autres technologies n'incitent pas non plus à privilégier ce type d'installation.

De plus, les politiques publiques sont généralement développées au niveau municipal, menant à une mosaïque de mesures propres à chaque région. Ce manque d'unité dans les pratiques nuit à la lisibilité. Dans la majorité des cas, les politiques publiques visent essentiellement les toitures extensives. Or, celles-ci demandent une réflexion importante lors de leur mise en place afin qu'elles soient intégrées au réseau écologique des villes, ce qui n'est pas souvent le cas et entraîne des bénéfices moindres.

Pour finir, peu d'incitations financières sont mises en place pour compenser les risques pris par les propriétaires alors que la majorité des bénéfices profitent à la société.

1.4.4 Manque de volonté individuelle

Cette dernière catégorie concerne les acteurs privés lorsque les toitures végétalisées ne sont pas obligatoires. Cependant, plusieurs facteurs influencent la motivation des propriétaires.

Premièrement, les personnes qui n'ont pas de sensibilité aux problématiques environnementales ne sont généralement pas intéressées par cette installation.

Deuxièmement, les propriétaires sont en général bien plus séduits par les avantages économiques liés aux toits verts qu'à leurs fonctions écologiques.

Troisièmement, certains acteurs privés peuvent aussi craindre l'installation de ces toitures, considérées comme une technologie récente paraissant complexe au premier abord.

Dernièrement, sur certains bâtiments, les toitures appartiennent à plusieurs copropriétaires et il est souvent difficile de convaincre la totalité de l'assemblée de partager les frais.

1.5 Les acteurs permettant sa mise en oeuvre

Il existe de nombreux acteurs impliqués dans la réalisation des toitures végétalisées et ils peuvent différer d'un projet à l'autre. Selon Peck et al. (1999), on recense les professionnels de l'architecture, de l'ingénierie, de l'étanchéité, des promoteurs immobiliers, des constructeurs, des consultants en énergie et des responsables politiques.

Zhang & He., 2021 y ajoutent les propriétaires, les régies et les utilisateurs. Selon les auteurs, chaque acteur possède ses propres motivations liées à la mise en œuvre des toits verts. Des motivations influencées par des moteurs et des barrières qui diffèrent d'un acteur à l'autre.

Il existe un intérêt commercial pour les professionnels de la construction, tandis que pour le propriétaire, son rôle sera différent suivant la politique publique qui est menée : si celles-ci sont obligatoires, son rôle est marginal, mais si elles ne le sont pas, c'est au choix du propriétaire d'en installer ou non (Mees & al., 2013). Les acteurs impliqués dans sa mise en œuvre sont généralement les mêmes, peu importe la région étudiée. Cependant, leur cahier des charges peut varier selon les législations locales, pour exemple, en Suisse et en France, ce sont les étancheurs qui ont la responsabilité de la végétalisation car ils doivent être en mesure d'assurer la bonne tenue de l'étanchéité (Peiger & Baumann, 2018).

	Acteurs	Bénéfices tirés des toitures végétalisées
1	Concepteurs	Concevoir une nouvelle façon de faire des bâtiments écologiques
2	Ingénieurs	Expérimenter la construction de toitures en théorie
3	Professionnels de la construction	Expérimenter la construction de toitures en pratique
4	Entrepreneurs	Augmenter le ratio de vente pour un point écologique
5	Gérances d'immeubles	Proposer plus d'espaces verts pour attirer les citoyens, économiser de l'énergie
6	Propriétaires	Augmenter les loyers, augmenter la durée de vie du bâtiment
7	Utilisateurs	Profiter d'espaces verts supplémentaires, alléger la charge thermique en été
8	Gouvernement	Augmenter le nombre d'emplois, amener des espaces verts supplémentaires, rafraîchir la ville, gérer les eaux de pluie, purifier l'air

Figure n°5 : Tableau des bénéficiaires suivant les différents acteurs intervenant à la mise en place de toitures végétalisées. Source : (Traduit de Zhang & He., 2021).

1.6 Les toitures végétalisées en France

En France, le concept de végétalisation extensive des toitures est apparu au début des années 90, porté par des industriels de l'étanchéité. Pendant les années 90, il a connu une croissance très lente avant de se conformer de plus en plus aux attentes de la société française à partir de 2004. Au moment de l'installation, 130 000 m² étaient occupés, contre 1,3 million de m² en 2012 (pour la grande majorité sur des constructions neuves). Cependant, de 2012 à 2017 la France connaît un ralentissement du marché qui est dû à une baisse

de qualité et à des nouvelles attentes environnementales ainsi qu'esthétiques (Adivet, 2017).

À titre de comparaison, l'Allemagne (pionnière dans le domaine) construisait jusqu'à 13,5 millions de m² de toitures par an en 2006 (Oberndorfer et al. 2007).

Depuis 2017, le marché a repris son élan et la végétalisation gagne du terrain comme l'atteste une étude internationale réalisée dans le cadre du volet français menée notamment par la Fédération Européenne des toits végétalisés (EFB). L'enquête s'appuie principalement sur les déclarations d'environ 500 entreprises de la filière (architectes, paysagistes, étanchéistes, etc.) et de 88 communes de plus de 10 000 habitants. À travers leurs témoignages, l'Adivet (Association française des toitures et façades végétales) estime que la végétalisation du bâti représente aujourd'hui un chiffre d'affaires total de 220 millions d'euros réparti entre 1 200 sociétés de 7 000 salariés.

En 2021, le nombre de surfaces végétalisées (issues en grande majorité de la construction neuve) ne représentait que 8,5 % des nouvelles surfaces étanchées. L'enquête de l'Adivet atteste néanmoins l'intérêt croissant des collectivités et des acteurs de la filière. Ces derniers parient tous sur un rythme de croissance annuelle du nombre de surfaces végétalisées d'au moins 5 %.

Au plan national, une obligation de végétalisation de toiture avait été instaurée par la loi du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages et elle fut renforcé par la loi climat & résilience du 22 août 2021 portant sur la lutte contre le dérèglement climatique et le renforcement de la résilience face à ses effets.

L'article 101, demande à végétaliser ou d'intégrer un procédé de production d'énergie renouvelable dans les cas suivants :

- Pour les constructions dites « à usage commercial, industriel ou artisanal, aux constructions de bâtiments à usage d'entrepôt (...) parcs de stationnement couverts accessibles au public, lorsqu'elles créent plus de 500 mètres carrés d'emprise au sol » ;
- Pour les « constructions de bâtiments ou parties de bâtiment à usage de bureaux, lorsqu'elles créent plus de 1 000 mètres carrés d'emprise au sol ».

La loi précise que « ces obligations s'appliquent également aux extensions et aux rénovations lourdes de bâtiments ou de parties de bâtiment ».

De plus, les documents d'urbanisme mis en place ces dernières années dans de nombreuses agglomérations tels que le SCoT (Schéma de cohérence territoriale) ou encore le PLU(i) (Plan local d'urbanisme (intercommunal)), constituent des outils essentiels pour orienter la végétalisation du bâti.

Par ailleurs, la gestion des eaux pluviales peut être encadrée par une directive locale à laquelle le maître d'ouvrage ou le propriétaire du bâtiment devra se conformer. L'aménagement d'une toiture végétalisée peut y répondre.

Enfin, la prise en considération des questions de biodiversité, de lutte contre l'îlot de chaleur urbain et/ou de santé et bien-être peut aussi amener des collectivités à publier des documents pour obliger à la végétalisation du bâti, ce qui laisse présager une augmentation des toitures végétalisées en France dans les années à venir.

2. Toitures végétalisées et services écosystémiques (SE) : Potentiels et enjeux de cette relation

Dans ce second point de l'état de l'art, l'objectif sera de définir la notion de services écosystémiques (SE) et de retracer son évolution. Une notion qui permettra une meilleure compréhension des enjeux et du rôle joué par les toitures au sein des milieux urbains.

Cette partie ciblera également les différents services écosystémiques urbains (SEU), que les toitures végétalisées sont susceptibles de rendre pour améliorer le cadre de vie des citoyens.

Cependant, pour bénéficier de ces services et plus particulièrement de ceux concernant la biodiversité, l'eau ou la pollution, le raisonnement doit s'effectuer à grande échelle. « Les bénéfices tangibles se mesurent, non pas à partir de mètres carrés, mais à partir de plusieurs milliers de mètres carrés, surface permettant d'agir sur la masse polluante, l'hygrométrie et la température ambiante. » (Ernst & Young, 2009).

Enfin, parmi ces services écosystémiques mentionnés, seuls ceux concernant les toitures végétalisées non accessibles au public sont cités afin de cibler au mieux les objectifs de ce mémoire. Dès lors, certains ne sont pas présents, notamment ceux liés à la production provenant de l'agriculture urbaine. De même que ceux liés aux services culturels, faisant référence à la présence d'un nouvel espace de vie.

2.1 L'émergence de la notion de SE

La première mention des SE est apparue dans les années 70, notamment lors de la conférence de l'ONU (Organisation des Nations Unies), qui a eu lieu à Stockholm en 1972. L'objectif de cette approche était de mettre en évidence le fait que la planète dispose de nombreuses ressources, mais qu'un nombre significatif d'entre elles sont limitées. Il est donc important de veiller à ne pas atteindre ces limites qui dépendent des activités humaines.

Par la suite, des textes internationaux vont populariser cette notion, notamment la Convention sur la diversité biologique qui a été adoptée suite au Sommet de la Terre à Rio en 1992. Celle-ci va alors susciter une réelle prise de conscience concernant les intérêts économiques et sociaux de la biodiversité.

En 1997, elle désigne les bénéfices que des populations humaines tirent, directement ou indirectement, des fonctions des écosystèmes (Costanza et al., 1997).

En 1999, des auteurs vont alors se pencher sur cette notion au sein des milieux urbains en utilisant le terme « service écosystémique urbain ou SEU », qui apparaît notamment dans les travaux de Bolund et de Hunhammar (Bolund et al., 1999). Ils désignent « les services qui sont directement produits par les structures écologiques dans les zones urbaines ou des régions périurbaines » (Luedertiz et al., 2015).

Enfin, en 2005, à la suite du Millennium Ecosystem Assessment (une étude de très grande ampleur dirigée par l'ONU), les liens de dépendance entre le développement humain et la biosphère seront démontrés.

Cette étude regroupant des milliers de chercheurs va ainsi permettre aux différents gouvernements de mieux prendre en compte l'environnement dans la prise de décision, notamment grâce à la Plateforme IPBES (plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques).

Les SE et SEU seront définis lors de cette étude comme étant :

« Les services écosystémiques sont les bénéfices que les hommes obtiennent des écosystèmes » et sont classés en 4 catégories (services de régulation, services culturels, services de soutien/support et services de production).

Services de Support/Soutien	Services de Production	Services de Régulation	Services Culturels
• Cycle de la matière • Cycle de l'eau • Formation des sols • Conservation de la biodiversité	• Alimentation • Eau • Fibres • Combustible • Ressources génétiques • Produits biochimiques et pharmaceutiques	• Du climat • De la qualité de l'air • Des flux hydriques • De l'érosion • Des maladies • Des parasites • De la pollinisation • Des risques naturels	• Valeurs spirituelles et religieuses • Valeurs esthétiques • Récréation et écotourisme

Figure n°6 : Tableau de synthèse des différents types de services écosystémiques.
 Source : (Commissariat Général au Développement Durable - CGDD, 2010).

2.2 Le rôle des toitures dans la production de SE en milieu urbain

En France, environ 80 % de la population réside en milieu urbain (INSEE, 2020), ce qui entraîne une augmentation des surfaces artificielles au détriment des milieux environnants moins anthropisés. Ce développement diminue la superficie des zones naturelles, agricoles ou forestières à proximité de ces milieux urbains (L'EFESE, 2019). Parallèlement, des écosystèmes appelés espaces de nature en ville sont présents et sont fortement influencés par le contexte urbain. Ces espaces de nature prennent des formes très diverses selon leurs tailles et leurs degrés de naturalité ou d'artificialité : bois, milieux humides, potagers, squares privés, etc. Selon l'Atlas urbain européen, la superficie de ces espaces naturels diminue considérablement dans les zones denses, cependant ces écosystèmes offrent de nombreux services aux habitants des villes, ce qui entraîne une augmentation de la demande citadine pour certains.

Face à cette situation, les politiques et acteurs urbains sont à la recherche d'innovations. L'objectif est de concilier la densification urbaine et les espaces de nature indispensables à l'amélioration du bien-être des citadins, à leur protection face aux risques naturels ou encore à l'atténuation du changement climatique.

Parmi ces recherches, l'utilisation des toitures représente une opportunité pour reconquérir des surfaces sous-exploitées, notamment au sein des zones denses. Celles-ci constituent jusqu'à 32 % de la surface horizontale d'une ville et peuvent permettre la création de services en étant converties en espaces de renaturation (L'EFESE, 2019). Toutefois, l'installation de couverts végétaux ne doit pas exploiter les espaces naturels présents au sol, mais plutôt les accompagner. Selon UrbaLyon (2018), la connexion entre ces deux types d'espaces va favoriser l'amélioration du cadre de vie, le bien-être des habitants des villes et la mise en valeur des services écosystémiques en milieu urbain.

2.3 Toiture végétalisée - Service de régulation

Comme expliqué précédemment, l'Évaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire (MEA) distingue quatre catégories de services. Parmi ces catégories, on retrouve ceux dits « de régulation ». Ils assurent le maintien de la qualité de l'air et du sol, la maîtrise des inondations et des maladies ou encore la pollinisation des cultures. Souvent invisibles, ils sont de ce fait considérés pour la plupart comme allant de soi. Quand ils sont altérés, les pertes qui en résultent peuvent être importantes et difficiles à compenser (FAO). Les recherches et études scientifiques ont permis d'éclaircir le rôle que pouvaient avoir les toitures végétalisées sur ce type de service.

2.3.1 Une solution face aux îlots de chaleur urbain

De nombreuses villes connaissent des températures plus élevées que les zones semi-urbaines ou non-urbaines qui les entourent. Ce phénomène est appelé effet d'îlot de chaleur urbain. Celui-ci participe à une augmentation de la consommation énergétique, favorisant l'émission, la formation de gaz polluants et de gaz à effets de serre. Ces différents gaz entraînent des effets délétères sur la santé humaine et agissent parfois sur la qualité de l'eau (Hirano & Yoshida 2016; Vargo et al. 2016).

Les îlots de chaleur sont dus à deux facteurs principaux : l'activité humaine et l'imperméabilisation de l'espace. Les surfaces de couleur foncées présentes en ville, agissent comme des capteurs solaires qui renvoient les rayonnements infrarouges, entraînant une hausse de la température.

Une grande partie de l'énergie lumineuse qui frappe ces surfaces est renvoyée dans l'atmosphère, il s'agit de l'albédo, tandis qu'une autre partie est absorbée par les surfaces, cette énergie est alors relâchée la nuit sous forme de rayonnement infrarouge. Ce phénomène est nommé « rue canyon », la chaleur se trouvant piégée entre les constructions (Qin et al., 2019).

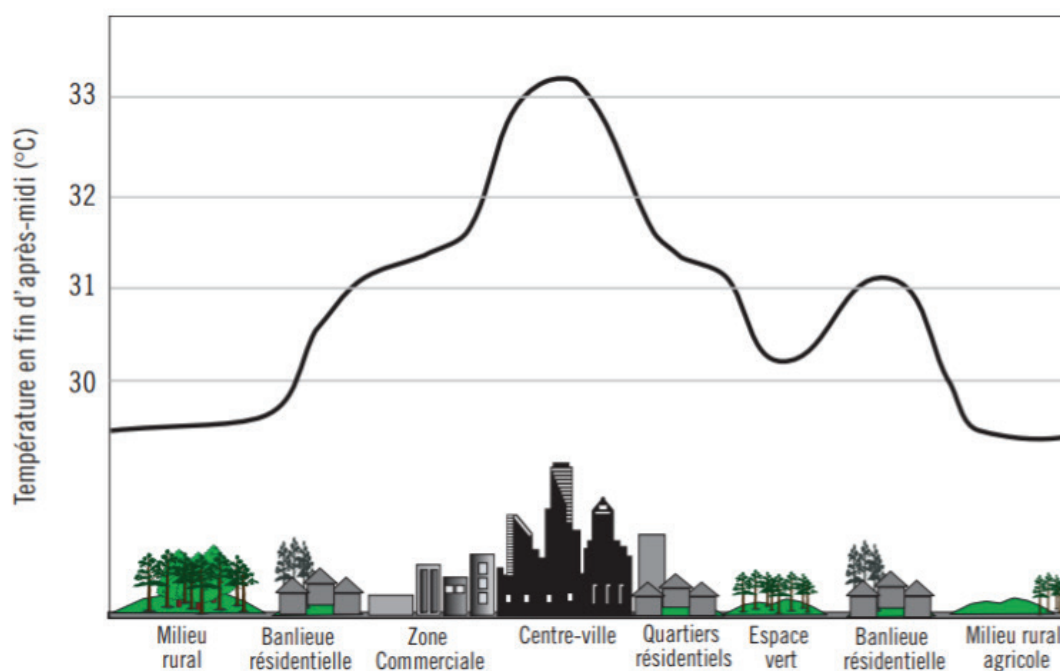


Figure n°7 : Profil d'un îlot de chaleur urbain. Source : (Ressources naturelles du Canada, 2007).

La végétation urbaine, en particulier les toits végétalisés pourrait avoir un impact sur la température de différentes manières :

- Elle permettrait la diminution des surfaces artificialisées exposées aux rayonnements solaires. La végétation ne stockant pas l'énergie solaire, celle-ci ne participe donc pas au phénomène de « canyon urbain », de plus, la végétation intercepte les rayonnements lumineux indirects réfléchis par les façades des bâtiments.
- Elle permettrait également une baisse de la température grâce au phénomène d'évapotranspiration des plantes. En effet, la libération de la vapeur d'eau par la plante rafraîchit l'air ambiant.

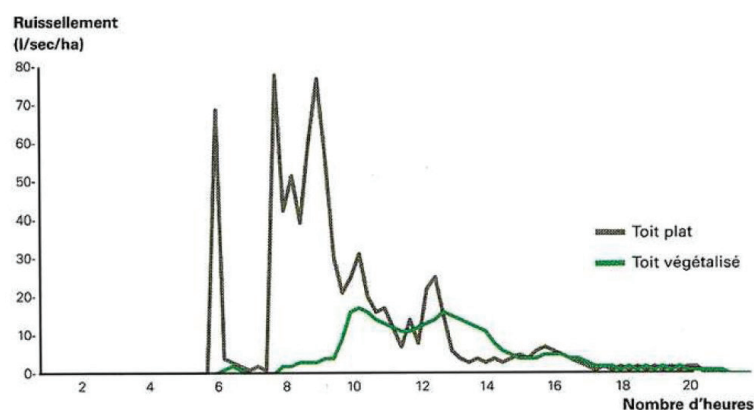
Concernant les études réalisées sur l'impact des toitures végétalisées face à ce phénomène d'îlot de chaleur, il est possible de citer celle notamment de Ouldboukhitine et al. (2014). Réalisée à La Rochelle (France) qui a mis en avant la végétalisation de plusieurs blocs simulant des bâtiments (modélisation numérique à l'échelle 1/10) grâce à un substrat de 8 cm et des espèces de Sedum, la présence du système de végétalisation a permis une réduction moyenne de 0,8 °C entre ces blocs. Les auteurs en concluent que l'installation de toits végétalisés sur plusieurs bâtiments peut avoir un effet positif sur l'air ambiant des rues adjacentes.

2.3.2 Réduction du ruissellement des eaux de pluie

La gestion de l'eau en milieu urbain est une problématique importante aujourd'hui, car la pression de l'urbanisation entraîne la densification des villes et l'imperméabilisation des sols. Cela provoque alors un surdimensionnement des réseaux d'assainissement et l'augmentation des risques d'inondations. Les eaux de pluie tombant sur les toits conventionnels représentent 15 à 35 % des eaux de pluie se déversant dans les réseaux d'assainissement, ce qui contribue à leurs engorgements. (Eranthis, 2012).

À ce constat, s'ajoutent les effets du réchauffement climatique qui a pour conséquence dans notre pays un raccourcissement des périodes de pluie pour une même quantité. Un phénomène provoquant de plus en plus d'inondations importantes dues à l'insuffisance des réseaux mis en place (Jan van Oldenborgh et al., 2016).

Pour atténuer ces effets, le concept de toit végétalisé permet de limiter le ruissellement pluvial grâce à deux fonctions : la détention et la rétention d'eau.



- La détention d'eau (figure 8), représente la capacité de la toiture à détenir temporairement l'eau de pluie et à la faire ruisseler progressivement. L'objectif recherché est de soulager les canalisations en diminuant et décalant le pic d'intensité par rapport aux toitures nues.

Figure n°8 : Graphique des ruissellements sur un toit plat conventionnel et un toit végétalisé extensif sur une période de 22 h.

Source : (Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies en Île-de-France - ARENE, 2008).

- La rétention d'eau (figure 9), contrairement à l'eau détenue, ne ruisselera pas et n'atteindra donc jamais les canalisations. Les plantes stockent et utilisent cette retenue. Elle est aussi employée lors de l'évapotranspiration provoquée par la chaleur ambiante, qui représente environ 30 % de l'eau stockée. Cette fonction réduit de plus d'un tiers l'eau à évacuer dans les canalisations lors de fortes pluies (Ecovégétal).

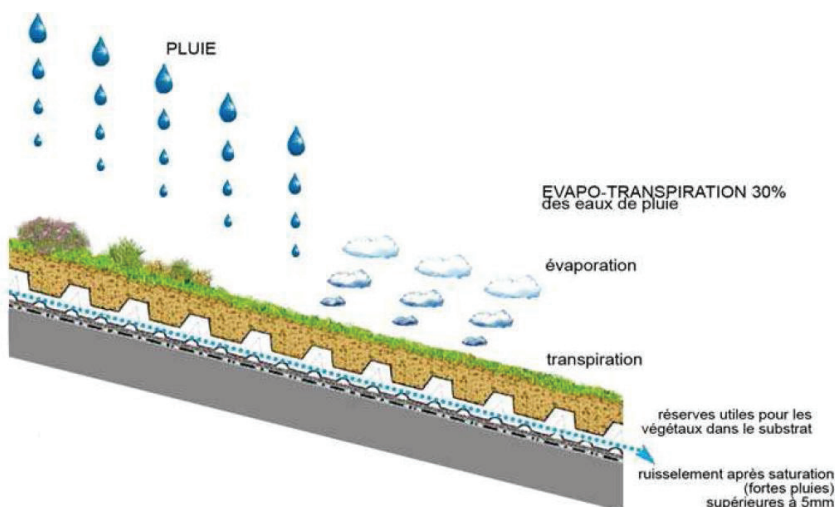


Figure n°9 : Schéma explicatif du rôle de rétention des eaux des toits végétalisés. Source : (Ecovégétal, 2005).

2.3.3 Amélioration de la qualité des eaux de ruissellement

Ce SE n'est pas le premier qui vient à l'esprit lors de la mise en place de toitures végétalisées. L'étude de Gomes et al. (2016) met en avant le rôle de diverses plantes permettant d'améliorer la qualité de l'eau par phytoremédiation par rapport à un toit nu. Tandis que celle de Berndtsson et al. (2006) souligne le fait que la pluie ruisselant d'une toiture verte soit de meilleure qualité que la pluie ruisselant d'un toit « classique ». Cependant, elle reste chargée en polluants qui proviennent très souvent du type d'entretien effectué, impliquant l'ajout de matière organique, qui est un émetteur de pollution.

La « fiabilité » de ce service rendu dépendra essentiellement de l'entretien appliqué aux toits, des matériaux de construction et aussi de la végétation. En effet, le choix des espèces de plantes peut modifier les concentrations de polluants suivant les interactions qu'elles peuvent avoir avec le substrat (Beck et al. 2011).

2.3.4 Amélioration de la qualité de l'air

La ville, en tant que zone de forte densité de population et d'activité doit faire face à un enjeu au niveau de la qualité de l'air. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS 2006) recense dans ses lignes directrices relatives à la qualité de l'air plusieurs polluants nocifs pour la santé, à savoir l'ozone (O₃), le dioxyde d'azote (NO₂), le dioxyde de soufre (SO₂) et les particules en suspension de différents diamètres (PM).

À partir de ce constat, plusieurs auteurs ont réalisé des études pour déterminer les bienfaits sur la qualité de l'air.

Tout d'abord, Banting et al., (2005) ont montré l'effet positif mais indirect que peuvent avoir les toitures végétalisées sur la qualité de l'air grâce à la réduction des îlots de chaleur urbains. Selon lui, si Los Angeles était rafraîchie de trois degrés, ces émissions d'oxydes d'azote (précurseurs d'ozone) seraient diminuées de 25 % en raison de la diminution de la climatisation.

Ensuite, Currie & Bass, 2008, à travers l'étude de plusieurs scénarios développés sur la ville de Toronto, ont mis en avant une amélioration de l'air et notamment la diminution des PM10 (poussière en suspension). Les toits verts agissent comme un piège pour les différents polluants et particules fines.

Enfin, l'Association française des toitures et façades végétales (ADIVET) a réalisé également une étude sur l'impact de celles-ci concernant la purification de l'air. Le phénomène de rosée, qui se produit lorsque l'humidité de l'air augmente et génère de petites gouttelettes, capture les poussières et les particules fines présentes dans l'air, comme les métaux lourds ainsi que les composés azotés. Ce sont la microfaune et la végétation du toit qui absorbent ces particules. Cela a permis de constater une diminution de plusieurs polluants à proximité de toits végétalisés.

2.3.5 Protection thermique des bâtiments

L'intérêt de la mise en place de toitures « vertes » est également bénéfique pour les bâtiments d'un point de vue énergétique. Celles-ci permettent grâce à l'ombrage et à l'évapotranspiration produite par la végétation, de réduire les flux de chaleur entrants et sortants. Ainsi, cela permet de conserver une certaine fraîcheur au sein des édifices qui en sont équipés.

L'étude de Dominique et al., 2014 a montré qu'un toit extensif composé d'un substrat de 10 cm et d'une végétation de Sedum à Saint-Pierre (Île de la Réunion) pouvait réduire la température d'un bâtiment de 5 à 7 °C. Cela corrobore les résultats d'autres recherches qui montrent, d'une part, une économie d'énergie dans le bâtiment avec l'augmentation de l'épaisseur du sol (Wong & Cheong à Singapour, 2003). D'autre part, que les toits verts ont un albédo bien supérieur aux toits courants : 0,23 contre 0,1 pour ces derniers (Lazzarin et al., 2005).

En revanche, à La Rochelle (France), Ouldboukhitine et al. (2014) mettent en évidence que les résistances thermiques supplémentaires provenant des éléments du toit vert ont un impact plus important sur les besoins en chauffage lorsque le climat est froid. Ainsi, cette hausse de la résistance thermique permet de diminuer les dépenses énergétiques pendant l'hiver dans les pays où le climat est plus froid.

2.3.6 Protection phonique et acoustique

Autre intérêt apporté au bâtiment accueillant ce type d'installation, l'isolation phonique et acoustique. Connelly et Hogdson (2008) ont montré qu'un toit de substrat de 15 cm planté de Sedum pouvait réduire de 5 à 13 dB les basses et moyennes fréquences (50-20000 Hz), et de 6 dB les hautes fréquences.

Par la suite, ces mêmes auteurs ont testé en 2015, l'effet que la profondeur (5 et 20 cm) du substrat (6 substrats variés) et des communautés (Sedum, herbacées variées, graminées) pouvaient avoir sur ces mêmes performances. Ils ont démontré une augmentation de l'absorption du son avec l'augmentation de la profondeur du substrat, l'augmentation du pourcentage de matière organique dans le substrat, mais aussi suivant la couverture végétale présente. En revanche, aucun effet sur l'isolation phonique n'a été observé par rapport au type de végétation choisi.

Dans ce contexte, la mise en place de végétation sur les toitures possède un effet positif, si toutefois elles se situent au-dessus de bâtiments de faible hauteur et exposés au son urbain (Yang et al. 2012).

2.3.7 Protection de la membrane d'étanchéité

Au-delà de la conservation d'énergie, de la protection phonique et acoustique, ce type d'installation possède un impact sur la durée de vie d'une toiture. Selon l'ADIVET et le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), leur végétalisation contribue à la durabilité du bâti, en limitant l'exposition de la membrane d'étanchéité aux températures extrêmes et aux importantes fluctuations de températures. Le caractère isolant de celle-ci permet de réduire les chocs thermiques, réduisant ainsi l'amplitude thermique de 40 à 50 °C, ce qui limite la dégradation.

L'expérience d'une usine à Zurich, dont le toit a été végétalisé sur une surface de 3 ha en 1914, confirme cet argument : 90 ans plus tard, aucun travail de réfection n'a dû être mené sur le système d'étanchéité de la toiture, ce qui correspond à une durée de vie plus de 5 fois supérieure à la garantie de 15 ans définie initialement par les professionnels (Ernst & Young et Associés, 2009).

2.4 Toiture végétalisée - Service de soutien

Le concept de végétalisation de la toiture joue également un rôle au niveau des services de soutien. Ils sont le fondement de tous les écosystèmes et comprennent la fourniture d'un espace de vie aux végétaux, aux animaux, la préservation de la diversité des espèces végétales et animales (L'Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO)).

2.4.1 Support pour la biodiversité et la pollinisation

Les toits conventionnels non végétalisés ont une contribution quasi nulle au niveau de la biodiversité. Leur végétalisation peut créer de nouveaux espaces refuges, de protection de la faune et de la flore en milieu urbain (Brenneisen, 2003).

Les différences de hauteurs des bâtiments jouent un rôle important. La végétalisation des toitures sur les bâtiments ayant moins de 6 étages permet une certaine continuité avec la végétation présente au sol (arbres d'alignements, parcs, jardins, bandes plantées) et crée ainsi de nouvelles connexions dans la trame verte urbaine (APUR, 2013).

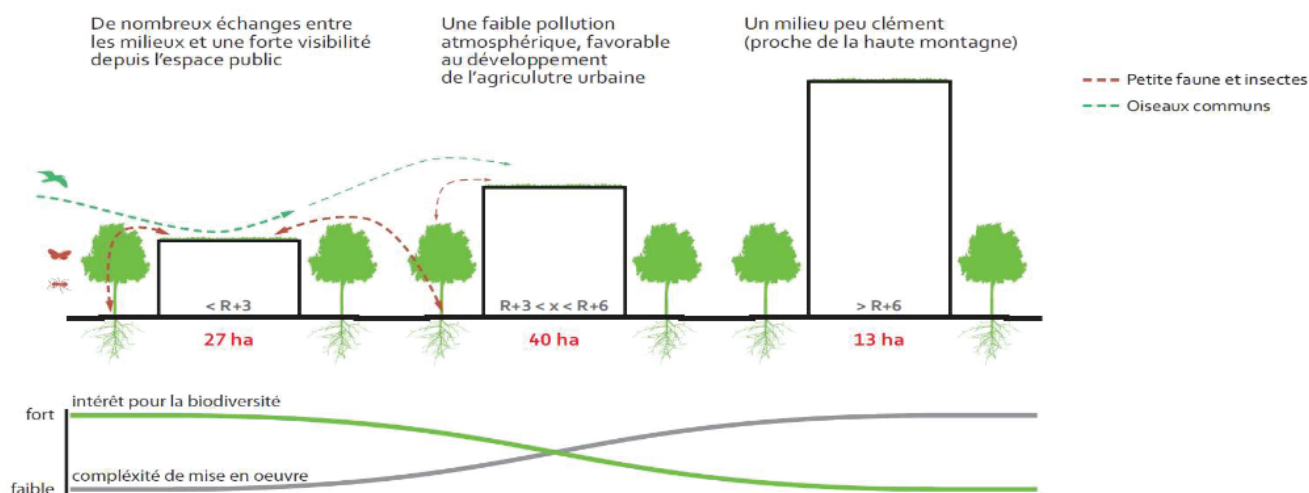


Figure n°10 : Schéma explicatif sur les principes d'échanges entre les milieux au sein de la trame verte urbaine.
Source : (APUR, 2013).

De plus, la diversité des refuges ainsi proposée par ces toits est d'autant plus grande qu'en fonction de l'épaisseur du sol, celui-ci ne possède pas les mêmes essences végétales, incitant encore davantage à une pluralité de milieux.

Cependant, pour certaines espèces, ils peuvent devenir des pièges écologiques selon leur proximité et leur accessibilité entre eux (LEE, Kate E & Kathryn J H Williams, 2014). D'où l'importance d'une mise en réseau des espaces végétalisés à travers le tissu urbain, qui définirait un ensemble d'espaces refuges connectés, précieux pour la faune.

Enfin, plusieurs éléments faciles à implanter peuvent permettre de rendre ces espaces plus accueillants pour la faune et la flore et ainsi d'accroître le service rendu, notamment l'utilisation d'un substrat local afin d'offrir des minéraux adaptés aux plantes accueillant la faune de la région. L'hétérogénéité d'épaisseur de substrat entre les espaces permettant une variation des zones, entraînant une diversification des milieux. La mise en place de pierres, de bois morts et d'éléments naturels afin de recréer des abris (Agence régionale de la biodiversité, 2019).

L'exemple de la toiture de l'usine à Zurich créée en 1914, déjà cité précédemment, est représentatif de ce support à la biodiversité et à la pollinisation. On y retrouve la présence de 175 espèces végétales, dont 9 espèces d'orchidées considérées comme rares ou menacées dans cette partie de la Suisse. La présence d'oiseaux couvant au sol dont leurs nids furent retrouvés dans la végétation du toit a également été observée. Ce toit est donc devenu un véritable refuge pour la sauvegarde des espèces des prairies humides de la région (Ritte et al., 2000).



Figure n°11 : Photographies des toits végétalisés de la station de filtration d'eau du lac Moos à Zurich.

Source : (Land8).

2.5 Toiture végétalisée - Service culturel

Pour finir, le concept de toit végétalisé apporte une valeur esthétique qui appartient à la catégorie des services culturels. Ils sont définis comme les avantages immatériels que les populations obtiennent des écosystèmes. Ces services regroupent notamment l'inspiration esthétique, l'identité culturelle, le sentiment d'appartenance et l'expérience spirituelle liés à l'environnement naturel. Ils font fréquemment partie des principales valeurs que les populations associent à la nature (FAO).

2.5.1 Apport d'une valeur esthétique

L'aspect visuel est un critère très important pour expliquer son achat (Adivet 2014). La valeur esthétique et culturelle des surfaces végétalisées prend tout son sens si ces espaces sont visibles. En plus de leur aspect esthétiques, les toits verts ont un puissant impact social : ils contribuent à rendre le cadre de vie moins stressant, plus calme en apportant un équilibre et une harmonie entre l'urbanisme et la nature.

