



HAL
open science

Arborer la ville : assurer une place plus durable aux arbres pour répondre aux enjeux sociaux et climatiques actuels

Anaïs Meilleur

► To cite this version:

Anaïs Meilleur. Arborer la ville : assurer une place plus durable aux arbres pour répondre aux enjeux sociaux et climatiques actuels. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-02971113

HAL Id: dumas-02971113

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02971113>

Submitted on 19 Oct 2020

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.

AGROCAMPUS OUEST

CFR Angers CFR Rennes

Année universitaire : 2019 - 2020

Spécialité/Mention :

Horticulture

Spécialisation/Parcours :

Ingénierie des Espaces Végétalisés
Urbains option Gestion Durable de
Espaces Végétalisés Urbains

Mémoire de fin d'études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et dupaysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Arborer la ville : assurer une place plus durable aux arbres pour répondre aux enjeux sociaux et climatiques actuels

Par : Anaïs MEILLEUR

Soutenu à Angers le 24 septembre 2020

Devant le jury composé de :

Président : Gilles Galopin

Maître de stage : Anne-Sophie Mellet-Breton

Enseignant référent : Marie-Reine Fleisch

Autres membres du jury (Nom, Qualité) :

Thierry Browaey, directeur général des
Pépinières La Forêt

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation
« Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France »
disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



Remerciements

Tout d'abord, je remercie chaleureusement ma maitre de stage, Anne-Sophie Mellet-Breton, qui m'a accompagnée et guidée pendant toute la durée de mon stage. Un grand merci à Juliette Babin, pour ses relectures et ses conseils. Merci à l'ensemble du personnel de l'Alliance de m'avoir accueillie dans leurs locaux, au sein d'une équipe sympathique et dynamique.

Ensuite, je remercie tous les professeurs d'Agrocampus Ouest Angers pour leurs enseignements et leur disponibilité, et tout particulièrement mes deux professeurs référents : Marie-Reine Fleisch (APT Nancy) et Gilles Galopin, qui m'ont suivie durant ma cinquième année et mon stage. Merci à Agrocampus Ouest de manière générale, pour les connaissances et les compétences acquises autant durant ma formation que lors de projets associatifs : vie étudiante, ExpoFlo, stages à l'étranger, ERASMUS, IDP, que cela dure et perdure pour les promotions à venir.

Enfin, merci aux professionnels qui ont accepté de partager leurs expériences lors des entretiens menés pendant mon stage, merci d'avoir pris le temps de répondre à mes questions. Ce stage a confirmé et renforcé mon envie de travailler avec les arbres en ville et d'œuvrer à la protection et au développement du patrimoine arboré des collectivités. Merci à toutes les personnes, qui de près ou de loin, ont participé à la construction de ce projet.

Également, un remerciement à Guillaume pour sa relecture d'un œil peu averti mais très constructive.

Liste des figures

Figure 1 : Localisation de Grenoble. (M. Allagnat, 2017)	2
Figure 2 : Densité démographique en 2015. (A. Meilleur d'après Analyse des besoins sociaux 2014 et Analyse des besoins sociaux 2018-2019, CCAS Grenoble)	4
Figure 3 : Zone de 300m autour de chaque parcs et jardins publics de Grenoble. (A. Meilleur d'après SEV Grenoble, 2020).....	5
Figure 4 : Répartition des genres composant le patrimoine arboré grenoblois. (A. Meilleur d'après SEV Grenoble, 2020).....	6
Figure 5 : Dommages fait aux troncs d'arbres a) vandalisme canin b) vélo attaché au tronc pouvant le blesser c) dommage racinaire causé par le choc d'une voiture. Photos : JF. Lafond	9
Figure 6 : Profil de recirculation des polluants dans une rue canyon. (Bruxelles environnement, 2017) 9	
Figure 7 : Exemple d'analyse utilisant les données de l'outil de visualisation des enjeux liés à l'arbre à l'échelle d'un secteur (A. Meilleur d'après SEV Ville de Grenoble, 2020)	13
Figure 8 : Organigramme hiérarchique des personnes interrogées lors de la première phase d'entretien. (A. Meilleur, 2020)	14
Figure 9 : Principales étapes de la méthodologie appliquée pour la collecte d'informations. (A. Meilleur, 2020).....	16
Figure 10 : Succession des sous-étapes de la phase de conception. (A. Meilleur, 2020 d'après CCTP marché public de maîtrise d'œuvre, 2020)	17
Figure 11 : Succession des sous-étapes de la phase de chantier. (A. Meilleur d'après Livret B, Ville de Grenoble, 2009 ; Charte de l'arbre, Grenoble Alpes Métropole, 2019 ; communications personnelles lors des entretiens)	18
Figure 12 Succession des sous-étapes de la phase de réception. (A. Meilleur d'après Fascicule 35 du CCTG, 1999 ; Charte de l'arbre, Grenoble Alpes Métropole, 2019 ; communications personnelles lors des entretiens).....	21
Figure 13 : Evolution du diamètre de branche de Micocoulier et Tilleul en fonction du temps mesuré par PépiPIAF. (Améglio, 2015)	27
Figure 14 : Pavé non sellé au pied d'un platane rue Garibaldi à Lyon. (Photo : A. Meilleur)	33
Figure 15 : Microdendromètre installé sur une charpentière de platane, rue Garibaldi, Lyon. (Photo : A. Meilleur)	36
Figure 16 : Evolution du diamètre de branche d'un pêcher irrigué (bleu) et non irrigué (rouge) en fonction du temps mesuré par PépiPIAF. Les « vaguelettes » représentent les variations de diamètre journalières, plus l'arbre puise dans ses réserves plus les amplitudes journalières sont grandes. Sur l'ensemble du mois de juillet, la branche du pêcher irrigué a gagné +1500µm. (Améglio, 2015)	37
Figure 17 : Evolution du diamètre de branche de platane en fonction du temps mesuré par PépiPIAF (Améglio, 2015)	37

Liste des tableaux

Tableau 1 : Le climat à Grenoble entre 2020 et 2050. (A. Meilleur d'après Ville de Grenoble 2018)....	3
Tableau 2 : SWOT du mélange terre-pierres à Grenoble (A. Meilleur)	20

Liste des annexes

Annexe I : La commune de Grenoble au sein de Grenoble Alpes Métropole (Source : lamétro.fr)

Annexe II : Diagramme ombrothermique de Grenoble, moyenne entre 1982 et 2012 (Source : climate-data.org)

Annexe III : Médiane de revenu disponible annuel des ménages par unité de consommation en 2014 (Source : CCAS Ville de Grenoble, 2019)

Annexe IV : Part d'actifs cadre (15-64 ans) dans la population en 2015 (Source : CCAS Ville de Grenoble, 2019)

Annexe V : Taux de chômage de la population active (15-64 ans) en 2015 (Source : CCAS Ville de Grenoble, 2019)

Annexe VI : Taille de logement majoritaire (Source : CCAS Ville de Grenoble, 2019)

Annexe VII : Typologie majoritaire des ménages (Source : CCAS Ville de Grenoble, 2019)

Annexe VIII : Locataires du parc HLM. (Source : CCAS Ville de Grenoble, 2019)

Annexe IX : Localisation des sites labélisés EcoJardin et des autres espaces verts publics de la Ville de Grenoble (Source : SEV Ville de Grenoble, 2020)

Annexe X : Superficie d'espaces verts par habitant en 2019 (Source : SEV Ville de Grenoble, 2020)

Annexe XI : Répartition du patrimoine arboré par date de plantation (A. Meilleur d'après SEV Grenoble, 2020)

Annexe XII : Solde du nombre d'arbres dans la ville de Grenoble depuis 2014 (Source : SEV Ville de Grenoble, 2019)

Annexe XIII : Concentration moyenne en dioxyde d'azote dans l'air en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en 2018, à Grenoble (Source : www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/fiche-carte/exposition-la-pollution-atmospherique-en-2018)

Annexe XIV : Conséquences directes des fortes chaleurs sur la santé (Source : CCAS Ville de Grenoble, 2019)

Annexe XV : Les rayonnements en milieu urbain (Source : DUBOIS, 2014)

Annexe XVI : Questionnaire utilisé lors des entretiens

Annexe XVII : Répartition des personnes interrogées lors de la deuxième phase d'entretien (A. Meilleur, 2020)

Annexe XVIII : Taille de fosse préconisée par le Livret B de la Ville de Grenoble ou par la Charte de l'arbre de Grenoble Alpes Métropole (A. Meilleur d'après Charte de l'arbre de Grenoble Alpes Métropole, 2019)

Annexe XIX : Frise chronologique du déroulement du parachèvement et du confortement (A. Meilleur d'après Q. De Neeff, communication personnelle)

Annexe XX : Réponses des collectivités interrogées à deux questions concernant l'adaptation de la palette végétale aux changements climatiques

Annexe XXI : Bacs semi-enterrés

Annexe XXII : Jardin de pluie

Annexe XXIII : Chaussée à structure réservoir (Source : Lille Métropole, 2012)

Annexe XXIV : Revêtement perméable

Annexe XXV : Illustrations du projet de réaménagement de la rue Garibaldi à Lyon (Source : F. Ségur, 2018)

Liste des abréviations

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

BEVA : Barème d'Evaluation de la Valeur des Arbres

BED : Barème d'Evaluation des Dégâts causés aux arbres

BRF : Bois Raméal Fragmenté

CAUE : Conseil Architecture Urbanisme Environnement

CCAS : Centre Communal d'Action Sociale

HLM : Habitation à Loyer Modéré

ICU : Ilot de Chaleur Urbain

LCZ : Local Climate Zone (unité urbaine climatique)

OAD : Outil d'Aide à la Décision

OAP : Orientation d'Aménagement et de Programmation

OPR : Opérations Préalables à la Réception

PADD : Projet d'Aménagement et de Développement Durable

PLU : Plan Local d'Urbanisme

PLUi : Plan Local d'Urbanisme intercommunal

PPI : Plan Pluriannuel d'Investissement

SEV : Service des Espaces Verts

SVF : Sky View Factor

VIE : Valeur Intégrale Evaluée de l'Arbre

ZAC : Zone d'Aménagement Concerté

Glossaire

Age ontogénique : correspond à la phase de développement de l'arbre (juvénile, mature, sénéscent) (Atger, Genoyer 2017)

Albédo : Fraction de l'énergie de rayonnement incidente qui est réfléchie ou diffusée par un corps, une surface ou un milieu. (www.larousse.fr) Il est compris entre 0 et 1, le goudron ayant un albédo de 0 et la neige, un albédo de 1.

Buffer : Tampon en anglais, désigne dans ce document la zone tampon ou d'influence d'un espace vert.

Echaudure : Nécrose corticale orientée caractérisée par un éclatement vertical de l'écorce. En pépinière, par réaction au rayonnement solaire, l'arbre produit une écorce plus épaisse sur son côté sud, sud-ouest. Si une autre face devient anormalement exposée après transplantation, l'écorce peut fendre plus facilement. Ce phénomène est aggravé par la réflexion des rayons lumineux sur les sols imperméabilisés, les façades et autres surfaces minérales.

Endomycorhizien : Relatif à un champignon entrant en symbiose interne avec des espèces végétales (www.universalis.fr).

Force : Circonférence, en centimètre, du tronc d'un arbre à 1,50m du sol.

Livret B : Cahier des charges du Service des Espaces Verts de la Ville de Grenoble relatif aux arbres.

Mycorhization : Mise en contact de champignons symbiotique avec les racines d'un végétal.

Plomber : Arroser d'une très grande quantité d'eau après une plantation de sorte à ce que les particules de terre collent à la motte. Cela évite aussi la formation de trous d'air [16].

Résilience : Capacité d'un système à faire face à une perturbation de manière à retrouver ses fonctions et un état d'équilibre dynamique (Leroy 2019)

Sky View Factor : Indique la partie du ciel visible depuis un point d'observation.

Tensiométrie : Suivi du potentiel hydrique d'un sol pour déterminer les besoins en arrosage d'une culture ou d'un végétal.

Avant-propos

J'ai eu la chance de faire mon stage de fin d'études au sein du Service des Espaces Verts de la Ville de Grenoble. Ce service profite d'un historique riche puisque créé en 1827, sous le nom de « Service des Promenades et Jardins ». Aujourd'hui, il est divisé en trois unités : l'unité Arbres, Prospective et Développement Local, l'unité Entretien des Parcs et l'unité Administrative et technique. Au total, cela représente 200 agents dont 130 jardiniers en charge de l'entretien des parcs et jardins de la ville.

A noter dans l'organisation du service, l'existence d'un pôle intégré de maîtrise d'ouvrage des espaces verts et des plantations d'arbres ainsi qu'une production en régie des 300 000 annuelles et bisannuelles nécessaires au fleurissement des massifs sont produites par le Centre Horticole municipal.

L'entretien du patrimoine arboré est assuré par le service commun de l'arbre, créé suite à la métropolisation en 2015. Cela signifie que, pour la commune de Grenoble, l'ensemble des arbres qu'ils appartiennent à la Ville (parcs et jardins) ou à la Métropole (arbres de voirie) sont gérés par les agents de la Ville. Deux équipes sont dédiées à l'entretien des arbres : l'équipe jeunes arbres (10 agents) et l'équipe élagage (9 agents).

Ce mémoire de fin d'études vient finaliser ma formation d'ingénieur en Horticulture, spécialisation Ingénierie des Espaces Végétalisés Urbains. J'ai travaillé à la définition d'un outil cartographique de superposition des enjeux concernant l'arbre afin de poser les bases du volet canopée préalable à la mise en place d'une étude sur la stratégie de végétalisation de la ville de Grenoble, la finalité étant de visualiser plus précisément les zones à arborer afin d'orienter les planifications d'aménagement. En parallèle, ce stage visait à observer et à proposer un diagnostic des pratiques actuelles du processus de plantation des arbres, phase déterminante dans l'augmentation des effectifs d'arbres urbains. Ce processus englobe les étapes clés référencées notamment au fascicule 35 du Cahier des clauses techniques générales, et précédées des phases de planification. Pour cette partie du stage, l'objectif était de dégager et de traiter quelques pistes d'amélioration en accord avec les exigences de durabilité.

Table des matières

Table des matières	1
Introduction	1
1. Grenoble à toutes les échelles	2
1.1. Grenoble la capitale des Alpes : une ville au cœur des montagnes	2
1.1.1. Géographie et territoire	2
1.1.2. Climat actuel et évolution	2
1.2. La ville de Grenoble : comprendre ses enjeux sociaux et environnementaux	3
1.2.1. La population grenobloise : une opposition nord-sud	3
1.2.2. L'offre en espaces verts : des grands parcs et une répartition hétérogène	4
1.2.3. Le patrimoine arboré grenoblois : un enjeu politique et environnemental	5
1.3. Les contraintes du milieu urbain : causes et conséquences	6
1.3.1. Enjeux de chaleur et de pollution	6
1.3.2. La ville : un milieu peu favorable au développement des arbres	8
1.4. Quelles solutions les arbres peuvent-ils apporter ?	11
1.4.1. Les services écosystémiques des arbres en ville	11
1.4.2. Définition d'un outil de visualisation spatiale des enjeux et des potentialités de densification et de renouvellement du patrimoine arboré	12
2. Choix méthodologique : les entretiens	13
2.1. Objectifs et déroulement des entretiens	14
2.2. Résumé du cheminement méthodologique	15
3. Comment optimiser les rôles des arbres à Grenoble ?	16
3.1. Identification et analyse des étapes clef d'une plantation à Grenoble	16
3.2. Adaptation de la palette végétale au dérèglement climatique	24
3.2.1. Etat des lieux des outils d'aide à la décision (OAD)	24
3.2.2. Adapter les caractéristiques des plants	25
3.2.3. La diversification pour plus de résilience	26
3.3. Mélange terre-pierres, améliorations et alternatives	28
3.3.1. Amélioration et alternative de la phase terre	28
3.3.2. Améliorations et alternatives de la phase pierre	31
3.4. Gestion et récupération des eaux de pluie	32
3.4.1. Quelques exemples d'aménagements	32
3.4.2. Un exemple concret et complet : la rue Garibaldi à Lyon	34
3.5. Formaliser l'évaluation de la reprise	34
3.5.1. L'évaluation « manuelle » de la reprise	35
3.5.2. Mesurer la reprise par prise de données automatisée	36
3.6. Optimisation des outils réglementaires et de cadrage	38
3.6.1. Les outils du Plan Local d'Urbanisme	38

3.6.2.	Les outils de la charte de l'arbre et le cahier des charges	38
3.6.3.	Le cas des Zones d'Aménagement Concerté.....	39
3.6.4.	Les méthodes de calcul de la valeur des arbres.....	39
	Conclusion	41
	Bibliographie	42
	Sitographie.....	45

Introduction

Il est désormais acquis que les activités anthropiques constituent l'origine des dérèglements climatiques dont la planète subit les conséquences. Face à ce constat, il est urgent d'interroger nos manières d'aménager les espaces dans tous les domaines et à toutes les échelles. Le changement climatique est un phénomène global aux conséquences également locales. Les villes sont des milieux particulièrement sensibles qui accentuent les perturbations climatiques par la pollution atmosphérique, la déperdition de chaleur des bâtiments, la climatisation, les transports, la restitution de la chaleur emmagasinée par les surfaces minérales qui amplifient l'augmentation des températures de l'air ; Et par des pratiques aggravantes telles que l'imperméabilisation des surfaces qui accroît les risques d'inondation (Gillig & al. 2008). Les aménageurs et les décideurs doivent permettre aux villes de limiter ces impacts et de s'adapter aux changements climatiques.

Par ailleurs, et recoupant ces enjeux, les citoyens et les autres usagers souhaitent des villes agréables à vivre, offrant des espaces de nature et de fraîcheur.

Aussi, un levier d'action important apparaît dans l'intégration de la végétation en milieu urbain et tout particulièrement des arbres. Pour agir concrètement, il devient incontournable pour les villes de se doter d'une nouvelle stratégie de végétalisation.

De tout temps, on attribue aux arbres de nombreux services qui sont maintenant de plus en plus démontrés scientifiquement. Les arbres, êtres vivants des forêts et des campagnes deviennent utiles aussi dans les villes, milieux minéraux et en perpétuelle transformation. De ce fait, lorsque l'on veut allier la ville et les arbres, il faut d'abord considérer un paradoxe : la ville a besoin d'un bénéfice immédiat alors que les arbres remplissent leurs services écosystémiques au bout de plusieurs dizaines d'années. Comment, alors, concilier ces deux échelles de temps ?

Actuellement la durée de vie moyenne d'un arbre en ville est estimée entre 19 et 29 ans (Roman, Scatena 2011). Le manque d'anticipation de l'aménagement urbain, la dispersion des paramètres de planification et des acteurs, la manière dont les espaces plantés sont conçus ne sont pas toujours en adéquation avec les besoins et les contraintes du milieu urbain. C'est pourquoi, la volonté d'augmenter le nombre d'arbres en ville ne suffit pas, il faut le faire de manière réfléchie et vertueuse. D'où la problématique suivante : **dans quelle mesure assurer une place plus durable aux arbres pour répondre aux enjeux sociaux et climatiques actuels ?**

Le concept de durabilité se définit par deux idées : d'une part assurer et augmenter la pérennité dans le milieu urbain des arbres plantés, d'autre part, agir de manière à avoir le moins d'impact possible sur l'environnement, et donc dans le cas de l'arbre, de minimiser la consommation d'eau, de terre végétale et les opérations d'entretien.

Pour participer à la réponse aux problématiques climatiques et sociales urbaines, la Ville de Grenoble élabore sa nouvelle stratégie de végétalisation qui comporte un volet de développement de la canopée arborée. Celle-ci se matérialise par trois plans : le plan d'intensification, le plan de renouvellement et le plan de gestion et de maintien du patrimoine arboré.

Dans un premier temps nous étudierons le contexte grenoblois et les enjeux qui y sont rattachés. Dans un deuxième temps nous détaillerons la méthodologie suivie pour rassembler des informations concrètes servant de base à l'analyse qui, dans un troisième temps, nous présenterons un diagnostic des pratiques actuelles et des pistes de réflexion pour améliorer ces pratiques.

1. Grenoble à toutes les échelles

1.1. Grenoble la capitale des Alpes : une ville au cœur des montagnes

1.1.1. Géographie et territoire

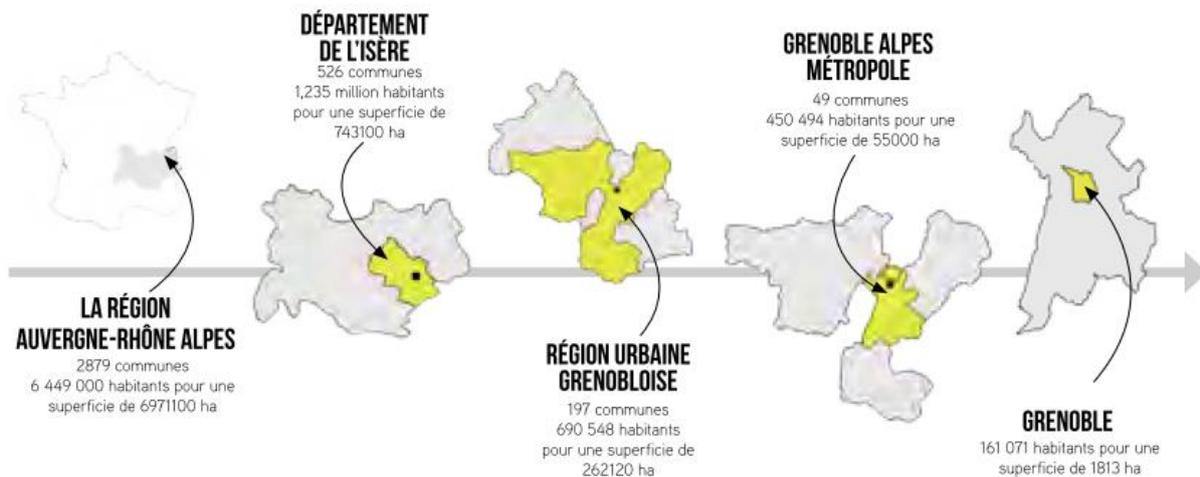


Figure 1 : Localisation de Grenoble. (M. Allagnat, 2017)

La vallée grenobloise se trouve dans le département de l'Isère (38), 10ème département le plus grand de France avec une superficie de 7 431km². L'Isère compte 1,2 million d'habitants dont un tiers réside dans la Métropole grenobloise [3] (Figure 1). La métropole créée en 2015 sous le nom de *Grenoble Alpes Métropole*, rassemble les 49 commune de la vallée dont Grenoble est la commune centre (Annexe I).

Grenoble s'est construite à la confluence du Drac et de l'Isère, au croisement de deux massifs calcaires, le Massif de la Chartreuse et le Massif du Vercors, et d'un massif cristallin, le Massif de Belledonne. La ville se situe entre 204 et 225 mètres d'altitude (sans compter la Bastille surplombant la ville à 600 mètres d'altitude) dans la plaine alluviale de l'Isère, ce qui en fait la ville la plus plate de France [24]. Alimentée par le Drac et l'Isère, la nappe souterraine est située à -3 m et peut monter entre - 0,7 et - 0,2 m pendant les hautes eaux (PLU Ville de Grenoble 2015). Les sécheresses du sol sont donc rares, situation avantageuse pour les arbres qui trouvent facilement leur ressource en eau.

1.1.2. Climat actuel et évolution

Le climat grenoblois est un climat continental influencé par le climat montagnard. Il se caractérise par de fortes amplitudes thermiques entre l'hiver et l'été. En effet, avec une température minimale moyenne de -2,2°C en janvier et une température maximale moyenne de 26,4°C en Juillet, l'écart thermique peut atteindre 28,6°C sur une année [9]. En comparaison avec deux villes avec des climats vers lesquels le climat grenoblois pourrait tendre, l'amplitude thermique maximale est de 25°C à Nancy [10] et de 28,2°C à Valence [11]. Concernant les pluies, Grenoble cumule 856 mm de précipitations moyennes annuelles contre 731 mm à Nancy et 829 mm à Valence. Le mois le plus sec est juillet avec 51 mm de précipitations moyenne et le mois le plus humide est novembre avec 84 mm de précipitations moyenne (Annexe II).

Aujourd'hui le climat que nous connaissons se voit modifié par le dérèglement climatique global. Une étude intitulée *Avenirs climatiques, effets territoriaux du changement climatique et stratégie d'adaptation au changement climatique pour la Ville de Grenoble* réalisée en 2017 par le cabinet TEC Conseil montre une augmentation des températures moyennes annuelles de 2°C.

Tableau 1 : Le climat à Grenoble entre 2020 et 2050. (A. Meilleur d'après Ville de Grenoble 2018)

	Printemps	Eté	Automne	Hiver	Chaleur extrême
Températures moyennes en 2020	10,5°C	19,8°C	11,5°C	2,9°C	3 jours
Températures moyennes en 2050	+1,4 à +2,5°C	+1,4 à +2,5°C	+1,5 à +2,3 °C	+1,5 à +3,5°C	+43 jours

	Printemps	Eté	Automne	Hiver	Cumul moyen des précipitations neigeuses
Précipitations en 2020	286mm	258mm	297mm	271mm	58mm
Précipitations en 2050	Incertain	-6 à -10 %	+5,5 à +8 %	+9 à +14 %	-50 à -86 %

Cette étude avait pour objectif de déterminer les contours du climat grenoblois en 2050. Ses conclusions sont les suivantes : des printemps plus doux avec des précipitations très variables ; des étés globalement plus chauds avec une augmentation considérable du nombre de jours d'extrême chaleur (températures supérieures à 35°C), passant de 3 à 46 jours et des précipitations en forte baisse, ce qui laisse présager des épisodes caniculaires plus importants et plus fréquents ; des automnes et des hivers également plus chauds mais aussi plus pluvieux avec pour conséquences une perte de 50 à 86% des précipitations neigeuses (Tableau 1). Désormais, du fait de l'instabilité des précipitations et de la réduction de l'enneigement, la nappe alluviale du bassin grenoblois va moins bien se recharger et son niveau risque de baisser. Grenoble serait alors touchée par des sécheresses chroniques des sols en surface avec pour conséquences un changement de végétation à long terme et des risques incendie plus élevés. De plus, les sécheresses printanières représentent un danger pour les arbres en en cours de montée sève. Un manque d'eau à cette période augmente drastiquement les risques de cavitation, cause de mortalité importante chez les arbres [12].

