



HAL
open science

L'adaptation aux effets du changement climatique dans l'espace public : une analyse des réponses apportées par la feuille de route environnementale Grandalpe

Nicholas Marston

► To cite this version:

Nicholas Marston. L'adaptation aux effets du changement climatique dans l'espace public : une analyse des réponses apportées par la feuille de route environnementale Grandalpe. Architecture, aménagement de l'espace. 2023. dumas-04202108

HAL Id: dumas-04202108

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04202108>

Submitted on 11 Sep 2023

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

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

L'adaptation aux effets du changement climatique dans l'espace public :

une analyse des réponses
apportées par la Feuille de route
environnementale Grandalpe

Nicholas MARSTON
Master Urbanisme et Aménagement

Année universitaire : 2022-2023
Parcours : TRUST

Tutrice universitaire : Paulette DUARTE
Maître d'apprentissage : Corinne ADJUTO

Notice Analytique :

Auteur	Nicholas Marston	
Titre du mémoire	L'adaptation aux effets du changement climatique dans l'espace public : une analyse des réponses apportées par la Feuille de route environnementale Grandalpe	
Date de soutenance	06/09/2023	
Cadre de l'apprentissage	Direction départementale des territoires de l'Isère	
Cadre de l'étude	Institut d'urbanisme et de géographie alpine de Grenoble (IUGA)	Directeur du projet de fin d'études : Paulette Duarte
Collation	111 pages	
Mots-clefs	Adaptation, changement climatique, espace public	
Termes géographiques	Grandalpe, Grenoble-Alpes Métropole	

Résumé / abstract :

On constate déjà les effets du changement climatique sur la santé et le bien-être des habitants et des écosystèmes urbains. Face à cette menace, il s'agit de comprendre l'approche de la planification stratégique en matière d'environnement, pour permettre l'adaptation de nos territoires. De telles réponses sont essentielles dans l'espace public, que doivent se partager plus harmonieusement les citoyens et les écosystèmes pour lutter contre le réchauffement du territoire.

Dans quelle mesure les objectifs environnementaux pour l'espace public de Grandalpe, permettent-ils l'adaptation de ces espaces, et du territoire en général, aux effets du changement climatique ? Comment les solutions fondées sur la nature sont-elles intégrées dans les objectifs environnementaux pour les espaces publics de Grandalpe ?

The impacts of climate change on the health and well-being of people and urban ecosystems are already being felt in cities across the globe. In response to this threat, it is vital to understand the approach being taken by Environmental Planning strategies to promote climate change adaptation. These responses are particularly important for managing public spaces, where residents and ecosystems must effectively co-exist to combat global warming.

To what extent do the Strategic Environmental Objectives for public spaces in Grandalpe promote climate change adaptation for these spaces, and for the community in general? How are Nature-Based Solutions integrated into the Strategic Environmental Objectives for public spaces in Grandalpe?

Remerciements :

Je remercie ma cheffe Corinne ADJUTO et la cheffe de service Yésika REVEILHAC, pour m'avoir accueilli avec bienveillance en tant qu'apprenti à la DDT de l'Isère. Je remercie également mes collègues du Service Aménagement Sud-Est pour leur accueil chaleureux au sein de leur équipe.

Je remercie ma tutrice Paulette DUARTE pour sa direction et ses conseils indispensables durant ce long exercice de réflexion et de rédaction.

Je remercie toutes les personnes qui m'ont accordé leur temps pour répondre à mes questions, dans le cadre des entretiens. Je n'aurais pas pu avancer sur ce sujet sans leur volonté de participer.

Enfin, je remercie ma femme, Jacqueline, pour son soutien inébranlable tout au long de ces deux années d'étude. You are the most wonderful part of my life, and I dedicate this paper to you.

Liste des abréviations et acronymes :

AURG : Agence d'urbanisme de la région grenobloise

COV : Composés organiques volatils

DDT 38 : Direction départementale des territoires de l'Isère

EPA : Environmental Protection Agency

FAO : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

GAM/la Métropole : Grenoble-Alpes Métropole

GES : Gaz à effet de serre

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

ICLEI : Local Governments for Sustainability

ICU : Îlot de chaleur urbain

LLS : Logements locatifs sociaux

NO_x : Oxyde d'azote

OAP : Orientations d'aménagement et de programmation

ONU : Organisation des nations unies

PCAET : Plan climat air énergie du territoire

PLUi : Plan local d'urbanisme intercommunal

PM : Particules en suspension

PPA : Projet partenarial d'aménagement

SDAU : Schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme

SFN : Solutions fondées sur la nature

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

UNDRR : United Nations Office for Disaster Risk Management

Table des matières

Notice Analytique :.....	1
Résumé / abstract :.....	1
Remerciements :.....	3
Liste des abréviations et acronymes :.....	4
Introduction :.....	7
Partie I : le « comment » - méthodologie et justification.....	9
i. Description de la méthodologie employée :.....	10
La Feuille de route environnementale de la zone Grandalpe :.....	10
Documents et entretiens :.....	12
Démarche et critères d'analyse :.....	13
Les solutions fondées sur la nature (SFN) :.....	14
Les limites de cette démarche :.....	14
ii. L'adaptation et les effets du changement climatique pour Grenoble Alpes Métropole :.....	16
Les bases d'une définition de l'adaptation propre à cette étude :.....	16
Une définition de l'adaptation et des risques :.....	18
Deux notions clefs : l'espace public et les espaces verts.....	20
Quels sont les effets du changement climatique pour GAM ?.....	22
iii. Justification des critères :.....	23
Tableau des neuf critères adoptés dans cette étude :.....	23
La santé et le bien-être (pollution aérienne et santé mentale) :.....	25
Surchauffe urbaine (ICU et inconfort thermique) :.....	32
Biodiversité et écosystèmes :.....	40
Fin de la partie I.....	44
Partie II : contexte, analyse et évaluation.....	45
i. Contexte historique : sud de Grenoble.....	46
Développement historique du sud de la plaine grenobloise :.....	46
Les préparatifs administratifs d'une « centralité sud » grenobloise :.....	47
Vers une Feuille de route environnementale Grandalpe :.....	49
Forme urbaine, risques et démographie :.....	51
ii. Analyse des objectifs par critère :.....	55
Point méthodologique :.....	55
Critère 1.1 : Choix et disposition des espèces d'arbre de façon à minimiser l'exposition des habitants aux polluants de l'air.....	57
Critère 1.2 : Choix des espèces d'arbres de façon à minimiser l'émission de pollens allergisants et de composés organiques volatils (COV).....	60
Critère 1.3 : Présence visible et régulière de végétation dans l'espace public.....	63
Critère 2.1 : Extension de la canopée arborée dans l'espace public.....	65
Critère 2.2 : Intégration de l'eau dans l'espace public.....	68
Critère 2.3 : Aménagement des surfaces de l'espace public de manière à minimiser l'absorption de la chaleur du soleil.....	71
Critère 3.1 : Augmentation du taux de sol en pleine terre et de la continuité des sols.....	73
Critère 3.2 : Promotion de la trame verte.....	76
Critère 3.3 : Choix d'une population d'arbres capable de résister au changement climatique.	78
Synthèse de l'analyse des objectifs par critère :.....	80
Fin de la partie II.....	82
Partie III : analyse du cas d'étude, comparaisons et remarques.....	83
i. Cas d'étude : l'EcoQuartier du Val d'Eybens.....	84

Contexte :.....	84
Le Val d’Eybens - présentation d’un projet aux objectifs multiples :.....	86
Analyse du projet du Val d’Eybens :.....	91
Critères 1.1 et 1.2 :.....	91
Critère 1.3 : Présence visible et régulière de végétation dans l'espace public.....	92
Critère 2.1 : Extension de la canopée arborée dans l'espace public.....	93
Critère 2.2 : Intégration de l'eau dans l'espace public.....	94
Critère 2.3 : Aménagement des surfaces de l'espace public de manière à minimiser l’absorption de la chaleur du soleil.....	94
Critère 3.1 : Augmentation du taux de sol en pleine terre et de la continuité des sols.....	95
Critère 3.2 : Promotion de la trame verte.....	95
Critère 3.3 : Choix d'une population d'arbres capable de résister au changement climatique. .	95
Synthèse de l’analyse des objectifs par critère :.....	96
ii. Comparaison des résultats et remarques :.....	97
Quelques préconisations :.....	97
Fin de la partie III :.....	99
Conclusion :.....	100
Annexes :.....	103
i. Tableau d’analyse des objectifs de la Feuille de route :.....	103
ii. Table des figures :.....	105
iii. Table des entretiens :.....	107
Bibliographie :.....	108

Introduction :

Il est prévu que, avec l'augmentation de la température globale, les effets du changement climatique s'aggraveront au cours de ce siècle (GIEC, 2022, p. 16). Ces effets représentent un défi majeur pour les gestionnaires et aménageurs de la ville, qui sont de plus en plus obligés de la faire adapter pour offrir aux citoyens un cadre de vie qui reste sûr et agréable. Au sein de la ville, l'espace public est tout particulièrement en proie à ce défi, étant à la fois directement impacté par les effets du changement climatique, et un forum crucial où se côtoient les habitants, la flore et la faune du territoire. Pendant ce temps, le constat de la puissance des écosystèmes, comme fournisseurs de réponses efficaces aux bouleversements climatiques, a amené des experts et professionnels de l'urbanisme à réfléchir à des pratiques d'aménagement de l'espace public qui soient plus en lien avec les solutions fondées sur la nature (SFN).

A partir de ces enjeux, cette étude vise à mieux comprendre les objectifs environnementaux des documents stratégiques de la planification, afin d'explorer comment ceux-ci fournissent des réponses aux effets du changement climatique dans l'espace public. Ainsi, il s'agit d'analyser ces objectifs environnementaux à l'échelle du secteur Grandalpe, dans Grenoble-Alpes Métropole (GAM), un territoire qui ambitionne d'être exemplaire en matière de réponses au changement climatique. Cette analyse a pour vocation de répondre aux questions suivantes :

Dans quelle mesure les objectifs environnementaux pour l'espace public de Grandalpe, permettent-ils l'adaptation de ces espaces, et du territoire en général, aux effets du changement climatique ?

ET

Comment les solutions fondées sur la nature sont-elles intégrées dans les objectifs environnementaux pour les espaces publics de Grandalpe ?

En vue de fournir des réponses à ces deux questions, l'étude mène une série d'entretiens et consulte une large gamme de recherches scientifiques, et des documents de la planification. On se sert de ces renseignements pour construire et justifier neuf critères d'analyse de la Feuille de route environnementale, qui sont propres à cette étude. Un tel travail permet également de présenter le

contexte urbanistique, administratif et historique dans lequel se situe le projet Grandalpe. S'ensuivent une analyse et une évaluation de la Feuille de route environnementale et du Val d'Eybens, un projet d'aménagement en cours de réalisation, se trouvant dans le secteur Grandalpe. Ce dernier sert de cas d'étude, permettant de mieux qualifier la Feuille de route. Enfin, une série de remarques et de préconisations sont présentées à partir de l'analyse de cette étude, afin de proposer des améliorations de la Feuille de route environnementale, focalisées spécifiquement sur la réponse aux effets du changement climatique dans l'espace public.

Pour ce qui est des deux questions de l'étude, on émet l'hypothèse que les objectifs de la Feuille de route environnementale Grandalpe sont moyennement efficaces pour promouvoir l'adaptation de l'espace public et du territoire aux effets du changement climatique, avec des réponses conformes aux critères d'analyse de cette étude et d'autres qui le sont beaucoup moins. De plus, on suppose que les SFN, étant une notion répandue, sont un élément important des objectifs de la Feuille de route, même si celles-ci ne sont pas incorporées de la manière la plus complète possible aux objectifs.

Partie I : le « comment » - méthodologie et justification

Cette partie a pour vocation d'expliquer comment cette étude compte répondre à la problématique énoncée dans l'introduction, et à justifier les outils dont elle se sert pour le faire. Elle commence en énonçant le lieu d'application et en décrivant le document au centre de cette étude, avant de résumer les raisons pour lesquelles ceux-ci ont été choisis. Ensuite, il s'agit de détailler la démarche d'enquête employée pour répondre aux questions de l'étude, allant des sources consultées aux critères d'analyse utilisés et les éléments analysés. Les limites identifiées par l'auteur de cette approche sont également abordées, puis les notions clefs de cette étude sont définies. Enfin, une justification des critères d'analyse utilisés dans cette étude est présentée.

i. Description de la méthodologie employée :

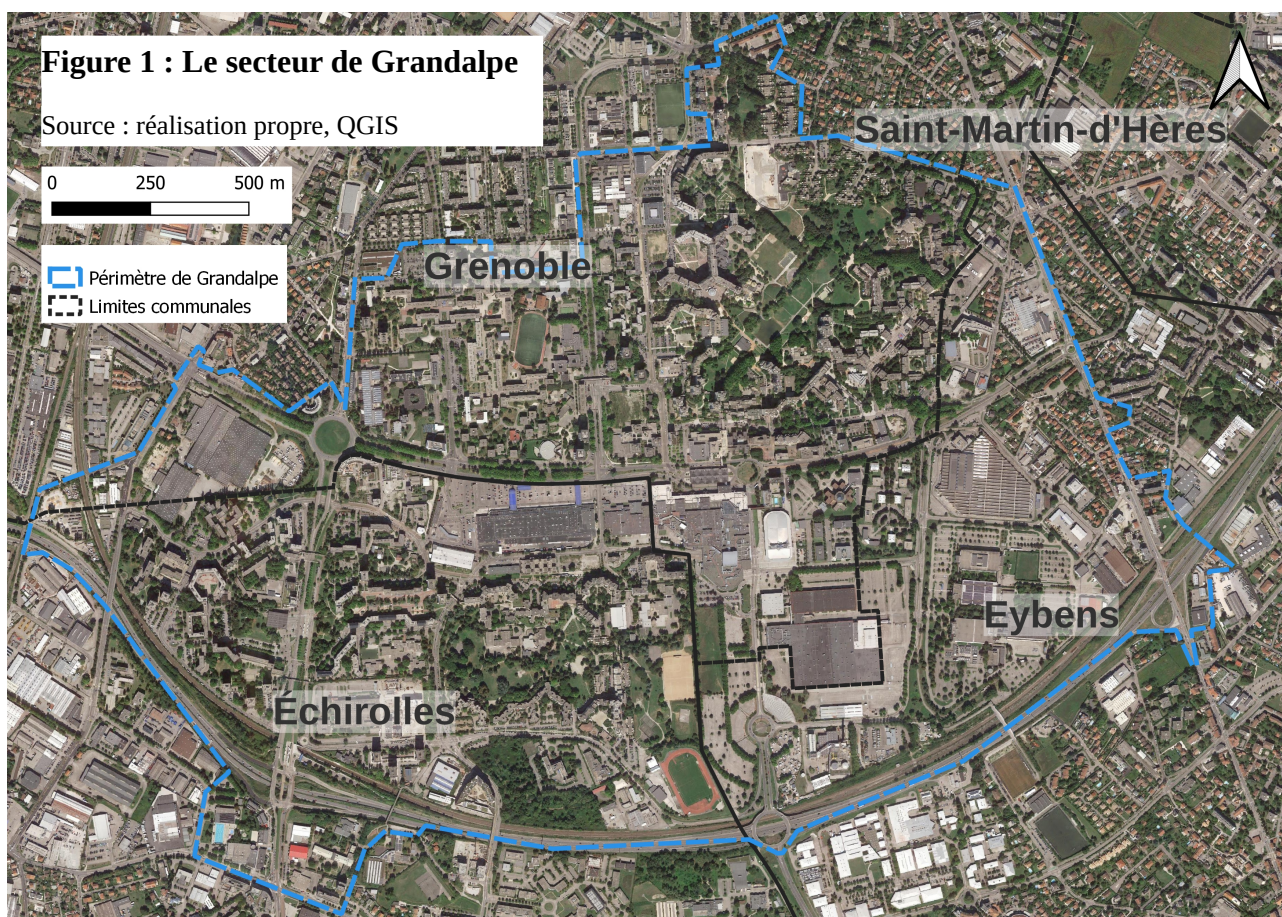
La Feuille de route environnementale de la zone Grandalpe :

Le terme Grandalpe fait référence à un espace de 400 hectares, comptant environ 30 000 habitants, qui chevauche la partie sud de la commune Grenoble et la frange nord et nord-ouest des Villes d'Échirolles et d'Eybens (GAM, 2019, p. 3). Étant juridiquement un périmètre d'intérêt métropolitain, GAM porte les orientations d'aménagement dans le secteur Grandalpe. De plus, Grandalpe fait l'objet d'une Orientation d'aménagement et de programmation (OAP) thématique, qui précise l'objectif de faire vivre l'ambiance « ville-parc » dans la zone (des précisions sur tous ces concepts se trouvent dans la partie II).

Ce territoire a été choisi comme lieu d'application de cette étude parce que, selon une publication de GAM décrivant les ambitions derrière le projet Grandalpe, c'est au centre de la stratégie métropolitaine de mettre en œuvre un urbanisme qui réponde aux enjeux du réchauffement climatique, à travers principalement la végétalisation (2019, p. 23). Ainsi, la vision environnementale de cette zone se veut être très ambitieuse (comme sera discutée dans les parties II et III). Ces éléments sont fortement en lien avec l'ambition de cette étude de comprendre si les objectifs d'aménagement des espaces publics, d'un territoire qui met autant en avant le rôle des écosystèmes dans sa stratégie, s'inspirent des SFN pour répondre aux effets du changement climatique (voir la définition des SFN dans cette partie).

Ce qui encadre une bonne partie du volet environnemental de cette vision pour Grandalpe est sa Feuille de route environnementale, un document comportant un diagnostic territorial et soixante-neuf objectifs opérationnels, rédigé par le bureau d'études SETIS Groupe Dégaud en 2021. Ces objectifs sont divisés en quatre grandes thématiques : I « intensifier la végétalisation », II « valoriser le cycle d'eau », III « adopter une démarche d'atténuation des effets air/bruit/chaleur » et IV « tendre vers le zéro énergie fossile » (p. 96). Au moment de sa publication, ce document a revendiqué le rôle de guide, et de fournisseur des orientations d'aménagement en faveur de l'environnement à tout projet qui se situe dans le secteur Grandalpe (SETIS Groupe Dégaud, 2021, p. 10).

La Feuille de route environnementale Grandalpe a été choisie comme centre d'analyse de cette étude du fait de son importance à l'échelle du territoire. C'est en effet le principal document encadrant la réponse de GAM aux effets du changement climatique dans le secteur (SETIS Groupe Dégaud, 2021, p. 10). Par conséquent, le choix de ce document répond aux buts de cette étude, établis en introduction : d'analyser les objectifs d'adaptation de l'espace public de Grandalpe aux effets du changement climatique. En outre, le choix d'étudier la Feuille de route environnementale repose également sur les avis d'acteurs travaillant sur Grandalpe à l'échelle métropolitaine, interviewés dans le cadre de cette étude (entretiens 1, 2, 3, 4), qui ont mis en avant l'importance de ce document. Enfin, une analyse de la Feuille de route permet de déterminer si celle-ci est vraiment mise en application dans les projets d'aménagement qui se déroulent sur le territoire : une opportunité pour passer du niveau stratégique à l'opérationnel.



Documents et entretiens :

Comme cela vient d'être évoqué, cette étude s'appuie non seulement sur la seule Feuille de route environnementale, mais aussi sur l'avis des acteurs travaillant sur Grandalpe ou sur des projets connexes. Celui-ci a été recueilli par voie de six entretiens menés avec des acteurs de GAM, de la Ville d'Eybens et des services de l'État dans la première moitié de 2023 (voir la liste des entretiens en annexe). Ces entretiens ont permis d'obtenir des renseignements qui ne sont pas disponibles dans la documentation. Ainsi, ils permettent de compléter la lecture des documents consultés dans le cadre de cette étude.

En outre, les points de vue des personnes interviewées nourrissent une réflexion autour de la Feuille de route et des autres éléments analysés dans l'étude. Les publications de GAM au sujet de Grandalpe, notamment le bilan de la concertation avec les habitants locaux et *Grandalpe : projet de territoire* (2019), ont été lues en complément des entretiens. Même si elles passent toujours par le filtre de leur auteur : la Métropole, ces documents fournissent des perspectives des habitants du territoire et celles des acteurs politiques.

En outre, tous les documents de planification concernant l'espace Grandalpe, en vigueur en 2023, ont été consultés en préparant cette étude, afin de comprendre le cadre réglementaire, ainsi que les orientations en matière d'urbanisme, de paysage et d'architecture qui s'opèrent sur le territoire. Ces dispositions servent à illustrer le contexte dans lequel la Feuille de route environnementale a été écrite, les objectifs se développant en fonction des visées des autres documents d'urbanisme. Les documents qui ont été les plus utiles dans cette démarche sont : le Plan climat air énergie territorial (PCAET) et les Orientations d'aménagement et de programmation (dorénavant, OAP) risques et résilience, paysage et biodiversité et sectorielle, des communes de Bresson à Grenoble (tous de GAM, 2019).

Pour préciser, un PCAET est un projet de transition énergétique et écologique territorial, visant à permettre : la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), l'adaptation face au changement climatique et de réduire la pollution aérienne dans le territoire en question (Ademe, 2022). Quant à l'OAP, celle-ci est la « détermination d'intentions en matière d'insertion d'un futur projet dans son environnement au sens large » de la collectivité auteur du document (GAM et

AURG, 2019b, p. 3). Elle peut être soit thématique, se portant sur un thème spécifique, soit sectorielles, ayant un périmètre d'application focalisé sur un secteur précis.

Démarche et critères d'analyse :

Dans la pratique, le travail de cette étude consiste en l'analyse de la Feuille de route environnementale Grandalpe à travers neuf critères. Ceux-ci sont construits par cette étude pour analyser et évaluer les objectifs du document qui concernent l'espace public. Concrètement, un objectif est considéré comme en lien avec l'espace public si les éléments inclus dans la définition de l'espace public de cette étude (voir dans cette partie ; ex. voirie, passages piétons, grands espaces verts, places publiques etc) sont indiqués dans la colonne « échelle d'application » du document (voir *Tableau des neuf critères adoptés dans cette étude* en annexe). En outre, seules des objectifs des thématiques I, II et III ont fait l'objet d'une analyse dans cette étude. Ceci a été décidé car une analyse des objectifs de la thématique IV (« tendre vers le zéro énergie fossile ») éloignerait l'étude de son sujet.

L'objet de l'analyse par les neuf critères est de déterminer dans quelle mesure la Feuille de route environnementale permet l'adaptation du territoire aux effets du changement climatique, et comment elle se sert des SFN pour l'accomplir. L'étude répond à ces questions à travers neuf critères, permettant une analyse et une évaluation des objectifs pertinents de la Feuille de route. Ces critères sont basés sur trois des sept risques identifiés dans le PCAET de GAM (2019) et une lecture des sources scientifiques en la matière (voir *Justification des critères* pour plus de précisions sur les critères).

De plus, les neuf critères de la Feuille de route sont également à la base d'une analyse des actions engagées dans l'espace public par le projet d'aménagement du Val d'Eybens, qui se déroule dans le périmètre de Grandalpe. La visée de cette seconde analyse est de comprendre deux choses. D'abord, il s'agit de savoir à quel point les objectifs de la Feuille de route sont déjà appliqués dans les projets d'aménagement. Enfin, elle devrait permettre de comprendre si ce projet, en vertu de son statut d'ÉcoQuartier, pourrait servir de guide pour une éventuelle mise à jour de la Feuille de route environnementale de 2021.

Les solutions fondées sur la nature (SFN) :

Cette étude a adopté comme définition des SFN celle du comité français de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN ; 2016), qui les décrit comme :

« les actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité »

Toujours selon l'UICN (2016), pour déterminer si une action représente une SFN, celle-ci doit satisfaire deux principes :

1. « Contribuer de façon directe à un défi de société identifié, autre que celui de la conservation de la biodiversité ;
2. S'appuyer sur les écosystèmes et présenter des bénéfices pour la biodiversité. »

Il a été décidé d'incorporer cette notion à l'étude car elle résume une série de pratiques qui ont démontrées leur efficacité dans l'adaptation de notre société aux effets du changement climatique, tout en encourageant la protection et la gestion des écosystèmes (Leroy et al., 2021 ; Cerema, 2022). Ces pratiques sont une base essentielle de l'analyse menée par cette étude. Elles sont détaillées et complétées dans la Justification des critères. Toutefois, il est à noter que les neuf critères d'analyse de la Feuille de route environnementale ne se focalisent pas exclusivement sur les pratiques répondant aux principes des SFN. De fait, une place (minoritaire) est concédée à d'autres réponses, fournies principalement par l'ingénierie (dites « solutions grises » par l'Ademe, 2021), lorsque celles-ci sont particulièrement prometteuses.

Les limites de cette démarche :

Cependant, il est utile de noter que plusieurs limites à la démarche de cette étude qui vient d'être énoncée ont été identifiées. D'abord, tous les objets de cette étude sont toujours en cours : la Feuille de route n'est pas encore politiquement validée (voir la partie II pour plus d'informations), et le

projet du Val d'Eybens est, en 2023, toujours en chantier et il y a toujours des éléments de son plan masse à solidifier (voir la partie III). Ceci a conduit cette étude à s'appuyer sur le discours des acteurs, dont l'avis varie en fonction de leur point de vue, et donc de leur biais, vis-à-vis de ces deux projets. Il est probable que ce biais ait influé, d'une manière ou d'une autre, sur les résultats de cette étude, sans pour autant pouvoir quantifier son impact.

De plus, une autre limite rencontrée en menant cette étude est l'incapacité de recueillir les opinions de toutes les parties prenantes des projets étudiés. C'est notamment le cas en ce qui concerne la Feuille de route environnementale, dont l'avis des habitants, des unions de quartier et du bureau d'études auteur de la Feuille de route n'a pas été obtenu. Ceci est dû d'une part à des non-réponses de la part de certains acteurs sollicités. D'autre part, un choix a été fait de cibler les parties prenantes qui sont jugées les plus à même de répondre aux questions de cette étude. Par conséquent, une dernière limite majeure identifiée est la prédominance de la voix et du discours des représentants du secteur public, notamment les employés de GAM, dans les documents consultés et les entretiens menés au cours de cette étude (voir la liste des entretiens en annexe). Les articles scientifiques consultés pour constituer les critères d'analyse de l'étude sont une exception notable à cette remarque.

ii. L'adaptation et les effets du changement climatique pour Grenoble Alpes Métropole :

Les bases d'une définition de l'adaptation propre à cette étude :

Pour arriver à la définition et à la compréhension d'un terme aussi discuté que l'adaptation, cette étude s'est appuyée sur certaines publications de l'ICLEI – Local Governments for Sustainability, dont notamment la contribution de Morchain & Robrecht (2012), sur les travaux du 6^e rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ; 2022), ainsi que sur les définitions fournies par le diagnostic du PCAET de GAM (2019). Ni le rapport du GIEC ni les travaux de l'ICLEI n'ayant été traduits en français, toute citation en langue française dans cette étude, provenant de ces sources-là, est une traduction propre.

De façon générale, toutes les manières distinctes de définir l'adaptation employées par les auteurs mentionnés ci-dessus visent les deux mêmes objectifs : le renforcement de la résilience des territoires face au changement climatique et l'atteinte d'une forme de développement basée sur la durabilité et le bien-être des habitants. Or, ils diffèrent dans les notions et les modèles qu'ils emploient pour décrire le chemin à suivre pour atteindre ces buts. Dans le modèle proposé par Morchaine et Robrecht et publié par l'ICLEI (2012), l'adaptation et l'atténuation représentent les deux façons principales de répondre au changement climatique.

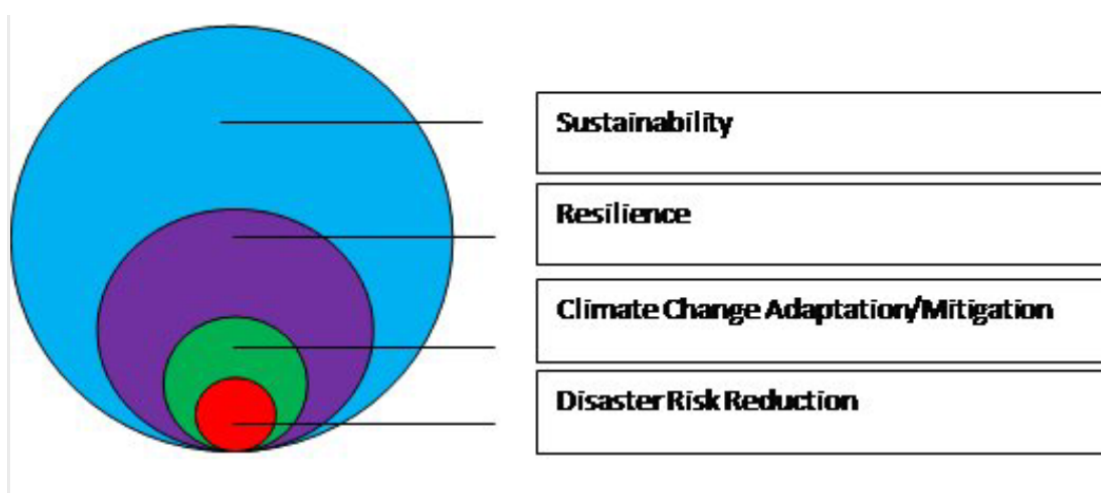


Figure 2 : Modèle situant l'adaptation vis-à-vis de la résilience, de la mitigation et de la gestion des risques

Source : Morchaine et Robrecht, 2012, p. 5

Pour l'adaptation, cette réponse se repose sur des efforts pour réduire la vulnérabilité des villes et des territoires. Ceci l'amène à s'intégrer de plus en plus à la gestion des risques, dont, selon les auteurs, une tendance majeure récente est devenue la transition de la réaction vers la prévention. Par ailleurs, aussi bien l'adaptation que la gestion des risques s'appuient sur une évolution constante de leurs approches, en fonction de la situation dans laquelle se trouve le territoire en question. Et ce afin d'adapter les réponses au contexte actuel. La fin ultime ciblée par l'adaptation et l'atténuation, c'est un renforcement du niveau de résilience des communautés et des villes, ce qui, encore selon Morchaine et Robrecht, ne s'atteint que lorsque les actions mises en œuvre sont structurées autour de la durabilité.

Quant au rapport du GIEC, la résilience agit de concert avec l'adaptation, qui sont les réflexions donnant lieu respectivement à des transformations et à des solutions. Celles-ci représentent les actions concrètes mises en œuvre pour améliorer le système donné de façon à ce qu'il soit plus à même de faire face aux défis engendrés par le changement climatique. De telles actions peuvent comprendre des efforts aussi bien pour adapter la société et les écosystèmes aux effets du changement climatique, que pour en atténuer les causes.

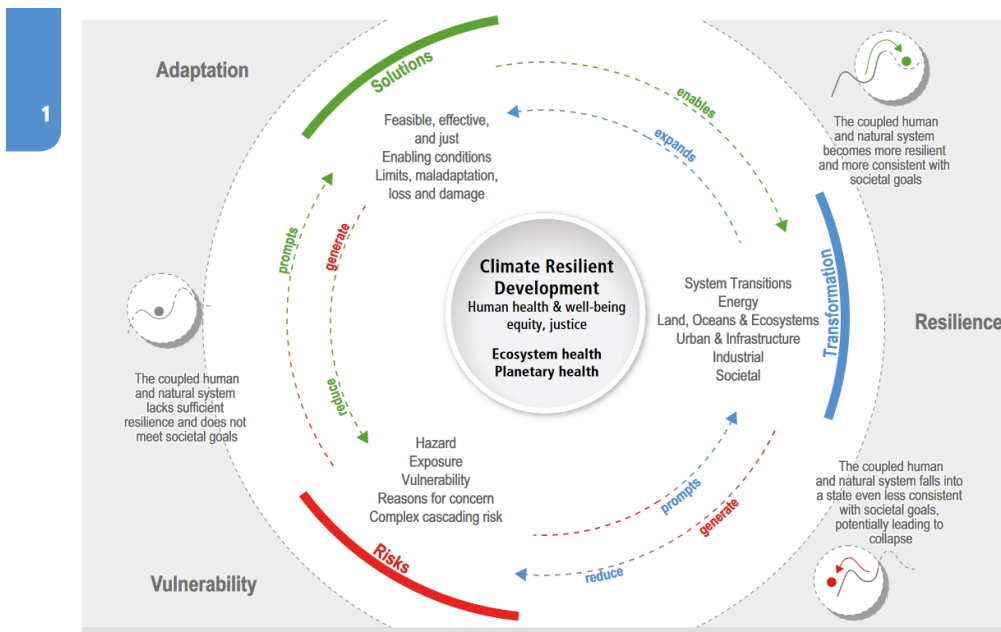


Figure 3 : un modèle du « développement climato-résilient »

Source : GIEC, 2022, p. 132

En outre, les transformations et les solutions se renforcent mutuellement, tout en répondant aux risques, créés par la vulnérabilité. Toutefois, ces efforts pour répondre aux risques peuvent eux-mêmes être à l'origine de nouveaux risques, en conséquence des changements qu'ils enclenchent dans nos modes de vie et dans notre façon d'aménager le territoire. La rapport du GIEC souligne que l'objectif de la résilience et d'un développement plus durable se résume dans le terme de *développement climato-résilient* ('climate resilient development' ; propre traduction). Celui-ci a lieu quand les solutions et les transformations mises en œuvre au service d'un système donné répondent efficacement aux risques qui y sont présents. Ceci ne peut arriver qu'en mettant en place à la fois une adaptation et une atténuation du changement climatique qui soient à la hauteur des enjeux.

Une définition de l'adaptation et des risques :

La définition de cette étude se base sur les approches résumées ci-dessus. Elle est l'aboutissement de l'objectif de créer une définition simplifiée et en lien avec le sujet du domaine d'étude, à savoir une évaluation de l'efficacité des stratégies d'adaptation intégrées aux plans de renouvellement urbain des espaces publics de la zone Grandalpe. Ainsi, sont exclues des objectifs de l'adaptation des termes, tels le développement durable et la durabilité, qui sont difficilement cernées et sans possibilité d'être évaluées à une échelle opérationnelle à court et moyen termes.

L'adaptation sera définie dans cette étude comme une manière de concevoir les stratégies (appelées réponses ou solutions) permettant à un territoire donné de faire face, de façon efficace et évolutive, aux risques actuels et prévus qui sont engendrés et/ou aggravés par le changement climatique à l'échelle de son territoire. Le travail de réduction des risques liés au changement climatique vise à amoindrir la vulnérabilité et/ou l'exposition des personnes et des écosystèmes aux aléas dont le changement climatique est, au moins en partie, à l'origine. Ceci doit pouvoir se faire tout en permettant au système en question de développer le niveau de sa résilience, à savoir la capacité de s'adapter aux risques inattendus du futur, de se remettre de ces chocs et d'en devenir encore plus capable d'y faire face (GIEC, 2022, p. 7).