Au Royaume-Uni, à l'aide de photos présentées à un panel de personnes, des auteurs ont observé une préférence plus grande de la part de la population pour les toits composés d'une végétation de type prairie par rapport à un toit nu. À l'inverse, les toitures de Sedum et engazonnées n'étaient pas perçues différemment des toits nus (White et Gatersleben, 2011).

De même, en Australie, à partir de photos, on retrouve une préférence de la part de la population pour des toitures végétalisées comparées aux toits nus. En revanche, les préférences étaient plus grandes lorsqu'il y avait une diversité de végétation et de couleurs, comparées aux plantes à faible développement telles que les Sedum (Lee et al. 2014).

3. Répercussion des processus anthropiques sur l'écosystème côtier

Cette dernière partie de l'état de l'art a pour objectif de cerner les enjeux écologiques et d'identifier le rôle que peuvent jouer les toitures végétalisées au sein des territoires littoraux.

Pour répondre aux objectifs, il est nécessaire de définir le littoral et de mettre en évidence l'évolution de la perception des zones côtières. Par la suite, une attention particulière sera accordée à l'identification des pressions, à la répartition de ces pressions dans l'espace et aux conséquences à long terme sur le paysage côtier. Ces connaissances permettent de contribuer à une gestion plus efficace afin de concilier au mieux protection de la biodiversité et activités économiques (Richardson et al., 2006).

3.1 Présentation et évolution du littoral Français

Tout d'abord, le terme « littoral » n'est apparu en France qu'au XVIII^e siècle. Auparavant, on le désigne comme « bord », « rivage » ou encore « côte » (Bavoux, 1998). Il représente, d'après Michel Desse, professeur de géographie humaine des littoraux à l'université de Nantes : « une zone d'interface entre la terre et la mer ou l'océan qui fluctue en fonction de la journée, des marées, des saisons ou des événements climatiques comme la submersion marine ». Cependant, il n'existe pas de définition unique du littoral ou de l'espace littoral. Selon la discipline exercée, il découle de multiples façons de décrire ou de concevoir celui-ci. Suivant les zones, il peut s'élargir à l'intérieur des terres en fonction des activités (zone portuaire – station balnéaire) sur plusieurs kilomètres ou bien être brusque et net (Gérard Le Bouëdec, 1998).

La France est le deuxième domaine maritime mondial (97% est ultra-marin) et une loi concernant ces littoraux (la loi Littoral) est promulguée le 3 janvier 1986. Celle-ci a pour objectif de préserver les écosystèmes côtiers, tout en contrôlant le développement des activités économiques et les aménagements durables. Face à la pression urbaine, aux phénomènes d'érosion ou de submersion marine, elle tente de concilier préservation et développement (la fondation Tara Océan, 2023).

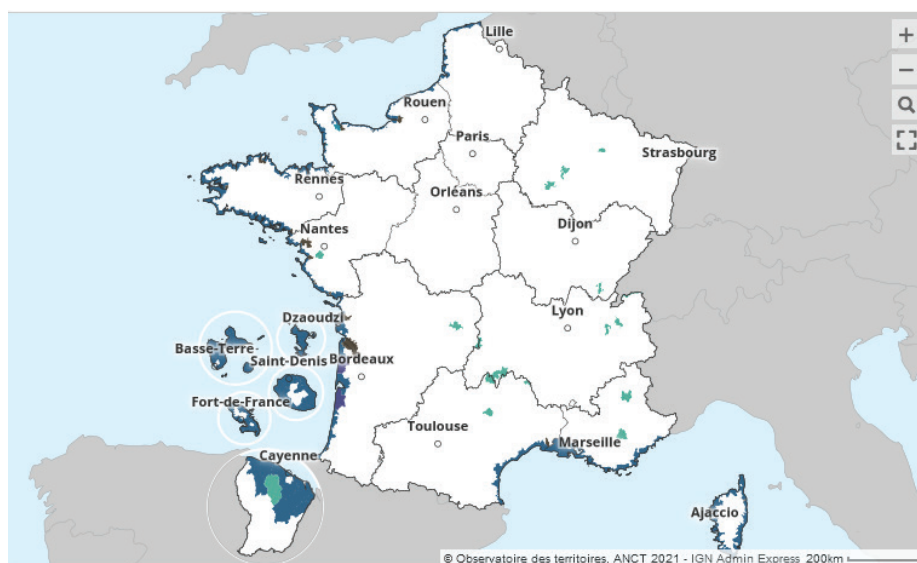


Figure n°12 : Carte interactive des communes soumises à la loi Littoral. Source : (Observatoire des territoires, 2021).

Cette loi intervient dans un contexte qui a vu, à partir des années 70, un accroissement du tourisme sur les côtes en Europe avec la création de stations balnéaires et touristiques. Ces zones, popularisées par les touristes, deviennent petit à petit de véritables villes animées.

Toutefois, celles-ci n'ont pas toujours été très populaires auprès de la population. En effet, les zones côtières sont perçues pendant longtemps comme des terres sauvages, incontrôlées, mal connues et redoutées. Les riverains ont la réputation d'être des naufrageurs, massacreurs, pillers. Ce sont des territoires dont les seigneurs se sont appropriés les rivages et qui échappent à l'autorité de l'État.

Ce n'est qu'à partir des XVII^e et XVIII^e siècles que l'État se les attribue en encadrant ces populations. Les régions côtières sont maîtrisées et se retrouvent au cœur de la dynamique du développement des pays européens. Ce nouveau regard de l'État implique la militarisation du littoral avec la mise en place des fortifications et des ports-arsenaux pour résister aux opérations de débarquement et aux agressions. En ce qui concerne le commerce maritime, les ressources sont largement issues des zones côtières. L'économie agricole ou agro-maritime fournit l'essentiel des céréales, des vins, des sels et des poissons.

Il faudra attendre le XIX^e siècle et plus particulièrement vers les années 1850 pour voir apparaître « une révolution des zones côtières ». Elles sont au cœur du processus de désenclavement planétaire. Ce sont des frontières soumises au rythme saccadé des conflits européens, mais avant tout des zones de contact, d'interface, d'impulsion économique.

La révolution technologique transforme les activités para-maritimes ou industrielles qui sont installées dans les villes-portuaires. Les arsenaux et ports de commerce deviennent très souvent de gros centres industriels de haute technologie appelés aujourd'hui « zones industrialo-portuaires ». Ce processus d'industrialisation se traduit par un gonflement des effectifs ouvriers au sein des villes portuaires.

Ces différents changements entraînent des conséquences lourdes, car elles remettent en question le modèle de la zone côtière en tant qu'espace vécu. L'effondrement des petits ports, la quasi-disparition des trafics de cabotage entraînent un décrochage entre l'économie locale et l'activité maritime. Une situation renforcée également par la recomposition des aires de collecte par le chemin de fer.

À la suite de cela, durant la première moitié du XX^e siècle, les zones côtières françaises connaissent une destruction massive due aux différents conflits vécus. La majorité des villes portuaires devenues grâce à leur évolution un espace stratégique et primordial, se retrouvent en ruine. C'est donc à partir des années 1950 que l'on assiste à une reconstruction de celles-ci.



Figures n°13 et 14 : Photographies aériennes des dégâts causés par les bombardements de la Seconde Guerre mondiale à Dunkerque (à gauche, SIRPA / ECPA-France) et Lorient (à droite, Archive communale).

De 1950 à 1970, l'État intervient sectoriellement, mais cherche essentiellement à développer les complexes industrialo-portuaires et à placer la France dans le contexte économique mondial.

Cependant, à partir des années 70, l'essor touristique et la désindustrialisation vont prendre une nouvelle direction. Ces régions prisées gagnent en popularité et l'activité touristique s'intensifie progressivement, ce qui entraîne l'apparition du tourisme de masse. Pour accueillir ces nouvelles vagues de touristes, de grandes stations balnéaires vont être construites (Gérard Le Bouëdec, 1998).

Aujourd'hui, ce phénomène continue de s'intensifier et l'affluence pendant l'été demeure significative, ce qui fait des côtes la principale destination touristique (DGE, 2021). En outre, 3,2 millions de résidences secondaires sont recensées en France, dont 40 % se situent sur les côtes (INSEE, 2023).

En parallèle, on observe également un changement de comportement de la population, qui, en raison du dynamisme économique et de la forte attractivité des littoraux, décide de s'y installer. Les communes hébergent près de 8 millions de résidents avec une densité de population de 285 hab./km², soit 2,5 fois supérieure à la moyenne. Une dynamique démographique qui ne devrait pas s'essouffler dans les années à venir, selon un scénario réalisé par l'INSEE (projection de population 2007-2040).



Figure n°15 : Photographie de l'affluence sur la digue de Dunkerque en juillet 2022. Source : (La Gazette, 2022).

3.2 Pression anthropique et littoralisation

Afin de mieux appréhender aujourd'hui ces espaces maritimes, il est important d'identifier les pressions anthropiques et leurs impacts. Les activités humaines apportent de façon générale une consommation des ressources naturelles et un changement dans le fonctionnement des écosystèmes qui les entourent. (Bennett et al., 2005 ; Carpenter et al., 2006).

Les pressions anthropiques sont des perturbations d'origine humaine directes ou indirectes sur les milieux naturels. Elles sont associées à ce que l'on appelle des « drivers ». Ce sont des « facteurs d'origine naturelle ou anthropique qui causent directement ou indirectement des changements dans un écosystème » (MEA, 2005). Ils entraînent une vulnérabilité et/ou une altération du paysage.

Dans le cadre d'un processus de protection et de préservation des espaces côtiers, les drivers jouent un rôle primordial. Ils sont considérés comme des évolutions structurelles (économiques et sociales) qui influencent la dynamique des littoraux (Balestrat et al., 2010).

Ils sont généralement séparés en deux catégories. Les facteurs directs qui influencent directement l'écosystème côtier et les facteurs indirects qui fonctionnent de façon plus diffuse en modifiant un ou plusieurs facteurs directs (Nelson et al., 2006). Ces derniers sont principalement des processus physiques, biologiques ou chimiques.

3.2.1 Facteurs directs entraînant ces phénomènes

- Le changement climatique

Le réchauffement planétaire est un élément important à prendre en compte pour la gestion du littoral. Ces milieux sont fortement soumis aux aléas climatiques et à des risques potentiels liés à la submersion, aux tsunamis, à l'érosion. Le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat, institué en 1988 par l'ONU) affirme que le changement climatique va « sensiblement amplifier ce potentiel de risque ». La montée des eaux, l'augmentation des températures ou encore la modification des courants marins induisent une vulnérabilité de plus en plus forte sur ces espaces (submersion, recul du trait de côte...).

- La pollution

C'est un driver direct complexe à analyser tant il a d'aspects, d'origines et d'impacts variés. Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (UNEP) affirme que « plus de 80 % de la pollution des mers proviennent de la terre via les fleuves ou par ruissellement et déversement à partir des zones côtières ». Les 20 % restants sont attribués aux activités en mer (rejets d'hydrocarbures, pertes accidentelles de cargaison, etc.). De plus, 10 % des 260 millions de tonnes de matière plastique produites par an se retrouvent dans les océans, ce qui a un impact direct sur les écosystèmes marins (Angelidis & Kamizoulis, 2005 ; Vikas & Dwarakish, 2015).

- Les invasions biologiques

Les invasions biologiques signifient l'introduction d'organismes étrangers hors de l'aire de répartition naturelle. Ces taxons peuvent remplacer les espèces originelles, modifier la structure de la communauté et donc la chaîne trophique ainsi que les richesses fonctionnelles de l'écosystème (Lowe et al., 2000 ; Morand, 2004). Le phénomène d'invasion est naturel, mais fortement amplifié par les activités humaines. Les invasions biologiques peuvent être volontaires, notamment par l'aquaculture, mais surtout via le transport maritime (Molnar et al., 2008).

Une étude réalisée sur les eaux de ballast de 186 bateaux en mer du Nord a permis d'identifier 257 espèces (allant des foraminifères aux poissons) et dont 57 % des espèces n'étaient pas natives de la mer du Nord (Gollasch, 2006).

Les invasions biologiques peuvent également provenir des changements climatiques, ce qui modifie les écosystèmes marins. Par exemple, l'augmentation de la température des eaux océaniques favorise le déplacement et l'implantation durable d'espèces exotiques au détriment d'espèces locales (Zenetos et al., 2005).

3.2.2 Facteurs indirects entraînant ces phénomènes

- L'évolution démographique

La croissance urbaine est un des principaux facteurs de dégradation marine (Wolff, 2000) et côtière (Lotze et al., 2006 ; Lotze, 2010). Le contexte mondial de forte densité humaine sur le littoral est vérifié sur de nombreuses côtes européennes et ce phénomène est loin de s'enrayer. En effet, on constate plutôt une accélération continue et rapide de l'aménagement de l'espace littoral, essentiellement provoquée par les secteurs résidentiels, récréatifs et touristiques (Airoidi & Beck, 2007). En Europe, les densités de population de ces régions sont en moyenne 10 % supérieures à celles de l'intérieur des terres. Cependant, dans certains pays, ce chiffre peut s'élever à 50 % (Eurostat, 2010). Dans de nombreuses régions, la population côtière correspond au moins à cinq fois la densité moyenne en Europe (Collet, 2010a).

Les superficies artificielles (routes et zones d'habitats en premier lieu) dans ces zones ont augmenté dans la plupart des pays européens, entraînant une perte de 50 à 80 % de la surface des zones humides et herbiers marins (Hartig et al., 1997 ; Airoidi & Beck, 2007). L'Observatoire du littoral complète ces données : « Les surfaces artificielles se sont étendues de 190 km² par an entre 1990 et 2000 ». Le passage de l'état naturel des sols à l'urbanisation et au développement d'infrastructures étant irréversible, ces évolutions constituent l'une des principales menaces envers les zones côtières.

- L'attractivité économique

La croissance des échanges internationaux et l'évolution des modes de consommation, en particulier grâce à la mondialisation, ont un impact indirect sur les écosystèmes.

L'attrait économique de ces zones conduit à la création d'industries, en particulier les sites industrialo-portuaires, ou encore d'entreprises qui peuvent satisfaire les besoins de la population (consommation, emploi, loisirs). Le phénomène de littoralisation implique une multiplication de ces entreprises.

De plus, l'augmentation du temps de loisirs et des infrastructures touristiques ont favorisé l'essor du tourisme. Cela entraîne une pollution, une artificialisation des terres importante et une consommation élevée de l'espace, ce qui aggrave encore plus la détérioration de ces zones et la perte d'habitat. (Var, 1993 ; Sun & Walsh, 1998 ; Bolliger et al., 2007).

L'INSEE affirme que « les changements d'occupation des sols ont été importants dans les communes littorales entre 2000 et 2006 ». Ils ont affecté 1,75 % du territoire, soit près de 40 000 ha. L'artificialisation des terres réalisée pour faire émerger les activités industrielles, les zones de loisirs, les nouveaux logements, les réseaux de transport s'est opérée principalement sur les zones agricoles.

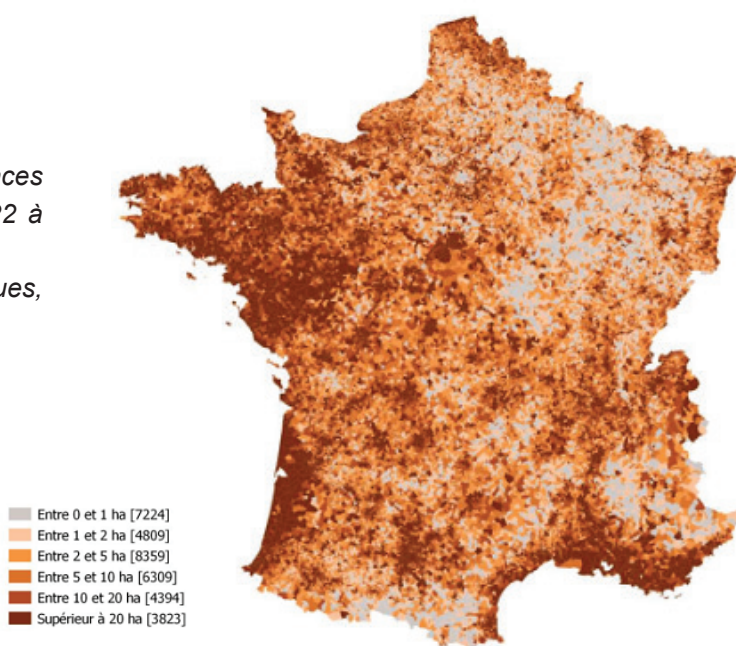
3.3 Les impacts sur le paysage naturel et la biodiversité des littoraux

À travers les parties précédentes, il a été montré qu'une multitude de facteurs permettent la fragilisation des écosystèmes côtiers qui sont des milieux riches (perte de territoire, remplacement des espèces endémiques, fragmentation des habitats, etc.). Toutes ces modifications subies engendrent un changement de paysage ainsi qu'un appauvrissement de la biodiversité.

La cause principale de ce déclin de biodiversité est la destruction et la fragmentation des habitats (Bax et al., 2003 ; Molnar et al., 2008). Au niveau terrestre, celle-ci provient essentiellement d'une forte artificialisation du territoire. En France, les territoires littoraux possèdent 25 % de terres artificialisées contre 5 % pour l'ensemble du territoire métropolitain (Institut français de l'éducation, 2019). Une donnée qui augmente chaque année avec l'intensification des activités économiques et touristiques, qui sont très consommatrices d'espace et d'énergie.

Figure n°16 : Carte de la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers entre 2009 et 2022 à l'échelle communale.

Source : (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement - CEREMA, 2023).



Cette artificialisation des côtes réduit les zones naturelles et agricoles au profit d'infrastructures artificielles et imperméables. Cela entraîne à court terme de nombreuses nuisances sur la biodiversité et les paysages côtiers.

Parmi ces nuisances, on retrouve la perte d'habitats floristiques et faunistiques ainsi que la diminution de la productivité agricole. L'augmentation des risques d'inondation est également observée, car un sol imperméable ne retient pas l'eau de pluie contrairement à un sol naturel. On retrouve également un accroissement de la pollution, que cela soit sonore, lumineuse ou encore au niveau de l'air, de l'eau ou dans le sol ainsi qu'une intensification de l'expansion urbaine, ce qui entraîne une augmentation des distances à parcourir et du temps perdu pour atteindre la destination. Enfin, cela provoque une diminution du patrimoine local, ce qui conduit à une homogénéisation des bords de mer (Comité pour l'économie verte, 2018).

Les conséquences sur le plus long terme peuvent être irréversibles, avec notamment la disparition d'écosystèmes essentiels, jouant un rôle important dans la manière de nous nourrir, de nous chauffer, de nous soigner, etc. Le territoire peut également subir des dégâts irréversibles (érosion, recul du trait de côte, reconfiguration des communes, etc.) ou être amené à complètement disparaître lorsque celui-ci est enclin à la submersion marine (La Fondation Tara Océan, 2023).

3.4 L'apport des toitures végétalisées pour les écosystèmes marins et côtiers

Les écosystèmes côtiers sont souvent confondus avec les écosystèmes marins, mais il s'agit en réalité d'écosystèmes distincts qui entretiennent de nombreuses interactions. Néanmoins, la mise en place de toitures végétalisées à grande échelle sur les côtes pourrait avoir un impact sur l'ensemble de ces deux écosystèmes.

Pour ce qui est des écosystèmes marins, le rôle des toitures végétalisées est plutôt indirect. D'abord, grâce à leur fonction de purification des eaux pluviales, permettant de limiter la pollution venant des terres (Gomes et al. 2016). Ensuite, leur végétalisation favorise la diminution des émissions de gaz à effet de serre et restreint l'absorption du CO₂ ambiant par les vastes étendues d'eau (Hirano & Yoshida 2016 ; Vargo et al. 2016). Cela a donc pour conséquence de réduire l'acidification des mers et des océans et de perturber les courants marins. Enfin, dans le cas de territoires de polder (marais littoral endigué et asséché), elles contribuent à la régulation de l'eau pluviale à sa sortie vers la mer, limitant la possibilité de submersion marine qui engendrerait un bouleversement de l'écosystème marin (Eaufrance, 2019).

Néanmoins, l'apport des toitures végétalisées a une fonction plus directe sur le paysage côtier et sa mosaïque d'écosystèmes. Ce terme de « paysage côtier » implique la relation entre la terre et la mer et permet de mieux appréhender son caractère mixte. Ce sont des zones d'interfaces qui sont soumises à des conditions environnementales spécifiques telles que des vents violents ou encore les marées. Au sein de ces écosystèmes, on retrouve différents biotopes comme : les forêts littorales, les lagunes, les zones humides, les plages, les falaises, etc. Cette diversité joue un rôle important sur la biodiversité présente, permettant aux paysages côtiers de posséder des écosystèmes très riches et diversifiés (UNEP, 2014).

La diversité biologique présente dans ces écosystèmes concerne de nombreuses espèces animales et végétales. Toutefois, bien que certaines espèces soient limitées par un emplacement particulier de la part des toitures végétales, d'autres pourraient y accéder ou y évoluer si les conditions sont propices. De plus, même si les toits verts abritent moins d'espèces que les habitats présents au niveau du sol, l'augmentation de la diversité structurelle des toits verts favorise la richesse en espèces. (Sonja Knapp ; Sebastian Schmauck ; Andreas Zehnsdorf, 2019). Par conséquent, le renforcement de la biodiversité dans les paysages côtiers et la préservation de ces écosystèmes sont favorisés par l'intégration des toits végétalisés dans la trame verte située au sol et dans le contexte écologique territorial (Cristina Sousa ; Beatriz Castiglione ; Paulo Palha, 2022).

PARTIE II : HYPOTHESE, OBJECTIFS ET CAS D'ÉTUDES

Dans cette seconde partie, le choix de l'hypothèse mise en avant dans ce mémoire sera détaillé. Une présentation des divers objectifs qui découlent de la méthodologie mise en place sera expliquée. Enfin, le choix des cas d'études sera développé avec une présentation de ces derniers afin de contextualiser l'étude et de posséder une vision claire des paysages analysés.

4.1 Hypothèse et objectifs

Pour réaliser mon hypothèse, je suis partie de deux postulats de départ qui ont été développés dans l'état de l'art et démontrés par différentes recherches scientifiques :

- Les toitures végétalisées jouent un rôle dans la production de services écosystémiques.
- Les littoraux sont des zones de transition possédant une biodiversité importante, mais fragile.

À partir de ces deux postulats, je me suis interrogé sur le rôle que pouvait jouer l'architecte paysagiste afin d'optimiser les services écosystémiques rendus par les toits verts. Celui-ci est reconnu comme un acteur ayant des connaissances pluridisciplinaires dans le domaine du paysage. Son appréciation et son expertise de l'environnement dans lequel s'inscrit la mise en place des toitures végétalisées pourraient améliorer leur efficacité.

Cela m'a amené à l'hypothèse suivante :

La prise en compte de la composition du paysage dans la planification et la réalisation de toitures végétalisées permettrait d'optimiser la fourniture de services écosystémiques.

Grâce aux réponses recueillies lors de la mise en œuvre de la méthodologie dans les deux cas d'études, divers objectifs sont attendus :

- 1 - Évaluer le degré d'importance de végétaliser les toits de certaines villes du littoral.
- 2 - Déterminer le rôle et les limites qu'un architecte paysagiste peut apporter à la planification et à la mise en place de toits verts.
- 3 - Valoriser l'importance de l'étude paysagère lors de la planification du concept à l'échelle communale.
- 4 - Souligner l'intérêt de l'intégration des toitures végétalisées à la trame verte territoriale.
- 5 - Comparer les résultats obtenus de la recherche avec des installations existantes.
- 6 - Sensibiliser et informer les différents acteurs face à ce type d'aménagement.

4.2 Sélection des sites d'études

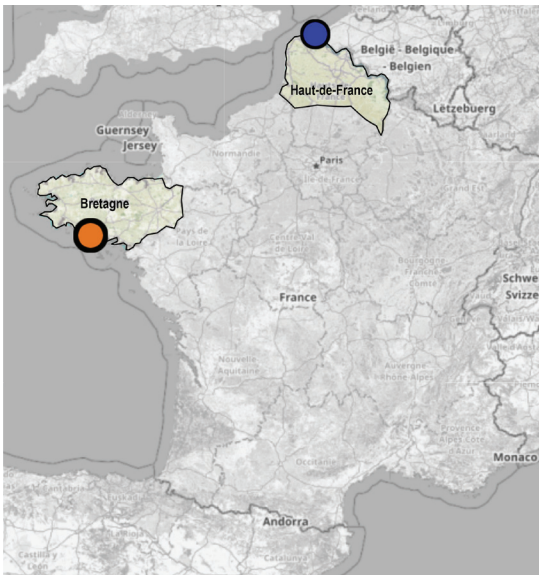
Les sites d'études ont été choisis parmi deux villes du littoral français. Je me suis concentré sur ces territoires d'interface entre la ville et la mer pour diverses raisons :

- La situation géographique leur permet de posséder une richesse importante en matière de biodiversité avec la présence de différents écosystèmes.
- Ils deviennent très attractifs et accueillent de plus en plus d'activités et de personnes chaque année, ce qui engendre des répercussions sur le paysage (imperméabilisation des sols, étalement urbain, fragmentation du paysage, etc.).
- Ce sont des territoires vulnérables face aux changements climatiques (submersion marine, événements météorologiques extrêmes plus rapprochés, etc.).
- Les avantages variés de la mise en place de ce type d'installation au sein de ses paysages ont été peu étudiés par des chercheurs. Privilégiant, pour bon nombre d'entre eux, les grandes métropoles telles que Paris, Lyon, Bordeaux, etc.

En ce qui concerne les deux villes sélectionnées, il s'agit de Dunkerque dans le Nord de la France et de Lorient dans le Morbihan en Bretagne. Ces villes ont également été sélectionnées pour les raisons suivantes :

- Elles ont toutes deux connues une destruction importante de leur territoire lors de la Seconde Guerre mondiale (+90 % du territoire).
- Elles se rapprochent au niveau du nombre d'habitants et se situent parmi les 5 villes les plus peuplées de leurs régions respectives (Dunkerque (5e) avec plus de 86 000 habitants et Lorient (4e) avec plus de 57 000 habitants).
- Il s'agit de deux villes ayant une importante façade maritime avec deux ports importants (le premier est un port de commerce, le second un port de pêche). Aujourd'hui encore, elles disposent d'un paysage industriel assez important.
- Les deux territoires sont engagés en faveur de l'environnement à travers le programme « Territoire engagé pour la nature » visant à faire émerger, reconnaître et valoriser des plans d'actions en faveur de la biodiversité.
- Les régions dans lesquelles elles se trouvent possèdent une richesse écologique importante, mais différente l'une de l'autre. L'une se situe sur un territoire de polder et borde la mer du Nord. L'autre est caractérisée par une grande diversité d'espaces naturels et cohabite avec l'océan Atlantique.
- Il s'agit de zones où la question de l'installation de toits verts n'a pas encore été abordée. À la différence des villes au bord de la Méditerranée, qui sont soumises à d'importants effets d'îlot de chaleur urbain.

4.2.1 Contextualisation à l'échelle supra-locale



Dunkerque :

Localisé au sein de la Communauté urbaine de Dunkerque (CUD).

CUD : 300 km² / 192 000 hab / 17 communes / 642 hab / km².

Lorient :

Localisé au sein de Lorient agglomération.

Lorient agglomération : 738 km² / 205 000 hab / 25 communes / 278 hab / km².

Figure n°17 : Localisation des sites d'études. Fond de plan : (openstreetmap). Réalisation personnelle, 2023

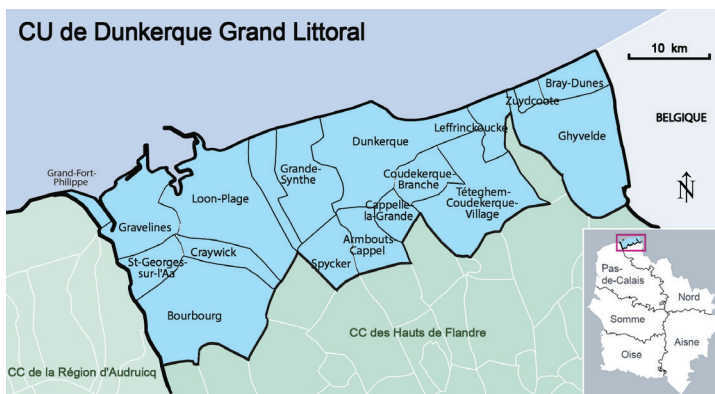


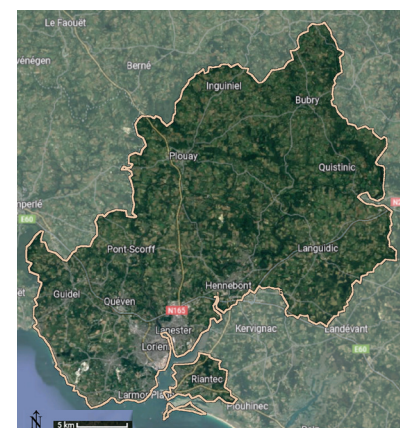
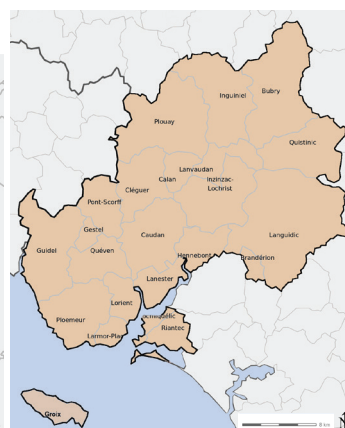
Figure n°18 : Cartographie de la Communauté Urbaine de Dunkerque.

Source : (Agence Hauts-de-France 2020-2040, 2020).



Figure n°19 : Orthophotoplan de l'occupation du sol de la Communauté Urbaine de Dunkerque. Fond de plan : (Google maps, 2023). Réalisation personnelle, 2023

CA Lorient Agglomération



Figures n°20 et 21 : Cartographie de la situation géographique de la Communauté d'agglomération de Lorient Agglomération. Source : (DRAAF Bretagne, 2022).

Figure n°22 : Orthophotoplan de l'occupation du sol de la communauté d'agglomération de Lorient agglomération. Fond de plan : (Google map, 2023). Réalisation personnelle, 2023

Les deux communes maritimes font partie d'un territoire plus vaste regroupé avec d'autres communes qui forment une communauté. Cette association a pour objectif de rationaliser l'organisation territoriale et contribue à l'aménagement du territoire.

Les différentes figures montrent que les deux communautés présentent des différences notables en ce qui concerne la morphologie et l'occupation du sol. La Communauté Urbaine de Dunkerque est plus petite en superficie et en population que l'agglomération de Lorient, mais elle est deux fois plus peuplée que la Communauté située dans le Morbihan.

Les figures 19 et 22 illustrent cela en montrant, à l'aide d'un orthophotoplan, l'occupation des sols des deux communautés. Dans le Nord, on constate une urbanisation du territoire considérable, due aux activités industrielles qui bordent la mer du Nord et s'étendent de Dunkerque à Gravelines. En Bretagne, on observe un territoire plus vaste où les espaces agricoles sont dominants.

4.2.2 Contextualisation à l'échelle locale

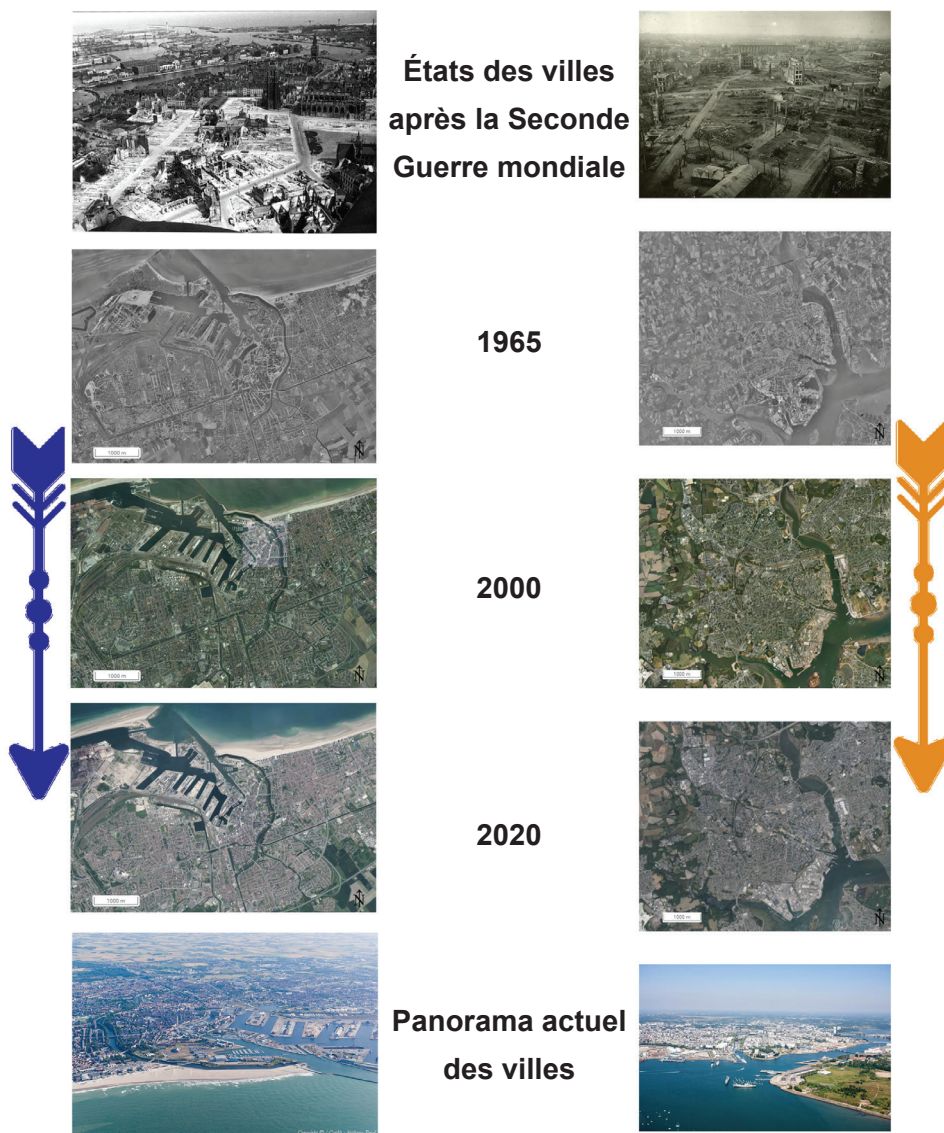


Figure n°23 : Schéma de l'évolution territoriale des sites d'études. Données : (Remonter le temps - IGN). Réalisation personnelle, 2023

Région : Hauts-de-France
Département : Nord
Code postale : 59140
Superficie : 43,89 km²
Population : 86 545 hab
Densité : 1 972 hab./km²
Altitude : 4 mètres

Région : Bretagne
Département : Morbihan
Code postal : 56100
Superficie : 17,48 km²
Population : 57 412 hab
Densité : 3 284 hab./km²
Altitude : 5 mètres

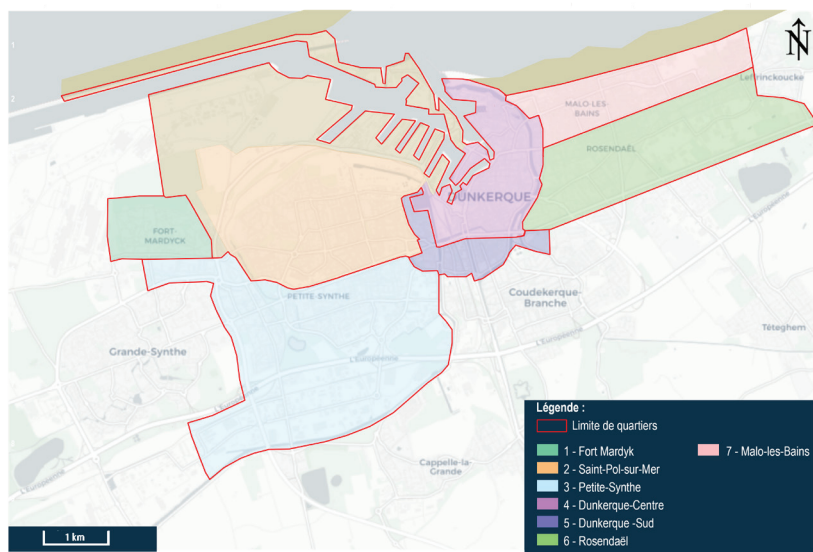


Figure n°24 : Cartographie des différents quartiers de Dunkerque.
Données : (Pichasso, 2010). Réalisation personnelle, 2023

Dunkerque est une ville urbaine située sur la côte de la Mer du Nord, à proximité de la frontière belge. Elle est l'agglomération-centre de la région Flandre-Dunkerque.