1.2. La ville de Grenoble : comprendre ses enjeux sociaux et environnementaux

1.2.1. La population grenobloise : une opposition nord-sud

Du point de vue économique et industriel, Grenoble est marqué par les activités de l'hydro-électricité : électro-métallurgie, électro-chimie, papeterie et fabrication de composants électromécaniques. Aujourd'hui ces industries tendent à être remplacées par des industries de pointe dans le secteur de l'électronique et de l'informatique. La présence de grands groupes tels que Schneider Electric, STMicroelectronics, Caterpillar, Hewlett Packard et Alstom Hydro France sont une grande source d'emplois représentant 10 % de l'emploi privé de la région (Chambre de commerce et d'industrie de Grenoble 2017). Les activités de recherches sont également très importantes avec notamment la présence du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, travaillant sur les nanotechnologies, les biotechnologies, la santé et les technologies de l'énergie [5]. Ainsi, Grenoble regroupe 25 000 emplois dans la recherche publique et privée. La ville est aussi un grand centre universitaire. L'Université Grenoble Alpes comptabilise près de 60 000 étudiants et 7 500 personnels [21]. Du point de vue de l'activité touristique, Grenoble est un lieu de passage obligé pour les vacanciers voulant rejoindre les stations de ski. En 2017, la Métropole a offert 1 113 100 nuitées touristiques (Grenoble-Alpes Métropole 2017).

Afin de mieux connaître sa population, le CCAS de la Ville de Grenoble réalise, tous les

ans, l'Analyse des besoins sociaux de sa population. **Toutes les données chiffrées de ce paragraphe sont extraites de ce document.**

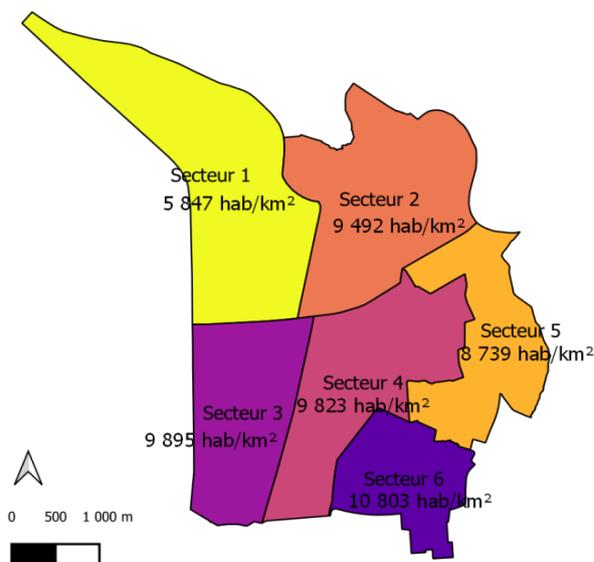


Figure 2 : Densité démographique en 2015. (A. Meilleur d'après Analyse des besoins sociaux 2014 et Analyse des besoins sociaux 2018-2019, CCAS Grenoble)

Grenoble comptait 160 650 habitants en 2015 soit 36% de la population métropolitaine. L'évolution démographique est en légère hausse avec une progression annuelle moyenne de + 0,6%. La répartition de cette population dans les six secteurs de la ville est globalement homogène mais deux secteurs se distinguent. Le secteur 1 avec une densité faible de 5 847 hab/m² qui s'explique par la présence du polygone scientifique de 2,5 ha regroupant des activités de recherche scientifique et la zone presque île en cours d'aménagement. Le secteur 6 avec une densité de 10 803 hab/m² est le secteur le plus densément peuplé (Figure 2).

Des différences socio-économiques entre le nord et le sud de la ville apparaissent lorsque nous comparons des données relatives à l'emploi et au logement (Annexe III à Annexe VIII). En effet, nous distinguons une population des secteurs nord composée d'étudiants ou de personnes âgées vivant seuls ou en colocation dans de petits appartements anciens. La population active de ces secteurs est en majorité cadre avec un revenu disponible médian supérieur à 19 000€. Nous pouvons donc penser que les populations étudiantes et âgées des secteurs nord disposant de moins de moyens, il est plus difficile pour elles de se déplacer hors de la ville, les espaces verts ont donc un rôle d'autant plus important pour permettre à ces personnes de sortir dans des espaces ouverts, des lieux de promenade, de repos et de divertissement.

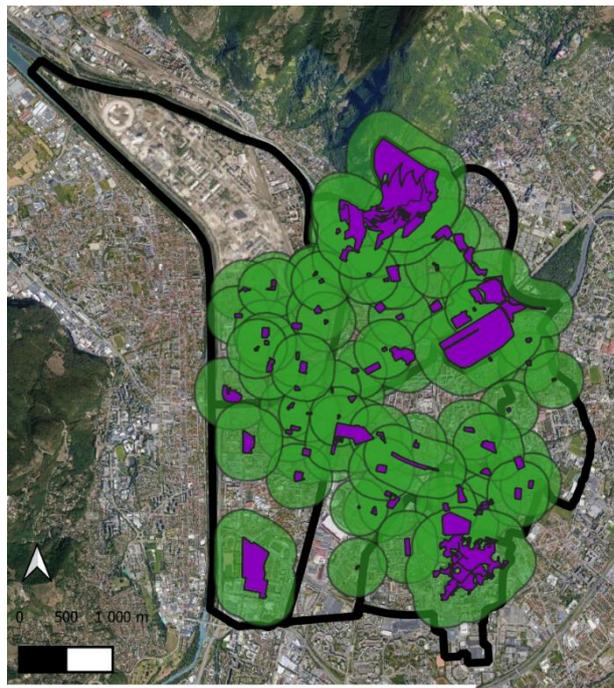
A contrario, dans les secteurs sud habitent des familles dans des appartement type T3 et plus. Le revenu disponible médian est inférieur à 19 000€ et les cadres représentent moins de 30% de la population active. Le taux de chômage est également plus important. De plus, les secteurs sud sont les plus densément peuplés. Ainsi nous pouvons supposer que cette population familiale a besoin de grands espaces avec du mobilier pour faire du sport et des aires de jeux pour les enfants.

1.2.2. L'offre en espaces verts : des grands parcs et une répartition hétérogène

Grenoble possède 2 357 300 m² d'espaces verts répartis en 77 squares, parcs et jardins. La ville offre quelques parcs emblématiques tels que le parc de la Bastille avec ses 30 ha d'espace naturel ou le parc Paul Mistral, le plus grand parc urbain de Grenoble avec ses 21 ha labélisés EcoJardin en 2018 pour son mode de gestion et la biodiversité qu'il abrite [1] (Annexe IX).

Dans le but d'approfondir l'analyse de l'offre en espaces verts de la ville de Grenoble et de mieux comprendre sa répartition, il a été calculé la superficie d'espaces verts par habitant pour chaque secteur (Annexe X). Nous remarquons que l'offre en espaces verts est très hétérogène avec un minimum de 4,4 m² par habitant dans le secteur 1 et un maximum de 28,6 m² par habitant dans le secteur 6 qui est pourtant le plus densément peuplé. Cependant, les

chiffres du secteur 1 et 2 sont à relativiser sachant que le secteur 1 compte le polygone scientifique non peuplé et que le secteur 2 accueille le parc de la Bastille. En comparant ces données aux données socio-économiques présenté au début de cette partie, nous pouvons constater que les populations qui ont peut-être le moins de facilités à sortir de la ville, donc ayant des besoins en espaces verts de proximité, bénéficient de l'offre en espaces verts la plus importante. Nous pouvons y voir un point positif à nuancer par une étude menée au Royaume-Uni qui a montré que l'accès aux espaces verts est meilleur dans les quartiers défavorisés mais que ces populations ont une vision plus négative de ces espaces qui sont moins entretenus (Jones & al. 2009). En outre, la présence d'un espace vert dans un secteur d'habitation ne signifie pas qu'il sera pratiqué. Une condition à l'usage est la proximité directe avec les habitations. La distance optimale pour les piétons a été définie à 300 mètres ou 5 minutes (Polombo, Yengué 2015). Sur la Figure 3, nous pouvons voir que certaines zones de Grenoble ne sont comprises dans aucun buffer de 300 mètres ce qui signifie que les populations vivant dans ces zones n'ont pas accès facilement à un espace vert public.



Accessibilité des espaces verts

- Espace vert public
- Buffer de 300m

Google Satellite

Figure 3 : Zone de 300m autour de chaque parcs et jardins publics de Grenoble. (A. Meilleur d'après SEV Grenoble, 2020)

1.2.3. Le patrimoine arboré grenoblois : un enjeu politique et environnemental

Le patrimoine arboré de Grenoble compte 31 900 arbres dont 15 600 appartenant à la Métropole et 16 300 à la Ville (SEV Grenoble 2020). En effet, depuis 2015, la compétence voirie a été transférée à la Métropole et avec elle la gestion des arbres d'alignement. Exception faite pour la commune de Grenoble où la gestion est réalisée par les agents de la Ville à travers le Service Commun de Gestion du Patrimoine Arboré. La plantation, quant à elle, reste assurée par le propriétaire.

Concernant la composition du patrimoine arboré, ce sont les feuillus qui sont le plus représentés avec 87% des arbres (SEV Grenoble 2020). Au total, 119 genres sont présents dans la ville, dont le premier est le genre *Acer* à hauteur de 17%. Ensuite viennent les genres *Platanus* (15%), *Pinus* (7%), *Tilia* (6%) et *Fraxinus* (5%). Les autres genres sont présents à moins de 5% (Figure 4). Les trois quarts du patrimoine sont au stade adulte et un quart est au stade jeune (critère attribué lors des diagnostics d'experts). La majorité des arbres de la ville ont été plantés entre 1971 et 1980 soit des arbres qui ont aujourd'hui entre 40 et 50 ans, ce qui constitue une couverture canopée de grande dimension à conserver si les arbres sont en bonne santé. Depuis, le nombre de plantations par décennie est en légère progression (Annexe XI)

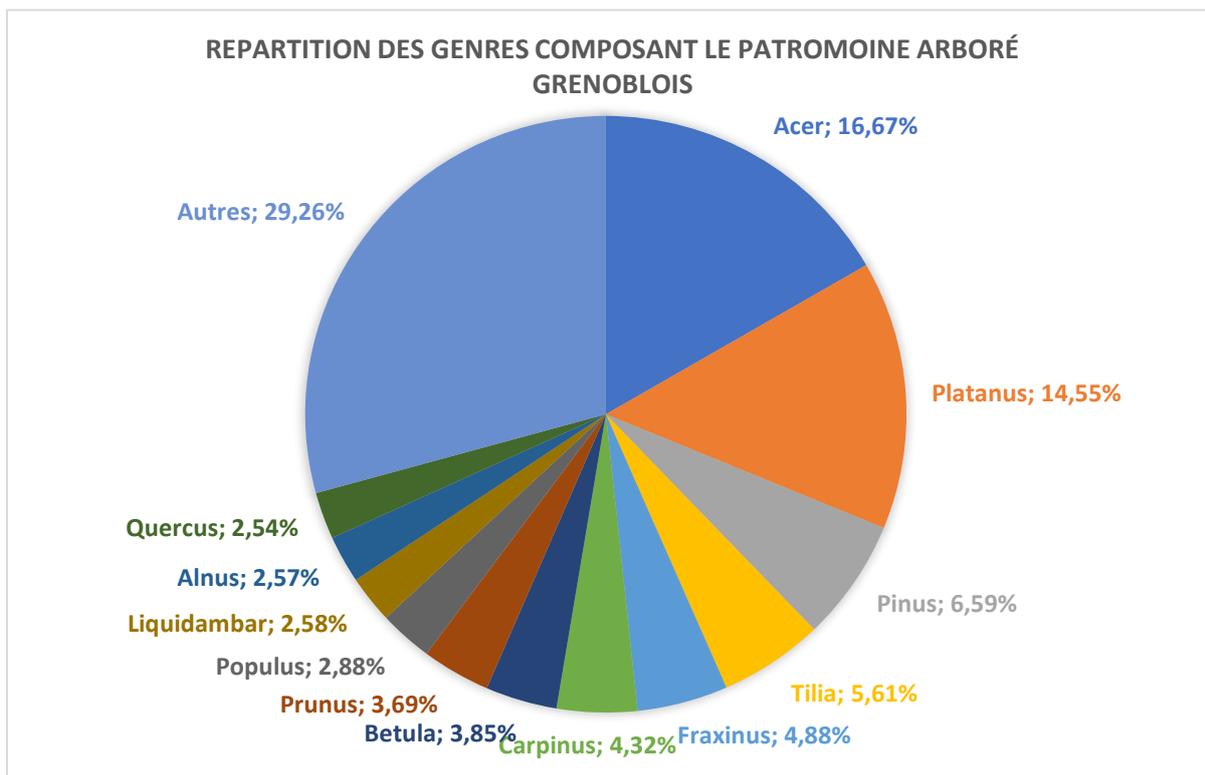


Figure 4 : Répartition des genres composant le patrimoine arboré grenoblois. (A. Meilleur d'après SEV Grenoble, 2020)

Le nombre d'arbres est en progression (Annexe XII) avec, par exemple, un solde positif de 700 sur la saison 2018-2019 (arbres ville et métropole confondus). La cause majoritaire d'abattage est pour raison sanitaire et sécuritaire, cependant, des événements climatiques extrêmes peuvent être à l'origine d'abattages ponctuels massifs (canicule de 2003, tempête de neige de 2012).

Aujourd'hui, les arbres portent un enjeu politique fort. Durant les élections municipales de 2020, la plantation d'arbres est devenue un argument de campagne incontournable ressemblant parfois à une course à celui qui annoncerait le plus grand nombre. A Grenoble, E. Piolle, maire sortant réélu, affiche l'ambition de planter 5 000 arbres sur son mandat [18]. Parmi les autres candidats, E. Chalas (LREM-MoDem), avait pris l'engagement de planter 50 000 arbres sur son mandat [15] et O. Noblecour (PS), déclarait vouloir planter un arbre pour chaque nouvelle naissance soit minimum 2 000 arbres par an [23]. Ces annonces montrent une prise de conscience, de la part des politiques, de l'importance des arbres dans le milieu urbain, cependant, cela ne doit pas être fait au détriment du patrimoine existant et de la qualité de la plantation.

1.3. Les contraintes du milieu urbain : causes et conséquences

La ville concentre dans un espace restreint un grand nombre d'activités, de personnes et de bâtiments. Ainsi, loin du milieu naturel, les contraintes imposées, aussi bien aux hommes qu'aux arbres, sont nombreuses et diverses.

1.3.1. Enjeux de chaleur et de pollution

- Les enjeux de qualité de l'air

Le territoire grenoblois est particulièrement concerné par des enjeux de qualité de l'air. En

effet, la ville est sensible aux pollutions atmosphériques dont les sources principales sont : le trafic routier dense, le chauffage bois et l'activité industrielle très développée. Les polluants sont majoritairement le dioxyde d'azote, les particules fines et l'ozone, dont le relief en cuvette empêche la dispersion [3]. Concernant le dioxyde d'azote, les seuils réglementaires fixés à $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ sont régulièrement dépassés (Annexe XIII) à proximité des grandes voies routières mais pas en pollution de fond. Les seuils pour l'ozone sont également dépassés. En revanche, concernant les particules fines, les seuils sont différents selon la réglementation européenne ou les préconisations de l'OMS. Si, nous considérons les seuils de l'OMS, les concentrations limites en PM10 et PM2,5 sont dépassées à proximité du trafic routier et en fond urbain (Ville de Grenoble 2019). Une surexposition aux polluants atmosphériques a des conséquences graves sur la santé humaine : le territoire de la Métropole déplore 114 morts par an dus à la pollution de l'air (Grenoble-Alpes Métropole 2017) soit 0,02% de la population. Cependant, c'est moins qu'à l'échelle de la France avec 0,07% de la population mourant à cause de la pollution de l'air (Tillier & al. 2016).

La pollution sonore est également un fait à souligner car les populations exposées au bruit sont les même que celles exposées à la pollution en NO_2 , soit 10% de la population grenobloise (Grenoble-Alpes Métropole 2017).

- Les îlots de chaleur urbain

En ce qui concerne le confort thermique, les canicules sont un fort enjeu de santé publique en ville. En Isère, les seuils sont fixés à 19°C la nuit et 34°C le jour pendant trois jours consécutifs. A Grenoble, cela représente seize jours d'alerte canicule en 2016.

De plus, le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) aggrave fortement les conséquences sur la santé des excès thermiques.

Les ICU se définissent par une augmentation des températures au niveau des centres-villes par rapport aux zones péri-urbaines et rurales. En effet, les centres-villes cumulent les facteurs donnant naissance aux ICU (Giguère 2009) (Gillig & al. 2008) :

- utilisation de matériaux aux grandes capacités d'absorption et de restitution de la chaleur (albédo bas) pour les bâtiments et les voiries,
- des sols minéralisés, imperméabilisés, sans végétation et sans eau,
- une morphologie augmentant la rugosité (Cf Contraintes climatiques),
- dégagement de chaleur issu des activités humaines en particulier les véhicules et les climatiseurs,

Ce phénomène se manifeste toute l'année et se ressent particulièrement la nuit car les matériaux vont restituer la chaleur stockée en journée, bloquant la retombée des températures [6]. Généralement l'écart de température est de quelques degrés mais en période de canicule l'écart est aggravé. Durant la canicule de 2003, il a été mesuré, à Lyon, une différence de 11°C entre le centre-ville et la périphérie (F. Ségur, communication personnelle, 01/07/ 2020).

A Grenoble, un important travail de caractérisation de l'ICU a été confié par la Ville de Grenoble à Xavier Foissard, climatologue urbain. La première étape de son étude s'est conclue en avril 2020 par une cartographie des îlots de chaleur potentiels. Pour cela, plusieurs indices ont été croisés : la densité du bâti, la surface imperméabilisée, la végétation totale (haute + basse), la hauteur des bâtiments et le Sky View Factor (SVF). L'étude de ces facteurs a permis de définir les unités urbaines climatiques (LCZ) permettant de comparer les quartiers entre eux. A chaque LCZ a été attribué une note de 1 à 5, 1 désignant un risque d'ICU faible et 5 un ICU potentiel très élevé. Des mesures sur le terrain auront lieu en été 2020 afin de valider la modélisation (AC. Fouvet, communication personnelle, 28/04/2020).

- Des conséquences sur la santé et des enjeux de politique publique

L'exposition à des températures très élevées peut avoir des impacts graves sur la santé allant de la déshydratation au décès (CCAS Ville de Grenoble 2019a). La nuit, des

températures supérieures à 18°C peuvent entraîner des troubles du sommeil pouvant avoir des conséquences sur la santé globale des personnes s'elles sont prolongées (Annexe XIV).

Afin d'adapter ses politiques publiques aux enjeux climatiques particuliers rencontrés sur son territoire, la ville de Grenoble s'est dotée de différents plans tels que le Plan d'actions air-énergie-climat ou le plan municipal canicule. Dans ces deux plans, la végétation et en particulier les arbres apparaissent comme des leviers importants pour améliorer le climat urbain, le confort thermique d'été des habitants et réduire les risques sur la santé. Par exemple, en 2020, la plantation d'arbres entre dans les principales lignes budgétaires (fonctionnement et investissement) du Plan municipal canicule à hauteur de 200 k€ (CCAS Ville de Grenoble 2019a) hors investissement par la Métropole. Le Plan d'action Air Energie Climat intègre la végétation dans son axe « Agir pour une transition au service de l'air, de l'énergie, du climat et de la santé ». Cet axe est décliné en 10 actions dont la deuxième est : « Lutter contre les îlots de chaleur par la végétation et la présence de l'eau dans l'espace public ». Cette action se base sur une meilleure connaissance du climat urbain, l'utilisation de l'eau comme rafraîchisseur, le réaménagement des cours d'école entre autres. Et surtout, par le renforcement de la végétalisation dans les projets d'aménagement dont un plan de gestion du patrimoine existant et un plan de plantation de 5000 arbres pour 2020 (CCAS Ville de Grenoble 2019b)

A l'échelle de la Métropole et de l'aménagement du territoire, le PLUi, révisé en 2019, intègre la dimension environnementale dans son Projet d'Aménagement et de Développement Durable (PADD) et consacre une Orientation d'Aménagement et de Programmation (OAP) aux paysages et à la biodiversité. Cet OAP donne, pour chaque ambiance paysagère, des objectifs pour allier le bâti et la végétalisation et des préconisations concernant la mise en œuvre d'aménagements verts (toitures, murs et clôtures végétalisés, sol perméable, haies). Une liste indicative d'espèces accompagne chaque proposition afin de donner des pistes de réflexion (Grenoble Alpes Métropole 2019).

1.3.2. La ville : un milieu peu favorable au développement des arbres

- Des contraintes spatiales

En ville, les arbres doivent cohabiter avec un grand nombre de contraintes tels que les façades, les réseaux aériens et souterrains (tramway), les usagers, les véhicules ou encore les émergences (candélabres, point de collecte des déchets, etc.). Des dégradations peuvent être causés par les arbres sur ces éléments et inversement.

Afin de réduire ces risques, des distances entre les frondaisons et les racines et les autres acteurs de la ville sont règlementées et doivent être prises en compte lors d'un aménagement. Par exemple, la norme NF P98.332 de février 2005 fixant les règles de voisinage entre les réseaux et les végétaux donne une distance minimale de 1,50 m entre l'axe du tronc et un réseau enterré et 1 m entre la limite du houppier et un réseau aérien. Toutes ces considérations sont applicables à des arbres de taille adulte. De manière plus opérationnelle, ce sont les cahiers des charges et les chartes de l'arbre qui indiquent les distances à respecter. Ces contraintes de distanciation vont avoir un impact sur le choix de la palette végétale lors de la conception d'un aménagement.

- La cohabitation entre les hommes et les arbres

La cohabitation entre les citadins et les arbres est également source de contraintes. Les usagers peuvent occasionner des dommages aux arbres par l'appui d'un vélo contre le tronc, choc de voiture, arrachement des branches basses (Figure 5). Cependant, les disservices liés aux arbres sont également à prendre en compte : risque d'allergie au pollen, chutes de branches pouvant blesser, feuilles mortes rendant la chaussée glissante. Cela entraîne des demandes d'élagage abusives qui créent des dommages irréversibles sur les arbres.



Figure 5 : Dommages fait aux troncs d'arbres a) vandalisme canin b) vélo attaché au tronc pouvant le blesser c) dommage racinaire causé par le choc d'une voiture. Photos : JF. Lafond

- La modification du climat local

En milieu urbain, le climat local tend à être modifié par la physionomie de la ville et la concentration des activités humaines. Les températures sont globalement plus chaudes du fait des déperditions de chaleur des bâtiments, de la climatisation, des transports, de la restitution de la chaleur emmagasinée par les surfaces minérales (Gillig & al. 2008). La morphologie des rues peut amplifier l'accumulation de chaleur en ville en modifiant les vents. En effet, l'étroitesse des rues et la hauteur des bâtiments génèrent des rues dites canyon profondes et étroites. Ainsi, les flux d'air atteignent plus difficilement le sol un phénomène de recirculation se met en place, plaquant la chaleur et les polluants au sol [4] (Figure 6).

L'effet canyon va également influencer la température en concentrant le rayonnement solaire. Les façades étant très proches, elles vont se renvoyer le rayonnement infrarouge créant un piège radiatif. (Annexe XV). Les conséquences sur les arbres vont principalement être d'ordre physiologique avec des perturbations de l'évapotranspiration. De plus, la réverbération des rayons lumineux sur les façades et revêtement peut entraîner des brûlures du feuillage et des échaudures (Gillig & al. 2008).

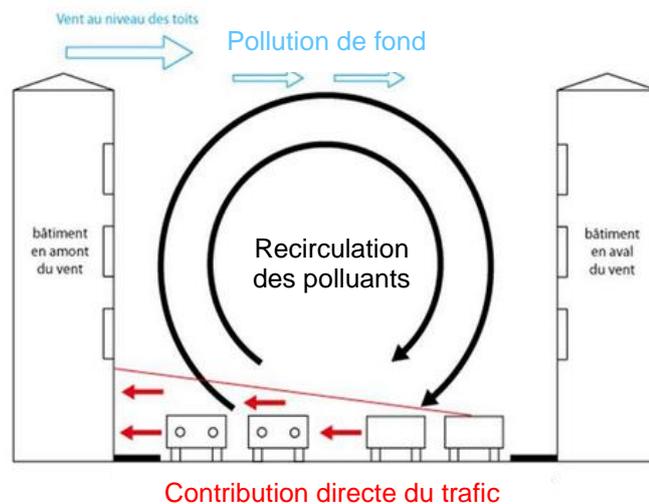


Figure 6 : Profil de recirculation des polluants dans une rue canyon. (Bruxelles environnement, 2017)

Comme vu précédemment, la géométrie des rues peut bloquer les polluants atmosphériques au niveau du sol. Les arbres sont capables de capter ces polluants mais il ne faut pas oublier que la pollution est également nocive entraînant des nécroses du feuillage, une diminution de la photosynthèse et un risque accru de mortalité (Gillig & al. 2008)

- Des sols anthropisés et pollués

Le panel des sols urbains est très large, allant des sols très transformés et remaniés par l'activité humaine à des sols proches des sols naturels. Une caractéristique est tout de même commune à tous les sols urbains : « des horizons de surface souvent massifs [...], fortement modifiés par l'homme via des mélanges, des mouvements [...] de matériaux et par des contaminations éventuelles. » (Damas, Coulon 2016). Dans le Référentiel pédologique

français (Baize 2009), les sols urbains apparaissent sous la dénomination d'anthroposols. Quatre types d'anthroposols sont définis :

- les anthroposols transformés « sont issus de modifications anthropiques des sols réalisées en zones rurales pour améliorer la fertilité des sols et permettre une production d'aliments suffisante pour nourrir la population et/ou protéger la ressource en sol. »,
- les anthroposols artificiels « résultent entièrement d'apports par l'homme de matériaux variés. Ils concernent plus les lieux où se sont développées les activités humaines tels qu'urbanisation, industries, mines, artisanat, voirie. »,
- les anthroposols archéologiques « ont subi des modifications anthropiques anciennes [...]. Des couches contenant plus de 20 % (en volume) de débris d'activités humaines peuvent y être observées. »,
- les anthroposols reconstitués et les anthroposols construits « sont issus des opérations de « génie pédologique » : actes volontaires de fabrication d'un « sol » avec des objectifs précis, en particulier pour obtenir un milieu aussi fertile que possible dans le cadre d'opérations de végétalisation. »,

De par leur origine anthropique, les sols urbains sont donc constitués de matériaux hétérogènes, secs, pauvres en matière organique et souvent pollués donc très peu propices à l'installation de végétaux (Gillig & al. 2008). De plus, pour des raisons de portance, les sols urbains doivent être très compactés et imperméabilisés, ce qui empêche les échanges gazeux, l'infiltration de l'eau et l'apport de matière organique en surface nuisant à la vie du sol.

En plus d'être peu viables, les sols urbains sont parcourus par un grand nombre de réseaux souterrains installés sans conception globale (Gillig & al. 2008). Comme vu précédemment, la distance entre les réseaux et les racines est règlementée. De ce fait, la présence de réseaux est un facteur limitant à la plantation d'arbres.

Dans le passé, Grenoble comptait de nombreuses usines chimiques réparties sur l'ensemble de son territoire qui ont engendré une pollution concentrée mais ponctuelle des sols : substances toxiques, hydrocarbures, métaux lourds. Afin d'aider les aménageurs, la Ville dispose d'un outil de visualisation des sites industriels anciens et actuels susceptibles de générer des pollutions des sols qui permet d'anticiper la réalisation d'analyses en cas de nouveaux aménagements. Néanmoins, à ce jour, aucun projet ornemental n'a été impacté par la présence de pollution industrielle du sol. En revanche, les sols grenoblois souffrent de pollution plus diffuse dues à des retombées de rejets atmosphériques accumulées au cours des années ou à la diffusion de contaminants via la nappe (C. Simoens, communication personnelle, 17/08/2020).