Ainsi, dans cette étude, le but ultime de la démarche de l'adaptation sera considéré comme à la fois une meilleure gestion des risques nuisant à la sécurité et au bien-être des habitants, et le renforcement de la capacité de résilience du territoire.

Par ailleurs, les solutions basées sur l'adaptation fournissent des solutions de nature soit transformatrice, enclenchant un changement total du fonctionnement du système donné, soit incrémentale, amenant à une amélioration du système déjà en place. Dans cette étude, une catégorie essentielle des réponses au changement climatique sont les SFN, une forme de réponse qui intègre la nature à l'adaptation au changement climatique (Sowińska-Świerkosz & García, 2022). Il sera question d'analyser les SFN plus en détail dans les parties suivantes. Enfin, on appelle la mal-adaptation une réponse qui aboutit à des contre-effets que l'on estime être plus néfastes que ne sont ses effets positifs (GIEC, 2022, p. 178).

En outre, étant donné que la définition de l'adaptation employée pour cette étude s'appuie de manière importante sur la notion des risques, il est donc nécessaire de définir ce concept, ainsi que les notions clefs qui le composent. Selon le 6e rapport du GIEC, le risque se définit comme :

'la possibilité de l'occurrence de conséquences négatives pour des systèmes humains et/ou des écosystèmes. Les risques engendrés par le changement climatique résultent d'interactions dynamiques entre les aléas liés au climat et l'exposition et la vulnérabilité du système touché (...). En parlant des réponses aux effets du changement climatique, des risques résultent de la possibilité que celles-ci n'atteignent pas les objectifs ciblés, ou de leurs effets indésirables potentiels.'

(GIEC, 2022, p. 132-133)

Ainsi, les composants du risque peuvent être résumés de la façon suivante :

Risque = aléa + vulnérabilité + exposition

Quant aux trois composants du risque, cette étude s'est basée sur les définitions fournies par l'*Office for Disaster Risk Reduction* de l'ONU, avec des apports de Kelman (2018) et de Saulnier et al. (2020). Dans cette étude, un aléa sera considéré comme, 'un processus, phénomène ou activité humaine qui pourrait aboutir à la perte de vie, aux blessures ou à d'autres impacts sur la santé, des dommages aux biens, la disruption sociale et économique, ou la dégradation environnementale' (UNDRR 2023). Un aléa peut s'agir aussi bien d'une occurrence ponctuelle, comme un éboulement, que d'un événement qui s'étale dans le temps, telle l'augmentation de la température planétaire. Il peut être de nature soit anthropique, soit naturelle, soit socio-naturelle, ce qui en est une combinaison des deux premiers types. Enfin, un aléa peut en provoquer d'autres, appelés les aléas

secondaires. Ceux-ci se rajoutent au calcul d'un risque déjà présent, ou en crée d'autres, selon la nature du nouvel aléa.

Quant à la vulnérabilité, l'UNDRR la définit comme, « les conditions, déterminés par des facteurs ou conditions physiques, sociaux, économiques et environnementaux, qui augmentent la sensibilité d'un individu, d'une communauté, des biens, ou des systèmes aux impacts des aléas » (ibid.). Cette même organisation définit l'exposition de la manière suivante : 'la localisation des personnes, des infrastructures, des capacités de production et d'autres actifs tangibles humains situés dans des zones propices aux aléas'. Ces deux termes sont intimement liés l'un avec l'autre, une vulnérabilité économique ou sociale importante, par exemple, pouvant obliger certaines personnes d'habiter des espaces à forte exposition d'aléas telles les inondations, ce qui augmente le risque d'impacts négatifs pour ces personnes (Saulnier et al., 2020, p. 157).

Pour résumer, l'adaptation sera au cœur de cette étude, étant la notion de base des réponses concrètes aux risques touchant le bien-être des habitants du territoire de plusieurs manières, tout en permettant au territoire de développer sa capacité de résilience face aux bouleversements potentiels du futur. On reconnaît qu'une telle démarche ne permet pas d'analyser les efforts mobilisés en faveur de l'atténuation des causes du changement climatique et ainsi, de la cause des aléas. Plutôt, et tout en reconnaissant la nature liée de l'atténuation et de l'adaptation, le but de cette étude sera de se concentrer sur ce deuxième, en analysant et évaluant les réponses prévues dans la zone de revitalisation urbaine Grandalpe, pour faire face aux risques induits par le changement climatique et renforcer la capacité de rebond du territoire.

Deux notions clefs : l'espace public et les espaces verts

Deux concepts essentiels à cette étude qui n'ont pas fait l'objet encore d'une définition sont l'espace public et l'espace vert. L'espace public est une notion dont les tentatives d'en trouver une définition remontent au moins au 18^e siècle en Europe. Ces définitions se mêlent souvent à la politique, voire à la philosophie, traitant l'espace public par son rôle de lieu d'expression politique (Birkner et Mix, 2014). En orientant sont définition plus sur l'urbain, Jacobs considère que l'espace public est composé des espaces non affectés à un usage particulier, qui peuvent être utilisés pour accueillir des activités publiques ou privées temporaires, tout en permettant aux piétons de se

déplacer librement (1992, p. 435). Donc, par-dessus d'autres considérations, la fonction et l'usage réel de l'espace seraient les facteurs essentiels à l'identification d'un espace public.

En outre, la définition de Merlin et Choay prend également en compte l'importance de l'affectation d'usage de l'espace. Or, ils se distinguent de Jacobs en resserrant leur définition de l'espace public pour n'inclure que « la partie du domaine public non bâti, affectée à des usages publics » (1988, p. 723). Pour Merlin et Choay, donc, les espaces de propriété privée ne rentrent jamais dans la catégorie d'espace public. Plus récemment, l'espace public a été défini par UN-Habitat, dans sa Charte de l'espace public (2016). Celle-ci, ainsi que les définitions de Merlin et Choay, et de Jacobs, ont nourri la définition suivante, qui est celle de cette étude.

L'espace public est n'importe quel lieu à ciel ouvert d'usage public, accessible et utilisable par tout le monde gratuitement. Il se compose principalement de rues, trottoirs, places, jardins et parcs.

On reconnaît ici qu'il peut y avoir d'autres conceptions de l'espace public, englobant notamment certains types d'espaces abrités. Or, ceci ne correspond pas aux objectifs de cette étude.

En ce qui concerne les espaces verts, du moins dans la littérature scientifique anglophone, il n'en existe pas de définition universellement reconnue (Taylor et Hochuli, 2017, p. 27). Plutôt, des auteurs d'études scientifiques de différentes disciplines s'approprient du terme pour lui donner la signification qui convient à l'objet de leurs études. Cela dit, dans la plupart des définitions étudiées par Taylor et Hochuli, la majorité des définitions d'espaces verts ont comporté la notion d'une végétation présente en milieu urbain (ibid.). En partant de cette base, mais reconnaissant l'absence d'un consensus autour du terme, il a été décidé de s'appuyer sur deux définitions qui résument bien l'objet à la fois urbanistique et environnemental de cette étude : à savoir, celles de McDonald et al. (2023) et de Diener et Mudu (2021). Ainsi, on considère les espaces verts comme **tout lieu à ciel ouvert dont la surface au sol est végétalisée, que cette végétation soit introduite de façon naturelle, semi-naturelle ou artificielle.**

Quels sont les effets du changement climatique pour GAM ?

A partir des informations fournies par le 6e rapport du GIEC, ainsi que par le diagnostic territorial du PCAET de GAM (2019), on constate que la métropole grenobloise fait face à un réchauffement qui déclenche et aggrave des risques qui sont spécifiques à la topographie et à la nature, à la fois alpine et fortement minéralisée, de son territoire. A l'échelle européenne, cette augmentation des températures donne lieu (actuellement et dans un futur proche) à une hausse de la mortalité en raison des extrêmes de chaleur, à un plus fort stress hydrique et à des pertes de production agricole, engendrées notamment par des événements météorologiques extrêmes (GIEC, 2022, p. 16-17).

De plus, les extrêmes de chaleur augmentent la vulnérabilité des territoires vis-à-vis des événements de pollution aérienne, aussi bien pour GAM que pour toute l'Europe (ibid., p. 11). Quant spécifiquement à la métropole grenobloise, la hausse des températures (de +2°C entre 1959 et 2014, et d'entre +1,4°C et +2,6°C à horizon 2055) augmente la possibilité d'aléas tels les sécheresses, les canicules, les inondations et les événements extrêmes (GAM, 2019, p. 20). Enfin, la concentration des périodes de pluie et de sécheresse au cours de l'année, combinée à la chute du nombre de jours de gel, et la diminution temporelle et spatiale de la couverture neigeuse, menacent la sécurité de la ressource en eau, tout en risquant d'aggraver l'érosion des sols fertiles (GAM, 2019, p. 18).

iii. Justification des critères :

Tableau des neuf critères adoptés dans cette étude :

La santé et le bien-être (pollution aérienne et santé mentale)	La surchauffe urbaine (îlot de chaleur urbain et inconfort thermique)	La biodiversité et les écosystèmes
1.1) Choix et disposition des espèces d'arbres de façon à minimiser l'exposition des habitants aux polluants de l'air	2.1) Extension de la canopée arborée dans l'espace public	3.1) Augmentation du taux de sol en pleine terre et de la continuité des sols
1.2) Choix des espèces d'arbres de façon à minimiser l'émission de pollens allergisants et de composés organiques volatils (COV)	2.2) Intégration de l'eau dans l'espace public	3.2) Promotion de la trame verte
1.3) Présence visible et régulière de végétation dans l'espace public	2.3) Aménagement des surfaces de l'espace public de manière à minimiser l'absorption de la chaleur du soleil	3.3) Choix d'une population d'arbres capable de résister au changement climatique

Figure 4 : Tableau des neuf critères adoptés dans cette étude

Source : réalisation propre

Les neuf critères résumés dans le tableau ci-dessus représentent une sélection d'indicateurs que la littérature scientifique estime être particulièrement importants à prendre en compte, en déterminant l'efficacité des objectifs pour l'espace public d'un projet, pour permettre l'adaptation du territoire aux effets du changement climatique. Ils sont basés directement sur les sept catégories identifiées dans le PCAET de GAM (ci-dedans appelés « risques » ; 2020). Trois de ces risques ont été retenus, étant considérés les plus pertinents pour le territoire étudié : une détermination qui s'est faite à partir des conclusions d'un diagnostic territorial, mené dans le cadre de cette étude (voir la Partie II). Cette approche s'est aussi inspirée du travail de l'Ademe et du Cerema dans l'identification d'indicateurs pour mesurer la réponse aux effets du changement climatique par des SFN (Leroy et al., 2021 ; 2022).

Ces trois risques sont : **la santé et le bien-être**, les îlots de chaleur urbain (élargi ici, pour inclure les phénomènes de jour comme de nuit, en **surchauffe urbaine**) et **la biodiversité et les écosystèmes**. A chaque catégorie de risque sont attribués trois critères, qui ont pour vocation de mesurer la réponse à chaque risque apportée par le document/projet en question. L'efficacité du document/projet cible vis-à-vis des trois risques aide à juger dans quelle mesure celui-ci permet (ou non) l'adaptation de son territoire aux effets du changement climatique.

En identifiant les neuf critères, un choix a été fait d'exclure bien d'autres indicateurs, qui pourraient être, pour certains, aussi pertinents à aborder que ceux qui ont été retenus. Le choix s'est fait sur la base de trois considérations. D'abord, seuls les critères qui semblaient être le plus facilement mesurables, et ainsi, ceux étant les plus aptes à inclure dans un document de planification stratégique, ont été retenus. De plus, il a été décidé que les SFN, ayant, parmi d'autres atouts, une incidence très positive sur les trois thématiques qui forment la base des critères d'analyse de cette étude, seraient priorisées, sans pour autant exclure d'autres solutions de nature plus technique. Enfin, les réponses apportées aux risques induits et/ou aggravés par le changement climatique doivent être adaptées au milieu de leur mise en place : à savoir, dans le cadre de cette étude, dans l'espace public.

La santé et le bien-être (pollution aérienne et santé mentale) :

La santé est définie par l'Organisation mondiale de la santé comme "un état de complet bien-être physique, mental et social et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmite" (2023). La santé et bien-être des habitants et usagers de l'espace public de Grandalpe est une notion tellement vaste qu'il convient de se borner à la sélection de quelques thèmes en lien avec celle-ci, plutôt que de tenter de tous les traiter. Les thèmes qui seront abordés sont nommément la pollution aérienne et, en se basant sur la définition de la santé, la valeur pour le bien-être et la santé mentale de la végétation proche de chez-soi. Ils ont été jugés les plus pertinents sujets à traiter, considérant, à la fois, les caractéristiques et vulnérabilités du territoire et de sa population face au changement climatique, et les réponses que seront capables d'apporter les solutions fondées sur la nature.

Selon Santé Publique France, la pollution aérienne peut être définie comme "un ensemble de gaz et de particules en suspension présents dans l'air...qui sont nuisibles pour la santé et l'environnement" (2019). En zone urbaine, cette pollution se résume principalement en deux polluants : les particules en suspension (PM), dont notamment les PM10 et PM2,5 qui sont parmi les particules les plus fines et donc les plus dangereuses, et l'oxyde d'azote (NOx) (GAM, 2020, p. 186-7). Il s'agira dans cette étude d'apporter des réponses spécifiquement aux PM, les arbres n'ayant pas d'impact significatif en matière de réduction de la quantité de NOx présente en milieu urbain, et pouvant même en augmenter les émissions dans certains cas (Cerema, 2022, p. 21). Il a été décidé de se concentrer spécifiquement sur les arbres, et non pas sur tous les types de végétation présents en milieu urbain, afin d'apporter une réponse plus ciblée qui n'aurait autrement pas été possible en étudiant plusieurs catégories de végétation. Également, les arbres sont au centre de la politique de re-végétalisation de Grenoble-Alpes Métropole (GAM, 2022, p. 3), et sont donc un élément très pertinent à traiter dans Grandalpe.

Quant à ses effets concrets sur la santé, il a été constaté que la pollution de l'air est associée à une augmentation de l'incidence des maladies cardiovasculaires et respiratoires chez les personnes qui y sont exposées, à court et à long terme (Diener et Mudu, 2021, p. 2). Une cause notable de cette pollution sont les voitures et autres véhicules thermiques, dont notamment les moteurs à combustion diesel. Les voitures contribuent également à la pollution aérienne par l'érosion des pneus et des routes par la friction. De cette façon, les voitures sont le principal émetteur des émissions de NOx et l'une des sources les plus importantes de PM (GAM, 2020, p. 185).

Le changement climatique engendre des effets négatifs en matière de pollution aérienne à l'échelle de la plaine grenobloise, avec notamment un amoindrissement des mouvements de l'air pendant les pics de chaleur, conduisant à une plus grande accumulation des polluants en zone urbaine (ibid., p. 5). De plus, il est prévu que la probabilité des feux de forêt augmentera au fur et à mesure que les forêts s'assèchent progressivement, à cause du réchauffement planétaire, dans les décennies à venir (Pui Kuen Amos, 2012, pp. 100). Ainsi on estime que la quantité de PM émise dans les régions à forte couverture forestière accroîtra dans l'avenir (ibid.). Comme le territoire de la Métropole grenobloise est composé, à hauteur de 57%, de forêts (GAM, 2022, p. 6), il s'agit bien d'une donnée à retenir dans cette étude.

Afin de répondre aux besoins d'un territoire à la vulnérabilité et à la probabilité de l'occurrence des aléas en hausse, cette étude propose de s'appuyer sur la végétation pour réduire l'exposition des habitants à la pollution de l'air. Selon Diener et Mudu (2021), la végétation, et spécifiquement les arbres, sont capables d'agir comme un bouclier contre les PM, à travers trois fonctions naturelles qui lui sont inhérentes :

- la dispersion, ou une altération de la vitesse et/ou trajectoire des PM,
- la déposition, ou le fait d'attraper des PM sur la surface des plantes, notamment sur les feuilles, ce qui les retire de l'atmosphère, et
- la modification, ou les PM sont soit absorbées par les plantes, soit partiellement décomposées.

Également dans Diener et Mudu, on conclut que ces processus ont l'effet cumulatif de réduire jusqu'à 50% la quantité de PM présente dans l'atmosphère, à une échelle locale (2021, p. 14). De plus, on a même trouvé que les arbres, lorsque ceux-ci sont bien disposés dans l'espace, peuvent être plus efficaces pour réduire la pollution aérienne que des murs en béton d'une taille comparable (ibid.).

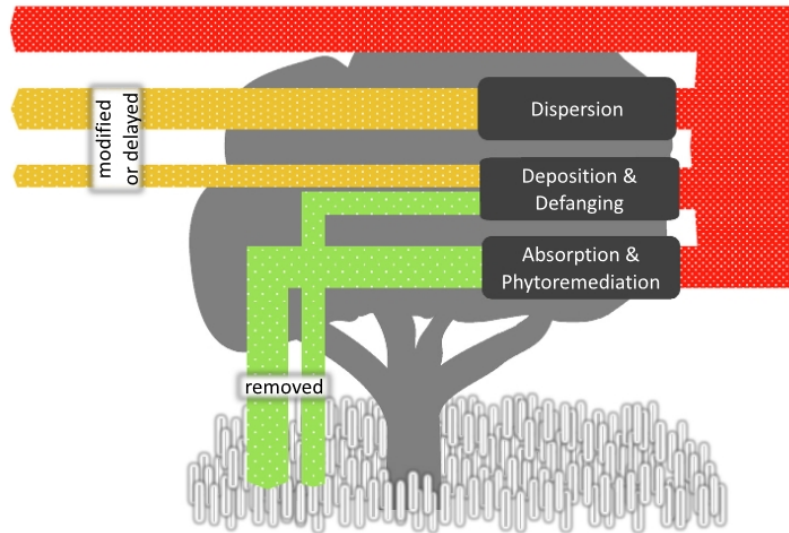


Figure 5 : Schéma montrant les trois façons principales dont les arbres aident à réduire la pollution de l'air

Source : Diener et Mudu, 2021, p. 12

Cela dit, il est à noter que le Cerema (un établissement public chargé d'accompagner l'État et les collectivités pour la création et le suivi de leurs politiques publiques d'aménagement) ne préconise pas une politique en matière de gestion de la pollution aérienne en ville qui s'appuie uniquement sur l'usage des arbres, mettant l'accent plutôt sur une réduction des pratiques humaines qui sont à l'origine de cette pollution. Il est dans un second temps que l'on préconise de venir en renfort de cet objectif, en favorisant les espèces d'arbres les plus capables de répondre aux enjeux de la pollution aérienne (Cerema, 2022, p. 21).

Cependant, les arbres ne font pas que dépolluer l'air : selon l'espèce, ils émettent naturellement des composés organiques volatils (COV), des gaz qui, lorsqu'ils sont combinés à des particules anthropologiquement créées comme le NOx, contribuent à la création d'ozone, un gaz très nocif pour la santé des personnes (Stewart et al., 2002, p. 3). Selon Churkina et al., les arbres ont été responsables d'entre 11 et 60% des émissions annuelles de COV à Berlin entre 1990 et 2006, les périodes de canicule éprouvées à Berlin étant à l'origine des extrêmes de cette fourchette (2017, p. 6128). De fait, on peut dire que les niveaux de COV émis par les arbres augmente plus il fait chaud, avec comme conséquence un accroissement de la production d'ozone (United States EPA, 2022).

En outre, le GIEC estime que le phénomène de la canicule et la chaleur excessive en ville deviendront de plus en plus fréquentes dans toutes les régions habitées du monde d'ici 2050 (H.-O.

Pörtner et al., 2022, p. 11). Par conséquent, sont prévues non seulement une hausse des émissions des COV par les arbres, mais aussi une croissance de la période et de l'intensité de la pollinisation de la végétation, dont notamment les arbres, y compris à l'échelle de Grenoble-Alpes Métropole. Cette croissance a le potentiel d'augmenter l'exposition des habitants du territoire, y compris les plus vulnérables, aux allergènes dans l'air (GAM, 2020, p. 25). Face à un manque d'évidence scientifique quant aux réponses à apporter aux allergènes des arbres en milieu urbain, l'approche préconisée est de diversifier autant que possible la population d'arbres sélectionnée à planter, tout en favorisant les arbres au potentiel allergisant relativement faible (Sousa-Silva et al., 2021, p. 10).

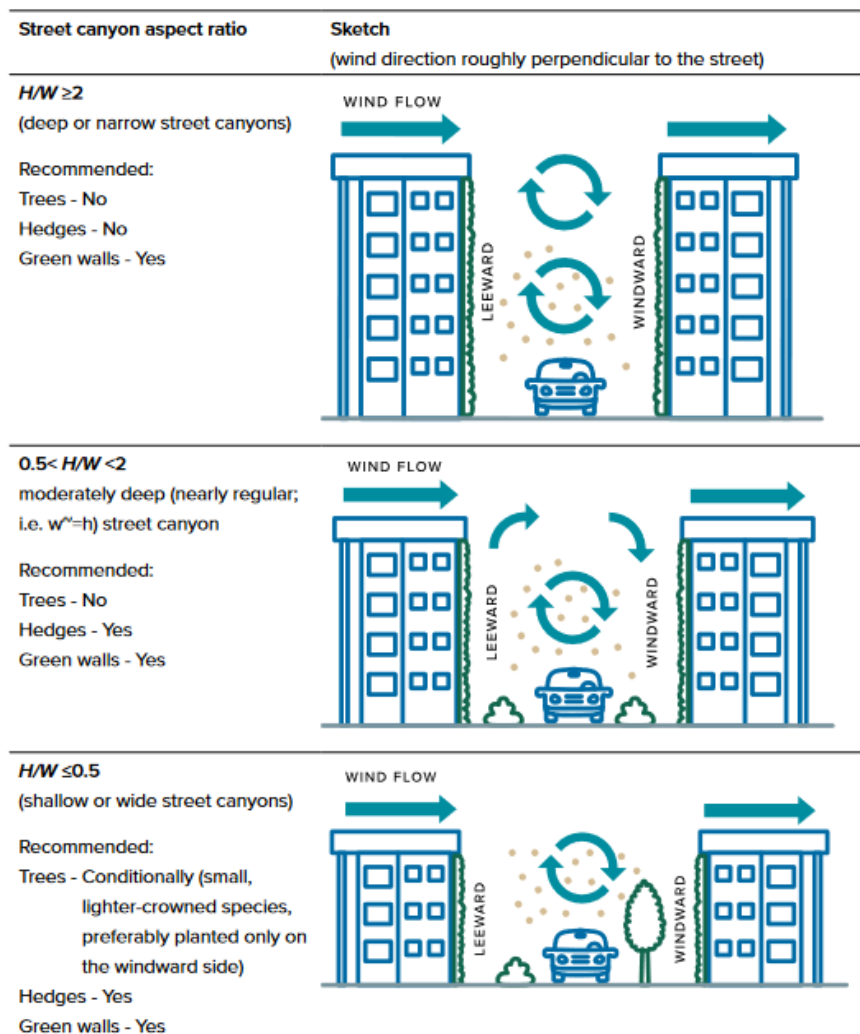
Dans le but de synthétiser les besoins du territoire envers les arbres identifiés ci-dessus, notamment la réduction des particules fines et la minimisation des émissions d'allergènes et de COV en milieu urbain, plusieurs chercheurs ont déjà tenté d'apporter des réponses, en proposant des espèces d'arbres parmi les plus efficaces sur ces points. En particulier, on préconise des arbres aux feuilles denses et à la superficie importante, qui n'émettent peu de COV et de pollen, comme les pinacées et d'autres arbres aux feuilles adaptées à la capture des PM, tels le merisier, l'érable ou l'if, pour n'en citer que quelques exemples.

Selon Kumar et al., ces familles d'espèces sont très efficaces dans ce domaine, sans être d'importantes sources d'allergisants ni de COV (2019, p. 5 ; Réseau national de surveillance aérobiologique, 2023). Toutefois, Yang et al. cautionne qu'il faut prendre en compte les spécificités du milieu local de la zone de plantation des arbres, les conditions climatiques ayant un fort impact sur la capacité de survie des nouveaux arbres. On précise également que ces nouveaux arbres peuvent enclencher des effets négatifs envers les écosystèmes du milieu dans lequel ils sont plantés (Yang et al., 2015, p. 270).

En outre, certains chercheurs ont conseillé une prise en compte de la morphologie et des typologies d'un espace, pour répondre à ses besoins en matière de réduction de la pollution aérienne. Un principe phare de cette approche appliqué par la littérature scientifique s'appelle le ratio d'aspect, qui, pour ce qui est de son application dans l'urbanisme, divise la hauteur des bâtiments entourant une rue par la largeur de celle-ci (Kumar et al., 2019, p. 6). Pour les rues dont le ratio d'aspect est d'au moins 0,5 (le bâti étant donc deux fois moins haut que la rue n'est large), on considère qu'elles sont dotées de profil en canyon (ibid.).

Ceci peut altérer le mouvement des courants d'air dans l'espace, réduisant l'efficacité par laquelle les polluants produits localement sont dispersés dans l'atmosphère, appelé l'effet de canyon urbain (Kelly, 2016, p. 63). Il a été constaté que la plantation d'arbres dans des rues étroites peut accentuer l'effet de canyon urbain déjà éprouvé dans un espace, empêchant ainsi la fuite des PM, du NOx et d'autres polluants du milieu local (Yang et al., 2015, p. 267).

Étant donné cette dernière étude et l'incidence de la morphologie urbaine sur la qualité de l'air, plusieurs études recommandent une stratégie de plantation des arbres en milieu urbain qui tienne compte des impacts de leur disposition sur la dispersion des polluants. Notamment, selon Kumar et al., la réponse à apporter aux lieux en proie à l'effet du canyon urbain est d'adapter la hauteur et densité de la végétation au ratio d'aspect du lieu en question. Pour ce qui est des rues très étroites



(au ratio d'aspect de plus de 2), seulement les murs végétalisés sont préconisés, tandis que des buissons et arbres de faible hauteur sont recommandés en cas de routes au ratio d'aspect plus faible (2019, p. 7).

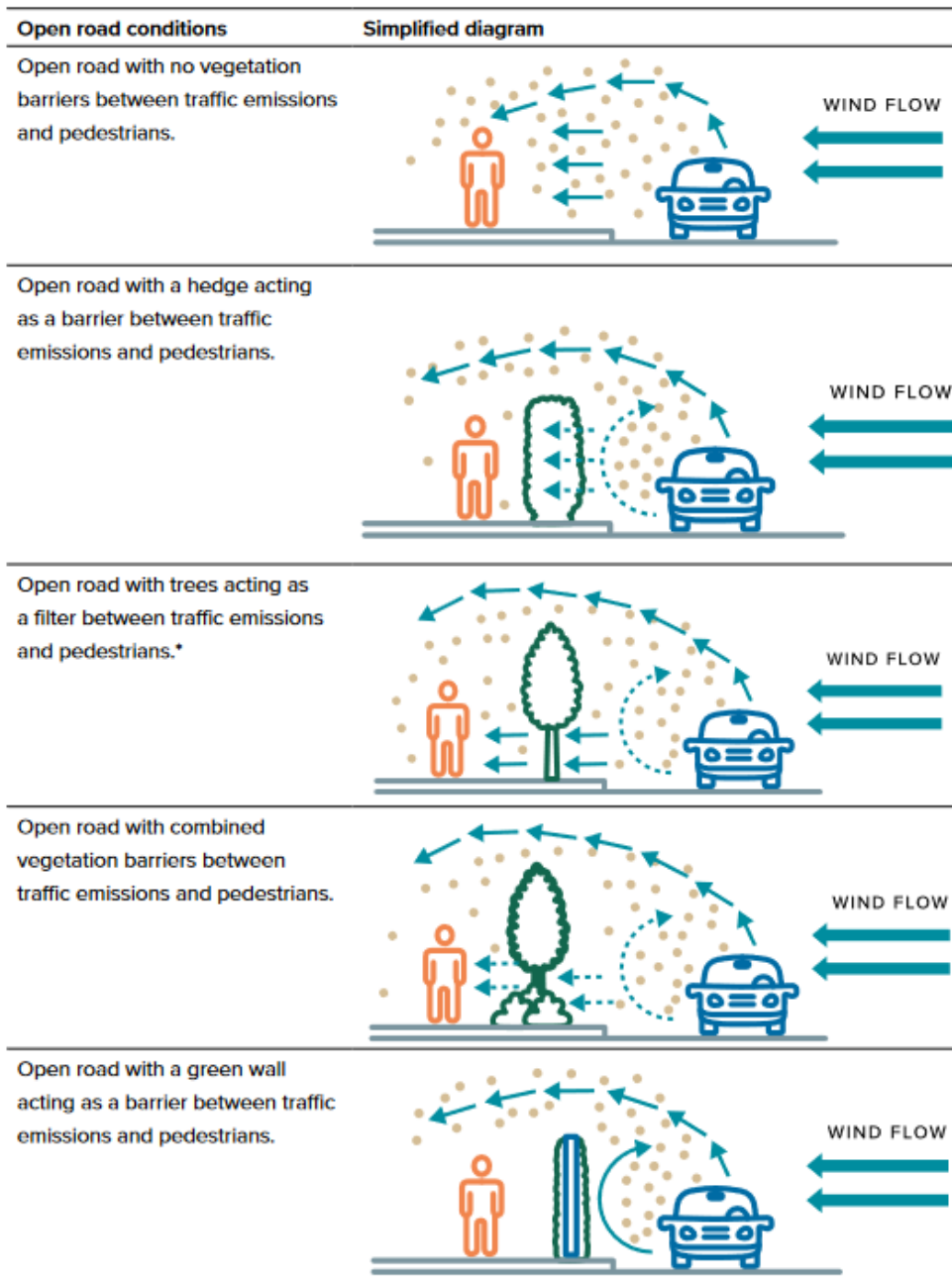
Lorsqu'il s'agit de lieux sans effet de canyon urbain, les buissons hauts, murs végétalisés et arbres combinés aux buissons courts sont considérés comme les formes de végétalisation les plus efficaces, pour profiter au mieux des effets de dispersion, de modification

et de déposition des PM fournis par la végétation (ibid., p. 8). Donc, il est indispensable de prendre en compte la contribution des arbres en ville - tantôt positive tantôt négative - à la pollution de l'air

que l'on respire, afin de permettre aux professionnels de l'aménagement d'intégrer les arbres au milieu bâti en toute connaissance de cause.

Figures 6 (ci-dessus) et 7 (ci-bas) : Schéma illustrant les apports de la végétation pour minimiser la pollution aérienne, selon le ratio d'aspect, et schéma du déplacement de la pollution aérienne routière selon différents types de dispositifs végétaux

Source : Kumar et al., 2019, p. 8 ; Kumar et al., 2019, p. 9



*Under some conditions, due to a windbreak effect, pollutants can stagnate behind a sparse row of trees, leading to deteriorated downwind air quality (Abhijith and Kumar, 2019).

De plus, au regard de la vulnérabilité de la population habitant Grandalpe aux effets du changement climatique sur la santé, étant relativement plus précaire et parfois plus âgée que les habitants

d'autres zones avoisinantes (voir *Forme urbaine, risques et démographie*), il s'agit de s'appuyer sur tous les outils possibles pour favoriser la santé de ces personnes. Dans cet objectif, la végétation peut jouer bien un autre rôle dans la promotion de la santé et du bien-être des usagers de l'espace public que la réduction des polluants de l'air : elle est également considérée comme une source de bien-être mental, pour les personnes qui y passent régulièrement du temps (McDonald et al., 2023, p. 5). Dans une étude publiée en 2016, on trouve qu'une exposition régulière et à long terme à la verdure, dans un rayon de 250m autour de sa résidence, est fortement corrélée à une réduction du taux moyen de mortalité, qui baisse de 12% par rapport aux personnes ayant une moindre exposition à la verdure (James et al., p. 1349). Ce résultat est d'autant plus parlant qu'il prend en compte les différences socio-économiques, ethniques et géographiques des personnes et de leur lieu de résidence en obtenant cette baisse, qui est attribuée notamment à une amélioration de la santé mentale et à une meilleure capacité de sociabilité des personnes (ibid.).

Ainsi, il est recommandé d'appliquer une sorte de 'dosage' de la verdure, en prenant en compte trois facteurs déterminants à son efficacité : l'intensité, la fréquence et la durée de la 'dose' de verdure (Shanahan et al., 2015, p. 478). Même si la nature exacte de la relation entre la santé mentale et physique et une proximité à la verdure n'a pas été entièrement cernée encore, il est avéré que plus la dose de verdure est importante, plus il y a des effets positifs pour la santé des personnes (ibid.). Selon McDonald et al., la manière optimale pour obtenir ces bénéfices à l'échelle d'une ville serait de mettre en place un nombre important de 'poches' d'espaces verts, de façon à maximiser l'exposition des personnes à la verdure dans un rayon de moins de 250m (2023, p. 11).

Pour résumer :

- Les arbres ont un impact significatif sur la qualité de l'air : un impact positif concernant les PM, et négatif quant aux COV et pollens
- Le choix d'espèces est essentiel pour déterminer l'impact des arbres sur la qualité de l'air
- La santé et le bien-être des personnes sont très positivement associés à la présence régulière et visible de la végétation dans l'espace public

Surchauffe urbaine (ICU et inconfort thermique) :

La surchauffe urbaine est définie par l'Ademe (un établissement public avec pour but de favoriser la transition écologique) comme "un phénomène propre aux milieux urbains qui s'exprime de jour comme de nuit et à toutes les échelles : de la ville jusqu'à l'individu" (2021, p. 8). Il s'agit d'un enjeu à prendre très au sérieux, étant donné ses impacts très néfastes pour la santé et le bien-être des citoyens. Ce phénomène est même cité comme un contributeur majeur au pic de la mortalité lors des grandes canicules, comme celle de Paris en 2003, où 3 306 décès ont été attribués aux effets d'un excès de chaleur (Vallette et Cordeau, 2011, p. 24). Par ailleurs, selon un acteur travaillant à Grenoble-Alpes Métropole, la surchauffe urbaine peut induire des impacts néfastes sur la santé mentale des personnes les plus vulnérables, en limitant la capacité des habitants à se servir des espaces publics le jour pour se réunir et se croiser.