Elle est bordée au sud par les villes de Coudekerque-Branche et Cappelle-la-Grande, à l'est par Leffrinckoucke et à l'ouest par Grande-Synthe. La ville de Dunkerque est une zone conquise sur la mer et qui s'est développée grâce à son port d'envergure.



Figure n°25 : Cartographie de la situation géographique de Dunkerque. Fond de plan : (Google Earth).
Réalisation personnelle, 2023

Son statut d'agglomération-centre met en avant la concentration d'habitants, d'emplois, d'équipements et de services qui s'y trouvent, qui rayonnent au-delà de la Communauté urbaine de Dunkerque (CUD) et de la Région Flandre-Dunkerque. La ville est en quelque sorte la locomotive du territoire. Portée par un changement de politique depuis 2014, Dunkerque ne cesse de se développer et d'innover (nouveau plan de mobilité, accroissement de l'attractivité touristique, mutation des activités portuaires, etc.). Un développement qui se poursuivra dans les années à venir grâce à l'émergence de nouvelles activités qui contribueront à la création de plus de 20 000 emplois et à la mise en place de nombreux projets urbains dans le centre-ville.

En ce qui concerne le patrimoine bâti, Dunkerque est l'une des villes les plus détruites de France à la fin de la Seconde Guerre mondiale. Sur les 3 362 bâtiments, 1 524 sont détruits de manière irréversible, 805 sont très endommagés et seulement 1 032 sont considérés comme habitables.

Jusqu'aux années 60, des noms comme Théodore Leveau (urbaniste) et Jean Niermans (architecte) s'appliquent, chacun avec leurs ambitions à redonner un visage à une ville chère à ses habitants.



Figure n°26 : Photographie du centre-ville de Dunkerque et de son bâti d'avant-guerre. Source : (Archives de Dunkerque, 2019).



Figure n°27 : Photographie de la ville de Dunkerque après la reconstruction. Source : (Archives de Dunkerque, 2019).



Figure n°28 : Photographie de la ville de Dunkerque dans les années 50/60. Auteur : (André Deroi).

Les caractéristiques architecturales de Dunkerque lors de la reconstruction sont les immeubles collectifs regroupés en îlots rouge et bleu qui s'inscrivent dans le mouvement moderne et qui n'ont généralement que peu d'étages. Ils se complètent de toits terrasses, de porches ornés de sculptures, de passages discrets et d'une association entre le béton, le verre et les briques rouges typiques de la région.



Figure n°29 : Vue du beffroi sur le centre-ville de Dunkerque. Auteur : (Charles Delcourt, 2018).



Lorient est une commune urbaine ainsi que la ville centre de la Communauté d'agglomération du Pays de Lorient. Elle est située à l'embouchure du Blavet et du Scorff (fleuves) qui se jettent dans la rade (grand bassin ayant une issue vers la mer) de Lorient. Les communes qui l'entourent sont les suivantes : au nord Quéven et Caudan, à l'est Lanester, à l'ouest Ploemeur et au sud Larmor-Plage, Locmiquélic et Port-Louis. C'est également l'unité urbaine la plus importante du département.

La ville affiche une centralité multiforme, à la fois :

- géographiquement, par l'insertion de la ville au cœur de la Rade,
- démographiquement, puisqu'elle concentre 31 % de la population de l'agglomération,
- économiquement, du fait de sa masse d'emplois (46 % des emplois de l'agglomération)

Composé de 5 quartiers principaux et d'une façade maritime importante, comprenant notamment ses divers ports (commerce, pêche et plaisance), Lorient dispose aussi d'une zone industrielle importante et abrite la société Naval Group, un chantier naval dont l'accès est restreint.

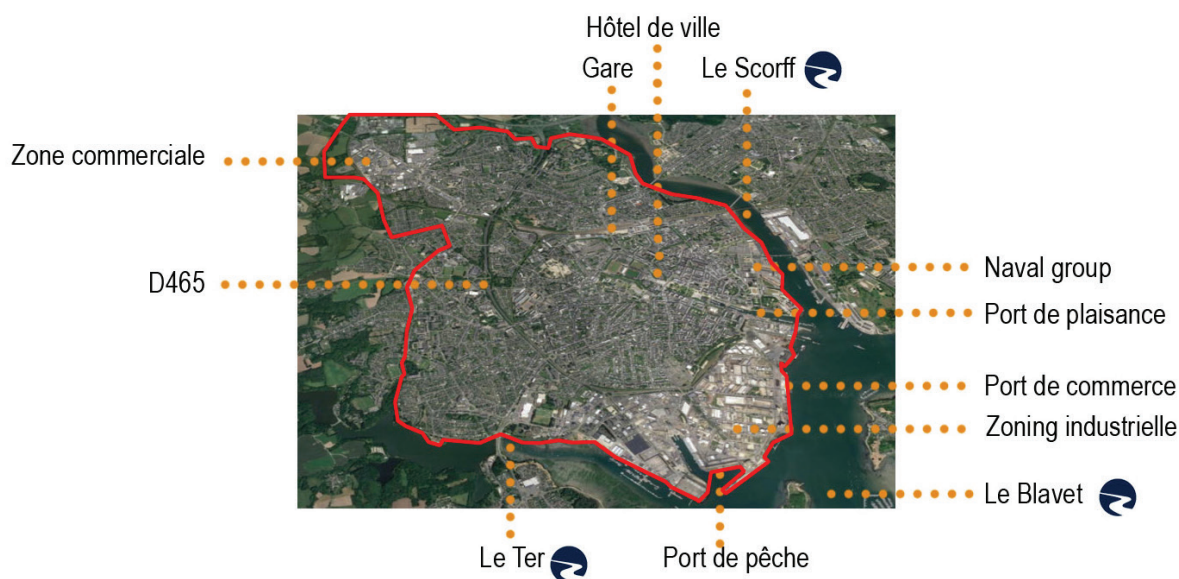


Figure n°30 : Cartographie de la situation géographique de Lorient. Fond de plan : (Google Earth).
Réalisation personnelle, 2023

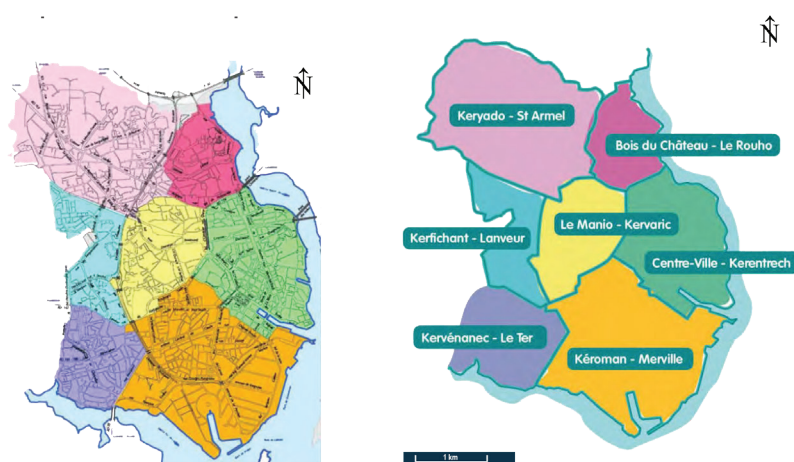
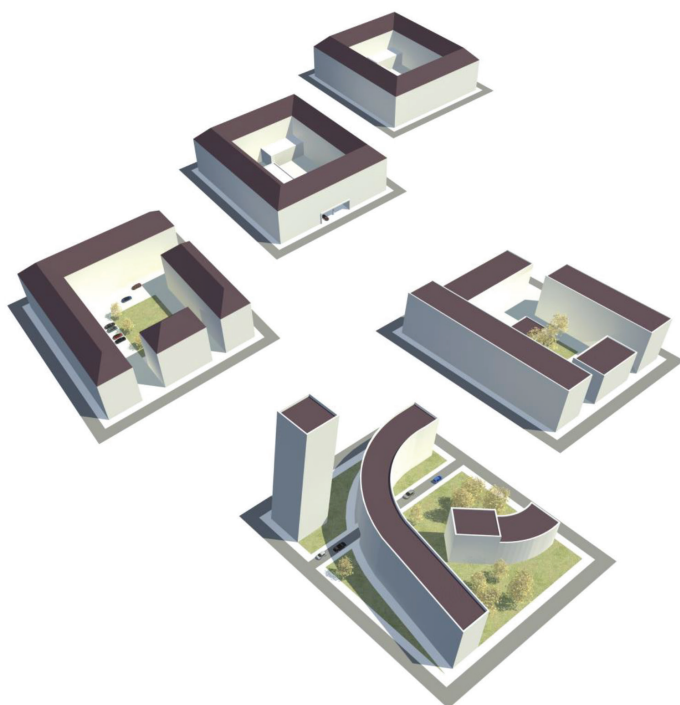


Figure n°31 : Cartographie des différents quartiers de Lorient.
Source : (PaysdeLorient.info, 2020).

Au niveau du patrimoine bâti, l'ampleur des destructions est impressionnante après la Seconde Guerre mondiale. La reconstruction de la ville va s'inscrire dans le contexte d'une vaste rénovation urbaine tout en respectant le tracé d'avant-guerre. L'accent est mis sur la modernité sous l'impulsion d'architectes comme Le Corbusier. Elle s'est faite sur la base administrative de l'îlot et chaque îlot a été confié à un architecte, soit au total une trentaine d'architectes.

Les premiers îlots seront compacts et fermés, puis la tendance sera d'éviter les cours fermées, d'ouvrir le cœur de l'îlot à l'espace public et progressivement les bâtiments s'éloignent du tracé des rues.

Figure n°32 : Vue d'un îlot fermé et d'un îlot semi-ouvert rue de Liège à Lorient. Source : (OAP_reconstruction).



Evolution de l'îlot fermé à l'îlot ouvert

Figure n°33 : Schéma de l'évolution des îlots au fil du temps à Lorient. Source : (OAP_reconstruction).



Vue d'un îlot fermé et d'un îlot semi-ouvert rue de Liège



Vue de l'îlot ouvert de la banane

Figure n°34 : Vue de l'îlot ouvert de la banane à Lorient. Source : (OAP_reconstruction).

Par conséquent, le paysage urbain de Lorient présente une diversité intéressante : toutes les tendances et influences des années 1950 y sont représentées. S'y ajoutent quelques éléments spécifiques plus anciens inscrits ou classés. On retrouve majoritairement des immeubles collectifs et de petites maisons liées à des espaces naturels formant des quartiers desservis par des rues étroites et reliées par de grands axes routiers.



Figure n°36 : Photographie aérienne du centre-ville de Lorient. Auteur : (François Destoc).

Figure n°35 : Photographie du centre-ville de Lorient en fin de reconstruction vers 1963-1964.

Source : (Société d'histoire et d'archéologie de Bretagne, 2015).



PARTIE III : MÉTHODOLOGIE

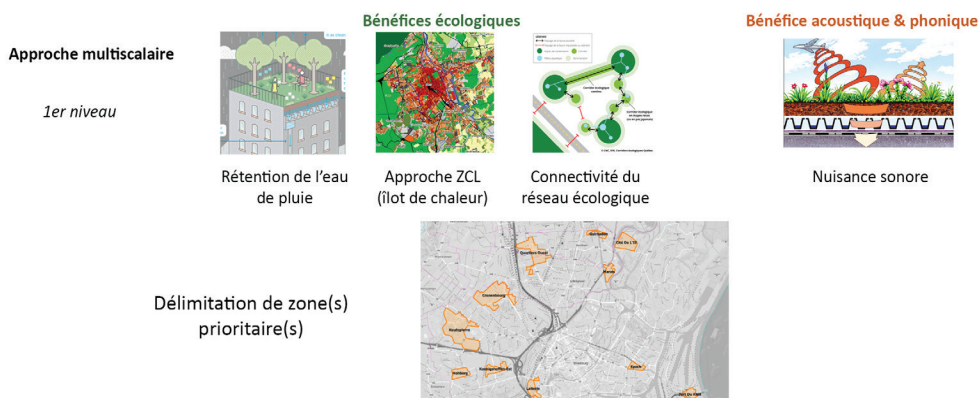
Cette troisième partie a pour objectif de mettre en évidence la méthode de travail qui sera mise en œuvre pour répondre de manière optimale à l'hypothèse et à la problématique initiale de ce mémoire. Afin de pouvoir visualiser un certain contraste dans les résultats et effectuer une comparaison, il était important de choisir des cas d'études ayant des points de similitude dans des contextes géographiques différents. Cette méthodologie décrite dans cette partie regroupe des informations provenant de diverses sources permettant, une fois leurs mises en relation, d'apporter des éléments de réponses propres à chaque ville.

5.1 Schéma de la méthodologie de recherche

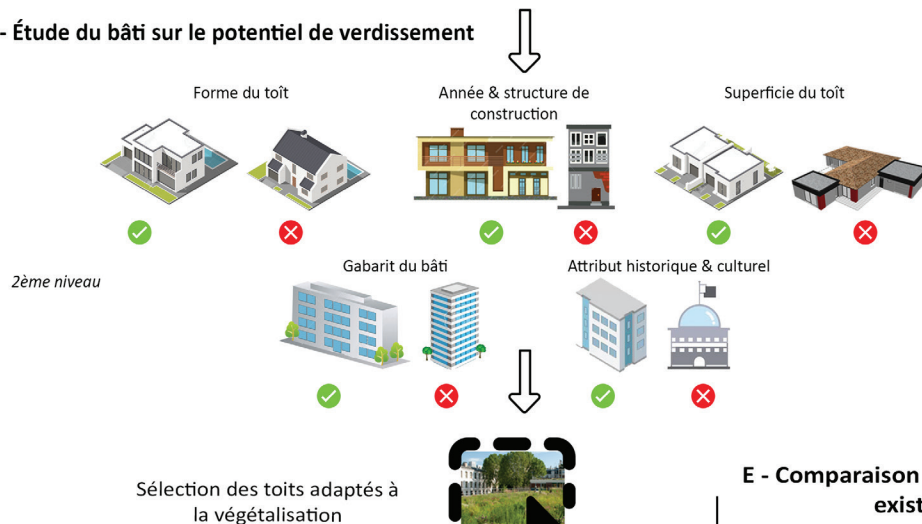
A - Ressources utilisées



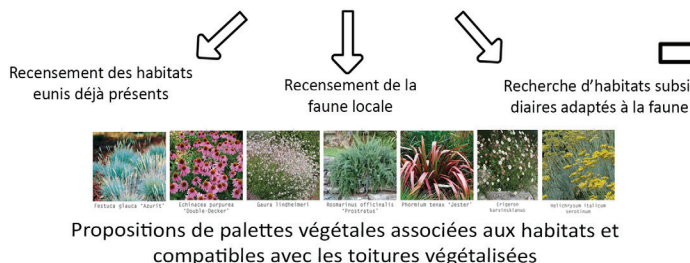
B - Analyse paysagère en relation avec les services écosystémiques rendus par les toitures végétalisées



C - Étude du bâti sur le potentiel de verdissement



D - Étude du contexte écologique à proximité pour le choix de la végétation



E - Comparaison avec des projets existants



Discussions & analyse des résultats

Figure n°37 : Schéma de la méthode de recherche. Données : (État de l'art). Réalisation personnelle, 2023.

Dans un premier temps, la méthode employée implique d'analyser le contexte paysager à grande échelle à partir de diverses sources de données. Il est possible que ces informations proviennent de visites sur le terrain, de documents élaborés par les acteurs des collectivités territoriales ou encore des géodonnées disponibles en format numérique et mises à disposition de tout public.

Dans un second temps, une analyse multiscalaire sera mise en place à l'échelle des deux villes étudiées. Les données prises en compte, concernent les « pressions et/ou manques » rencontrés par celles-ci et pour lesquels l'installation de toitures végétalisées pourrait permettre leur atténuation.

Grâce à l'état de l'art réalisé en amont, nous avons pu mettre l'accent sur les services rendus par le verdissement des toitures. Des services qui concernent les îlots de chaleur, les continuités écologiques, les zones à risques en matière d'inondation ou encore les zones exposées à de fortes nuisances sonores.

Suite à cette première analyse, l'objectif est de cibler une zone prioritaire. Une étude du bâtiment sur le potentiel de verdissement (superficie, hauteur, formes, attributs, etc.) sera réalisée à l'échelle de celle-ci. L'intention finale consiste à identifier la zone où le verdissement apportera le plus d'avantages tant sur le plan environnemental que sur le plan du confort de vie des résidents.

Enfin, la dernière étape de la méthodologie consistera à déterminer la végétation susceptible d'être plantée sur la zone retenue. Afin de permettre l'optimisation des services rendus par les toitures végétales et de réduire au mieux les pressions et/ou manques identifiés au départ. Cette sélection de végétation sera ainsi comparée à celle déjà utilisée sur un projet existant situé dans la zone prioritaire.

5.2 Justification des critères non retenus dans la méthodologie utilisée

Pour la réalisation de cette méthodologie, différents critères expliqués précédemment ont été retenus afin de pouvoir « comparer » et obtenir des résultats révélateurs. Cependant, la mise en place de toitures végétalisées demande l'acquisition de différents savoirs provenant de différents corps de métier tels que des ingénieurs ou encore des urbanistes. De plus, cela demande également de s'adapter au contexte dans lequel cette mise en place est étudiée.

C'est la raison pour laquelle différents critères n'ont pas été retenus pour cette étude :

- **La portance du bâtiment** : elle requiert des compétences provenant d'un autre corps de métier que celui de l'architecte paysagiste.
- **L'accessibilité des toits** : l'étude réalisée concerne seulement les toitures végétalisées non accessibles aux publics.
- **La visibilité des toits** : les villes utilisées comme cas d'étude possèdent une homogénéité au niveau de la hauteur du bâti présent. Par conséquent, ce critère n'a pas de réel impact sur les résultats finaux.
- **L'exposition des toits** : la densification et l'homogénéité du bâti présentes au sein des cas d'études ne permettent pas d'avoir des situations privilégiées.

5.3 Matériel de recherche

5.3.1 Utilisation des données multi-sources

Il existe un grand nombre de données disponibles en format numérique et libre d'accès. Dans le cadre de cette étude, les informations cartographiques issues du Géoportail permettront d'avoir une vision de la situation actuelle. De plus, les documents tels que la base Mérimée, le schéma de cohérence territoriale (SCOT), le plan local d'urbanisme (PLU) ou le plan local d'urbanisme intercommunal (PLUI) qui comprend les orientations d'aménagement et de programmation (OAP) fourniront des renseignements supplémentaires. Enfin, les recherches de cette étude seront complétées par d'autres documents tels que les plans de prévention et les divers Atlas environnementaux.

5.3.2 L'approche cartographique des îlots de chaleur (classification LCZ)

La notion d'îlot de chaleur au sein des agglomérations est de plus en plus mise en avant ces dernières années. En effet, l'évolution climatique accompagnée de la densification et de l'artificialisation des terres rend les conditions de vie plus pénibles dans les zones où les matériaux artificiels prennent le dessus sur les espaces verts. Cela se caractérise par des élévations de température de manière localisée et particulièrement marquée durant les nuits d'été. Ses conséquences sur la santé interpellent les acteurs publics qui souhaitent en diminuer l'effet.

Afin d'aider les acteurs publics, le Cerema (Centre d'étude et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) travaille à l'élaboration de méthodes permettant d'identifier les secteurs les plus propices à la surchauffe. Pour cela, une méthode simplifiée a été testée dans différentes villes en France avec pour objectif d'être utilisable par tous les aménageurs du territoire afin de localiser dans un premier temps les zones à enjeux et de pouvoir réaliser une analyse approfondie par la suite.

La méthode se base sur le concept des zones climatiques locales (LCZ) qui a été publié par les chercheurs Stewart & Oke en 2012 et qui est reconnu internationalement. Cela consiste à découper un territoire urbanisé en zones uniformes (en supposant que ces zones aient un comportement climatique homogène). Ces zones sont différenciées par leurs propriétés de surface qui influencent directement la température de référence.

Parmi ces propriétés, on retrouve :

- **L'occupation des sols** (urbanisée ou naturelle)
- **La structure urbaine** (la hauteur et l'espacement du bâti qui mettent l'accent sur la rugosité et la compacité du secteur)
- **Les matériaux et la part de végétalisation**
- **Les activités humaines** (causant des flux de chaleur anthropique)

Ces zones peuvent s'étendre de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres de large. Stewart et Oke ont défini 17 classes de LCZ permettant de caractériser les territoires : 10 classes LCZ « bâties » et 7 classes LCZ « naturelles ».

Les zones climatiques locales (LCZ)

Stewart et Oke (2012) — Traduction Cerema

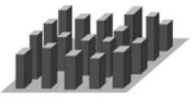
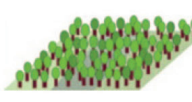
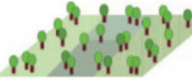
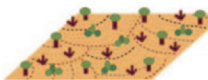
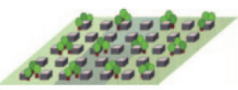
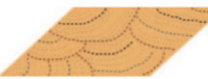
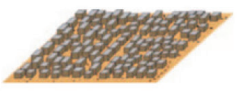
Classes bâties	Définitions	Classes non bâties	Définitions
1. Ensemble compact de tours 	Mélange dense de grands immeubles avec des dizaines d'étages. Peu ou pas d'arbres. Sol principalement revêtu. Matériaux de construction : béton, acier, pierre, verre.	A. Espace densément arboré 	Paysage fortement boisé composé d'arbres à feuilles caduques et/ou à feuilles persistantes. Couverture du sol principalement perméable (plantes basses). Fonction de la zone : forêt, arboriculture, parc urbain.
2. Ensemble compact d'immeubles 	Mélange dense de bâtiments de hauteur moyenne (3 à 9 étages). Peu ou pas d'arbres. Sol principalement revêtu. Matériaux de construction : pierre, brique, tuile, béton.	B. Espace arboré clairsemé 	Paysage légèrement boisé composé d'arbres à feuilles caduques et/ou à feuilles persistantes. Couverture du sol principalement perméable (plantes basses). Fonction de la zone : forêt, arboriculture, parc urbain.
3. Ensemble compact de maisons 	Mélange dense de bâtiments de faible hauteur (1 à 3 étages). Peu ou pas d'arbres. Sol principalement revêtu. Matériaux de construction : pierre, brique, tuile, béton.	C. Espace végétalisé hétérogène 	Buissons, arbustes et ligneux espacés. Couverture du sol principalement perméable (sol nu ou sable). Fonction de la zone : maquis, agriculture.
4. Ensemble de tours espacées 	Tours espacées de plus de 10 étages. Sol perméable végétalisé en abondance (plantes basses, arbres épars). Matériaux de construction : béton, acier, pierre, verre.	D. Végétation basse 	Paysage plat composé d'herbe ou plantes herbacées, de cultures. Peu ou pas d'arbres. Fonction de la zone : prairie, agriculture, parc urbain.
5. Ensemble d'immeubles espacés 	Bâtiments de hauteur moyenne espacés (3 à 9 étages). Sol perméable végétalisé en abondance (plantes basses, arbres épars). Matériaux de construction : béton, acier, pierre, verre.	E. Sol imperméable naturel ou artificiel 	Paysage plat rocheux ou revêtu. Peu ou pas d'arbres ou de plantes. Fonction de la zone : désert naturel (roche) ou route.
6. Ensemble de maisons espacées 	Bâtiments de faible hauteur espacés (1 à 3 étages). Sol perméable végétalisé en abondance (plantes basses, arbres épars). Matériaux de construction : bois, brique, pierre, tuile, béton.	F. Sol nu 	Paysage plat composé de sol nu ou de sable. Peu ou pas d'arbres ou de plantes. Fonction de la zone : désert naturel ou agriculture.
7. Ensemble dense de maisons ou constructions légères 	Mélange dense de bâtiments à un étage. Peu ou pas d'arbres. Sol principalement compacté. Matériaux de construction légers : bois, chaume, tôle ondulée, etc.	G. Eau 	Plans d'eau (mers, lacs, rivières, bassins, lagons).
8. Bâtiments bas de grande emprise 	Bâtiments bas (1 à 3 étages) de grande emprise, et espacés. Peu ou pas d'arbres. Sol principalement revêtu. Matériaux de construction en acier, béton, métal et pierre.	10. Industrie lourde 	Structure industrielle basse ou de hauteur moyenne (tours, réservoirs, cheminées). Peu ou pas d'arbres. Sol principalement revêtu ou compacté. Matériaux de construction : métal, acier, béton.
9. Implantation diffuse et espacée de maisons 	Bâtiments de petite ou moyenne hauteur et éloignés dans un cadre naturel ou végétalisé. Sol perméable végétalisé en abondance (plantes basses, arbres épars).		

Figure n°38 : Schéma traduit en français des 17 classes de LCZ permettant de caractériser les territoires.
Source : (Cerema, 2022).

PARTIE IV : DÉTERMINATION ET PROPOSITION DE VÉGÉTALISATION DES TOITURES AU SEIN DE ZONES PRIORITAIRES

Cette partie a pour objectif, dans un premier temps, à travers une analyse cartographique à l'échelle territoriale et communale, de déterminer pour chaque cas d'étude une zone prioritaire aux verdissements des toitures. Dans un second temps, à l'échelle des zones prioritaires et par le biais des données géospatiales, de cibler des infrastructures susceptibles d'accueillir de la végétation. Enfin, dans un dernier temps, à l'échelle de l'habitat et grâce aux réseaux écologiques à proximité, de définir le type de végétation à planter et de comparer les résultats à un projet déjà existant.

6.1 Analyse & identification des espaces urbains prioritaires

Afin de définir ces zones urbaines prioritaires, une analyse cartographique sera réalisée sur les enjeux auxquels les toitures végétalisées peuvent contribuer (services écosystémiques).

Parmi ces enjeux, on retrouve ceux liés à l'écologie (amélioration de la rétention des eaux de pluies, réduction des îlots de chaleur et renforcement du réseau écologique) et celui lié aux performances phoniques et acoustiques (diminution du bruit au sein des habitations).

Il s'agit de mettre en évidence un ou plusieurs quartier(s) où l'installation de toitures végétalisées aurait un effet significatif sur les conditions de vie. Par la suite, un quartier par cas d'étude sera examiné en détail dans l'optique d'un verdissement des toitures.

6.1.1 Bénéfice écologique - Analyse cartographique du contexte hydrographique de l'occupation des sols

Le contexte hydrographique et l'occupation des sols des deux cas d'études seront étudiés de manière cartographique afin de mettre en contexte les paramètres liés à la ressource en eau. Ainsi, il sera possible de repérer des problèmes potentiels dans certains quartiers tels que des inondations, l'imperméabilisation importante du sol, des problèmes de crues majeures, etc. Des problématiques pouvant être adoucies par la présence de toitures végétalisées qui jouent un rôle essentiel dans la rétention d'eau.



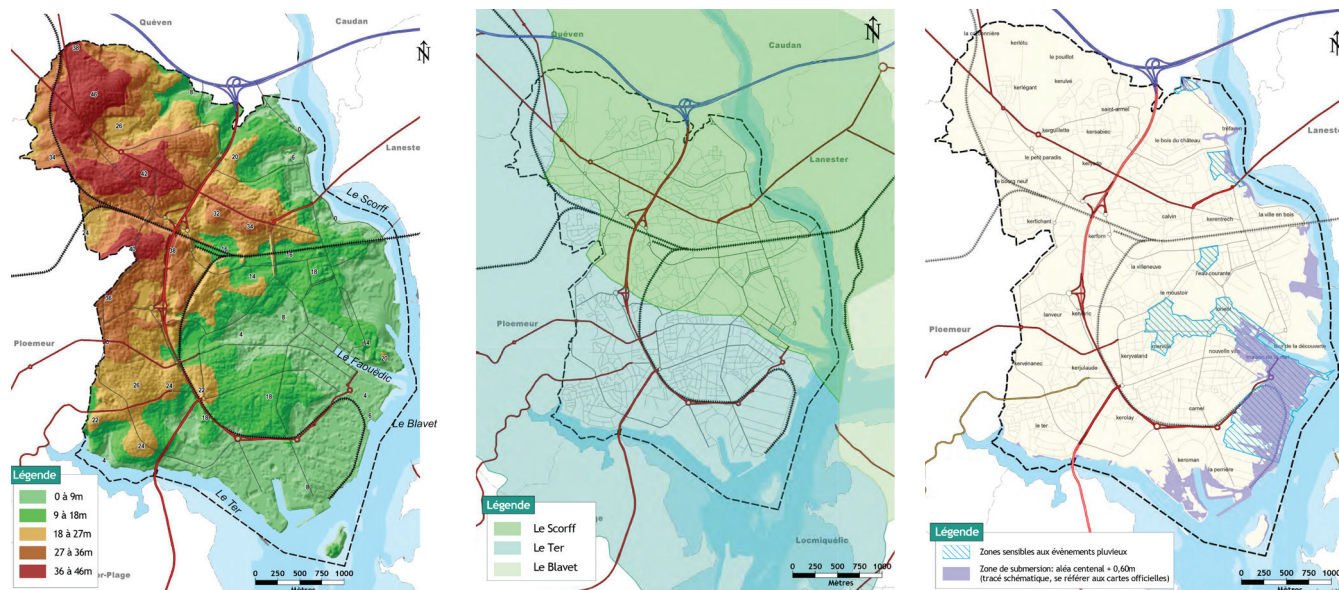
Située en Flandre maritime, la ville de Dunkerque se retrouve au sein du territoire des Wateringues qui couvre près de 100 000 hectares. Celui-ci correspond à l'ancien delta de l'Aa, inscrit dans le triangle Saint-Omer – Calais – Dunkerque.

Le système des wateringues comprend des fossés (appelés watergangs) et des canaux qui se croisent, communiquant entre eux par de multiples ouvrages afin de réguler le niveau des eaux de surface et, en cas de besoin, d'évacuer les excédents à la mer en s'affranchissant des marées hautes, grâce à des stations de relevage.



Lorient

Le territoire de Lorient, situé à l'Ouest du département du Morbihan possède un **relief peu marqué notamment au niveau de la frange littorale** mais qui s'accroît et culmine à 46 m à l'extrémité Nord-Ouest de par la présence d'un massif granitique (figure 44).



Figures n°44, 45 & 46 : Cartographies du relief / des bassins versants / des zones de submersion et d'inondation de Lorient. Source : (Plan local d'urbanisme, 2023).

Le **réseau hydrographique est une composante importante** de l'environnement de Lorient. Notamment avec la présence de la rade (grand bassin ayant une issue vers la mer) à l'embouchure du Blavet et du Scorff (fleuves).

Les rives du littoral lorientais se sont constituées à partir de 4 cours d'eau : le Scorff, le Faouëdic, le Blavet et le Ter. Le paysage fluvial qui en découle est, par conséquent, **très riche en diversité**. De plus, la commune est traversée par une ligne de crête qui sépare le bassin versant du Scorff avec celui du Ter (figure 45).

Enfin, en termes de risque hydrographique, le sud de la ville ainsi que quelques zones à l'est (situé sur le pourtour du territoire) sont à risque au niveau de la submersion marine. **D'autres zones, situées également au sud et remontant vers le centre se retrouvent classées comme zones sensibles aux événements pluvieux** (figure 46)

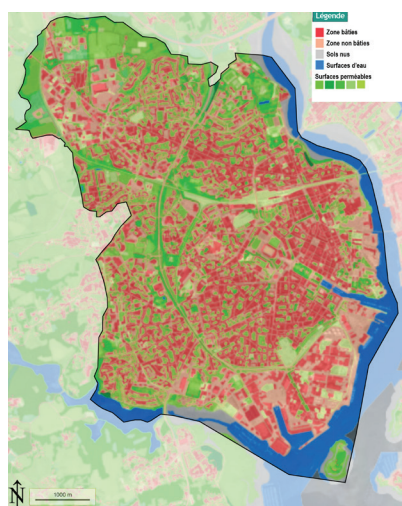
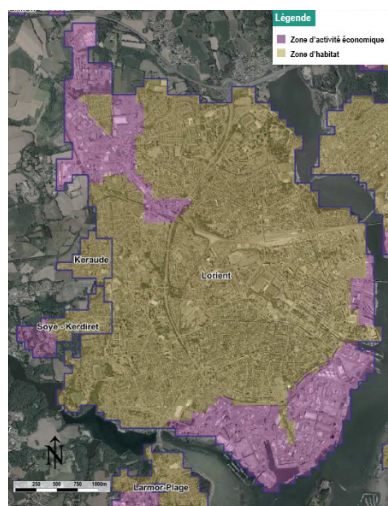


Figure n°47 : Cartographie des secteurs d'activité économique de Lorient. Source : (Plan local d'urbanisme, 2023).

La figure 48 montre une **urbanisation importante** de la ville, notamment sur les **parties sud et sud-est**, principalement occupée par les activités portuaires. Cela a une incidence sur la densification du bâti urbain au sein du territoire, notamment dans les quartiers du centre ville-Kerentrech et du Keroman-Merville situé à proximité des infrastructures portuaires.

Figure n°48 : Cartographie de l'occupation des sols de Lorient. Source : (Géoportail, 2023).