De plus, en hiver, une pollution peut être provoquée par le chlorure de sodium composant les sels de déneigement. Ce sel arrive jusqu'au pied d'arbres par les eaux de ruissellement et va s'accumuler dans le sol. Pour les végétaux, le sel de déneigement représente un danger car les ions Na^+ et Cl^- issus de sa dissolution vont interférer dans les échanges ioniques entre la plante et le complexe argilo-humique (Delort et al. 2014).

Finalement, la multiplication des contraintes : concurrence pour l'espace, accumulation de chaleur, concentration des polluants, réduction des ressources en eau, sols perturbés et calcaires, font du milieu urbain un environnement peu propice à l'installation d'arbres mais paradoxalement ils apparaissent comme un levier pour répondre aux enjeux d'amélioration du climat urbain et de santé publique.

1.4. Quelles solutions les arbres peuvent-ils apporter ?

1.4.1. Les services écosystémiques des arbres en ville

Les services écosystémiques que nous apporte la nature sont aujourd'hui bien connus notamment depuis le Millennium Ecosystem Assessment (évaluation des écosystèmes commandée par le secrétaire général de l'ONU Kofi Annan en 2000). Cette étude définit les services écosystémiques comme les « bénéfiques directs ou indirects rendus à la société par les écosystèmes » et liste quatre catégories de services écosystémiques :

- les services de soutien : production d'oxygène, production de sol, etc.
- les services d'approvisionnement qui permettent d'assurer nos fonctions vitales comme boire, manger, se loger, se chauffer,
- les services de régulation qui sont importants pour créer un environnement équilibré dans lequel nous pouvons nous développer,
- les services culturels, support de nos activités de loisir, notre cadre de vie et notre santé.

En ville, la nature, et parce qu'ils sont de notre sujet, les arbres, rendent directement un grand nombre de services et sont la base de beaucoup d'autres. Le but de ce paragraphe est de se concentrer sur les services écosystémiques pouvant être importants à développer à Grenoble, au vu des différentes contraintes exposées précédemment.

- Aménités collectives (santé et cadre de vie)

De plus en plus d'études s'attachent à prouver que les espaces verts et les arbres agissent positivement sur la santé. La santé a été définie par l'OMS en 1946 par : « Un état de complet bien-être physique, mental et social, qui ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité. » La présence d'espaces verts et d'arbres peuvent avoir un impact positif sur les trois composantes de la santé. Nous pouvons notamment citer (Gillmeister 2020) :

- apaisement et réduction de l'agressivité,
- meilleure estime de soi, diminution des symptômes de la dépression,
- accélération de la guérison
- diminution des troubles cardio-vasculaires, musculo-squelettiques, respiratoires, neurologiques et digestifs,

En 2012, N. Long et B. Tonini ont réalisé une étude sur le ressenti des usagers de quatre espaces verts de Nantes et Angers. Par des enquêtes, ils se sont intéressés à ce que représente l'espace vert pour les usagers. La notion de rupture avec la ville apparaît dans 53% des cas. A cela s'ajoute l'espace vert comme un lieu de rencontre (37%) et un lieu ludique, adéquat à la pratique sportive (30%) (Long, Tonini 2012). Le ressenti étant lié aux sentiments, ceci témoigne de l'impact positif des espaces verts sur le bien-être psychologique des personnes. Les auteurs ont également constaté que les pratiques, les perceptions et les attentes dépendaient de l'âge des usagers.

- Régulation du climat local

L'arbre est un bio-climatiseur qui agit sur le climat urbain par deux actions : la création d'ombrage direct et l'évapotranspiration. Le feuillage, en interceptant les rayons du soleil, va empêcher les matériaux à forte inertie thermique d'accumuler de la chaleur. Par exemple, il peut être mesuré une différence de 10°C entre une façade au soleil et une façade à l'ombre (Papin et al. 2018). L'évapotranspiration, quant à elle, transforme l'eau liquide en vapeur grâce à l'énergie thermique de l'air. Ainsi, l'air plus frais, descendra vers le sol et les usagers. Toutefois, pour que les arbres soient en capacité d'évapotranspirer, il ne faut pas qu'ils soient en stress hydrique car ils fermeront leurs stomates et mettront en place les mécanismes de respiration. D'où l'importance de faciliter l'accès à la ressource en eau aux arbres tout au long

de leur vie [6].

- Régulation du cycle de l'eau

La création d'un pied d'arbre de grande surface et végétalisé participe à la désimperméabilisation des surfaces. Les arbres eux-mêmes favorisent l'infiltration des eaux dans le sol car les racines créent des porosités dans celui-ci et guident l'eau en profondeur, le feuillage intercepte la pluie et diminue la vitesse des gouttes (Gillig & al. 2008). De plus, la recharge de la nappe sera facilitée et les infrastructures d'assainissement seront moins engorgées

Favoriser l'infiltration des eaux de pluie et d'autant plus important que les sols filtrent et épurent l'eau des polluants, évitant ainsi leur transfert vers les eaux superficielles ou souterraines (ADEME 2015).

- Améliorer la qualité de l'air

Bien que les feuilles absorbent les polluants atmosphériques (Papin et al. 2018) et améliorent la qualité de l'air, n'oublions pas que cette pollution est aussi nocive pour les arbres avec une diminution de l'évapotranspiration et de leur capacité de rafraîchissement [22]. De plus, les arbres peuvent aggraver l'accumulation des polluants atmosphériques dans les rues canyon en bloquant les flux d'air et par la production de composés organiques volatiles.

- Plus-value économique

En abritant les bâtiments, les arbres induiraient une diminution des coûts de climatisation et de chauffage. D'après une étude menée à Angers en 2010, la présence d'espaces verts et d'arbres a augmenté la valeur foncière des habitations de 1,4% (Choumert, Travers 2010). Cette étude montre également une augmentation de l'attractivité du territoire par la création d'un cadre de vie agréable. « De même, elle peut permettre un rééquilibrage de différents quartiers au sein d'une même agglomération, en contribuant à la revalorisation des zones défavorisées. » (Choumert, Travers 2010)

Si nous poursuivons à une échelle plus macroscopique, c'est toute la filière de l'aménagement urbain qui voit se créer des emplois (Papin et al. 2018)

- Favoriser et faire connaître la biodiversité

Les arbres jouent plusieurs rôles dans le maintien de la biodiversité : ils offrent à la fois le gîte et le couvert. De plus, ils offrent une multitude de milieux d'accueil pour la biodiversité. Même mort, les arbres abritent de nombreux larves, insectes et champignons xylophages. Un chêne pédonculé adulte peut héberger 423 espèces d'insectes (Papin et al. 2018). En outre, l'arbre constitue l'unité de base des corridors écologiques [14], formant un cheminement aérien continu par leurs houppiers et en pas japonais au niveau des pieds d'arbre. Enfin, ils constituent un excellent support pour l'éducation à l'environnement (Papin et al. 2018).

Finalement, les enjeux sont multiples et divers et la réponse que peuvent apporter les arbres est plus ou moins significative. Afin de répondre au plus juste et de vérifier les enjeux liés à l'arbre urbain, il est nécessaire de créer un outil cartographique de visualisation.

1.4.2. Définition d'un outil de visualisation spatiale des enjeux et des potentialités de densification et de renouvellement du patrimoine arboré

Jusqu'à présent nous avons vu que la ville de Grenoble est un milieu contraint, peu favorable au développement des végétaux et ayant un impact sur la santé humaine. Cependant, les arbres apparaissent comme une des solutions aux problématiques climatiques, environnementales et sociales de ce milieu. L'objectif est donc de créer un outil permettant de visualiser l'ensemble des enjeux décrits ultérieurement et, dans le même temps, de dégager les opportunités de plantation et de renouvellement. Ce travail se présente sous la forme d'une base de données SIG. Ci-dessous, un exemple d'analyse.

La place Vaucanson (au centre de la carte Figure 7) est actuellement utilisée comme parking, elle n'est pas végétalisée et se situe dans le centre-ville historique de Grenoble. L'offre en espaces verts y est faible, les espaces pour planter des arbres sont rares et les risques d'îlots de chaleur urbain élevés. De plus, elle se trouve entre deux grands espaces verts riches en biodiversité que sont le parc Paul Mistral au sud-est et la Bastille au nord-ouest. Nous constatons donc que cette place est au carrefour de plusieurs enjeux forts et que le développement d'une couverture arborée aurait un impact positif sur ces enjeux. Dans les mêmes objectifs, à l'ouest de la place Vaucanson, passe la rue Agutte Sembat qui se prolonge au nord par la rue Edouard Rey, deux rues de plus de dix mètres de large qui ne sont pas arborées.

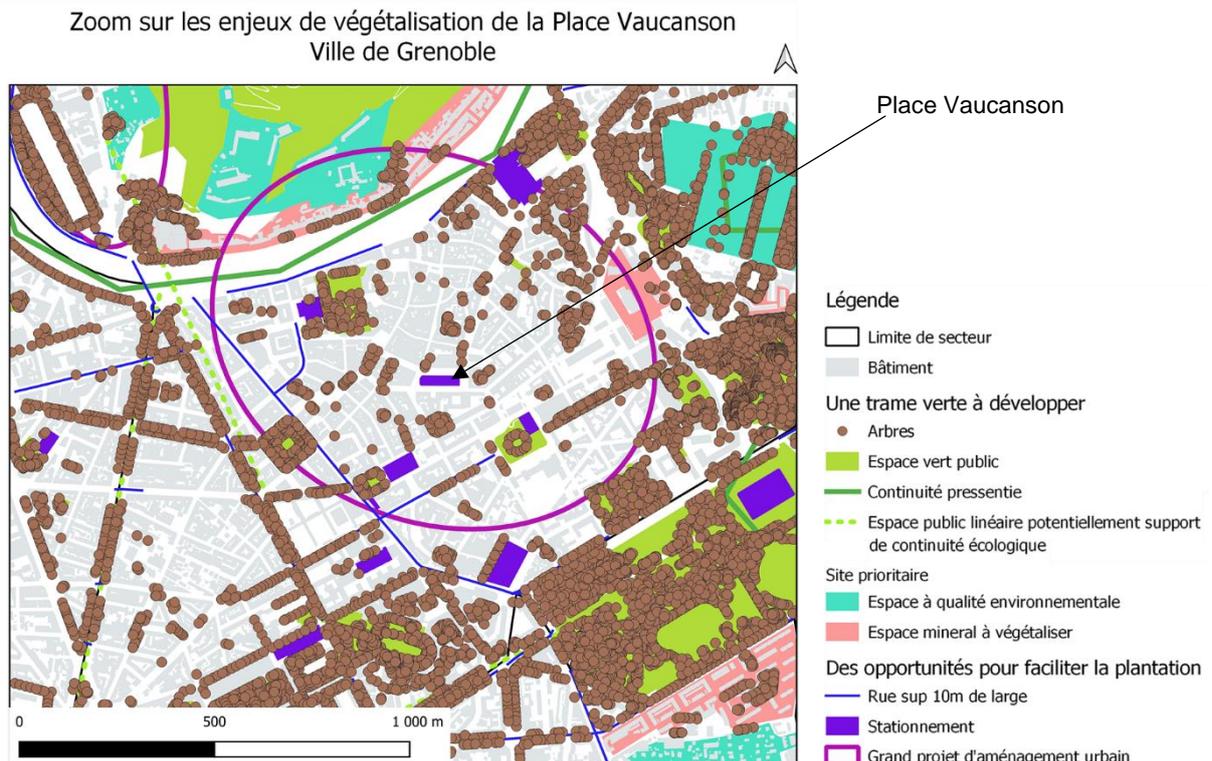


Figure 7 : Exemple d'analyse utilisant les données de l'outil de visualisation des enjeux liés à l'arbre à l'échelle d'un secteur (A. Meilleur d'après SEV Ville de Grenoble, 2020)

Néanmoins, pour que la plantation de nouveaux arbres soit efficace, il faut leur assurer une vie longue et en bonne santé. Comment pouvons-nous y parvenir tout en étant dans une démarche de développement durable ?

2. Choix méthodologique : les entretiens

Comme nous l'avons vu précédemment, Grenoble est une ville où les arbres ont un rôle important à jouer. Cependant, pour que les arbres puissent rendre un maximum de services, il faut qu'ils soient en capacité d'évapotranspirer, de se développer et de vivre longtemps en bonne santé. Il est admis par les professionnels de l'arbre urbain, que la plantation est une étape clef qui déterminera l'avenir de l'arbre. Nombre de projets voient leurs arbres végéter voire dépérir et il est bien souvent constaté que les arbres étaient plantés dans des conditions défavorables. Ainsi, une bonne plantation est donc essentielle si nous voulons que les arbres jouent pleinement leur rôle. D'où la décision d'orienter ce travail vers les étapes clefs du processus de plantation, depuis les phases de planification jusqu'à la fin de la période de confortement en passant par les étapes de conception et de plantation à proprement parler.

2.1. Objectifs et déroulement des entretiens

Afin de mieux comprendre comment se déroule la plantation des arbres à Grenoble et de favoriser la discussion et le partage d'expérience, une série d'entretiens a été menée. Des entretiens à l'échelle locale ont d'abord été conduits avec des personnes travaillant sur le territoire de Grenoble afin de mieux comprendre le processus de plantation grenoblois. Les objectifs étaient d'identifier les acteurs et les chaînes de décision, d'identifier les réussites et les difficultés et de faire remonter un savoir empirique issu du terrain, le tout dans le but de dresser l'itinéraire technique de la plantation d'arbres à Grenoble et un diagnostic des pratiques actuelles.

Le panel des personnes interrogées couvre l'ensemble du processus de plantation allant de la programmation d'un projet au suivi des jeunes plantations (Figure 8). Le Service de gestion du patrimoine naturel et arboré de Grenoble Alpes Métropole a également été questionné car ce sont des acteurs essentiels du paysage arboré de Grenoble, propriétaire de l'ensemble des arbres d'alignement soit de la moitié du patrimoine.

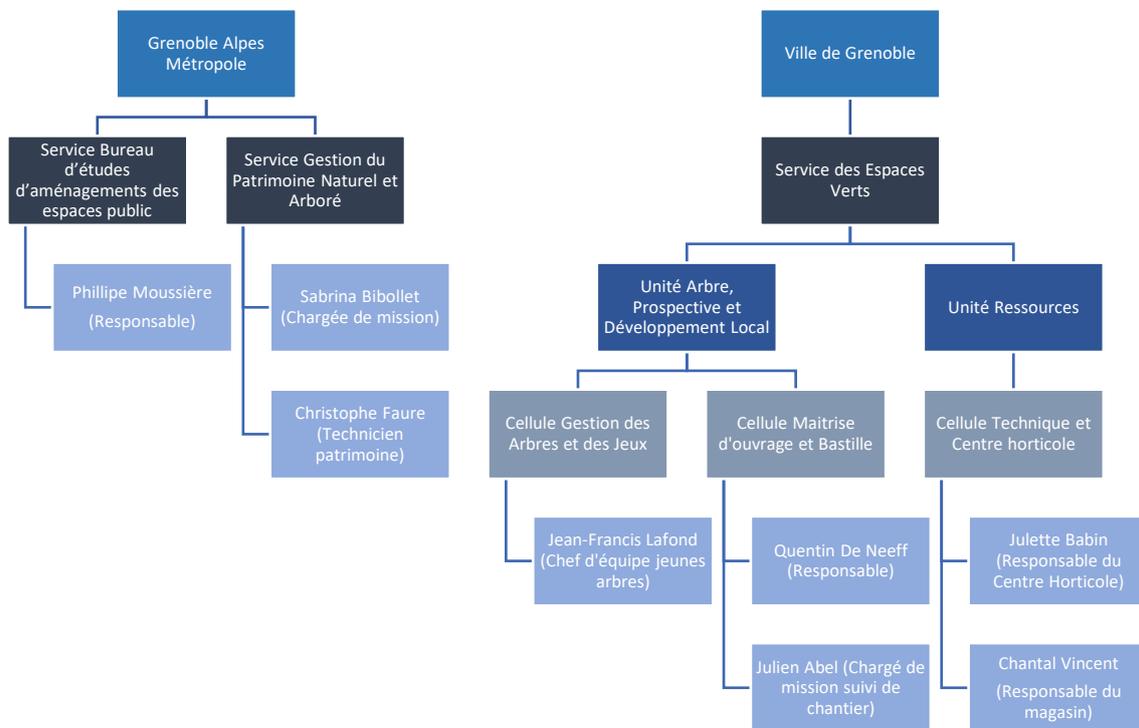


Figure 8 : Organigramme hiérarchique des personnes interrogées lors de la première phase d'entretien. (A. Meilleur, 2020)

Ces entretiens ont été menés suivant un questionnaire d'une soixantaine de questions (Annexe XVI). Les thèmes abordés sont les thèmes revenant régulièrement lors des discussions et de recherches bibliographiques préalables (Fascicule 35, charte de l'arbre, cahier des charges).

Les questions abordées étaient organisées autour des thèmes suivants :

- rôle dans la gestion des arbres et position dans la chaîne de décision,
- élaboration de la commande publique,
- fosse de plantation et substrat,
- arrosage,
- adaptation de la palette végétale aux changements climatiques,
- suivi post-plantation et reprise,

- ZAC et maîtrise d'ouvrage externalisées,

L'analyse des informations recueillies a permis d'identifier certaines difficultés pour lesquelles il serait intéressant de proposer des pistes d'amélioration. Il nous a paru pertinent de croiser ces informations avec les pratiques d'autres collectivités pour identifier les problématiques auxquelles elles avaient été confrontées et comment elles y avaient fait face. C'est pour ces raisons que des entretiens avec d'autres collectivités ont été organisés dans un second temps. Plus précisément, il s'agissait de recueillir des initiatives innovantes en ce qui concerne la plantation d'arbres en ville, échanger sur les difficultés et les réussites, identifier des outils d'aide à la décision, de gestion, de suivi, de croiser les points de vue. La capitalisation de ces informations constituera la base des pistes de réflexion de la partie 3. Le panel des personnes interrogées compte principalement des responsables de patrimoine arboré de grandes villes de l'Est de la France (Annexe XVII)

Finalement, les entretiens avec des chercheurs et des spécialistes de l'arbre ont été organisés pour obtenir des informations complémentaires sur des thèmes spécifiques tels que la construction de sols fertiles ou le développement des arbres et d'avoir des avis d'experts. Les éléments recueillis ont pu être complétés avec de la bibliographie ciblée. Les spécialistes interrogés sont :

- Thierry Ameglio : Directeur de recherche à l'INRAE de Clermont Ferrand, au sein de l'équipe Micro-Environnement et Arbre (MEA) de l'unité mixte de recherche Physique et Physiologie Intégratives de l'Arbre en environnement Fluctuant (PIAF). Spécialiste de la physiologie de l'arbre et de ses réactions aux stress biotiques et abiotiques.
- Yves Caraglio : Co-responsable de l'équipe Individu de l'Unité Mixte de Recherche Cirad-Cnrs-Inra-Ird-Université Montpellier "botAnique et Modélisation de l'Architecture des Plantes et des végétations" (AMAP). Spécialiste du développement structural des plantes, il travaille sur la compréhension du vieillissement des arbres et leurs réactions aux perturbations de l'environnement.
- Corinne Bourgery : Ingénieur agronome, urbaniste, spécialiste de l'arboriculture ornementale, bureau d'études CITARE (Conseil Ingénierie Technique pour l'Aménagement, les Arbres et l'Environnement)
- Olivier Damas : Consultant qualité et valorisation agronomiques des terres excavées, bureau d'études ArcaGée spécialisé dans le diagnostic et la gestion de sites et sols pollués. Il a été chargé de mission à Plante et Cité sur les thématiques agronomiques et de végétalisation des bâtiments et est à l'origine du projet SITERRE et co-auteur du livre Créer des sols fertiles : du déchet à la végétalisation urbaine.
- Benoît Blusset : Commercial en charge de Grenoble chez les Pépinières Soupe.

2.2. Résumé du cheminement méthodologique

La méthodologie suivie est basée sur des témoignages et des retours d'expériences afin d'apporter des réponses plus proches des problématiques de terrain. La plus-value apportée se trouve dans la collecte et la synthèse d'informations obtenues auprès de spécialistes de plusieurs régions de France et dans une analyse basée sur les spécificités grenobloises. Il a fallu identifier les enjeux et les impacts, positifs ou négatifs, immédiats ou lointains des différentes actions proposées.



Figure 9 : Principales étapes de la méthodologie appliquée pour la collecte d'informations. (A. Meilleur, 2020)

3. Comment optimiser les rôles des arbres à Grenoble ?

3.1. Identification et analyse des étapes clef d'une plantation à Grenoble

- La définition des besoins

La réalisation d'un nouvel aménagement se décide après la consultation du Plan Pluriannuel d'Investissement (PPI) qui priorise les interventions sur le territoire. Ensuite, le maître d'ouvrage construit le programme d'opérations sur la base d'un diagnostic de site et du patrimoine, d'un recensement des besoins des différents acteurs (usagers, concessionnaires de réseaux, agents d'entretiens, etc.) d'une définition des enjeux puis d'un budget cible. L'objectif étant, toujours, d'arriver à terme à un couvert arboré égal ou supérieur à l'existant.

- La conception

La phase de conception est constituée de nombreuses sous-étapes (Figure 10) durant lesquelles la place de l'arbre se précise au fur et à mesure. Elles sont toutes réalisées par le maître d'œuvre, en lien avec le maître d'ouvrage qui valide chaque sous-étape.

En fonction des projets, les acteurs et les chaînes de décision ne sont pas les mêmes. Trois cas de figures se distinguent pour la plantation : en régie et par entreprise avec différents niveaux de maîtrise d'ouvrage : ville, métropole ou déléguée.

- Concernant les plantations en régie, les chefs d'équipe de terrain proposent des lieux et des essences en collaboration avec la cellule de gestion des arbres et la cellule maîtrise d'ouvrage.
- A propos des opérations par entreprise, dès la phase d'esquisse, le maître d'œuvre donne une orientation à la palette par rapport à son projet paysager puis à chaque étape les choix se précisent jusqu'à la validation finale du maître d'ouvrage en phase projet. Le maître d'ouvrage s'assure que les paysagistes tiennent compte des conditions pédoclimatiques particulières de Grenoble.
- Dans le cas de plantation avec une maîtrise d'ouvrage déléguée, le service commun de gestion du patrimoine arboré a la position de futur gestionnaire et n'a pas les pouvoirs décisionnels du maître d'ouvrage. Cependant, son point de vue est tout aussi important et il doit être consulté à chaque étape du projet par le biais de fiche navette. Dans les faits ce n'est pas toujours le cas.

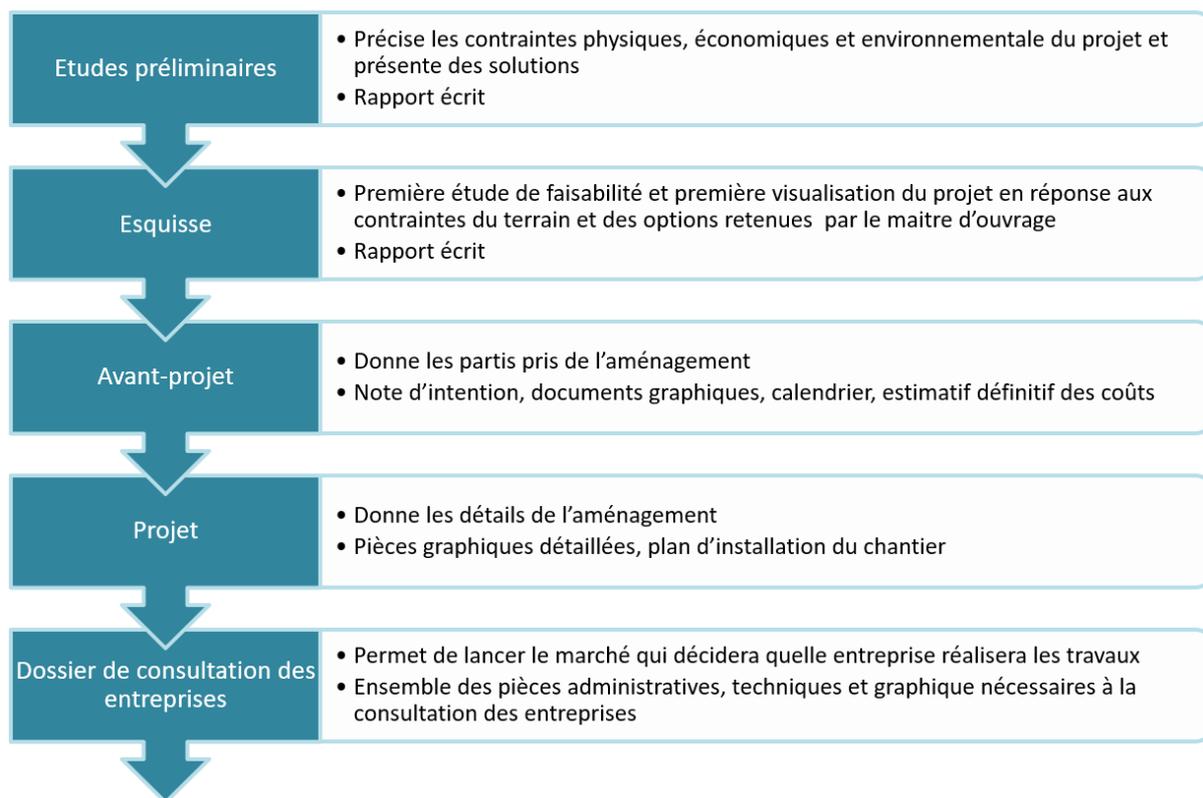


Figure 10 : Succession des sous-étapes de la phase de conception. (A. Meilleur, 2020 d'après CCTP marché public de maîtrise d'œuvre, 2020)

Les étapes de la conception sont des étapes clés pour mener une réflexion approfondie sur la place de l'arbre dans le projet. Dans un espace contraint tel que la ville, il est primordial de se demander quels sont les objectifs de la plantation d'un arbre et comment faire pour y parvenir si nous voulons planter le bon arbre au bon endroit. Il est également important de considérer les arbres à taille adulte, d'intégrer que le volume occupé par les racines est équivalent à celui du houppier et d'anticiper ses interactions avec les autres composantes de son milieu (façades, fondations, réseaux, poids lourds, fréquentation du site, etc.) Les arbres dépendant du sol pour leurs apports en nutriments et en eau, l'attention portée aux décisions liées au substrat, à l'apport en eau et à l'environnement souterrain doit être particulièrement forte.