La surchauffe urbaine est un phénomène dont la prévalence et la fréquence sont estimées à s'aggraver dans les années à venir, à cause du réchauffement planétaire induit par le changement climatique (Leroy et al., 2021, p. 6 ; voir page ... de cette étude pour plus de détails). Étant donné cette situation de risque croissant de surchauffe en ville, un tel phénomène doit être pris en compte comme un élément clef dans l'adaptation du territoire face aux effets du changement climatique. Concrètement, la surchauffe urbaine est un terme qui se divise en deux catégories, correspondant aux différentes causes et impacts de la chaleur en ville, la nuit et le jour. Ce sont : les îlots de chaleur urbains (ICU) et l'inconfort thermique.

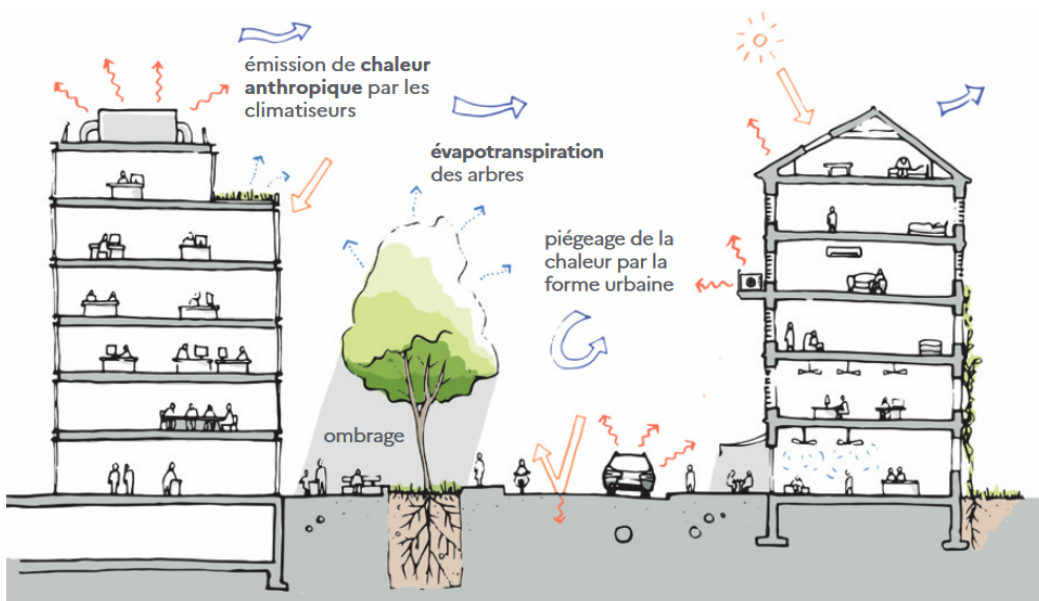


Figure 8 : Les phénomènes ayant un impact sur la chaleur en ville le jour
Source : Leroy et al., 2021, p. 10

Selon l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme d'Île-de-France, les ICU se caractérisent par "l'observation de températures plus élevées dans une zone urbaine que dans son environnement immédiat" (Vallette et Cordeau, 2011, p. 13). En outre, les ICU sont un phénomène qui est observé uniquement la nuit, étant le produit de l'accumulation de la chaleur absorbée en journée. Ils apparaissent par la convergence de matériaux et de formes bâties propices à l'absorption et à la réflexion des rayonnements solaires, par l'absence de végétation en milieu urbain, ainsi que par les sources anthropiques de la chaleur en ville, comme les transports, l'industrie ou la climatisation (ibid.).

La combinaison de ces matériaux très absorbants d'énergie solaire et les sources locales de chaleur font que la zone en question continue d'irradier de la chaleur même après le coucher du soleil (Leroy et al., 2021, p. 11). De plus, les ICU peuvent varier en termes d'échelle, allant d'un simple quartier particulièrement exposé à l'accumulation de la chaleur, jusqu'à toute une agglomération urbaine. Enfin, ce phénomène peut, par le truchement du réchauffement de l'air dans le processus de la convection, conduire à la formation d'un dôme d'air chaud qui entoure la zone source de la chaleur, réduisant ainsi la ventilation naturelle du secteur par le mouvement des courants d'air (Vallette et Cordeau, 2011, p. 9).

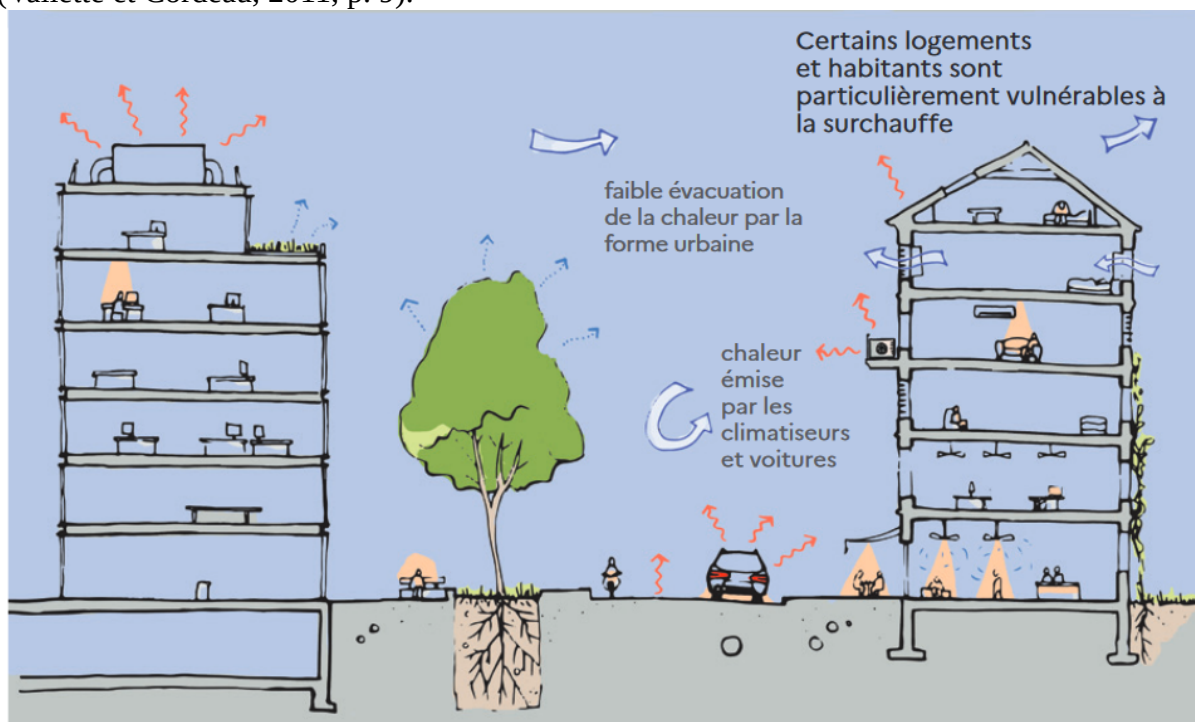


Figure 9 : Les phénomènes ayant un impact sur la chaleur en ville la nuit

Source : Leroy et al., 2021, p. 11

Par ailleurs, l'inconfort thermique est décrit par l'Ademe comme l'effet convergeant dans l'espace public des éléments qui exposent les usagers à la pleine force de la chaleur des jours estivaux, comme le manque d'ombre et de ventilation, ou la présence de surfaces minérales qui absorbent et laissent irradier la chaleur (Leroy et al., 2021, p. 8). De plus, à la grande différence des ICU, l'inconfort thermique se produit surtout à l'échelle de l'individu et non pas au niveau du quartier ou de la ville. Ainsi, il existe plusieurs variables touchant l'individu à son niveau, tels que l'humidité de l'air, la vitesse du vent, le rayonnement du soleil, ainsi que les vêtements, le métabolisme et l'activité physique des personnes touchées, qui se manifestent ensemble pour produire cette sensation d'inconfort (ibid.). Ainsi, dans cette étude l'inconfort thermique sera décrit comme un phénomène touchant les personnes surtout dans l'espace public le jour, déterminé à l'échelle de l'individu, tandis que les ICU s'opèrent la nuit à l'échelle du quartier, voire de toute la ville.

Comme sera illustré dans *Forme urbaine, risques et démographie*, il est évident que les personnes habitant le secteur Grandalpe, comportant à la fois une population au nombre de personnes âgées généralement plus élevé, et au niveau des revenus largement plus bas que dans les quartiers avoisinants, que dans les quartiers centraux de Grenoble, sont plus vulnérables aux aléas engendrés par le changement climatique (pour la vulnérabilité et les aléas, voir *Description de la méthodologie employée*). De plus, il sera démontré que ce secteur est très contrasté en termes de présence actuelle des ICU, comportant des zones fortement impactées alors même qu'existent de grands espaces végétalisés dans le secteur. Donc, la surchauffe urbaine doit impérativement être priorisée dans toute réponse aux effets du changement climatique à Grandalpe, car ce territoire demeure bien vulnérable, à l'échelle de sa population et de sa morphologie urbaine.

Les ICU et l'inconfort thermique, de par leurs différentes échelles, nécessitent souvent différentes approches pour y répondre efficacement. Or, cette étude a identifié trois thèmes qui permettent de réduire l'exposition générale des personnes à la surchauffe urbaine dans son ensemble. D'abord, plusieurs études ont démontré que la présence d'arbres dans l'espace public, tout en réduisant la présence de certains polluants aériens, a un effet de rafraîchissement, à l'échelle à la fois du piéton et à une zone plus étendue, allant jusqu'à toute la ville (Leroy et al., 2021, p. 30). Cet impact se produit grâce à deux phénomènes, qui permettent de diminuer de façon significative l'exposition des habitants à la surchauffe urbaine : l'ombrage, fourni directement par la canopée arborée, et l'évapotranspiration.

La canopée arborée, définie par GAM comme la couverture fournie par les arbres (2022, p. 6), absorbe et reflète une partie de l'énergie solaire qui se projette sur la terre le jour. Ceci aboutit à la création de l'ombrage, réduisant ainsi l'exposition des usagers de l'espace public à l'inconfort thermique. Ce même ombrage réduit l'absorption de la chaleur par d'autres surfaces, souvent moins à même de refléter les rayonnements solaires que le feuillage des arbres, ce qui fait que la canopée arborée contribue également à la réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain, une fois la nuit tombée (Valette et Cordeau, 2011, p. 32).

De plus, selon l'Office national des forêts, l'évapotranspiration désigne "le processus par lequel l'eau liquide terrestre est renvoyée dans l'atmosphère environnant sous forme gazeuse" (2023). Ce phénomène a comme sources l'évaporation de l'eau libre ou dans les sols, la sublimation de la neige, et la transpiration des plantes, dont notamment celle des arbres. Il a été démontré que cette transpiration de la vapeur d'eau qui refroidit l'air immédiatement autour de l'arbre a un impact positif sur l'inconfort thermique des personnes (Bowler, 2010, p. 154).

Cela dit, il faut noter aussi que l'évapotranspiration peut, dans des scénarios précis, engendrer une aggravation de l'inconfort thermique des personnes, à travers l'effet combiné d'une augmentation de l'humidité ambiante locale et l'obstacle à la circulation d'air issu de la présence d'arbres (Leroy et al., 2021, p. 31). Ainsi, les effets combinés de l'ombrage et de l'évapotranspiration peuvent aller jusqu'à une réduction de 3°C, pour ce qui est des alignements d'arbres (op. cit.). De plus, à l'échelle de la ville, de Munck a estimé que pendant la canicule de Paris de 2003, une plantation de 75% des espaces disponibles au sol aurait permis une réduction des températures d'environ 2,5°C, avec un impact plus fort encore ressenti la nuit (2013, p. 104).

Par ailleurs, il est à noter que, tout comme pour l'absorption de la pollution aérienne, l'efficacité des arbres pour réduire l'exposition des personnes à la surchauffe urbaine dépend en large part de l'espèce qui est choisie et du lieu de plantation des arbres. C'est notamment le cas de l'évapotranspiration, certaines essences s'étant justement développées pour minimiser la quantité d'eau qu'elles émettent dans l'atmosphère par ce phénomène, ce qui les rend plus résistantes à la sécheresse (Leroy et al., 2021, p. 30). En outre, le couvert arboré peut limiter la fuite de la chaleur émise par les surfaces la nuit s'il est trop dense par rapport au lieu où elle est située (op. cit., p. 31). Cela étant dit, pour ce qui est de la surchauffe urbaine, il a été décidé pour deux raisons principales que cette étude se concentrerait plus sur la canopée arborée que sur les essences d'arbres ou leur plantation.

D'abord, des études démontrent qu'il existe une corrélation positive directe entre le taux d'évapotranspiration et la croissance des arbres, et ainsi la taille de leur canopée (Kelly, 2016, p. 63). Ceci suppose, donc, que plus la taille de la canopée arborée est importante, plus il y aura d'effet d'évapotranspiration, quelle que soit l'espèce d'arbre. De plus, l'ombrage est considéré comme étant la source la plus importante de l'effet rafraîchissant des arbres, ce qui est en lien direct avec le taux de canopée, défini par GAM comme un indicateur qui traduit la surface au sol ombragée créée par les arbres (2022, p. 7), dans l'espace public (Leroy et al., 2021, p. 30). Enfin, les préconisations en matière de choix du lieu de plantation des arbres, selon le ratio d'aspect, comme évoquées dans la partie précédente, sont importantes à prendre en compte.

Pour ce qui est de l'intégration de l'eau dans l'espace public, l'eau a un effet rafraîchissant de par le processus d'évaporation, ou le changement d'état d'une liquide à l'état gazeux. Au cours de ce processus, l'eau consomme une partie de l'énergie se trouvant dans son environnement immédiat, ce qui provoque un refroidissement de l'air (Valette et Cordeau, 2011, p. 30). Il convient de distinguer entre les deux types distincts d'installations d'eau : les rivières et plans d'eau d'une part, et les fontaines et jets d'eau d'autre part.

Dans les deux cas, l'eau joue un rôle important de 'refroidisseur climatique' surtout le jour et à l'échelle du piéton. Ses effets sur les ICU n'ont été retenus qu'en présence des très grands cours d'eau (Leroy et al., 2021, p. 38). Les installations d'eau peuvent même renforcer les effets de la surchauffe urbaine : une masse d'eau aux températures plus élevées que dans son environnement immédiat, ce qui peut arriver plus souvent la nuit ou en automne, provoque une aggravation de l'inconfort thermique (ibid.).

Cela dit, l'impact positif constaté sur l'inconfort thermique, le reste de l'année, arrive à pallier ces inconvénients. Selon Murakawa et. al. (1991), une diminution maximale de la température au dessus d'une rivière locale de 5°C a été observée à Hiroshima, au Japon, pendant les jours les plus chauds de l'année. L'effet rafraîchissant de ce cours d'eau a été ressenti jusqu'à 100 mètres des berges de la rivière. Par ailleurs, il a été déterminé dans Santamouris et. al. (2017) que les installations de type fontaine, bassin d'eau, ou brumisation peuvent réduire la température locale de l'air de 1 à 4°C.

Or, il est nécessaire de rendre compte de la différence entre les rivières et plans d'eau, et les fontaines et jets d'eau dans l'espace public, qui se distinguent de plusieurs façons. D'abord,

s'agissant de leur empreinte écologique, ces derniers sont de forts émetteurs de carbone, étant des installations techniques nécessitant un système de gestion de l'eau et souvent un aménagement en béton (Leroy et al., 2021, p. 46). Quant aux plans d'eau et rivières, même lorsque ceux-ci sont mis en place de façon artificielle, en moyenne, ce type d'aménagement arrive à compenser l'empreinte carbone induite par son installation, à travers le stockage du carbone de la végétation du lieu et de l'eau (op. cit., p. 39).

En outre, les fontaines et jets d'eau, étant des installations transposables, peuvent être intégrés dans un espace public aménagé avec une relative facilité. Ceci marque une grande différence des éléments paysagers mentionnés précédemment, qui sont d'une échelle trop importante pour s'intégrer dans un espace urbain déjà envisagé, comme une place ou un espace vert de taille restreinte. Ainsi, étant donné l'échelle et les typologies de la zone considérée dans cette étude, à peu d'exceptions près, l'intégration de l'eau dans l'espace public, en tant qu'outil de lutte contre la surchauffe urbaine, et notamment l'inconfort thermique, ne pourra être abordée qu'à travers les fontaines et jets d'eau. Et ce même si un tel choix représente une déviation ponctuelle de l'objectif de prioriser les solutions fondées sur la nature dans les critères d'adaptation aux effets du changement climatique.

Concernant l'aménagement des surfaces de l'espace public de façon à minimiser le captage de l'énergie solaire, il a été décidé que seules les surfaces au sol, et non pas les façades des bâtiments, seraient prises en compte dans cette analyse. Ce choix a été fait en toute connaissance de l'incidence qu'ont les surfaces du bâti sur la surchauffe urbaine. Toutefois, il a été constaté que traiter un tel sujet aurait représenté un éloignement du terrain d'étude principal qu'est l'espace public, au profit d'une analyse du bâti. Afin de comprendre le rôle des surfaces dans la surchauffe urbaine, il faut retenir deux notions propres aux matériaux, ainsi que leur manière d'interagir : l'inertie thermique et l'albédo.

L'inertie thermique se définit comme "la capacité d'un matériau à accumuler puis à restituer un flux thermique" (Valette et Cordeau, 2011, p. 13). Les matériaux inertes (qui nécessitent un temps d'absorption et de restitution de la chaleur long) ont besoin d'un flux thermique important pour se chauffer, mais contribuent notamment à l'effet d'ICU en mettant tout autant de temps pour se refroidir après, souvent pendant la nuit. Cette caractéristique est à distinguer de la notion de l'albédo, défini comme 'le rapport entre l'énergie solaire réfléchi et l'énergie solaire reçue' (ibid., p. 14). L'albédo s'exprime en un chiffre entre 0 et 1, où 1 représente un taux d'absorption de 100 % de

l'énergie solaire par le matériau. Ainsi, on peut dire que l'inertie thermique est en bonne partie déterminée par le niveau de l'albédo, l'accumulation et restitution de l'énergie solaire ayant lieu en aval et en conséquence du degré d'absorption (albédo) de celle-ci par un matériau.

Une solution qui est proposée face au captage de l'énergie solaire par les surfaces, c'est l'usage des revêtements à l'albédo élevé, considéré dans certaines études comme supérieur à 0,4 (Leroy et al., 2021, p. 55). En limitant l'absorption de l'énergie solaire par les matériaux des surfaces, ces revêtements produisent un effet de refroidissement à l'échelle surtout du bâti. Or, le bilan est plus mitigé au niveau de l'espace public, où des effets négatifs sur le piéton sont constatés, par le biais du renvoi du rayonnement des surfaces sur les usagers (ibid.).

Toutefois, des études scientifiques ont permis d'appréhender les bénéfices des revêtements à l'albédo élevé sur la température de l'air, un effet de rafraîchissement de -4°C en journée ayant été identifié à Athènes, suite au remplacement d'un revêtement foncé en asphalte (albédo 0,04) par un revêtement blanc (albédo 0,55) (Synnefa et al., 2011). Ainsi, il existe des côtés positifs et négatifs pour l'inconfort thermique des personnes d'un tel aménagement. Quant à l'effet des revêtements à l'albédo élevé sur les îlots de chaleur urbains, son impact peut être très important, mais surtout dans les espaces publics exposés à un ensoleillement régulier en journée, car l'effet de l'albédo prend davantage d'ampleur plus il y a une exposition aux rayonnements solaires (Leroy et al., 2021, p. 56).

Par ailleurs, l'évidence scientifique indique qu'une approche différente, celle des revêtements drainants avec l'intégration d'un dispositif de rétention de l'eau, peut être plus performante que les revêtements à l'albédo élevé, dans la lutte contre l'inconfort thermique. Un exemple de ce système, qui s'appuie sur l'effet capillaire pour attirer l'humidité réservée en dessous du revêtement vers l'air libre, pour ensuite s'évaporer en entrant en contact avec l'air chaud, a permis une réduction de la température des surfaces mesurées en journée d'entre -19 et -25°C à Toulouse et au Japon (Ishizuka et al., 2006). Or, si l'impact des revêtements drainants sur l'inconfort thermique est constaté, ce n'est pas le cas encore pour les ICU, à la grande différence des surfaces enherbées. Celles-ci peuvent permettre une réduction notable de l'effet d'îlot de chaleur urbain, selon le niveau d'ensoleillement de la zone, car la végétation ne restitue pas de chaleur accumulée en journée la nuit.

L'impact des surfaces végétalisées sur l'inconfort thermique est plus nuancé, les seuls effets étant constatés à l'échelle du piéton en rentrant en contact physique avec la surface (Leroy et al., 2021, p. 33). Enfin, dans l'étude d'Amani-Beli et al. (2018), il est observé que l'irrigation donne à la pelouse

une capacité de rafraîchissement de 1,2°C, contre un effet de 0,15°C sans irrigation. Ainsi, l'aménagement des surfaces de l'espace public peut être une manière efficace de lutter contre la surchauffe urbaine, d'autant plus en ciblant les espaces les plus ensoleillés, et à travers l'emploi d'une combinaison des différents types de revêtements, en fonction des caractéristiques et des besoins de l'espace en question.

Pour résumer :

- Pour lutter contre la surchauffe urbaine, il faut des solutions qui répondent à l'effet des ICU et à l'inconfort thermique
- Une de ces solutions consiste à augmenter la canopée arborée, pour bénéficier de l'ombrage et de l'effet d'évapotranspiration fournis par les arbres
- L'effet rafraîchissant de l'eau en surface peut aussi limiter la surchauffe urbaine
- Enfin, maintenir l'albédo des surfaces au-dessus de 0,40 permettra de lutter contre la surchauffe urbaine, selon le niveau d'ensoleillement de la surface en question

Biodiversité et écosystèmes :

Cette étude s'appuie sur l'Office français de la biodiversité et sur le dictionnaire Larousse pour définir la biodiversité et les écosystèmes (2023). Ainsi, la biodiversité sera considérée comme "l'ensemble des êtres vivants ainsi que les écosystèmes dans lesquels ils vivent", tandis que l'écosystème désigne un "système formé par un environnement (biotope) et par l'ensemble des espèces (biocénose) qui y vivent, s'y nourrissent et s'y reproduisent". Dans plusieurs modèles, on prévoit que le réchauffement planétaire induira des effets très néfastes à la fois pour la biodiversité et les écosystèmes, allant jusqu'à prévoir une sixième extinction de masse à l'échelle planétaire, pour les prévisions les plus pessimistes (Bellard et al., 2012, p. 365).

De plus, il est estimé que le changement climatique pourrait même finir par supplanter la destruction de l'habitat pour devenir la menace la plus importante pour la biodiversité au cours des prochaines décennies (ibid.). Dans la région grenobloise, on considère que le changement climatique aura un impact direct sur une proportion importante des espèces vivant sur le territoire. Notamment, on prévoit, parmi d'autres effets, une diminution du nombre des peuplements de sapins et d'épicéas sur le territoire, la modification des dates migratoires des oiseaux locaux et la dégradation des habitats de poissons (GAM, 2020, p. 49).

Or, selon le rapport du GIEC (2022), il existe une interdépendance claire et nette entre la vulnérabilité aux risques des écosystèmes et celle des êtres humains (p. 12), ce qui fait que la dégradation des écosystèmes aboutira de façon presque automatique à une augmentation de la vulnérabilité des habitants du territoire. Parallèlement, le GIEC estime qu'une perte en biodiversité de la planète finira inévitablement par réduire la capacité d'adaptation au changement climatique de tous les êtres humains (ibid.). Une telle relation entre la biodiversité, la vulnérabilité et la capacité d'adaptation des personnes s'explique en grande partie par l'apport des services écosystémiques, qui sont définis comme les avantages dans tous les domaines que fournit la nature à la société (FAO, 2023).

En mettant l'accent sur les solutions fondées sur la nature dans les critères d'analyse proposés, cette étude s'appuie sur les services écosystémiques. Ainsi, face à la vulnérabilité accrue de la biodiversité et des écosystèmes au réchauffement planétaire, aussi bien à l'échelle mondiale que de la région grenobloise, et en vue de leur importance pour la réussite de l'espèce humaine, des

réponses en faveur de l'adaptation des espèces autres qu'humaine aux effets du changement climatique sont urgemment nécessaires.

Dans les espaces urbanisés, trois réponses aux aléas du changement climatique ont été identifiées comme pouvant réduire la vulnérabilité climatique, à une échelle locale, des écosystèmes et des plusieurs espèces vivant sur le territoire : la promotion de la pleine terre et de la continuité des sols, de la trame verte, et le choix des espèces d'arbre capables de résister à l'augmentation des températures. S'agissant de la première réponse, Vigneront propose de définir la pleine terre comme "un sol urbain en capacité d'exercer tout ou partie des fonctions associées à un sol naturel" (2022, p. 5). Cette définition considère qu'un sol urbain peut exercer ces fonctions à partir du moment où : il a une épaisseur d'au moins 1 mètre, et il existe une continuité entre le sol et le sous-sol (ibid., p. 6). Un tel sol est ainsi capable de remplir au moins une partie des huit fonctions que Leroy et al. attribue au sol naturel, comme notamment le rôle d'habitat pour les organismes et la végétation, et la rétention et l'infiltration de l'eau (ibid., p. 2).

Ce premier point illustre bien l'importance d'un sol efficace pour la biodiversité, le sol étant l'habitat qui 'abrite la plus grande densité et diversité d'organismes de tous les domaines du biosphère' (Hillel, 2008, p. 163). En outre, en permettant la rétention et l'infiltration de l'eau, le sol en pleine terre joue un rôle incontournable dans le cycle de l'eau : il permet en effet la filtration de l'eau pluviale, ce qui assure le remplissage des nappes phréatiques et des cours d'eaux de surface (ibid., p. 50). Cela dit, les avantages apportés par le sol urbain en pleine terre sont d'autant plus importants lorsqu'il existe une continuité des sols, appelée 'trame brune', en complément des trames vertes et bleues, par certains spécialistes en la matière.

Selon Vigneront, une continuité horizontale des sols entre eux fournit aux champignons et autres micro-organismes dont le sol est l'habitat naturel, la capacité de se déplacer et ainsi d'accomplir leur cycle de vie, tout en rendant à la végétation un sol plus à même d'équilibrer son humidité et plus riche en nutriments (2022, p. 5). Un employé de Grenoble-Alpes Métropole impliqué dans l'écologie urbaine partage ce propos, en ajoutant que la promotion de la continuité des sols permet de faciliter l'épanouissement d'un réseau souterrain d'espèces vivant dans le sol urbain, tout en augmentant la capacité de stockage de l'eau de pluie (entretien 2). Dans l'entretien 1, on a également mis l'accent sur l'importance d'un sol en pleine terre (un 'sol vivant'), qui a une épaisseur et une continuité horizontale importantes, afin de promouvoir la diversité de vie et la croissance de la végétation de surface.

Par ailleurs, la trame verte est fortement liée à ces deux derniers termes, étant défini par la Commission européenne, et dans cette étude, comme 'un réseau planifié de façon stratégique de zones naturelles et semi-naturelles, conçu et géré afin de fournir toute une gamme de service écosystémiques, tout en favorisant la biodiversité' (2023). Une définition aussi large permet d'intégrer plusieurs typologies d'espace vert et de végétation dans sa conception de trame verte, en allant des arbres de rue aux grands espaces verts.

On estime, peut-être sans surprise, que la trame verte améliore de façon significative la biodiversité d'un espace donné par rapport à l'aménagement d'infrastructures grises équivalentes (Filazzola et al., 2019, p. 2131). Or, pour réussir une protection efficace de la biodiversité et des écosystèmes, il faut une prise en compte des besoins des espèces cibles (Weisser et Hauck, 2019, p. 5). Ainsi, McDonald et al. propose la mise en place d'une trame verte qui met l'accent sur la création de corridors entre les lieux denses d'habitat, tout en favorisant, en dehors des corridors, la création d'autant d'espaces végétalisés que possible (2022, p. 4). De cette façon, la création d'une trame verte peut faciliter la survie de la biodiversité et des écosystèmes présents avant l'urbanisation de la zone.

Pour ce qui est du choix d'une population d'arbres capable de résister au changement climatique, il convient d'abord de reconnaître l'importance des arbres pour la biodiversité et des écosystèmes du territoire. Dans une étude publiée en 2018, il a été déterminé que la présence d'arbres dans une série d'espaces verts permet une augmentation de la diversité d'espèces vivant dans une même typologie d'habitat de 50 à 100 % (Prevedello et al., 2018, p. 14). Les arbres sont, par ailleurs, considérés comme des 'structures d'habitat d'une importance critique pour plusieurs espèces de vertébrés, arthropodes et plantes terrestres partout dans le monde' (ibid.).

Face au réchauffement du territoire induit par le changement climatique, les arbres sont plus en proie à des maladies et des parasites auxquelles ils n'étaient pas exposés avant (Kelly, 2016, p. 144). Pour répondre de façon préventive à de tels aléas, Santamour a notamment proposé qu'aucune espèce d'arbres ne représente plus de 5-10 % de la population totale des arbres plantés dans le cadre d'un projet urbain, le but étant que cette proportion soit respectée également à l'échelle de toute l'agglomération (1990, p. 2). Cette règle, amplement mise en pratique par les experts de l'arbre en milieu urbain, comme une manière simple de minimiser les risques de perte en masse d'arbres (Kelly, 2016, p. 145), devrait figurer dans tout plan en matière de plantation.

En outre, étant donné la disparition déjà constatée de certaines espèces d'arbres à cause du réchauffement du climat local (GAM, 2022, p. 49), il est important de prendre en considération les prévisions quant aux espèces capables de vivre dans la plaine grenobloise dans les décennies à venir. Des études montrent déjà que les arbres répondent aux changements progressifs de température dans leur environnement, en modifiant soit la latitude soit l'élévation des zones où ils s'établissent (Davis et Shaw, 2001, p. 3). Il existe également de nombreuses modélisations de la migration de certaines espèces d'arbre en Europe et en Amérique du Nord (Iverson et McKenzie, 2013, p. 1).

Or, à la date d'écriture de cette étude, le projet ECHOES, une étude de Grenoble-Alpes Métropole et la Société Forestière, visant à identifier les espèces d'arbre à éviter et celles d'avenir pour le territoire grenoblois (GAM, 2022, p. 17), n'a pas encore publié ses résultats. Il est à noter que les recommandations de ce projet, qui met l'accent sur la résilience des arbres face à l'assèchement et réchauffement du territoire, pourraient finir par proposer des espèces peu capables de contribuer à la minimisation de la pollution aérienne en ville, comme un appui d'autres initiatives dans ce domaine (voir le risque *santé et bien-être*).

Il s'agira, donc, de trouver un bon équilibre entre les deux objectifs de résistance des arbres et protection des habitants face aux polluants aériens, lors de la sélection des espèces d'arbres à planter dans le secteur Grandalpe. C'est précisément ce qu'a entrepris le Cerema, à travers la création de leur outil, appelé Sésame, en 2022. Celui-ci a pour vocation de faciliter le choix des essences d'arbre à planter dans les projets urbains, en fonction à la fois de leur résilience face aux effets du changement climatique, et aussi selon l'apport en services écosystémiques de chaque espèce, dont son contribution à la réduction de la pollution aérienne (Cerema, 2022, p. 20). Une telle approche pourrait être mise en place lors de la sélection des espèces à privilégier à Grandalpe.

Pour résumer :

- En promouvant la continuité des sols en pleine terre et la trame verte, on facilite la biodiversité et les écosystèmes urbains et souterrains, tout en garantissant le cycle d'eau
- Il faut s'assurer que les espèces d'arbres plantées dans l'espace public soient suffisamment résilientes pour s'adapter au réchauffement du territoire

Fin de la partie I

Cette première partie a eu pour vocation d'expliquer la méthodologie de la démarche engagée dans cette étude, pour répondre aux questions posées en introduction. Une présentation des notions clefs du sujet a aussi été faite. La partie I visait également à se servir de l'évidence scientifique pour fournir une explication et une justification des neuf critères adoptés par l'étude. Après avoir retracé l'historique urbanistique et administratif du territoire dans lequel se situe le secteur Grandalpe, ces neuf critères sont mis en application, dans la partie II.

Partie II : contexte, analyse et évaluation

La partie suivante est composée d'une présentation de la zone de la plaine grenobloise, aujourd'hui connue sous le nom de Grandalpe, suivie de l'analyse des objectifs de la Feuille de route environnementale Grandalpe à travers les critères d'analyse énoncés dans la partie I de cette étude. Le premier volet de cette partie comprend un tour d'horizon des évolutions historiques du territoire et un bref diagnostic des risques, de la démographie et du contexte administratif local à l'échelle du secteur. Sont également présentés dans cette partie l'historique de la Feuille de route environnementale et son évolution mouvementée. Cette deuxième partie procédera ensuite à l'analyse et à l'évaluation des objectifs de la Feuille de route concernant les espaces publics du secteur, en se servant des neuf critères d'analyse présentés dans la partie précédente.

i. Contexte historique : sud de Grenoble

Les éléments d'histoire urbanistique, politique et administrative suivants ont été écrits surtout à l'aide du livre de Charles Ambrosino, *La Métropole Géographique et ses Urbanismes : Grenoble ou l'art (oublié) d'habiter la plaine* (2022), et des mémoires de fin d'études de Lisa Piris (2020) et de Mathilde Tarlay (2021) de l'Institut d'urbanisme et de géographie alpine de Grenoble.

Développement historique du sud de la plaine grenobloise :

Dès le XVII^e siècle, la partie sud de la plaine de Grenoble, située au sud de la ville historique, au nord-ouest du massif de Belledonne et à l'est du Drac, a toujours fait l'objet de tentatives de maîtriser la zone inondable autour de Grenoble (Ambrosino, 2022, p. 26). Cette volonté s'est matérialisée au premier abord par la construction d'une série de routes allant de Grenoble en direction des villages au sud et sud-est de Grenoble.

Or, il n'est qu'en 1923 que le plan Jaussely envisage une extension du tissu urbain de Grenoble vers le sud, pour préparer la ville à un estimé doublement de sa population, à cette époque de 80 000 habitants. Ce plan de réaménagement, jamais achevé dans son entièreté, des quartiers au sud du centre historique comprend également le repositionnement de la gare de Grenoble plus vers le sud (Ambrosino, 2022, p. 32).

En outre, pendant la période de la reconstruction d'après-guerre, Grenoble témoigne d'une croissance démographique impressionnante, donnant lieu au plan Bernard de 1963. Mis en place par ordre direct de l'État, pour préparer l'accueil à Grenoble des Jeux olympiques de 1968, ce plan prévoit l'aménagement de toute la partie sud du Grenoble d'aujourd'hui. L'un des éléments principaux du plan Bernard ayant demeuré de nos jours est la rocade sud, une partie structurante du secteur Grandalpe (Piris, 2020, p. 48). Dans les années 1960, il s'ensuit une série d'initiatives, dont notamment celle qui a peut-être le plus marqué le secteur Grandalpe : l'aménagement des quartiers de la Villeneuve et puis d'Alpexpo et Grand'place (Piris, 2020, p. 49).