6.1.2 Bénéfice écologique - Analyse cartographique des îlots de chaleur

Les îlots de chaleur sont de plus en plus abordés au sein des grandes villes françaises situées dans les terres en raison de la hausse des températures subies ces dernières années. Néanmoins, malgré une localisation privilégiée face à ce type de phénomène, les villes du littoral n'en restent pas moins affectées. L'analyse cartographique des îlots de chaleur à l'échelle de ces deux cas d'études va permettre d'identifier les quartiers les plus touchés.

Pour cela, l'utilisation de la méthode simplifiée des zones climatiques locales (LCZ) a été utilisée. Elle consiste à découper chaque territoire communal en maille de 100m² afin de leur attribuer une couleur selon la classification LCZ, en prenant en compte l'occupation de sol dominant au sein de la maille.

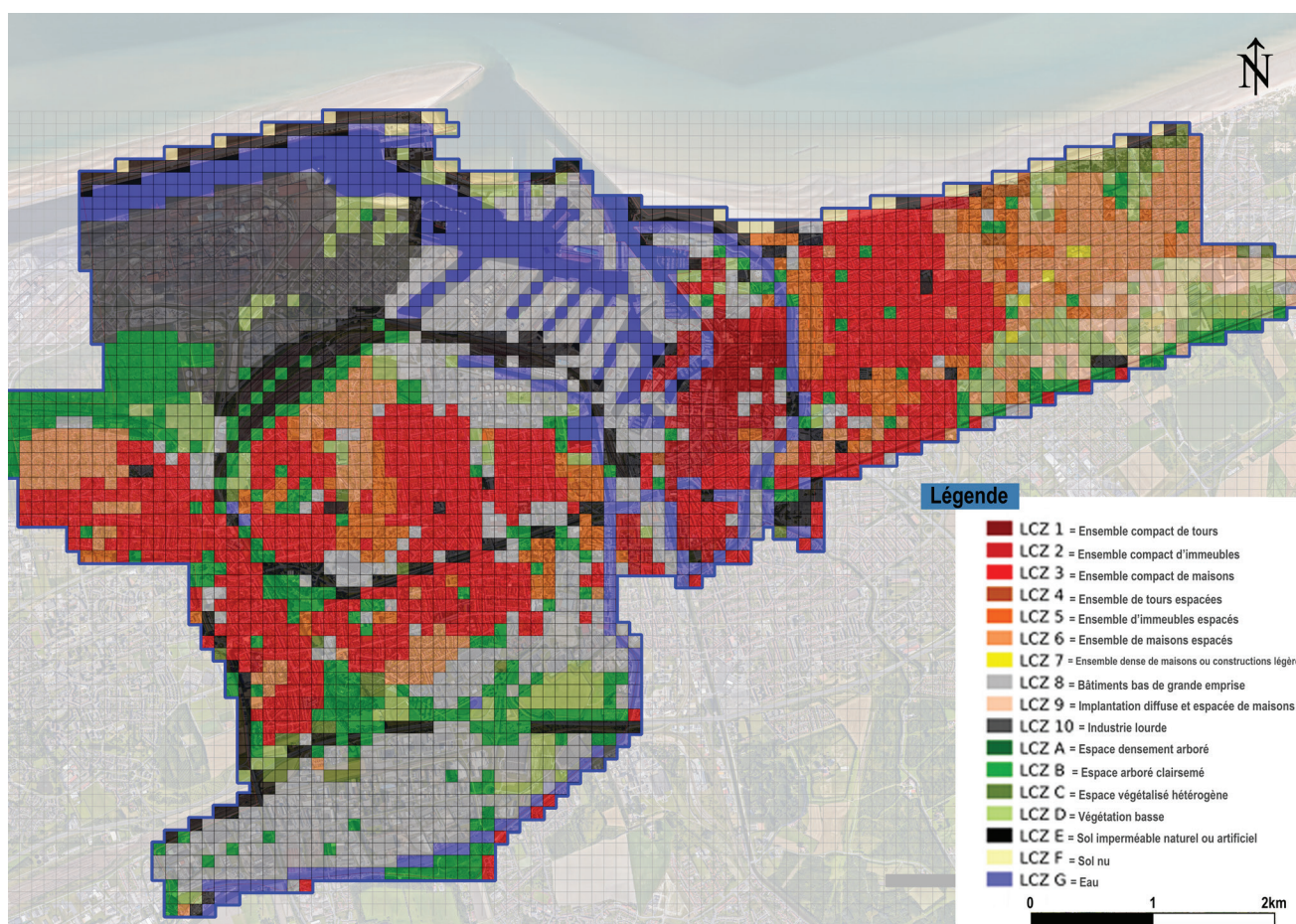


Figure n°49 : Cartographie des îlots de chaleur sur la commune de Dunkerque. Fond de plan : (Géoportail). Réalisation personnelle, 2023

Grâce à cette cartographie des îlots de chaleur, il est possible de mettre en évidence l'impact du phénomène sur toute l'agglomération dunkerquoise. L'effet d'îlot de chaleur semble moins présent à l'est du territoire. Le nord et le sud sont touchés par les diverses activités économiques, tandis que le centre est marqué par de nombreux quartiers résidentiels constitués de maisons compactes ou d'immeubles espacés.

Finalement, **le quartier le plus affecté par ce phénomène est celui de Dunkerque-centre, occupé en majorité par des ensembles compacts d'immeubles avec peu de zones de verdure.**



Lorient

Lorient est également impactée par les effets d'îlot de chaleur. Occupée majoritairement par des ensembles compacts de maisons ou d'immeubles espacés avec des infrastructures de transport importants qui viennent sectoriser la ville et intensifier le phénomène.

Toutefois, ce sont **les quartiers les plus proches de la zone d'activité économique à proximité des ports qui sont les plus impactés lors des fortes chaleurs**. En effet, la densité de maisons et d'immeubles présents ainsi que la faible proximité avec des espaces verts d'envergures en sont la cause.

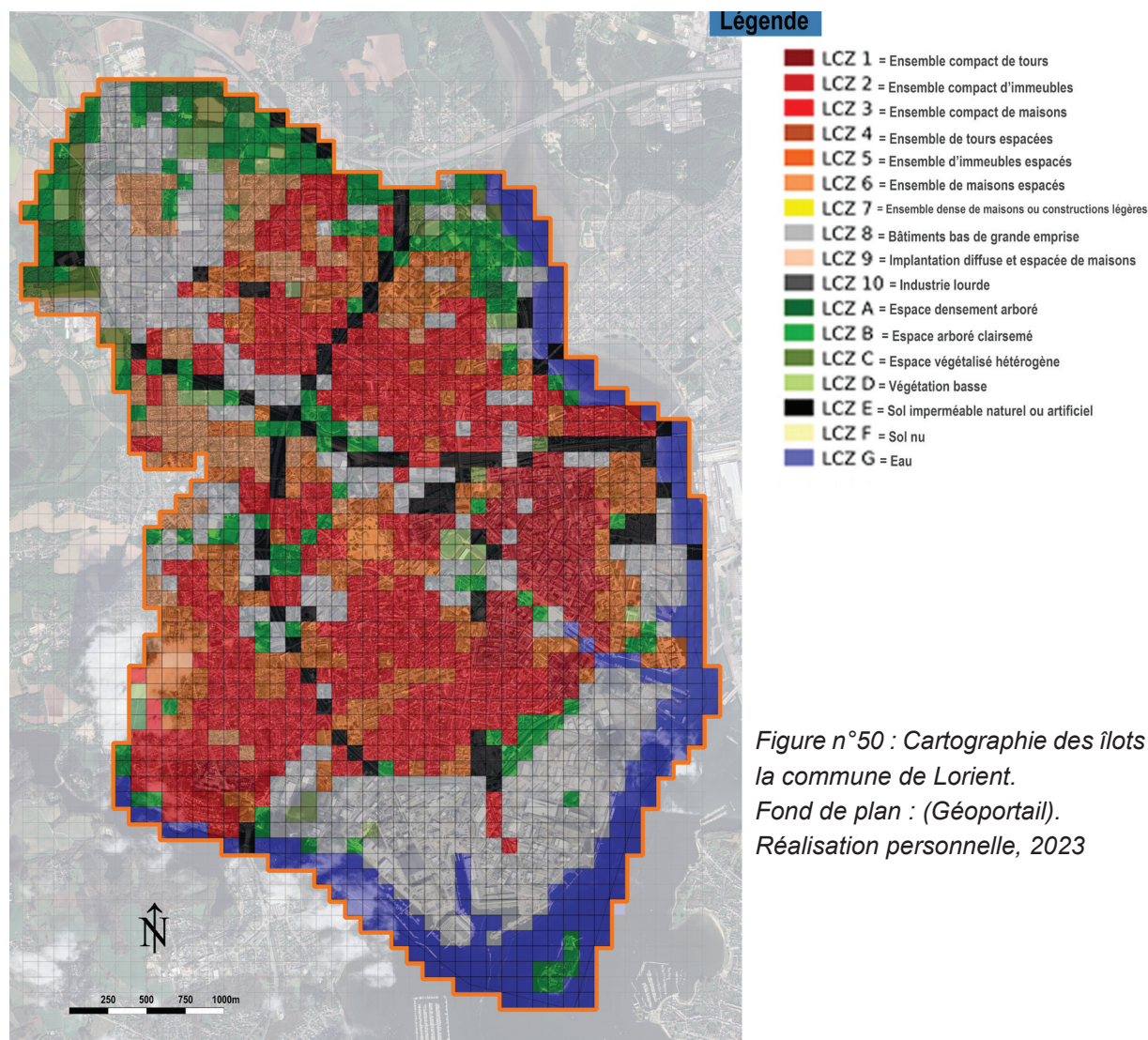


Figure n°50 : Cartographie des îlots de chaleur sur la commune de Lorient.

Fond de plan : (Géoportail).

Réalisation personnelle, 2023

6.1.3 Bénéfice écologique - Analyse cartographique du réseau écologique

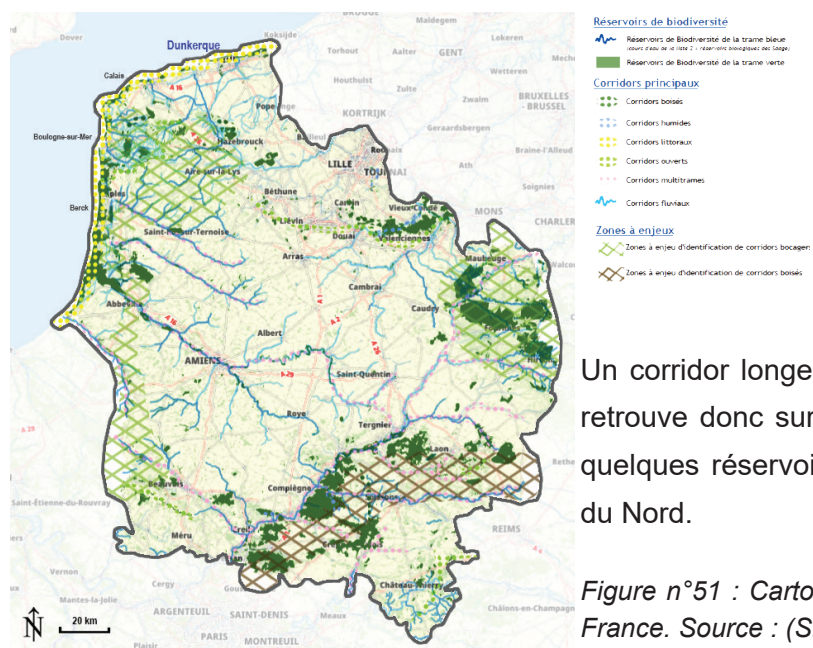
L'analyse du réseau écologique des deux cas d'études va permettre d'identifier les pôles de réservoir de biodiversité ainsi que les corridors écologiques présents à proximité des communes. C'est une analyse qui s'effectue à plusieurs échelles de travail afin de mieux appréhender le contexte environnemental et écologique dans lequel s'inscrivent les villes.

Les toits végétalisés ont pour objectif de venir renforcer la trame verte et bleue déjà présente au sein des territoires en offrant des habitats préférentiels pour la faune locale et en utilisant des plantes indigènes. Cette analyse va également servir de base de travail pour la justification du choix des plantes.



A l'échelle des Hauts-de-France

La région des Hauts-de-France regorge d'une multitude de paysages et de reliefs. Elle abrite à la fois des plaines maritimes en Flandres, des vallons en Thiérache, des plateaux en Picardie ou dans l'Artois, des collines dans le Noyonnais... C'est une terre de contrastes. Les forêts, boisements, bosquets et haies bocagères constituent la colonne vertébrale de ces paysages. De plus, la région possède également un maillage hydraulique dense.



La cartographie des continuités écologiques (figure 51) souligne que la trame verte reste assez fragmentée. Elle se manifeste dans les zones à enjeux, principalement en bordure de région. Ces zones sont principalement caractérisées par des paysages bocagers et des paysages boisés dans le sud de la région.

Un corridor longeant tout le littoral est également présent et se retrouve donc sur le territoire du delta de l'Aa, accompagné de quelques réservoirs de biodiversité dispersés le long de la mer du Nord.

Figure n°51 : Cartographie des continuités écologiques des Hauts-de-France. Source : (SRADDET de la région Hauts-de-France, 2020).

A l'échelle de la Communauté urbaine de Dunkerque

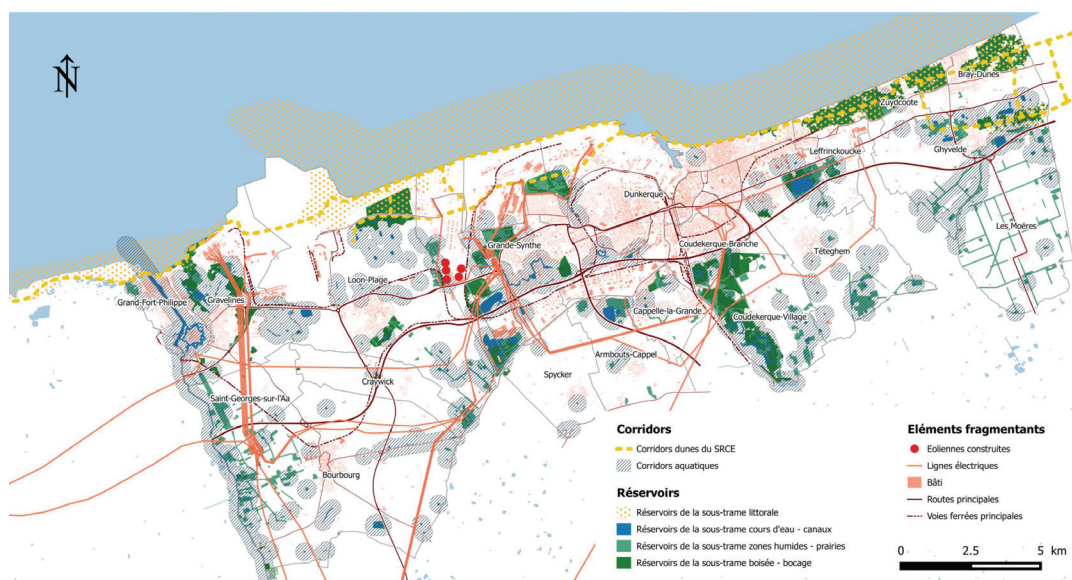


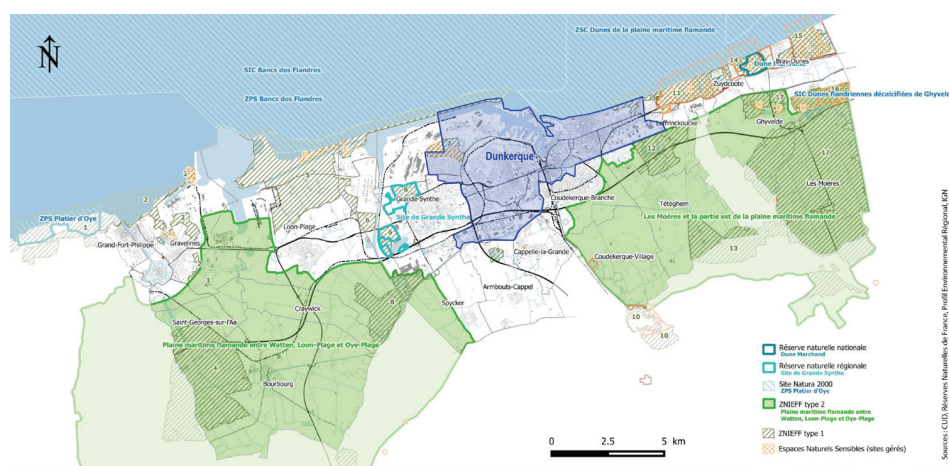
Figure n°52 : Cartographie des réservoirs et corridors de la trame verte et bleue.

Source : (Le Plan Local d'Urbanisme intercommunal Habitat et Déplacements - PLUi HD, 2022).

À l'échelle de la communauté urbaine de Dunkerque (CUD) qui est l'échelle de travail du territoire de Dunkerque. On peut observer les différents réservoirs de biodiversité présents ainsi que le corridor situé au niveau du littoral. La plupart de ces réservoirs font partie de la sous-trame boisée, en particulier à l'est, à Leffrinckoucke avec la réserve naturelle « La dune Dewulf » et à Bray-Dunes avec la réserve naturelle nationale de la « Dune Marchand ».

Ces deux réserves font également partie du corridor qui longe le littoral. Un corridor qui continue vers l'ouest avec l'espace naturel sensible des Salines à Fort-Mardyck (Dunkerque) et d'autres espaces situés à proximité des secteurs d'activité économique localisée sur les communes de Loon-Plage et de Gravelines. D'autres réservoirs sont également observés dans les terres, tels que le bois des forts à Coudekerque-Village ou encore au niveau de Grande-Synthe avec deux réserves naturelles régionales (Le Puythouck et le Prédembourg).

Toutefois, la carte du réseau écologique de la CUD permet de constater que l'ensemble de ces réservoirs demeure toutefois très fragmenté. Néanmoins la situation géographique (le littoral) et les caractéristiques du paysage (relief peu marqué et paysage ouvert) favorisent l'émergence de ZNIEFF de type 1 et 2 sur une vaste superficie au sein du territoire.



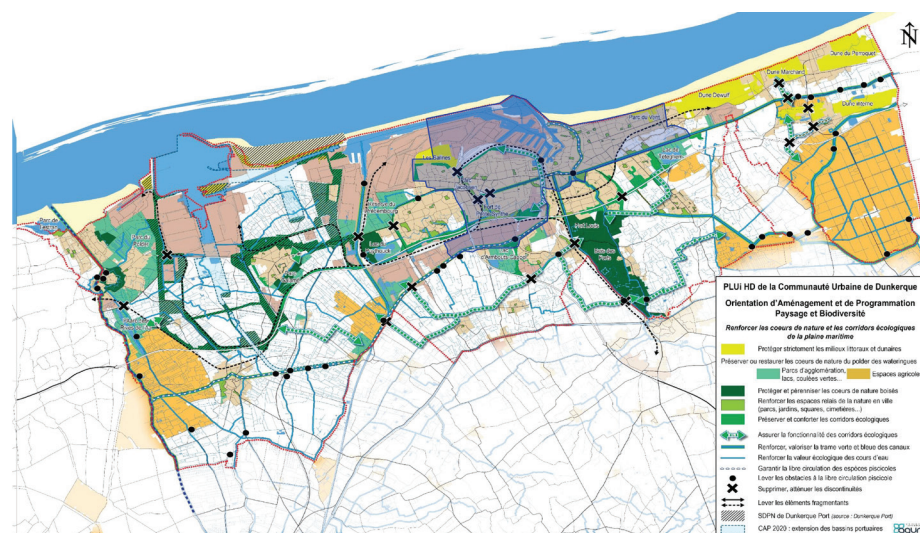
Les ZNIEFF de type 1 sont répertoriées comme **des secteurs de grand intérêt** biologique ou écologique.

Tandis que celles de type 2 correspondent à un grand ensemble naturel riche et peu modifié, **offrant des potentialités** biologiques importantes.

Figure n°53 : Cartographie des espaces naturels protégés sur le territoire de la CUD. Source : (PLUi HD, 2022).

De plus, une majorité de la mer du Nord à proximité du territoire dunkerquois est classée en zone Natura 2000 (réseau qui rassemble des sites naturels ou semi-naturels de l'Union européenne ayant une grande valeur patrimoniale, par la faune et la flore exceptionnelles qu'ils contiennent).

Enfin, afin de bénéficier d'une vision future à plus ou moins long terme. Une Orientation d'Aménagement et de Programmation (OAP) sur le paysage et la biodiversité a été mise en place au sein de la CUD pour mettre en valeur, préserver et valoriser l'identité paysagère ainsi que la biodiversité présente.



Cependant, celle-ci est assez difficilement compréhensible et n'intervient pratiquement pas au sein de l'agglomération Dunkerquoise. La plupart des connexions qui relient les espaces de natures de part et d'autre du territoire de Dunkerque sont situées à l'intérieur des terres, contournant ainsi la ville.

Figure n°54 : Cartographie de l'orientation d'aménagement et de programmation (OAP) concernant le paysage et la biodiversité au sein de la CUD. Source : (PLUi HD, 2022).

A l'échelle de l'agglomération dunkerquoise

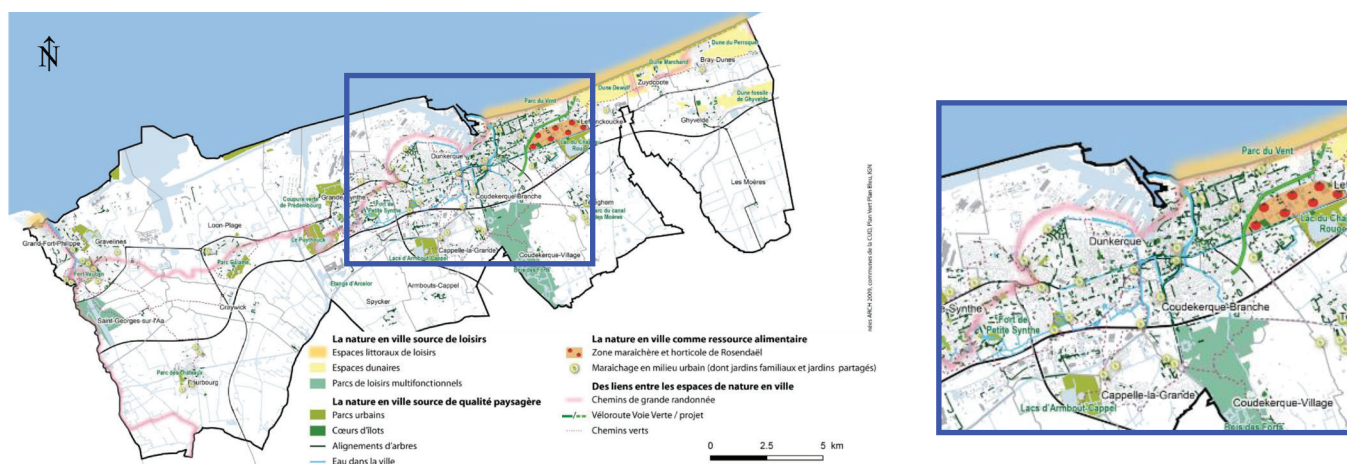


Figure n°55 : Cartographie du réseau écologique urbain au sein de l'agglomération dunkerquoise.

Source : (PLUi HD, 2022).

A l'échelle urbaine, on remarque que la ville de **Dunkerque dispose de peu d'espaces verts** et que l'apport de verdure est principalement constitué d'alignements d'arbres et de zones maraîchères. Cela entraîne une **rupture de la trame verte entre les réserves naturelles situées à l'ouest et à l'est de la commune et le parc situé plus au sud**. En ce qui concerne la trame bleue, elle est relativement présente dans la ville, bien qu'elle soit anthropisée et qu'elle soit proche de l'habitat, ce qui ne permet pas de vraies connexions avec la trame verte actuelle.



A l'échelle de la Bretagne

La Bretagne est riche d'une biodiversité originale. L'influence maritime, le sous-sol peu perméable et l'empreinte de l'Homme sont les facteurs qui la déterminent. Cela donne lieu à une mosaïque de milieux naturels diversifiés et intégrés, entre terre et mer, en étroite relation avec les milieux plus artificiels.

Deux grands pôles de réservoirs régionaux de biodiversité (Monts d'Arrée, bassins versants de l'Isole, de l'Ellé, du Scorff et du Blavet) sont mis en évidence dans la carte de synthèse (figure 56). Elle souligne également la richesse de biodiversité sur la frange littorale de l'ensemble de la région.

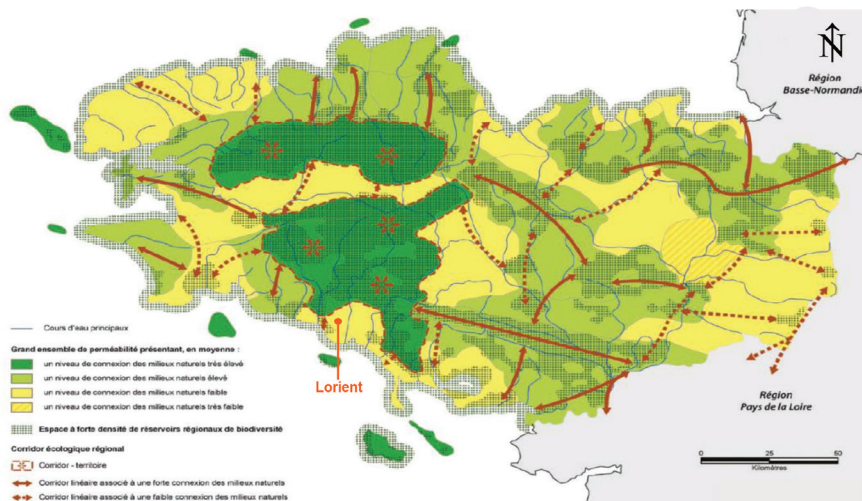


Figure n°56 : Cartographie de synthèse de la trame verte et bleue de la Bretagne.

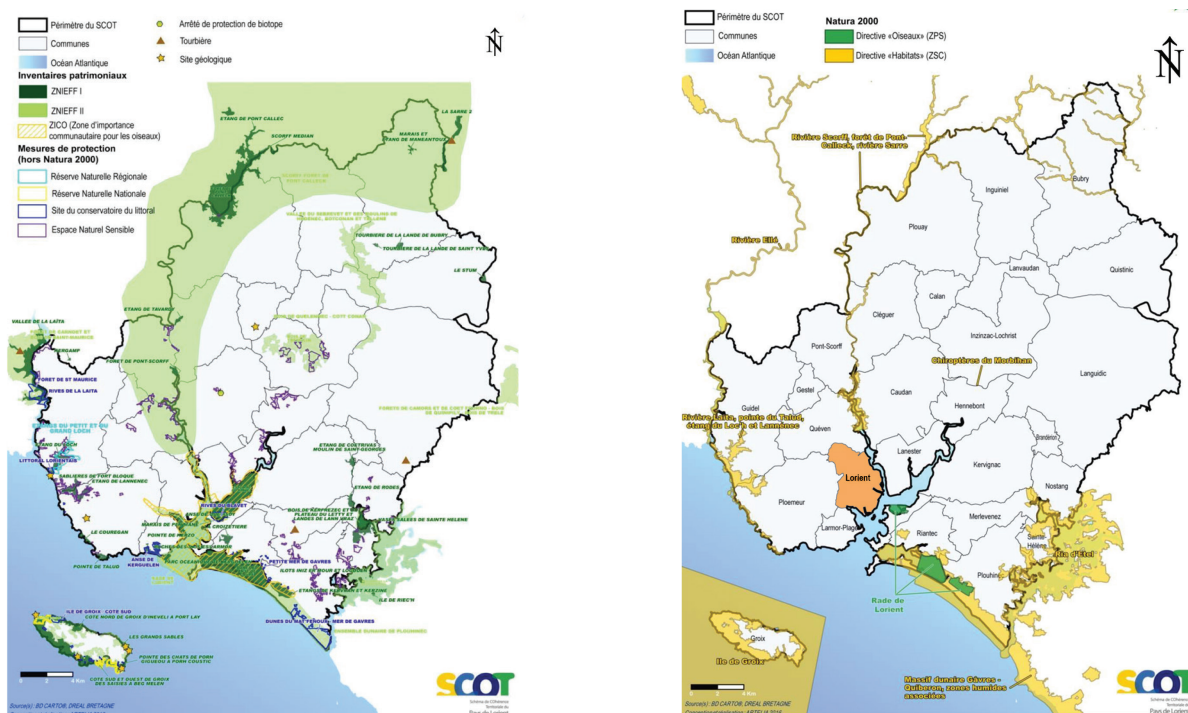
Source : (Schéma Régional de Cohérence Écologique de Bretagne (SRCE, 2015).

A l'échelle de Lorient Agglomération

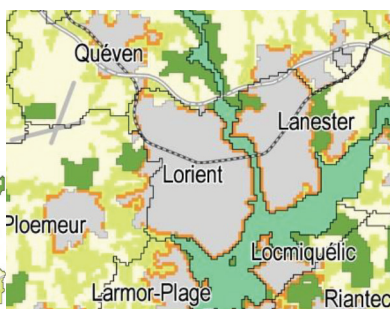
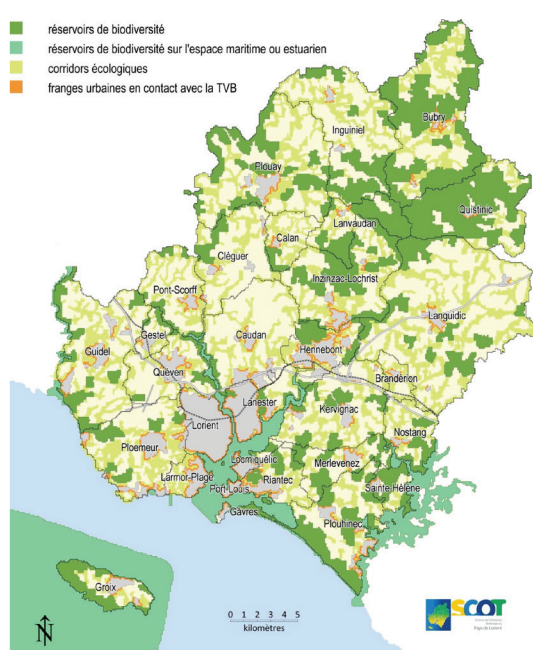
La carte des espaces naturels remarquables de Lorient Agglomération montre la présence de ZNIEFF (Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique) et de ZICO (Zone importante pour la conservation des oiseaux).

De plus, plusieurs zones Natura 2000 (figure 58) se trouvent à proximité, ce qui met en évidence la présence d'habitats et d'oiseaux d'intérêts majeurs.

On peut également observer que la ville de Lorient se situe entre deux zones de biodiversité importante avec notamment au nord, le bassin versant du Scorff et du Blavet et au sud, la frange littoral et l'île de Groix. A l'ouest de la ville, un corridor linéaire associé à une forte connexion des milieux naturels y est également présent.



Figures n°57 & 58 : cartographie des espaces de nature remarquable et des sites Natura 2000 au sein de Lorient agglomération. Source : (Plan climat-air-énergie territorial de Lorient agglomération, 2017).



Au niveau de la carte des réservoirs de biodiversité et corridors écologiques (figure 59), on s'aperçoit que le territoire de Lorient Agglomération comprend de nombreux réservoirs à travers toute la communauté d'agglomération.

La ville de Lorient, quant à elle, est entourée de milieux naturels diversifiés. Ainsi, elle peut jouer un rôle crucial dans le renforcement des liens écologiques en ce qui concerne la faune environnante.

Figure n°59 : cartographies des réservoirs de biodiversité et corridors écologiques de Lorient agglomération. Source : (Schéma de cohérence territoriale du Pays de Lorient (SCoT), 2017).

A l'échelle de la ville de Lorient

A l'échelle de la ville et en observant la carte du réseau écologique urbain (figure 60), on observe cependant que **la ville joue actuellement un rôle de rupture dans le paysage en raison de la faible quantité d'espaces verts présents au cœur de l'agglomération.**

Afin d'atténuer ce constat, une Orientation d'Aménagement et de Programmation (OAP) concernant la nature en ville a été élaborée dans le but de préserver et valoriser les espaces de nature urbaine existants (figure 61).



Figure n°60 : Cartographie de l'inventaire des zones de protection des espaces naturels de la ville de Lorient.

Source : (Schéma de cohérence territoriale du Pays de Lorient (SCoT), 2017).

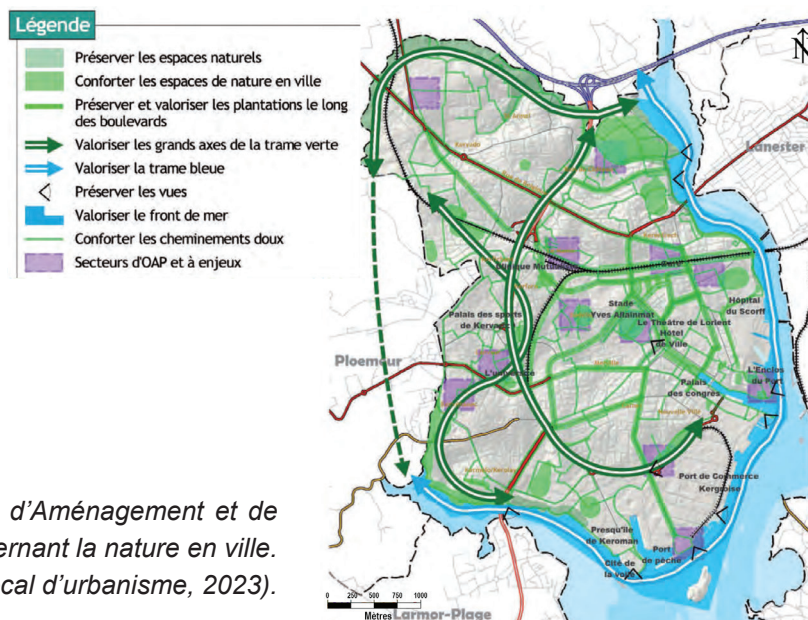


Figure n°61 : Cartographie de l'Orientation d'Aménagement et de Programmation (OAP) concernant la nature en ville.

Source : (Plan local d'urbanisme, 2023).

6.1.4 Bénéfice phonique et acoustique - Analyse cartographique des nuisances sonores

Il est crucial de considérer les nuisances sonores car elles font partie intégrante du paysage, en particulier en milieu urbain. Cela entraîne des problèmes dans les foyers lorsque le niveau sonore de l'environnement extérieur atteint un certain seuil. Comme mentionné dans l'état de l'art, l'une des options pour réduire ce désagrément est la création d'un toit végétalisé.

Ainsi, l'analyse de ce phénomène dans les communes de Dunkerque et de Lorient repose sur deux types de données : la cartographie stratégique du bruit sur 24 heures et le classement sonore des voies bruyantes.