Une fois l'emplacement et le type d'arbre arrêtés, le choix de l'essence aura un grand rôle dans la stratégie d'amélioration de la longévité des arbres en ville. L'enjeu est de mettre en adéquation les contraintes du milieu et les exigences écologiques de l'arbre selon le concept du bon arbre au bon endroit, afin qu'il puisse se développer normalement. De plus, ce choix doit répondre à plusieurs objectifs telle que la diversification, la qualité paysagère ou encore la facilité de gestion. Les services écosystémiques à développer doivent aussi être au cœur des réflexions.

Le choix de la palette végétale doit être fait avec d'autant plus d'attention que le changement climatique rajoute une contrainte supplémentaire aux arbres et un paramètre supplémentaire à prendre en compte pour les concepteurs.

Une des solutions envisagées pour lutter contre le changement climatique est d'adapter la palette végétale et de tester de nouvelles espèces capables de vivre dans un milieu plus chaud et plus sec. A Grenoble, les équipes terrain ont pris conscience de l'enjeu et de nombreuses essences historiquement non-présente dans la ville ont été introduites. Nous pouvons citer par exemple *Quercus cerris*, *Q. ilex*, *Q. suber*, *Tetradium daniellii*, *Gymnocladus dioica*, *Celtis* sp. Malheureusement ces essais ne sont pas rigoureusement suivis par manque de temps et de moyens, il est donc délicat de tirer des conclusions quant à la pertinence de ces espèces face au changement global. La capitalisation d'information manque, c'est un travail laborieux mais nécessaire pour gagner en connaissances. Cependant, vouloir tester de nouvelles essences impose de les trouver dans les pépinières ayant remporté l'appel d'offre. Un travail collaboratif entre la collectivité et les pépiniéristes peut être une force car ils ont une excellente connaissance des arbres et ont la possibilité de tester des arbres dans leurs parcelles.

Le choix de la palette végétale doit répondre à de nombreuses exigences et objectifs. La réflexion à mener est complexe. De plus, le changement climatique ajoute un paramètre avec une grande incertitude à l'équation. Introduire de nouvelles essences apparaît comme un des leviers pour s'adapter mais cela demande un suivi afin de pouvoir en tirer des enseignements. La diversification est un autre levier déjà bien ancré à Grenoble.

- La réalisation du chantier

Les différentes étapes du déroulement d'un chantier (Figure 11) sont toutes des étapes clefs qui vont avoir un impact à court ou long termes sur les arbres. La collectivité ayant conscience de ces enjeux, ce sont des étapes très détaillées dans les documents du marché de travaux.

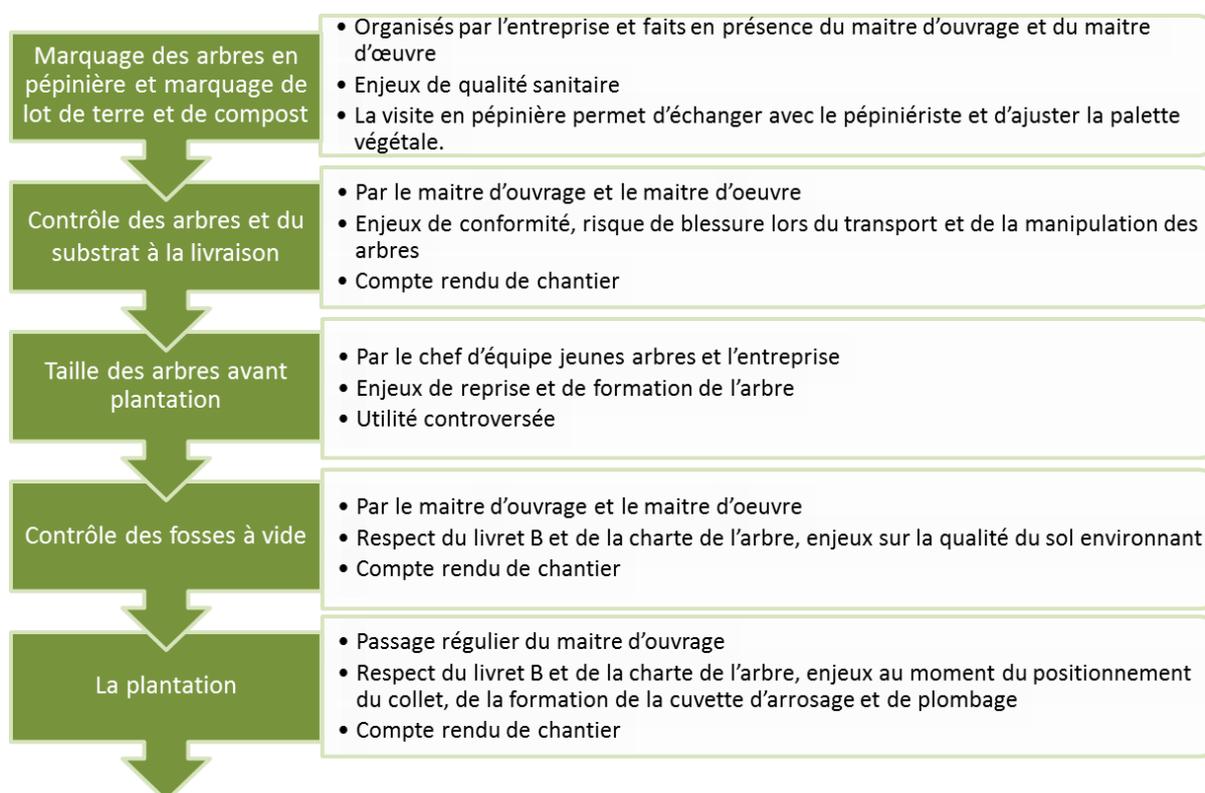


Figure 11 : Succession des sous-étapes de la phase de chantier. (A. Meilleur d'après Livret B, Ville de Grenoble, 2009 ; Charte de l'arbre, Grenoble Alpes Métropole, 2019 ; communications personnelles lors des entretiens)

Concernant le choix des arbres en pépinière, la proximité géographique entre le lieu de production et le lieu de plantation a un double enjeu : créer une continuité des caractéristiques pédoclimatiques et réduire les temps de transport. La réduction des temps de transport a elle aussi un double enjeu : l'amélioration du bilan carbone et la diminution des risques de blessure sur les arbres. Le processus d'achat des arbres est différent suivant qu'il s'agisse de plantation en régie ou par entreprise. Pour répondre à ces enjeux, la ville de Grenoble s'assure d'une provenance locale de ses arbres par la mise en place d'un critère Bilan Carbone sous forme de malus et l'intégration de la marque Végétal Local dans le CCTP.

Certaines pépinières notent l'orientation de l'arbre au moment de l'arrachage. Cette notation n'est ni systématique, ni exigée. Cependant, marquer l'orientation de l'arbre permettrait de le replacer exactement dans la même position lors de sa plantation et ainsi de réduire les risques d'échaudure.

Le contrôle des arbres à la livraison sur le chantier permet au maître d'ouvrage de vérifier la conformité des arbres, les éventuelles blessures occasionnées par le transport et les conditions de stockage envisagées par l'entreprise. Une autre vérification très importante est celle de la motte (motte cassée, grosses racines coupées, symptômes de nécroses racinaire) avec éventuellement un contrôle du bon développement racinaire. Ces éléments ont une incidence sur la capacité des arbres à surmonter le choc de l'arrachage et de la plantation. Le stockage sur chantier peut exposer l'arbre à des risques de vandalisme.

La taille de formation à la plantation est un sujet qui fait débat. En effet, la supériorité de ses bénéfices par rapport aux coûts de main d'œuvre et de temps n'a pas été démontrée. A Grenoble, elle est habituellement pratiquée car elle permet un gain de temps puisque l'arbre est couché. Quentin De Neeff, responsable de la cellule maîtrise d'ouvrage, précise qu'elle a son importance pour beaucoup d'essences mais pour des raisons différentes. Par exemple, elle aide à la reprise des Chênes, élimine les potentielles écorces incluses aux Sophoras et aux Zelkovas ou encore, aère le houppier des fruitiers. Ainsi, la taille à la plantation, comme toutes tailles, demande des connaissances particulières que les entreprises n'ont pas. A Grenoble, c'est le chef de l'équipe Jeunes arbres qui se rend sur le chantier pour montrer comment celle-ci doit être réalisée. Pour la première fois, les arbres plantés en 2019-2020 n'ont pas été taillés à la plantation. Un recensement des arbres n'ayant pas repris pourrait être pertinent pour dégager des tendances quant aux effets cette pratique.

A Grenoble, les volumes de fosse exigés pour les arbres plantés en zones minéralisées sont décrits dans le Livret B. La charte de l'arbre de la Métropole est légèrement plus ambitieuse (Annexe XVIII).

Toutes les personnes interrogées ont confirmé que l'ouverture des fosses était un moment crucial et riche d'enseignements. En effet, d'après Philippe Moussière, responsable du service Bureau d'études d'aménagements des espaces public, la vérification des fosses fait partie des étapes où le futur gestionnaire doit être présent. Lors de cette vérification, les maîtres d'ouvrage et futurs gestionnaires grenoblois sont très attentifs au respect des volumes de fosse. Il arrive que cette étape cruciale pour l'avenir des arbres soit faite dans la précipitation car les intervenants sont peu sensibilisés à l'importance de ce moment.

Le contrôle des fosses de plantation à vide permet également de visualiser l'état du sol sur le pourtour de la fosse. Cette vérification est très importante car malgré les relevés pédologiques, le sol n'est pas homogène en ville. Ainsi, le maître d'ouvrage peut adapter la fosse à la situation.

En ville, les sols doivent être de plus en plus résistants aux passages répétés des poids lourds donc de plus en plus compacts voire asphyxiants (ADEME 2015). Pour permettre la plantation d'arbres tout en répondant aux exigences de portance, un substrat appelé « Mélange terre-pierres » a été mis au point par la direction des Parcs et Jardins de la ville d'Angers dans les années 1980 (Gillig & al. 2008). A Grenoble, le mélange terre-pierres est utilisé systématiquement en accompagnement de voirie ou à proximité d'un cheminement. Afin

d'analyser les avantages et les inconvénients de l'utilisation de ce substrat dans la Ville de Grenoble, un schéma SWOT a été réalisé à partir des informations recueillies lors des entretiens (Tableau 2).

Tableau 2 : SWOT du mélange terre-pierres à Grenoble (A. Meilleur)

Forces	Faiblesse
Supporte très bien la compaction grâce aux pierres qui prennent appui les unes sur les autres Offre une bonne portance en surface et latéralement Peut se compacter sans perdre en porosité Permet la circulation de l'eau et de l'air Evite l'asphyxie racinaire	Mise en œuvre complexe Traçabilité des matériaux difficile à vérifier Enfouissement en profondeur de la matière organique Réserve utile faible, milieu très séchant
Opportunités	Menaces
Centre de compostage municipal Carrière d'effondrement de Livet-et-Gavet qui fournit un matériau simple à récupérer et à concasser Valorisation des déchets alimentaires Sol alluvionnaire riche en limon	Ségrégation du mélange en cas de transport Raréfaction de la terre végétale, qu'il faut aller chercher de plus en plus loin Fourniture auprès de terrassiers qui manipulent d'énormes volumes de tous horizons Coût d'acheminement des matériaux Terres locales calcaires

Cette analyse montre que les forces du mélange terre-pierre portent essentiellement sur ses propriétés mécaniques. Grâce à celles-ci les fosses peuvent se prolonger sous les cheminements. Cependant, c'est un substrat très minéral donc avec une réserve utile faible. Dans le contexte actuel de réchauffement climatique, le caractère séchant de ce substrat pourrait devenir encore plus problématique.

La principale menace planant sur l'élaboration d'un mélange terre-pierres de qualité est la fourniture en terre végétale. Dans la région grenobloise, elle est de plus en plus rare et de surcroît calcaire, il faut aller la chercher de plus en plus loin, ce qui pose des questions de développement durable.

Actuellement, par soucis de facilité, il est commun de combler les fosses par un unique horizon de mélange terre-pierre, ce qui enfouit de la matière organique en profondeur. Ce modèle est opposé à celui des sols naturels comportant de la matière organique seulement dans l'horizon de surface. Ceci entraîne un gaspillage de la terre végétale inutile en profondeur. De plus, lors des diagnostics de sol, les analyses sont principalement menées avec un point de vue physico-chimique, il manque alors la composante microbiologique indispensable au fonctionnement et à la régénération du sol.

Pour le territoire grenoblois, les opportunités liées au mélange terre-pierres se trouvent dans l'utilisation de matériaux locaux et alternatifs à la terre végétale. **Serait-il possible de créer des sols fertiles sans consommer de terre végétale ?**

En substitution de la phase rocheuse du mélange terre-pierre, Grenoble Alpes Métropole a testé une alternative utilisant des caissons en plastique (Modules *Rootstock*). Les fosses en caisson sont remplies avec de la terre-végétale. L'essai compare 4 arbres en caisson et 4 arbres en terre-pierre, durant la première saison de végétation, les arbres en caisson paraissaient mieux repartir. Cependant, après deux saisons, la différence semble s'estomper. Malheureusement, cette expérience n'a pas été protocolée et est très peu suivie, déplore S. Bibollet, chargée de mission gestion du patrimoine naturel et arboré. De plus, le fait d'enfouir

du plastique, même recyclé, dans le sol dérange.

Le mélange terre-pierres est un substrat qui donne de bons résultats à Grenoble malgré la complexité de sa mise en œuvre. Dans l'avenir, l'approvisionnement en terre végétale va devenir de plus en plus problématique ce qui motive déjà des initiatives pour trouver des alternatives. La valorisation des terres en place et la construction de sols fertiles à partir des déchets de la ville peut paraître une solution intéressante pour Grenoble.

- La réception

A la fin du chantier, vient le moment de la réception de l'opération. Si des végétaux ont été plantés, elle peut se faire en deux temps entre-coupés d'une période de confortement (Figure 12).

Le parachèvement correspond à la première année qui suit la plantation d'un arbre et le confortement, à la deuxième voire la troisième année suivant la plantation (Annexe XIX). Cette période de soin est décisive pour l'avenir de l'arbre car il a perdu beaucoup de racines après l'arrachage en pépinière et doit s'adapter à un nouvel environnement. Le parachèvement et le confortement sont généralement exécutés par la structure qui a planté les arbres et sont encadrés par le cahier des charges du marché. Les travaux à exécuter constituent les opérations préalables à la réception (OPR) : contrôle global de tout le chantier, remise du dossier des ouvrages exécutés et du planning de confortement comportant l'organisation des tâches d'entretien, de taille et d'arrosage.

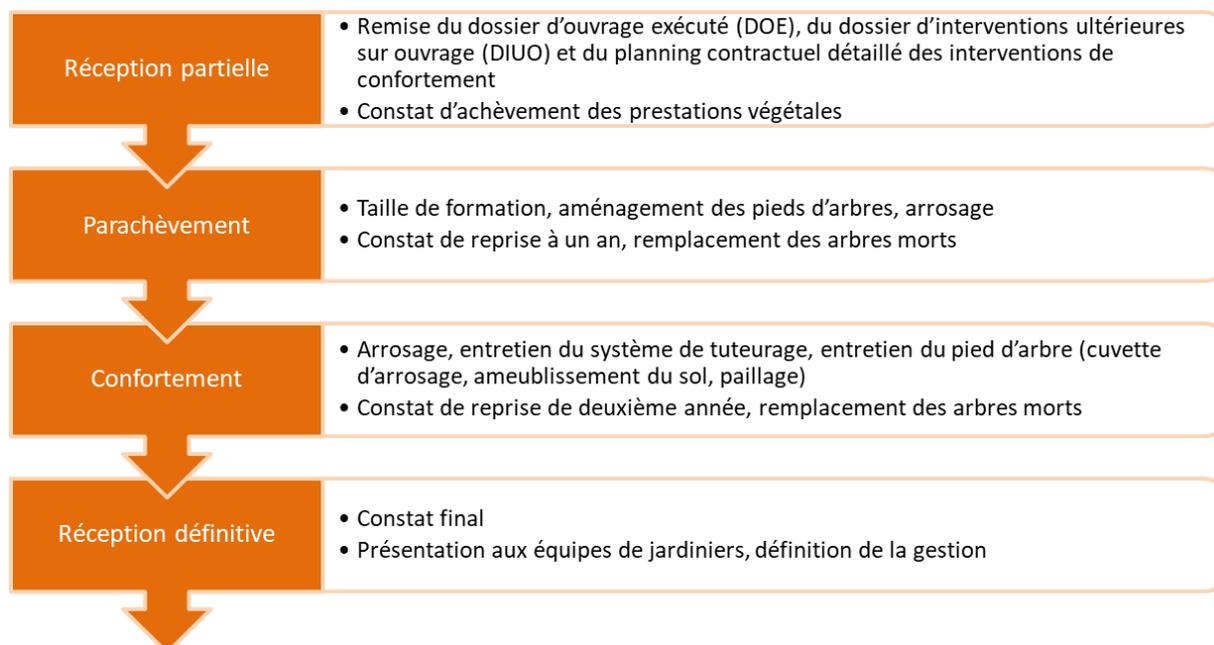


Figure 12 Succession des sous-étapes de la phase de réception. (A. Meilleur d'après Fascicule 35 du CCTG, 1999 ; Charte de l'arbre, Grenoble Alpes Métropole, 2019 ; communications personnelles lors des entretiens)

Q. De Neeff et J. Abel (Assistance à Maitrise d'Ouvrage, Ville de Grenoble) insistent sur des difficultés récurrentes pour faire intervenir les entreprises durant le parachèvement et le confortement car ce sont des travaux sous-estimés par les entreprises dans les BPU pour remporter les marchés. En outre, il est difficile de prouver qu'elles n'ont pas respecté leurs engagements puisque le maître d'œuvre n'assiste pas aux interventions. Les maîtres d'œuvre doivent prendre leurs responsabilités vis-à-vis des entreprises.

Néanmoins, il existe des moyens de dissuasion comme, imposer le remplacement des arbres à la charge de l'entreprise, la non levée de garantie et les pénalités en cas de non-

respect du planning de confortement. Prochainement, l'installation de sondes permettra de vérifier l'arrosage des arbres par les entreprises.

Dans le cas d'un remplacement d'arbres pendant la période de confortement, le cycle parachèvement-confortement n'est pas réinitialisé. De plus, aucun relevé des taux de remplacement n'est effectué jusqu'à présent. Ces données paraissent tout de même pertinentes pour étudier les causes de la non-reprise de jeunes plantations.

D'après B. Blusset, commercial chez les Pépinières Soupe, la principale cause de non reprise à Grenoble est des sols asphyxiants par excès d'eau, vient ensuite le manque de suivi des jeunes plantations. Il constate également des pertes entre la deuxième et la cinquième année après plantation pour des problèmes de substrat.

Après l'arrachage et la perte d'une grande partie de leur système racinaire, les jeunes arbres sont incapables de subvenir à leur besoin en eau. Un stress hydrique pendant cette période peut avoir des conséquences dramatiques longtemps après la plantation. Aujourd'hui peu de mesures réglementaires sont prises pour encourager les entreprises à respecter leurs engagements. Un premier levier d'action apparaît dans la réinitialisation du confortement après le remplacement des arbres morts.

Parmi les opérations de confortement, l'arrosage est décisif pour la survie de l'arbre. Les fréquences et les quantités d'eau sont inscrites au cahier des charges, l'entreprise doit fournir un planning d'arrosage en début de confortement et un bon de passage à chaque arrosage. Les documents des marchés indiquent que chaque arbre doit être plombé à la plantation puis arrosé selon une fréquence et une dose donnée. Dans les faits, les délais ne sont pas forcément respectés, ce qui est d'autant plus problématique que les arbres ne sont pas autonomes.

Dans le but de réaliser des arrosages les plus efficaces possible, des stratégies sont déjà mises en place à Grenoble telles que l'aménagement des pieds d'arbre, la plantation en noues et la suppression de quelques bordures. Au niveau du pied d'arbre, toutes les personnes interviewées font part de l'importance capitale d'avoir une cuvette d'arrosage correctement réalisée, agrémentée de paillage ou de vivaces.

Des tensiomètres ont également été installés pour surveiller le taux d'humidité du sol et déclencher les arrosages au moment opportun. En plus de cela, les tensiomètres permettent d'automatiser le suivi de l'arrosage en période d'enracinement. J. Abel souligne le double intérêt du suivi des besoins en eau : maximiser les chances de reprise et recueillir des données sur les besoins par essence pour déterminer si elles sont autonomes dans le climat grenoblois.

De plus, Grenoble Alpes Métropole fait l'expérience de prendre en charge en interne les travaux de confortement. Aujourd'hui elle le fait sur 200 arbres issus de plantations diffuses par entreprise. Une évaluation des capacités matérielles et humaines sera réalisée pour juger de la faisabilité à plus grande échelle de cette internalisation du confortement.

Enfin, la mycorhization est une opération de plus en plus testée en ville mais les retours d'expérience à long terme sont encore rares. Elle améliorerait les capacités de l'arbre à capter l'eau et les minéraux du sol. Sur le territoire grenoblois, la première opération de mycorhization après plantation a eu lieu en mai 2020 par la Métropole. 126 arbres d'un nouvel aménagement Rue Général Mangin ont été inoculés avec un mélange de bactéries issues du sol en place et d'un champignon endomycorhizien.

Le suivi de l'arrosage pendant le parachèvement et le confortement est vraiment un enjeu déterminant pour la survie des jeunes arbres. Cela peut passer par la mise en place de bons de passage avec application de pénalités. L'autre enjeu est d'assurer la présence d'eau dans le sol à long terme pour que l'arbre puisse évapotranspirer et rafraichir la ville.

L'arrachage et la transplantation représentent un traumatisme pour l'arbre : suppression d'une grande partie de son système racinaire, changement de milieu biotique et abiotique. Après sa plantation l'arbre doit retrouver sa capacité à grandir, explorer son milieu et s'organiser suivant le modèle architectural de son espèce, c'est ce qui est appelé la reprise. Pour retrouver l'entièreté de ses capacités, l'arbre passe par trois phases : phase d'altération, phase de réaction, phase de régénération. Chacune de ces phases a ses caractéristiques propres dont l'observation peut aider à l'évaluation de la reprise. La phase d'altération correspond au contre coup immédiat de l'arrachage. L'arbre ayant perdu son système racinaire, n'est plus en capacité d'alimenter son houppier en eau et en nutriments, ce qui entraîne une baisse de la photosynthèse et la mort prématurée de certaines branches et racines. La phase de réaction est la phase de reprise de croissance, d'abord au niveau du système racinaire puis au niveau du houppier. Cette phase se manifeste par un accroissement de la vigueur, l'allongement des rameaux et l'apparition de rejets sur le tronc. La durée de la phase de réaction est fonction de la gravité de la phase d'altération mais dure généralement de un à cinq ans. La phase de régénération ne se déroule que si la phase de réaction est complète. L'arbre ayant retrouvé son plein potentiel de croissance, peut désormais se développer selon le modèle architectural de son espèce et acquérir son houppier définitif (Atger, Genoyer 2017). Finalement, la reprise peut être qualifiée de :

- minimale si l'arbre a besoin d'un arrosage fréquent pour survivre,
- partielle si l'arbre devient indépendant mais n'atteint jamais les dimensions et la longévité attendues,
- complète si l'arbre est autonome et conforme aux caractéristiques de son espèce,

Bien souvent, l'évaluation de la reprise se limite à un critère binaire : mort ou vivant. Cependant, la reprise d'un arbre est plus complexe que cela. Il est vrai que pendant la première saison de végétation après plantation, la croissance est essentiellement racinaire et donc difficile à observer (la tensiométrie peut aider). La deuxième et troisième année, la croissance de la partie aérienne reprend et il devient possible de mesurer un diamètre de tronc ou de charpentièrre.

Sur le terrain, au moment de la réception des travaux, l'évaluation de la reprise est faite visuellement sans critère précis. Dans le même temps, évaluer objectivement la reprise après seulement deux ans de plantation paraît compliqué. **Existe-il des protocoles et des outils permettant d'évaluer la reprise de manière objective et automatisée ?**

Dans le cadre d'essai de nouvelles variétés ou de nouveaux modes de plantation, il est important de construire un protocole de suivi rigoureux avec des prises de données régulières et un traitement statistique basique pour savoir quel facteur est en cause dans la réussite ou l'échec de la plantation.

- L'évaluation
La phase d'évaluation du projet permet de faire un auto-retour d'expérience plusieurs

années après la réception définitive des travaux. C'est l'occasion de constater les réussites, les échecs et de modifier le cahier des charges pour faire évoluer les pratiques. A Grenoble, elle est très peu pratiquée par manque de temps pourtant si nous voulons mettre en place de nouveaux circuits d'approvisionnement, mettre en place des aménagements innovants et tester des essences encore peu plantées, cette phase d'évaluation deviendra indispensable.

Pour conclure, dans une démarche de durabilité des pratiques et de pérennisation du patrimoine arboré, la description des étapes du processus de plantation a fait apparaître cinq thèmes qu'il paraît pertinent d'approfondir : le mélange terre-pierres, l'adaptation de la palette végétale, la gestion des eaux de pluie, l'évaluation de la reprise et l'optimisation des outils réglementaires.

3.2. Adaptation de la palette végétale au dérèglement climatique

Les conséquences du changement climatique sont d'autant plus importantes sur les arbres urbains car ils sont déjà fragilisés par des conditions défavorables. La sécheresse du sol et de l'air dû aux surfaces minérales entraîne la mort des feuillus indigènes et de l'ensemble des conifères (constat partagé par la plupart des collectivités interrogées). La progression vers le nord des maladies et des ravageurs est accélérée par les alignements monospécifiques. Les contraintes qui se multiplient font que les choix de palette végétale paraissent de plus en plus difficiles et restreints. Cependant, les leviers d'action pour adapter la palette végétale sont nombreux : acclimatation de nouvelles espèces, origine génétique, diversification, force de plantation, mychorization, etc. De plus, pour aider à planter le bon arbre au bon endroit, des projets d'outils d'aide à la décision (OAD) se développent localement.

3.2.1. Etat des lieux des outils d'aide à la décision (OAD)

En 2012, l'ADEME et la Région Hauts-de-France ont commandité un outil d'évaluation des projets de plantation. Cette mission a été confiée à E6 (pôle de compétences Environnement du groupe NEPSSEN, spécialisé dans les stratégies carbone et l'adaptation au changement climatique) et Atelier Colin & Poli Paysages (bureau d'études en paysage). « L'outil Arbo Climat développé pour les collectivités locales vise à réaliser des scénarios de plantation prospectifs dans les villes et à en évaluer l'impact en matière de stockage de carbone. » [14]

Aujourd'hui la base de données de cet outil recense les indicateurs suivants :

- stockage de carbone,
- impact sur l'ICU,
- résilience au changement climatique,
- intérêt pour la biodiversité,
- lutte contre la pollution atmosphérique,
- potentiel non allergisant,

Dans une démarche commerciale, l'outil Arbo Climat permet d'analyser l'impact du patrimoine arboré existant sur ses capacités de séquestration du carbone et de lutte contre les ICU, ainsi que des modélisations pour comparer plusieurs scénarios d'aménagement. De plus, l'outil sélectionne des essences en fonction des indicateurs précédents afin de maximiser les potentiels de la plantation. L'outil est diffusé lors de formations dispensées dans la région Hauts-de-France.