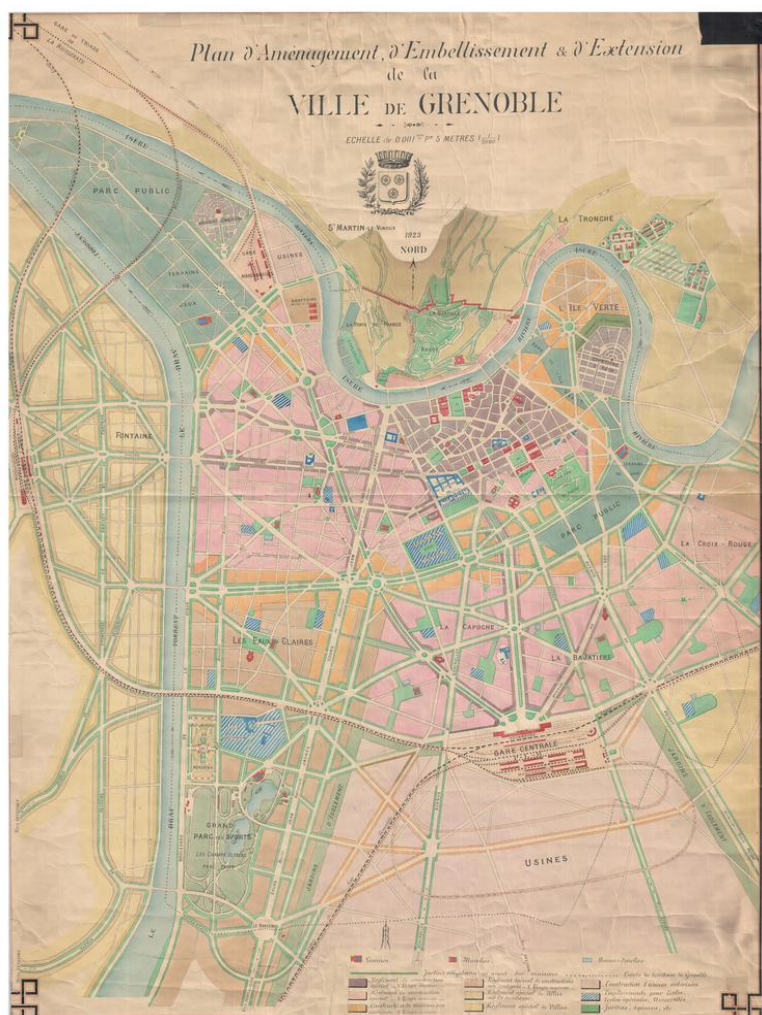


Figure 10 : Plan d'aménagement, d'embellissement et d'extension réalisé par Léon Jaussely (1923)

Source : Ville de Grenoble, 2023, <https://www.grenoble-patrimoine.fr/element/137/585-la-ville-laboratoire-1925-1968.htm>

Les préparatifs administratifs d'une « centralité sud » grenobloise :

En 1967, pour la première fois le secteur Grandalpe est identifié dans le Schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme (SDAU) de Grenoble, comme l'un des trois grands pôles centraux entourant le centre historique de Grenoble (Piris, 2020, p. 49). Il faut attendre le XXI^e siècle pour que de vraies orientations en matière d'aménagement de ce secteur soient définies par les pouvoirs publics, avec la publication du plan guide polarité sud en 2012, puis de la définition d'une « centralité sud » de la nouvellement fondée Grenoble Alpes Métropole en 2015 (Piris, 2020, p. 50). La délibération du conseil métropolitain de GAM du 3 novembre de 2016 valide le périmètre actuel de la zone Grandalpe qui devient, par conséquent, un secteur d'intérêt métropolitain sur les vingt années suivantes, avec officiellement pour nom *Grandalpe* (Tarlay, 2021, p. 49). Concrètement, le statut d'intérêt métropolitain ne confère pas de signification opérationnelle, s'agissant plutôt d'un périmètre de réflexion stratégique dans lequel la Métropole prend en main le portage des projets

d'aménagement de la zone : une compétence autrement exercée au niveau communal (GAM, 2019, p. 9).

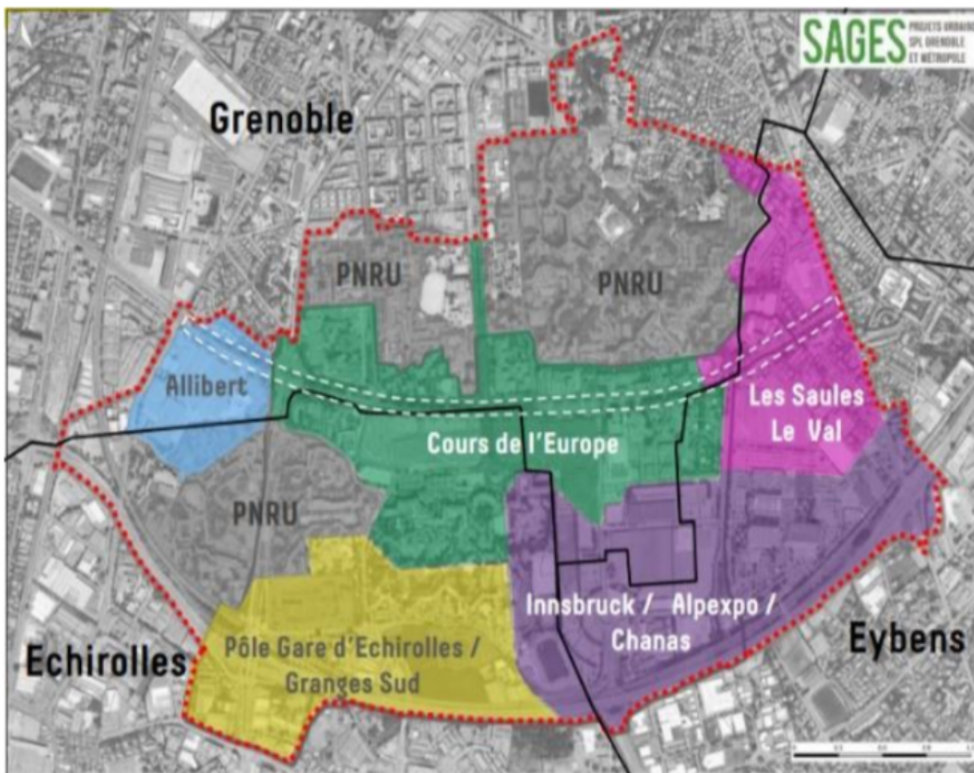


Figure 11 : Les cinq secteurs de Grandalpe créés en 2017, avec les zones PNRU en gris foncé

Source : Tarlay, 2021, p. 49

Il est à noter que ce nouveau périmètre est créé en s'inspirant des orientations de l'OAP Paysage et Biodiversité de GAM, qui décrit l'ensemble de la zone Grandalpe comme appartenant à l'ambiance paysagère « ville-parc » (GAM et AURG, 2019a, p. 102). L'OAP Paysage et Biodiversité explique que l'objectif paysager de la ville-parc est 'la diffusion et mise en réseau de la trame végétale et des espaces ouverts intégrés là-dedans, pour permettre une diversité d'usages' (GAM et AURG, 2019a, p. 106-107). Cette notion doit constituer un élément fondamental derrière toute réflexion stratégique d'aménagement dans le périmètre de Grandalpe.

En 2017, le nouveau comité de pilotage Grandalpe identifie cinq secteurs opérationnels à l'intérieur de Grandalpe, basés sur les OAP sectorielles de la zone (Piris, 2020, p. 56). Sur ces cinq secteurs sont calqués une liste de cinq actions, émise par GAM en 2019, qui permettrait la mise en œuvre de ce que l'on appelle dorénavant un « projet de territoire » (GAM, 2019, p. 1). Ils sont :

- la transformation du secteur Cours de l'Europe à travers l'aménagement d'un parc linéaire, la réinvention de Grand'Place et la requalification de la friche Allibert,
- le développement du secteur de la gare d'Échirolles pour en faire un quartier plus vivable qui soit mieux desservi par les transports en commun,
- le réaménagement d'Alpexpo et la requalification des quartiers avoisinants,
- la promotion des pôles commerciaux de proximité des Saules, de la Butte et de l'Arlequin, et
- la création de franchissements de la rocade sud, pour mieux relier Grandalpe au reste des communes d'Échirolles et d'Eybens (Piris, 2020, p. 51-52).

Ces projets, étant portés par la Métropole, sont le fruit des orientations d'aménagement énoncées dans le Plan Local d'Urbanisme intercommunal (PLUi) de GAM de 2019, et sont tenues d'être conformes, ou du moins cohérentes, avec les règlements de ce même document (entretien 4). Cela dit, l'un des objectifs affichés par les porteurs de Grandalpe est également que le projet soit exemplaire en matière de réponses au changement climatique (GAM, 2019, p. 13). De cette ambition est née la Feuille de route environnementale Grandalpe, permettant de « définir les ambitions environnementales de la transformation urbaine du territoire » (SETIS Groupe Dégaud, 2021, p. 5).

Vers une Feuille de route environnementale Grandalpe :

La Feuille de route environnementale de Grandalpe est rédigée entre 2019 et juillet 2021, date de sa publication, par le bureau d'études SETIS Groupe Dégaud. Elle est créée avec l'intention de fournir un guide en matière d'environnement et des réponses aux effets du changement climatique à chaque projet opérationnel ayant lieu dans le périmètre de Grandalpe. La Feuille de route environnementale est un document composé d'un diagnostic territorial et de 70 objectifs environnementaux, destinée à accompagner le projet Grandalpe « pendant toute la durée des évolutions envisagées sur le territoire » (SETIS Groupe Dégaud, 2021, p. 5).

Cependant, selon une personne interviewée travaillant sur le projet Grandalpe à GAM (entretien 4), ce document n'a pas été validé par le conseil métropolitain en 2021. Concrètement, cela veut dire que la Feuille de route environnementale Grandalpe n'a aucune valeur juridique, et ne peut donc pas

être appliquée opérationnellement. C'est donc le PLUi, comprenant aussi bien les OAP que la réglementation, qui prend le relais quant à l'encadrement environnemental. Étant donné que les objectifs de la Feuille de route sont, sur plusieurs niveaux, plus ambitieux en matière d'environnement que les documents de planification de GAM (entretien 4), la non-validation du document est une situation que la personne interviewée 4 décrit comme « un vrai problème ».

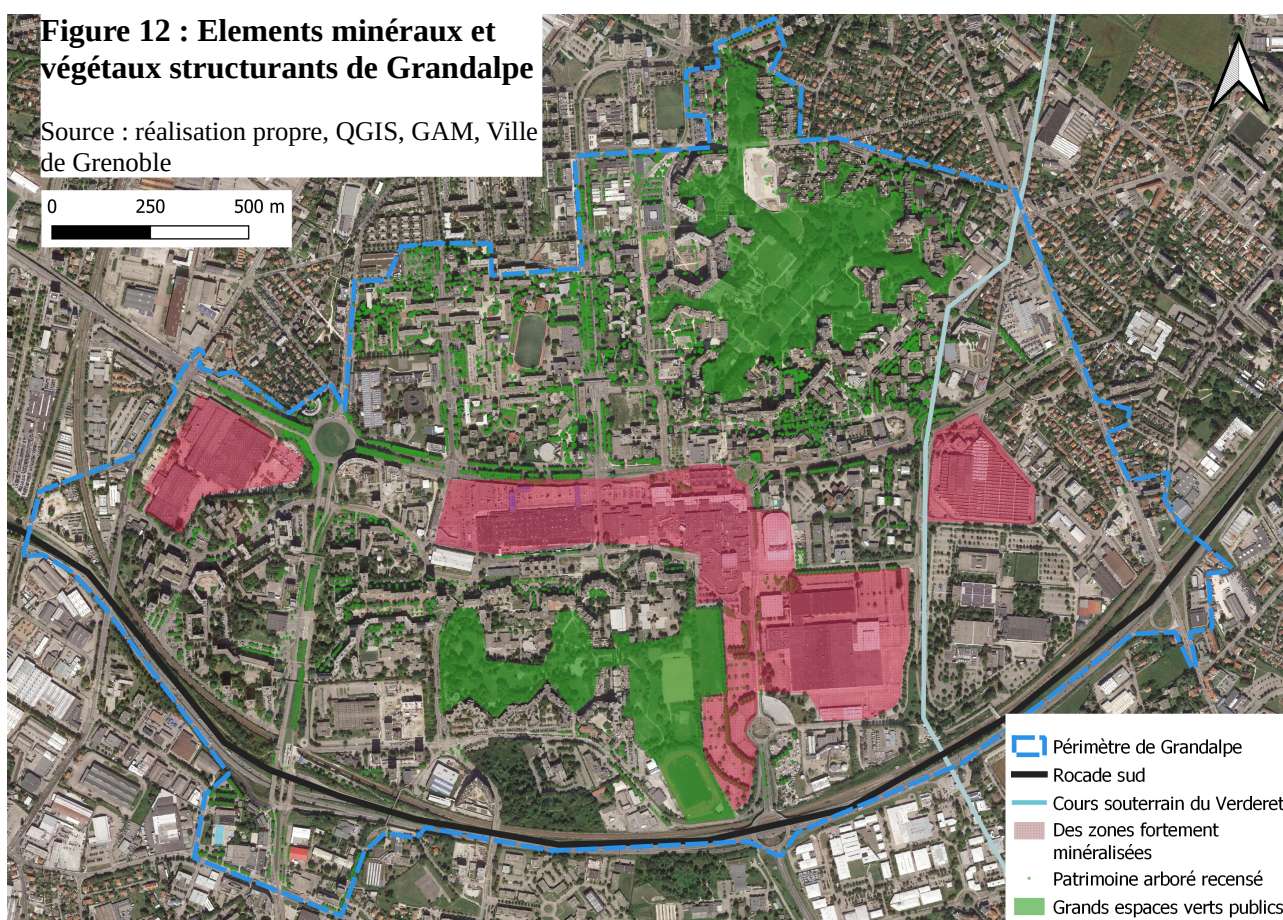
Par conséquent, la Feuille de route de 2021 est considérée aujourd'hui par la Métropole comme un document d'intentions, à faire évoluer vers une nouvelle version du document (entretien 4). Dans l'entretien 4, on explique que la Métropole travaille sur un cahier des charges pour actualiser la Feuille de route environnementale, en partenariat avec l'État, avec qui GAM a signé un projet partenarial d'aménagement (PPA) le 5 novembre 2021. Selon le Ministère de la Transition écologique, un PPA est un contrat, signé entre l'État, une collectivité territoriale et des partenaires publics ou privés locaux, ayant pour but « la réalisation d'une ou plusieurs opérations d'aménagement complexes destinées à répondre aux objectifs de développement durable des territoires » dans une zone précise (2023).

D'après la personne interviewée dans l'entretien 5, qui suit le PPA Grandalpe au sein de la Direction départementale des territoires de l'Isère (DDT 38), l'État endosse le rôle de facilitateur des projets d'aménagement vertueux à travers le PPA Grandalpe, en aidant à mieux encadrer la stratégie de GAM dans ce domaine. Notamment, parmi les actions du PPA est l'objectif d'établir une Feuille de route environnementale, qui doit bénéficier d'un financement de l'Etat de 60 000 € pour la période 2023 à 2026 (DDT 38, 2021, p. 6).

Par ailleurs, du point de vu de l'État, la Feuille de route environnementale a pour vocation d'apporter une réponse aux enjeux de la nature en ville, particulièrement la pollution aérienne et la gestion en surface des eaux pluviales, et aux phénomènes exacerbés par les effets du changement climatique, dont notamment les îlots de chaleur urbain (entretien 5). On compte également se servir de la Feuille de route Grandalpe comme une source d'inspiration à destination d'autres territoires du département de l'Isère. Il est à noter qu'en avril 2023, le financement de l'État n'était pas engagé encore, le travail de rédaction d'une nouvelle feuille de route n'ayant pas été enclenché (entretien 5).

Forme urbaine, risques et démographie :

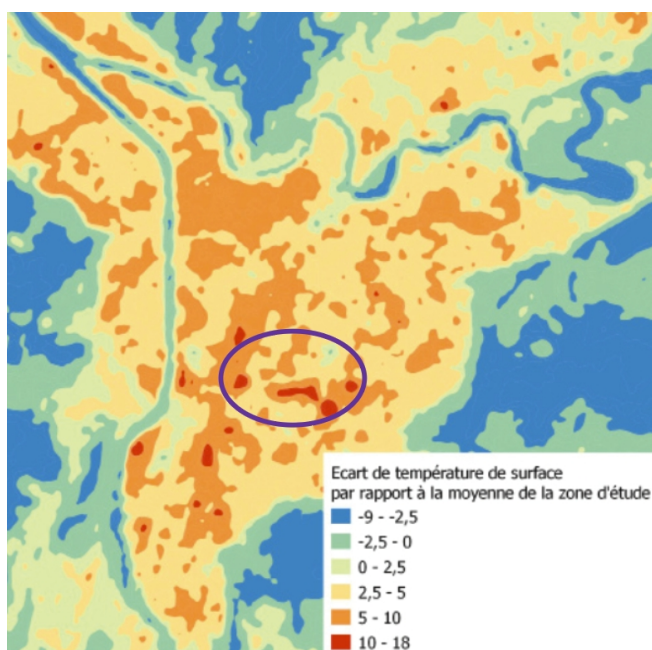
Le périmètre de Grandalpe représente une vaste zone de 400 ha dans le centre géographique de l'actuelle Métropole Grenoble Alpes, et compte une population d'environ 30 000 habitants, soit 10 % de la population métropolitaine. Or, cette zone est également en proie à plusieurs défis sociaux et urbanistiques, qui le rendent particulièrement sensible aux effets du changement climatique. Pour mieux en rendre compte, il s'agit d'explorer la forme urbaine, la géographie, les risques et la démographie de Grandalpe, pour ensuite comprendre ses vulnérabilités au regard du réchauffement du territoire.



Grandalpe se trouve sur la partie sud de la plaine grenobloise, un endroit principalement plat bordé au sud et sud-est par l'axe routier structurant appelé la rocade sud. C'est un endroit à la lisière des piémonts du massif de Belledonne, qui est la source du Verderet : le dernier cours d'eau qui passe dans la zone Grandalpe (entretien 4). Cet espace a amorcé une urbanisation rapide au cours des années 1960 et 1970, ce qui a donné à la voiture un rôle prépondérant dans sa morphologie urbaine, malgré les efforts pour promouvoir les passages exclusivement piétons à Villeneuve dans les années 70. Dans Grandalpe, l'architecture des aménagements de cette époque est principalement

moderniste, privilégiant une architecture dite « des dalles » (Piris, 2020, p. 50). Par ailleurs, le centre commercial de Grand'Place, son pôle de transport avenue de l'Europe, les équipements sportifs et autres d'Alpexpo, ainsi que la zone industrielle dans l'est de Grandalpe sont des lieux fortement minéralisés, composés largement d'étendues bétonnées qui sont peu végétalisées et perméables.

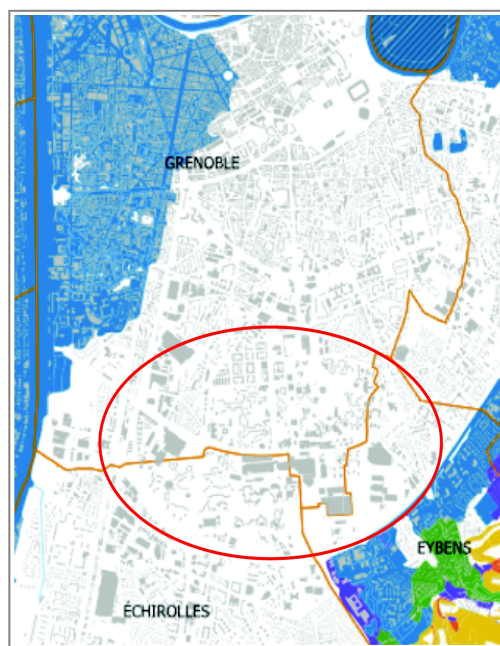
Cette minéralisation est en contraste avec les deux grands espaces verts publics du secteur, ainsi qu'avec le patrimoine arboré important de Grandalpe (recensé par la Ville de Grenoble). Ce mélange de zones très artificialisées et d'espaces verts et/ou perméables donne lieu à des variations de température importantes à l'échelle du secteur, certains quartiers étant touchés de plein fouet par la surchauffe urbaine, tandis que d'autres sont des espaces de relative fraîcheur. Heureusement pour le secteur, d'autres aléas, tels que les crues, les feux de forêt et les aléas technologiques, ne sont pas aussi présents à Grandalpe, quasiment toute la zone étant épargnée des aléas naturels, selon le PLUi de GAM (voir la carte ci-bas).



A gauche - Figure 13 : Une étude sur la chaleur en ville du PCAET de GAM

Note : en violet est le périmètre approximatif de Grandalpe (réalisation propre)

Source : GAM, 2020, p. 33



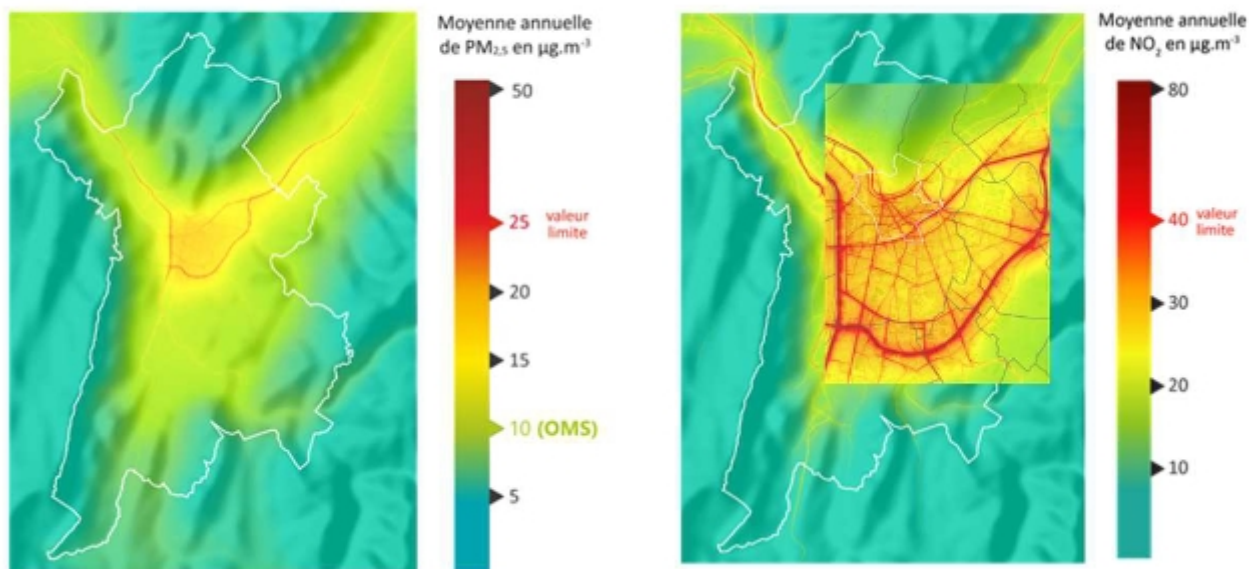
A droite - Figure 14 : L'exposition du territoire autour de Grandalpe aux aléas (les espaces en blanc ne présentent aucun de ces types d'aléa)

Note : le cercle rouge est une approximation du périmètre de Grandalpe (réalisation propre)

Source : OAP risque et résilience, AURG et GAM, 2019, p. 53

Cependant, le territoire en question est bel est bien exposé aux aléas liés à la qualité de l'air, ce qui est dû en large part à sa proximité vis-à-vis de la rocade sud, une source importante de particules

fines et de dioxyde d'azote : des polluants aériens très dangereux pour l'être humain. Une définition de ces polluants est précisée dans la Justification des critères. Les principaux axes routiers du territoire sont visibles sur la carte de droite (ci-bas) sont, indiquant que la voiture joue un rôle important dans les émissions de dioxyde d'azote dans le secteur Grandalpe.



De gauche - Figure 15 : Les émissions de particules fines (PM) dans GAM en 2017

De droite - Figure 16 : Les émissions de dioxyde d'azote dans GAM en 2017

Source : PCAET de GAM, GAM, 2020, p. 186 ; PCAET de GAM, GAM, 2020, p. 187

En outre, pour ce qui est de la population habitant Grandalpe, le manque de données dédiées spécifiquement à ce secteur a amené cette étude à recourir à une analyse spatiale, en se servant des données carroyées de l'Insee de 2017, converties par la suite en proportions dans QGIS. Ce travail comporte deux volets : une analyse de la part des personnes pauvres et une autre de la part des personnes âgées de 65 ans et plus (un seuil d'âge employé par l'Insee pour englober les personnes âgées) situées dans Grandalpe, comparée au reste de la plaine grenobloise. Les résultats, sous forme de deux cartes, se trouvent sur la page suivante.

Il est à noter que les espaces sur les cartes sans carreaux sont des lieux où habitent moins de onze ménages fiscaux, seuil de la confidentialité identifié par l'Insee (Insee, 2022). Enfin, afin que l'analyse des données reste cohérente, il a été décidé de se servir uniquement des données de l'année 2017 dans cette partie de l'exercice, cette année étant actuellement la seule sous forme carroyée.

Figure 17 : Grandalpe : la part des personnes pauvres

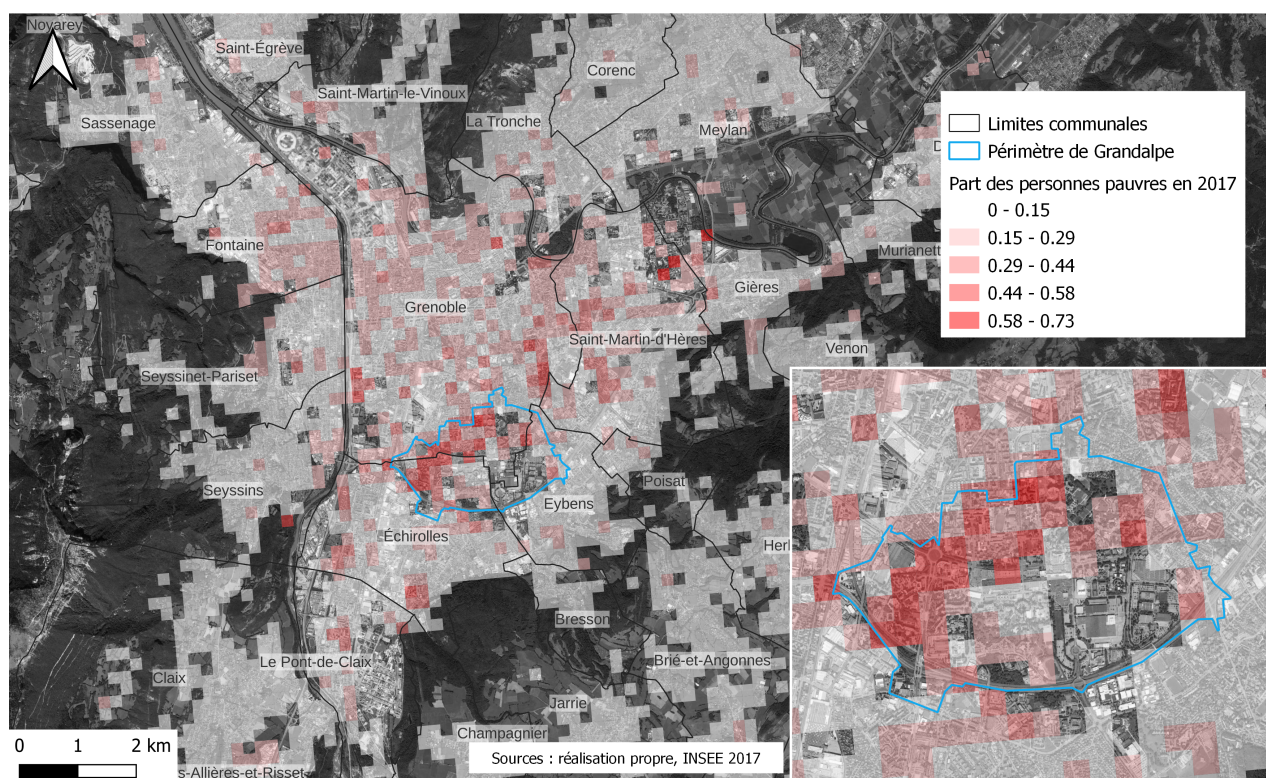
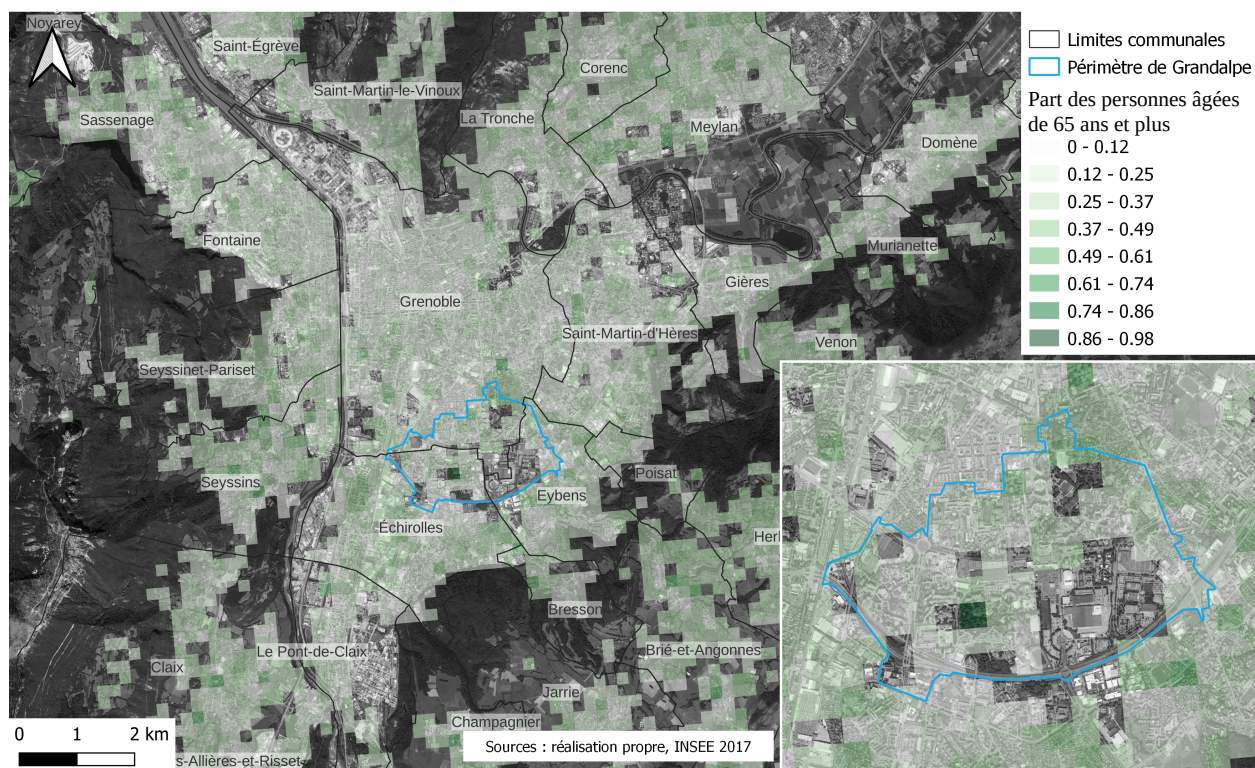


Figure 18 : Grandalpe : la part des personnes âgées



A partir de cette analyse spatiale, il est possible d'identifier certaines tendances démographiques et socio-économiques. D'abord, la première carte met en relief la part importante de personnes vivant sous le seuil de pauvreté, défini comme 1 041 € mensuels en 2017 (Insee, 2020), dans le territoire. Ces personnes sont principalement situées à l'ouest et au nord-ouest de Grandalpe. Visuellement, on constate qu'il existe une concentration plus importante de carreaux comportant une majorité de personnes vivant sous le seuil de la pauvreté dans Grandalpe que dans les parties des communes de Grenoble, d'Échirolles et d'Eybens ne faisant pas partie du territoire étudié.

Concernant la deuxième carte, les tendances sont moins évidentes que pour la première, la part des personnes âgées de plus de 65 ans étant relativement basse, notamment dans le sud-ouest de Grandalpe, par rapport aux espaces avoisinants d'Échirolles. Cela dit, il existe également des carreaux affichant une part de personnes âgées bien au-dessus de la moyenne nationale en 2017 de 19,2 % (Insee, 2020), dans le centre et au nord-est de Grandalpe. Ainsi, il semblerait que le secteur dans son ensemble reflète, voire qu'il soit légèrement supérieur à la moyenne nationale. Il faudrait d'autres calculs pour rendre plus précise cette conclusion.

Enfin, comme décrit précédemment, il est prévu que le changement climatique enclenchera une augmentation du nombre de jours de canicule par an, favorisant l'accumulation et la création des polluants aériens (GIEC, 2022, p. 16-17 ; GAM, 2020, p. 185 ; Pui Kuen Amos, 2012, p. 100 ; voir la Justification des critères). La relative précarité de la population de Grandalpe, couplé avec une population vieillissante et une morphologie urbaine qui favorise la surchauffe urbaine dans certains secteurs, risquent de rendre Grandalpe particulièrement vulnérable à de tels phénomènes dans les années à venir.

ii. Analyse des objectifs par critère :

Point méthodologique :

La manière d'évaluer les objectifs opérationnels de la Feuille de route environnementale adoptée par cette étude consiste à déterminer quels objectifs de ce document sont en lien avec les neuf critères sélectionnés par l'étude (voir *Tableau des neuf critères adoptés dans cette étude*). Des soixante-neuf objectifs contenus dans la Feuille de route, un total de quarante-trois (43) objectifs ont été analysés dans cette étude. Les autres vingt-six objectifs ont été exclus soit car ils n'ont pas

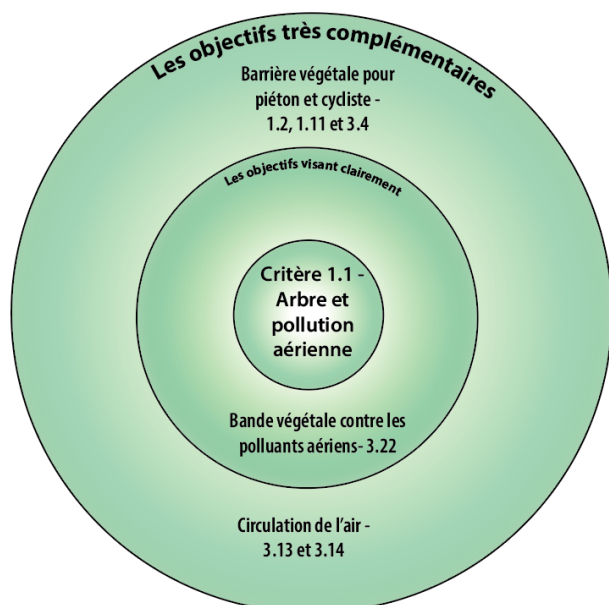
inclus un élément de l'espace public dans la colonne « échelle d'application », soit parce qu'aucun objectif n'a été renseigné dans la case.