De plus, en ce qui concerne la ville de Lorient plus particulièrement, une cartographie a également été réalisée sur les bruits générés par l'aérodrome de Lann-Bihoué, situé à proximité de l'agglomération (moins de 5 km à l'ouest).



La carte des bruits stratégiques de Dunkerque (figure 62) permet **d'observer deux grands pôles** où le niveau sonore atteint une moyenne de plus de 70dB sur 24h. **Au sud**, l'un de ces pôles correspond à un **secteur d'activité économique** implanté en raison de sa proximité avec l'autoroute A16 qui accentue les perturbations. **Au nord**, l'autre pôle est celui des **sites industriels et des activités du grand port maritime** de Dunkerque.

Concernant le reste du territoire, nous pouvons observer une certaine stabilité sur une majeure partie avec des valeurs qui sont comprises entre 50 à 60 dB et qui n'occasionnent pas de réel nuisances pour les riverains. Néanmoins, il est possible de constater que certaines voies et leurs abords atteignent localement des niveaux plus élevés, en particulier dans le centre-ville et proche du port de plaisance.

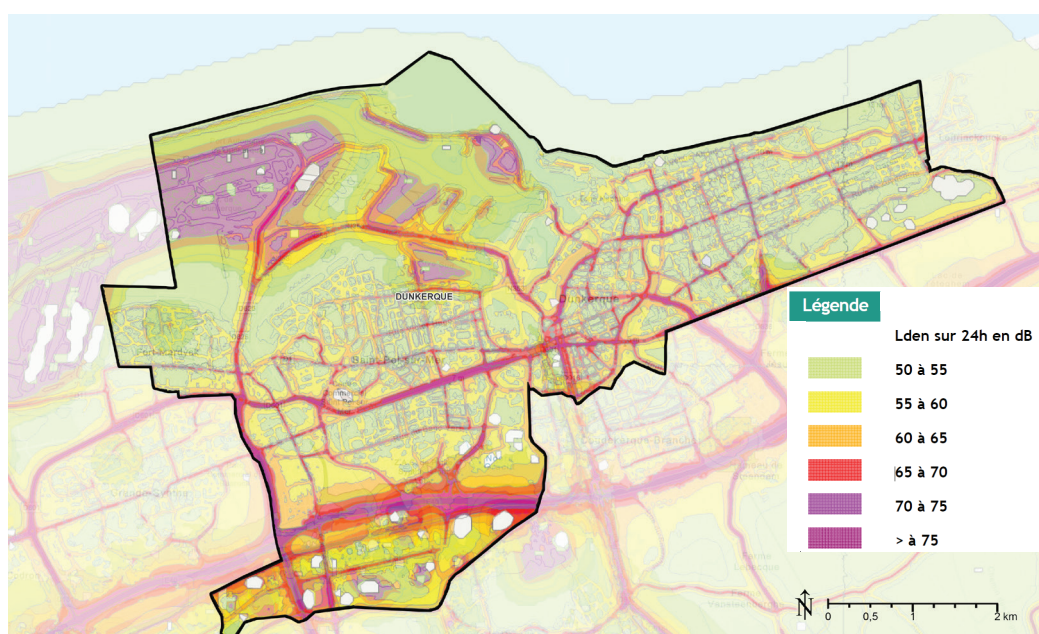


Figure n°62 : Cartographie de bruit stratégique de la CUD.

Source : (Plan de prévention du bruit dans l'environnement, 2020).

L'analyse des voiries concernant ces perturbations sonores confirme et renforce le constat précédent en soulignant un nombre considérable de voies bruyantes (parfois dépassant les 75dB). La distance entre les voies et l'importance des bruits qui leur sont associés **révèle un chevauchement significatif dans le centre-ville, créant ainsi une zone de nuisance importante.**

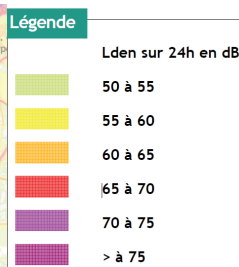


Figure n°63 : Cartographie du classement sonore des infrastructures de transports terrestres bruyantes.

Source : (Nord.gouv, 2018).



Lorient



L'analyse de la cartographie stratégique du bruit à Lorient ne révèle pas de zones où une forte perturbation pourrait potentiellement causer des problèmes aux riverains.

Seuls certains axes de communication ainsi que quelques zones localisées dans le port de commerce sont répertoriés comme bruyants et pouvant dépasser les 70 dB. Le seuil est situé en dessous des 60 dB sur la plupart du territoire.

Figure n°64 : Cartographie de bruit stratégique de Lorient.
Source : (GAMBA Acoustique, 2012).

L'analyse du classement de voiries permet de mieux appréhender les secteurs soumis à des nuisances. On remarque que la **Départementale D465** qui traverse la commune du nord au sud, jusqu'à la zone d'activité économique est un axe important qui occasionne du bruit. Cela est également le cas pour la **départementale D724** (permettant de rejoindre la ville de Lanester de l'autre côté de la rive) et la **rue professeur Perrin** située juste en dessous qui permet également la traversée par le pont des Indes. **D'autres voiries** d'ampleur plus faible émettent également certaines nuisances notamment dans les quartiers les plus au sud de l'agglomération Lorientaise à **proximité du centre-ville**.

Figure n°65 : Cartographie du classement sonore des infrastructures de transports terrestres bruyantes. Source : (Plan local d'urbanisme (PLU), 2019).

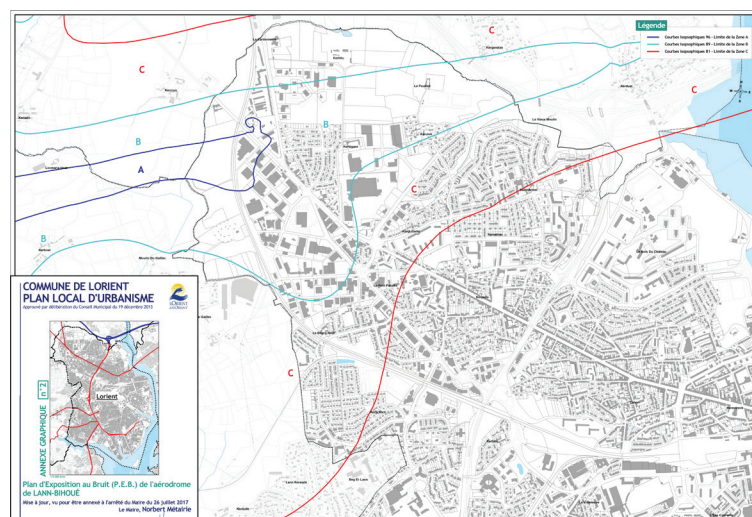
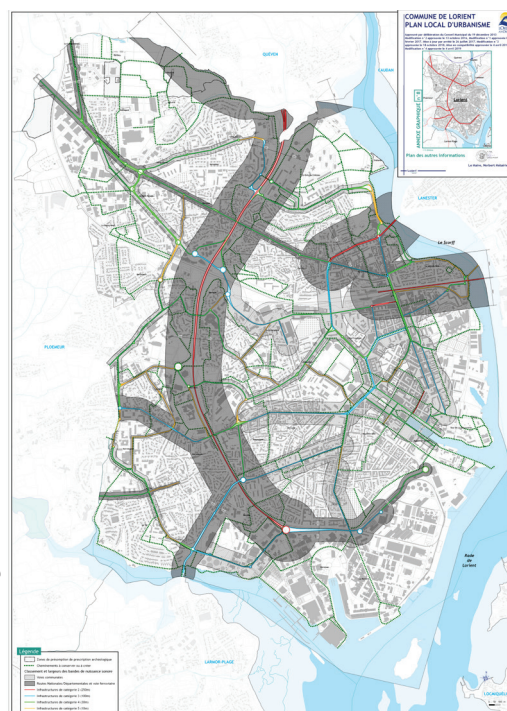


Figure n°66 : Plan d'exposition du bruit (P.E.B.) de l'aérodrome de Lann-Bihoué. Source : (Plan local d'urbanisme (PLU), 2017).

Situé à moins de 5km à l'ouest de la commune de Lorient, l'aérodrome de Lann-Bihoué Sud émet des nuisances sur la **partie nord** de la ville. Les bruits ont été répartis en trois catégories (zone A, B et C, correspondant aux courbes isophoniques 96, 89 et 81) selon le plan (figure 66). La zone A ne concerne qu'une petite zone à vocation économique, tandis que les zones B et C couvrent certains quartiers au nord de la commune. Les quartiers en question sont principalement constitués d'ensembles de maisons espacées.

6.2 Choix d'une zone d'étude à fort potentiel

Il est possible de constater que diverses zones présentent des problèmes d'ordre écologique et phonique, que le verdissement potentiel des toitures pourrait contribuer à réduire. Pour vérifier l'intérêt de la végétalisation des toits dans ces zones à enjeux, un quartier a été choisi par cas d'études. Une sélection basée sur les observations réalisées lors de l'analyse.



En ce qui concerne la ville de Dunkerque, le choix s'est orienté sur le quartier de **Dunkerque-Centre** pour différentes raisons :

- Une imperméabilisation du sol importante.
- Un phénomène d'îlot de chaleur conséquent en période estivale.
- Une exposition aux bruits importante de par les voiries.
- Une proximité avec la trame bleue (présente sur le pourtour du quartier).
- Sa localisation au cœur de l'agglomération dunkerquoise permettant la création de nouvelles connexions avec la trame verte environnante.
- La possibilité de répondre à certains critères de l'OAP Paysage et biodiversité (renforcement des espaces relais de la nature en ville et valorisation de la trame verte et bleue).

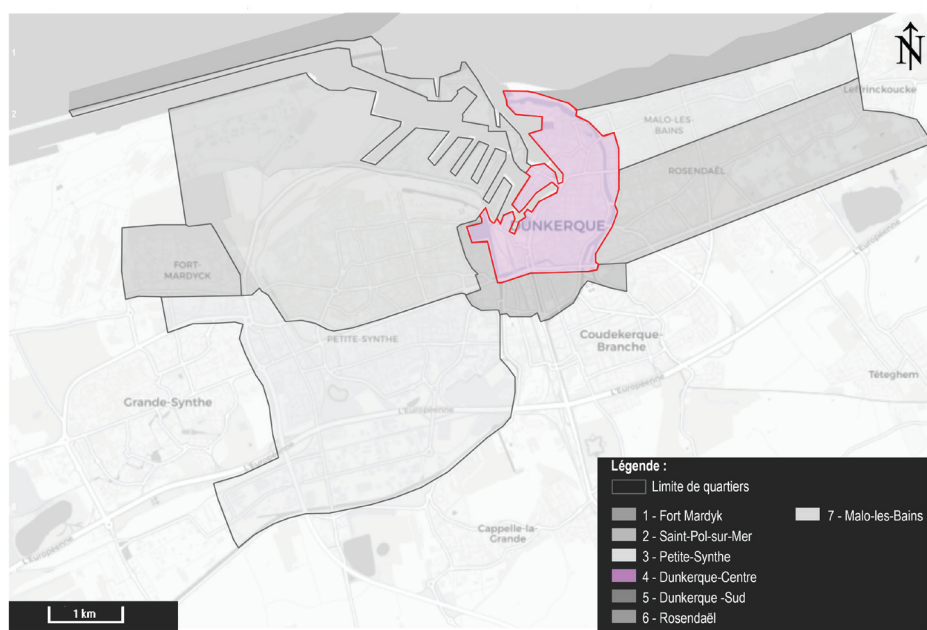


Figure n°67 : Localisation du quartier prioritaire au verdissement des toitures au sein du territoire dunkerquois.

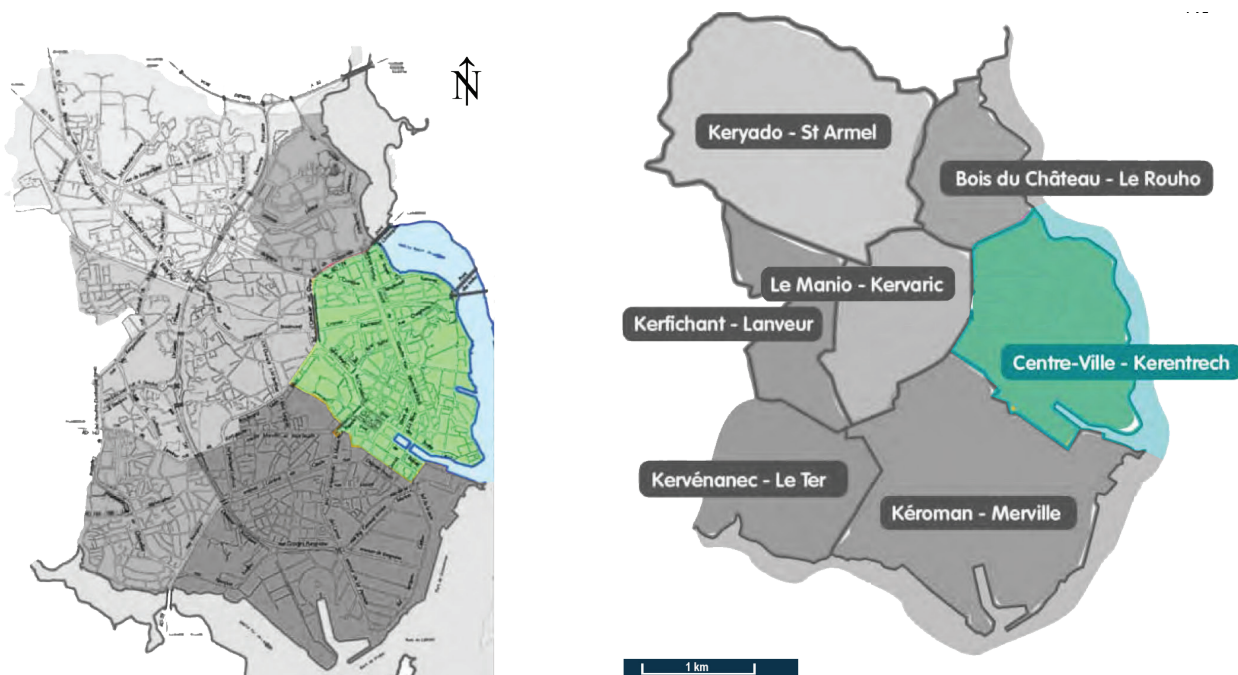
Fond de plan : (OpenStreetMap).
Réalisation personnelle, 2023



Concernant la ville de Lorient, le quartier sélectionné est celui du **centre-ville Kerentrech** pour les raisons suivantes :

- Une imperméabilisation du sol importante.
- Un phénomène d'îlot de chaleur conséquent en période estivale.

- Une exposition au bruit importante de par la départementale D724 et la rue du professeur Perrin permettant la traversée vers Lanester ainsi que les voiries du centre-ville.
- Une proximité avec la trame bleue (le Scorff et le Faouedic).
- Sa localisation centrale entre les espaces naturels présents au sud-est et au nord du territoire.
- La possibilité de répondre à certains critères de l'OAP Nature en ville (valorisation des plantations des boulevards et conforter les espaces de nature en ville).



Figures n°68 & 69 : Localisation du quartier prioritaire au verdissement des toitures au sein du territoire lorientais.
Source : (Commune de Lorient).

6.3 Analyse du potentiel de verdissement des toitures

Pour mener à bien cette analyse, l'exploitation de données géospatiales disponibles en libre-service permet d'obtenir des données de localisation ainsi que des attributs sur le bâti présent dans ces zones d'études. À partir de ces données géospatiales et à l'aide des sources cartographiques, d'images satellites, de données sur le patrimoine ainsi que des visites de terrain, une classification des toitures est réalisée afin de définir un potentiel ou non de végétalisation.

Cette classification prend en compte certains attributs architecturaux tels que : **la forme du toit, sa superficie, son gabarit, ses attributs historiques ou culturels ou encore sa structure et son année de construction.**

Cette analyse vise à fournir des premiers éléments de réponse du point de vue de l'architecte paysagiste sur le potentiel de verdissement des toitures dans les quartiers. Si les résultats sont satisfaisants, cela permettra d'approfondir cette étude en collaboration avec d'autres acteurs du paysage tels que les ingénieurs ou les urbanistes.

La première étape de cette analyse consiste à classer les toitures en deux classes distinctes. La première catégorie concerne les toitures plates ou à faible pente (<20 %), représentées en vert. La deuxième, en couleur rouge, situe les toitures en pente.

Le quartier de Dunkerque-Centre a une superficie de 2,9 km² et le quartier du centre-ville Kerentrech à Lorient de 2,5 km².



On observe une répartition hétérogène des deux classes de toitures, avec une concentration de toitures en pentes au sud du quartier.

En ce qui concerne les proportions, 1 223 toitures ont un toit plat ou à faible pente, couvrant 297 042 m², tandis que 1 534 toitures ont un toit en pente, couvrant 269 027 m².

À cette étape, la première conclusion à tirer est la présence assez importante de toitures plates ou à faibles pentes dans le quartier de Dunkerque-Centre.

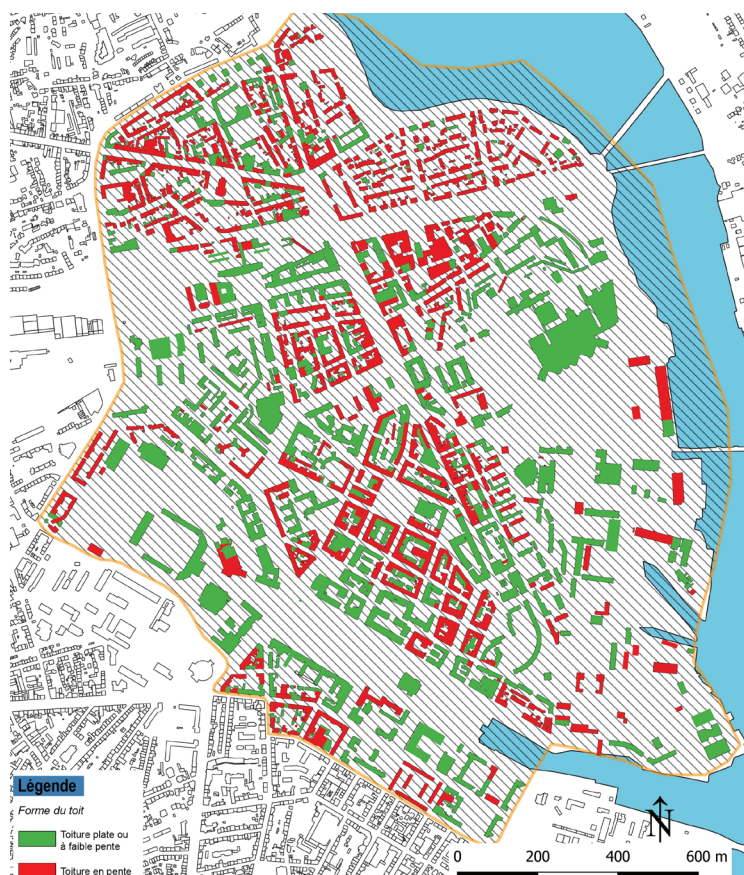
Figure n°70 : Cartographie classifiant les formes des toits du quartier de Dunkerque-Centre.
Fond de plan : (Géo2France).
Réalisation personnelle, 2024



Dans la ville de Lorient, les deux types de toitures sont moins hétérogènes qu'à Dunkerque, avec une concentration de toitures en pente au nord du quartier et au centre. Toutefois, celles-ci sont au nombre de 1 267 et couvrent 246 025 m² tandis que 1 335 sont des toitures plates ou à faible pente et couvrent 329 431 m².

En ce qui concerne le centre-ville Kerentrech à Lorient, la conclusion de cette étape est que l'on observe également une part significative de toitures à faible pente.

Figure n°71 : Cartographie classifiant les formes des toits du quartier du centre-ville Kerentrech de Lorient.
Fond de plan : (geocatalogue.lorient).
Réalisation personnelle, 2024



Dans la **seconde étape** de cette analyse, l'accent est mis sur les attributs architecturaux des toitures identifiées comme plates ou faiblement pentues. Parmi les attributs étudiés, certains ne permettent pas ou limitent la présence de végétation.

La superficie, par exemple, ne satisfait pas au critère de verdissement si elle est inférieure à 40 m², car elle est considérée comme trop petite (limite qui permet d'exclure les agrandissements ou les extensions de maison où le permis de construire n'est pas requis au sein des deux cas d'études).

Ensuite, le gabarit du bâti est également un attribut à considérer du point de vue paysager, car au-delà de R+6, le bâtiment se retrouve « déconnecté » du réseau écologique.

Il est également important de prendre en considération l'aspect historique et culturel, car un bien classé présente de nombreuses contraintes qui empêchent dans la plupart des cas de modifier la toiture.

Enfin, l'année de construction ne permet pas forcément la mise en place de végétation, notamment pour le bâti datant d'avant la reconstruction qui a été soumis à une législation différente (1949 pour Dunkerque et 1946 pour Lorient). De plus, la structure est également un attribut analysé, seuls les bâtiments ayant des murs porteurs en béton ont été acceptés dans cette analyse.



Dunkerque-Centre possède une homogénéité importante au niveau du gabarit, avec une volonté de ne pas dépasser les 5 étages lors de la reconstruction. Par conséquent, peu de constructions (13) dépassent cette norme de hauteur.

Seule une maison située au sud du quartier, datant du 18^e siècle, avec un toit éventuellement végétalisable est classée.

Enfin, la majorité des attributs limitant le verdissement des toitures concerne l'époque ou les matériaux de construction employés pour la réalisation du bâti.

Au total, 268 toitures à faible pente ne répondent pas correctement à la mise en place d'une toiture végétalisée.

Figure n°72 : Cartographie des facteurs limitant la végétalisation au sein des toitures plates ou faiblement pentues dans le quartier de Dunkerque-Centre.

Fond de plan : (Géo2France). Réalisation personnelle, 2024



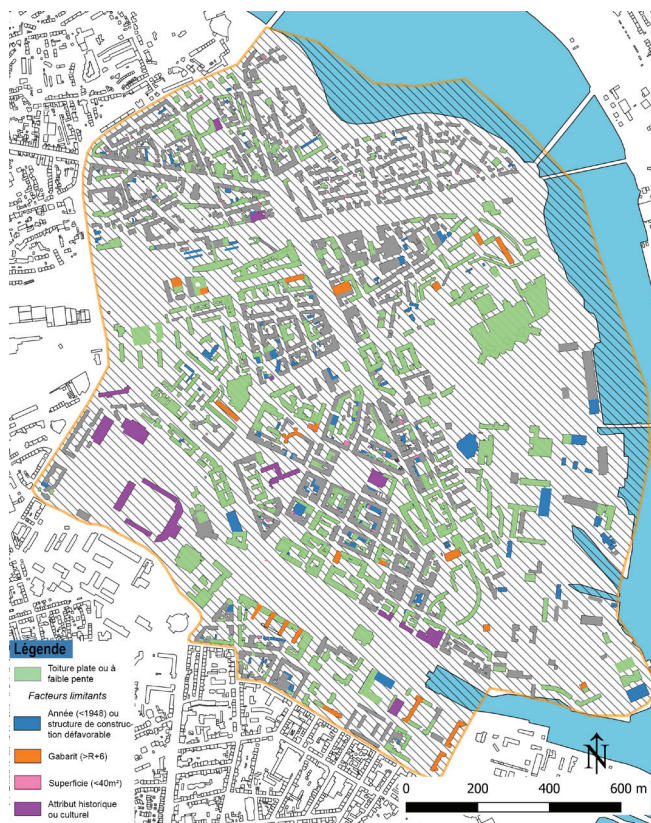
Lorient

La reconstruction à Lorient a vu intervenir de nombreux architectes créant différents styles d'architecture au sein des quartiers. Celui du centre-ville Kerentrech ne fait pas exception et possède une grande variété au niveau du bâti.

Parmi les attributs qui restreignent la végétalisation des toitures peu pentues, on retrouve les habitats dépassant les 6 étages (31). On retrouve également les toits trop petits au cœur des îlots (agrandissement ou extension), les matériaux de construction différents du béton, ainsi que de nombreux biens classés identitaires à la région.

Au total, 336 toitures à faible pente ne répondent pas correctement à la mise en place d'une toiture végétalisée.

Figure n°73 : Cartographie des facteurs limitant la végétalisation au sein des toitures plates ou faiblement pentues dans le quartier du centre-ville Kerentrech à Lorient. Fond de plan : (geocatalogue. lorient). Réalisation personnelle, 2024



La troisième étape a consisté à cartographier, calculer la superficie et le nombre de toitures qui, du point de vue de l'architecte paysagiste pourraient être potentiellement végétalisées. L'objectif était de déterminer si une analyse plus approfondie du bâti réalisée par d'autres acteurs du paysage pourrait être envisagée ou non.



Dunkerque



L'ensemble du quartier de Dunkerque-Centre présente un fort potentiel de verdissement de ses toits, avec 955 toits relevés pour une superficie de 243 560 m².

Toutefois, il convient de souligner que ce sont des chiffres permettant seulement de donner un ordre de grandeur. Ils seront réduits en cas d'analyse plus approfondie du bâti.

En effet, les contraintes liées à la portance ainsi qu'aux différents dispositifs présents sur certains toits tels que les installations techniques ou la présence de puits de lumière seront à soustraire.

Figure n°74 : Cartographie du potentiel de verdissement du quartier de Dunkerque-Centre. Fond de plan : (Géo2France). Réalisation personnelle, 2024



Lorient

Le quartier du centre-ville Kerentrech présente également un fort potentiel de verdissement de ses toits, avec 999 toits relevés pour une superficie de 256 595 m².

Cependant, comme pour le cas d'étude précédent, ces chiffres permettent seulement de donner un ordre de grandeur et seront revus à la baisse en cas d'analyse plus approfondie.

Figure n°75 : Cartographie du potentiel de verdissement du quartier du centre-ville Kerentrech à Lorient.
Fond de plan : (geocatalogue.lorient).
Réalisation personnelle, 2024



Pour conclure, cette analyse a permis d'apporter un premier élément de réponse concernant ces deux quartiers qui sont relativement proches l'un de l'autre en ce qui concerne les résultats obtenus.

Ces deux cas d'étude ont un potentiel important au niveau du verdissement des toitures du point de vue de l'architecte paysagiste et ils demanderaient à être approfondi. Il s'agit de quartiers présentant certains problèmes liés aux îlots de chaleur, aux nuisances sonores et au manque de nature en ville, pour lesquels la végétalisation des toitures pourrait être une solution.

6.4 Étude et proposition d'une palette végétale adaptée au contexte local

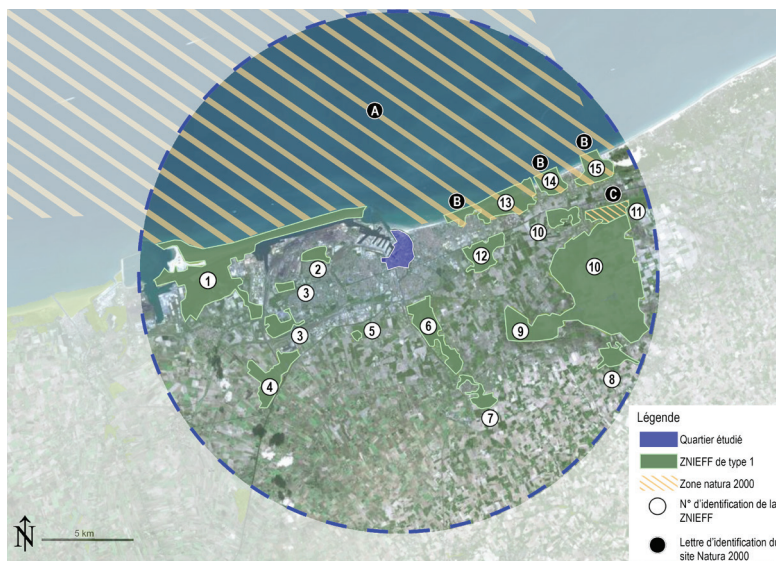
Selon les conclusions tirées de l'analyse du potentiel de verdissement des toitures, l'objectif de ce point est d'analyser le contexte écologique qui entoure les quartiers prioritaires sélectionnés et de proposer une palette végétale pouvant être plantée au sein des toitures identifiées.

Cette palette végétale prendra en compte les habitats naturels classifiés EUNIS (European Nature Information System - annexe 1 p90) situés à proximité et pouvant être reproduits sur une toiture afin d'y faire une analogie et permettre la création d'habitats analogues. De plus, elle s'assurera de proposer de nouveaux habitats adaptés à la faune locale, pour conserver et enrichir celle-ci.

6.4.1 Recherche d'habitats écologiques permettant la création d'habitats analogues en toiture extensive et semi-intensive

La méthode employée pour l'étude des habitats écologiques est le recensement d'habitats dans les ZNIEFF de type 1 (Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique) et dans les zones du réseau Natura 2000 (directive Habitats), située à proximité des cas d'étude. J'ai établi un rayon d'action de 15 km autour des quartiers étudiés. Celui-ci a pour fonction de pouvoir disposer d'un échantillonnage suffisamment important pour avoir une vision globale et de permettre la comparaison entre les habitats présents dans ces zones écologiques de grande valeur.

L'objectif final étant de retenir les habitats où la création d'une analogie sur les toits est possible.



- 1 - Dune du Clipon
- 2 - Marais et pelouses sableuses de Fort Mardyck
- 3 - Marais du Prédembourg, Bois et étang du Puythouck et Pont à Roseaux
- 4 - Bassin de Coppemaxfort, watergang du Zout Gracht et prairies et mares de la Ferme Belle à Loon-Plage
- 5 - Lac d'Armouts-cappel
- 6 - Les forts de Coudekerque et les zones humides associées
- 7 - Remparts de Bergues
- 8 - Petites moères d'Hondschoote
- 9 - Polders du Stinkaert et des petites moères
- 10 - Canal des Chats, Canal du Ringsloot et mares de chasse de Ghyvelde
- 11 - Dunes de Ghyvelde
- 12 - Marais de la Briqueterie et lac de Téteghem
- 13 - Dunes de Leffrinckoucke
- 14 - Dunes Marchand
- 15 - Dunes du Perroquet

Figure n°76 : Cartographie des ZNIEFF de type 1 et du réseau Natura 2000 situé à moins de 15 km du quartier de Dunkerque-Centre.

Données : (Géoportail & INPN). Réalisation personnelle, 2024

- A - Bords des Flandres
B - Dunes de la plaine maritime flamande
C - Dunes flamandaises décalcifiées de Ghyvelde

Dans le cas de Dunkerque, peu d'habitats situés dans les ZNIEFF de type 1 et les sites Natura 2000 (directive Habitats) peuvent être reproduits en tant qu'habitat analogue sur les toitures, à l'exception des **prairies mésophiles**. En effet, de par sa situation géographique, le territoire de polder présente principalement des enjeux et des habitats aquatiques en raison de la présence d'un maillage hydrographique étendu lié à la présence du delta de l'Aa. On trouve également de nombreux habitats liés aux espaces dunaires, mais qui ne peuvent pas non plus être reproduits dans des toitures végétalisées extensives ou semi-intensives (charge exercée sur le bâti trop importante).



Figure n°77 : Cartographie des habitats situés à moins de 15 km du quartier de Dunkerque-Centre pouvant être reproduits sur les toits. Données : (Géoportail & INPN). Réalisation personnelle, 2024

Prairie mésophile

Les prairies mésophiles de fauche sont des formations végétales herbacées installées sur des sols relativement fertiles et bien drainés (mésophiles). Elles sont traditionnellement fauchées au début de l'été pour la production de foin.

Cet habitat possédant une diversité spécifique, mais aussi des couverts hétérogènes qui apparaissent comme des paramètres essentiels pour maximiser leurs effets sur les services écosystémiques qu'elles soutiennent, comme la pollinisation, la régulation des bio-agresseurs, l'atténuation des effets du changement climatique ou encore la limitation des pollutions diffuses.



Figure n°78 : Photographie d'une prairie mésophile située au sein de la commune de Ghyvelde dans le Nord. (Photographie personnelle, 2024).

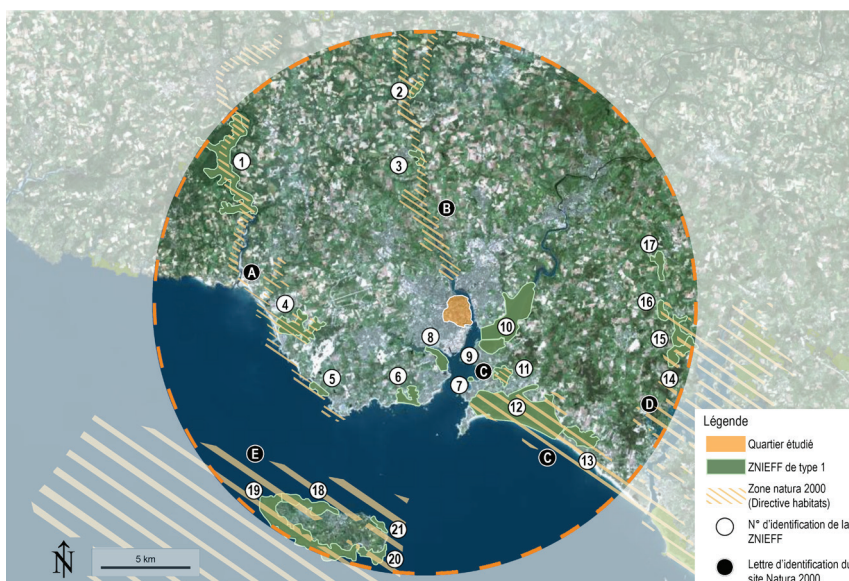


Figure n°79 : Cartographie des ZNIEFF de type 1 et du réseau Natura 2000 (directive Habitats) situés à moins de 15 km du quartier du centre-ville Kerentrech à Lorient. Données : (Géoportail & INPN).

Réalisation personnelle, 2024

- | | |
|--|--|
| 1 - Estuaire de la Laïta | 16 - Étang de Rodes |
| 2 - Étang de Tronchâteau - Tavyard | 17 - Étang de Coëtrivas - Moulin de Saint-Georges |
| 3 - Forêt de Pont-Scorff | 18 - Côte nord de Groix d'Ineveli à Port-Lay |
| 4 - Étang de Lannédec | 19 - Côte sud et ouest de Groix des Saisies à Beg Melen |
| 5 - Le Courégant | 20 - Pointe des Chats de Porh Gigueou à Porh Coustic |
| 6 - Parc océanique de Kerguelen | 21 - Les Grands Sables |
| 7 - Pointe de Kerzo | |
| 8 - Anse de Quelisoy | A - Rivière Laïta, Pointe du Talud, étangs du Loc'h et de Lannédec |
| 9 - Marais de Pen Mané | B - Rivière Scorff, forêt de Pont-Calleck, rivière Sarre |
| 10 - Estuaire du Blavet | C - Massif dunaire Gâvres - Quiberon, zones humides associées |
| 11 - La Croizetièrre | D - Ria d'Etel |
| 12 - Dunes et anse de Gâvres | E - Ile de Groix |
| 13 - Étangs de Kervran et Kerzine | |
| 14 - Bois de Kerfrezec et du plateau du Letty et landes de Lann Vraz | |
| 15 - Vases salées de Sainte-Hélène | |

Contrairement au précédent cas, le paysage breton situé à proximité de la ville de Lorient possède plusieurs habitats reproductibles sur des toitures végétalisées extensives ou semi-intensives au sein des ZNIEFF de type 1 et des sites Natura 2000 (directive Habitats). Parmi ces habitats, on y retrouve **des prairies mésophiles, des landes sèches ainsi que des prairies de fauches de basses altitudes**.