Le projet SESAME (Services ÉcoSystémiques rendus par les Arbres Modulés selon l'Essence) est une commande de la Ville et de la Métropole de Metz au Cerema Est. Il s'agit d'une synthèse des connaissances disponibles sur quatre-vingt-cinq essences d'arbres et arbustes urbains du point de vue de leurs services écosystémiques. Ce projet a abouti à un rapport d'étude, quatre-vingt-cinq fiches espèces et un OAD sur Excel disponible en

téléchargement gratuit sur le site internet du Cerema :

<https://www.cerema.fr/fr/actualites/sesame-projet-innovant-autour-arbre-arbuste-urbain>.

L'OAD prend en compte des critères basés sur les services à développer et les disservices à éviter dans l'aménagement. Il suffit de renseigner des coefficients et le tableur fournit une liste de dix essences non hiérarchisées les mieux adaptées. Pour la Ville de Metz, cet outil est particulièrement utile pour les maîtres d'œuvre qui ont peu de connaissances sur l'arbre. De plus, SESAME assure la prise en compte de services écosystémiques et permet de connaître de nouvelles espèces sans oublier les anciennes (P. Mallavergne, communication personnelle, 30/04/2020). Par contre, cet outil a été développé dans et pour le contexte climatique, écologique et paysager de la région de Metz, il n'est donc pas approprié pour d'autres situations. Néanmoins, le Cerema travaille actuellement à l'adaptation de l'outil dans d'autres contextes et cherche des partenaires pour cela [7]. La Métropole du Grand Lyon va notamment enrichir les connaissances par des retours d'expériences terrains sur environ 250 essences (F. Ségur, communication personnelle, 19/05/2020).

En 2017, un projet allemand a développé la base de données Citree. Des recherches bibliographiques sur plus de 390 plantes ligneuses ont permis de caractériser chacune d'elles en intégrant des aspects urbains. Les données ont été regroupées dans un OAD qui considère simultanément les caractéristiques du site, la répartition naturelle des essences, l'apparence des arbres, les services écosystémiques, les activités de gestion et les disservices causés par les plantes (Vogt et al. 2017). L'OAD est disponible en ligne à l'adresse : <https://citree.de/database.php?language=en>.

De manière plus générale, le CAUE 77 a mis en place une méthode d'aide à la décision basée sur le concept du bon arbre au bon endroit pour choisir des arbres adaptés à leur environnement. Il s'agit de la méthode VECUS (Bonnardot 2011).

V comme Volume : aussi bien volume aérien que souterrain avec pour mise en garde que l'arbre n'est pas la solution à toutes les situations.

E comme Esthétique : Tout ou partie de l'arbre peut présenter une qualité esthétique : feuillage, floraison, fruitaison, écorce, port. L'arbre peut avoir une signification symbolique, refléter l'histoire ou marquer les saisons mais doit surtout s'intégrer dans un paysage.

C comme Climat : les caractéristiques climatiques du site doivent être en adéquation avec les exigences écologiques de l'arbre.

U comme Usages : il faut bien connaître les usages passés et futurs du lieu où l'arbre va être planté afin qu'il ne devienne pas une nuisance et abattu prématurément.

S comme Sol : de même que pour le climat, les caractéristiques pédologiques du site et les exigences de l'arbre doivent correspondre.

Cette méthode reprend les principes de base d'un aménagement paysager contenant des arbres mais qui sont parfois oubliés, elle constitue un excellent rappel.

Plante et Cité a également créé une base de données entièrement dédiée au végétal des jardins et des espaces verts : Floriscope (www.floriscopes.io). Cette application web gratuite permet d'accéder à des informations validées scientifiquement sur les 160 000 plantes du référentiel Végébase [20], [21].

3.2.2. Adapter les caractéristiques des plants

Le choix de l'essence en elle-même est une réponse pour adapter la palette végétale urbaine aux changements climatiques mais les caractéristiques du plant jouent aussi un rôle et peuvent être modulées : force, présentation, provenance, mode de propagation, opérations culturales, type d'aménagement, etc.

Concernant la réflexion sur la force des arbres à la plantation, les collectivités interrogées affichent plusieurs stratégies. Les collectivités au nord de Grenoble (Grand Nancy, Metz et Besançon) choisissent de planter plus petit (10/12, 12/14, 14/16) voire en racines nues pour

un meilleur contrôle des racines à la plantation et une adaptabilité au sol plus facile (S. Lelièvre, communication personnelle, 05/05/202). Cependant, planter petit oblige à adapter les protections déployées : tuteurage quadripode avec double planchette, protection des troncs, sanctuarisation des pieds d'arbres avec de la ganivelle pour ne pas que les chiens ou les personnes approchent l'arbre (P. Mallavergne, communication personnelle, 30/05/2020). E. Burtin, quant à elle, ne préconise pas de planter des arbres d'une force inférieure au 18/20 à Valence car les arbres sont trop sensibles aux dégradations, au vent et à la réverbération. De plus, les rendus visuels et d'ombrage sont plus rapides (E. Burtin, communication personnelle, 04/06/2020). A Grenoble, la stratégie proche de celle de Nancy, Metz et Besançon : planter plus jeune pour donner à l'arbre la possibilité de s'adapter à son environnement.

3.2.3. La diversification pour plus de résilience

Lorsqu'on évoque l'adaptation au changement climatique, la notion de diversification est une « solution » souvent citée par les collectivités interrogées et la bibliographie. D'après Y. Caraglio, la diversification est le premier levier pour adapter le patrimoine arboré d'une collectivité au changement climatique. Elle présente de nombreux avantages, outre ralentir la propagation des pathogènes, comme enrichir les paysages urbains et favoriser la connaissance culturelle et botanique des citoyens (Gillig & al. 2008).

En 1990, Santamour disait déjà qu'une ville avec une bonne diversité arborée ne comportait que 10% d'arbres d'une même espèce, 20% d'un même genre et 30% d'une même famille (Santamour 1990). Les objectifs de diversification des essences pour la Métropole de Lyon sont plus ambitieux avec pas plus de 10% d'une espèce, 15% d'un genre et 20% d'une famille (Métropole du Grand Lyon 2018). Les enjeux de diversification sont intéressants pour Grenoble qui compte comme genres majoritaires le genre *Acer* (17%) et le genre *Platanus* (15%), deux genres à risque actuellement, l'un du fait de la sécheresse atmosphérique, l'autre du fait du chancre coloré. Les frênes sont également en à surveiller à cause de l'expansion de la chalarose.

L'enrichissement de la palette végétale peut se faire à trois échelles : l'équilibrage des proportions d'essence déjà présentes, « l'introduction » d'essence à fort potentiel et la diversification génétique au sein des populations.

Les essences à fort potentiel doivent répondre à des critères d'adaptation face aux contraintes environnementales actuelles et futures. A Grenoble, il semblerait que les contraintes prédominantes soient :

- l'amplitude thermique entre l'été et l'hiver,
- la sécheresse atmosphérique,
- les sols calcaires
- l'engorgement hivernal et le manque d'eau en été

De manière générale, le changement climatique entraîne une grande disparité entre les années, il faut donc des arbres qui supportent les accidents climatiques (Y. Caraglio, communication personnelle, 22/07/2020).

La diversification passe aussi par la diversité génétique et par la diversité de provenance des plants utilisés. Actuellement, principalement pour des raisons d'homogénéité, la multiplication des arbres se fait par bouturage ou greffage ce qui crée des populations clonales non résilientes. Repasser aux semis permettrait de réintroduire de la diversité génétique.

Concernant les arbres urbains, les pépinières de multiplication et d'élevage sont des partenaires indispensables puisque qu'elles sont le premier maillon de la chaîne et qu'elles ont une capacité de prospection que les villes n'ont pas. Là aussi l'anticipation est nécessaire puisqu'il faut une dizaine d'années pour mettre en place la culture d'une nouvelle essence (Y. Caraglio, communication personnelle, 22/07/2020). Pour Thierry Lamant, dendrologue à

l'ONF, trois origines mériteraient d'être développées : les régions montagneuses de l'Atlas, du Mexique et de Turquie (T. Lamant, communication personnelle, 08/01/2020). Les collectivités interrogées ont plutôt choisi d'orienter leur palette végétale vers des espèces originaires du bassin méditerranéen (Annexe XX).

Pour faciliter ce type de collaboration il peut être envisagé d'inscrire cette démarche dans un projet d'achat public innovant. Ce type de contrat, encadré par le décret n° 2018-1225 du 24 décembre 2018, permet de déroger aux obligations de publication et de mise en concurrence pour les achats innovants de moins de 100 000 € HT (Direction des affaires juridiques 2019). En 2019, Bordeaux Métropole est passé par un achat public innovant pour rédiger l'accord-cadre relatif à l'achat de semences « Végétal local - Vraies messicoles » [2]. Un autre type de contrat pouvant être mis en place est le contrat de culture. Ces contrats entre une collectivité et un pépiniériste permet de mettre en culture les variétés souhaitées aux quantités voulues plusieurs années en amont d'un projet. Les contrats de plantation sont pertinents dans le cas de variétés spécifiques pour garantir une disponibilité et dans le cas de chantiers de grande envergure [19].

En milieu urbain, la micro-dendrométrie est applicable à de nombreuses situations comme le suivi de reprise de jeunes plantations, l'observation de l'effet d'un arrosage ou la comparaison de réaction entre plusieurs espèces. Dans le cadre de l'étude « Arbre et Climat », menée par la Ville de Paris, une expérimentation compare la croissance de Tilleuls et de Micocoulier non irrigués d'une même rue (Figure 13). Nous constatons que le Micocoulier est en croissance avec une amplitude de contraction plus faible. Les Tilleuls stoppent leur croissance et la reprennent après une pluie (flèches rouges). Cela montre que les Micocouliers subissent moins de contraintes hydriques que les Tilleuls, ce serait donc une espèce mieux adaptée aux contraintes urbaines.

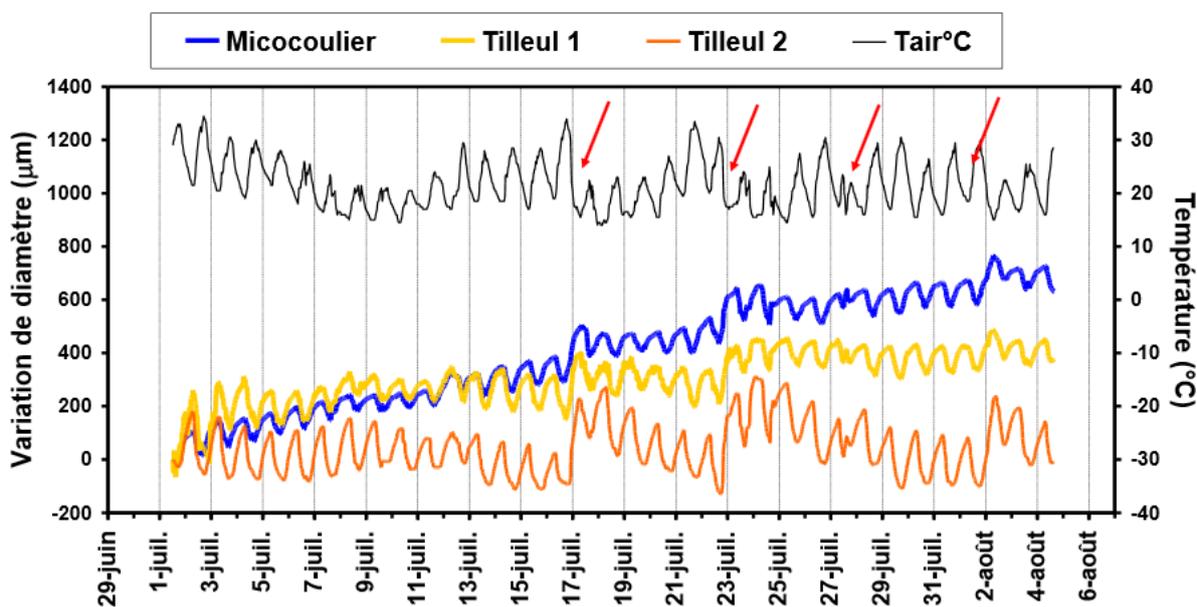


Figure 13 : Evolution du diamètre de branche de Micocoulier et Tilleul en fonction du temps mesuré par PériPIAF. (Améglio, 2015)

Pour conclure concernant l'adaptation de la palette végétale au dérèglement climatique, une première étape pour le Service des Espaces Verts de la Ville de Grenoble serait d'analyser l'ensemble du patrimoine actuel pour savoir quelles espèces souffrent et lesquelles ne souffrent pas et dans quelles situations. D'où la mise en place d'un plan de gestion pluriannuel prenant en compte l'évolution de la palette végétale. D'autre part, anticiper et échanger avec les pépiniéristes, est également indispensable puisque les délais de mise en production sont longs. Enfin, participer à des projets à plus grande échelle permettrait d'améliorer, dans le même temps, les connaissances scientifiques.

3.3. Mélange terre-pierres, améliorations et alternatives

3.3.1. Amélioration et alternative de la phase terre

Le mélange terre-pierres est très utilisé à Grenoble, aussi bien en voirie que le long de cheminement en parc et jardin. Cependant, l'approvisionnement en terre végétale est de plus en plus compliqué. En effet, traditionnellement, les terres végétales utilisées sont issues du décapage des terrains agricoles ou naturels, motivé par l'étalement urbain ce qui entraîne la dégradation des milieux naturels et l'artificialisation des sols. Dans une démarche de développement durable, l'utilisation de terre décapée venant de centaines de kilomètres n'est plus acceptable. Une solution se trouve dans la constitution et la création de sols issus de matériaux de recyclage. Deux techniques se distinguent :

- La reconstitution de sol : construction d'un sol à partir de couches successives de matériaux récupérés localement aux propriétés biophysicochimiques différentes suivant le modèle des horizons naturels (Sol Paysage 2013).
- La création de sol : fabrication de sol par un processus de pédogénèse à partir de matériaux inertes et organiques du territoire (Damas, Coulon 2016).

Ces deux techniques partagent la même philosophie basée sur :

- la préservation de la ressource en terre végétale,
- la réutilisation des sols en place,
- le recyclage des déchets,
- le travail à l'échelle locale,
- la réduction des émissions de gaz à effet de serre liés aux transports,
- la réduction des coûts,

Plusieurs projets, utilisant ces techniques, ont déjà vu le jour en France comme le programme ADEME-SITERRE, le projet SCIENCIL à la Cité Internationale de Lyon ou le dispositif Terre Fertile 2.0 à Lyon Confluence.

Le programme SCIENCIL est un programme de recherche et développement mené dans le cadre de l'aménagement de la Cité Internationale de Lyon depuis 1993. L'étude regroupe des chercheurs et des professionnels des secteurs public et privé dans le but de réinventer les pratiques d'aménagements paysagers. Les thématiques de travail portent sur :

- les sols reconstitués,
- les transferts hydriques sol/plante pour rationaliser l'arrosage,
- le développement et la croissance des arbres avant et après plantation sur site,

Ce programme a tenté de répondre aux questions suivantes :

- La tranchée continue avec horizons différenciés est-elle une bonne alternative à la

- fosse unitaire ? Peut-on s'assurer de la qualité de sa constitution ?
- Peut-on créer différents types de sols fertiles, aux propriétés distinctes, en utilisant les matériaux disponibles dans la région ? Peut-on s'assurer de la qualité de ces matériaux importés ?
- Le mélange terre / compost constitue-t-il un horizon de surface fonctionnel ?
- Quelle épaisseur définir pour chaque horizon sur le profil entier, en particulier quelle profondeur pour l'horizon de surface organique ?
- Comment réduire le besoin en arrosage des plantations ?

Dans ce projet, la technique utilisée est la reconstitution de sols multi-horizons à partir de matériaux du site et de matériaux terreux issus de sites décapés alentour. Les profils de sol ont été réfléchis en fonction du type de végétation qui sera implanté et du type de sol déjà présent. Par exemple, sous les zones plantées d'arbres, les premiers horizons de sol non fertile ont été décapés afin de fournir un plus grand volume sous-terrain aux arbres. Au contraire, dans les zones plantées de pelouse seule une couche de terre-compost a été rajoutée par-dessus le sol en place. Autre exemple, lorsque l'horizon profond était trop filtrant, un horizon d'argile non compactée a été rajouté pour augmenter la réserve utile du sol.

En 2013, il a été réalisé une nouvelle étude de caractérisation et d'analyse des sols créés. Les résultats sont très positifs puisqu'un développement racinaire a été constaté dans les horizons peu organiques de sous-surface voir jusqu'à un mètre de profondeur et jusqu'à cinq mètres du tronc en surface. De plus, les analyses indiquent une bonne stabilisation de la matière organique, mettant en évidence une vie du sol active. Cependant, les chercheurs ont constaté que le type d'encaissant influe sur la circulation d'eau dans le sol. Ils ont constaté que plus le fond de fosse est anthropisé plus la vitesse d'infiltration est faible, ce qui engendre des engorgements à l'origine des traces d'hydromorphie observées (Sol Paysage 2013).

Transposer cette technique de reconstitution de sols multi-horizons à Grenoble peut être pertinent car il y a une grande diversité de matériaux due à des sols hétérogènes. Néanmoins, faire coïncider offre et demande paraît compliqué et nécessiterait un travail de prospection contraignant. De plus, comme le souligne le rapport de synthèse du programme SCIENCIL, une des limites de la technique de reconstitution employée lors de ce programme est qu'elle utilise des matériaux terreux décapés provenant de chantier alentour, contraire à la lutte contre l'artificialisation des sols. Une perspective d'amélioration serait de créer ces matériaux à partir des déchets de la ville (Sol Paysage 2013). C'est ce que propose le programme ADEME-SITERRE.

Ce dernier, mené de 2010 à 2015 et porté par Plante et Cité, a pour objectifs de proposer des substituts aux ingrédients classiques du mélange terre-pierres parmi les sous-produits de l'activité urbaine. Suite au programme ADEME-SITERRE, un livre intitulé *Créer des sols fertiles, du déchet à la végétalisation urbaine* de Olivier Damas et Anaïs Coulon a été publié aux éditions Le Moniteur. Ce livre retrace les réflexions menées et tous les travaux d'analyse des matériaux et des mélanges testés. Le programme met en avant les matériaux qui ont le plus de potentiel à l'échelle nationale et pose les bases pour lancer des projets de création de sols innovants et écoresponsables à l'échelle locale.

D'après les auteurs, l'élément clef réside dans « une organisation logistique de proximité ». La première étape est donc de bien connaître son territoire. Il faut être attentif à trois points (O. Damas, communication personnelle, 11/06/20) :

1. Connaître le coût environnemental et financier : Combien de kilomètres parcourent les camions pour évacuer et ramener des matériaux terreux sur les chantiers ? Combien cela coûte ? Les réponses à ces questions nous permettront d'évaluer la pertinence des démarches de revalorisation, l'objectif étant de faire mieux que la filière classique.
2. Réaliser un « sourcing » qui ne ferme aucune porte :
 - Connaître la géologie : Quelles ressources naturelles sont présentes sur le

territoire ? Quel type de matériaux peut-on trouver si on excave au-delà des remblais de surface ?

- Identifier les opportunités locales : le territoire a-t-il des spécificités industrielles ? Papeterie ? Briqueterie ? Centre de compostage ?
 - Connaître les flux de matériaux : Quels sont les matériaux qui partent en stockage ou en enfouissement de déchets ? Quel est le référentiel de la filière traditionnel de la terre végétale ?
 - Connaître les acteurs du territoire : Quels sont les acteurs à intégrer dans la démarche ? Les services de la ville, de la Métropole, les aménageurs, les industriels, les terrassiers ?
3. Ne jamais perdre de vue l'utilisation finale du sol créé. En particulier des usages alimentaires ou non-alimentaires car cela a de l'influence sur les matériaux pouvant être employés. Par exemple, pour un usage non alimentaire il est possible d'utiliser des sols pollués dans les couches profondes de la fosse. A condition aussi, que ce sol ne représente pas un danger pour les personnes qui vont le mettre en œuvre et nuire aux végétaux et la vie du sol.

Les projets de création de sol sont des projets de grande ampleur qui nécessitent de l'espace de stockage, du temps (plusieurs années), font intervenir de nombreux acteurs et imposent une vision globale du territoire. Il serait judicieux de mener ce genre de projet à l'échelle de la Métropole. Le territoire grenoblois présente de nombreux atouts en termes de récupération de matériaux (limons alluvial, matériaux d'excavation, boues de papeterie, gravats, carrières d'effondrement) et la philosophie du recyclage est déjà bien ancrée. La collectivité a déjà mis en place des filières de valorisation : valorisation des déchets verts en compost et BRF, valorisation des déchets alimentaires en compost et biogaz. Néanmoins, la création de sol fait intervenir des compétences spécifiques liées au génie pédologique, il donc important de s'entourer de bureaux d'études experts dans le domaine.

A Lyon Confluence, le dispositif Terre fertile 2.0 a l'ambition de créer les terres qui serviront à l'aménagement des espaces verts d'un quartier, grâce au processus de pédogénèse. Les essais ont commencé en septembre 2019, ils consistent en neuf mélanges de limons d'excavation, de compost et de terre végétale en différentes proportions. Ils testent également l'influence des engrais verts sur le processus d'agrégation. Des prises d'échantillons sont réalisés tous les six mois et ce, pendant trois ans. Grenoble a beaucoup d'intérêt à suivre le dispositif Terre fertile 2.0 car ce projet utilise des matériaux disponibles sur l'agglomération grenobloise. Le protocole peut également être repris voire adapté en fonction des spécificités des matériaux récoltés. L'équivalence climatique entre les deux territoires permet de supposer que le processus de pédogénèse sera de même durée. L'exemple de Lyon est aussi pertinent du point de vue de sa mise en place. En effet, il s'intègre en lieu et place du futur quartier pour lequel les terres sont créées, ce qui évite la recherche d'un espace dédié. Enfin, nous pouvons voir une similitude en termes d'historique des lieux et de projet d'urbanisation entre les quartiers Lyon Confluence et Presqu'île de Grenoble, ce qui peut faciliter les transferts d'expériences.

A Strasbourg, la Société Publique Locale Deux-Rives est à l'initiative d'un projet de réemploi des sols en place. Des sondages et des analyses de sol ont mis en évidence des limons sains mais stériles et des terres alluviales fertiles sous des remblais pollués. Ces terres ont été remises en surface et utilisées lors de l'aménagement des espaces verts du quartier (Emmerich 2019). Bordeaux et Bordeaux Métropole, accompagnées par l'agence ArcaGée, sont aussi très engagées dans des opérations de réutilisation des sols en place. Nous pouvons notamment citer la dépollution de 3000m³ de terres par biodégradation des hydrocarbures sur la ZAC Pont Rouge à Cenon et les opérations de retraitement et la réutilisation des sols sur le site de la ZAC Bastide Niel (Semavoine 2019). Ces deux exemples constituent, en plus de celui de Lyon, des sources d'inspiration convaincantes pour lancer des projets d'une telle ampleur à Grenoble.

N'oublions pas qu'un sol sans matière organique et sans micro-organisme en quantité suffisante n'est pas un sol viable à long terme.

3.3.2. Améliorations et alternatives de la phase pierre

Dans un mélange terre-pierres, les pierres sont les éléments qui assurent la portance du sol. Dans la région grenobloise, les carrières productrices de tels matériaux ne manquent pas. Cependant, les deux massifs sur les trois entourant Grenoble sont calcaires. L'utilisation des pierres qu'ils procurent génère des sols basiques, inadapté pour la majorité des arbres d'ornement. A l'occasion des entretiens avec d'autres collectivités, plusieurs alternatives au mélange terre-pierres sont apparues. Les objectifs de ces techniques sont les mêmes : offrir aux arbres la possibilité de s'étendre sous la voirie tout en assurant un maximum de portance.

Les dalles de répartition sont des structures en béton armé répartissant les forces qui s'exercent au-dessus. Les arbres sont ensuite plantés dans de la terre végétale (H. Steineger-Chamayou, communication personnelle, 14/05/2020). Les plantations sous dalle réalisées par les collectivités interrogées ont été faites il y a seulement quelques années, le recul sur le développement des arbres est donc trop faible pour pouvoir tirer des conclusions. Néanmoins, cette technique semble présenter des inconvénients : un prix très élevé, une mise en place complexe et un temps supplémentaire de durcissement du béton (F. Segur, communication personnelle, 19/05/2020).

De plus en plus d'entreprises d'aménagement d'espaces verts développent des systèmes de caisson en plastique formant un squelette remplissable avec de la terre végétale. Ces systèmes se composent de briques unitaires à assembler ce qui offre une grande modularité. Une fosse en caisson apporte un plus grand espace d'enracinement, une meilleure réserve utile donc un développement plus important des arbres, ainsi qu'une réduction du lessivage des polluants (Grenoble-Alpes Métropole 2019). Malgré les nombreux avantages que semblent présenter les caissons, les collectivités interrogées sont réticentes à l'idée d'enfouir du plastique dans le sol et s'interrogent sur la pérennité à long terme de cette matière.

Une technique à l'origine développée pour éloigner les racines des réseaux consiste à installer des bacs béton préfabriqués ou coulés sur place, enterrés ou semi-enterrés et de le remplir de terre (Annexe XXI). Le but est de gagner un maximum de volume même au-dessus de la voirie. Cette méthode présente, quand même de gros désavantages puisqu'elle enferme l'arbre dans un « pot » en béton, les conditions de sol ne sont pas excellentes, les arbres doivent être petits ce qui oblige le petit développement ou la transplantation du sujet au bout de cinq à dix ans (E. Burtin, communication personnelle, 04/06/2020).

Finalement, comme le souligne F. Ségur, le modèle mélange terre-pierres reste la méthode la plus facile à mettre en œuvre, la plus polyvalente et la moins chère. Il ne faut tout de même pas exclure ces alternatives qui peuvent être la solution dans des cas particuliers et dont nous pouvons nous inspirer. De manière générale, il s'agit, pour chaque opération, d'étudier la place disponible, de l'utiliser un maximum (tranchée, fosses, structure autoportante pour gagner sous la voirie) et en fonction de l'espace obtenu d'orienter le choix de la palette végétale, conclut P. Mallavergne.

Pour conclure concernant les alternatives au mélange terre-pierres traditionnel, il serait intéressant pour le Services des Espaces verts de la Ville de Grenoble, et plus largement pour les personnes travaillant dans le domaine de l'aménagement paysager sur le territoire grenoblois, d'aller voir ce qui a été mis en place par la Métropole de Lyon concernant la création de sols fertiles à partir de terres limoneuses excavées. Dans le même temps, calculer les coûts environnementaux et financiers des pratiques actuelles et commencer la réflexion sur le sourcing des matériaux. Le sujet étant complexe, il convient de s'entourer de professionnels spécialisés.