Le but final de cette démarche est de mieux comprendre dans quelle mesure les orientations de la Métropole concernant les espaces publics de Grandalpe mettent en œuvre des réponses s'inspirant des SFN, pour permettre l'adaptation du territoire aux effets du changement climatique. Concrètement, on détermine si les objectifs énoncés dans la Feuille de route environnementale répondent aux critères de cette étude. Ce travail est résumé sous la forme d'un tableau, que vous trouverez en annexe (voir *Tableau d'analyse des objectifs de la Feuille de route*). Le système mis en place pour catégoriser les objectifs selon leur rapport à chaque critère se résume en trois options :

- soit un objectif vise clairement au moins un élément d'un critère (indiqué par un X),
- soit un objectif est considéré très complémentaire à un critère, mais ne le vise pas directement (indiqué par un Y),
- soit un objectif n'a aucun ou très peu d'impact direct sur le critère en question (case laissée vide).

A partir de cette analyse, une discussion des résultats et des implications pour chaque critère est élaborée, et se trouve ci-dessous. Le but de cette démarche est d'explorer ce qui a pu être constaté grâce à ce processus d'analyse, d'en expliquer les implications pour l'adaptation du territoire aux effets du changement climatique et de fournir des commentaires complémentaires, obtenus à partir d'entretiens avec des acteurs impliqués, si nécessaire. Une synthèse de ces résultats est ensuite proposée, pour répondre aux questions posées en introduction.

Critère 1.1 : Choix et disposition des espèces d'arbre de façon à minimiser l'exposition des habitants aux polluants de l'air



Objectifs qui visent clairement au moins un élément de ce critère : 3.22

Objectifs considérés comme très complémentaires à ce critère : 1.2, 1.11, 3.4, 3.13, 3.14

Figure 19 : Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 1.1

Source : Réalisation propre

Dans la Feuille de route environnementale (2021), un seul objectif a été identifié comme visant clairement au moins un élément du critère 1.1, tandis que cinq autres sont considérés comme étant très complémentaires à ce critère. Pour ce qui est du premier cas, l'objectif 3.22 est le seul qui explicite le but de se servir de la végétation pour réduire l'exposition des habitants à la pollution aérienne, mais seulement dans un deuxième temps, après avoir évoqué l'objectif plus concret de limiter l'exposition au bruit au-dessus du seuil de gêne avérée.

Sa réponse opérationnelle est de mettre en place une bande végétalisée d'au moins 1 m de largeur contenant de la végétation de 30 cm de hauteur dans les routes les plus fréquentées de Grandalpe (voir la figure ci-dessus). Le dispositif proposé par cet objectif à lui seul semblerait être peu efficace dans la réduction de l'exposition des personnes aux polluants aériens (Kumar et al., 2019, p. 7 ; voir *Justification des critères*).

Or, l'efficacité de cet objectif ne peut être évaluée qu'en analysant les quatre autres qui sont liés. Les objectifs 1.2, 1.11 et 3.4 préconisent la plantation d'arbres et de la végétation en bordure d'espaces fréquentés par des piétons et cyclistes, de manière à former une barrière végétale entre ceux-ci et les véhicules. De plus, les objectifs 3.13 et 3.14 prônent une conception de l'espace

public qui favorise la circulation de l'air, à travers la création de passages entre les immeubles hauts, afin de permettre le mouvement des courants d'air et éviter l'effet de rue canyon.

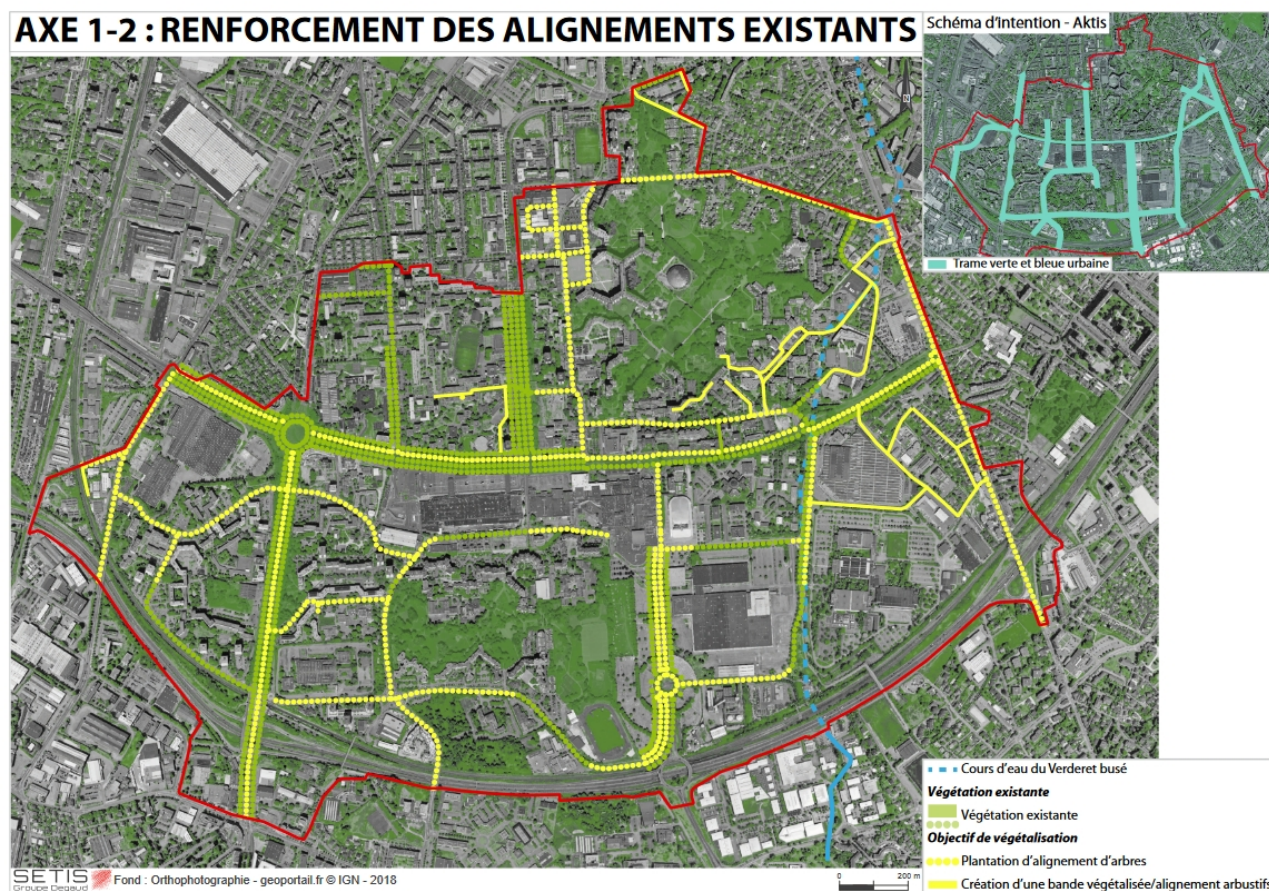


Figure 20 : Schéma des nouveaux alignements d'arbres prévus à Grandalpe

Source : SETIS Groupe Dégaud, 2021, p. 131

Ainsi, même si le critère n'est accompli qu'en partie par les cinq objectifs de la Métropole mis en avant, ceux-ci semblent contribuer à la santé et au bien-être dans le secteur, à travers une réduction de l'exposition de la population à la pollution aérienne. Pour y parvenir, on densifie le nombre d'arbres bordant les routes principales du secteur, grâce notamment à l'objectif 1.2, ainsi qu'en prenant en compte le rôle de la ventilation pour tenter de vider l'espace public de polluants aériens. Or, dans les objectifs de la Feuille de route, on ne prend que très peu en compte le rôle des arbres et de la végétation pour filtrer l'air à l'échelle locale, tandis que la combinaison d'arbres, d'arbustes et de végétation basse permettant de bloquer une bonne partie des PM n'est pas visée.

Ceci s'explique par le fait que la Métropole considère que l'effet bénéfique des arbres sur la réduction de la pollution aérienne n'est pas aussi important qu'imaginé, l'efficacité de l'effet d'absorption, de dispersion et de modification des arbres étant remise en question par un employé de la Métropole interviewé (entretien 3). Cette personne explique que même si les arbres peuvent

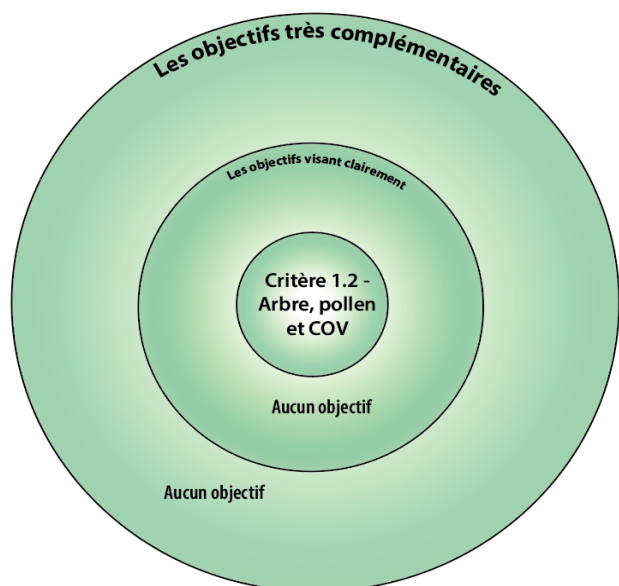
fournir une ligne de protection supplémentaire, les immeubles eux-mêmes représentent un moyen plus efficace de bloquer les PM.

Or, en traitant d'un sujet aussi pluridimensionnel que la qualité de l'air, il faut préciser que la Métropole s'est engagée à réduire de façon significative l'exposition de la population à la pollution aérienne, en travaillant pour mettre en œuvre les ambitions de l'OAP Qualité de l'Air (2019d). Selon un employé de Grenoble Alpes Métropole interviewé dans le cadre de cette étude, on compte le faire grâce à des stratégies pour limiter la production des polluants, notamment à travers le développement des modes de transport alternatifs à la voiture individuelle et la mise à jour des installations de chauffage au bois individuelles. A cela s'ajoute des règles de la construction et de l'usage du bâti qui éloignent les usagers des immeubles, autant que possible, des sources de la pollution.

De telles stratégies reflètent le point de vue holistique de la Métropole, que cette étude ne vise pas à adopter, des lieux où peuvent avoir lieu les aléas de la pollution aérienne, ainsi que les manières d'y répondre. Ainsi, les objectifs de la Feuille de route ne répondent pas à tous les aspects du critère 1.1 de l'étude, ne considérant pas que la végétation puisse avoir un rôle significatif dans sa stratégie de réduction de la pollution aérienne, et ainsi ne favorisant pas une approche qui prône les SFN. Cela dit, les initiatives et orientations de la Métropole semblent œuvrer pour répondre à ces enjeux de bien d'autres façons, en allant des stratégies de réduction des sources des polluants à de nouvelles orientations visant à éviter l'effet de rue canyon, en passant par la plantation ponctuelle d'arbres dans la voirie.

Toutefois, cette stratégie voit le jour dans un contexte où le changement climatique menace de faire augmenter la pollution aérienne en provenance des espaces forestiers (voir *Forme urbaine, risques et démographie*). Étant donné ces prévisions, une telle absence de prise en compte des différentes capacités d'absorption, de dispersion et de modification des polluants des diverses essences d'arbres par les objectifs de la Feuille de route environnementale risque d'ôter à la Métropole un outil qui pourrait s'avérer de plus en plus pertinent dans les années à venir.

Critère 1.2 : Choix des espèces d'arbres de façon à minimiser l'émission de pollens allergisants et de composés organiques volatils (COV)



Objectifs qui visent clairement au moins un élément de ce critère : aucun

Objectifs considérés comme très complémentaires à ce critère : aucun

Figure 21 : Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 1.2

Source : Réalisation propre

Pour ce qui est du critère 1.2, aucun objectif de la Feuille de route environnementale n'en fait mention, que ce soit directement ou indirectement. Plutôt, les dispositions relatives aux arbres de la Feuille de route prônent uniquement des stratégies pour augmenter la plantation des arbres, sans aucune prise en compte des niveaux d'émission de pollens allergisants et de composés organiques volatils des différentes espèces de ceux-ci. Comme l'affirme la justification d'autres critères pris en compte dans cette étude (1.1, 1.3, 2.1, 3.2 – voir le tableau des critères sur la page 18), la plantation d'arbres, et de la végétation de manière générale, est un élément indispensable pour répondre aux effets du changement climatique sur le territoire. Or, considérant l'augmentation des effets potentiellement néfastes des arbres sur la qualité de l'air avec le changement climatique (voir *Justification des critères*), une stratégie adaptée aux effets futurs estimés du changement climatique devrait également tenir compte des émissions de polluants aériens des arbres.

Dans une interview avec un employé de GAM impliqué directement dans la politique de la Métropole quant à la sélection des arbres dans l'espace public, plusieurs raisons pour le choix d'exclure cette problématique de la Feuille de route ont été évoquées. D'abord, on estime que les services fournis par les arbres en ville sont nettement supérieurs à leurs effets négatifs en matière de pollution aérienne, que ce soit leurs émissions de composés organiques volatils ou de pollens. Cependant, et malgré le fait que les COV ne sont pris en compte d'aucune manière par la

Métropole, il existerait des préconisations afin de limiter la plantation de bouleaux, un arbre à potentiel allergisant fort (selon le Réseau national de surveillance aérobiologique, 2023), dans les aménagements à proximité d'écoles et d'hôpitaux.

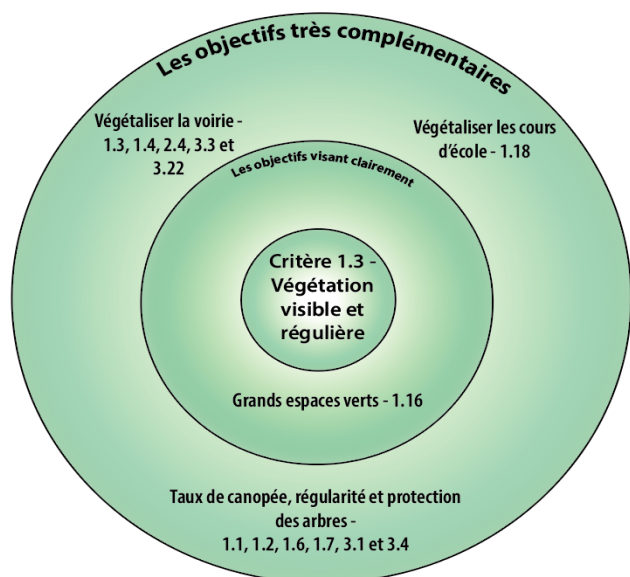
Or, aucune autre espèce à potentiel allergisant fort (encore, selon l'évaluation de cette même organisation publique) n'est interdite dans ces mêmes espaces. La personne interviewée justifie le positionnement de la Métropole en expliquant que, puisque la plupart des espèces d'arbre présente un certain potentiel allergisant, imposer des restrictions plus fortes dans ce domaine empêcherait que la plupart des espèces d'arbre ne puissent être plantées. Cet argument ne tient pas compte du fait que seule une partie minoritaire des essences d'arbres inventoriées par le Réseau national de surveillance aérobiologique sont identifiées comme ayant un potentiel allergisant fort (2023). Ainsi, il serait possible de limiter la plantation de plusieurs espèces d'arbre sans que cela ne finisse par restreindre de manière trop extrême les choix d'arbres disponibles pour les aménageurs. Toutefois, cette étude reconnaît que plus on réduit les espèces qui peuvent être plantées, moins il existe de marge de manoeuvre pour diversifier les espèces sélectionnées, et ainsi rendre le patrimoine arboré de la ville aussi résilient que possible face au changement climatique.

En outre, une autre raison pour laquelle la pollution aérienne émise par les arbres n'est pas prise en compte dans la Feuille de route est que, vu la forte compétition pour la place dans l'espace public à l'échelle du secteur Grandalpe, allant des besoins des voies de tram et de la voirie, aux pistes cyclables et aux réseaux souterrains, la Métropole « ne souhait[e] pas [se] tirer une balle dans le pied en présentant les arbres comme des pollueurs en puissance » (entretien 4). Cet argument met au centre des réflexions la question de la priorisation des usages de l'espace dans les projets d'aménagement urbains.

C'est également un défi que deux autres personnes travaillant à la Métropole interviewées ont évoqué, comme étant un facteur clef dans la prise de décision pratique de GAM en matière d'adaptation aux effets du changement climatique (entretiens 1 et 2). Même s'il s'agit d'un sujet sur laquelle cette étude ne s'attardera pas, il est nécessaire de reconnaître que les intérêts parfois divergents des parties prenantes des projets d'aménagement se révèlent aussi dans les dispositions des documents de planification stratégique, notamment la Feuille de route environnementale de Grandalpe.

Donc, la position de cette étude est qu'en raison de l'absence totale de prise en compte des effets négatifs des arbres, selon leur espèce, sur la qualité de l'air en ville dans la Feuille de route, il existe un manque dans la documentation stratégique actuelle de Grandalpe. Toutefois, comme expliqué précédemment, plusieurs considérations de nature plutôt opérationnelle servent à nuancer cette prise de position, même si celles-ci ne justifient pas entièrement cette absence notable. Notamment, en parlant de la plantation d'arbres dans l'espace public, il existe bien d'autres priorités à prendre en considération que les émissions de COV et de pollens des arbres : les arbres fournissent des services cruciaux dans l'adaptation aux effets du changement climatique.

Critère 1.3 : Présence visible et régulière de végétation dans l'espace public



Objectifs qui visent clairement au moins un élément de ce critère : 1.16

Objectifs considérés comme très complémentaires à ce critère : 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.6, 1.7, 1.18, 2.4, 3.1, 3.3, 3.4, 3.22

Figure 22 : Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 1.3

Source : Réalisation propre

La Feuille de route environnementale répond efficacement aux enjeux du critère 1.3, même si au premier regard, seul un objectif le cible directement. Ceci s'explique par la complémentarité de l'objectif 1.16 avec les autres objectifs identifiés comme étant en lien avec ce critère. D'abord, l'objectif 1.16 vise un accès à un espace vert public de plus de 10 000 mètres carrés à moins de 400 mètres de distance pour toute la population (habitants et employés) de Grandalpe.

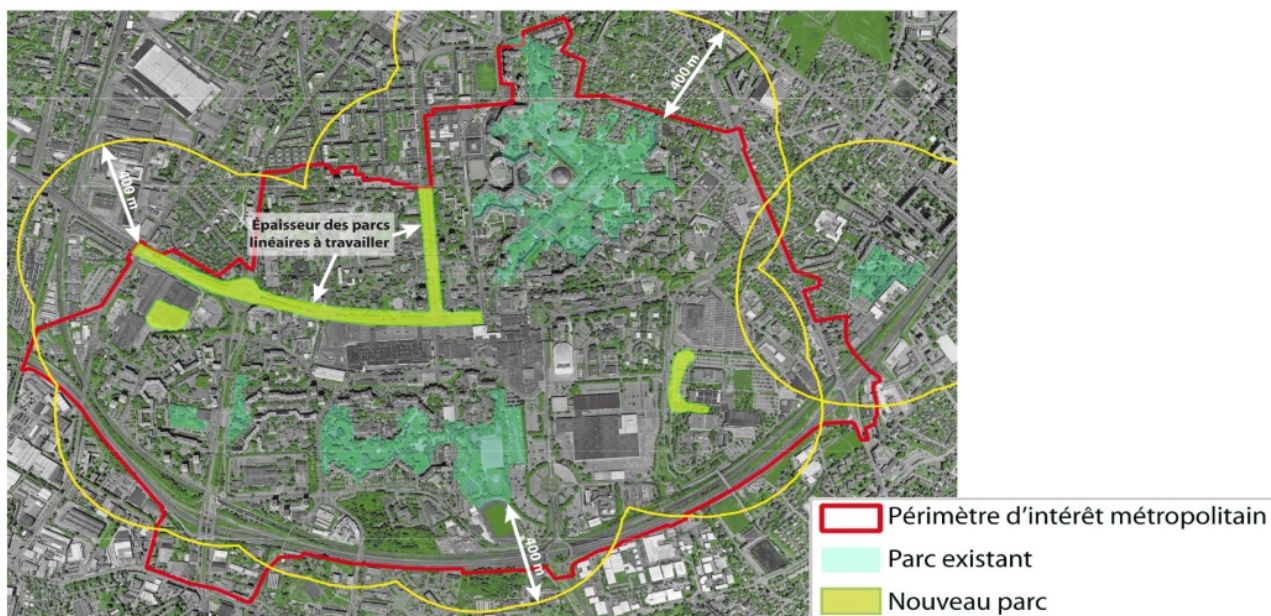


Figure 23 : Schéma des nouveaux grands espaces verts à aménager dans Grandalpe

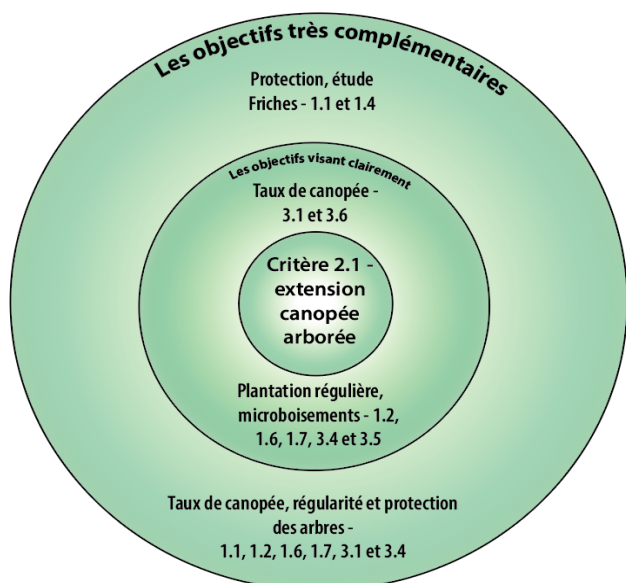
Source : SETIS Groupe Dégau, 2021, p. 102

Cette orientation représente une démocratisation de l'accès aux grands espaces verts à l'échelle de tout le secteur, et donc, en parlant de la présence régulière et visible de la végétation dans l'espace public, elle fournit aussi un squelette aux douze objectifs complémentaires. Ceux-ci peuvent ensuite venir remplir les espaces publics, y compris la voirie, les cheminements piétons et les pistes cyclables autant que cela est possible, en manque de végétation.

Pour résumer les douze objectifs identifiés comme étant très complémentaires au critère 1.3, on préconise notamment d'augmenter la régularité de la plantation d'arbres en bordure de rue, le maintien de ceux qui sont déjà présents avant tout projet d'aménagement et l'augmentation du taux de canopée arborée dans les espaces verts et sur la voirie (objectifs 1.1, 1.2, 1.6, 1.7, 3.1, 3.4). L'autre volet majeur des objectifs en lien avec le critère 1.3 sont ceux prônant la végétalisation des espaces publics de type trottoirs, bordures de voirie, passages piétons et places de stationnement voitures et vélos (objectifs 1.3, 1.4, 2.4, 3.3, 3.22).

Concrètement, les objectifs portent sur la plantation de la végétation basse et de désimperméabilisation, selon l'espace en question. Enfin, dans l'objectif 1.18 on vise à végétaliser et désimperméabiliser au moins 50 % de toutes les cours d'école et de crèche dans la zone Grandalpe d'ici 2050, avec pour cible une végétalisation de 70 % à échéance de 2070. Toutefois, il est à noter que l'évidence scientifique indique que plus l'accès à la végétation est proche de son foyer, plus elle aura des effets sur la santé positifs. Le chiffre spécifique noté est un rayon de 250 mètres de sa résidence (voir *Justification des critères*). Cela dit, il est nécessaire de réaffirmer que le critère 1.3 est bel et bien pris en compte dans la Feuille de route.

Critère 2.1 : Extension de la canopée arborée dans l'espace public



Objectifs qui visent clairement au moins un élément de ce critère : 1.2, 1.6, 1.7, 3.1, 3.4, 3.5, 3.6

Objectifs considérés comme très complémentaires à ce critère : 1.1, 1.4

Figure 24 : Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 2.1

Source : Réalisation propre

Pour ce qui est de l'extension de la canopée arborée dans l'espace public, ce critère est très clairement visé, et paraît même être, pour des raisons bien compréhensibles, vu l'importance des arbres dans l'espace public (voir *Justification des critères*), une orientation phare de la Feuille de route environnementale. Les dix objectifs identifiés ci-dessus recouvrent plusieurs aspects de l'espace public, allant des espaces verts publics aux bordures des routes et aux carrefours, et des bandes cyclables aux espaces publics délaissés ou qui sont en attente d'être réaménagés.

Par ailleurs, il a été décidé que sept de ces objectifs, vu qu'ils prévoient tous une augmentation directe du nombre d'arbres plantés dans chaque partie de l'espace public cible, seraient considérés comme étant des objectifs visant clairement un élément du critère en question. Les trois autres concernent soit le maintien de la canopée existante, en limitant l'abattage des arbres matures dans l'espace public, soit la mise en place d'une étude de faisabilité. Celui-ci aurait pour but de déterminer s'il est possible de planter dans les espaces publics délaissés ou en friche de Grandalpe (objectifs 1.1 et 1.4).

Parmi les sept autres objectifs liés à ce critère, deux fixent des buts en matière de taux de canopée arborée dans différents secteurs de l'espace public à Grandalpe. Il s'agit des objectifs 3.1 et 3.6, qui préconisent, respectivement, un taux de canopée de 50 % dans les parcs publics et un taux de canopée de 30 % dans les places publiques de plus de 1 200 mètres carrés, en prenant comme base

de mesure l'estimation que la canopée fournie par un arbre sera de 60 mètres carrés, à une échéance de vingt ans. Ainsi, les grands espaces publics structurants du secteur sont visés par la Feuille de route.

Quant à la voirie et aux bandes cyclables, les objectifs 1.2 et 3.4 prévoient la plantation régulière d'arbres en alignement, avec un espacement maximal de 7 mètres pour les bandes cyclables et chemins piétons. Il est à noter que ces dispositions tiennent compte des particularités des espaces dans lesquelles les arbres sont censés être plantés, ceux-ci, par exemple, ne devant pas être plantés dans les secteurs ombragés par les bâtiments. Concernant l'objectif 3.5, il est exigé que tous les points d'arrêt des piétons non-concernés par des réseaux soient plantés d'arbres de haute tige. Enfin, l'objectif 1.6 prévoit la création de microboisements, ou bosquets permettant d'augmenter la densité de la biodiversité, le long des trames vertes et bleues, qui sont tracées dans le schéma d'intentions. En complément de ce dernier, l'objectif 1.7 exige qu'il n'existe pas de rupture arborée de plus de 20 mètres le long de la trame verte.

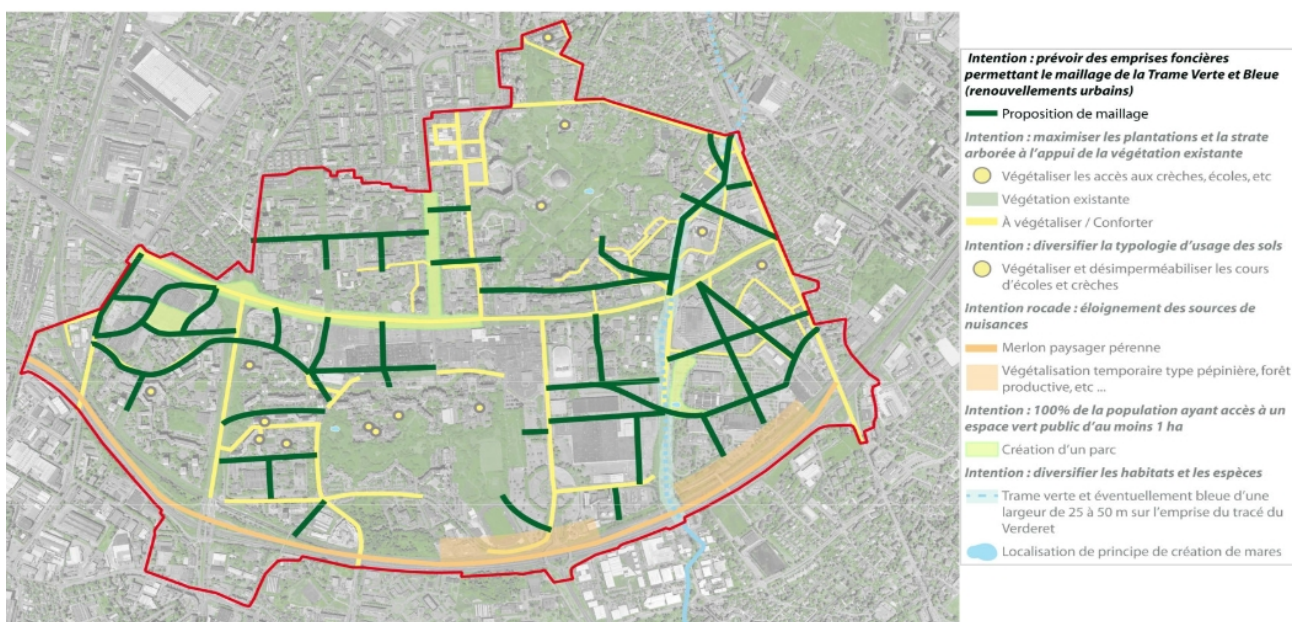


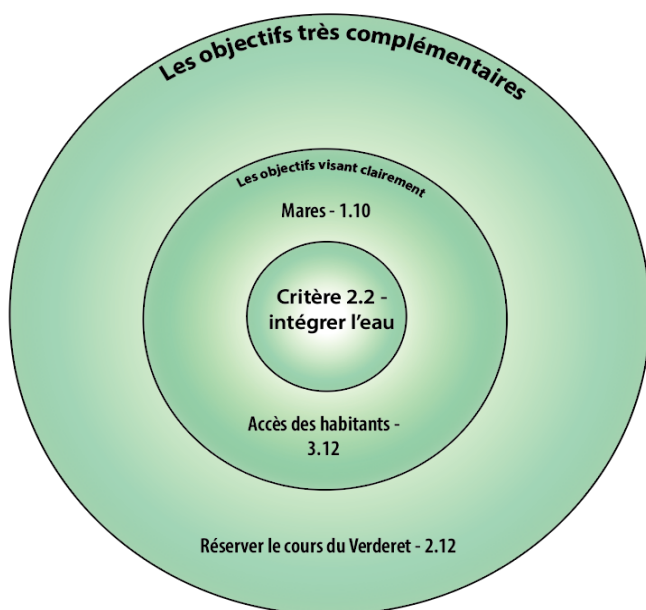
Figure 25 : Schéma d'intentions pour la création de maillages végétaux dans les trames verte et bleue de Grandalpe

Source : SETIS Groupe Dégaud, 2021, p. 100

Ainsi, cette étude trouve que la Feuille de route environnementale incorpore toutes les orientations nécessaires, à travers ses objectifs, pour bien étendre, à des niveaux ambitieux, la canopée arborée, et ce dans toutes les catégories d'espace public présentes dans la zone Grandalpe. Notamment, dans ce domaine, toutes les typologies principales d'espaces publics (espaces verts, places publiques,

voirie et trottoirs, réseau de pistes cyclables et de chemins piétons et espaces publics en friche) sont concernées, chacune d'une manière différente, par les dispositions du document.

Critère 2.2 : Intégration de l'eau dans l'espace public



Objectifs qui visent clairement au moins un élément de ce critère : 1.10, 3.12

Objectifs considérés comme très complémentaires à ce critère : 2.12

Figure 26 : Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 2.2

Source : Réalisation propre

La Feuille de route environnementale prévoit trois initiatives permettant une augmentation de la présence de l'eau dans l'espace public, avec notamment, deux objectifs visant directement cette fin, et trois autres qui lui sont très complémentaires. D'abord, l'objectif 1.10 conçoit la création d'un réseau de mares, dont chacune doit avoir une superficie d'au moins 60 mètres carrés. L'emplacement de ces espaces est déjà prédéterminé et sera dans les endroits les plus propices à la promotion des écosystèmes des créatures qui y vivront, à savoir les grands espaces verts de Grandalpe.

Tandis que cette première orientation cible davantage la biodiversité que les habitants de Grandalpe, l'objectif 3.12 priorise l'accès des usagers et résidents à l'eau. Celui-ci prévoit l'aménagement de jets d'eau avec lames d'eau dans les espaces publics de plus de 3 000 mètres carrés. Dans la pratique, ceci indique que ces installations sont uniquement prévues dans les grands parcs, qui sont les seuls espaces publics de plus de 3 000 mètres carrés de superficie dans la zone Grandalpe.