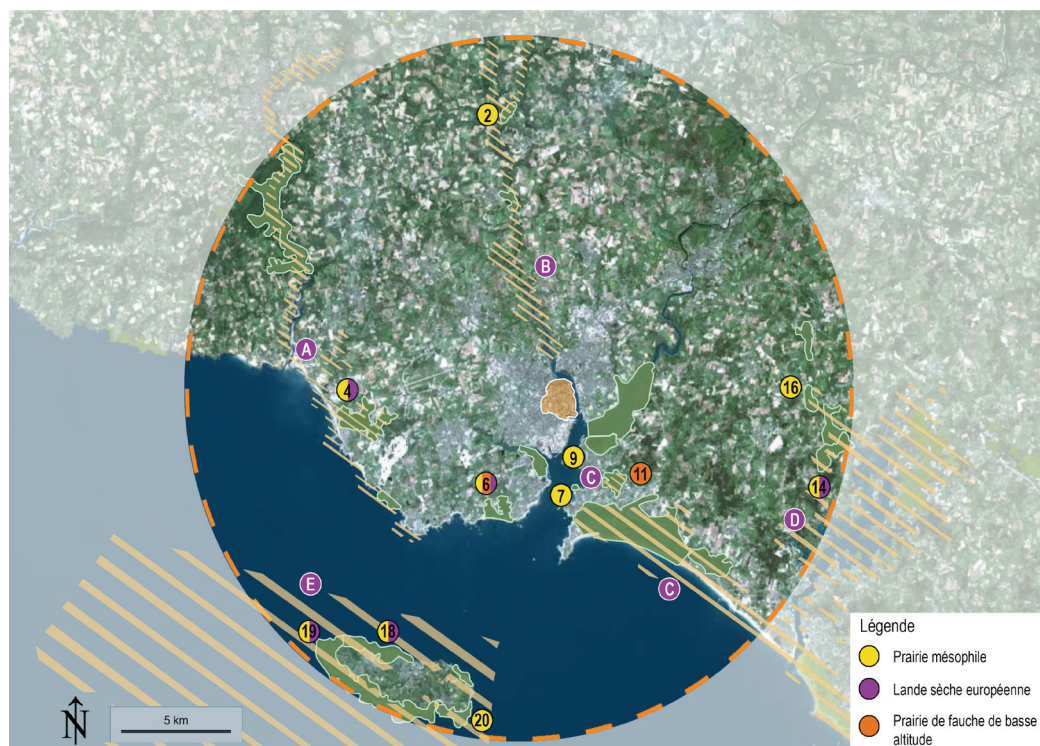


Figure n°80 : Cartographie des habitats situés à moins de 15 km du quartier du centre-ville Kerentrech à Lorient.
Données : (Géoportail & INPN). Réalisation personnelle, 2024

Prairie mésophile

Les prairies mésophiles de fauche sont des formations végétales herbacées installées sur des sols relativement fertiles et bien drainés (mésophiles). Elles sont traditionnellement fauchées au début de l'été pour la production de foin.



Figure n°81 : Photographie d'une prairie mésophile située au sein de la commune de Landaul dans le Morbihan.
(Photographie personnelle, 2024).

Cet habitat possédant une diversité spécifique, mais aussi des couverts hétérogènes qui apparaissent comme des paramètres essentiels pour maximiser leurs effets sur les services écosystémiques qu'elles soutiennent, comme la pollinisation, la régulation des bio-agresseurs, l'atténuation des effets du changement climatique ou encore la limitation des pollutions diffuses.

Lande sèche européenne



Figure n°82 : Photographies de la lande sèche de Ploemeur dans le Morbihan.

Source : (Commune de Ploemeur, 2023).

Les landes sèches sont des formations végétales dominées par des sous-arbrisseaux comme la bruyère vulgaire, l'airelle, la myrtille commune, des genêts. Elles occupent en général des sols secs, pauvres en éléments nutritifs et généralement acides.

Cet habitat accueille de nombreux végétaux remarquables ainsi que des insectes comme les orthoptères. Cependant, il a considérablement régressé ces dernières décennies, il témoigne d'une économie rurale ancienne fondée sur le pastoralisme.

Prairie de fauche de basse altitude



Figure n°83 : Photographies de prairies de fauche de basse altitude située à Belle-Île-en-Mer dans le Morbihan.

Source : (Conservatoire botanique national de Brest, 2023).

Il s'agit de prairies où l'exploitation est lente (2 fauches par an) après la floraison des graminées qui y sont prédominantes (Fromental élevé, Brome mou...). Elles sont riches en espèces fleuries comme les *Centaurees*, l'*Achillée millefeuille*... Il existe de nombreuses variantes suivant la fraîcheur et les qualités du sol et en fonction de la gestion pratiquée.

Elles participent grandement à la biodiversité des complexes pastoraux et sont riches en espèces végétales et en insectes. Elles constituent également des milieux ouverts propices à certains oiseaux.

6.4.2 Proposition de palettes végétales pour les habitats analogues

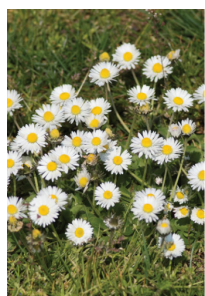
Les palettes végétales mentionnées ci-dessous sont non exhaustives, ce sont des propositions qui offrent une vue d'ensemble des plantes potentielles qui pourraient être plantées au sein des différentes toitures étudiées.

Les critères utilisés pour leur sélection sont :

- La répartition géographique (plantes que l'on retrouve sur les littoraux et qui sont déjà présentes au sein des départements où se situent les cas d'études).
- Leurs adaptations aux toitures végétalisées extensives et semi-intensives (plantes ayant déjà été utilisées dans d'autres projets de verdissement de toitures extensives et semi-intensives et dont les résultats sont satisfaisants).
- Leurs présences parmi les inventaires associés aux différents habitats provenant de la classification Eunis.



Prairie mésophile



Bellis perennis



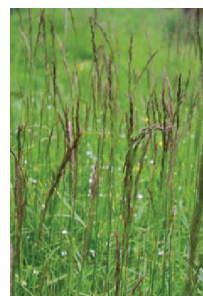
Bromus hordeaceus



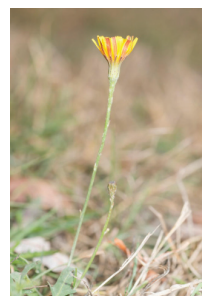
Cynosurus cristatus



Dactylis glomerata



Festuca rubra



Leontodon autumnalis



Leucanthemum vulgare



Lolium perenne



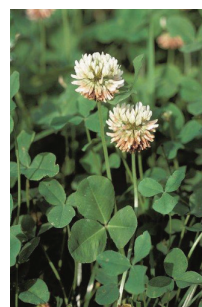
Medicago lupulina



Poa pratensis



Tragopogon pratensis



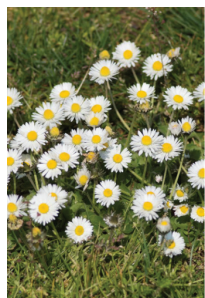
Trifolium repens

Figure n°84 : Palette végétale non-exhaustive caractéristique des prairies mésophiles adaptée aux toitures vertes extensives et semi-intensives. Photographies : (INPN). Réalisation personnelle, 2024



Lorient

Prairie mésophile



Bellis perennis



Bromus hordeaceus



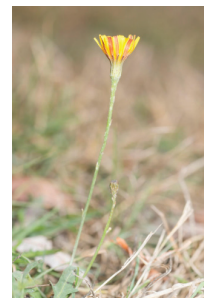
Cynosurus cristatus



Dactylis glomerata



Festuca rubra



Leontodon autumnalis



Leucanthemum vulgare



Lolium perenne



Medicago lupulina



Poa pratensis



Tragopogon pratensis



Trifolium repens

Figure n°85 : Palette végétale non-exhaustive caractéristique des prairies mésophiles adaptée aux toitures vertes extensives et semi-intensives. Photographies : (INPN). Réalisation personnelle, 2024

Lande sèche européenne



Agrostis curtisii



Cytisus scoparius



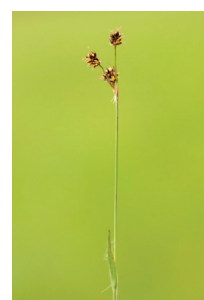
Erica cinerea



Erica vagans



Genista tinctoria



Luzula campestris



Silene otites



Teucrium scorodonia



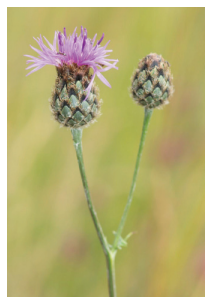
Ulex europaeus



Ulex minor

Figure n°86 : Palette végétale non-exhaustive caractéristique des landes sèches européennes adaptée aux toitures vertes extensives et semi-intensives du littoral. Photographies : (INPN). Réalisation personnelle, 2024

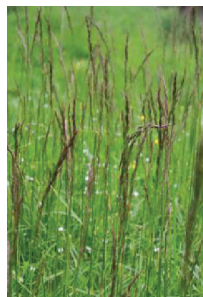
Prairie de fauche de basse altitude



*Centaurea
scabiosa*



Daucus carota



Festuca rubra



Galium verum



*Geranium
sanguineum*



*Knautia arven-
sis*



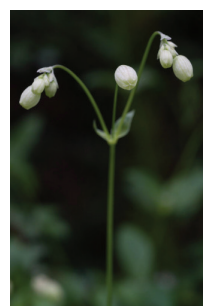
*Leucanthemum
vulgare*



*Malva
moschata*



*Ranunculus
bulbosus*



Silene vulgaris



*Tragopogon
pratensis*

Figure n°87 : Palette végétale non-exhaustive caractéristique des prairies de fauches de basses et moyennes altitudes adaptée aux toitures vertes extensives et semi-intensives du littoral.

Photographies : (INPN). Réalisation personnelle, 2024

6.4.3 Etude de la faune locale possédant des habitats reproductibles sur des toitures extensives et semi-intensives

La présente étude de la faune est une synthèse des résultats obtenus à partir du tableau présenté en annexe 2 (pages 91 à 97). Les relevés utilisés dans cette étude proviennent des fiches techniques de l'Inventaire national du patrimoine naturel (INPN) décrivant les différents ZNIEFF et sites Natura 2000 (directive Oiseaux) situés à proximité des deux cas d'étude.

À partir de ces relevés, une attention particulière est accordée aux habitats de la faune locale qui pourraient être reproduits sur des toitures vertes extensives ou semi-intensives. Les habitats qui regroupent un grand nombre d'espèces sont alors sélectionnés afin de proposer une palette végétale permettant la création d'habitats analogues. L'objectif est de préserver et d'accroître la biodiversité présente dans chaque paysage d'étude.



Pour le cas d'étude de Dunkerque, de nombreuses espèces apprécient la végétation herbacée présente dans les prairies. Toutefois, l'habitat a été développé dans les parties antérieures avec les prairies mésophiles et, par conséquent, la faune liée à ce seul habitat n'est pas reprise dans cette étude.

Sur la figure 88, on peut observer 15 zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique de type 1 (ZNIEFF) ainsi qu'un site Natura 2000 (directive Oiseaux) situé à moins de 15 km du quartier étudié. Il existe 39 espèces ayant des habitats reproductibles sur des toitures.

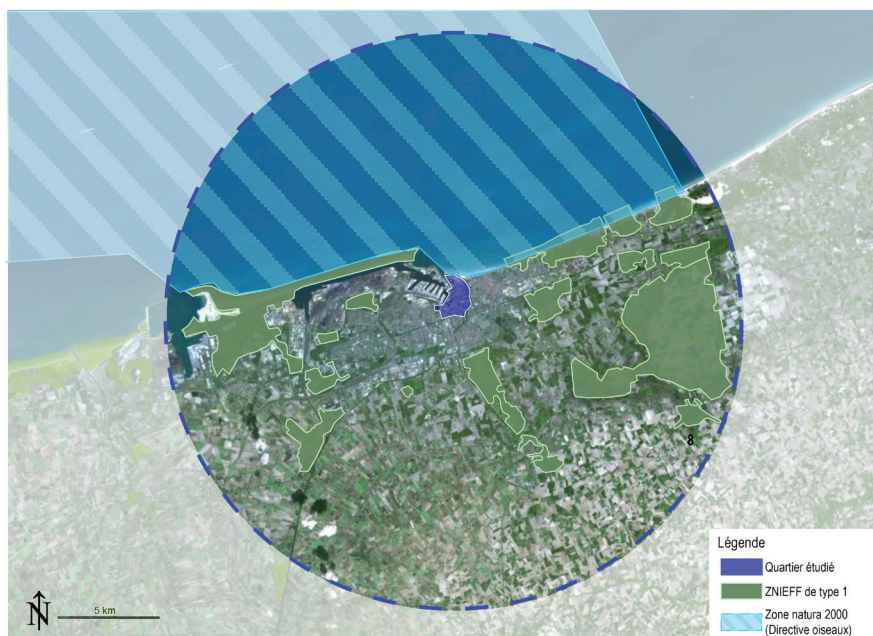


Figure n°88 : Cartographie des ZNIEFF de type 1 et du réseau Natura 2000 (directive Oiseaux) situés à moins de 15 km du quartier de Dunkerque-Centre. Donnée : (Géoportail). Réalisation personnelle, 2024

Les habitats les mieux représentés au sein du cas d'étude de Dunkerque sont **la pelouse sèche** avec 19 espèces susceptibles de côtoyer ce type de milieu durant une certaine période de l'année, ainsi que **l'association végétale qui associe une flore des landes, de fourré et de toundra** et pour laquelle 20 espèces sont susceptibles d'apprécier particulièrement ce type de milieu. Cependant, ce type d'association n'est possible que sur toit végétal semi-intensif avec une diminution du couvert arbustif par rapport à l'habitat présent au sol.

Pelouse sèche : Formation végétale constituée de plantes herbacées permanentes qui forment un tapis peu épais et peu élevé. Ce « gazon » est dominé par trois ou quatre graminées et son sol est généralement riche en calcaire, peu épais et pauvre en éléments nutritifs. Le qualificatif de « sèche » vient de l'absence d'ombrage d'arbres et d'arbustes.

Lande, fourré, toundra : La végétation des landes et des fourrés est dominée par des buissons ou des formes buissonnantes naines. Vivaces herbacées, plantes bulbeuses et graminées peuvent également être présentes. Tandis que celle de la toundra est une association de plantes grasses, de mousse et de sédums variés, colorés et mellifères formant un tapis végétal ras très florifère.

Pelouse sèche

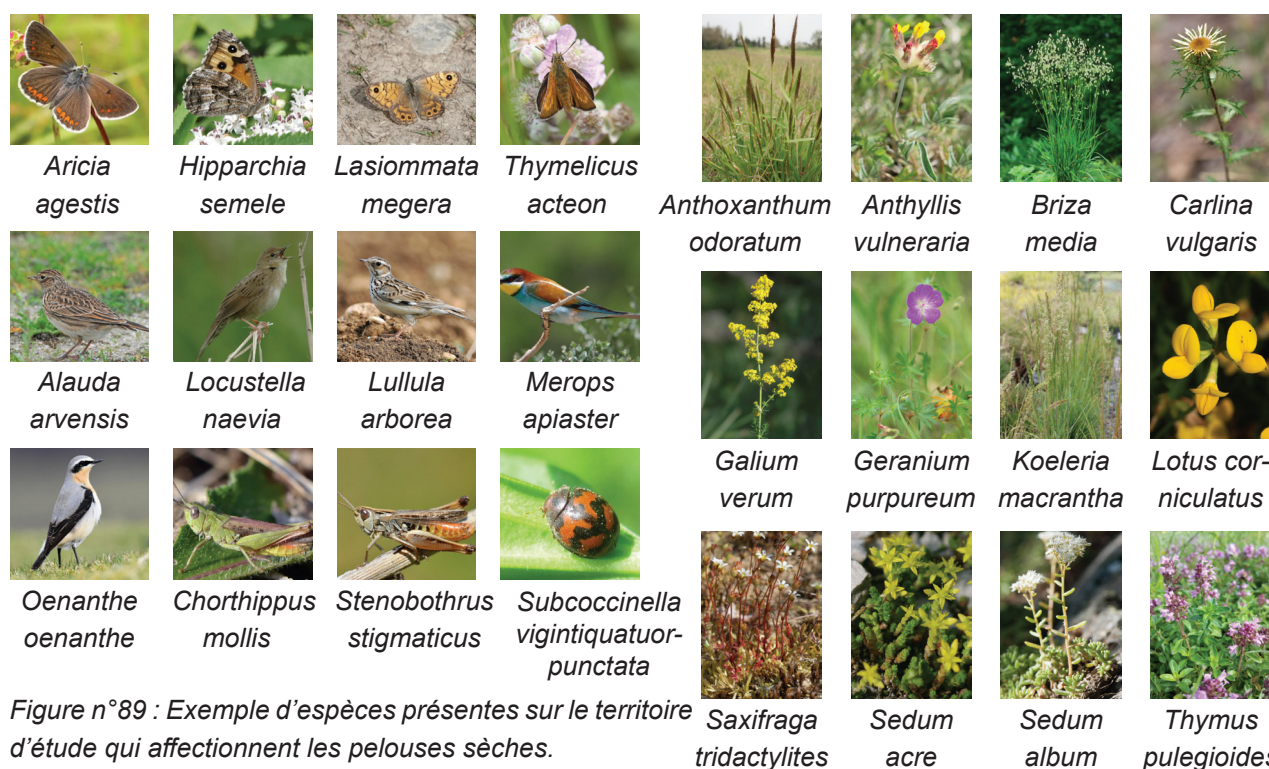


Figure n°89 : Exemple d'espèces présentes sur le territoire d'étude qui affectionnent les pelouses sèches.
Source : (Inventaire national du patrimoine naturel (INPN)).

Figure n°90 : Palette végétale non-exhaustive caractéristique des pelouses sèches et adaptée aux toitures vertes extensives et semi-intensives du littoral. Photographies : (INPN). Réalisation personnelle, 2024

Landes, fourré et toundra



Figure n°91 : Exemple d'espèces présentes sur le territoire d'étude qui affectionnent l'association lande, fourré et toundra. Données : (Inventaire national du patrimoine naturel (INPN)).



Figure n°92 : Palette végétale non-exhaustive caractéristique de l'association lande, fourré et toundra et adaptée aux toitures vertes semi-intensives du littoral. Photographies : (INPN). Réalisation personnelle, 2024



Lorient

Pour le cas d'étude de Lorient, de nombreuses espèces affectionnent les habitats déjà développés dans les parties précédentes qui concernent les prairies de fauches de basse et moyenne altitude, les prairies mésophiles ainsi que les landes sèches. Par conséquent, la faune associée à ces seuls habitats n'est pas reprise au sein de cette étude.

Sur la figure 93, on peut observer les 21 zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique de type 1 (ZNIEFF) ainsi que les 3 sites Natura 2000 (directive Oiseaux) situés à moins de 15 km du quartier étudié. 34 espèces ont des habitats reproductibles sur des toitures.

La pelouse sèche est l'habitat le plus représenté (>10 espèces) au sein du cas d'étude de Lorient avec 14 espèces susceptibles de côtoyer ce type de milieu.



Figure n°93 : Cartographie des ZNIEFF de type 1 et du réseau Natura 2000 (directive Oiseaux) situés à moins de 15 km du centre-ville Kerentrech à Lorient. Données : (Géoportail). Réalisation personnelle, 2024

Pelouse sèche



Figure n°94 : Exemple d'espèces présentes sur le territoire d'étude qui affectionnent les pelouses sèches. Données : (Inventaire national du patrimoine naturel (INPN)).

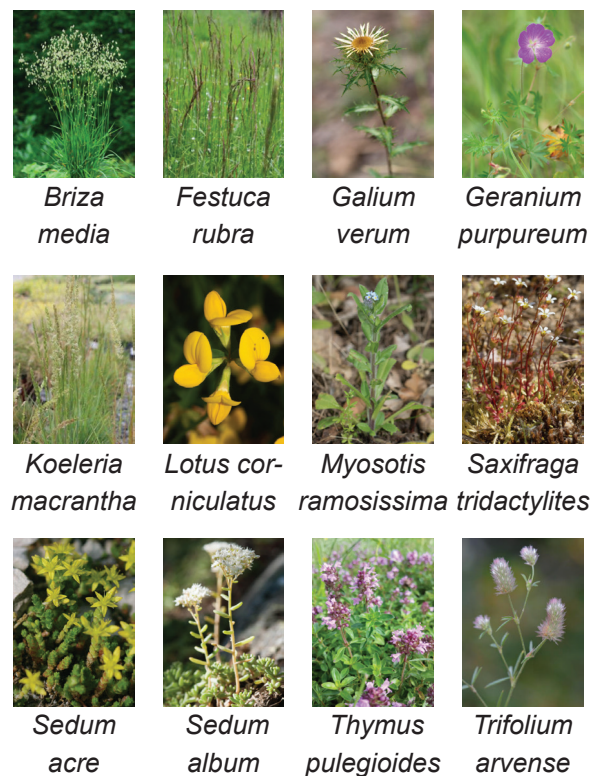


Figure n°95 : Palette végétale non-exhaustive caractéristique des pelouses sèches et adaptée aux toitures vertes extensives et semi-intensives du littoral. Photographies : (INPN). Réalisation personnelle, 2024

6.4.4 Mise en relation des résultats d'études avec un projet déjà existant

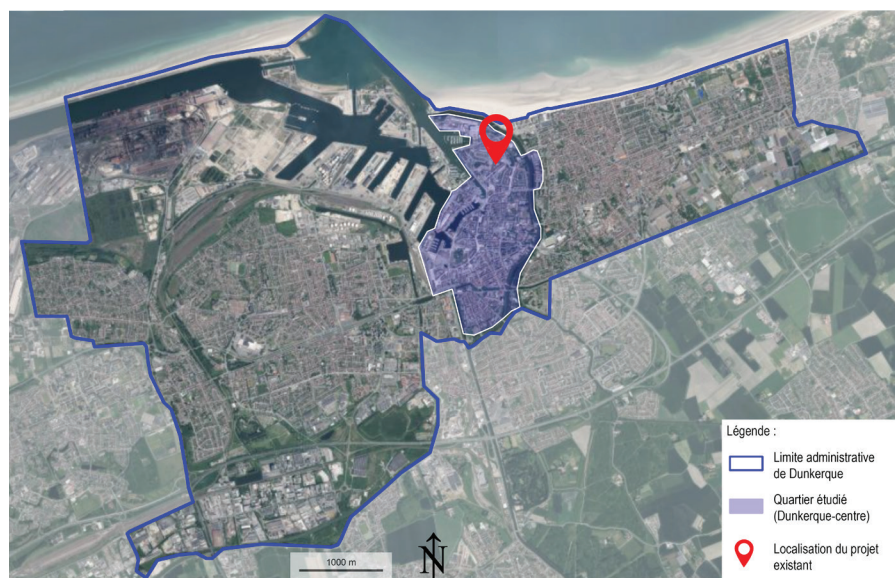


Figure n°96 : Localisation du projet de toitures végétalisées du lycée professionnel Guy Debeyre à Dunkerque. Fond de plan : (Géoportail). Réalisation personnelle, 2024

Lycée Professionnel Guy Debeyre - 59140



Figure n°97 : Zoom sur les toitures végétalisées de l'établissement scolaire de Guy Debeyre à Dunkerque. Photographie (Géoportail). Réalisation personnelle, 2024

Descriptif du projet

Entreprise : SMAC SA

Date de réalisation : 02 / 2007

Type de végétation : procédé TECFLOR / ECOFLOR (végétalisation extensive composée de petites plantes grasses vivaces).

Hauteur de végétation : 05 à 25 cm



Figure 98 : Vue aérienne du lycée Guy Debeyre à Dunkerque.
Source : (CEGELEC, 2023).

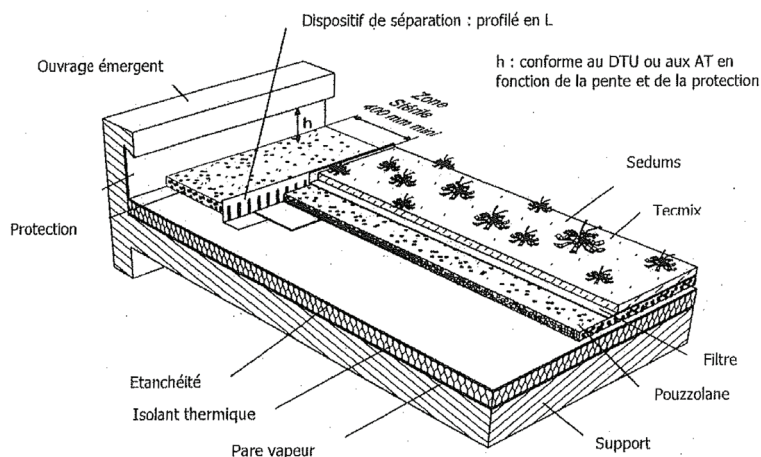
Mise en œuvre : Par rouleaux précultivés et par fragments (semis).



Figures n°99, 100 & 101 : Photographies des toitures végétalisées du lycée Guy Debeyre à Dunkerque.
Sources : (CCTP et photographies personnelles, 2004 & 2024).

Justification du choix : La sélection des rouleaux en plantes grasses précultivés a été réalisée afin d'obtenir un résultat visuel rapide et de limiter la pousse d'herbe indésirable. De plus, le maître d'œuvre souhaitait également un système végétalisé qui demande très peu d'entretien, avec des plantes exclusivement persistantes (voir la liste des variétés en annexe 3, page 98).

Détail de la mise en œuvre et choix de la palette végétale : La mise en œuvre s'effectuant lors de la construction du lycée en 2006/2007 au sein d'un espace très vaste, l'utilisation d'un engin de relevage a permis d'élever les palettes constituées de rouleaux précultivés sans contrainte. De plus, il existe également un accès piéton qui facilite l'accès à la toiture. Toutefois, étant donné le poids considérable des rouleaux, leur transport à travers les toitures a nécessité certaines compétences physiques. Enfin, la figure 102 illustre les différentes couches que l'on retrouve pour la mise en œuvre de ce projet.



h=conforme au DTU ou aux AT en fonction de la pente et de la protection.

Figure n°102 : Coupe technique de la pose des toits végétalisés du lycée Guy Debyre à Dunkerque. Source : (CCTP, 2004).

Quant à la sélection de la palette végétale (figure 103), elle a été réalisée en se conformant au Cahier des Clauses Techniques Spécifiques (CCTP). Il faisait référence aux recommandations suivantes :

- Développement possible dans des épaisseurs de substrat très faibles.
- Aptitude des plantes à se multiplier elles-mêmes pour obtenir une colonisation du sol.
- Adaptation au climat (spécialement à la sécheresse estivale).
- Exigence faible sur le plan de la nutrition.
- Résistance à la pollution.

<u>Palette végétale</u>	
Plantes succulentes	
<i>Sedum takesimense</i>	<i>Sedum floriferum</i> ' <i>Weihenstephaner gold</i> '
<i>Sedum pachyclados</i>	<i>Sedum hybridum</i> ' <i>Immergrünchen</i> '
<i>Sedum reflexum</i>	<i>Sedum sexangulare</i>
<i>Sedum aizoon</i>	<i>Sedum album</i> 'Coral carpet'
<i>Sedum spurium</i> (pourpre, tricolor, blanc & rose)	<i>Sedum pyreneum</i>

Figure n°103 : Palette végétale des toits végétalisés du lycée Guy Debyre à Dunkerque. Source : (CCTP, 2004).

Mise en relation avec l'étude des habitats et de la faune locale

Ce projet, datant d'il y a un peu moins de vingt ans est composé d'une végétation exclusive de plantes grasses/succulentes. La palette végétale ainsi que les photographies du projet mettent en évidence la présence d'une végétation rase et homogène. Cependant, en comparaison avec l'étude réalisée sur les habitats et la faune locale, on constate que les résultats obtenus sont très différents.

Il est donc possible d'en conclure que le projet n'est pas intégré à la trame verte territoriale, ni même adapté à la faune locale. Seules quelques espèces du littoral qui ont peu d'exigences et une grande capacité d'adaptation peuvent utiliser pleinement ce type de toiture végétalisée. Grâce à une végétation herbacée ou de type pelouse sèche, le projet aurait pu jouer un rôle plus significatif dans la biodiversité du littoral Dunkerquois.

Ce projet contribue néanmoins en partie, grâce au recouvrement de la toiture par la végétation, aux problèmes d'îlots de chaleur et de désengorgement des réseaux.



Lorient

RÉSIDENCE L'ANORIANTE – 56000 LORIENT



Figure n°104 : Localisation du projet des toitures végétalisées de la résidence l'Anoriente à Lorient.

Fond de plan : (Géoportail). Réalisation personnelle, 2024



Figures n°105 & 106 : Zooms sur les toitures végétalisées de la résidence l'Anoriente à Lorient.

Photographies : (Géoportail et Fabien Coudriet Architectes 2024 & 2014).

Descriptif du projet

Entreprise : Sopranature

Date de réalisation : 10 / 09 /2015

Type de végétation : Tundra flore
(végétalisation extensive comprenant des plantes vivaces à petit développement, des graminées et des bulbeuses).

Hauteur de végétation : 10 à 30 cm

Mise en œuvre : Par plantation



Figure n°107 : Photographies des toitures végétalisées de la résidence l'Anoriente à Lorient. Source : (Sopranature, 2015).

Justification du choix : Le choix a été fait pour des contraintes économiques, mais aussi d'accès.

L'accès des matériaux au niveau des toits a été réalisé principalement par des lanterneaux et, par conséquent, cela limite les approvisionnements. Il n'y avait pas non plus de point d'eau en toiture, il a donc fallu choisir un système résistant et ne nécessitant pas d'arrosage.

Le client souhaitait également un système végétalisé qui demande peu d'entretien tout en préservant une biodiversité intéressante et en respectant un budget défini.

Détail de la mise en œuvre et choix de la palette végétale : Pour la réalisation de ce projet, l'entreprise Sopranature a utilisé la méthode de plantation afin de végétaliser les toitures de la résidence l'Anoriente. La figure 108 illustre les différentes couches que l'on retrouve pour la mise en œuvre de ce projet. Alors que les figures 109 et 110 font référence aux espèces utilisées et à l'évolution de l'aspect visuel de la végétation au fil de l'année. Dans ce projet où différents toits végétalisés se succèdent, on peut également retrouver dans l'annexe 4 (pages 99-100) pour chacun des toits, les quantités et la répartition de chaque variété.

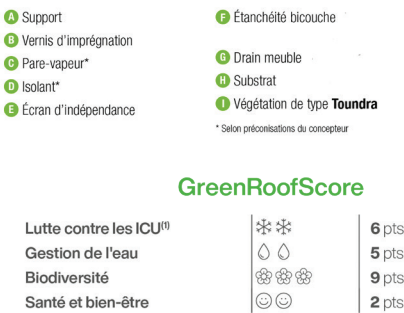


Figure n°110 : Aspect visuel de la végétalisation au cours des différentes saisons. Source : (Sopranature, 2015).

Palette végétale		
Plantes succulentes	Graminée	Plantes vivaces
<i>Sedum kamtchaticum</i> 'Olda'	<i>Carex comans</i> 'Bronco'	<i>Allium schoenoprasum</i>
<i>Sedum lydium</i> 'Glaucum'	<i>Festuca gautieri</i> 'Pic Carlit'	<i>Armeria maritima</i>
<i>Sedum reflexum</i> 'Angelina'	<i>Pennisetum alopecuroides</i>	<i>Delosperma cooperi</i> 'Table Mountain'
<i>Sedum reflexum</i> 'Czars Gold'		<i>Dianthus deltoides</i>
<i>Sedum sexangulare</i>		<i>Duchesnea indica</i>
<i>Sedum spectabile</i> 'Brillant'		<i>Geranium sanguineum</i>
<i>Sedum stoloniferum</i>		<i>Iris pumila</i> 'Cherry Garden'
<i>Sedum summer</i> 'Clay'		<i>Thymus serpyllum</i> 'Red Carpet'

Figure n°109 : Palette végétale des toits végétalisés de la résidence l'Anoriente à Lorient. Source : (Sopranature, 2015).

Mise en relation avec l'étude des habitats et de la faune locale

Ce projet met en évidence le choix d'une végétation de type Toundra Flore pour végétaliser les différents toits de la résidence. On y retrouve des variétés de plantes herbacées, quelques graminées et des sédums permettant la création d'espaces ouverts et ras au sein de la toiture. Cependant, ce type de végétation qui cherche à se rapprocher de l'habitat de la toundra n'est pas nécessairement le type d'habitat le plus repré-

senté dans le paysage lorientais. Néanmoins, à travers l'étude de la faune, on peut remarquer que certaines espèces présentes dans les sites écologiques à proximité affectionnent la végétation et la structure de celui-ci.

Il est donc possible d'en conclure que le choix de la végétation est adéquat en raison du contexte écologique qui l'entoure (la présence de certaines espèces qui apprécient ce type d'habitat), des contraintes du site (absence de point d'eau et accès limité à la toiture) et des demandes variées du client (un entretien réduit et un bon rapport qualité/prix). Toutefois, l'utilisation de végétation de type lande sèche ou pelouse sèche, par exemple, aurait permis au projet de contribuer davantage à la biodiversité du littoral morbihannais.

PARTIE V : ANALYSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Pour conclure ce travail de recherche, des discussions concernant la méthodologie utilisée et les résultats qui en ont résulté seront analysés. L'objectif est de prendre du recul sur la façon dont le travail a été réalisé pour mettre en évidence les enseignements tirés lors de la réalisation de cette recherche. Cette partie permet également d'apporter des éléments de réponse sur la pertinence de ce travail dans sa capacité à répondre à la problématique de départ. Elle permet également de cibler les contraintes rencontrées, les axes d'amélioration ainsi que d'évaluer la pertinence des choix appliqués pour mener à bien cette recherche.

8.1 Discussion des résultats obtenus

8.1.1 La sélection des cas d'études

Le choix des cas d'études a été motivé par ma propre volonté d'explorer les paysages littoraux dans deux régions qui me sont particulièrement chères (le Nord et la Bretagne). Dans ce travail, plusieurs éléments ont été pris en considération, comme expliqué précédemment, pour étudier deux villes localisées dans des situations géographiques différentes, mais qui présentent des similitudes afin de fournir des « points de comparaison ».