3.4. Gestion et récupération des eaux de pluie

Les arbres régulent le climat urbain grâce à deux phénomènes : l'ombrage et l'évapotranspiration. Lorsqu'il fait très chaud et sec, les arbres arrêtent d'évapotranspirer pour se protéger mais réduisent, dans le même temps, leur effet de climatiseur. En parallèle, le climat se dérègle, les modèles prédisent des précipitations irrégulières, moins fréquentes et plus intenses. Les infrastructures d'assainissement sont menacées de saturer, augmentant les risques d'inondation et de pollution. Pour répondre à ces deux enjeux, des solutions techniques existent, elles sont basées sur les principes d'infiltration à la parcelle et de recharge des nappes souterraines, développant ainsi le concept de « zéro tuyau ». L'objectif est également de réduire les prélèvements d'eau dans le milieu naturel et d'atteindre une certaine autonomie vis-à-vis de la ressource. C'est par exemple, l'objectif que se fixe la Ville de Besançon, qui vise à être autonome en eaux de réserve pour pouvoir arroser les jeunes arbres même en période de restriction via la récupération des eaux de pluie sur les bâtiments (S. Lelièvre, communication personnelle, 05/05/2020).

3.4.1. Quelques exemples d'aménagements

- Les jardins de pluies

Dépressions peu profondes aménagées sur un sol perméable avec des plantes ou des arbustes locaux supportant à la fois une bonne humidité et des périodes de sécheresse occasionnelles (Martineau 2011). Cet aménagement est conçu pour infiltrer les eaux de ruissellement des toitures, des voiries et des aires de stationnement environnantes. Leur dimension et leur forme sont à adapter en fonction volumes d'eau drainés. En zone résidentiels petite à moyenne, les jardins de pluie sont faciles à mettre en place (Giguère 2009), en cœur d'ilot par exemple (Annexe XXII).

- Les noues et tranchées d'infiltration

Linéaires peu profondes, perméables, permettant aux eaux de ruissellement de s'infiltrer (Martineau 2011). Les noues captent un volume d'eau beaucoup plus faible que les jardins de pluies mais ont une action beaucoup plus localisée. Les noues sont souvent à immédiate proximité des usagers, le besoin d'esthétisme est fort. Pour limiter le développement des adventices, il arrive de trouver une bâche tissée sous une couche de paillage. Cette façon de faire est totalement contreproductive puisqu'elle ne permet pas l'infiltration de l'eau, accroît les risques de stagnation et de développement des moustiques.

De 2013 à 2014, Plante et Cité a développé un projet de synthèse bibliographique et de retour d'expérience intitulé Aménagement et choix des végétaux des ouvrages de gestion des eaux pluviales de proximité (VEGEPP). L'étude appuie le caractère multifonctionnel et multiservices des ouvrages de gestion des eaux pluviales de proximité. Elle détaille tous les éléments techniques pour les mettre en œuvre, notamment une annexe spécifique dédiée au

choix des végétaux. (Sauve et al. 2014).

- Les chaussées à structure réservoir

Ouvrages souterrains capables de stocker et de restituer à la nappe les eaux tombées sur les voiries. Plusieurs principes de chaussées à structure réservoir existent, (Annexe XXIII) elle se différencie par le type d'injection et d'évacuation des eaux dans le système. L'enrobé de surface pouvant être poreux, les risques de colmatage ne sont pas négligeables ce qui requiert un entretien important (Lille Métropole 2012).

- Les puits d'infiltration

Ouvrages verticaux de profondeur variable servant à stocker temporairement les eaux de pluie et à les infiltrer directement dans les couches profondes et la nappe. Le puits peut être comblé par un matériau poreux type gravier ou sable (Martineau 2011). Les chaussées à structure réservoir et les puits d'infiltration ne peuvent pas être végétalisés, ils n'ont qu'une fonction d'infiltration. Cependant, ils présentent l'avantage d'envoyer l'eau directement dans la nappe et ainsi de participer à la recharge de celle-ci. Les arbres pourront avoir accès à l'eau localement en la puisant dans la nappe.

- Les revêtements perméables

Revêtements qui, en plus d'être poreux, ont un albédo faible ce qui participe d'autant plus à la réduction des ICU (Annexe XXIV). C'est un système modulable : la métropole de Lyon en a installé en pied d'arbre et peut les retirer facilement au fur et à mesure que l'arbre se développe (Figure 14).



Figure 14 : Pavé non sellé au pied d'un platane rue Garibaldi à Lyon. (Photo : A. Meilleur)

- Le Système de Stockholm

Système créé par Björn Embren, responsable du patrimoine arboré de la ville de Stockholm. Ce système est défini par son créateur comme « un environnement d'enracinement pour les arbres, construit avec de grosses pierres où nous infiltrons les eaux pluviales et assurons les travaux d'échange de gaz » (Jaluzot 2017). Il est basé sur un principe de connexion systématique des fosses de plantation aux eaux de ruissellement et constitue une alternative pour pallier aux contraintes séchantes du mélange terre-pierres (Haddad 2017). En France, ce système est beaucoup utilisé en voirie par la métropole de Lyon qui a donc une grande expérience dans sa mise en œuvre. D'après F. Segur le système de Stockholm et les noues sont les méthodes les plus efficaces pour allier infiltration des eaux de pluie et bénéfiques pour les arbres (F. Segur, communication personnelle, 01/07/2020). Cependant, il a constaté que pour assurer une distribution homogène de l'eau de ruissellement dans une fosse continue en système de Stockholm, un regard entre chaque arbre est nécessaire.

- Les sols à mèche

Cette technique reprend le principe des fosses continues avec des surprofondeurs ponctuelles atteignant la nappe subaffleurante. La terre fine des surprofondeurs permet la remontée de l'eau par capillarité et ainsi, d'alimenter les sols de surface (Sol Paysage 2013). Elle a été développée lors du programme SCIENCIL mais son évaluation n'a pas encore été réalisée. Sachant que la nappe n'est aussi qu'à quelques mètres de profondeur à Grenoble, cette technique pourrait être intéressante à développer.

Tous les aménagements présentés ici sont transposables à Grenoble. Ils ont chacun leurs avantages et leurs inconvénients mais ils sont surtout à adapter en fonction du lieu, du sous-sol et de la topographie. Avant de mettre en place ces types d'infrastructures, il est nécessaire

de veiller à supprimer tous les obstacles à l'écoulement de l'eau et de créer des pentes en direction des fosses. En complément de ces aménagements basiques ces techniques peuvent apporter un confort hydrique supplémentaires aux arbres dans des situations de sols difficiles. Ces aménagements prennent leur sens s'ils sont accompagnés d'une réflexion profonde sur la palette végétale.

3.4.2. Un exemple concret et complet : la rue Garibaldi à Lyon

A Lyon, le réaménagement de la rue Garibaldi a été l'occasion de mettre en place une expérience pilote de rafraîchissement de l'air. Afin d'assurer un apport en eau aux arbres en période de canicule pour ne pas qu'ils stoppent leur évapotranspiration, un système d'arrosage exceptionnel a été mis en place. Pour ne pas puiser dans la ressource naturelle, un bassin de stockage des eaux de pluie a été aménagé dans une ancienne trémie (Annexe XXV). Pour suivre la réaction de arbres, ils sont munis de trois types de capteurs :

- des tensiomètres pour évaluer le confort hydrique et relever l'activité racinaire,
- des thermomètres pour évaluer l'effet sur la température et vérifier l'atténuation thermique,
- des microdendromètre/PépiPIAF pour contrôler l'état hydrique de l'arbre.

L'irrigation est déclenchée seulement en période de canicule, soit trois arrosages en 2019. Le but n'étant pas de biberonner les arbres mais de leur permettre d'évapotranspirer dans les moments les plus critiques.

Pour conclure concernant la gestion des eaux de pluie à Grenoble, les arbres doivent pouvoir disposer de toute l'eau tombée à proximité de celui-ci. Toutes les techniques décrites précédemment apportent une réponse à cette exigence. Il est nécessaire de les adapter aux conditions spécifiques de chaque aménagement et de chaque besoin. Dans le cas de lutte contre les ICU en centre-ville, la bonne gestion de l'eau peut permettre une continuité de l'évapotranspiration malgré des conditions de canicule.

3.5. Formaliser l'évaluation de la reprise

Le changement climatique impacte déjà la Ville de Grenoble, la santé de ses habitants et celle de ses végétaux. Face à l'urgence, il faut être proactifs et mettre en place des solutions d'adaptation. Malheureusement, la solution universelle n'a pas encore été trouvée. Il faut donc oser tester, essayer, expérimenter puis évaluer pour avancer. Dans le cas de l'arbre, si nous voulons tester de nouvelles espèces, de nouveaux sols ou de nouvelles manières d'aménager, un suivi à long terme est indispensable. Cependant, nous avons vu précédemment que, dans les faits, cette évaluation se résumait à un critère binaire « mort » ou « vivant » alors qu'elle est en réalité beaucoup plus complexe. La reprise se définit en trois étapes (Atger, Genoyer 2017) :

- une phase d'altération,
- une phase de réaction,
- une phase de régénération,

Chacune de ces étapes a des caractéristiques propres dont l'observation peut aider à savoir où se situe l'arbre et si cela est normal au vu de son âge. La phase la plus déterminante est la phase de réaction. C'est la phase de reprise de croissance, d'abord au niveau du système racinaire puis au niveau du houppier, elle dure généralement entre un et cinq ans (Atger, Genoyer 2017). Cependant, comment évaluer de manière rigoureuse l'évolution de la

vigueur et l'allongement du système racinaire et des rameaux d'un arbre ?

3.5.1. L'évaluation « manuelle » de la reprise

Des protocoles et des outils de mesures existent déjà depuis plusieurs dizaines d'années mais restaient réservés à la sylviculture, à l'arboriculture fruitière et à la recherche. Devant l'importance que prend l'arboriculture ornementale, de plus en plus de travaux de recherche portent sur l'arbre en ville, son développement, sa physiologie et ses réactions aux stress urbains.

En 1997, le programme SCIENCIL a testé la possibilité d'appliquer la méthode de l'analyse architecturale (méthode de lecture morphologique du développement des arbres initiée par F. Hallé et C. Edelin) comme protocole de diagnostic de reprise des arbres d'ornement. Dans un premier temps développé pour étudier l'architecture aérienne des arbres, il a été étendu à la partie racinaire en 2000. « Le diagnostic architectural permet d'estimer la longévité potentielle du sujet, ses dimensions maximales attendues, sa capacité de réaction à des actions de taille, ses aptitudes de croissance et de développement [...]. » (Atger, Genoyer 2017) Ces caractéristiques sont déduites à partir de deux observations terrain : le stade de développement et l'évolution de la vigueur d'ensemble de l'arbre au cours du temps.

Concernant l'évaluation de la reprise racinaire, trois méthodes d'échantillonnage ont été pratiquées mais elles sont toutes partiellement ou totalement destructrices. L'étude de plusieurs critères fait ressortir que l'indicateur majeur de la reprise d'une racine est la présence d'un à trois rejets dominant les autres remplaçant ainsi la racine coupée lors de l'arrachage. La performance de la reprise s'évalue par la comparaison du système racinaire de l'arbre planté avec celui d'un arbre n'ayant pas subi d'arrachage. Les résultats montrent que les arbres avec la meilleure performance de reprise racinaire sont ceux plantés en fosse continue, protégés par des sujets plus gros et avec des plaies racinaires inférieure à 2 cm de diamètre.

Ce type d'évaluation n'est pas applicable en ville puisque destructeur, il est donc primordial d'anticiper cela et de faciliter en amont la reprise de la croissance racinaire. En effet, selon Claire Atger, « l'étape clef de la reprise d'un végétal transplanté est sans conteste la reprise ou régénération de son enracinement. » (Atger, Genoyer 2017). D'où le grand intérêt qui doit être porté à la qualité de l'état racinaire des plants et du mode de production en pépinière. Les auteurs préconisent de planter en racines nues, des sujets de force inférieure à 18/20, présentant un système racinaire jeune, bien équilibré et peu mutilé (Atger, Genoyer, 2017).

A propos de la partie aérienne, les tests réalisés par le programme SCIENCIL ont montré que le suivi de l'évolution de la vigueur et sa répartition dans le houppier sont des critères « fiables, fidèles et performants » pour évaluer la reprise aérienne des arbres. Les trois indicateurs étudiés sont (Atger, Genoyer, 2017) :

- « La vigueur de l'allongement d'ensemble : caractérisée par le nombre et la longueur des pousses annuelles des tiges principales et des rejets éventuels.
- La répartition spatiale de la vigueur : distribution des différentes longueurs des pousses et leurs hétérogénéités éventuelles dans le houppier.
- La dynamique de croissance de l'arbre : évolution dans le temps de la vigueur d'ensemble du houppier »

Les mesures d'allongement se font entre le débourrement et les deux mois qui suivent. De plus, un suivi régulier et sur plusieurs années peut être un bon marqueur du comportement de l'arbre. Par exemple, s'il suspend sa croissance plus rapidement que d'habitude en réaction à un stress. Les mesures d'allongement donnent une image à posteriori de ce qu'a vécu l'arbre (T. Améglio, communication personnelle, 12/05/2020).

Les résultats montrent que trois qualités du plant influent la reprise de vigueur : le

patrimoine génétique, l'âge ontogénique et une vigueur déjà élevée en pépinière. En revanche, cette étude a aussi montré qu'il était facile de faire des erreurs d'interprétation. Certaines essences présentent une alternance irrégulière de l'allongement des tiges d'une année sur l'autre, ce qui rend le critère vigueur d'ensemble caduc. De plus, une reprise aérienne ne signifie pas que l'arbre a une autonomie hydrique et dans le cas où il serait autonome, cela ne garantit pas l'accroissement de l'arbre dans le temps (Atger, Genoyer, 2017). La mise en place sur le terrain d'une évaluation de la reprise par des critères architecturaux demande des compétences d'expertise que possèdent certains bureaux d'études ou accessibles par une formation dédiée [8].

3.5.2. Mesurer la reprise par prise de données automatisée

L'acquisition de données renseignant sur la reprise des arbres peut également être automatisée. Les critères mesurés ne sont alors plus morphologiques mais physiologiques et nécessitent l'utilisation de capteurs : tensiomètre, micro-dendromètre, chambre à pression.

La tensiométrie, déjà utilisée à Grenoble, permet de suivre le bilan hydrique du sol et de visualiser l'eau prélevée par l'arbre. En plaçant des capteurs en profondeur et en surface éloignés de la motte, nous pouvons voir s'il y a une activité racinaire hors de celle-ci. La Métropole du Grand Nancy redéploie tous les ans son parc de tensiomètres juste après la période de plantation sur 2 à 3% des arbres nouvellement plantés. L'objectif est de varier les essences et les projets pour avoir une vision globale sur la Métropole. Généralement le suivi est réalisé sur un an. Dans le cas de conditions de sol difficile, le suivi peut être étendu à deux ans pour vérifier que les racines sortent bien de la motte (C. Dard, communication personnelle, 27/04/2020.)

La chambre à pression rend possible le suivi de l'état hydrique de l'arbre par mesure du potentiel hydrique (mesure de la capacité de rétention de l'eau dans la feuille). Ce dispositif donne une bonne image du potentiel hydrique du sol vu par l'arbre c'est-à-dire l'état d'équilibre entre l'eau du sol et l'évapotranspiration. L'évolution du potentiel hydrique d'un jour sur l'autre et au sein d'une même journée permet de savoir si l'arbre a évapotranspiré. Aujourd'hui, des experts ont peut-être acquis cette technologie mais elle reste surtout utilisée en verger fruitier et en recherche (T. Améglio, communication personnelle, 12/05/2020)

La mesure de variation de diamètre en continu par microdendrométrie (Figure 15) permet de visualiser la croissance secondaire d'un arbre et de connaître le niveau de consommation de ses réserves en eau. En effet, quand les feuilles transpirent, tous les organes de la plante contribuent à cet effort, l'écorce cède de l'eau et nous observons une contraction des tissus dans la journée, puis une récupération la nuit. Ces variations permettent d'avoir une idée très précise de l'état hydrique de la plante et de ses capacités de croissance. Cette méthode est un compromis entre l'indicateur d'état hydrique et l'indicateur de croissance (Figure 16). L'INRAE de Clermont-Ferrand développe depuis plusieurs dizaines d'années l'outil PépiPIAF, « un système électronique autonome miniaturisé qui mémorise les variations de diamètre des organes (ex. tronc, branche ou fruit) d'un arbre très précisément (au micron), sans perturber son fonctionnement » (Améglio 2017). Aujourd'hui la distribution du système PépiPIAF est



Figure 15 : Microdendromètre installé sur une charpentière de platane, rue Garibaldi, Lyon. (Photo : A. Meilleur)

exclusivement assurée par le bureau d'études HydraSol. Lors du réaménagement de la rue Garibaldi à Lyon, certains arbres ont été équipés de capteurs, dont des PépiPIAF, connectés au réseau de collecte et d'analyse de données du projet européen BIOTope. Dans ce projet, les capteurs servent à évaluer l'effet d'un arrosage sur l'effet d'îlot de chaleur urbain en période de canicule.

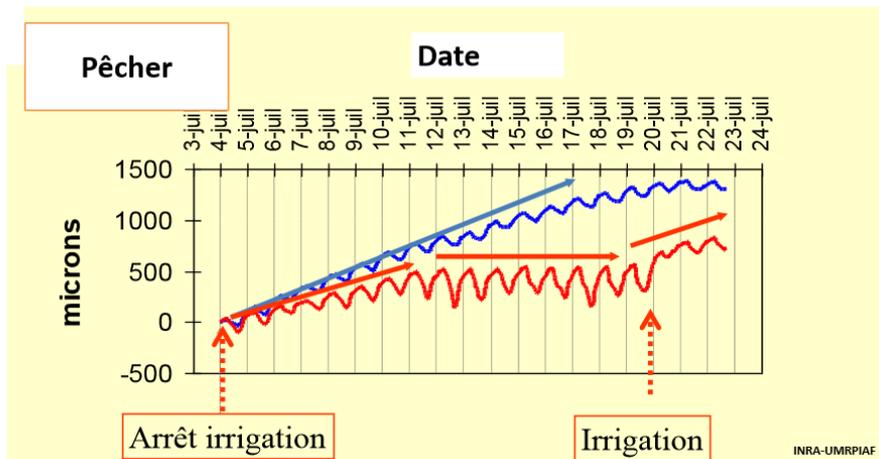


Figure 16 : Evolution du diamètre de branche d'un pêcher irrigué (bleu) et non irrigué (rouge) en fonction du temps mesuré par PépiPIAF. Les « vaguelettes » représentent les variations de diamètre journalières, plus l'arbre puise dans ses réserves plus les amplitudes journalières sont grandes. Sur l'ensemble du mois de juillet, la branche du pêcher irrigué a gagné +1500 μm . (Améglio, 2015)

Dans le cadre de la gestion des nouvelles plantations et de l'évaluation de la reprise, l'utilisation du système PépiPIAF peut être très pertinente et complémentaire aux relevés tensiométriques, comme le montre une expérimentation sur Platane menée par la Ville de Paris et Hydrasol (Figure 17). Nous pouvons voir que l'amplitude de contraction est de plus en plus forte, le réservoir hydrique se vide complètement, les arbres ne croissent plus (ovales bleus). Nous voyons les impacts positifs immédiats des épisodes pluvieux sur la reprise de croissance (bandes bleues). A partir du 22 juin, les amplitudes de contraction deviennent de plus en plus faibles alors que les journées sont de plus en plus chaudes, l'évapotranspiration est de plus en plus forte et il n'y a pas d'apport d'eau (Flèche noire). Cela signifie que les arbres ont trouvé une nouvelle source d'eau, leur système racinaire est sorti de la motte, ils sont devenus autonomes (T. Améglio, communication personnelle, 12/05/2020).

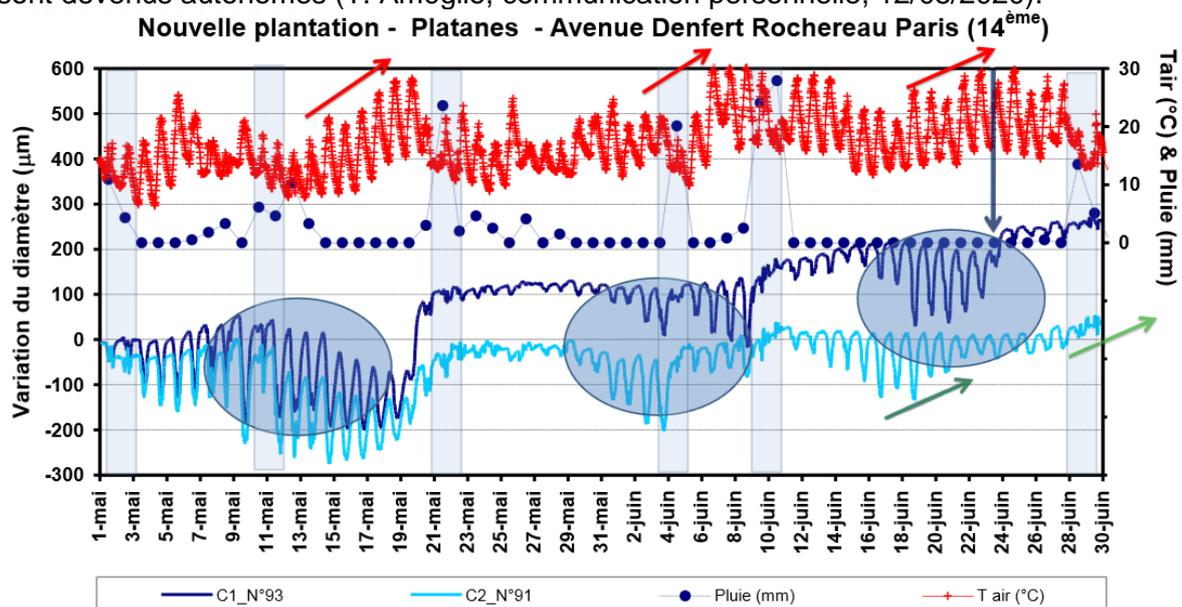


Figure 17 : Evolution du diamètre de branche de platane en fonction du temps mesuré par PépiPIAF (Améglio, 2015)

Actuellement, les plus gros freins à l'utilisation de ces systèmes de capteurs connectés sont leur coût et le manque de connaissances en recherche fondamentale sur le fonctionnement des arbres urbains. D'après F. Ségur, Pepipiaf, par exemple, est un outil cher, sensible, difficile à manipuler, qui est pour l'instant seulement utilisé dans le cadre de programmes de recherche. Si la Ville de Grenoble souhaite développer des projets pour tester de nouvelles essences en réponse au changement climatique, elle peut créer des partenariats avec des centres de recherche, centres techniques, bureaux d'études, interprofessions afin de mutualiser les moyens et mettre en place des protocoles normalisés. Plante et Cité peut faire le relais entre les différents acteurs et aider à la mise en place d'observatoires. A des échelles plus larges l'objectif serait de construire des bases de données de retour d'expérience (Y. Caraglio, communication personnelle, 22/07/2020).

Pour conclure concernant l'évaluation de la reprise, il serait pertinent pour le Service des Espaces Verts de la Ville de Grenoble de commencer par former à la reconnaissance morphologique caractérisant la reprise des arbres. Les personnes concernées seraient celles participant à la seconde phase de réception de chantier. Ensuite, définir de manière précise la reprise dans les cahiers des charges et rajouter des critères chiffrés et des seuils. Enfin, prendre contact avec des organismes tels que Plante et Cité ou l'INRAE pour participer à des projets plus globaux et bénéficier d'un suivi.

3.6. Optimisation des outils réglementaires et de cadrage

3.6.1. Les outils du Plan Local d'Urbanisme

Le PLU est un document de planification qui permet la mise en place de leviers d'action pour la protection des arbres existants et promouvoir leur plantation. Le PLU de Grenoble Alpes Métropole contient une OAP Paysage et Biodiversité dans laquelle sont détaillées toutes les structures paysagères du territoire et leurs particularités écologiques. Elle donne aussi « les modalités qualitatives d'implantation et de traitement des abords de bâtiments, espaces végétalisés, clôtures, espaces de stationnement, etc. » pour valoriser la biodiversité (Grenoble Alpes Métropole 2019).

D'après Samuel Lelièvre, les phases de planification sont les plus importantes pour garantir une vie longue et en bonne santé aux arbres urbains. En effet, anticiper les aménagements permet d'éviter des situations de gestion complexes. Par exemple, la construction d'un bâtiment trop près d'un alignement d'arbres préexistant, qu'il va falloir tailler régulièrement voire abattre prématurément. Cela passe par des services techniques et des élus sensibilisés au caractère indispensable du végétal en ville. De plus, le PLU peut être un bon outil pour prévenir les problèmes de cohabitation arbres/bâtiments en donnant la priorité aux arbres existants, en considérant l'arbre à taille adulte, en donnant les distances à respecter et en indiquant des emplacements réservés pour la plantation. Ainsi, c'est le bâtiment qui s'adapte à l'arbre et non plus l'inverse.

Une initiative de ce type a été prise lors de la création de la ZAC Victoire Hugo à Bagneux (92). En 2012, une OAP « Trame vertes » intègre le PLU, elle délimite des zones vertes inconstructibles pour préserver les cœurs d'îlots verts mêmes sur des parcelles privées. De plus, un nouveau type de zonage a été créé (UBio et UBiop) afin de préserver les zones inconstructibles dans une zone urbanisée. En 2016, Le PLU est enrichi par un coefficient de pleine terre, un coefficient de biotope et par une réglementation sur les clôtures perméables à la petite faune (Neaud, Salmon 2020).

3.6.2. Les outils de la charte de l'arbre et le cahier des charges

La charte de l'arbre est moteur dans la protection et la promotion de l'arbre en ville. Selon

les collectivités elle a des formes variées. Pour la Métropole du Grand Lyon, la charte de l'arbre est issue d'une consultation des acteurs du territoire dans tous les domaines. Aujourd'hui le réseau regroupe 120 signataires et compte se développer vers les bailleurs sociaux, les hôpitaux et les promoteurs immobiliers (F. Segur, communication personnelle, 01/07/2020). Le fait d'avoir participé à l'élaboration de la charte et de la signer responsabilise les entreprises qui s'engagent à respecter ses exigences.

A Metz, la charte de l'arbre et le CCTP arbre sont en co-construction avec Metz Métropole (P. Mallavergne, communication personnelle, 30/04/2020). La co-construction permet de fédérer les services ville et métropole et d'uniformiser les préconisations. L'outil de protection mis en avant par la charte de l'arbre actuelle de Metz est un chiffrage du prix des arbres largement surévalué. En effet, certains arbres remarquables valent entre 200 000 et 300 000€. Pour cela ils utilisent le barème BEVA enrichi d'autres critères. Le barème est appliqué en cas de dégradation sur arbres par des tiers (ex : accident de voiture) ou par des entreprises (ex : travaux à proximité) ou lors de l'établissement d'un permis de construire pour dissuader un abattage. Selon P. Mallavergne, cet outil est très efficace.