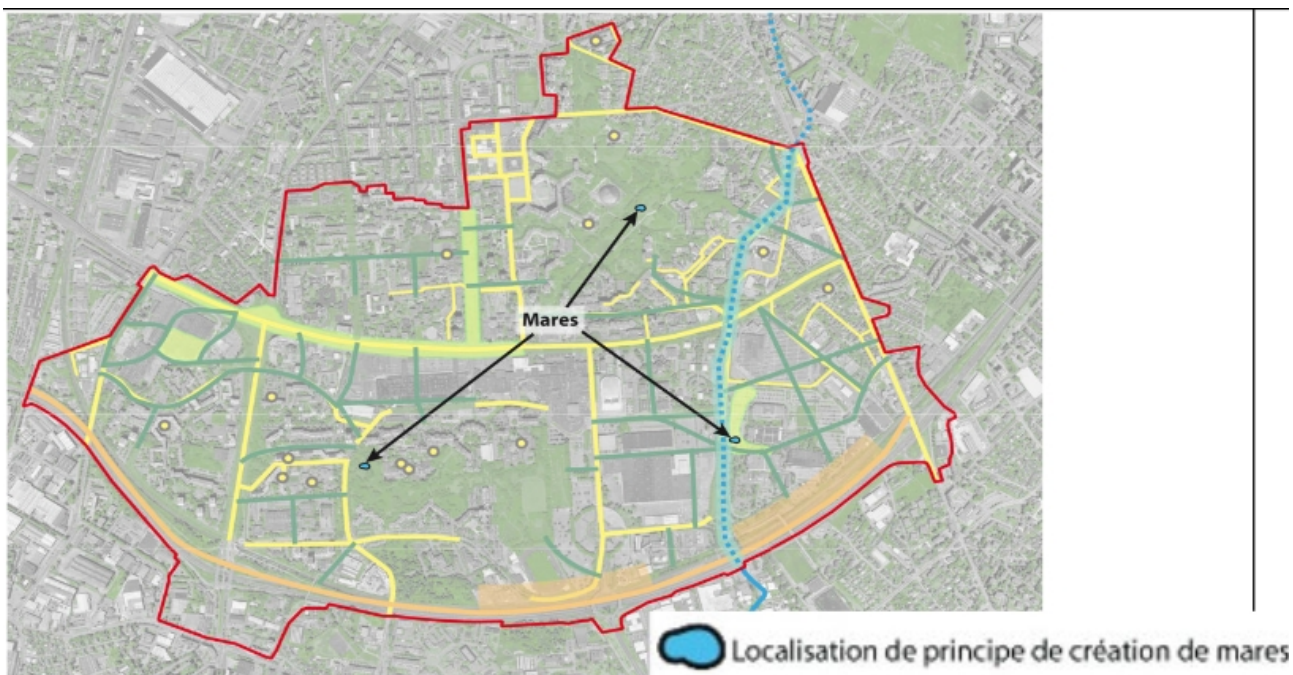


Figure 27 : Schéma des lieux de principe de création de mares dans le secteur Grandalpe

Source : SETIS Groupe Dégaud, 2021, p. 101

De plus, aucune indication quant aux dimensions de ces aménagements n'est fournie, ce qui rend impossible une vraie estimation de leur efficacité pour contrer les effets de la surchauffe urbaine. Ce dernier objectif, prévoyant un aménagement qui n'a pas pour objectif de réparer ou recréer un écosystème, ne correspond pas aux critères des SFN. Ces aménagements sont, également, des consommateurs nets d'eau (voir *Justification des critères*). Donc, même si ces aménagements permettent de réduire l'inconfort thermique des habitants, il est compréhensible que la Métropole ait décidé de ne pas en installer un nombre trop important.

Par ailleurs, concernant le seul objectif qui est considéré très complémentaire au critère 2.2, celui-ci se concentre sur le futur du cours du Verderet, une rivière en bonne partie busée et enfouie au cours du vingtième siècle et qui est, de nos jours, le dernier cours d'eau naturel encore en fonction dans le périmètre Grandalpe (entretien 4). Concrètement, l'objectif 2.12 projette qu'une emprise de 25 mètres de large soit réservée le long du cours du Verderet, en vue de faire réémerger toute ou partie de la rivière à la surface. Dans la Feuille de route environnementale, aucune orientation ne précise une telle opération, l'objectif 2.12 prévoyant seulement de réserver du foncier.

Selon une personne travaillant sur la zone Grandalpe à GAM interviewée en début de 2023, il s'agit d'un projet que la Métropole souhaite faire aboutir, mais il manque encore des éléments concrets

pour confirmer que cet aménagement pourra voir le jour. Dans tous les cas, le fait de fournir aux habitants et à la faune locale un accès direct à un cours d'eau naturel, en le remettant à l'air-libre, serait la meilleure manifestation d'une réintégration de l'eau dans l'espace public mise en œuvre par Grenoble Alpes Métropole dans Grandalpe. Un tel projet serait également en lien avec les SFN.

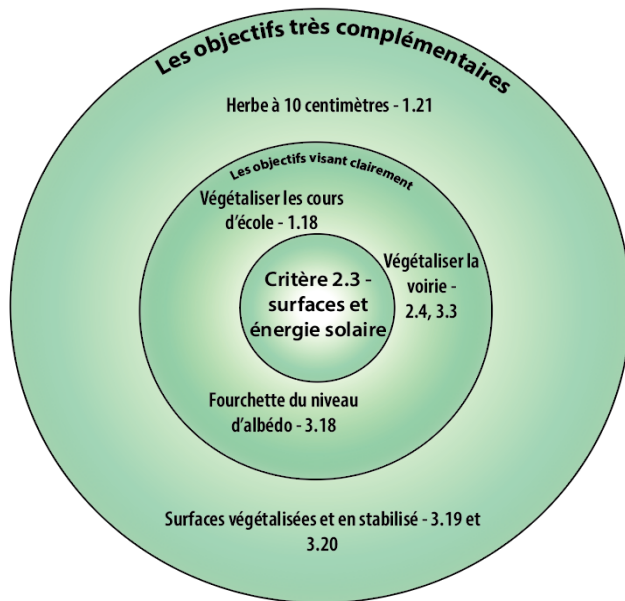
Donc, même si cet objectif est catégorisé comme étant 'seulement' très complémentaire au critère dans cette étude, l'aménagement futur lui-même représenterait le plus important 'pas en avant' de GAM parmi les trois projets proposés. Si cette initiative n'aboutit pas, on pourrait considérer que GAM ne met pas suffisamment à profit les ressources disponibles.



Figure 28 : Schéma montrant l'emprise au sol à réserver (vert clair) le long du cours du Verderet (en bleu)

Source : SETIS Groupe Dégaud, 2021, p. 107

Critère 2.3 : Aménagement des surfaces de l'espace public de manière à minimiser l'absorption de la chaleur du soleil



Objectifs qui visent clairement au moins un élément de ce critère : 1.18, 2.4, 3.3, 3.8

Objectifs considérés comme très complémentaires à ce critère : 1.21, 3.19, 3.20

Figure 29 : Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 2.3

Source : Réalisation propre

La Feuille de route environnementale propose de répondre au besoin de minimiser le captage de l'énergie solaire, par les surfaces dans l'espace public, de manière efficace, et en employant toute une gamme de techniques pour y parvenir. D'abord, l'objectif qui structure une bonne partie de la réponse de la Métropole aux effets du changement climatique dans ce domaine précis, c'est l'objectif 3.8, qui prévoit que l'albédo des matériaux utilisés pour aménager les surfaces dans l'espace public soit entre 0,25 et 0,3. Ce niveau d'albédo représente un bon compromis entre la nécessité de minimiser l'absorption de la chaleur par les surfaces, et ainsi lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain, et le besoin de créer des espaces qui limitent l'inconfort thermique des habitants le jour, en évitant l'éblouissement des usagers et la réflexion excessive de la chaleur. Des exemples de surfaces proposés par la Feuille de route sont, entre autres, le béton désactivé ou le sable stabilisé couleur ocre.

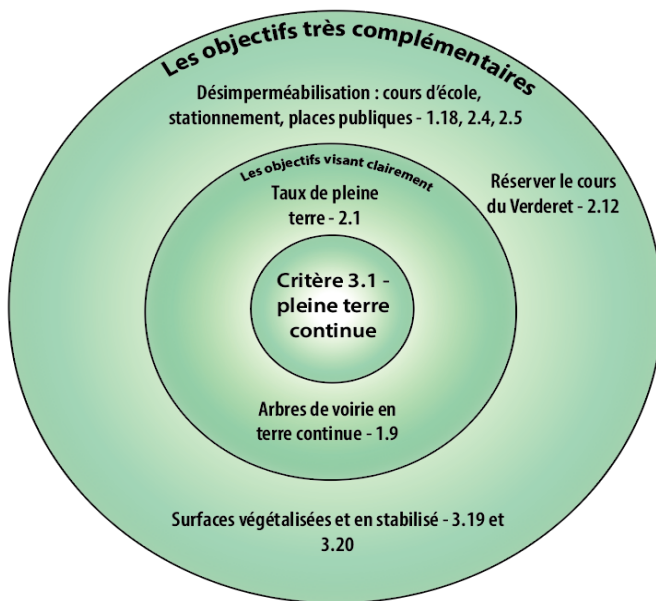
En outre, les trois autres objectifs considérés comme visant clairement le critère en question proposent une réponse tout autre à ce critère, en prônant plutôt la végétalisation des surfaces dans l'espace public. Notamment, l'objectif 1.18 projette la végétalisation d'au moins la moitié de la surface de toutes les cours d'écoles de la zone Grandalpe, avec la cible de 70 % de la surface de celles-ci à échéance de 2050. De plus, les objectifs 2.4 et 3.3 prévoient la végétalisation d'une

proportion des places de stationnement (40%), des cheminements et des passages de moins de 10 mètres de large (30%). Ensemble, ces trois orientations permettent de lutter contre la surchauffe urbaine dans son entièreté, en répondant à la fois aux causes de l'effet d'îlot de chaleur urbain et de l'inconfort thermique des habitants.

Par ailleurs, parmi les cinq objectifs identifiés comme étant très complémentaires au critère 2.3, trois prévoient des actions encourageant la végétalisation de l'espace public de façon générale, mais tout en ciblant d'autres buts que celui de la réduction du captage de l'énergie solaire par les surfaces au sol. L'objectif 1.21 prévoit de couper l'herbe à 10 centimètres de hauteur sur 50 % des espaces verts dans Grandalpe, ce qui peut amener des bénéfices en matière de réduction de l'absorption de la chaleur, mais qui augmente surtout la capacité d'évapotranspiration de l'herbe (Leroy et al., 2021, p. 32). Dans tous les cas, cet objectif permet de lutter contre la surchauffe urbaine, et est très clairement un complément du critère en question. Quant aux deux autres objectifs mentionnés (3.19 et 3.20), ceux-ci ciblent spécifiquement le gêne acoustique, un enjeu qui n'est pas traité dans cette étude, en préconisant de mettre en place des surfaces végétalisées et de privilégier l'usage du stabilisé dans l'ensemble des places, espaces verts et espaces promenés.

Donc, la Feuille de route environnementale répond de plusieurs manières aux enjeux que soulève le critère 2.3. Également, ses réponses sont efficaces et préconisent plusieurs matériaux différents à privilégier en aménageant des surfaces au sol dans l'espace public, allant du béton désactivé à la végétalisation. Enfin, le périmètre d'application de ces dispositions est vaste, comprenant souvent l'entièreté de l'espace public, selon le critère. Ainsi, cette étude estime que la Feuille de route répond très efficacement au critère 2.3.

Critère 3.1 : Augmentation du taux de sol en pleine terre et de la continuité des sols



Objectifs qui visent clairement au moins un élément de ce critère : 1.9, 2.1

Objectifs considérés comme très complémentaires à ce critère : 1.18, 2.4, 2.5, 2.12, 3.19, 3.20

Figure 30 : Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 3.1

Source : Réalisation propre

Des actions prônant l'augmentation du taux de sol en pleine terre et de la continuité des sols ont été plutôt bien incorporées à la Feuille de route environnementale, avec à la fois une prescription ciblant directement la création d'espaces continus en pleine terre, des règles à application générale en matière de taux de pleine terre, et des orientations complémentaires visant la désimperméabilisation des sols. D'abord, l'objectif 1.9 prévoit que la plantation d'arbres en alignement aux bords des routes de Grandalpe ne se fasse que dans un sol de pleine terre continue. On précise notamment que cette règle doit être mise en pratique dans 100 % des cas, à l'exception des carrefours et stationnements.

Quant aux places de stationnement, l'objectif 2.4 prévoit que 40 % de celles situées à l'air libre soit perméabilisée et végétalisée (stationnements de voitures et de vélos confondus). Étant donné le très grand nombre de places de stationnement présents dans le périmètre de Grandalpe, notamment autour du centre des conférences Alpexpo et du centre commercial Grand'Place (voir *Forme urbaine, risques et démographie*), une telle orientation représente déjà un travail de désimperméabilisation et, potentiellement de végétalisation, considérables.

En outre, l'objectif 1.9 est en lien direct avec le deuxième objectif visant clairement le critère en question. L'objectif 2.1 exige qu'au moins 28 % des places publiques soit composé d'espaces en pleine terre, mais sans aucune orientation relative à la continuité à la surface de ces sols en pleine

terre. Même s'il faut une certaine flexibilité opérationnelle dans ce genre de prescriptions générales, il serait utile d'au moins communiquer le but de maximiser la continuité des sols, en rajoutant une recommandation : prioriser, dans la mesure du possible, la continuité des sols en pleine terre.

De plus, l'objectif 1.18 prévoit la désimperméabilisation et la végétalisation d'au moins 50 % des cours d'écoles de Grandalpe. Bien qu'il soit probable qu'une partie de ces aménagements sera en de la pleine terre continue, l'objectif en question ne fait pas mention de ces termes. Rien ne confirme, donc, que de tels projets seront conformes aux définitions de la continuité et de la pleine terre fournies précédemment (voir *Justification des critères*). Similairement, l'objectif 2.5 projette que 65 % des surfaces des places publiques soit en une surface perméable, ce qui voudra probablement dire qu'une partie de cet espace sera réservée à la pleine terre avec un certain degré de continuité. Or, encore dans ce cas, rien ne le garantit.

Par ailleurs, comme expliqué précédemment, l'objectif 2.12 est une disposition prévoyant de réserver une emprise foncière de 25 mètres de large le long de la rivière Verderet actuellement enfouie. Étant donné l'échelle de cette réserve foncière à acquérir, cet espace représente très probablement la plus vaste zone en pleine terre continue évoquée dans la Feuille de route environnementale. Cependant, aucun détail précis n'est fourni quant à la quantité de pleine terre continue qui serait préservée (voire créée) par ce futur aménagement potentiel.

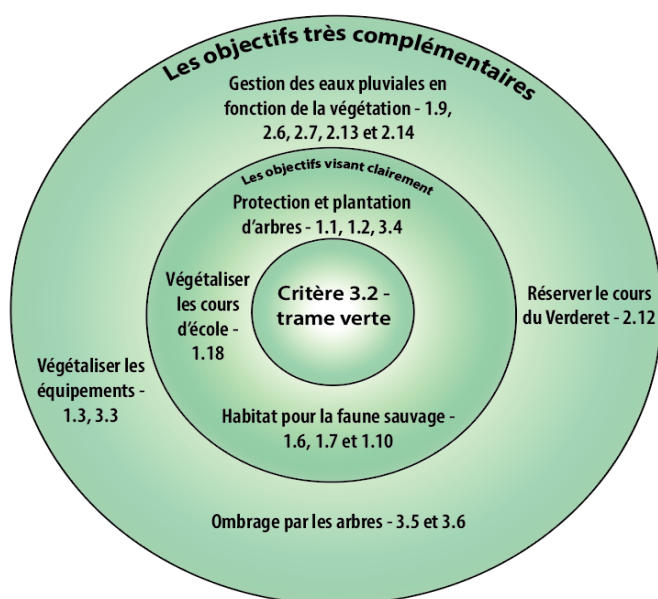
En discutant du projet du cours du Verderet avec un employé de GAM très impliqué sur ce projet, cette personne n'a pas pu fournir plus d'informations spécifiques que ce qui est contenu dans la Feuille de route, ne sachant même pas si le projet pourrait aboutir (entretien 4). Ainsi, malgré la pertinence claire et nette de cette opération pour le critère 3.1, l'objectif qui en résume une première étape ne permet pas de garantir qu'il en découlera une augmentation du taux de sol continu en pleine terre à Grandalpe.

Enfin, concernant les objectifs 3.19 et 3.20, qui ont été évoqués dans l'analyse des objectifs en lien avec le critère 2.3, ceux-ci encouragent l'usage de la pleine terre comme un moyen de réduire l'exposition des habitants à la gêne acoustique. Il a été décidé de ne pas considérer ces objectifs comme visant directement le critère 3.1 car ils ne comptent la pleine terre qu'en tant qu'option parmi d'autres surfaces absorbantes à privilégier dans l'aménagement de l'espace public.

Ainsi, la Feuille de route environnementale prend certainement en compte les notions de pleine terre et continuité des sols dans les objectifs qui y sont présentées. Cela étant dit, on ne priorise pas autant que possible la promotion de la continuité des sols, affichant ainsi une position de moindre importance par rapport à la pleine terre dans le document. De cette manière, alors qu'il existe un taux cible de pleine terre pour l'ensemble de l'espace public (28%), aucune disposition comparable n'est explicitée en ce qui concerne la continuité des sols. Ceci demeure le cas en dépit du fait que certains employés de GAM, interviewés dans le cadre de cette étude (entretiens 2 et 3), croient que la continuité des sols représente une partie intégrale de la trame brune qui devrait être davantage mise en avant.

De plus, comme c'était le cas du critère 2.2 (intégration de l'eau dans l'espace public), le projet d'aménagement du cours du Verderet serait un atout majeur pour promouvoir aussi bien la pleine terre que la continuité des sols à Grandalpe, puisque le projet prévoit de réserver une bande végétale très importante longeant les deux côtés de la rivière. Or, l'objectif restant flou quant à l'usage de cette réserve foncière entourant le cours du Verderet, et certains remettant en doute la possibilité même d'achever l'aménagement (entretien 2), cette orientation ne peut pas être comptée pleinement en faveur du critère 3.1. Donc, même s'il reste des améliorations potentielles à faire, qui seront discutées dans la partie III, le critère en question est déjà bien représenté dans la Feuille de route environnementale.

Critère 3.2 : Promotion de la trame verte



Objectifs qui visent clairement au moins un élément de ce critère : 1.1, 1.2, 1.6, 1.7, 1.10, 1.18, 3.4

Objectifs considérés comme très complémentaires à ce critère : 1.3, 1.4, 1.9, 2.6, 2.7, 2.12, 2.13, 2.14, 3.3, 3.5, 3.6

Figure 31 : Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 3.2

Source : Réalisation propre

Cette étude ayant privilégié une définition assez large de la trame verte, en adoptant celle de la Commission européenne (voir *Justification des critères*), un nombre considérable des objectifs de la Feuille de route environnementale a été considéré comme étant en lien avec le critère 3.2. Ces objectifs apportent, de façon cohérente, plusieurs réponses destinées à renforcer la trame verte de la zone Grandalpe. Notamment, on promeut : la densification de la population d'arbres, la création de lieux d'habitat réservés à la faune sauvage, la végétalisation de secteurs de l'espace public qui seraient autrement en large partie minéraux et la gestion naturelle des eaux pluviales.

D'abord, les objectifs 1.1, 1.2, 3.4, 3.5 et 3.6 concernent des efforts pour augmenter le réseau d'arbres présents dans l'espace public, allant de la conservation des arbres déjà plantés, à la plantation de nouveaux arbres dans la voirie, au bord des pistes cyclables et des chemins piétons. Dans ces objectifs, on prévoit également la plantation d'arbres dans les grands espaces verts, places publiques et dans les points d'arrêt de l'espace public, dont les carrefours, arrêts de bus et aires de jeux, quand cela est possible. Une telle densification du réseau d'arbres dans toutes les parties de l'espace public représenterait un progrès significatif dans la généralisation de la trame verte dans Grandalpe et aurait des impacts positifs sur la qualité de vie en ville (ce que cette étude explore dans les critères 1.3 et 2.1).

En outre, concernant les objectifs 1.6, 1.7 et 1.10, ceux-ci prévoient la création de réseaux d'habitat pour la faune sauvage, à travers la plantation de microboisements dans les grands espaces verts, le remplissage de toute rupture de trame végétale de plus de 20 mètres le long de la trame verte et l'aménagement de mares dans les grands parcs de Grandalpe. Prises ensemble, ces actions semblent bien apporter une réponse aux besoins de la faune sauvage dans le territoire. Or, cette étude n'est pas en mesure d'estimer les impacts de ces initiatives sur les espèces cibles, une analyse de l'efficacité de ces solutions étant le sujet d'un autre travail.

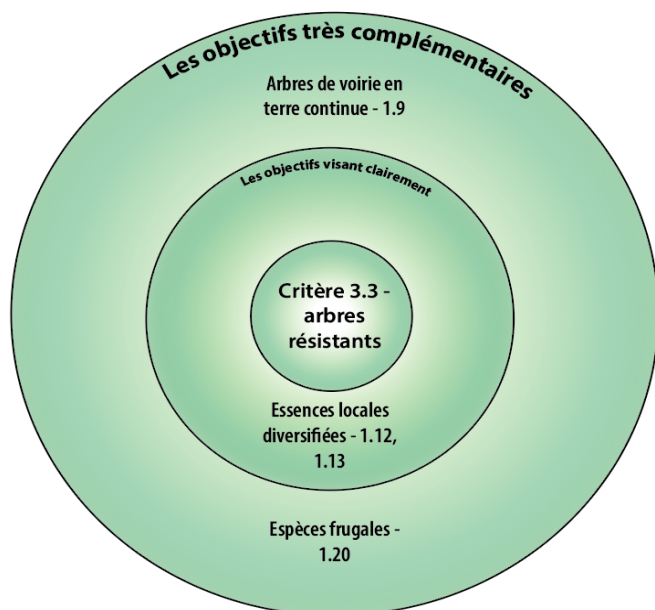
De plus, les objectifs 1.3, 1.18 et 3.3 projettent la végétalisation des accès des équipements et résidences privées, cours d'école et passages de moins de 10 mètres de large du secteur. Il s'agit d'espaces qui manquent souvent de végétation, ce qui fait de ces objectifs des contributeurs à une généralisation de la végétalisation, et ainsi de la trame verte, dans l'espace public. Similairement, l'objectif 1.4 cible la végétalisation des espaces publics délaissés, et souvent très minéraux, de Grandalpe.

Quant aux objectifs 1.9, 2.6, 2.7, 2.13 et 2.14, ces dispositions sont considérées comme très complémentaires au critère, car ils visent à promouvoir une gestion des eaux pluviales qui tienne compte des besoins et capacités de la végétation en ce qui concerne l'utilisation de ces ressources. Notamment, on voudrait planter les arbres en pleine terre continue, conserver les axes d'écoulement naturels des eaux pluviales et faire profiter à la végétation autant que possible du cycle de l'eau.

Cette approche, tout en promouvant les trames bleue et brune (voir *Justification des critères* pour une définition de ces termes, ainsi que du cycle d'eau) est bénéfique à la trame verte, en apportant les ressources hydriques nécessaires à la croissance de la végétation. Enfin, s'il a bien lieu, la remise à l'air libre du Verderet (objectif 2.12), avec la végétalisation d'une bande de terrain autour, permettrait d'élargir la trame verte.

Ainsi, grâce aux nombreuses orientations de la Feuille de route environnementale relatives à la promotion de la trame verte à Grandalpe, la conclusion de cette étude est que ce document met en œuvre des objectifs ambitieux en la matière répondant pleinement au critère 3.2. Quant aux résultats réels obtenus à partir d'objectifs aussi importants, ils sont impossibles à déterminer à la date de rédaction de cette étude.

Critère 3.3 : Choix d'une population d'arbres capable de résister au changement climatique



Objectifs qui visent clairement au moins un élément de ce critère : 1.12, 1.13

Objectifs considérés comme très complémentaires à ce critère : 1.9, 1.20

Figure 32 : Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 3.3

Source : Réalisation propre

La Feuille de route environnementale décrit plusieurs orientations destinées à permettre à la population d'arbres, dans l'espace public à Grandalpe, de résister aux effets du changement climatique sur le territoire. Pour ce qui est des critères de sélection des arbres employés lors des opérations d'aménagement de l'espace public, les critères 1.12, 1.13 et 1.20 fournissent un cadre qui privilégie la résilience des essences. Ce premier objectif projette qu'au moins 30 % des arbres plantés dans l'espace public soient des essences locales. Ceci permet qu'au moins un tiers de la population arborée dans ces espaces soit adapté aux conditions écologiques du territoire, et donc potentiellement plus à même de répondre aux changements induits par le dérèglement climatique, comme le montrent certaines modélisations de l'adaptation des arbres (voir *Justification des critères*).

En outre, l'objectif 1.13 prévoit une diversification de la palette végétale à Grandalpe, avec un plafond de la proportion d'essences de la même famille (maximum 20%), du même genre (15%) et de la même espèce (pas plus de 10 %). Cet objectif est pleinement en lien avec la règle des dix pourcent par espèce mise en avant par Santamour, pour protéger la population d'arbres locale de l'arrivée de parasites et de maladies dangereuses (1990, p. 2 ; voir *Justification des critères*). De plus, l'objectif va même plus loin que cette règle, précisant des proportions maximales que peuvent atteindre les arbres d'espèces différentes mais appartenant à une même famille ou un même genre.

Quant à l'objectif 1.20, celui-ci préconise de privilégier les espèces frugales, adaptées aux conditions du milieu de leur plantation, mettant l'accent notamment sur la nature et la profondeur du sol et de la nappe phréatique, et l'ombrage apporté par les bâtiments. Une telle disposition vise la résilience de la population des arbres dans le territoire, en garantissant leur capacité à se développer dans l'environnement qui est le leur. Ce dernier objectif est fortement lié à l'objectif 1.9, qui prévoit la plantation des arbres le long des voiries en pleine terre continue. Les arbres étant globalement plus résilients lorsqu'ils sont en communication avec le réseau des micro-organismes du sol, la nappe phréatique et la végétation avoisinante (Vignerons, 2022, p. 5), cet objectif est très complémentaire à la résilience des arbres face au changement climatique.

Par ailleurs, selon un employé de la Métropole interviewé dans le cadre de cette étude, l'adaptation des arbres au climat et au sol de la région, ainsi que la résistance de ceux-ci face aux contraintes de la plantation en milieu urbain (réverbérations, pollution atmosphérique, sols compactés), représentent le premier critère considéré lors de la sélection des espèces d'arbres à planter dans l'espace public. Cette attention se reflète bel et bien dans les objectifs de la Feuille de route, où toutes les pratiques identifiées dans cette étude comme nécessaires pour maximiser la résilience des arbres sont présentes.

Enfin, la personne interviewée précise que le choix d'espèces sélectionnées tient compte des recommandations du projet SESAME du Cerema, qui propose des essences adaptées aux conditions climatiques du territoire en question. Elle explique également que l'on attend les résultats de l'étude sur les espèces résilientes de la Métropole, qui devrait être publiée en 2023. Ces deux initiatives sont expliquées plus dans le détail dans la *Justification des critères*. Ainsi, le critère 3.3 est amplement pris en compte par la Feuille de route environnementale Grandalpe et, plus largement, on constate que c'est une priorité de la stratégie de plantation des arbres de GAM.

Synthèse de l'analyse des objectifs par critère :

A partir de l'analyse des objectifs de la Feuille de route environnementale Grandalpe, entreprise par le focal des neuf critères de cette étude, plusieurs résultats peuvent être tirés. Il est à noter qu'il ne s'agit pas ici de fournir des recommandations quant aux objectifs du document, mais simplement de répondre à la question de base de l'étude. La question des préconisations sera traitée dans la troisième partie de cette étude.

Ainsi, le bilan final de cette analyse est que ***la Feuille de route environnementale, en accomplissant de manière efficace la grande majorité des critères de cette étude, est un document qui, malgré quelques exceptions notables, facilite l'adaptation de l'espace public et du territoire de Grandalpe aux effets du changement climatique. En outre, les SFN sont très souvent mises en avant dans les objectifs étudiés.***

Pour ce qui est de la santé et du bien-être des habitants de Grandalpe, la réponse de la Feuille de route est moyennement efficace, possédant à la fois des ambitions claires et des lacunes notables. Le sujet de la contribution des arbres à la pollution aérienne, aussi bien en tant que vecteurs d'absorption et de dispersion des PM qu'en tant que sources de pollens et de COV (critères 1.1 et 1.2), n'a pas été mis en avant dans le document en question. Même si l'on prévoit la plantation d'arbres, qui apporteraient en toute vraisemblance, des effets bénéfiques sur le plan de la pollution aérienne en milieu urbain, celle-ci n'est que très rarement le but affiché.

Ainsi, la réponse de la Feuille de route n'est pas suffisamment claire pour que cette capacité unique que possède les arbres, puisse pleinement faciliter l'adaptation de l'espace public du territoire au changement climatique. En outre, aucune mention des effets néfastes de certaines essences d'arbres dans l'espace public n'étant incluse dans la Feuille de route, cet enjeu n'est clairement pas une priorité de la stratégie d'adaptation de Grenoble Alpes Métropole.

Cela dit, la Feuille de route tient compte de manière efficace de l'importance de la présence régulière de la végétation pour la santé des habitants et usagers de l'espace public de Grandalpe (critère 1.3). Ceci se manifeste aussi bien dans la généralisation de la verdure et de la végétalisation de quasiment toutes les parties de l'espace public, qu'à travers l'objectif que tous les habitants du territoire aient accès à un grand espace vert à moins de 500 mètres.

De plus, quant à la surchauffe urbaine, comprenant à la fois les îlots de chaleur urbains et l'inconfort thermique des usagers de l'espace public, la Feuille de route environnementale fournit des réponses très efficaces qui répondent directement aux enjeux de ce groupe de critères. Notamment, l'extension de la canopée arborée (critère 2.1) est peut-être l'initiative recevant la plus d'attention dans la Feuille de route, la plantation d'arbres étant prévue dans chaque partie de l'espace public de Grandalpe. Cela est également le cas de l'aménagement des surfaces de l'espace public de façon à minimiser l'absorption de la chaleur solaire (critère 2.3). Des objectifs clairs qui s'appliquent à l'entièreté de l'espace public, en matière notamment du niveau d'albédo des matériaux, sont ici renforcés par des orientations plus ponctuelles, destinées à minimiser les ICU, tout en évitant l'éblouissement des usagers.

Par ailleurs, le critère 2.2, qui concerne l'intégration de l'eau dans l'espace public, est le seul autour duquel la réponse de la Feuille de route reste critiquable. Ceci s'explique par l'état encore précoce, à la date de rédaction de cette étude, des études de faisabilité du projet de remise à l'air libre du Verderet. Sans cette initiative, les projets très ponctuels liés à l'eau dans l'espace public proposés par la Feuille de route ne suffiraient pas pour considérer que ce critère a été bien pris en compte.

Enfin, concernant la biodiversité et les écosystèmes de Grandalpe, les objectifs de la Feuille de route apportent des réponses variées et efficaces, visant à faire du territoire un milieu plus propice à la vie non-humaine qu'elle ne le serait sans ces dispositions. D'abord, la question de la pleine terre et de la continuité des sols (critère 3.1) a été mise en avant en ce qui concerne la majorité des différentes parties de l'espace public, en allant des bordures vertes des routes aux places publiques. Le seule doute qui plane encore sur la réponse de la Feuille de route à ce sujet est l'avenir du terrain bordant le cours du Verderet.

En outre, ces orientations sont en complémentarité directe avec la promotion de la trame verte (critère 3.2), qui se voit élargie de manière très importante partout dans l'espace public du territoire. Cet élargissement se fait non pas seulement grâce à la plantation d'arbres et de végétation, mais aussi à travers la création de nouveaux grands espaces verts structurants et le remplissage des continuités arborées, afin de faciliter les déplacements de la faune sauvage.

De plus, le choix des espèces d'arbres que l'on prévoit de planter dans Grandalpe répond bien aux besoins en matière d'adaptation aux effets du changement climatique du territoire (critère 3.3). Ce

choix est fait sur la base d'études récentes en la matière, et s'allie à des 'règles d'or' quant à la diversification des essences sélectionnées pour un même territoire.

Fin de la partie II

La partie II a permis de dresser un portrait du territoire dans lequel se situe cette étude, en abordant non seulement son historique urbanistique et administratif, mais également sa situation socio-démographique. Cette partie a également permis d'expliquer l'évolution de la Feuille de route environnementale, et de l'analyser, à l'aide des neuf critères sélectionnés pour cette étude. Une synthèse de cette analyse a permis une évaluation globale des objectifs cibles de la Feuille de route, vis-à-vis des thématiques abordées dans cette étude. Elle permet de conclure que les objectifs étudiés de la Feuille de route favorisent l'adaptation de Grandalpe aux effets du changement climatique, sans pour autant être parfaits. Les objectifs y parviennent tout en adoptant plusieurs objectifs fortement en lien avec les SFN. Dans la partie III, une analyse du cas d'étude du Val d'Eybens vient compléter l'analyse de la partie II, nourrissant les dernières remarques et quelques préconisations.

Partie III : analyse du cas d'étude, comparaisons et remarques

La partie III commence en présentant le cas d'étude du Val d'Eybens, afin de procéder à une analyse de ce projet d'aménagement, sur la base des mêmes neuf critères employés dans la dernière partie. L'objectif de cette démarche est de comprendre la performance d'un projet se trouvant dans le secteur Grandalpe n'appliquant pas la Feuille de route environnementale. Dans le deuxième volet de cette partie, les résultats de l'analyse du cas d'étude sont comparés à ceux de l'analyse de la Feuille de route de la partie II, et des conclusions en sont tirées. A partir de ce travail, quelques remarques et préconisations concernant la Feuille de route sont faites.

i. Cas d'étude : l'EcoQuartier du Val d'Eybens

La présentation et l'analyse de ce cas d'étude ont pour but d'explorer la performance d'un projet d'aménagement qui s'est développé dans le secteur Grandalpe, en matière d'adaptation aux effets du changement climatique. Il s'agit de décrire, puis d'analyser les objectifs et le plan d'aménagement du Val d'Eybens au regard des neuf critères d'analyse déjà utilisés précédemment dans cette étude.

L'intérêt d'avoir choisi ce projet en particulier se trouve dans deux faits. D'abord, le Val d'Eybens possède le statut d'ÉcoQuartier. Il est donc censé être exemplaire en matière de développement durable, défini à la conférence de Rio de 1992 comme « un développement économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement soutenable » (Insee, 2016). En outre, ce projet, ayant évolué indépendamment des orientations de la Feuille de route environnementale, celle-ci n'ayant pas été validée (entretien 4), permettra de mieux comprendre l'approche actuelle des aménageurs du territoire sur le terrain en ce qui concerne l'adaptation au changement climatique.

Le but ultime de cette démarche est de mieux comprendre les points en commun et les différences, entre les approches adoptées par ce projet et les objectifs décrits dans la Feuille de route. Ce travail, qui sera un élément majeur de la discussion engendrée par cette étude, permettra de mieux répondre à la problématique de l'étude et de faire des préconisations quant aux orientations d'une future Feuille de route. Enfin, dans le but de réaliser cette analyse, un entretien a été mené avec une personne travaillant sur ce dossier à la Maire d'Eybens (entretien 6), commune dans laquelle se situe le projet.