Dans la région du Nord, le choix du cas d'étude a été limité, car il existe peu de grandes villes près du littoral qui pourraient répondre de manière optimale aux toitures végétalisées en raison du patrimoine architectural local.

En ce qui concerne le cas d'étude en Bretagne, plusieurs villes majeures auraient pu être sélectionnées, telles que Saint-Malo, Vannes, Brest ou Lorient. Toutefois, les deux premières agglomérations ont un riche patrimoine architectural historique, ce qui restreint l'utilisation de toits verts. Alors que Lorient possède un passé proche de celui de Dunkerque, avec une reconstruction de la majeure partie de la ville après la Seconde Guerre mondiale.

Les résultats obtenus ont confirmé la pertinence de ce choix. Une comparaison a pu être établie au niveau du potentiel, du choix de verdissement des toitures et une réponse propre à chaque ville a pu être apportée. On a également pu remarquer des similitudes au niveau de la faune et des habitats que l'on retrouve malgré une situation géographique et un contexte écologique différents. Cette sélection a permis de montrer que, bien que semblables, chaque territoire possède des spécificités et que l'implantation de toits verts reste possible avec une végétation en adéquation au paysage d'accueil.

8.1.2 Le choix des sites d'intention

Concernant le choix des sites, celui-ci s'est basé sur l'analyse des problématiques pour lesquelles l'implantation de toitures végétalisées pouvait jouer un rôle d'atténuation. Il a été observé que chaque ville présente ses propres difficultés, ce qui nécessite une réponse personnalisée adaptée à chaque ville. Toutefois, dans cette sélection de cas d'études, on remarque que le centre-ville est souvent prioritaire, c'est aussi dans ce dernier que la concentration de toitures plates est la plus importante. Cependant, dans le cas de la ville de Lorient, d'autres quartiers subissant des nuisances (tels que le quartier Keroman-Merville ou celui du Manio-Kervaric) auraient pu servir de terrain d'étude.

8.1.3 La relation entre le concept du toit vert et les différents services écosystémiques associés

À travers l'état de l'art, on peut constater que de nombreux services écosystémiques sont associés aux toits verts. Des services qui ne sont pas négligeables au sein de grandes villes et qui pourraient permettre d'améliorer le confort de vie des habitants. De plus, les villes du littoral sont fortement concernées de par leur localisation, elles possèdent une richesse écologique à préserver, une gestion de l'eau à assurer, des îlots de chaleurs à contrôler ainsi qu'une tranquillité des résidents durant la période estivale à maintenir.

Toutefois, l'analyse des deux cas d'études sur ces divers sujets révèle qu'il est difficile d'y parvenir et cela entraîne des répercussions néfastes sur l'espace urbain. Une situation qui pourrait se renforcer dans les années à venir en raison des changements climatiques qui causent des dommages considérables à ces villes côtières.

8.1.4 L'apport de l'architecte paysagiste

De nos jours, l'architecte paysagiste n'intervient que très peu pour la réalisation de toitures végétalisées. En effet, pour des raisons budgétaires et de facilité, la plupart des projets (à l'exception de ceux de très grandes dimensions) privilégient les échanges directs entre le maître d'œuvre et les entreprises spécialisées dans le verdissement des toitures. Cela entraîne, d'une part, une homogénéisation du type de plantations sur l'ensemble des toitures et, d'autre part, la mise en place d'une flore non adéquate à la biodiversité locale.

L'argument du toit vert est souvent utilisé pour promouvoir son projet comme étant respectueux de l'environnement et intégré au paysage, même si en réalité on s'en éloigne. L'intervention de l'architecte paysagiste peut favoriser l'intégration et la réussite de celui-ci, permettant ainsi de l'exploiter de la meilleure façon et de bénéficier de ces services offerts.

Il va également être un acteur important au niveau de la sensibilisation et de la gestion. En effet, aujourd'hui, bon nombre de personnes qui décident d'implanter un toit vert souhaitent limiter les interventions d'entretien tout en bénéficiant des services optimaux de ce type d'aménagement. Or, il est fondamental de sensibiliser et d'accompagner le client ou le maître d'œuvre, à l'importance accordée à l'entretien et à sa réalisation. Il est bon également de se rappeler que les plantes qui seront installées sont des organismes vivants et ont donc des besoins et des préférences à respecter pour assurer leurs développements.

8.2 Discussion à propos de la méthodologie développée et du matériel utilisé

8.2.1 Méthodologie par analyse multiscalaire

L'identification du type de végétation à planter sur les toitures nécessite une analyse à plusieurs échelles afin de mieux appréhender la dynamique du territoire. Cette approche offre initialement un aperçu large du paysage, puis permet de zoomer au sein d'un quartier ou même d'un ensemble de bâtiments. Cela permet également de favoriser l'intégration de la végétation au sein de ce paysage d'accueil et d'établir des continuités écologiques tout en améliorant le bien-être en milieu urbain.

Cette recherche aura nécessité de multiples échanges d'informations entre les différentes échelles de travail afin d'obtenir des résultats et de fournir une réponse spécifique à chaque cas d'étude. Ce type d'approche est fréquent dans le domaine du paysage et renforce l'idée que l'architecte paysagiste peut jouer un rôle essentiel dans la planification et la réalisation des toitures végétalisées.

8.2.2 L'utilisation de l'indicateur simplifié des îlots de chaleurs

Depuis quelques années, les phénomènes des îlots de chaleur ne cessent de susciter des discussions et c'est pourquoi de nombreuses collectivités se questionnent sur le sujet.

Les villes du littoral, de par leur position géographique, étaient à l'heure d'aujourd'hui moins touchées. Cependant, ces dernières années, les fortes chaleurs rencontrées ont inversé la situation. Dans les grandes villes, de nombreuses cartes sur ces phénomènes apparaissent de manière à pouvoir les localiser et atténuer leur effet. Toutefois, la création de cartes pour localiser ces phénomènes nécessite de nombreuses ressources et informations que toutes les collectivités ne disposent pas nécessairement. C'est pourquoi une méthode simplifiée a été développée en 2012 et reprise et développée par le CEREMA (Centre d'études et d'expertise sur les risques, la mobilité et l'aménagement) en 2018.

Cette méthode présente l'avantage de prendre en compte plusieurs paramètres (approche typomorphologique), tels que la hauteur des bâtiments, la fraction de végétation et la fraction d'espace bâti. Elle demande également moins de ressources, ce qui facilite sa mise en œuvre et permet à de nombreuses collectivités d'étudier ces phénomènes à leur échelle. C'est une méthode d'observation comparative et reproductible pour n'importe quel type d'agglomération qui s'appuie sur l'exploitation des images satellites infrarouges.

Néanmoins, elle présente aussi des limites. En particulier, en ce qui concerne la division du territoire de manière uniforme (analyse de l'occupation du sol principal par maille, qui peut parfois regrouper différentes occupations du sol au sein de la même maille). De plus, à travers cette méthode, on suppose que ces zones ont un comportement climatique homogène.

8.2.3 L'utilisation des données multi-sources

Afin d'atteindre les résultats obtenus, plusieurs données ouvertes ont été consultées. Notamment à l'aide du géoportail qui offre la possibilité d'accéder à des services de recherche et de visualisation de données spatiales. D'autres données provenant de plateforme telles que Google earth, INPN (inventaire national du patrimoine naturel) ou encore Eunis (European Nature Information System) ont permis d'aboutir aux résultats. On retrouve également les informations provenant des visites de terrain, des rencontres avec les acteurs des villes et des professionnels partageant leurs expériences, ressenties etc... Les interactions entre toutes ces données visualisées et recueillies ont permis de mener cette étude et de résoudre la problématique initiale. Cependant, la plupart de ces informations proviennent de l'homme, ce qui signifie que certaines peuvent être incorrectes ou incomplètes.

8.3 Limite de l'étude et difficultés rencontrées

8.3.1 La simplification de la méthodologie utilisée et le choix des critères non retenus

La simplification de la méthodologie à travers l'exclusion de certains critères a été une limite à cette étude. En effet, le sujet de cette recherche nécessite une étude approfondie, car elle concerne non seulement l'architecte paysagiste, mais aussi de nombreux acteurs du paysage et de la construction. Il n'était donc pas possible de la mener dans son intégralité.

L'objectif initial était de pouvoir répondre à la problématique de départ, à savoir le rôle que pouvait jouer l'architecte paysagiste dans la planification et la mise en place de toitures végétalisées. Par conséquent, il était essentiel de souligner les lacunes qu'il présente lorsqu'on aborde cette thématique.

Ce travail reste donc assez sommaire et nécessite une collaboration avec d'autres acteurs de terrain (ingénieur, concepteur, écologue, etc.). En effet, ces critères non pris en compte sont indispensables afin de répondre aux interrogations concernant la faisabilité et les bénéfices d'un tel projet au sein de ces deux cas d'étude. Il est donc important de considérer cette étude comme la première étape d'une réflexion visant à préserver la biodiversité locale, à améliorer la résilience urbaine et à promouvoir le bien-être des citoyens.

8.3.2 L'imprécision liée aux visites de terrain

L'étude des toitures plates ou peu pentues est complexe, car elles sont peu visibles depuis le sol et leur accessibilité est très restreinte. Malgré de nombreuses visites de terrains depuis le sol, il a été difficile de définir si certaines toitures étaient propices à accueillir de la végétation (type de revêtement et pourcentage de pente présent). Seules les façades avant des habitations ou leurs pignons ont permis de donner des indices sur la typologie des toitures.

Les images satellites ont également permis de définir la typologie des toitures. En ce qui concerne l'étude de Dunkerque, les bâtiments situés dans la zone prioritaire étaient représentés en 3D, ce qui a simplifié l'observation, contrairement à celle de Lorient. Cependant, la résolution des images n'était pas optimale, ce qui a parfois compliqué l'identification des matériaux de construction pour permettre la classification des toitures.

8.3.3 L'approche pluridisciplinaire et le manque de communication entre les disciplines

Comme évoqué précédemment, cette thématique de toiture végétalisée concerne beaucoup d'acteurs du paysage (écologue, entreprise de verdissement de toiture, architecte, etc.) mais également de la construction (ingénieur, concepteur, promoteur, etc.). Cela pose des contraintes, car les connaissances nécessaires pour mener une étude complète deviennent pluridisciplinaires. Il est donc difficile d'aborder un sujet tel que celui-ci sans avoir une vision d'ensemble de la mise en œuvre d'un projet de verdissement. Afin de pallier cela, de nombreuses interviews avec des intervenants sur le terrain ont été menées pour mieux comprendre certains aspects du sujet.

Enfin, il me semble également que la réussite de ce type de projet dépend aussi de la communication entre les acteurs. Une communication qui n'est pas encore complètement établie aujourd'hui. En effet, la participation de plusieurs acteurs lors de la création d'un projet nécessite une plus grande organisation, du temps et de l'argent que de nombreuses personnes considèrent comme superflus. Toutefois, cela favoriserait la réussite du verdissement des toits végétalisés et, par conséquent, les services rendus par ce type d'aménagement. De plus, les connaissances de chacun permettent de contribuer à un travail collectif de qualité susceptible d'améliorer la résilience urbaine et le bien-être des citoyens.

8.3.4 Le statut d'étudiant

Le statut d'étudiant constitue une limite, car il est peu valorisé aux yeux des acteurs du territoire. Au cours de cette étude, de nombreux courriels, appels et rappels ont reçu une réponse non-exhaustive ou sont restés sans réponse. L'absence de collaboration et d'entraide a entravé l'avancement de cette étude qui aurait pu fournir des résultats plus précis. Le statut d'étudiant permet de poser et de soulever des interrogations qui demandent une plus grande attention de la part des acteurs du terrain afin d'approfondir et de faire évoluer certaines connaissances.

Conclusion

En conclusion, il est possible de confirmer que l'architecte paysagiste joue un rôle essentiel dans la planification et la réalisation de toitures végétalisées. Ces connaissances pluridisciplinaires lui permettent de répondre de manière plus adaptée lors des étapes de planification et de mise en œuvre. Il peut aussi servir d'intermédiaire entre les diverses disciplines impliquées dans la mise en place de ce genre d'aménagement. En effet, il intervient à la fois en amont pour l'analyse et en aval pour le suivi. Son rôle est également de renforcer la réussite des toits verts à court, moyen et long terme et d'adapter le verdissement au paysage d'accueil. Cela a pour conséquence de limiter l'homogénéisation de la végétation et de pouvoir créer des habitats analogues pour permettre la création de continuité écologique au sein du tissu urbain.

Ce travail avait également pour objectif de démontrer qu'un potentiel de verdissement des toitures était possible et bénéfique pour des territoires littoraux faisant face à des défis écologiques et environnementaux majeurs, attirant chaque année de plus en plus de touristes et d'habitants. Il s'agit aussi d'espaces qui sont exposés au changement climatique et à la submersion marine. Dans les cas d'études analysés, il a été prouvé que certaines villes rencontrent des problèmes spécifiques, auquel l'installation de toits verts pourrait répondre.

Au-delà de l'analyse réalisée dans ce travail sur les deux villes étudiées, il est possible de transposer celle-ci à d'autres villes. Les services offerts par le verdissement des toitures demeureront donc identiques, mais ils seront adaptés de manière différente selon le lieu d'application. Cette première évaluation permettra donc de mettre en évidence ou non la possibilité et l'intérêt d'un tel projet.

Enfin, au travers les cas d'étude traités dans ce travail, j'ai tenté d'apporter ma contribution en mettant en évidence les enjeux qu'il peut y avoir autour des toits végétalisés, y compris dans les régions côtières. Aussi, j'ai souhaité mettre en lumière l'importance du rôle que peut jouer l'architecte paysagiste dans leur élaboration et mise en œuvre.

En tant que sujet pluridisciplinaire, je suis conscient que de nombreuses questions demeurent en suspens et nécessitent une analyse approfondie. Cependant, je suis convaincu que c'est en collaborant que chacun contribuera à la construction de projets solides qui répondront aux défis environnementaux et sociaux auxquels nous devons faire face.

Pour conclure sur le plan personnel, ce travail m'a donné la chance d'approfondir mes connaissances sur un sujet qui me passionne. En effet, celui-ci m'a donné l'occasion d'échanger autour de cette question avec des acteurs de terrain, m'aidant ainsi à mieux comprendre et appréhender les paysages qui m'ont vu grandir. Je considère la réalisation de ce travail comme une opportunité m'ayant permis de répondre à de nombreux questionnements personnels, tout en apportant une nouvelle réflexion sur la relation entre les toits verts et l'architecte paysagiste.

J'espère qu'il en aura été de même pour les lecteurs et que ce travail de recherche, qui réunit finalement un certain nombre d'éléments nouveaux, puisse contribuer à l'élaboration d'éventuels projets futurs concernant les toitures végétalisées.

Table des figures

- Figure n°1** : Schéma des couches types d'une toiture végétalisée. Source : (Cahier réalisé par la mairie de Paris sur la végétalisation des toits, 2012).
- Figure n°2** : Tableau des différentes typologies de toits végétalisés. Source : (Cahier réalisé par la mairie de Paris sur la végétalisation des toits, 2012).
- Figure n°3** : Photographie de toiture végétalisée biodiverse sur les halles de Beaulieu à Lausanne. Auteur : (Benoît Renevey, 2013).
- Figure n°4** : Photographie du toit biosolaire du Palais de Beaulieu à Lausanne. Auteur : (Aino Adriaens, 2015).
- Figure n°5** : Tableau des objectifs suivant les différents acteurs intervenant à la mise en place de toitures végétalisées. Source : (Traduit de Zhang & He., 2021).
- Figure n°6** : Tableau de synthèse des différents types de services écosystémiques. Source : (Commissariat Général au Développement Durable - CGDD, 2010).
- Figure n°7** : Profil d'un îlot de chaleur urbain. Source : (Ressources naturelles du Canada, 2007).
- Figure n°8** : Graphique des ruissellements sur un toit plat conventionnel et un toit végétalisé extensif sur une période de 22 h. Source : (Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies en Île-de-France - ARENE, 2008).
- Figure n°9** : Schéma explicatif du rôle de rétention des eaux des toits végétalisés. Source : (Ecovégétal, 2005).
- Figure n°10** : Schéma explicatif sur les principes d'échanges entre les milieux au sein de la trame verte urbaine. Source : (APUR, 2013).
- Figure n°11** : Photographies des toits végétalisés de la station de filtration d'eau du lac Moos à Zurich. Source : (Land8).
- Figure n°12** : Carte interactive des communes soumises à la loi Littoral. Source : (Observatoire des territoires, 2021).
- Figures n°13 et 14** : Photographies aériennes des dégâts causés par les bombardements de la Seconde Guerre mondiale à Dunkerque (à gauche, SIRPA / ECPA-France) et Lorient (à droite, Archive communale).
- Figure n°15** : Photographie de l'affluence sur la digue de Dunkerque en juillet 2022. Source : (La Gazette, 2022).
- Figure n°16** : Carte de la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers entre 2009 et 2022 à l'échelle communale. Source : (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement - CEREMA, 2023).
- Figure n°17** : Localisation des sites d'études. Fond de plan : (openstreetmap). Réalisation personnelle, 2023
- Figure n°18** : Cartographie de la Communauté Urbaine de Dunkerque. Source : (Agence Hauts-de-France 2020-2040, 2020).
- Figure n°19** : Orthophotoplan de l'occupation des sols de la Communauté Urbaine de Dunkerque. Fond de plan : (Google maps, 2023). Réalisation personnelle, 2023
- Figures n°20 et 21** : Cartographie de la situation géographique de la Communauté d'agglomération de Lorient Agglomération. Source : (DRAAF Bretagne, 2022).
- Figure n°22** : Orthophotoplan de l'occupation des sols de la communauté d'agglomération de Lorient agglomération. Fond de plan : (Google map, 2023). Réalisation personnelle, 2023
- Figure n°23** : Schéma de l'évolution territoriale des sites d'études. Données : (Remonter le temps - IGN). Réalisation personnelle, 2023
- Figure n°24** : Cartographie des différents quartiers de Dunkerque. Données : (Pichasso, 2010). Réalisation personnelle, 2023
- Figure n°25** : Cartographie de la situation géographique de Dunkerque. Fond de plan : (Google Earth). Réalisation personnelle, 2023
- Figure n°26** : Photographie du centre-ville de Dunkerque et de son bâti d'avant-guerre. Source : (Archives de Dunkerque, 2019).

Figure n°27 : Photographie de la vie de Dunkerque après la reconstruction. Source : (Archives de Dunkerque, 2019).

Figure n°28 : Photographie de la ville de Dunkerque dans les années 50/60. Auteur : (André Deroi).

Figure n°29 : Vue du beffroi sur le centre-ville de Dunkerque. Auteur : (Charles Delcourt, 2018).

Figure n°30 : Cartographie de la situation géographique de Lorient. Fond de plan : (Google Earth). Réalisation personnelle, 2023

Figure n°31 : Cartographie des différents quartiers de Lorient. Source : (PaysdeLorient.info, 2020).

Figure n°32 : Vue d'un îlot fermé et d'un îlot semi-ouvert rue de Liège à Lorient. Source : (OAP_reconstruction).

Figure n°33 : Schéma de l'évolution des îlots au fil du temps à Lorient. Source : (OAP_reconstruction).

Figure n°34 : Vue de l'îlot ouvert de la banane à Lorient. Source : (OAP_reconstruction).

Figure n°35 : Photographie du centre-ville de Lorient en fin de reconstruction vers 1963-1964. Source : (Société d'histoire et d'archéologie de Bretagne, 2015).

Figure n°36 : Photographie aérienne du centre-ville de Lorient. Auteur : (François Destoc).

Figure n°37 : Schéma de la méthode de recherche. Données : (État de l'art). Réalisation personnelle, 2023.

Figure n°38 : Schéma traduit en français des 17 classes de LCZ permettant de caractériser les territoires. Source : (Cerema, 2022).

Figure n°39 : Carte du territoire des waterings et des bassins versants. Source : (Agur, 2014).

Figure n°40 : Schéma de l'évolution historique du polder Flandre maritime. Source : (Agur, 2014).

Figure n°41 : Cartographie du relief de Dunkerque. Données : (Topographic-map, 2014). Réalisation personnelle, 2023

Figure n°42 : Cartographie de l'occupation des sols de Dunkerque. Données : (Copernicus, 2018). Réalisation personnelle, 2023

Figure n°43 : Cartographie des secteurs d'activité économique. Données : (PLUiHD CUD). Réalisation personnelle, 2023

Figures n°44, 45 & 46 : Cartographies du relief / des bassins versants / des zones de submersion et d'inondation de Lorient. Source : (Plan local d'urbanisme, 2023).

Figure n°47 : Cartographie des secteurs d'activité économique de Lorient. Source : (Plan local d'urbanisme, 2023).

Figure n°48 : Cartographie de l'occupation des sols de Lorient. Source : (Géoportail, 2023).

Figure n°49 : Cartographie des îlots de chaleur sur la commune de Dunkerque. Fond de plan : (Géoportail). Réalisation personnelle, 2023

Figure n°50 : Cartographie des îlots de chaleur sur la commune de Lorient. Fond de plan : (Géoportail). Réalisation personnelle, 2023

Figure n°51 : Cartographie des continuités écologiques des Hauts-de-France. Source : (SRADDET de la région Hauts-de-France, 2020).

Figure n°52 : Cartographie des réservoirs et corridors de la trame verte et bleue. Source : (Le Plan Local d'Urbanisme intercommunal Habitat et Déplacements – PLUi HD, 2022).

Figure n°53 : Cartographie des espaces naturels protégés sur le territoire de la CUD. Source : (PLUi HD, 2022).

Figure n°54 : Cartographie de l'orientation d'aménagement et de programmation (OAP) concernant le paysage et la biodiversité au sein de la CUD. Source : (PLUi HD, 2022).

Figure n°55 : Cartographie du réseau écologique urbain au sein de l'agglomération dunkerquoise. Source : (PLUi HD, 2022).

Figure n°56 : Cartographie de synthèse de la trame verte et bleue de la Bretagne. Source : (Schéma Régional de Cohérence Écologique de Bretagne (SRCE, 2015).

Figures n°57 & 58 : cartographie des espaces de nature remarquable et des sites Natura 2000 au sein de Lorient agglomération. Source : (Plan climat-air-énergie territorial de Lorient agglomération, 2017).

Figure n°59 : cartographies des réservoirs de biodiversité et corridors écologiques de Lorient agglomération. Source : (Schéma de cohérence territoriale du Pays de Lorient (SCoT), 2017).

Figure n°60 : Cartographie de l'inventaire des zones de protection des espaces naturels de la ville de Lorient. Source : (Schéma de cohérence territoriale du Pays de Lorient (SCoT), 2017).

Figure n°61 : Cartographie de l'Orientation d'Aménagement et de Programmation (OAP) concernant la nature en ville. Source : (Plan local d'urbanisme, 2023).

Figure n°62 : Cartographie de bruit stratégique de la CUD. Source : (Plan de prévention du bruit dans l'environnement, 2020).

Figure n°63 : Cartographie du classement sonore des infrastructures de transports terrestres bruyantes. Source : (Nord.gouv, 2018).

Figure n°64 : Cartographie de bruit stratégique de Lorient. Source : (GAMBA Acoustique, 2012).

Figure n°65 : Cartographie du classement sonore des infrastructures de transports terrestres bruyantes. Source : (Plan local d'urbanisme (PLU), 2019).

Figure n°66 : Plan d'exposition du bruit (P.E.B) de l'aérodrome de Lann-Bihoué. Source : (Plan local d'urbanisme (PLU), 2017).

Figure n°67 : Localisation du quartier prioritaire au verdissement des toitures au sein du territoire dunkerquois. Fond de plan : (OpenStreetMap). Réalisation personnelle, 2023

Figures n°68 & 69 : Localisation du quartier prioritaire au verdissement des toitures au sein du territoire lorientais. Source : (Commune de Lorient).

Figure n°70 : Cartographie classifiant les formes des toits du quartier de Dunkerque-Centre. Fond de plan : (Géo2France). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°71 : Cartographie classifiant les formes des toits du quartier du centre-ville Kerentrech de Lorient. Fond de plan : (geocatalogue.lorient). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°72 : Cartographie des facteurs limitant la végétalisation au sein des toitures plates ou faiblement pentues dans le quartier de Dunkerque-Centre. Fond de plan : (Géo2France). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°73 : Cartographie des facteurs limitant la végétalisation au sein des toitures plates ou faiblement pentues dans le quartier du centre-ville Kerentrech à Lorient. Fond de plan : (geocatalogue.lorient). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°74 : Cartographie du potentiel de verdissement du quartier de Dunkerque-Centre. Fond de plan : (Géo2France). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°75 : Cartographie du potentiel de verdissement du quartier du centre-ville Kerentrech à Lorient. Fond de plan : (geocatalogue.lorient). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°76 : Cartographie des ZNIEFF de type 1 et du réseau Natura 2000 situé à moins de 15 km du quartier de Dunkerque-Centre. Données : (Géoportail & INPN). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°77 : Cartographie des habitats situés à moins de 15 km du quartier de Dunkerque-Centre pouvant être reproduits sur les toits. Données : (Géoportail & INPN). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°78 : Photographie d'une prairie mésophile située au sein de la commune de Ghyvelde dans le Nord. (Photographie personnelle, 2024).

Figure n°79 : Cartographie des ZNIEFF de type 1 et du réseau Natura 2000 (directive Habitats) situés à moins de 15 km du quartier du centre-ville Kerentrech à Lorient. Données : (Géoportail & INPN). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°80 : Cartographie des habitats situés à moins de 15 km du quartier du centre-ville Kerentrech à Lorient. Données : (Géoportail & INPN). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°81 : Photographie d'une prairie mésophile située au sein de la commune de Landaul dans le Morbihan. (Photographie personnelle, 2024).

Figure n°82 : Photographie de la lande sèche de Ploemeur dans le Morbihan. Source : (Commune de Ploemeur, 2023).

Figure n°83 : Photographie d'une prairie de fauche de basse altitude située à Belle-Île-en-Mer dans le Morbihan. Source : (Conservatoire botanique national de Brest, 2023).

Figure n°84 : Palette végétale non-exhaustive caractéristique des prairies mésophiles adaptée aux toitures vertes extensives et semi-intensives. Photographies : (INPN). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°85 : Palette végétale non-exhaustive caractéristique des prairies mésophiles adaptée aux toitures vertes extensives et semi-intensives. Photographies : (INPN). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°86 : Palette végétale non-exhaustive caractéristique des landes sèches européennes adaptée aux toitures vertes extensives et semi-intensives du littoral. Photographies : (INPN). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°87 : Palette végétale non-exhaustive caractéristique des prairies de fauches de basses et moyennes altitudes adaptée aux toitures vertes extensives et semi-intensives du littoral. Photographies : (INPN). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°88 : Cartographie des ZNIEFF de type 1 et du réseau Natura 2000 (directive Oiseaux) situés à moins de 15 km du quartier de Dunkerque-Centre. Donnée : (Géoportail). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°89 : Exemple d'espèces présentes sur le territoire d'étude qui affectionnent les pelouses sèches. Source : (Inventaire national du patrimoine naturel (INPN)).

Figure n°90 : Palette végétale non-exhaustive caractéristique des pelouses sèches et adaptée aux toitures vertes extensives et semi-intensives du littoral. Photographies : (INPN). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°91 : Exemple d'espèces présentes sur le territoire d'étude qui affectionnent l'association lande, fourré et toundra. Données : (Inventaire national du patrimoine naturel (INPN)).

Figure n°92 : Palette végétale non-exhaustive caractéristique de l'association lande, fourré et toundra et adaptée aux toitures vertes semi-intensives du littoral. Photographies : (INPN). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°93 : Cartographie des ZNIEFF de type 1 et du réseau Natura 2000 (directive Oiseaux) situés à moins de 15 km du centre-ville Kerentrech à Lorient. Données : (Géoportail). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°94 : Exemple d'espèces présentes sur le territoire d'étude qui affectionnent les pelouses sèches. Données : (Inventaire national du patrimoine naturel (INPN)).

Figure n°95 : Palette végétale non-exhaustive caractéristique des pelouses sèches et adaptée aux toitures vertes extensives et semi-intensives du littoral. Photographies : (INPN). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°96 : Localisation du projet de toitures végétalisées du lycée professionnel Guy Debeyre à Dunkerque. Fond de plan : (Géoportail). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°97 : Zoom sur les toitures végétalisées de l'établissement scolaire de Guy Debeyre à Dunkerque. Photographie (Géoportail). Réalisation personnelle, 2024

Figure n°98 : Vue aérienne du lycée Guy Debeyre à Dunkerque. Source : (CEGELEC, 2023).

Figures n°99, 100 & 101 : Photographies des toitures végétalisées du lycée Guy Debeyre à Dunkerque. Sources : (CCTP et photographies personnelles, 2004 & 2024).

Figure n°102 : Coupe technique de la pose des toits végétalisés du lycée Guy Debyre à Dunkerque. Source : (CCTP, 2004).

Figure n°103 : Palette végétale des toits végétalisés du lycée Guy Debyre à Dunkerque. Source : (CCTP, 2004).

Figure n°104 : Localisation du projet des toitures végétalisées de la résidence l'Anoriente à Lorient. Fond de plan : (Géoportail). Réalisation personnelle, 2024

Figures n°105 & 106 : Zooms sur les toitures végétalisées de la résidence l'Anoriente à Lorient. Photographies : (Géoportail et Fabien Coudriet Architectes 2024 & 2014).

Figure n°107 : Photographies des toitures végétalisées de la résidence l'Anoriente à Lorient. Source : (Sopranature, 2015).

Figure n°108 : Coupe technique de la pose des toits végétalisés de la résidence l'Anoriente à Lorient. Source : (Sopranature, 2015).

Figure n°109 : Palette végétale des toits végétalisés de la résidence l'Anoriente à Lorient. Source : (Sopranature, 2015).

Figure n°110 : Aspect visuel de la végétalisation au cours des différentes saisons. Source : (Sopranature, 2015).

Bibliographie

Documents réglementaires

- Loi n° 86-2 du 3 janvier 1986 relative à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral.
- Le Plan Local d'Urbanisme (PLU) de Lorient du 19 décembre 2013 respectant les principes énoncés aux articles L. 101-1 à L. 101-3.
- Le Plan Local d'Urbanisme intercommunal Habitat Déplacements (PLUi HD) de la communauté urbaine de Dunkerque du 19 décembre 2022 respectant les principes énoncés aux articles L. 101-1 à L. 101-3.
- L'article L.171-4 du Code de la construction et de l'habitation (CCH), qui a été introduit par la loi Climat et Résilience, renforce l'obligation déjà existante depuis 2019 de végétaliser les toitures des bâtiments non résidentiels nouveaux ou lourdement rénovés.
- L'article 101 de la loi "Climat et résilience" n°2021-1104 du 22 août 2021 et l'article 41 de la loi du 10 mars 2023 relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables "Les bâtiments construits ou rénovés ont ainsi l'obligation de végétaliser ou d'équiper de dispositifs de production d'énergies renouvelables sur une surface minimale de leur toiture de 30 % à compter du 1er juillet 2023, puis de 40 % à compter du 1er juillet 2026 et de 50 % à compter du 1er juillet 2027.
- Le Décret n° 2022-1653 du 23 décembre 2022 portant application de l'article L. 152-5-1 du code de l'urbanisme relatif aux dérogations aux règles du plan local d'urbanisme accordées pour l'installation de dispositifs de végétalisation.
- Le décret n° 2015-1783 du 28 décembre 2015 relatif à la partie réglementaire du livre Ier du code de l'urbanisme et portant modernisation du contenu des plans locaux d'urbanisme a conduit à une réécriture de la partie réglementaire relative aux orientations d'aménagement et de programmation (OAP), complétant les dispositions législatives s'y appliquant.
- L'Arrêté du 19 décembre 2023 portant application de l'article L. 171-4 du code de la construction et de l'habitation et fixant les caractéristiques minimales que doivent respecter les systèmes de végétalisation installés en toiture.

Etudes et rapports

- ERNST & YOUNG ET ASSOCIÉS. Étude pour la définition d'une démarche de développement des toitures végétalisées. (En ligne). Disponible sur : https://www.nice.fr/uploads/media/default/0001/02/Etude_sur_les_toitures_vegetalisees_1.pdf. 46p.
- COOPÉRATIVE D'ÉTUDES ET DE RECHERCHE URBAINES (ERU) & AAC ARCHITECTURE S.A. Étude de valorisation des toitures pour la ville de Bruxelles. (En ligne). Disponible sur : <https://eru-urbanisme.be/wp-content/uploads/sites/137/2020/12/Rapport-methodologique-ERU-AAC.pdf>. 42p.

- AGENCE D'URBANISME AIRE MÉTROPOLITAINE LYONNAISE. Un argumentaire pour les toits verts "Quand l'urbanisme regarde vers le haut". (En ligne). Disponible sur : https://invisibles.laclassse.com/sites/invisibles.laclassse.com/IMG/pdf/m_toits_verts_synthese_generale_juillet_2018light.pdf. 19p.
- DUHAMEL F., FARVACQUES C., BLONDEL C., DELPLANQUE S., CATTEAU E., GELEZ W., FRANÇOIS R., PREY T., CHOLET J., BUCHET J., MASSARD O. Guide végétations littorales nord-ouest de la France. (En ligne). Disponible sur : <https://www.cbnbl.org/system/files/2019-02/Guide%20des%20v%C3%A9g%C3%A9tations%20littorales%20version%20web.pdf>. 703p.
- GAMBA ACOUSTIQUE. Cartographie du bruit de Lorient Agglomération. (En ligne). Disponible sur : https://www.lorient-agglo.bzh/fileadmin/user_upload/Services/Cartographie_bruit/LDEN_CUMULE_LA.pdf. 1p.
- DIRECTION DÉPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER DU NORD (DDTM). Classement sonore des voies bruyantes. (En ligne). Disponible sur : <https://carto2.geo-ide.din.developpement-durable.gouv.fr/frontoffice/?map=cdb49de-11f5-4389-b17f-decc5d14339c#>. 1p.
- FERRAND JP., GEORGET S. Évaluation environnementale du Plan climat, air, énergie territorial (PCAET) de Lorient Agglomération. (En ligne). Disponible sur : https://www.lorient-agglo.bzh/fileadmin/user_upload/Projets/Plan_climat_air_energie/PCAET_EES_VF.pdf. 200p.
- AGRESTE. Fiche territoriale synthétique RA 2020 « CA Lorient Agglomération ». (En ligne). Disponible sur : https://draaf.bretagne.agriculture.gouv.fr/IMG/html/fts_ra2020_ca_lorient_agglomeration.html.
- PEHOURCQ T (GROUPE AXE). Dossier en vue de la sauvegarde des populations d'espèces protégées dans la commune de Landaul (56). (En ligne). Disponible sur : <https://www.morbihan.gouv.fr/contenu/telechargement/38067/281299/file/dossier+technique+Landaul+2018+V2.pdf>. 101p.
- LAURENT E (CBN BREST). Rapport d'étude sur les prairies de Belle-île-en-mer : Outil d'aide à l'identification des types de prairies. (En ligne). Disponible sur : https://www.cbnbrest.fr/pmb_pdf/CBNB_Laurent_2023_71628.pdf. 71p.
- DUCHOUD Y. Les obstacles à la mise en œuvre des toitures végétalisées (le cas de la ville de Lausanne). Maîtrise universitaire ès sciences en géographie. Université de Lausanne. 2022. 145p.
- RIVIERE L., TELLER J., JOSHI M., MAHY G. L'efficacité des toits verts dans le renforcement du réseau écologique : cas d'étude à Liège. Rapport d'étude. Université de Liège. 2021. 4p.
- CHEMINADE H. Le végétal, facteur d'appropriation des toits terrasses. Travail de fin d'études. L'Institut Agro Rennes-Angers. 2020 - 2021. 59p.
- ROBERT S. L'urbanisation du littoral : espaces, paysages et représentations. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches. Université de Bretagne occidentale. 2019. 194p.