La Ville de Valence, quant à elle, a intégré le barème de la valeur de l'arbre dans le règlement de voirie. Cependant, l'originalité de Valence se trouve dans sa gestion du confortement. Fixé à trois ans, il est réinitialisé pour les arbres remplacés. Trois ans est le temps minimum pour qu'un arbre commence à montrer des signes solides de reprise et permet de mettre en évidence des travaux mal réalisés. Il faut alors prouver la responsabilité de l'entreprise et cela demande du temps de suivi (une personne y est dédiée à Valence). Faire repartir le confortement à zéro après un remplacement vient d'une lecture peu courante du Fascicule 35 qui considère un renouvellement comme une nouvelle plantation. De plus, les OPR sont considérées comme garantie à 5% et non pas comme travaux, sur lesquels il n'y a pas de pénalités importantes affichées. Finalement, trois modes d'action apparaissent pour faire respecter leur engagement aux entreprises : la pénalité et son application, le faire faire au frais de l'entreprise et la réinitialisation des OPR après remplacement (E. Burtin, Communication personnelle, 04/06/2020)

3.6.3. Le cas des Zones d'Aménagement Concerté

Concernant le suivi, les ZAC sont des projets particulièrement difficiles à accompagner, pourtant, le service des espaces verts, en tant que futur gestionnaire, a de nombreuses préconisations et validations à donner.

S. Lelièvre insiste sur le fait que le Service des Espaces Verts peut aller plus loin qu'une simple validation sur un projet, il peut apporter une vision globale en termes de prise en compte de la biodiversité et de cohérence d'aménagement du territoire. La plus-value du service se trouve aussi sur les aménagements privés.

Devant le manque de consultation des entreprises privée auprès du Service des Espaces Verts, certaines collectivités interrogées ont trouvé des solutions. La Métropole du Grand Nancy compte une personne à temps plein sur le suivi des dossiers ZAC, ceci a permis au service d'offrir un interlocuteur unique et d'obtenir une meilleure visibilité (C. Dard, communication personnelle, 27/04/2020).

Montpellier a réussi à établir un dialogue de confiance avec la maîtrise d'ouvrage déléguée qui contraint désormais son maître d'œuvre à consulter la ville dès qu'un doute survient. Pour se faire entendre, la Ville a dû bloquer la réception des opérations jusqu'à la mise en place du réflexe de consultation (H. Steineger-Chamayou, communication personnelle, 12/05/2020). Valence et Besançon présentent une stratégie différente. Sur des aménagements à fort enjeux, l'opération est réalisée pour tout ou partie en interne.

3.6.4. Les méthodes de calcul de la valeur des arbres

Comme nous l'avons vu avec le cas de Metz, l'évaluation de la valeur des arbres peut

être un outil juridique puissant. Actuellement, le Barème d'Evaluation de la Valeur des Arbres (BEVA) est la méthode la plus utilisée. La Charte de l'arbre Ville de Grenoble et la Charte de l'arbre Grenoble Alpes Métropole utilisent ce barème. Il basé sur quatre critères : espèce et variété, valeur esthétique et état sanitaire, situation, dimension. Cependant, il est peu précis et ne tient pas compte de la complexité du lien entre l'arbre, le paysage et les usagers (Espace public et Paysage 2018). En 2016, l'association Copalme, le CAUE 77 et Plante et Cité ont lancé la création d'un nouveau barème pour calculer la Valeur Intégrale Evaluée de l'Arbre (VIE) et d'Evaluation des Dégâts causés aux arbres (BED). Ce barème se veut très précis mais facile à utiliser, pour cela des données sont déjà préremplies et seulement une douzaine de critères sont relevés par l'opérateur (Haddad 2017). Cet outil permet donc de calculer la valeur d'un arbre à n'importe quel moment de sa vie (Espace public et Paysage 2018). Les tests sur le terrain ont montré une prise en main rapide et peu d'écarts entre les résultats obtenus pour un même arbre par différents opérateurs (Haddad 2017) ce qui prouve la fiabilité de cet outil. Ce barème sera très prochainement disponible gratuitement sur internet (Espace public et Paysage 2018).

Pour conclure concernant l'optimisation des outils règlementaires et de cadrage, considérer les arbres remplacés durant la période de confortement comme nouvelle plantation permettrait au Services des Espaces Verts de la Ville de Grenoble de s'assurer une attention plus poussée de la part des entreprises sur les arbres. Ensuite, mettre en place le barème VIE et surtout le BED pour dissuader et chiffrer les préjudices causés aux arbres. Enfin, il faut faire preuve de fermeté et appliquer les sanctions en cas de non-respect des engagements.

Conclusion

Le contexte politique actuel semble favorable à la plantation d'arbres de ville. Arborer la ville est une mission noble et légitime lorsque nous connaissons les services rendus par les arbres. Cependant, la mission devient bien délicate quand nous prenons conscience de la multitude d'acteurs et de contraintes que présente le milieu urbain, les moyens qu'il faut employer. En effet, si nous voulons que les arbres se développent correctement il faut leur offrir les conditions les plus proches de leur milieu naturel. A cela s'ajoutent les changements climatiques globaux qui nous obligent à repenser nos manières de faire. L'objet de ce mémoire est donc de proposer des pistes de réflexion pour assurer une place plus durable aux arbres dans le milieu urbain.

Afin d'apporter des éléments de réponse concrets, le choix des entretiens a été privilégié. Ils ont permis de dresser un diagnostic des pratiques actuelles et d'apporter des éléments de réponse utilisés par d'autres collectivités. Ce travail a parcouru l'ensemble du processus de plantation depuis les étapes de conception jusqu'à la fin du confortement. Le sujet étant très large, ce travail ne constitue qu'une première approche des réflexions à mener. Les propositions faites sont en accord avec la philosophie observée du service mais aucune analyse de faisabilité n'a été réalisée. La poursuite de ce travail pourrait se traduire par un approfondissement spécifique de chacun des thèmes développés ici.

Les sols en tant que milieu nutritif, milieu vivant et milieu gestionnaire des eaux, sont peu considérés lors des projets. Les sols apparaissent dans trois des cinq thématiques développées lors de la présentation des pistes d'amélioration pour la commune de Grenoble. Malgré qu'ils soient cachés sous nos pieds, ils mériteraient une attention plus particulière. En effet, de leur qualité dépend la qualité des services écosystémiques rendus par les arbres.

N'oublions pas non plus que les arbres ne sont pas la solution à tous les problèmes et à toutes les situations. Ils ne sont qu'un levier d'action parmi d'autres et doivent être intégrés dans une réflexion plus globale.

Bibliographie

ADEME, 2015. *Les sols portent notre avenir* [en ligne]. [Consulté le 2 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.ademe.fr/sols-portent-avenir>

AMÉGLIO, Thierry, ADAM, Boris et COSTE, Didier, 2017. Gérer la santé des arbres : une surveillance électronique en continu de la croissance et des besoins en eau. *Séminaire du GEA « Biomécanique de l'Arbre »* [en ligne]. 2017. [Consulté le 29 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/hal-02799330/document>

ATGER, Claire et GENOYER, Pascal, 2017. *Sciencil-Synthèse thématique-Reprise des arbres-Racines et tiges* [en ligne]. Plante & Cité. [Consulté le 8 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.plante-et-cite.fr/ressource/fiche/440/sciencil_reprise_des_arbres_rac

BAIZE, Denis, GIRARD, Michel-Claude et ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'ÉTUDE DU SOL, 2009. *Référentiel pédologique 2008*. Versailles : Éditions Quae. ISBN 978-2-7592-0185-3.

BONNARDOT, Augustin, 2011. *Le choix de l'essence la mieux adaptée au site, Méthode VECUS* [en ligne]. [Consulté le 29 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <http://s4.e-monsite.com/2011/05/27/08/CHOIX-ESSENCE-ADAPTEE.pdf>

CCAS VILLE DE GRENOBLE, 2019a. *Plan municipal canicule 2020-2022*.

CCAS VILLE DE GRENOBLE, 2019b. *Plan d'actions air-énergie-climat de la ville de Grenoble et du CCAS 2019-2025*.

CHAMBRE DE COMMERCE ET D'INDUSTRIE DE GRENOBLE, 2017. L'économie de la région grenobloise. [en ligne]. 2017. [Consulté le 25 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.grenoble.cci.fr/jsp_ccig/saisie/liste_fichiergw.jsp?OBJET=DOCUMENT&CODE=1352191345321&LANGUE=0

CHOUMERT, Johanna et TRAVERS, Muriel, 2010. La capitalisation immobilière des espaces verts dans la ville d'Angers. *Presse de Sciences Po « Revue économique »*. 2010. Vol. 61, pp. 821 à 836.

DAMAS, Olivier et COULON, Anaïs, 2016. *Créer des sols fertiles : du déchet à la végétalisation urbaine*. ISBN 978-2-281-14096-5.

DELORT, Claire, DUTT, Agathe, KOCH, Adrien, LAVEAU, Charles, LESAGE, Colombine, PORTHEAULT, Leonard, SCHMITT, Thomas et SILLY, Florian, 2014. Produits alternatifs au sel de déneigement. . 2014. pp. 43.

DIRECTION DES AFFAIRES JURIDIQUES, 2019. *Guide pratique de l'achat public innovant* [en ligne]. [Consulté le 19 août 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/daj/guide-pratique-achat-public-innovant.pdf

EMMERICH, Sarah, 2019. *Deux-Rives Zwei-Ufer 4 quartiers en projets* [en ligne]. Eurométropole de Strasbourg. [Consulté le 20 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : https://strasbourgdouxrives.eu/wp-content/uploads/2019/07/brochure_deux-rives_BD_2.pdf

ESPACE PUBLIC ET PAYSAGE, 2018. Vers un nouveau barème d'évaluation de la valeur des arbres. . 2018. Vol. Espace public et Paysage, n° 187, pp. pp 58 et 59.

GIGUÈRE, Mélissa, 2009. *Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains*. Institut national de santé publique du Québec.

GILLIG, Charles-Maternelle, AMMAN, Nicolas et BOURGERY, Corinne, 2008. *L'arbre en milieu urbain : conception et réalisation de plantations*. Gollion : Infolio éditions. ISBN 978-2-88474-036-4.

GILLMEISTER, Nills, 2020. Jardins thérapeutiques du CHUR de Nancy. . 24 février 2020.

GRENOBLE ALPES MÉTROPOLE, 2019. *OAP Paysage et Biodiversité Confluence grenobloise* [en ligne]. [Consulté le 20 août 2020]. Disponible à l'adresse : https://sitdl.lametro.fr/urba_posplu/PLUI_GAM/4_1_OAP_thematiques/OAP_Paysage_Biodiversite/03_OAP_Paysage_ConfluenceGrenoble.pdf

GRENOBLE-ALPES MÉTROPOLE, 2017. *Baro'métropole*.

GRENOBLE-ALPES MÉTROPOLE, 2019. *Charte de l'arbre, guide technique en faveur de la protection et du développement du patrimoine arboré sur les espaces publics*.

HADDAD, Yaël, 2017. Arbres urbains : un capital à protéger et à valoriser. *Lien horticole*. 30 août 2017. N° 1025, pp. 12 à 16.

JALUZOT, Anne, 2017. Gérer les eaux de pluie avec le système de Stockholm. *32ème Arborencontre* [en ligne]. 2017. [Consulté le 21 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.arbres-caue77.org/medias/files/32e-arborencontre-montevrain-170613-aj.pdf>

JONES, Andy, HILLSDON, Melvyn et COOMBES, Emma, 2009. *Greenspace access, use, and physical activity: Understanding the effects of area deprivation*.

LEROY, Louison, 2019. *Palette végétale : intégrer les sols construits et le milieu urbain, dans le contexte d'un projet expérimental mené par AGREGE* [en ligne]. other. Lyon : Agrocampus Ouest. [Consulté le 3 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02336596>

LILLE MÉTROPOLE, 2012. *Fiche 5: Les chaussées à structure réservoir* [en ligne]. [Consulté le 21 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : http://services-urbains.lillemetropole.fr/public/doc/eauxPluviales/08_Fiche_Technique_5.pdf

LONG, Nathalie et TONINI, Brice, 2012. Les espaces verts urbains : étude exploratoire des pratiques et du ressenti des usagers. *[VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement*. 2012. Vol. 12, n° 2, pp. 19. DOI 10.4000/vertigo.12931.

MARTINEAU, Geneviève, 2011. *Analyse du cycle de vie des impacts environnementaux découlant de l'implantation de mesures d'atténuation d'îlots de chaleur urbains*.

MÉTROPOLE DU GRAND LYON, 2018. *Une canopée pour la Métropole de Lyon ? Enseignements d'un benchmark international* [en ligne]. [Consulté le 29 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : https://blogs.grandlyon.com/developpementdurable/wp-content/blogs.dir/11/files/dlm_uploads/2019/06/etude_canopee.pdf

NEAUD, Christelle et SALMON, Delphine, 2020. *Sol et végétal : au coeur des aménagements urbains*. CEREMA.

PAPIN, Olivier, THUILLIER, Bertrand, COLIN, Alexandre, JOUAN DANIEL, Rachel, VIAL, Raphaël, BOQUILLON, Sandrine et BOISLEUX, François, 2018. *L'arbre en milieu urbain, acteur du climat en région Hauts-de-France* [en ligne]. [Consulté le 29 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.arbre-en-ville.fr/wp-content/uploads/2019/05/Guide20127arbre20acteur20du20climat20en20milieu20urbain202018.pdf>

PLU VILLE DE GRENOBLE, 2015. *Cartes des plus hautes eaux prévisionnelles de la nappe phréatique*.

POLOMBO, Nadine et YENGUÉ, Jean-Louis, 2015. *Espaces verts urbains : intérêt des données socio-économiques de l'INSEE* [en ligne]. [Consulté le 2 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01977637/document>

ROMAN, Lara et SCATENA, Frederick, 2011. *Street tree survival rates: Meta-analysis of previous studies and application to a field survey in Philadelphia, PA, USA*.

SANTAMOUR, F.S Jr, 1990. Trees for urban planting: diversity uniformity, and common sense. In : *Trees for the Nineties: Landscape Tree Selection, Testing, Evaluation and Introduction* [en ligne]. pp. 57-65. [Consulté le 29 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://pdfs.semanticscholar.org/26a2/4c5361ce6d6e618a9fa307c4a34a3169e309.pdf>

SAUVE, Alain, GLATARD, Florent, FAUCON, Philippe et DAMAS, Olivier, 2014. *Aménagement et choix des végétaux des ouvrages de gestion des eaux pluviales de proximité* [en ligne]. [Consulté le 22 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.plante-et-cite.fr/ressource/fiche/120/amenagement-et-choix-des-vegetaux-des-ouvrages-de-gestion-des-eaux-pluviales-de-proximite-vegepp>

SEMAVOINE, Claire, 2019. Ecoquartier Bastide Niel : une gestion éco-responsable et durable des sols urbains et des déchets de terrassement. *ZAC Bastide Niel* [en ligne]. 24 janvier 2019. [Consulté le 20 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.bastideniel.fr/ecoquartier-bastide-niel-une-gestion-eco-responsable-et-durable-des-sols-urbains-et-des-dechets-de-terrassement/>

SEV GRENOBLE, 2020. *Bilan Arbo 2019*.

SOL PAYSAGE, 2013. *Sciencil-Synthèse thématique - Sols de la CIL* [en ligne]. [Consulté le 8 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.plante-et-cite.fr/ressource/fiche/98/sciencil-les-sols>

TILLIER, C., MEDINA, S. et PASCAL, M., 2016. *La prévention de la mortalité attribuable à la pollution atmosphérique : pourquoi agir maintenant ?* [en ligne]. Santé publique France. [Consulté le 27 août 2020]. Disponible à l'adresse : www.santepubliquefrance.fr

VILLE DE GRENOBLE, 2018. *L'adaptation au changement climatique à Grenoble, Evolutions climatiques, enjeux, stratégies*.

VILLE DE GRENOBLE, 2019. *Information sur la qualité de l'air, Projet d'aménagement Vallier-Catane*.

VOGT, Juliane, GILLNER, Sten, HOFMANN, Mathias, THARANG, Andreas, DETTMANN, Sebastian, GERSTENBERG, Tina, SCHMIDT, Catrin, GEBAUER, Helmut, VAN DE RIET, Keith, BERGER, Uta et ROLOFF, Andreas, 2017. Citree: A database supporting tree selection for urban areas in temperate climate. *Landscape and Urban Planning*. 1 janvier 2017. Vol. 157, pp. 14-25. DOI 10.1016/j.landurbplan.2016.06.005.

Sitographie

[1] AGENCE RÉGIONALE DE LA BIODIVERSITÉ, 2020. PARC PAUL MISTRAL | Label-Ecojardin. [en ligne]. 2020. [Consulté le 25 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.label-ecojardin.fr/fr/sites-labellises/parc-paul-mistral>

[2] ASSOCIATION AQUITAINE DES ACHATS PUBLICS RESPONSABLES, 2019. L'achat innovant au service du fleurissement durable de Bordeaux Métropole. [en ligne]. 2019. [Consulté le 19 août 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.achatsresponsables-aquitaine.fr/actions/experiences-acheteurs/460-l-achat-innovant-au-service-du-fleurissement-durable-de-bordeaux-metropole>

[3] ATMO AUVERGNE-RHÔNE-ALPES, 2019. Bilan 2018 - Isère. [en ligne]. 2019. [Consulté le 24 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.atmo-auvergnerrhonealpes.fr/article/bilan-2018-isere>

[4] BRUXELLES ENVIRONNEMENT, 2017. Impact de la géométrie de la rue et de l'intensité du trafic sur l'accumulation des polluants. [en ligne]. 2017. [Consulté le 24 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://environnement.brussels/thematiques/air-climat/qualite-de-lair/cartographie-de-la-pollution/impact-de-la-geometrie-de-la-rue>

[5] CEA, 2019. Les centres du CEA : Grenoble. [en ligne]. 2019. [Consulté le 25 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.cea.fr/Pages/le-cea/les-centres-cea/grenoble.aspx>

[6] CEREMA, 2019a. Ilots de chaleur : Agir dans les territoires pour adapter les villes au changement climatique. [en ligne]. 2019. [Consulté le 25 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.cerema.fr/fr/actualites/ilots-chaleur-agir-territoires-adapter-villes-au-changement>

[7] CEREMA, 2019b. SESAME : un projet innovant autour de l'arbre et de l'arbuste urbain. [en ligne]. 2019. [Consulté le 29 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.cerema.fr/fr/actualites/sesame-projet-innovant-autour-arbre-arbuste-urbain>

[8] CIRAD, 2020. Développement et Diagnostic de la plante entière : le cas de l'arbre - CIRAD. [en ligne]. 2020. [Consulté le 22 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.cirad.fr/en/teaching-training/available-training/developpement-et-diagnostic-de-la-plante-entiere-le-cas-de-l-arbre>

[9] CLIMATE-DATA.ORG, 2020a. Climat Grenoble: Pluviométrie et Température moyenne Grenoble, diagramme ombrothermique pour Grenoble. [en ligne]. 2020. [Consulté le 25 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://fr.climate-data.org/europe/france/rhone-alpes/grenoble-357/>

[10] CLIMATE-DATA.ORG, 2020b. Climat Nancy: Pluviométrie et Température moyenne Nancy, diagramme ombrothermique pour Nancy. [en ligne]. 2020. [Consulté le 12 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://fr.climate-data.org/europe/france/lorraine/nancy-364/>

[11] CLIMATE-DATA.ORG, 2020c. Climat Valence: Pluviométrie et Température moyenne Valence, diagramme ombrothermique pour Valence. [en ligne]. 2020. [Consulté le 12 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://fr.climate-data.org/europe/france/rhone-alpes/valence-8099/>

[12] DÉPARTEMENT DE LA SANTÉ DES FORÊTS, 2015. Forêts - Sécheresse. [en ligne]. 2015. [Consulté le 5 août 2020]. Disponible à l'adresse : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/18549/Forets-Secheresse>

- [13] DUBOIS, Catherine, 2014. Rayonnement solaire et rayonnement infrarouge en milieu urbain. [en ligne]. 2014. [Consulté le 24 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/figure/Rayonnement-solaire-et-rayonnement-infrarouge-en-milieu-naturel-et-urbain-Source_fig7_281283737
- [14] E6 GROUPE NEPSEN et ATELIER COLIN & POLI PAYSAGES, 2020. L'arbre en ville, découvrez un outil au service des territoires. [en ligne]. 2020. [Consulté le 30 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.arbre-en-ville.fr/>
- [15] EMILIECHALAS2020.FR, 2020. Émilie Chalas 2020. *Émilie Chalas 2020* [en ligne]. 2020. [Consulté le 18 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://emiliechalas2020.fr/programme/>
- [16] ESPACE PUBLIC & PAYSAGE, 2018. Arrosage des jeunes arbres : les conseils des pépiniéristes. *Espace public & PAYSAGE* [en ligne]. 6 novembre 2018. [Consulté le 10 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.espacepublicetpaysage.com/2018/11/06/arrosage-des-jeunes-arbres-les-conseils-des-pepinieristes/>
- [17] FLOCHLAY, Anne-Claire, 2020. Chiffres-clés de l'UGA. [en ligne]. 2020. [Consulté le 25 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.univ-grenoble-alpes.fr/universite/chiffres-cles/chiffres-cles-584574.kjsp?RH=1573141900809>
- [18] GRENOBLEENCOMMUN.FR, 2020. Programme Grenoble en Commun - Municipales 2020. [en ligne]. 2020. [Consulté le 27 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.grenobleencommun.fr/programme-grenoble-en-commun/>
- [19] PEPINIERES-VALDERDRE.FR, 2020. Présentation des contrats de culture pour les paysagistes. [en ligne]. 2020. [Consulté le 19 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.pepinieres-valderdre.fr/blog/professionnel/paysagistes-nantes/contrat-de-culture/>
- [20] PLANTE & CITÉ, 2020. Floriscope, connaître, choisir et trouver des plantes pour les jardins et les espaces verts. [en ligne]. 2020. [Consulté le 29 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.plante-et-cite.fr/projet/fiche/74>
- [21] PLANTE ET CITÉ, 2017. Application web Floriscope : base de données scientifique sur le végétal pour les jardins et les espaces verts. [en ligne]. 2017. [Consulté le 29 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.plante-et-cite.fr/ressource/fiche/423/application_web_floriscope_base_de_donnees_scientifique_sur_le_vegetal_pour_les_jardins_et_les_espaces_verts
- [22] POILLET, Auriane, 2018. L'arbre en ville : un équilibre à préserver | Gre.mag, le webzine de la Ville de Grenoble. [en ligne]. 2018. [Consulté le 6 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.gre-mag.fr/dossiers/larbre-en-ville-un-equilibre-a-preserver/>
- [23] RENOBLENOUVELAIR.FR, 2020. Grenoble Nouvel Air. *Grenoble Nouvel Air* [en ligne]. 2020. [Consulté le 18 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.grenoblenouvelair.fr/leprojet/>
- [24] VILLE DE GRENOBLE, 2020. L'histoire de Grenoble. [en ligne]. 2020. [Consulté le 25 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.grenoble.fr/1670-l-histoire-de-grenoble.htm>

AGROCAMPUS OUEST

CFR Angers CFR Rennes

<p>Année universitaire : 2019 - 2020</p> <p>Spécialité/Mention : Horticulture</p> <p>Spécialisation/Parcours : Ingénierie des Espaces Végétalisés Urbains option Gestion Durable de Espaces Végétalisés Urbains</p>	<p>Mémoire de fin d'études</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage</p> <p><input type="checkbox"/> de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
---	---

Arborer la ville : assurer une place plus durable aux arbres pour répondre aux enjeux sociaux et climatiques actuels

Par : Anaïs MEILLEUR

Annexes

Soutenu à Angers le 24 septembre 2020

Devant le jury composé de :

Président : Gilles Galopin

Maître de stage : Anne-Sophie Mellet-Breton

Enseignant référent : Marie-Reine Fleisch

Autres membres du jury (Nom, Qualité) :

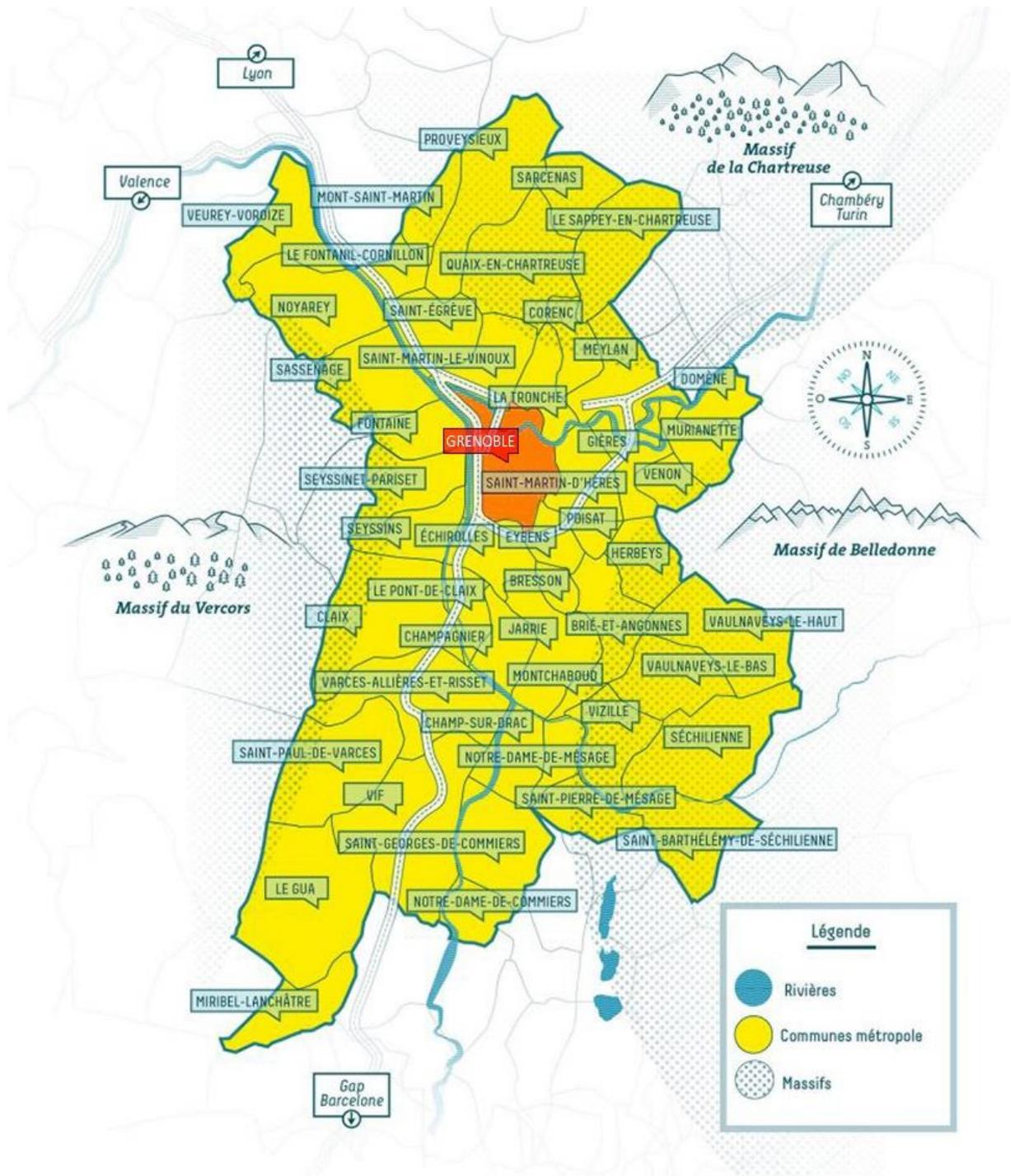
Thierry Browaeys, directeur général des
Pépinières La Forêt