Contexte :

Le projet d'aménagement du Val d'Eybens se situe dans le nord-est de la commune d'Eybens, et à la limite orientale du périmètre de Grandalpe. La commune d'Eybens, à mi-chemin entre les piémonts du massif de Belledonne et la plaine de Grenoble, a une superficie de 4,5 kilomètres carrés et compte 9 947 habitants (chiffres de 2018). Elle se trouve au sud-est de Grenoble, et fait

partie de Grenoble-Alpes Métropole (DDT 38, 2022, p. 4). Le projet du Val d'Eybens intervient alors que la commune affiche l'objectif d'adapter une partie de son parc de logements à une population vieillissante, et d'augmenter la mixité fonctionnelle et sociale de ses quartiers, afin d'accueillir une population démographiquement et socio-économiquement diverse (Ministère de la Transition écologique, 2022, p. 2).

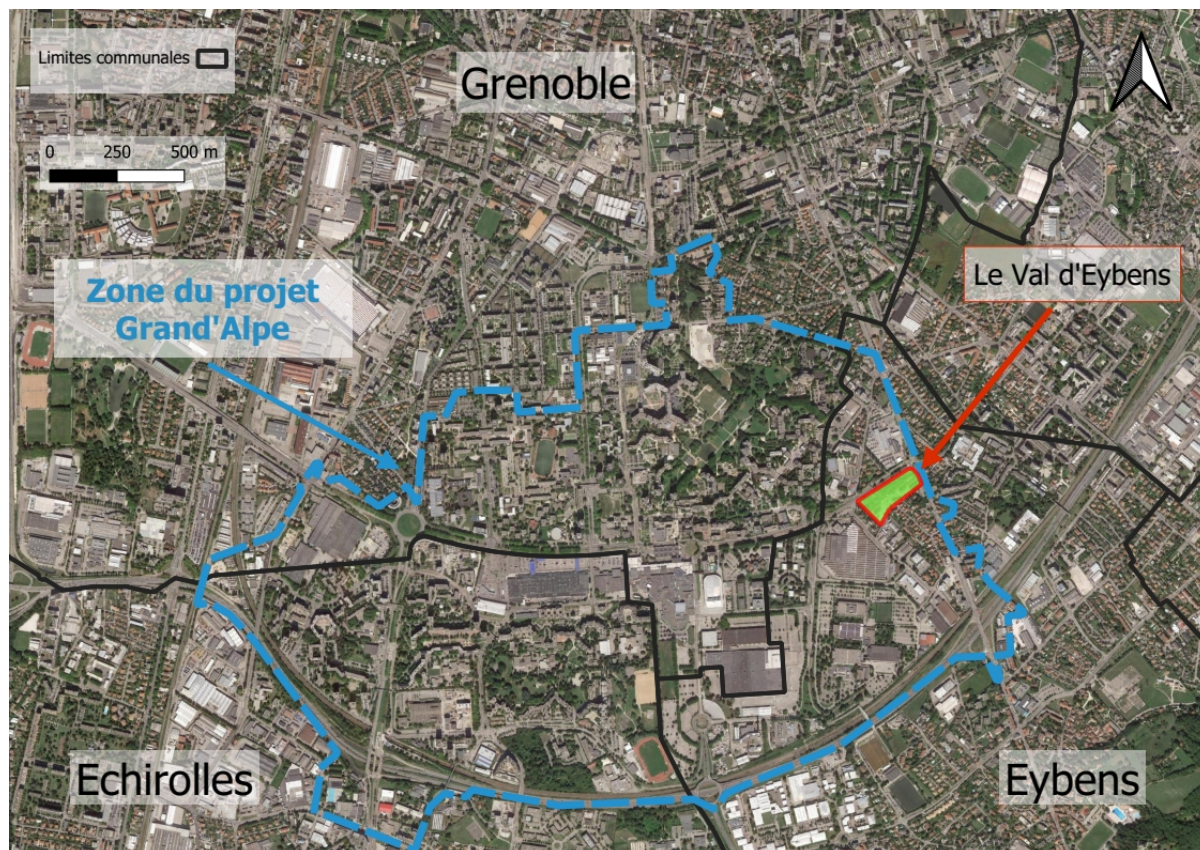


Figure 33 : Le Val d'Eybens dans son contexte administratif et territorial

Source : Réalisation propre, QGIS, 2022

Par ailleurs, le Val d'Eybens figure parmi les deux OAP sectorielles du PLUi de GAM (2019) se trouvant dans la commune d'Eybens. Cette OAP, appelée les Saules le Val, prévoit la requalification de cette entrée Est de Grandalpe que constitue le site du projet. On projette notamment d'élargir les espaces verts existants, de végétaliser les avenues structurants et d'améliorer les liens visuels, piétons et cyclables reliant les quartiers de la zone entre eux. L'OAP prévoit également le renforcement de la mixité sociale, en prônant une diversification du parc de logements (GAM et AURG, 2019b, p. 140-144).



Figure 34 : Schéma d'aménagement de l'OAP les Saules le Val

Note : Marqué en rouge, le site approximatif du Val d'Eybens (modification propre, Illustrator)

Source : GAM et AURG, 2019b, p. 145

Le Val d'Eybens - présentation d'un projet aux objectifs multiples :

Les orientations de l'OAP les Saules le Val servent d'inspiration au projet d'aménagement du Val d'Eybens, lancé en 2015 et dont l'achèvement du chantier est prévu en 2025. Le projet se développe sur un terrain d'une superficie de 2 hectares. Il envisage la requalification du site d'une ancienne école maternelle, très largement imperméabilisé et aux équipements vétustes et dégradés, pour y

construire des logements et une école élémentaire (entretien 6). Un grand espace vert central d'environ 1400 mètres carrés, à partir duquel s'étend une voirie apaisée et végétalisée, est également prévu ("Commission EcoQuartier : présentation de la synthèse d'expertise", 2022, p. 2).

Selon la présentation de la synthèse d'expertise du label EcoQuartier, l'objectif de cette opération, est de mieux valoriser le site en question, identifiée par les aménageurs comme une véritable porte d'entrée dans la zone Grandalpe, et dont la Ville d'Eybens possède la maîtrise foncière (2022, p. 3). On vise également à faire en sorte d'améliorer la mixité sociale de l'espace, en ouvrant l'endroit à un public plus divers, et en contribuant au travail de désimperméabilisation et de végétalisation de la commune.



Figure 35 : Plan masse du projet du Val d'Eybens, conçu par SDH-SAFILAF

Source : Ministère de la Transition écologique, 2022, p. 5

En outre, le 13 décembre 2018, la proposition du promoteur immobilier SDH-SAFILAF a été retenue suite à un appel à projets, organisé par la Mairie d'Eybens, pour assurer la maîtrise d'ouvrage du projet. Dans la version lauréate du projet, on compte accomplir les objectifs de la Ville d'Eybens à travers la construction de 125 logements, dont 30 % de logements locatifs sociaux

et 32 % en accession sociale, y compris une résidence pour seniors (“Commission EcoQuartier : présentation de la synthèse d'expertise”, 2022, p. 2).

La disposition et conception du bâti sont destinées à assurer un mode d’habiter « solidaire, collectif et partagé », tout en promouvant un confort thermique en été, à travers le design de logements traversants possédant un accès à l’extérieur, que ce soit sous forme d’un balcon ou d’une terrasse (Daste, 2022, p. 27 à 32). Selon la DDT 38, ceci contribue à l’atteinte des besoins en matière de logements locatifs sociaux (LLS) du Plan Local d’Urbanisme intercommunal (PLUi) de GAM, qui exige la construction d’une centaine de LLS supplémentaires dans la Ville d’Eybens (2022, p. 6).



Ci-dessus - Figure 36 : Les apports bénéfiques des espaces verts dans le projet du Val d’Eybens

Ci-dessous - Figure 37 : Des idées possibles pour l’espace vert central du Val d’Eybens

Source : Daste, 2022, p. 23 ; Daste, 2022, p. 34



De plus, les espaces verts sont conçus pour lutter contre les effets des îlots de chaleur urbains (voir la définition dans *Justification des critères*), permettre une gestion en surface de la ressource en eau

et créer des lieux de sociabilité (Daste, 2022, p. 17 ; entretien 6). La désimperméabilisation et la création d'espaces verts en pleine terre dans le site contribueront à l'atteinte de cet objectif. Un îlot vert aménagé en parc sera par ailleurs le noyau central du nouveau quartier (DDT 38, 2022, p. 6).

Un dernier élément mis en avant dans le plan d'aménagement de SDH-SAFILAF est sa manière de tisser des liens avec les quartiers avoisinants, à la fois en augmentant la lisibilité de la trame piétonne et cyclable, et en créant de nouveaux cheminements au travers du parc central. On vise à rendre plus faciles et fluides les déplacements en modes doux, ou les modes de déplacement qui n'émettent pas ou très peu de gaz à effet de serre (ENS de Lyon, 2023), notamment entre les zones nord (Villeneuve et Collège des Saules) et sud-est (quartier des Maisons Neuves). Cet objectif participe d'une stratégie plus globale, énoncée dans l'OAP les Saules le Val, de réintégrer les quartiers nord d'Eybens avec la Villeneuve de Grenoble (compris aussi dans le périmètre de Grandalpe), ce dernier étant historiquement cloisonné vis-à-vis des quartiers limitrophes (GAM et AURG, 2019b ; entretien 6).

Lors de la planification du projet d'aménagement, le Val d'Eybens a fait l'objet d'une candidature à la labellisation EcoQuartier. Le processus de labellisation fait partie de la démarche EcoQuartier, un programme d'État géré par le Ministère de la Transition écologique, qui a débuté en 2012. Selon la DDT 38, l'objectif de cette démarche est d'« inciter les parties-prenantes d'un projet à se mobiliser pour réaliser un projet d'aménagement durable qui dépasse les seules contraintes réglementaires et qui se fixe des ambitions élevées en matière de transition environnementale, sociale et économique » (2022, p. 3).



Figure 38 : La marque des quatre étapes du label EcoQuartier, utilisée jusqu'en 2023

Source : Ministère de la Transition écologique, 2023,
<http://www.ecoquartiers.logement.gouv.fr/demarche/historique/>

Avant la réforme de 2023, qui a réduit à deux le nombre d'étapes du processus de labellisation EcoQuartier, tout en instaurant le statut d'EcoProjet (Klein et Bercault, 2023, p. 5), la labellisation se composait de quatre étapes, correspondant à l'EcoQuartier en projet, en chantier, livré et vécu. La Mairie d'Eybens a signé la charte EcoQuartier, un document se présentant comme un guide à l'aménagement durable, le 3 décembre 2021, ce qui signifie le passage à l'étape 1 du label (DDT 38, 2022, p. 4). La commune a souhaité participer à une telle démarche afin d'afficher sa volonté de créer un quartier exemplaire, qui réponde aux exigences en matière à la fois de mixité sociale et de prise en compte du changement climatique (entretien 6).

En 2022, suite à la décision des instances régionale et nationale de la commission EcoQuartier, le Val d'Eybens a progressé à l'étape 2 du label EcoQuartier, reconnaissant à la fois la recommandation d'un rapport des experts et l'état de progression du chantier. A la date de rédaction de cette étude, le Val d'Eybens reste à l'étape 2 et est en pleine construction. La validation des ces étapes a nécessité la rédaction d'une série d'études par des experts dans le domaine de l'urbanisme, du paysage et de l'architecture, ainsi que par la Ville d'Eybens et les services de l'État. L'analyse qui suit s'appuie sur ces documents et sur un entretien mené avec une personne travaillant sur ce projet à la mairie d'Eybens.



Figures 39 et 40 : Le chantier du Val d'Eybens en avril, 2023

Sources : Propres images, prises le 25 avril, 2023

Analyse du projet du Val d'Eybens :

L'analyse du projet du Val d'Eybens reprend la même trame des neuf critères qui a été utilisée lors de l'analyse de la Feuille de route environnementale Grandalpe (voir *Justification des critères* pour le tableau des critères). Cette analyse a toutefois vocation à être plus succincte que la précédente, afin de nourrir une discussion autour de la Feuille de route. Après avoir exploré le projet critère par critère, il s'agira de présenter une synthèse du bilan de la réponse du Val d'Eybens aux effets du changement climatique attendus sur le territoire.

Dans l'intérêt de la lisibilité des résultats de l'analyse suivante, les critères 1.1 et 1.2 sont présentés ensemble.

Critères 1.1 et 1.2 :

- Choix et disposition des espèces d'arbre de façon à minimiser l'exposition des habitants aux polluants de l'air ;
- Choix des espèces d'arbre de façon à minimiser l'émission de pollens allergisants et de composés organiques volatils (COV)

Selon la personne interviewée lors de l'entretien 6, il n'y a aucune prise en compte de la pollution aérienne lors du choix d'espèce et de disposition des arbres dans l'espace public. Ceci s'applique

aussi bien quant à la capacité d'absorption et de dispersion des polluants des arbres, qu'au niveau de leur production de pollens et de COV. A l'échelle de la commune d'Eybens, on explique que des considérations dites « urbanistiques », résumées comme le niveau de la strate, l'agrément et l'ombrage apporté par les arbres, ainsi que la résilience climatique des arbres, sont priorisées. On justifie cette absence en disant qu'il existe tellement de considérations en matière de plantation des arbres qu'il serait difficile d'inclure une réflexion autour de l'impact des arbres sur la qualité de l'air (entretien 6).

Tout ce qui vient d'être énoncé quant aux choix de la commune en matière d'essences d'arbres plantés dans l'espace public s'applique également au niveau du projet d'aménagement du Val d'Eybens. Or, on note aussi qu'en ce qui concerne les espaces verts, et notamment le grand parc central du projet, les choix de disposition et d'espèces d'arbres seront faits en alliant les considérations urbanistiques décrites ci-dessus aux résultats d'un sondage, conçu pour déterminer les besoins des habitants en termes des espaces publics (entretien 6). On a décidé d'adopter une telle démarche en fonction des recommandations des experts, qui préconisent une concertation régulière avec les habitants lors de la végétalisation des espaces partagés du site ("Commission EcoQuartier : présentation de la synthèse d'expertise", 2022, p. 12). Ainsi, le projet du Val d'Eybens ne répond pas aux critères 1.1 et 1.2, ne prenant pas en compte la pollution aérienne dans leur stratégie de plantation d'arbres.

Critère 1.3 : Présence visible et régulière de végétation dans l'espace public

L'opération dans l'espace public du Val d'Eybens promet de fournir une régularité et une visibilité de végétation importante dans les espaces partagés du projet, même si en concevant le projet, la Mairie d'Eybens n'avait pas en tête la possibilité de promouvoir la santé et le bien-être des habitants par la végétation (entretien 6). Notamment, lors de la présentation des experts de la commission EcoQuartier, l'aménagement se compose de 50 % d'espaces végétalisés, dont un parc central de 1 400 mètres carrés et une végétalisation constante en pied d'immeuble (2022, p. 3). De plus, il a été confirmé que la végétation sera visible depuis quasiment chaque logement construit dans le projet, tous les appartements ayant un accès à l'air libre (Daste, 2022, p. 29). En outre, selon la Mairie, un deuxième grand espace vert d'environ 1 400 mètres carrés est envisagé du côté de la nouvelle école sur le site (entretien 6). Ces espaces, combinés à d'autres initiatives pour amener de la végétation dans la zone du projet (notamment, la conservation du jardin mature d'une maison en face du Val

d'Eybens qui a été acheté par la Mairie – entretien 6), permettent d'affirmer que la végétation est bel et bien visible et régulière à l'échelle du projet.



Figure 41 : L'emplacement du jardin préservé hors-site et du deuxième grand espace vert prévu

Note : fait sur le plan masse conçu par SDH-SAFILAF (modification propre, Illustrator)

Ministère de la Transition écologique, 2022, p. 5

Critère 2.1 : Extension de la canopée arborée dans l'espace public

Quant à l'extension de la canopée arborée, les objectifs du projet du Val d'Eybens sont peu ambitieux, voire même flous. D'une part, on prévoit une extension importante de la canopée, avec une strate arborée qui serait plus importante que celle existant avant l'aménagement, mais sans préciser un taux de canopée cible (entretien 6). D'autre part, les arbres matures implantés sur le site avant le démarrage du projet ont tous été abattus lors des travaux de démolition de l'ancienne école. Selon la présentation des experts de la commission EcoQuartier, une partie de ces arbres abattus aurait pu être conservée (2022, p. 10). Cependant, selon la personne interviewée à la Mairie

d'Eybens, il y a eu une évolution du point de vue de la Mairie de l'importance de la préservation des arbres matures pré-existants depuis le début du projet en 2015, illustré par la décision de préserver le jardin d'une maison dont le terrain a été racheté par la commune (voir l'image sur la page précédente, entretien 6). Cela dit, le projet du Val d'Eybens reste peu clair sur ses objectifs en matière d'extension de la canopée arborée.

Critère 2.2 : Intégration de l'eau dans l'espace public

Pour ce qui est de l'intégration de l'eau dans l'espace public au Val d'Eybens, le plan masse présenté lors de la commission EcoQuartier (voir la page précédente) ne donne aucune indication qu'il existera un dispositif d'eau, qu'il soit de type brumisateur ou plan d'eau. Cela dit, il a été confirmé lors de l'entretien 6 qu'il est possible que l'espace public central comprendra de l'eau en surface, selon les souhaits des habitants du quartier. Dans tous les cas, selon la personne interviewée, l'eau ne serait pas forcément nécessaire à l'échelle du secteur (entretien 6). Or, en l'absence d'une canopée arborée suffisamment étendue dans la zone, l'eau de surface pourrait se révéler un moyen efficace de refroidir cet espace de taille restreinte (voir la *Justification des critères*). Ainsi, le projet du Val d'Eybens est ambigu sur le rôle de l'eau dans l'espace public. Il n'est, donc, pas possible d'évaluer le projet à ce sujet.

Critère 2.3 : Aménagement des surfaces de l'espace public de manière à minimiser l'absorption de la chaleur du soleil

Le plan d'aménagement de l'EcoQuartier du Val d'Eybens témoigne d'une volonté de répondre à la surchauffe urbaine à l'échelle du site en promouvant les types de surfaces au sol les plus à même de minimiser le captage de l'énergie solaire. Notamment, selon l'entretien 6, quasiment toutes les surfaces au sol du quartier seraient végétalisées, tandis que la maille piétonne/cyclable de l'espace vert central du quartier serait soit en béton désactivé piéton soit en stabilisé d'un albédo élevé. S'il n'existe pas d'objectif concret quant au niveau de l'albédo que devrait posséder ces surfaces, il est clair que le Val d'Eybens répond entièrement au critère 2.3, à travers une végétalisation très importante des surfaces au sol du site.

Critère 3.1 : Augmentation du taux de sol en pleine terre et de la continuité des sols

Le taux de pleine terre et la continuité des sols sont des concepts qui sont bien mis en avant dans le projet du Val d'Eybens. Selon la présentation des experts lors de la commission EcoQuartier, 35 % du site du projet serait composé de pleine terre, dont la plupart serait concentrée dans l'espace vert central de l'EcoQuartier, assurant ainsi une continuité des sols à l'échelle de la parcelle (2022, p. 3). Par ailleurs, le deuxième espace vert proposé, entre la nouvelle école maternelle et le site de l'aménagement actuel (présenté précédemment), serait également très largement composé de la pleine terre continue (entretien 6). Ainsi, les notions du critère 3.1 ont été entièrement intégrées au plan d'aménagement du Val d'Eybens.

Critère 3.2 : Promotion de la trame verte

Le plan d'aménagement du Val d'Eybens contribue à la trame verte du secteur, envisagée dans l'OAP les Saules le Val, qui prévoit notamment la diffusion d'espaces végétalisés et la création d'« ouvertures paysagères » sur le site même du projet (GAM et AURG, 2019b, p. 145). D'abord, le projet prévoit la végétalisation de 50 % de la superficie du site, dont 35 % du site en pleine terre, avec la promesse d'aménager au moins un grand espace vert au moins partiellement arboré, et la volonté d'en créer un deuxième dans un second temps ("Commission EcoQuartier : présentation de la synthèse d'expertise", 2022, p. 3). En outre, un autre objectif serait de mettre en place des dispositifs d'éclairage et d'habitat qui promeuvent la biodiversité dans l'espace public, avec la participation de la Ligue de protection des oiseaux (entretien 6). A ce titre, le projet participe à son échelle au développement de la trame verte de Grandalpe.

Critère 3.3 : Choix d'une population d'arbres capable de résister au changement climatique

Comme évoqué lors de l'analyse des critères 1.1 et 1.2, le choix des arbres plantés sera faite en fonction des besoins des habitants, déterminés par voie de sondage. Or, à l'échelle de la commune d'Eybens, l'adaptation au changement climatique est un facteur qui est pris en compte lors de la sélection des espèces d'arbres qui sont plantées dans l'espace public (entretien 6). Selon la personne

interviewée dans l'entretien 6, l'adaptation des arbres aux effets du changement climatique sera l'une des principales considérations à prendre en compte, lors de la conception paysagère des espaces verts central et en pied des immeubles du nouveau quartier. On dit spécifiquement que la commune compte se servir de l'étude récente de GAM qui inventorie les espèces les plus à même de résister au réchauffement du territoire (voir *Justification des critères* pour plus de détails). Ainsi, le projet du Val d'Eybens promet de choisir une population d'arbres capables de résister au changement climatique.

Synthèse de l'analyse des objectifs par critère :

Cette analyse du Val d'Eybens par les neuf critères de cette étude a permis d'établir que le projet dans son ensemble fournit une série de réponses efficaces pour aider à permettre une adaptation aux effets du changement climatique dans son espace public. En particulier, le projet du Val d'Eybens met l'accent sur la végétalisation, permettant de réduire l'incidence locale de la surchauffe urbaine, de jour comme de nuit, et d'augmenter la visibilité du végétal dans l'espace public. La biodiversité a également trouvé sa place dans ce projet d'aménagement, une part importante du terrain étant laissée à la pleine terre continue où seraient plantés des arbres résistants au réchauffement climatique, tandis qu'un vrai travail pour étendre la trame verte porte bien ses fruits. Les SFN sont ainsi bien représentées dans les actions de ce projet.

Il existe également quelques critères qui n'ont pas trouvé de réponses efficaces. Ainsi, aucune réponse n'a été apportée à la question du rôle des arbres dans l'atténuation et la génération de la pollution aérienne. En outre, le plan du projet ne précise pas quel rôle jouera l'eau de surface dans l'espace public du nouveau quartier. On n'affiche pas non plus une cible en termes de taux de canopée arborée envisagée à l'échelle du projet.

ii. Comparaison des résultats et remarques :

S'agissant de leurs manières de permettre à l'espace public de Grandalpe de s'adapter aux effets du changement climatique, les objectifs de la Feuille de route environnementale étudiés sont très similaires aux initiatives du projet du Val d'Eybens. Dans les deux cas, les réponses apportées sont largement efficaces, avec quelques manques notables. Cela dit, il existe certains critères où le projet du Val d'Eybens est moins efficace, ou du moins, moins précis, que les objectifs de la Feuille de route analysés dans cette étude. Notamment, à la différence de la Feuille de route, aucune cible n'est fournie quant au niveau d'albédo des surfaces au sol, ni au taux de canopée dans l'espace public. De plus, il n'y a pas de précision sur l'aménagement de dispositifs permettant une présence de l'eau dans ces espaces. Ce dernier point est à nuancer, les aménagements du site étant conçus en fonction des souhaits des habitants, qui, en avril 2023, étaient toujours en train d'être consultés (entretien 6).

Par ailleurs, il est intéressant de noter que la thématique relative au rôle des arbres dans la dispersion, l'absorption, et dans la création de la pollution aérienne n'est abordée ni dans la Feuille de route environnementale ni dans le cahier des charges du projet du Val d'Eybens. En vérité, quasiment aucune réponse à la pollution aérienne n'est explicitement apportée dans les deux cas, si ce n'est le simple fait que planter des arbres dans l'espace public peut finir mécaniquement par absorber certains polluants et en émettre d'autres. Or, comme le but de répondre à la pollution aérienne par la plantation est intentionnellement mis de côté par ceux qui gèrent ces projets, traitée de peu intéressante dans les entretiens 3 et 6, l'importance des arbres dans la santé et bien-être des habitants de Grandalpe n'est pas prise en compte dans son entièreté.

Quelques préconisations :

A partir de ce constat, dans une nouvelle version de la Feuille de route environnementale Grandalpe, cette étude préconise l'inclusion d'objectifs qui prennent en compte la relation des arbres avec la pollution aérienne dans l'espace public. Or, cette étude reconnaît qu'il existe bien d'autres considérations essentielles à prendre en compte en choisissant les espèces d'arbre à planter dans un espace, dont certaines sont abordées dans l'analyse. Ainsi, après la sélection d'essences adaptées au réchauffement du territoire et aux écosystèmes locaux, les professionnels de

l'aménagement devraient prendre conscience des taux d'émission des allergènes et des COV, et du taux d'absorption des PM de ces arbres.

Pour résumer, il faut trouver un équilibre entre le besoin d'une diversité importante d'espèces d'arbres et l'objectif de lutter contre la pollution aérienne par les SFN. Ceci permettra d'augmenter la résilience de la population arborée, tout en favorisant la santé et bien-être des habitants. Alors que cet exercice semble difficile à faire, il s'agirait d'une véritable mise en application des principes de base des SFN : promouvoir les écosystèmes pour améliorer la santé des personnes. La façon précise dont on peut arriver à cet équilibre des deux objectifs mérite une étude approfondie.

En outre, il faut rendre plus lisible les ambitions de GAM vis-à-vis de l'aménagement du Verderet, dans une nouvelle version de la Feuille de route environnementale. Le Verderet, étant le dernier cours d'eau naturel courant au travers du périmètre de Grandalpe, actuellement canalisé en sous-sol, représente un élément paysager et écosystémique majeur à l'échelle du secteur. Il pourrait bénéficier au secteur de Grandalpe en fournissant un accès à l'eau et à des espaces publics frais et agréables aux riverains, tout en créant un lieu propice au développement d'écosystèmes autrement non présents sur le territoire. Cette zone serait également un apport majeur à la trame verte de Grandalpe, ainsi qu'à la continuité des sols et au taux des surfaces en pleine terre. Il est, pour ces raisons, important de souligner que la Feuille de route devrait mieux concrétiser les orientations de valorisation de cette rivière, s'il s'avère possible de la remettre à l'air libre, autant que l'ingénierie et les contraintes budgétaires et foncières le permettront.

Enfin, la dernière recommandation de cette étude est qu'il faut impérativement le passage de la Feuille de route environnementale Grandalpe. Une Feuille de route environnementale en vigueur irait plus loin que les documents de planification en place, en précisant plus clairement les orientations stratégiques environnementales de la Métropole, pour les projets de ce secteur qu'ils soient centraux ou plus périphériques. Comme remarqué en analysant le Val d'Eybens, même ce projet d'ÉcoQuartier qui a visé l'exemplarité sur le plan écologique (entretien 6), ne répond pas entièrement aux exigences de la Feuille de route environnementale. Donc, même en l'état actuel, l'application concrète de ce document faciliterait assurément l'adaptation de l'espace public aux effets du changement climatique, et ainsi, par voie de conséquence, bénéficierait les habitants du territoire.

Fin de la partie III :

Cette dernière partie de l'étude a permis d'incorporer une analyse du projet d'aménagement du Val d'Eybens à l'analyse de la Feuille de route environnementale. Une comparaison des résultats de ce travail a permis de comprendre les limites de la Feuille de route dans son état actuel, mais aussi son importance en tant que guide pour les projets d'aménagement du secteur. La recommandation principale de cette partie a été qu'il faut que la Feuille de route puisse être appliquée, et donc qu'elle soit politiquement validée, pour faciliter l'adaptation de l'espace public du secteur Grandalpe aux effets du changement climatique.

Conclusion :

Le changement climatique expose les habitants de Grenoble Alpes Métropole à un réchauffement du territoire qui ne cesse de prendre de l'ampleur, et qui continuera de s'aggraver au cours des prochaines décennies. Pour répondre de manière efficace à cette nouvelle réalité, les urbanistes et les aménageurs du territoire doivent repenser leurs façons de concevoir la ville. Notamment, l'espace public, scène incontournable des déplacements, des interactions et de la manifestation de la société urbaine, est particulièrement atteint par les effets du changement climatique. Dans ce contexte, les documents stratégiques de la planification en matière d'environnement, d'écologie et de résilience du territoire occupent une place majeure pour répondre à ces effets.

La méthode de recherche et les multiples volets d'analyse de cette étude avaient pour objectif d'explorer l'efficacité de la Feuille de route environnementale Grandalpe, envisagée par GAM comme un élément phare dans sa vision de l'avenir du secteur, pour l'adaptation de ce territoire et de son espace public. Des réponses aux questions posées en introduction ont pu être formulées par cette étude, grâce à l'analyse des objectifs pertinents de la Feuille de route, à une série d'entretiens avec des acteurs impliqués, à une comparaison avec le projet du Val d'Eybens et à la lecture de documents pertinents d'urbanisme et scientifiques.

Ainsi, il a été affirmé que la Feuille de route environnementale pourrait contribuer de manière très positive à l'adaptation de l'espace public, et du territoire de Grandalpe en général, aux effets du changement climatique. Ainsi, cette étude a pu confirmer que des réponses aux risques pour la santé et le bien-être des habitants (notamment la santé mentale), au risque de la surchauffe urbaine et au risque que pose le changement climatique pour les écosystèmes et la biodiversité, sont fournies par la Feuille de route.

Or, la catégorie de la santé et du bien-être affiche des résultats mitigés quant au volet de la pollution aérienne, qui n'a pas été pris en compte par les objectifs du document. Les explications énoncées

par GAM sont compréhensibles : la pression des aménageurs pour favoriser la rentabilité rend la Métropole réticente à contrôler davantage la plantation d'arbres. Or, elles sont aussi difficilement acceptables pour un territoire se voulant exemplaire sur le plan écologique, étant donné l'évidence scientifique démontrant que les arbres ont un rôle singulier dans la dispersion et l'absorption, mais aussi dans la création de certains polluants aériens.

Par ailleurs, malgré cette défaillance, les objectifs environnementaux pour l'espace public de la Feuille de route intègrent bien, et de multiples façons, le principe des solutions fondées sur la nature. Même si certaines modifications pourraient améliorer la performance des objectifs analysés dans cette étude, l'analyse du Val d'Eybens a montré que même ce projet écologiquement ambitieux bénéficierait de l'encadrement de la Feuille de route. Notamment, une Feuille de route en vigueur imposerait des seuils en matière de taux de canopée arborée et de niveau d'albédo des surfaces au sol : autant d'éléments qui n'ont pas pu être précisés par les professionnels du projet interviewés. Donc, l'approbation et la mise en application de ce document sont essentielles, pour guider la construction de l'espace public du territoire et ainsi, permettre au secteur Grandalpe, et à son espace public, de répondre efficacement aux évolutions climatiques qui l'attendent.

Par conséquent, la première hypothèse émise en introduction, que les objectifs de la Feuille de route environnementale Grandalpe seraient moyennement efficaces, a été infirmée par cette étude, les objectifs étudiés étant dans leur majorité efficaces. La deuxième hypothèse, que les SFN seraient un élément important des objectifs de la Feuille de route, a été confirmée par les résultats de l'étude. Ces résultats ouvrent la voie à d'autres questions qu'il serait intéressant de traiter dans l'avenir. Notamment, si la Feuille de route finit par être politiquement validée, il sera éventuellement possible d'examiner les effets réels de la Feuille de route sur l'adaptation de l'espace public du secteur Grandalpe face au changement climatique. Il serait également intéressant d'aborder la question de l'influence que possèdent les aménageurs privés sur les décisions politiques prises concernant la planification stratégique et environnementale en France.

Annexes :

i. Tableau d'analyse des objectifs de la Feuille de route :

Le tableau suivant résume l'étude des objectifs de la Feuille de route environnementale Grandalpe ayant fait l'objet d'une analyse dans cette étude. Il détermine le lien entre ces objectifs et les neuf critères d'analyse, afin de comprendre l'efficacité de la réponse aux effets du changement climatique de la Feuille de route. Ce tableau se sert d'un système simple pour identifier le lien entre les objectifs et les critères d'analyse :

- soit un objectif vise clairement au moins un élément d'un critère (**indiqué par un X**),
- soit un objectif est considéré très complémentaire à un critère, mais ne le vise pas directement (**indiqué par un Y**),
- soit un objectif n'a aucun ou très peu d'impact direct sur le critère en question (**case laissée vide**).

Voir le *Point méthodologique* de la partie II pour plus de précisions.

Pour faciliter la lecture du tableau, celui-ci a été divisé en trois axes, dont s'est servi la Feuille de route pour regrouper les objectifs similaires sur le plan thématique. Ils sont : en vert, l'axe « intensifier la végétalisation pour ses bienfaits santé / bien-être et son moteur de transformation du territoire », puis en bleu « valoriser le cycle d'eau in situ ». Le troisième axe, en violet clair, est « adopter une démarche intégratrice d'atténuation des effets air/ bruit / chaleur ». Les objectifs dont la case est en gris foncé sont ceux dont l'échelle d'application est en-dehors de l'espace public, et ont ainsi été exclus de l'analyse (voir *Démarche et critères d'analyse* dans la partie I).