- DUSZA Y. Toitures végétalisées et services écosystémiques : favoriser la multifonctionnalité via les interactions sols-plantes et la diversité végétale. Thèse de doctorat en Écologie. Université Pierre et Marie Curie à Paris. 2017. 207p.
- RENIERS J. Pelouses calcicoles mesoxériques sur toiture verte extensive : Influences du substrat et des conditions microclimatiques sur la composition végétale. Travail de fin d'étude. Gembloux Agro-Bio Tech. 2017 - 2018. 64p.
- ROHON S. Rénovation énergétique : Potentiel de végétalisation des toitures de la rive Est de Liège. Travail de fin d'étude. Université de Liège. 2016 - 2017. 117p.
- DAEDEN J. Analyse des pressions anthropiques sur l'environnement littoral européen et français. Thèse de doctorat en Géographie et Science de l'environnement. Université de la Rochelle. 2015. 294p.
- MISSIOS P., BANTING D., DOSHI H., YIUWAH LI J., AU A., ANNE CURRIE B., VERRATI M. Rapport sur les avantages et les coûts environnementaux de la technologie des toits verts pour la ville de Toronto. Rapport d'étude. Université de Ryerson. 2005. 59p.

Articles Scientifiques :

- GAOCHUAN Z., BAO-JIE H. (2021). "Vers la mise en œuvre de toits verts : facteurs déterminants, motivations, obstacles et recommandations". Foresterie urbaine et verdissement urbain. Volume (58).
- GOMES G., VALADAS A., SILVA M. (2019). "Impact de la végétation, du substrat et de l'irrigation sur la performance énergétique des toitures vertes dans un climat méditerranéen". EAU. Volume (11). 13p.
- CATALANO C., LAUDICINA V., BADALUCCO L., GUARINO R. (2018). "Quelques normes et lignes directrices européennes sur les toits verts sous l'angle de la biodiversité : les écorégions et les caractéristiques végétales sont-elles également importantes ?". Ingénierie écologique. Volume (115). P15 - 26.
- C.Y. Jim. (2017). "L'évolution des toits verts à travers des exemplaires : des prototypes Germinal aux variantes modernes". Villes et société durables. Volume, (35).
- LAMNATOU C., CHEMISANA D. (2015). "Une analyse critique des facteurs affectant les performances des toitures vertes photovoltaïques". Examens énergétiques renouvelables et durables. Volume (43). p264 - 280.
- BERARDI U., GHAFARIANHOSEINI A., GHAFARIANHOSEINI AL. (2014). "Analyse de pointe des avantages environnementaux des toits verts". Énergie appliquée. Volume (115). P411 - 428.
- OULDBOUKHITINE S., BELARBI R., SAILOR D. (2014). "Enquête expérimentale et numérique sur les canyons des rues urbaines pour évaluer l'impact des toits verts à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments". Énergie appliquée. Volume (114). p273 - 282.

- MEES H., DRIESSEN P., RUNHAAR H. (2013). "Qui gouverne l'adaptation climatique ? Faire décoller les toits verts pour la rétention des eaux pluviales". Journal de planification et de gestion de l'environnement. Volume (56). p802 - 825.
- BECK D., JOHNSON G., SPOLEK G. (2011). "Modifier le sol des toits verts avec du biochar pour affecter la quantité et la qualité des eaux de ruissellement". Pollution environnementale. Volume (159). p8 - 9.
- ANNE CURRIE B., BASS B. (2008). "Estimations de l'atténuation de la pollution atmosphérique grâce aux plantes vertes et aux toits verts à l'aide du modèle UFORE". Écosystèmes urbains. Volume (11). p409 - 422.
- OBERNDORFER E., LUNDHOLM J., BASS B., REID R., DOSHI H., DUNNETT N., GAFFIN S., KÖHLER M., KAREN K., ROWE B. (2007). "Les toits verts en tant qu'écosystèmes urbains : structures, fonctions et services écologiques". Biosciences. Volume (57). p823 - 833.
- GETTER K., ROWE B. (2006). "Le rôle des toits verts extensifs dans le développement durable". HortScience. Volume (41). p1276
- BENGTSSON L., BERNDTSSON J., EMILSSON T. (2006). "L'influence des toitures végétalisées extensives sur la qualité des eaux de ruissellement". La science de l'environnement total. Volume (355). p48 - 63.
- LAZZARIN R., CASTELLOTTI F., BUSATO F. (2005). "Mesures expérimentales et modélisation numérique d'une toiture végétalisée". Énergie et bâtiments. Volume (37). p1260 - 1267.
- HIEN WONG N., CHEONG K., YAN H., SOH J., ONG C., SIA A. (2003). "Les effets du jardin sur le toit sur la consommation énergétique d'un bâtiment commercial à Singapour". Énergie et bâtiments. Volume (35). p353 - 364.

Ouvrages

- Gernot MINKE, Végétaliser son toit, Terre Vivante, "Conseils d'expert", 2022, 144p.
- ADIVET (Association française des toitures et façades végétales) & BatiEtude, L'observatoire végétalisation des bâtiments : Enquête sur le bâti végétalisé en France 2021, ADIVET, 2021, 61p, (En ligne), disponible sur : <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-41629-observatoire-adivet-2021.pdf>.
- Nathalie BAUMANN, Philippe PEIGER, Végétalisation biodiverse et biosolaire des toitures, Eyrolles, 2018, 280p.
- Nigel DUNNETT, Noël KINGSBURY, Toits et murs végétaux, Rouergue Editions, "Rouergue livres". 2011 (3ed). 325p.
- François LASSALLE, Végétalisation extensive des terrasses et toitures, Le Moniteur, "Guide Technique", 2006, 244p.

Sitographie

- Fondation Tara Océan. "Impact des activités humaines sur la biodiversité le long du littoral : évolution de l'occupation des zones côtières" [en ligne]. Disponible sur : <https://fondationtaraocean.org/actualite-scientifique/tara-europa/littoral-impacts-activites-humaines-biodiversite/>. Consulté le 09/09/2023.
- Le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema). "Les images satellite pour cartographier les îlots de chaleur urbains" [en ligne]. Disponible sur : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/images-satellite-cartographier-ilots-chaleur-urbains>. Consulté le : 03/10/2023.
- Association française des toitures et façades végétales (Adivet). "Avantages de la végétalisation" [en ligne]. Disponible sur : <https://www.adivet.net/fonctions-et-benefices-environnementaux>. Consulté le 02/09/2023.
- Association française des toitures et façades végétales (Adivet). "Toitures et terrasses végétalisées" [en ligne]. Disponible sur : <https://www.adivet.net/toitures-et-terrasses-vegetalisees>. Consulté le 02/09/2023.
- Félix Gouty. "Toitures végétalisées : une filière sur la voie de la croissance" [en ligne]. Disponible sur : <https://www.actu-environnement.com/ae/news/toitures-vegetalisation-filiere-croissance-41629.php4>. Consulté le 02/09/2023.
- Nicolas Baylé. "Les écosystèmes urbains : une évaluation dans le cadre du programme EFESÉ" [en ligne]. Disponible sur : <https://www.fondationbiodiversite.fr/les-ecosystemes-urbains-une-evaluation-dans-le-cadre-du-programme-efese/>. Consulté le 25/09/2023.
- Communauté urbaine de Dunkerque (CUD). "Carte du bruit dans l'environnement - 4ème échéance" [en ligne]. Disponible sur : <https://www.communaute-urbaine-dunkerque.fr/vie-pratique/carte-du-bruit>. Consulté le 06/11/2023.
- Ecovegetal. "Les toitures végétales ecovegetal : Comprendre le concept de toiture végétalisée" [en ligne]. Disponible sur : <https://www.ecovegetal.com/toitures-vegetales/>. Consulté le 02/09/2023.
- Eranthis paysagiste urbaniste. "Préconisations - toiture végétalisées" [en ligne]. Disponible sur : https://eranthi.eu/transmettre/data/78/preconisations_toitures_vegetalisees. Consulté le 10/09/2023.
- Organisation mondiale de la santé (OMS). "Les nouvelles lignes directrices mondiales de l'OMS sur la qualité de l'air visent à éviter des millions de décès dus à la pollution atmosphérique" [en ligne]. Disponible sur : <https://www.who.int/fr/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>. Consulté le 28/10/2023.
- Agence Hauts-de-France. "CU de Dunkerque Grand Littoral" [en ligne]. Disponible sur : https://cartes.hautsdefrance.fr/system/files/1923-59-02_CU_Dunkerque_Grand_Littoral.png?&countdl=yes. Consulté le 13/09/2023.

- Ville de Dunkerque. "Dunkerque au fil du temps : la Reconstruction" [en ligne]. Disponible sur : https://www.ville-dunkerque.fr/fileadmin/user_upload/Actualites/2019/2019-70ans-reconstruction-DK.pdf. Consulté le 24/09/2023.
- Archives du patrimoine de la Ville de Lorient. "Immeuble de la Reconstruction" [en ligne]. Disponible sur : <https://patrimoine.lorient.bzh/histoire/histoire-generale/etapes-et-styles-de-la-reconstruction/immeubles-de-la-reconstruction>. Consulté le 24/09/2023.
- André Deroi. "Vues aériennes de Dunkerque années 50/60" [en ligne]. Disponible sur : https://dunkerqueetsaregion.blogspot.com/p/blog-page_56.html. Consulté le 24/09/2023.
- Le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema). "Vers une cartographie des îlots de chaleur urbains dans la métropole de Nice" [en ligne]. Disponible sur : https://www.cerema.fr/system/files/documents/2022/05/synthese_demonstrateur_version_finale_page_par_page-1.pdf. Consulté le 08/10/2023.
- Copernicus. "Land Monitoring Service" [en ligne]. Disponible sur : <https://land.copernicus.eu/en/map-viewer?product=130299ac96e54c30a12edd575eff80f7>. Consulté le 10/11/2023.
- Schéma Régional d'Aménagement de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET). "Cartographie des continuités écologiques" [en ligne]. Disponible sur : https://sig.hautsdefrance.fr/ext/mv/?config=apps/sraddet_biodiv.xml. Consulté le 09/11/2023.
- l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN). "Geoportail" [en ligne]. Disponible sur : <https://www.geoportail.gouv.fr/carte>. Consulté le 02/09/2023.
- L'action agricole picarde. "Les paysages des Hauts-de-France prennent la pose" [en ligne]. Disponible sur : <https://www.action-agricole-picarde.com/les-paysages-des-hauts-de-france-prennent-la-pose>. Consulté le 09/11/2023.
- Ecoflora. "Plantes sauvages, arbustes et arbres indigènes" [en ligne]. Disponible sur : <https://www.ecoflora.be>. Consulté le 17/03/2024.
- Préservons la nature. "Par département (Nord/Morbihan)" [en ligne]. Disponible sur : <https://www.preservons-la-nature.fr>. Consulté le 17/03/2024.
- Une autre ville. "Les toitures végétalisées" [en ligne]. Disponible sur : <file:///D:/Downloads/20210312-corb-benchmarktv-idml-1-compressed-1.pdf>. Consulté le 12/09/2023.
- DEMNA, la FUSAGx, l'UCL et l'ULg. "Catalogue des espèces et habitats des sites Natura 2000 de la région Wallonne" [en ligne]. Disponible sur : file:///D:/Downloads/4030_landes-seches.pdf. Consulté le 26/02/2024.
- Centre permanent d'initiatives pour l'environnement (CPIE) Vallées de la Sarthe et du Loir. "Prairies maigres de fauche de basse altitude" [en ligne]. Disponible sur : <https://www.sarthe.fr/sites/default/files/2021-05/prairies-maigres-de-fauche-de-basse-altitude.pdf>. Consulté le 26/02/2024.

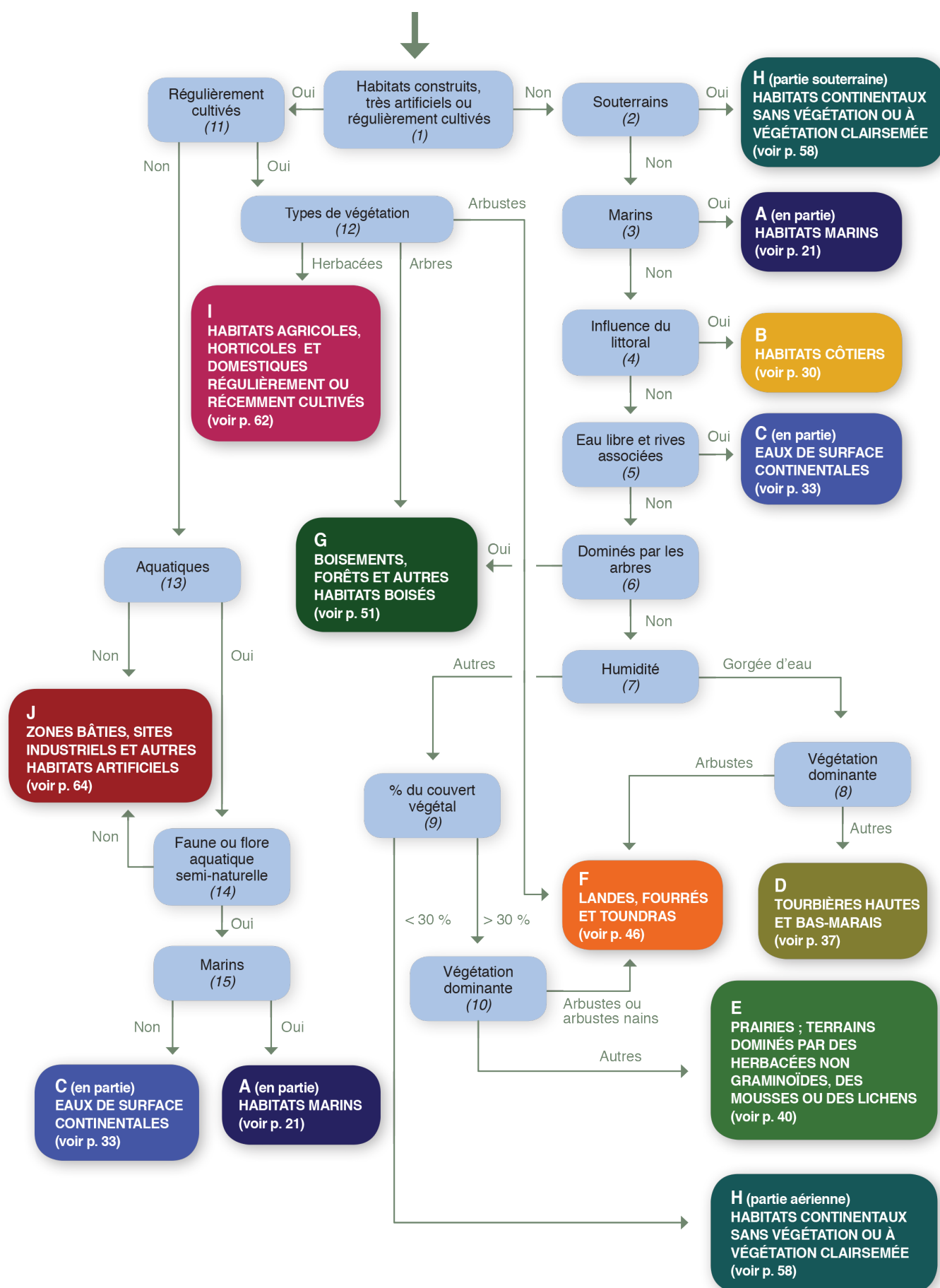
- Agence française pour la biodiversité (AFB). “Guide de détermination des habitats terrestres et marins de la typologie EUNIS” [en ligne]. Disponible sur : https://www.patrinat.fr/sites/patrinat/files/atoms/files/2019/10/2018_026_compressed.pdf. Consulté le 23/02/2024.
- Centre permanent d’initiatives pour l’environnement (CPIE) vallées de la Sarthe et du Loir. “Landes sèches européennes” [en ligne]. Disponible sur : <https://www.sarthe.fr/sites/default/files/2021-05/landes-seches-europeennes.pdf>. Consulté le 26/02/2024.
- Office français de la biodiversité. “Les prairies, une question d’équilibre” [en ligne]. Disponible sur : <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1427>. Consulté le 26/02/2024.
- Bernard Clément. “La lande : un écosystème original” [en ligne]. Disponible sur : <https://bcd.bzh/becedia/fr/la-lande-un-ecosysteme-original>. Consulté le 27/02/2024.
- Parc national de forêts. “Les pelouses sèches” [en ligne]. Disponible sur : <https://www.forets-parcnational.fr/fr/des-connaissances/les-patrimoines/les-milieus-naturels/pelouses-seches>. Consulté le 27/02/2024.
- Ouest-France. “Au Péristyle, la construction de L’Anoriente a commencé” [en ligne]. Disponible sur : <https://www.ouest-france.fr/bretagne/lorient-56100/lorient-au-peristyle-la-construction-de-lanorient-commence-2612996>. Consulté le 13/05/2024.

Cours universitaire

- MAHY G. Cours théorique de 2ème master architecte paysagiste de Biodiversité et ville. Introduction - concepts clés. 2023. Gembloux Agro-Bio Tech. 60p.
- MAHY G. Cours théorique de 2ème master architecte paysagiste de Biodiversité et ville. Services écosystémiques urbains. 2023. Gembloux Agro-Bio Tech. 64p.
- MAHY G. Cours théorique de 2ème master architecte paysagiste de Biodiversité et ville. Etat des lieux du potentiel biodiversité sur les sites. 2023. Gembloux Agro-Bio Tech. 430p.
- MAHY G. Cours théorique de 2ème master architecte paysagiste de Biodiversité et ville. Végétalisation durable des bâtiments (habitats analogues). 2023. Gembloux Agro-Bio Tech. 76p.
- DUFRENE M. Cours théorique de 1er master architecte paysagiste de Patrimoine et paysage de services écosystémiques. Définitions - modèles conceptuels – Typologies. 2022. Gembloux Agro-Bio Tech. 97 p.
- DUFRENE M. Cours théorique de 1er master architecte paysagiste de Patrimoine et paysage de services écosystémiques. Evaluations des SE. 2022. Gembloux Agro-Bio Tech. 169 p.

Annexes :

Annexe 1 : Clef de détermination des habitats EUNIS Niveau 1.



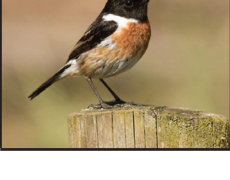
(Guide de détermination des habitats terrestres et marins de la typologie EUNIS, 2018).

Annexe 2 : Inventaire faunistique des espèces situées à proximité des sites d'étude et fréquentant des habitats pouvant être reproduits au sein de toitures végétalisées extensives et semi-intensives



Nom de l'espèce	Photographie	Groupe	Habitats favorables (compatible avec une toiture végétalisée extensive et/ou semi-intensive)	Liste rouge / Statut de protection
<i>Subcoccinella vigintiquatuor-punctata</i>		Coléoptère	- Pelouse sèche - Lande et fourré	LC / -
<i>Aricia agestis</i>		Lépidoptère	- Pelouse sèche - Prairie ensoleillé	LC / -
<i>Celastrina argiolus</i>		Lépidoptère	- Lande, fourrée & tundra - Prairie fleurie	LC / -
<i>Cupido minimus</i>		Lépidoptère	- Pelouse sèche - Prairie herbacée	LC / -
<i>Hipparchia semele</i>		Lépidoptère	- Pelouse sèche - Lande herbeuse - Prairie herbacée	LC / -
<i>Issoria lathonia</i>		Lépidoptère	- Milieu ouvert - Pelouse sèche - Prairie de fauche	LC / -
<i>Lasiommata megera</i>		Lépidoptère	- Pelouse sèche - Prairie herbacée - Pelouse calcaire vivaces et steppes	LC / -
<i>Limenitis camilla</i>		Lépidoptère	Lande, fourré, tundra	LC / -

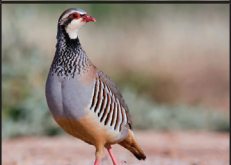
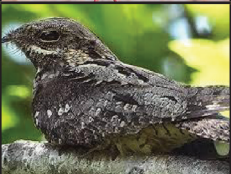
<i>Thecla betulae</i>		Lépidoptère	Lande, fourré, toundra	LC / -
<i>Thymelicus acteon</i>		Lépidoptère	- Pelouse sèche - Prairie herbacée - Pelouse calcaire vivaces et steppes	LC / -
<i>Thymelicus sylvestris</i>		Lépidoptère	- Prairie de fauche - Prairie herbacée	LC / -
<i>Alauda arvensis</i>		Oiseau	- Pelouse sèche - Prairie courte	LC / -
<i>Alectoris rufa</i>		Oiseau	- Lande, fourré, toundra - Prairie herbacée	NT / -
<i>Anthus pratensis</i>		Oiseau	- Lande sèche - Prairie herbacée - Milieu ouvert	VU / Espèce protégée
<i>Circus cyaneus</i>		Oiseau	- Lande, fourré, toundra - Prairie herbacée	LC / Espèce protégée
<i>Emberiza calandra</i>		Oiseau	- Lande, fourré, toundra - Prairie herbacée	LC / Espèce protégée
<i>Emberiza schorniclus</i>		Oiseau	- Lande, fourré, toundra - Prairie herbacée	EN / Espèce protégée
<i>Galerida cristata</i>		Oiseau	Lande, fourré, toundra	LC / Espèce protégée
<i>Hirundo rustica</i>		Oiseau	Zone bâti & industrielle	NT / Espèce protégée

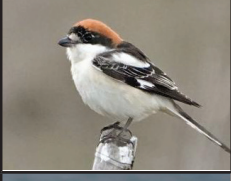
<i>Larus argentatus</i>		Oiseau	Zone bâti & industrielle	LC / Espèce protégée
<i>Larus fuscus</i>		Oiseau	Zone bâti & industrielle	LC / Espèce protégée
<i>Larus marinus</i>		Oiseau	Zone bâti & industrielle	LC / Espèce protégée
<i>Locustella naevia</i>		Oiseau	- Pelouse sèche - Lande et fourré	NT / Espèce protégée
<i>Lullula arborea</i>		Oiseau	- Lande, fourré, toundra - Pelouse sèche - Lande sèche - Prairie herbacée	LC / Espèce protégée
<i>Merops apiaster</i>		Oiseau	- Pelouse sèche - Zone bâti & industrielle - Prairie herbacée	LC / Espèce protégée
<i>Numenius arquata</i>		Oiseau	- Lande, fourré, toundra - Prairie herbacée	VU / Espèce protégée
<i>Oenanthe oenanthe</i>		Oiseau	- Steppe à graminée - Pelouse sèche - Prairie herbacée	NT / Espèce protégée
<i>Perdix perdix</i>		Oiseau	- Lande, fourré, toundra - Prairie herbacée	LC / -
<i>Phylloscopus trochilus</i>		Oiseau	Lande, fourré, toundra	NT / Espèce protégée
<i>Saxicola rubicola</i>		Oiseau	- Lande, fourré, toundra - Prairie herbacée	NT / Espèce protégée

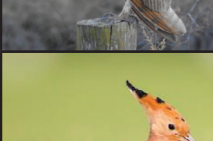
<i>Sylvia communis</i>		Oiseau	Lande, fourré, toundra	LC / Espèce protégée
<i>Chorthippus mollis</i>		Orthoptère	- Pelouse sèche - Lande sèche	LC / -
<i>Myrmeleotettix maculatus</i>		Orthoptère	Pelouse sèche	LC / -
<i>Oecanthus pellucens</i>		Orthoptère	Pelouse sèche	LC / Espèce protégée
<i>Platycleis albopunctata</i>		Orthoptère	- Pelouse sèche - Lande sèche - Maquis bas à Éricacées	LC / -
<i>Stenobothrus lineatus</i>		Orthoptère	- Pelouse sèche - Lande sèche	LC / -
<i>Stenobothrus stigmaticus</i>		Orthoptère	Pelouse sèche	LC / -

LC (Préoccupation mineure) - EN (En danger) - VU (Vulnérable) - NT (Quasi menacé)



Nom de l'espèce	Photographie	Groupe	Habitats favorables (compatible avec une toiture végétalisée extensive et/ou semi-intensive)	Liste rouge / Statut de protection
<i>Melanargia galathea</i>		Lépidoptère	- Prairie fleurie - Prairie herbacée - Prairie de fauche - Pelouse sèche	LC / -
<i>Alauda arvensis</i>		Oiseau	- Pelouse sèche - Prairie courte	LC / -
<i>Alectoris rufa</i>		Oiseau	- Lande, fourré, toundra - Prairie herbacée	NT / -
<i>Caprimulgus europaeus</i>		Oiseau	- Lande sèche - Pelouse calcaire	LC / Espèce protégée
<i>Circus cyaneus</i>		Oiseau	- Lande, fourré, toundra - Prairie herbacée	LC / Espèce protégée
<i>Emberiza calandra</i>		Oiseau	- Lande, fourré, toundra - Prairie herbacée	LC / Espèce protégée
<i>Emberiza citrinella</i>		Oiseau	- Lande sèche - Pelouse sèche - Prairie de fauche - Parcours substeppiques de graminées	VU / Espèce protégée
<i>Emberiza hortulana</i>		Oiseau	- Pelouse calcaire - Parcours substeppiques de graminées	EN / Espèce protégée
<i>Emberiza schoeniclus</i>		Oiseau	- Lande, fourré, toundra - Prairie herbacée	EN / Espèce protégée

<i>Falco columbarius</i>		Oiseau	- Lande sèche - Pelouse sèche	VU / Espèce protégée
<i>Falco peregrinus</i>		Oiseau	- Pelouse sèche - Zone bâti - Steppe de graminées	LC / Espèce protégée
<i>Falco tinnunculus</i>		Oiseau	- Lande sèche - Pelouse sèche	NT / Espèce protégée
<i>Lanius senator</i>		Oiseau	- Lande sèche - Parcours substeppiques de graminées	VU / Espèce protégée
<i>Larus argentatus</i>		Oiseau	Zone bâti & industrielle	LC / Espèce protégée
<i>Larus marinus</i>		Oiseau	Zone bâti & industrielle	LC / Espèce protégée
<i>Locustella luscinioides</i>		Oiseau	- Lande sèche - Prairie herbacée	EN / Espèce protégée
<i>Locustella naevia</i>		Oiseau	- Lande sèche - Prairie herbacée - Zone bâti	NT / Espèce protégée
<i>Milvus milvus</i>		Oiseau	- Prairie de fauche - Pelouse sèche	VU / Espèce protégée
<i>Motacilla flava</i>		Oiseau	- Prairie de fauche - Parcours substeppiques de graminées	LC / Espèce protégée
<i>Numenius arquata</i>		Oiseau	- Lande, fourré, toundra - Prairie herbacée	NT / Espèce protégée

<i>Oenanthe oenanthe</i>		Oiseau	- Pelouse sèche - Prairie herbacée - Steppe de graminées	NT / Espèce protégée
<i>Passer domesticus</i>		Oiseau	- Zone bâti - Prairie herbacée - Pelouse	LC / Espèce protégée
<i>Pernis apivorus</i>		Oiseau	- Lande & fourré tempéré - Prairie herbacée	LC / Espèce protégée
<i>Phylloscopus trochilus</i>		Oiseau	- Lande sèche - Pelouse sèche	NT / Espèce protégée
<i>Pica pica</i>		Oiseau	- Lande, fourré, toundra - Espace ouvert	LC / -
<i>Pyrhcorax pyrrhcorax</i>		Oiseau	- Lande sèche - Pelouse calcaire - Parcours substepmiques de graminées	LC / Espèce protégée
<i>Saxicola rubicola</i>		Oiseau	- Lande, fourré, toundra - Prairie herbacée	NT / Espèce protégée
<i>Streptopelia turtur</i>		Oiseau	- Lande sèche - Pelouse sèche	VU / -
<i>Sylvia communis</i>		Oiseau	Lande, fourré, toundra	LC / Espèce protégée
<i>Sylvia undata</i>		Oiseau	- Lande sèche - Pelouse calcaire - Pelouse sèche	NT / Espèce protégée
<i>Tyto alba</i>		Oiseau	- Pelouse sèche - Prairie de fauche - Parcours substepmiques de graminées	LC / Espèce protégée
<i>Upupa epops</i>		Oiseau	- Lande sèche - Pelouse calcaire - Pelouse sèche - Parcours substepmiques de graminées	LC / Espèce protégée

LC (Préoccupation mineure) - EN (En danger) - VU (Vulnérable) - NT (Quasi menacé)

(Données : Inventaire national du patrimoine naturel (INPN). Réalisation personnelle, 2024)

Annexe 3 : Descriptif des variétés de sedum utilisées sur les toits du lycée Guy Debeyre à Dunkerque

variétés	floraison		feuillage		implantation		
	mois	couleur	hauteur en cm	couleur	minimottes	fragments (4)	précultivé (5)
takesinense	6 / 8	jaune	30 - 40	vert	oui		
pachyclados (1)	7 / 8	jaune	25	bleu - vert	oui		
reflexum	6 / 8	jaune	20	bleu - vert	oui	oui	
aizoon	7 / 8	jaune	15 - 20	vert	oui	oui	
spurium pourpre	6 / 8	pourpre	10	pourpre	oui		
spurium tricolor	6 / 8	rose	10	vert - blanc - rose	oui		
spurium blanc	6 / 8	blanc	10	vert foncé	oui		
spurium rose	6 / 8	rose	10	vert clair	oui		
floriferum gold (2)	6 / 7	jaune	10 - 15	vert (été) brun (hiver)	oui	oui	oui
hybridum immergrunchen	7 / 8	jaune	10 - 15	vert clair (été) vert foncé (hiver)	oui	oui	oui
sexangular (remplace le acre)	7 / 8	jaune	10	vert (été) vert brun (hiver)	oui	oui	oui
album coral carpet	6 / 7	blanc	5 - 15	vert (été) brun (hiver)	oui	oui	oui
album pyreneum (3)	6 / 8	blanc	5 - 15	vert (été) pourpre (hiver)	oui	oui	oui

(1) : fort enracinement, idéal pour support en pente,

(2) : seul sedum adapté à une composition uniflorale,

(2) + (3) : doivent être majoritaires (> 60 %) pour une association de sedums,

(4) : l'implantation de fragments peut se faire de septembre jusqu'à mai,

(5) : l'implantation en éléments précultivés (plaques, rouleaux, autres ...) est possible.

La plantation en minimottes peut s'effectuer tout au long de l'année. Il n'y a pas de période idéale de plantation.

Les sedums sont sélectionnés pour qu'ils soient persistants toute l'année.

D'autres variétés peuvent être envisagées sur étude particulière.

(Cahier des clauses techniques, Édition février 2004)

Annexe 4 : Descriptif quantitatif des espèces plantées sur les toits de la résidence l'Anoriente à Lorient

<u>NIV R+2</u>		
Végétaux	Nb	Nb plaque de 54
Sedum summer clay	54	1
Sedum stoloniferum	54	1
Sedum lydium glaucum	54	1
Sedum reflexum angelina	0	
Sedum kamtchaticum olda	54	1
Sedum X Csar' Gold	54	1
Sedum sexangulare	54	1
Pennisetum alepecuroides	11	
Festuca gautieri Pic Carlit	11	
Carex comnas bronco	11	
Allium schoenoprasum	11	
Armeria maritima	5	
Delosperma cooperi Table mountain	5	
Dianthus deltoides	5	
Duchesna indica	5	
Geranium sanguineum	5	
Iris rouge	11	
Thymus serpyllum red carpet	5	
Sedum spectabile Brillant	11	

<u>NIV R+3</u>		
Végétaux	Nb	Nb plaque de 54
Sedum summer clay	162	3
Sedum stoloniferum	108	2
Sedum lydium glaucum	162	3
Sedum reflexum angelina	108	2
Sedum kamtchaticum olda	162	3
Sedum X Csar' Gold	108	2
Sedum sexangulare	108	2
Pennisetum alepecuroides	33	
Festuca gautieri Pic Carlit	33	
Carex comnas bronco	33	
Allium schoenoprasum	33	
Armeria maritima	16	
Delosperma cooperi Table mountain	16	
Dianthus deltoides	16	
Duchesna indica	16	
Geranium sanguineum	16	
Iris rouge	33	
Thymus serpyllum red carpet	16	
Sedum spectabile Brillant	33	

NIV R+5		
Végétaux	Nb	Nb plaque de 54
Sedum summer clay	324	6
Sedum stoloniferum	378	7
Sedum lydium glaucum	0	
Sedum reflexum angelina	0	
Sedum kamtchaticum olda	378	7
Sedum X Csar' Gold	0	
Sedum sexangulare	378	7
Pennisetum alepecuroides	53	
Festuca gautieri Pic Carlit	53	
Carex comnas bronco	53	
Allium schoenoprasum	53	
Armeria maritima	26	
Delosperma cooperi Table mountain	26	
Dianthus deltoides	26	
Duchesna indica	26	
Geranium sanguineum	26	
Iris rouge	53	
Thymus serpyllum red carpet	26	
Sedum spectabile Brillant	53	

TOITURE HAUTE		
Végétaux	Nb	Nb plaque de 54
Sedum summer clay	432	8
Sedum stoloniferum	432	8
Sedum lydium glaucum	432	8
Sedum reflexum angelina	432	8
Sedum kamtchaticum olda	432	8
Sedum X Csar' Gold	432	8
Sedum sexangulare	432	8
Pennisetum alepecuroides	115	
Festuca gautieri Pic Carlit	115	
Carex comnas bronco	115	
Allium schoenoprasum	115	
Armeria maritima	58	
Delosperma cooperi Table mountain	58	
Dianthus deltoides	58	
Duchesna indica	58	
Geranium sanguineum	58	
Iris rouge	115	
Thymus serpyllum red carpet	58	
Sedum spectabile Brillant	115	

(Sopranature, 2024)