Nombre d'axe	Titre d'objectif	Echelle d'application	Choix des espèces d'arbre et de leur disposition dans l'espace public de façon à minimiser l'exposition des habitants aux polluants de l'air	Choix des espèces d'arbre de façon à minimiser l'émission de pollens allergisants et de composés organiques volatils (COV)	Présence visible et régulière de végétation dans l'espace public	Extension de la canopée arborée dans l'espace public	Intégration de l'eau dans l'espace public	Aménagement des surfaces de l'espace public de manière à minimiser l'absorption de la chaleur du soleil	Augmentation du taux de sol en pleine terre et de la continuité des sols	Promotion de la trame verte	Choix d'une population d'arbres capable de résister au changement climatique
Axe 1			Critère 1.1	Critère 1.2	Critère 1.3	Critère 2.1	Critère 2.2	Critère 2.3	Critère 3.1	Critère 3.2	Critère 3.3
1.1	Solution 1 : Tendre vers d'arbres conservés si les conditions de bonne préservation de leur intégrité sont assurées, conformément à l'OAP paysage et biodiversité du PLUi et à la charte de l'arbre 100% Moins ambitieux : Solution 2 : Tendre vers de conservation des arbres plantés depuis 10 ans, si les conditions de bonne préservation de leur intégrité assurées, conformément à l'OAP paysage et biodiversité du PLUi	Grandalpe			Y	Y				X	
1.2	Planter les rues y compris les trottoirs et stationnements selon leur gabarit et selon la présence de réseaux structurants avec a minima : - 1 alignement arbustif ou une bande végétalisée si ≤ 10 m - 1 alignement si > à 10 m - 2 align. ou plateau planté si ≥ 20 m - 3 align. ou plateau planté si ≥ à 40 m - 4 align. ou plateau planté si ≥ à 50 m	Grandalpe Rues ouvertes à la circulation de véhicules motorisés	Y		Y	X				X	
1.3	Végétaliser les accès et vers les cœurs d'îlots privés	Grandalpe Sites stratégiques (écoles, crèches, parcs et jardins...)			Y					Y	
1.4	Etudier la possibilité de planter des arbres et arbustes dans tous les espaces non aménagés	Ensemble des interstices et espaces délaissés			Y	Y				Y	
1.5	Prévoir des emprises foncières permettant le maillage d'une Trame Verte et Bleue fonctionnelle (sans discontinuité arborée ou arbustive de plus de 10 m et d'une largeur de 3m)	Grandalpe Tènements privés									
1.6	Biodiversité : création de microboisements apparentés à des bosquets et permettant de créer rapidement des habitats d'espèces (oiseaux, reptiles, petits mammifères), au sein des espaces verts de pleine-terre continus de + de 5 m de large : 20% planter de la superficie de ces Espaces Verts sur des surfaces de 100 à 5000 m² maximum, à hauteur de 3 arbres/m²	Espaces publics le long des TVBu (schéma d'intention) et au sein des parcs			Y	X				X	
1.7	Absence de rupture de trame végétale pour la faune volante (chauve-souris et oiseaux) : créer une trame arborée continue sans interruption de plus de 20 m	Grandalpe Espaces publics le long des TVBu (schéma d'intention)			Y	X				X	
1.8	Laissé vide dans le document										
1.9	Créer une continuité de sol fertile et du végétal en plantant 100% des alignements de voiries associée dans de la pleine terre continue (hors stationnement et carrefours)	Espaces publics le long des voiries							X	Y	Y
1.10	Créer un réseau de mares connectées entre elles, favorables aux déplacements et à la reproduction des amphibiens et insectes liés aux mares temporaires 3 Création de mares d'au minimum 60 m² et 1,5 m de profondeur,	Grandalpe Au sein des TVBu (schéma d'intention)					X			X	
1.11	Diversification des strates avec de strates arbustives au pied des alignements d'arbres dont : - 35% des alignements arborés présentant une strate arbustive basse (<50 cm de haut) en accompagnement de la strate herbacée - et 25% des alignements arborés présentant une strate arbustive haute (>50 cm de haut) en accompagnement de la strate herbacée	Grandalpe Le long des voiries	Y								
1.12	Diversification des essences arborées et arbustives : 30% des arbres et 75% des arbustes composées d'essences locales (adaptées aux conditions écologiques locales) ou au maximum 70 % des arbres et 25 % des arbustes horticoles	Espaces publics									X
1.13	Diversification de la palette végétale : Maximum 20% par famille 15% - par genre 10% - par espèce - mélange à floraison précoce et tardive	Grandalpe									X
1.14	100% des zones travaux avec gestion des espèces invasives	Grandalpe									
1.15	25% des EPT présentant une gestion extensive (2 fauches annuelles) - pastoralisme	Espaces publics									
1.16	100% de la population (habitants et employés) à moins de 400 m d'un espace vert public d'au moins 10 000 m²	Grandalpe			X						
1.17	Diversifier et faire évoluer les modes d'occupation végétale des sols	Espaces publics									
1.18	Végétaliser et désimperméabiliser a minima 50 % de la superficie de 100 % des cours d'écoles et des crèches existantes à échéance 2050 Nouveaux équipements : 70% de la superficie des cours végétalisée et perméable.	Equipements publics Ecole Crèche confort thermique			Y			X	Y	X	
1.19	Dans les secteurs contraints (proximité immédiate des voiries et pistes cyclables), 80 % des essences d'arbres plantés à système racinaire plongeant	Grandalpe Dans les secteurs contraints (proximité immédiate des voiries et pistes cyclables)									

Nombre d'axe	Titre d'objectif	Echelle d'application	Choix des espèces d'arbre et de leur disposition dans l'espace public de façon à minimiser l'exposition des habitants aux polluants de l'air	Choix des espèces d'arbre de façon à minimiser l'émission de pollens allergisants et de composés organiques volatils (COV)	Présence visible et régulière de végétation dans l'espace public	Extension de la canopée arborée dans l'espace public	Intégration de l'eau dans l'espace public	Aménagement des surfaces de l'espace public de manière à minimiser l'absorption de la chaleur du soleil	Augmentation du taux de sol en pleine terre et de la continuité des sols	Promotion de la trame verte	Choix d'une population d'arbres capable de résister au changement climatique
1.20	Privilégier les espèces frugales en cohérence avec les conditions de milieu : profondeur et nature de sol, profondeur de la nappe, ombre portée des bâtiments	Grandalpe									X
1.21	Couper l'herbe à 10 cm de haut sur 50 % des espaces verts	Espaces publics						Y			
Axe 2			Critère 1.1	Critère 1.2	Critère 1.3	Critère 2.1	Critère 2.2	Critère 2.3	Critère 3.1	Critère 3.2	Critère 3.3
2.1	Au moins 28 % d'espaces de pleine terre (EPT)	espaces publics							X		
2.2	Au moins 30 % de l'unité foncière en espace de pleine-terre	Espaces privatifs Nouveaux bâtiments									
2.3	Au moins 40 % de l'unité foncière hors bâtiments et infrastructures bâties en espace de pleine-terre	Espaces privatifs Réhabilitation de bâtiment existant									
2.4	40% des places de stationnement (existantes et nouvelles) à l'air libre perméables et végétalisées	Grandalpe- Places de stationnement voiture et vélo			Y			X	Y		
2.5	65% de surface perméable	Place publique							Y		
2.6	Déconnexion de 100 % des réseaux d'eaux pluviales des réseaux collectifs	Grandalpe en dehors des secteurs ne disposant pas d'exutoire possible au milieu naturel								Y	
2.7	100% de la gestion EP orientée vers les espaces végétalisés et/ou perméables (bordures ajourées...)	Espace public en dehors des secteurs ne disposant pas d'exutoire possible au milieu naturel								Y	
2.8	Récupération des eaux de toitures privées pour arrosage + cuve de rétention de 1 à 2 m ³ /100 m ² de toiture dans la norme (en référence à la norme NF-P16-005) . Mise en place d'une volumétrie de stockage identique sur l'espace public et l'espace privé.	Espace vert public et privé									
2.9	Laisser vide dans le document										
2.10	Mise en place de système d'arrosage compte goutte relié au récupérateur d'eau pluviale privé	Espace vert privé									
2.11	Conception permettant de favoriser l'écoulements des eaux vers les surfaces végétalisées intégrées au bâti	Espaces privé - Nouveaux bâtiments									
2.12	Réserver une emprise de 25 m de large pour se laisser la possibilité de remettre à l'air libre tout ou partie du Verderet	Grandalpe sur le long du lit du Verderet					Y		Y	Y	
2.13	Préserver la transparence des aménagements aux ruissellements Conservier les axes d'écoulement	Grandalpe								Y	
2.14	100 % des axes d'écoulement nouvellement créés reliés à un exutoire vers le milieu naturel	Grandalpe								Y	
Axe 3			Critère 1.1	Critère 1.2	Critère 1.3	Critère 2.1	Critère 2.2	Critère 2.3	Critère 3.1	Critère 3.2	Critère 3.3
3.1	50% d'indice de canopée estimée à une échéance de 20 ans (1 arbre de 5 ans = 60 m ² de canopée en moyenne à 20 ans)	parcs publics			Y	X					
3.2	Indice de canopée des Espaces de Pleine Terre à 50% hauteur de estimée à une échéance de 20 ans (1 arbre = 60 m ² de canopée en moyenne à 20 ans) (attention plantation à 4 m minimum des façades)	Nouveaux espaces privés									
3.3	30% de la superficie au sol des cheminements végétalisés, horizontalement ou verticalement	Passages, cheminement < 10 m de large			Y			X		Y	
3.4	50% des rives mode doux bordées d'un alignement arboré et arbustif avec un espacement des plantations d'au maximum 7 m et une représentativité des arbres sur au moins 75 % du linéaire concerné NB : choix de ne pas imposer la végétalisation des secteurs ombragés par les bâtiments afin de permettre d'adapter au mieux les plantations là où il y a des besoins ombre / continuité ou autre	Cheminement piéton (hors trottoir) et piste cycle (hors bande cyclable sur chaussée)	Y		Y	X		Y		X	
3.5	100% des points d'arrêt non concernés par des réseaux, plantés d'arbres de haute tige pour garantir la présence d'ombre sur au moins 50% de la superficie concernée (atteinte au bout de 20 ans)	Points d'arrêt de l'ensemble de l'espace public, hors réseaux (Arrêt de bus, point d'attente aux feux, carrefour, bancs, espace de détente sur les places, aire de jeux)					X	Y		Y	
3.6	Au moins 30 % de la superficie ombragée par de la végétation haute (considéré pour un arbre âgé de 20 ans)	Place urbaine d'une superficie > 1 200 m ² (Espace public)					X			Y	
3.7	Expérimenter localement le "sur-arrosage" nocturne de la végétation afin d'intensifier l'évapotranspiration (alimentation par la nappe ou la récupération d'eau)	Ensemble des espaces verts (publics et privés)									
3.8	Albedo des matériaux compris entre 0,25 et 0,3 (éviter éblouissement sur espaces circulés)	Ensemble de l'espace public						X			
3.9	"Indice albedo minimum de pour : - les façades sud et ouest (vérifier la faisabilité en matière de construction) - espace promené.	Nouvelles constructions Espaces privatifs									
3.10	Présence de végétation sur les façades exposées sud des nouveaux bâtiments : grimpantes en pied de façade, terrasse avec jardinière intégrée, terrasse végétalisée avec 20 cm de sol minimum, ...	Nouvelles constructions et réhabilitation									
3.11	80 % toiture végétalisée avec une épaisseur de sol > à 15 cm (compatible pHV)	Nouvelles constructions logements									

Nombre d'axe	Titre d'objectif	Echelle d'application	Choix des espèces d'arbre et de leur disposition dans l'espace public de façon à minimiser l'exposition des habitants aux polluants de l'air	Choix des espèces d'arbre de façon à minimiser l'émission de pollens allergisants et de composés organiques volatils (COV)	Présence visible et régulière de végétation dans l'espace public	Extension de la canopée arborée dans l'espace public	Intégration de l'eau dans l'espace public	Aménagement des surfaces de l'espace public de manière à minimiser l'absorption de la chaleur du soleil	Augmentation du taux de sol en pleine terre et de la continuité des sols	Promotion de la trame verte	Choix d'une population d'arbres capable de résister au changement climatique
3.12	Intégrer avec des lames d'eau sur une superficie minimale de 2,5% des parcs et des places > 3 000 m ²	Parcs et Places urbaines > 3 000 m ² (Espace public)					X				
3.13	Créer des ruptures de continuités du bâti pour éviter la formation de rue canyon (ratio Hauteur / Largeur > 0,5)	Constructions aux abords des voiries avec un trafic > 10 000 véh/j	Y								
3.14	Favoriser les rues dans le sens des vents et éviter les obstacles à l'écoulement de l'air	Ensemble de l'espace public	Y								
3.15	Cour intérieure présentant au moins une ouverture sur un côté	Espaces privatifs - Cour intérieure									
3.16	Réaliser 80% de logements traversants	Immeubles de logements									
3.17	Adapter le positionnement du bâti et sa forme 55 urbaine pour garantir une émergence maximale de dB(A) (seuil OMS) fenêtre ouverte la nuit de 22h à 6h	Immeubles de logements									
3.18	Laisser vide dans le document										
3.19	Limitation de l'exposition au seuil OMS (< à 53 dB(A)) sur au moins 30% de la superficie et limitation à une gêne acoustique modérée (<65 dB(A)) sur le reste de la surface. - organisation de l'espace - mise en place de mobilier urbain écran (banc, jardinière, ...) - éviter les surfaces réfléchissantes uniformes - privilégier les surfaces absorbantes : pleine terre, surface végétalisée, stabilisé	Place / Parc (arrêt prolongé)						Y	Y		
3.20	Limitation de l'exposition à une gêne acoustique modérée (60 à 65 db(A)) sur au moins 50 % de la superficie concernée - mise en place de mobilier urbain écran (banc, jardinière, ...) - éviter les surfaces réfléchissantes uniformes - privilégier les surfaces absorbantes : pleine terre, surface végétalisée, stabilisé	Ensemble des espaces publics promenés						Y	Y		
3.21	Au-dessus du seuil de gêne avérée (65 dB(A)), adaptation du positionnement et de la forme architecturale des bâtiments afin de garantir le bien-être des futurs occupants	Ensemble des bâtiments									
3.22	Végétalisation d'une bande minimale de 1m en bordure de voirie, avec une végétation d'une hauteur de 30 cm pour limiter l'exposition au bruit au-dessus du seuil de gêne avérée (65 dB(A)) et réduire l'exposition aux polluants de l'air.	Espace public circulé, > 10 000 véh / j	X		Y						
3.23	Merlon paysager couplée à une bande végétalisée temporaire (pépinière, forêt productive, ...) permettant 65 d'atteindre un seuil d'exposition maximal de dB(A) aux abords de la rocade	Abord de la Rcade (Boulevard périphérique urbain)									

ii. Table des figures :

Numéro de figure	Titre	Source
1	Le secteur de Grandalpe	Réalisation propre, QGIS
2	Modèle situant l'adaptation vis-à-vis de la résilience, de la mitigation et de la gestion des risques	Morchaine et Robrecht, 2012, p. 5
3	un modèle du « développement climato-résilient »	GIEC, 2022, p. 132
4	Tableau des neuf critères adoptés dans cette étude	Réalisation propre
5	Schéma montrant les trois façons principales dont les arbres aident à réduire la pollution de l'air	Diener et Mudu, 2021, p. 12
6	Schéma illustrant les apports de la végétation pour minimiser la pollution aérienne, selon le ratio d'aspect	Kumar et al., 2019, p. 8
7	Schéma du déplacement de la pollution aérienne routière selon différents types de dispositifs végétaux	Kumar et al., 2019, p. 9
8	Les phénomènes ayant un impact sur la chaleur en ville le jour et la nuit	Leroy et al., 2021, p. 10
9	Les phénomènes ayant un impact sur la chaleur en ville le jour et la nuit	Leroy et al., 2021, p. 11
10	Plan d'aménagement, d'embellissement et d'extension réalisé par Léon Jaussely (1923)	Ville de Grenoble, 2023, https://www.grenoble-patrimoine.fr/element/137/585-la-ville-laboratoire-1925-1968.htm
11	Les cinq secteurs de Grandalpe créés en 2017, avec les zones PNRU en gris foncé	Tarlay, 2021, p. 49
12	Éléments minéraux et végétaux structurants de Grandalpe	Réalisation propre, QGIS, GAM, Ville de Grenoble
13	Une étude sur la chaleur en ville du PCAET de GAM	GAM, 2020, p. 33
14	L'exposition d'une partie de Grenoble, d'Échiroles et d'Eybens aux aléas hydrauliques, technologiques et aux mouvements de terrain	OAP risque et résilience, AURG et GAM, 2019, p. 53
15	Les émissions de particules fines (PM) dans GAM en 2017	PCAET de GAM, GAM, 2020, p. 186
16	Les émissions de dioxyde d'azote dans GAM en 2017	PCAET de GAM, GAM, 2020, p. 187
17	Grandalpe : la part des personnes pauvres	Réalisation propre, INSEE 2017
18	Grandalpe : la part des personnes âgées	Réalisation propre, INSEE 2017
19	Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 1.1	Réalisation propre
20	Schéma des nouveaux alignements d'arbres prévus à Grandalpe	SETIS Groupe Dégaud, 2021, p. 131
21	Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 1.2	Réalisation propre
22	Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 1.3	Réalisation propre
23	Schéma des nouveaux grands espaces verts à aménager dans Grandalpe	SETIS Groupe Dégaud, 2021, p. 102
24	Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 2.1	Réalisation propre
25	Schéma d'intentions pour la création de maillages végétaux dans les trames verte et bleue de Grandalpe	SETIS Groupe Dégaud, 2021, p. 100
26	Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 2.2	Réalisation propre
27	Schéma des lieux de principe de création de mares dans le secteur Grandalpe	SETIS Groupe Dégaud, 2021, p. 101
28	Schéma montrant l'emprise au sol à réserver (vert clair) le long	SETIS Groupe Dégaud, 2021, p. 107

	du cours du Verderet (en bleu)	
29	Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 2.3	Réalisation propre
30	Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 3.1	Réalisation propre
31	Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 3.2	Réalisation propre
32	Schéma synthétisant les réponses des objectifs de la Feuille de route par rapport au critère 3.3	Réalisation propre
33	Le Val d'Eybens dans son contexte administratif et territorial	Réalisation propre, QGIS, 2022
34	Schéma d'aménagement de l'OAP les Saules le Val	GAM et AURG, 2019b, p. 145
35	Plan masse du projet du Val d'Eybens, conçu par SDH-SAFILAF	Ministère de la Transition écologique, 2022, p. 5
36	Les apports bénéfiques des espaces verts dans le projet du Val d'Eybens	Daste, 2022, p. 23
37	Des idées possibles pour l'espace vert central du Val d'Eybens	Daste, 2022, p. 34
38	La marque des quatre étapes du label EcoQuartier, utilisée jusqu'en 2023	Ministère de la Transition écologique, 2023, http://www.ecoquartiers.logement.gouv.fr/demarche/historique/
39	Le chantier du Val d'Eybens en avril, 2023	Propres images, prises le 25 avril, 2023
40	Le chantier du Val d'Eybens en avril, 2023	Propres images, prises le 25 avril, 2023
41	L'emplacement du jardin préservé hors-site et du deuxième grand espace vert prévu	Ministère de la Transition écologique, 2022, p. 5

iii. Table des entretiens :

Numéro d'entretien	Date d'entretien	Thématique principale de l'entretien	Structure de travail	Durée de l'entretien
1	16/02/2023	La qualité de l'air	GAM	34 minutes
2	23/02/2023	Les arbres, la trame verte	GAM	27 minutes
3	24/02/2023	Les arbres, la qualité de l'air	GAM	25 minutes
4	27/02/2023	Grandalpe en général	GAM	59 minutes
5	18/04/2023	Le PPA Grandalpe	DDT 38	31 minutes
6	25/04/2023	Le Val d'Eybens	Ville d'Eybens	59 minutes

Bibliographie :

- Ademe. (2022, juin 26). *PCAET et démarche Territoire Engagé Transition Ecologique (CLIMAT – AIR – ÉNERGIE), un duo gagnant*. Transition écologique. <https://territoireengagetransitionecologique.ademe.fr/pcaet-quest-ce-que-cest/#1>
- Amani-Beni, M., Zhang, B., Xie, G., & Xu, J. (2018). Impact of urban park's tree, grass and waterbody on microclimate in hot summer days : A case study of Olympic Park in Beijing, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 32, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.016>
- Ara Begum, R., R. Lempert, E. Ali, T.A. Benjaminsen, T. Bernauer, W. Cramer, X. Cui, K. Mach, G. Nagy, N.C. Stenseth, R. Sukumar, and P. Wester. (2022). 2022 : Point of Departure and Key Concepts. In *Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 121-196). Cambridge University Press.
- Aronson, M. F., Lepczyk, C. A., Evans, K. L., Goddard, M. A., Lerman, S. B., MacIvor, J. S., Nilon, C. H., & Vargo, T. (2017). Biodiversity in the city : Key challenges for urban green space management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(4), 189-196. <https://doi.org/10.1002/fee.1480>
- Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. (2022). *Carte Stratégique Air de Grenoble-Alpes Métropole*.
- Balzan, M. V., Zulian, G., Maes, J., & Borg, M. (2021). Assessing urban ecosystem services to prioritise nature-based solutions in a high-density urban area. *Nature-Based Solutions*, 1, 100007. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2021.100007>
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity : Biodiversity and climate change. *Ecology Letters*, 15(4), 365-377. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x>
- Birkner, N., & Mix, Y.-G. (2014). Qu'est-ce que l'espace public ? : Histoire du mot et du concept. *Dix-huitième siècle*, n° 46(1), 285-307. <https://doi.org/10.3917/dhs.046.0285>
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities : A Cerema. (2022a). *L'arbre, l'essence de systematic review of the empirical evidence. Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006> la ville : L'outil sésame pour faire les bons choix. Cerema. <https://www.calameo.com/read/00429252891c255b889bb?authid=10j5MwLjgFsk>
- Cerema. (2022b). *Solutions d'adaptation fondées sur la Nature : Des indicateurs pour le suivi des projets*. Dans les territoires. <https://www.cerema.fr/fr/actualites/solutions-adaptation-fondees-nature-indicateurs-suivi>
- Charles Ambrosino. (2022). *La Métropole Géographique et ses Urbanismes : Grenoble ou l'art (oublié) d'habiter la plaine*. Autrement.
- Churkina, G., Kuik, F., Bonn, B., Lauer, A., Grote, R., Tomiak, K., & Butler, T. M. (2017). Effect of VOC Emissions from Vegetation on Air Quality in Berlin during a Heatwave. *Environmental Science & Technology*, 51(11), 6120-6130. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06514>
- Cocquière, Alexandra & Cornet, Nicolas. (2021). La pleine terre : Nécessité d'une définition partagée dans les PLU. *Note Rapide de l'Institut Paris Région*, 884, 6.
- Comité français de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature. (2016). *Les solutions fondées sur la nature*. UICN : comité français. <https://uicn.fr/solutions-fondees-sur-la-nature/>
- Commission EcoQuartier : *Présentation de la synthèse d'expertise*. (2022, octobre 27). Commission régionale EcoQuartier, Grenoble.
- Daniel Morchain & Holger Robrecht. (2012). *Background paper for The Council of Europe's report on resilient cities*. LCLEI - Local Governments for Sustainability, European Secretariat.
- Daste, A. (2022, octobre 27). *Ecoquartier du Val : Visite des experts—1er septembre 2022*. Commission régionale EcoQuartier, Grenoble.
- Davis, M. B., & Shaw, R. G. (2001). Range Shifts and Adaptive Responses to Quaternary Climate Change. *Science*, 292(5517), 673-679. <https://doi.org/10.1126/science.292.5517.673>
- De Munck, C. (2013). *Modélisation de la végétation urbaine et stratégies d'adaptation pour l'amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville*. université de Toulouse.
- DELLINGER, F., & MORONNOZ, T. (2020). L'eau pluviale dans la rénovation de nos cités, étude de cas : L'Arlequin de la Villeneuve à Grenoble. *T.S.M. Techniques Sciences Méthodes, Génie Urbain Génie Rural*, 3, 71-77.
- Diener, A., & Mudu, P. (2021). How can vegetation protect us from air pollution? A critical review on green spaces' mitigation abilities for air-borne particles from a public health perspective - with implications for urban planning. *Science of The Total Environment*, 796, 148605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148605>
- Direction départementale des territoires de l'Isère. (2021). *Projet partenarial d'aménagement (PPA) GRANDALPE*.

- Direction départementale des territoires de l'Isère. (2022). *Note de contexte territorial relatif à la candidature du quartier du Val d'Eybens à l'étape 2 du label EcoQuartier*.
- Emmanuelle Valette & Erwan Cordeau. (2011). *Les îlots de chaleur urbains. Répertoire de fiches connaissance*.
- ENS de Lyon. (2023). *Mobilités douces, modes doux, transport faiblement carboné*. Ressources de géographie pour les enseignants. <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/mobilites-douces-modes-doux-transport-faiblement-carbone>
- Filazzola, A., Shrestha, N., & MacIvor, J. S. (2019). *The contribution of constructed green infrastructure to urban biodiversity : A synthesis and meta-analysis*.
- Flore Vigneron. (2022). *La pleine terre, une notion à préciser dans la planification*. Cerema.
- Frank Santamour. (1990). *Trees for Urban Planting : Diversity, Uniformity, and Common Sense*. Metropolitan Tree Improvement Alliance (METRIA), Lisle, Illinois.
- Freer-Smith, P. H., Beckett, K. P., & Taylor, G. (2005). Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides* × *trichocarpa* 'Beaupré', *Pinus nigra* and × *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. *Environmental Pollution*, 133(1), 157-167. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.03.031>
- Grenoble Alpes Métropole. (2020). *Plan climat air énergie territorial (PCAET) Grenoble-Alpes Métropole Diagnostic territorial*.
- Grenoble-Alpes Métropole. (2022). *Plan canopée Végétaliser nos villes à l'heure du dérèglement climatique*. Grenoble Alpes Métropole.
- Grenoble-Alpes Métropole & Agence d'urbanisme de la région grenobloise. (2019a). *PLUI : Orientations d'Aménagement et de Programmation Paysage & Biodiversité : Carnet de Paysage, Confluence grenobloise*. Grenoble-Alpes Métropole.
- Grenoble-Alpes Métropole & Agence d'urbanisme de la région grenobloise. (2019b). *PLUI : Orientations d'Aménagement et de Programmation sectorielles volume 1—Communes de Bresson à Grenoble*.
- Grenoble-Alpes Métropole & Agence d'urbanisme de la région grenobloise. (2019c). *PLUI : Orientations d'Aménagement et de Programmation Risques et résilience*. Grenoble-Alpes Métropole.
- Grenoble-Alpes Métropole & Agence d'urbanisme de la région grenobloise. (2019d). *PLUI : Orientations d'Aménagement et de Programmation Qualité de l'air*. Grenoble-Alpes Métropole.
- Hansen, R., & Pauleit, S. (2014). From Multifunctionality to Multiple Ecosystem Services? A Conceptual Framework for Multifunctionality in Green Infrastructure Planning for Urban Areas. *AMBIO*, 43(4), 516-529. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0510-2>
- Hillel, D. (2008). *Soil in the environment : Crucible of terrestrial life*. Elsevier/Academic Press. <https://unr-rascholarvox-com.sid2nomade-2.grenet.fr/reader/docid/41001525/page/4>
- H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösche, V. Möller, A. Okem (Éd.). (2022). 2022 : Summary for Policymakers. In *Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 3-33). Cambridge University Press.
- Hope Stewart, Sur Owen, Rossa Donovan, Rob Mackenzie, & Nick Hewitt. (2002). *Trees and Sustainable Urban Air Quality*. University of Lancaster.
- Institut national de la statistique et des études économiques. (2016). *Insee [Gouvernement]. Développement durable*. <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1644>
- Institut national de la statistique et des études économiques. (2020). *Tableaux de l'économie française : Version 2020*. Insee : Institut national de la statistique et des études économiques. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4277619?sommaire=4318291>
- Institut national de la statistique et des études économiques. (2022, mars 23). *Revenus, pauvreté et niveau de vie en 2017—Données carryées*. Insee : Institut national de la statistique et des études économiques. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/6215138?sommaire=6215217>
- Iverson, L. R., & McKenzie, D. (2013). Tree-species range shifts in a changing climate : Detecting, modeling, assisting. *Landscape Ecology*, 28(5), 879-889. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9885-x>
- Jacobs, J. (1992). *The death and life of great American cities* (Vintage Books ed). Vintage Books.
- James, P., Hart, J. E., Banay, R. F., & Laden, F. (2016). Exposure to Greenness and Mortality in a Nationwide Prospective Cohort Study of Women. *Environmental Health Perspectives*, 124(9), 1344-1352. <https://doi.org/10.1289/ehp.1510363>
- Kelman, I. (2018). Lost for Words Amongst Disaster Risk Science Vocabulary? *International Journal of Disaster Risk Science*, 9(3), 281-291. <https://doi.org/10.1007/s13753-018-0188-3>
- Klein, O., & Bercault, F. (2022). *La démarche ÉcoQuartier, qui est au cœur de la ville et au cœur de la vie de nos concitoyens, doit nous permettre d'accélérer la transition environnementale*.
- Kumar, P., Abhijith Kooloth Valappil, & Yendle Barwise. (2019). *Implementing Green Infrastructure for Air Pollution Abatement : General Recommendations for Management and Plant Species Selection*. 1930065 Bytes. <https://doi.org/10.6084/M9.FIGSHARE.8198261.V4>

- Larousse. (2023). *Larousse : Écosystème*. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/%C3%A9cosyst%C3%A8me/27682>
- LCLEI - Local Governments for Sustainability, European Secretariat. (2020). *EUROPEAN RESILIENCE MANAGEMENT GUIDELINE*.
- Litschke, T., & Kuttler, W. (2008). On the reduction of urban particle concentration by vegetation a review. *Meteorologische Zeitschrift*, 17(3), 229-240. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2008/0284>
- Marie LEROY, Héloïse MARIE, Karine LAPRAY, Marjorie MUSY, Auline RODLER, Sihem GUERNOUTI. (2021). *Rafraîchir les villes : Des solutions variées*. ADEME Editions.
- McDonald, R. I., Aronson, M. F. J., Beatley, T., Beller, E., Bazo, M., Grossinger, R., Jessup, K., Mansur, A. V., Puppim de Oliveira, J. A., Panlasigui, S., Burg, J., Pevzner, N., Shanahan, D., Stoneburner, L., Rudd, A., & Spotswood, E. (2023). Denser and greener cities : Green interventions to achieve both urban density and nature. *People and Nature*, pan3.10423. <https://doi.org/10.1002/pan3.10423>
- Choay, F., & Merlin, P. (1988). *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*. PUF.
- Ministère de la Transition écologique. (2023). *Le Label*. Démarche EcoQuartier. <http://www.ecoquartiers.logement.gouv.fr/le-label/>
- Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires. (2023, mai). *Les contrats de projets partenarial d'aménagement et les grandes opérations d'urbanisme*. Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires. <https://www.ecologie.gouv.fr/contrats-projets-partenarial-damenagement-et-grandes-operations-durbanisme>
- Murakawa, S., Sekine, T., Narita, K., & Nishina, D. (1991). Study of the effects of a river on the thermal environment in an urban area. *Energy and Buildings*, 16(3-4), 993-1001. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(91\)90094-J](https://doi.org/10.1016/0378-7788(91)90094-J)
- National Aeronautics and Space Administration. (2020, décembre 28). *Volatile Trees*. Earth Data Open Access for Open Science. <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/sensing-our-planet/volatile-trees>
- Office français de la biodiversité. (2023). *Qu'est-ce que la biodiversité ?* <https://www.ofb.gouv.fr/quest-ce-que-la-biodiversite>
- Office national des forêts. (2023). *Le pouvoir des arbres : L'évapotranspiration*. Vivre la forêt. <https://www.onf.fr/vivre-la-foret/+/14a1::le-pouvoir-des-arbres-levapotranspiration.html>
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. (2023). *Services Écosystémiques & Biodiversité*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. <https://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/fr/>
- Organisation mondiale de la Santé. (2023). *Constitution* [ONG]. Organisation mondiale de la Santé. <https://www.who.int/fr/about/governance/constitution>
- Piris, L. (2020). *L'urbanisme négocié à l'œuvre dans les grands projets urbains : Le cas du projet Grandalpe—Grenoble-Alpes-métropole*.
- Prevedello, J. A., Almeida-Gomes, M., & Lindenmayer, D. B. (2018). The importance of scattered trees for biodiversity conservation : A global meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 55(1), 205-214. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12943>
- Pui Kuen Amos, T. (2012). *Impact of Climate Change on Fine Particulate Matter ((PM_{2.5})) Air Quality*. Harvard University.
- Ramírez-Agudelo, N. A., Badia, M., Villares, M., & Roca, E. (2022). Assessing the benefits of nature-based solutions in the Barcelona metropolitan area based on citizen perceptions. *Nature-Based Solutions*, 2, 100021. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100021>
- Réseau national de surveillance aérobiologique. (2023). *Principaux pollens allergisants*. Les Pollens. <https://pollens.fr/le-reseau/les-pollens>
- Robert-Boeuf, C., & Essers, J. (2021). Habiter la nature en métropole : Une hybridation ville-campagne par le jardin. *Développement durable et territoires*, Vol. 12, n°2. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.18115>
- Santé Publique France. (2019). *Qu'est-ce que la pollution de l'air ?* <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/articles/qu-est-ce-que-la-pollution-de-l-air>
- Saulnier, D. D., Dixit, A. M., & Nunes, A. R. (2020). Disaster risk factors – hazards, exposure and vulnerability. In *WHO Guidance on Research Methods for Health and Disaster Risk Management* (p. 151-163). Organisation mondiale de la Santé. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345591>
- SETIS Groupe Dégaud. (2021). *Grandalpe projet de territoires métropolitain : Feuille de route environnementale*. Grenoble-Alpes Métropole.
- Shanahan, D. F., Fuller, R. A., Bush, R., Lin, B. B., & Gaston, K. J. (2015). The Health Benefits of Urban Nature : How Much Do We Need? *BioScience*, 65(5), 476-485. <https://doi.org/10.1093/biosci/biv032>
- Sousa-Silva, R., Smargiassi, A., Kneeshaw, D., Dupras, J., Zinszer, K., & Paquette, A. (2021). Strong variations in urban allergenicity riskscape due to poor knowledge of tree pollen allergenic potential. *Scientific Reports*, 11(1), 10196. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89353-7>
- Sowińska-Świerkosz, B., & García, J. (2022). What are Nature-based solutions (NBS) ? Setting core ideas for concept clarification. *Nature-Based Solutions*, 2, 100009-.

- Synnefa, A., Karlessi, T., Gaitani, N., Santamouris, M., Assimakopoulos, D. N., & Papakatsikas, C. (2011). Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate. *Building and Environment*, 46(1), 38-44. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.06.014>
- Tarlay, M. (2021). *Quand la Métropole veut `` faire la ville autrement `` : Enjeux de légitimité autour de l'exemple de Grandalpe*. Université Grenoble Alpes.
- Taylor, L., & Hochuli, D. F. (2017). Defining greenspace : Multiple uses across multiple disciplines. *Landscape and Urban Planning*, 158, 25-38. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.09.024>
- UNDRR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction). (2023). *UNDRR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction)*. Terminology. <https://www.undrr.org/terminology>
- UN-Habitat. (2016). *Charte de l'espace public*.
- United States Environmental Protection Agency. (2022, juin). *Ground-level Ozone Basics*. EPA United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ground-level-ozone-basics#formation>
- Vittoria Traverso. (2020, mai 5). *The best trees to reduce air pollution*. BBC Future Planet. <https://www.bbc.com/future/article/20200504-which-trees-reduce-air-pollution-best>
- WZ et Associés. (2019). *Projet Centralité Sud : Bilan de la Concertation*. Grenoble-Alpes Métropole.
- Yang, J., Chang, Y., & Yan, P. (2015). Ranking the suitability of common urban tree species for controlling PM2.5 pollution. *Atmospheric Pollution Research*, 6(2), 267-277. <https://doi.org/10.5094/APR.2015.031>