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

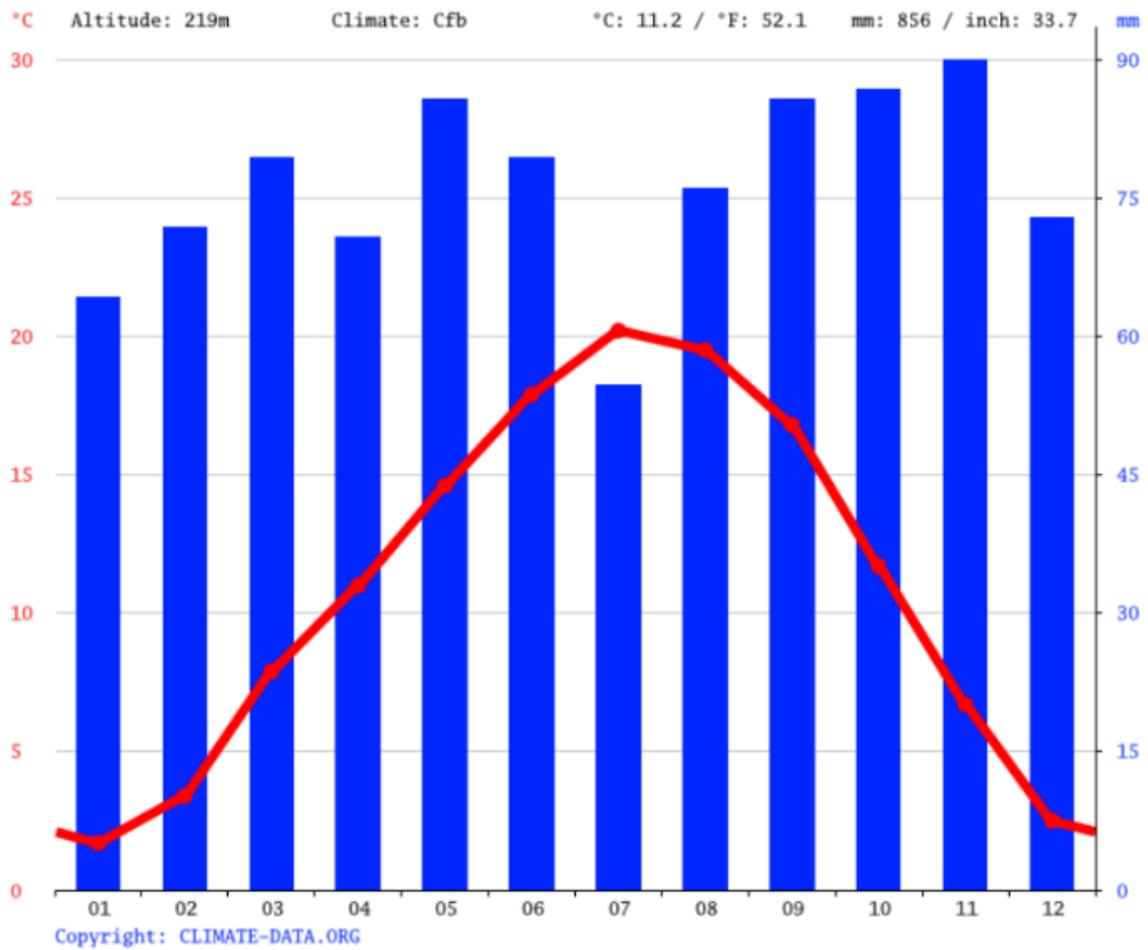
Ce document est soumis aux conditions d'utilisation
« Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France »
disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



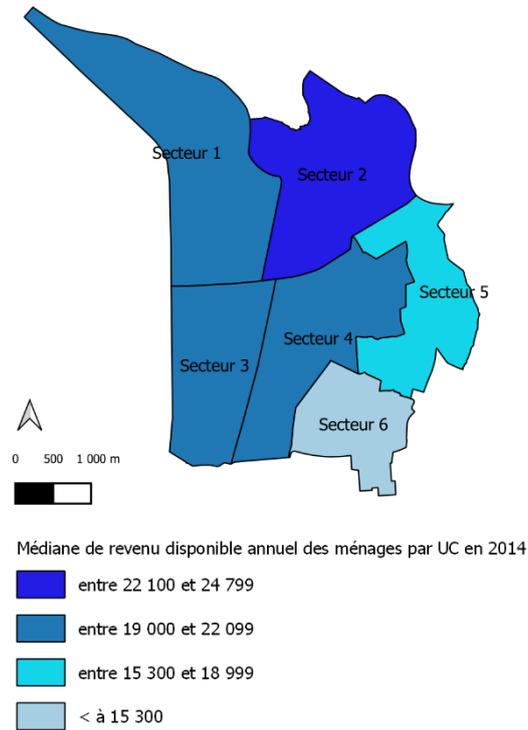
Annexe I : La commune de Grenoble au sein de Grenoble Alpes Métropole (Source : laméto.fr)



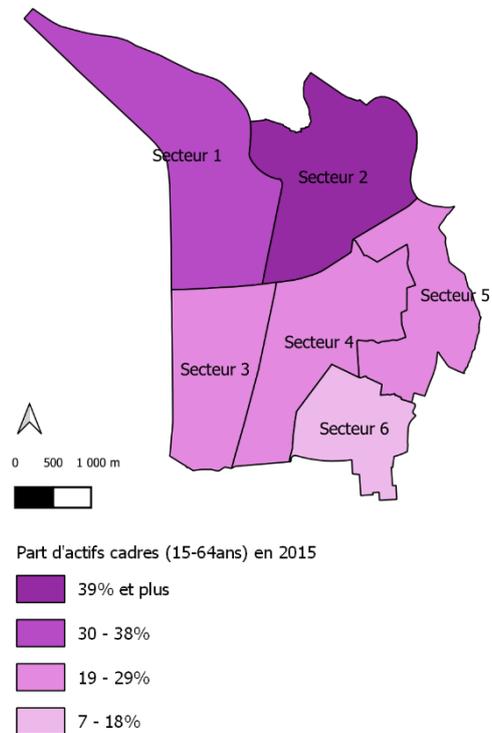
Annexe II : Diagramme ombrothermique de Grenoble, moyenne entre 1982 et 2012 (Source : climate-data.org)



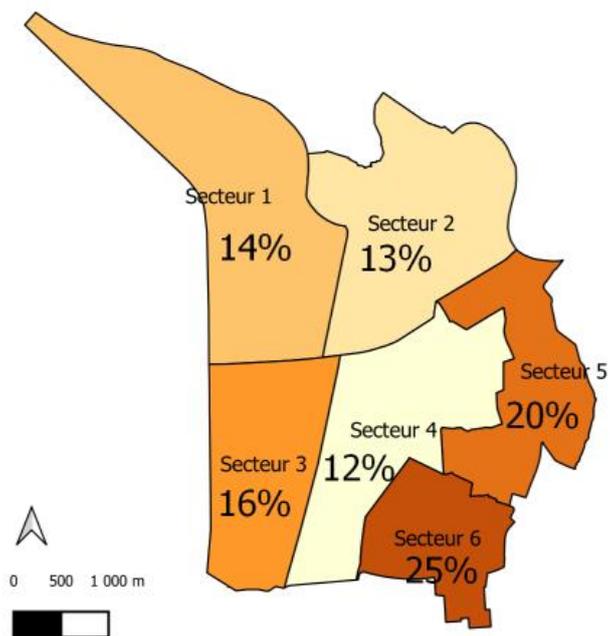
Annexe III : Médiane de revenu disponible annuel des ménages par unité de consommation en 2014 (Source : CCAS Ville de Grenoble, 2019)



Annexe IV : Part d'actifs cadre (15-64 ans) dans la population en 2015 (Source : CCAS Ville de Grenoble, 2019)

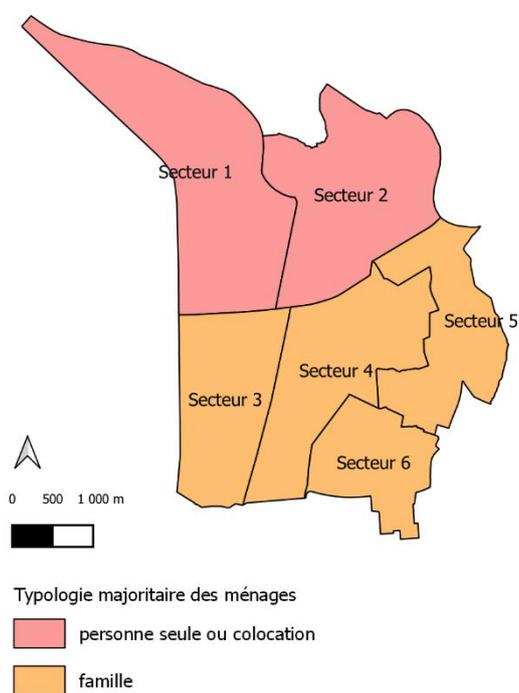


Annexe V : Taux de chômage de la population active (15-64 ans) en 2015 (Source : CCAS Ville de Grenoble, 2019)

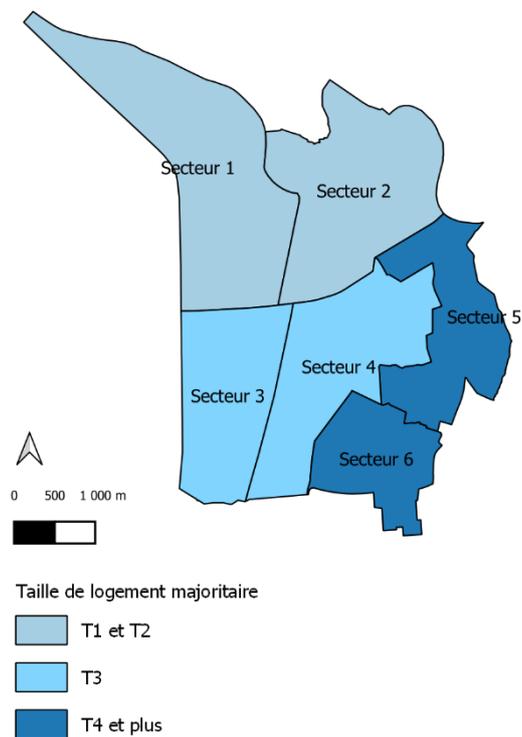


Taux de chômage dans la population active en 2015

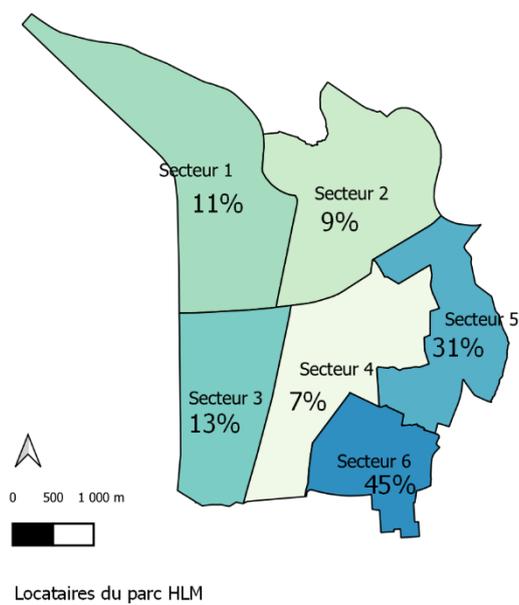
Annexe VI : Taille de logement majoritaire (Source : CCAS Ville de Grenoble, 2019)



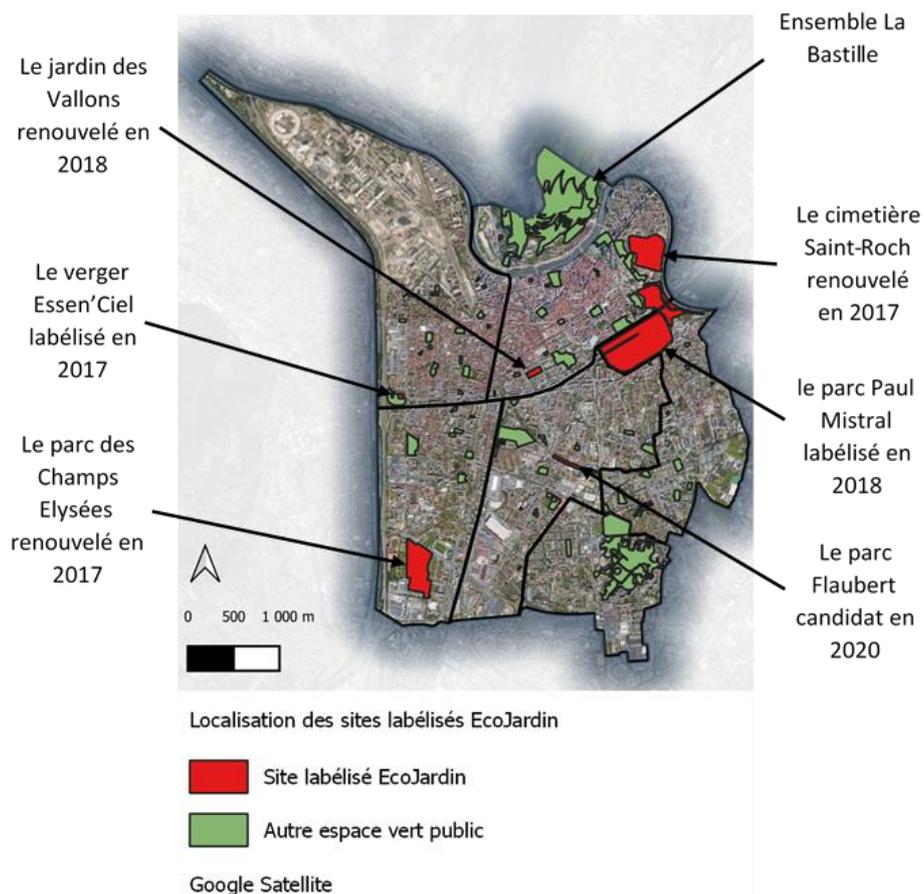
Annexe VII : Typologie majoritaire des ménages (Source : CCAS Ville de Grenoble, 2019)



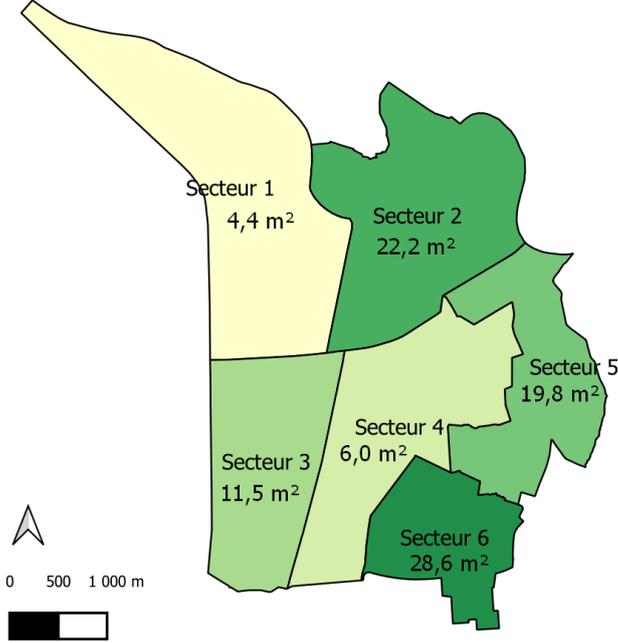
Annexe VIII : Locataires du parc HLM. (Source : CCAS Ville de Grenoble, 2019)



Annexe IX : Localisation des sites labélisés EcoJardin et des autres espaces verts publics de la Ville de Grenoble (Source : SEV Ville de Grenoble, 2020)

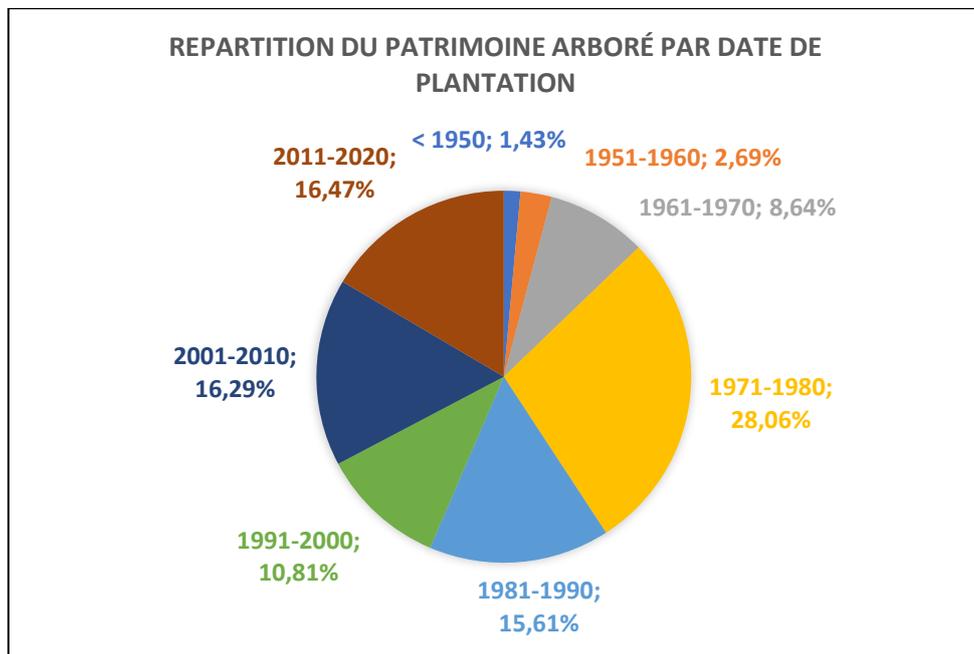


Annexe X : Superficie d'espaces verts par habitant en 2019 (Source : SEV Ville de Grenoble, 2020)

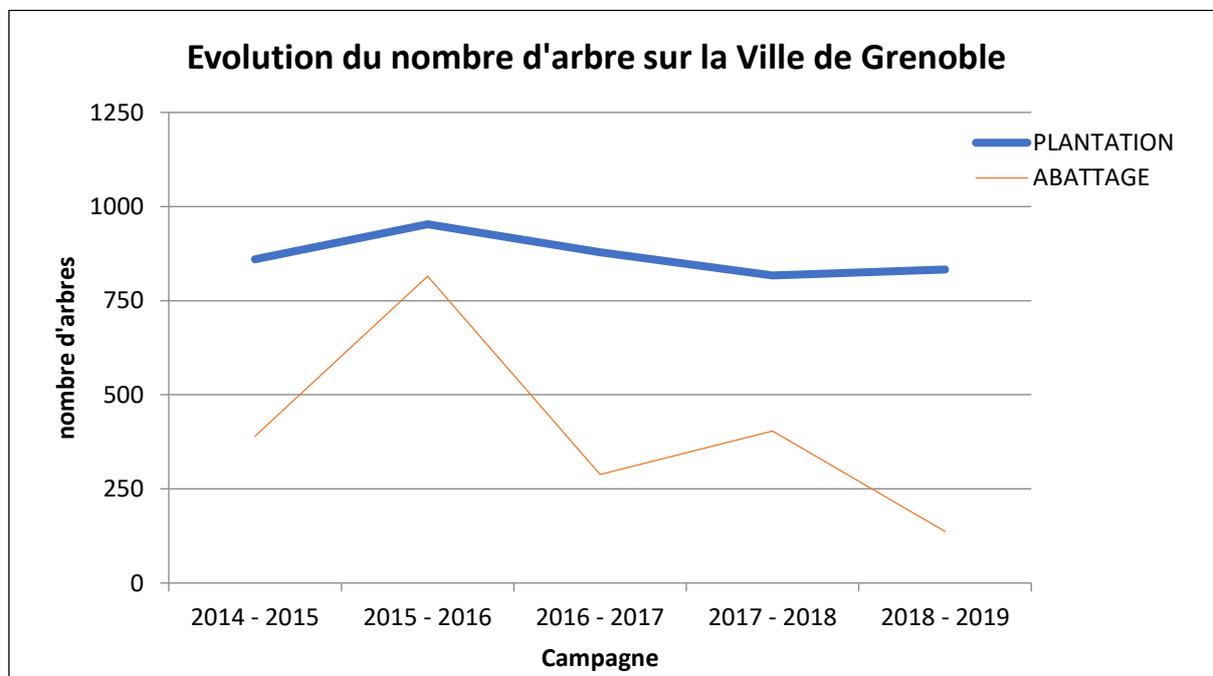


Superficie d'espace vert par habitant

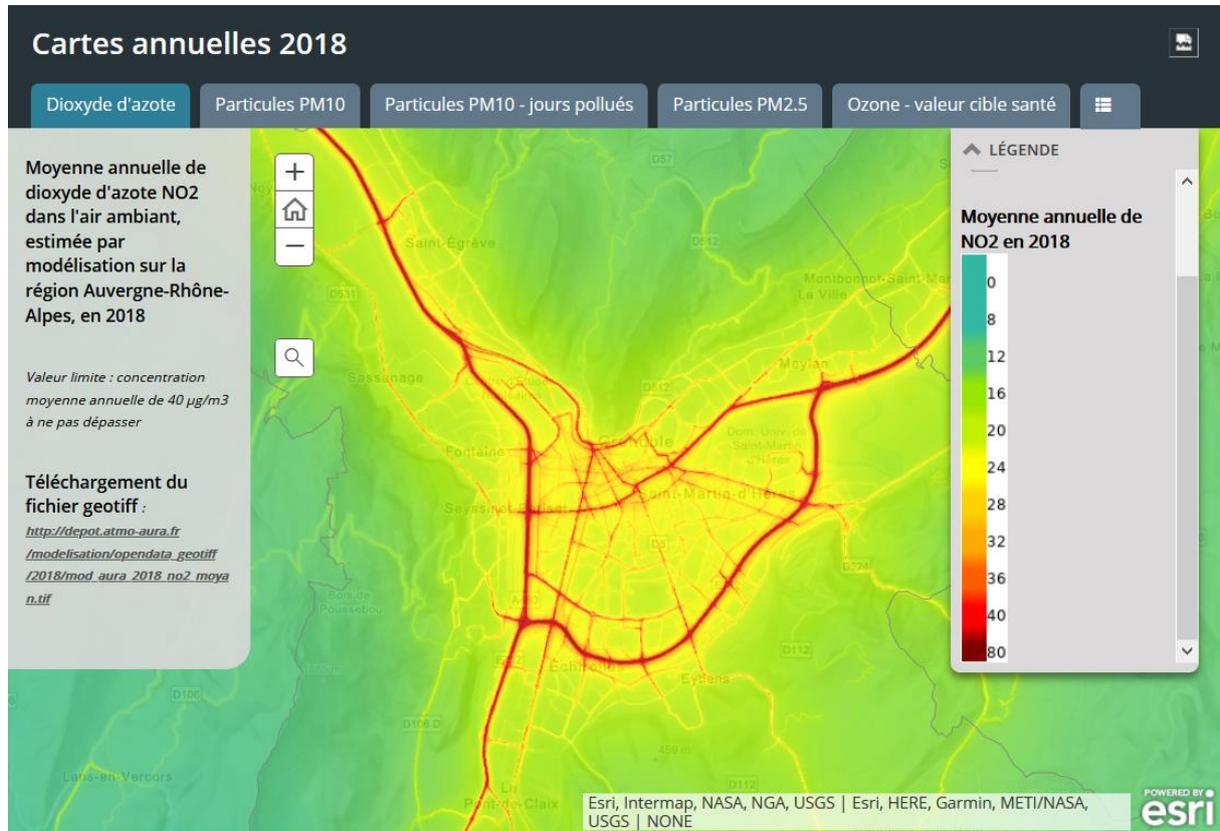
Annexe XI : Répartition du patrimoine arboré par date de plantation (A. Meilleur d'après SEV Grenoble, 2020)



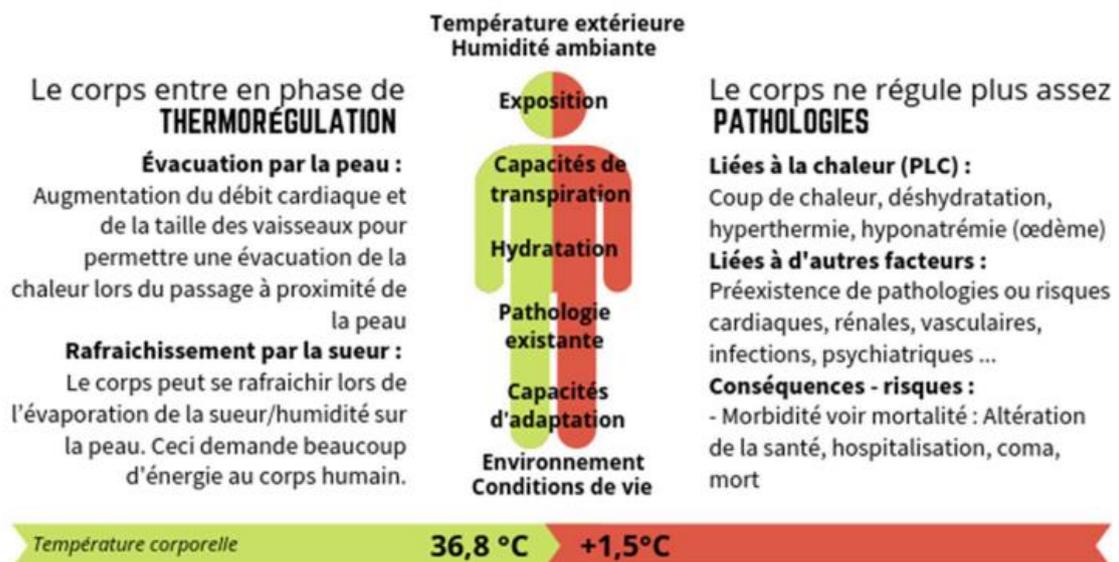
Annexe XII : Solde du nombre d'arbres dans la ville de Grenoble depuis 2014 (Source : SEV Ville de Grenoble, 2019)



Annexe XIII : Concentration moyenne en dioxyde d'azote dans l'air en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en 2018, à Grenoble (Source : www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/fiche-carte/exposition-la-pollution-atmospherique-en-2018)



Annexe XIV : Conséquences directes des fortes chaleurs sur la santé (Source : CCAS Ville de Grenoble, 2019)



Annexe XV : Les rayonnements en milieu urbain (Source : DUBOIS, 2014)



Rayonnement solaire (flèches pleines) et rayonnement thermique (flèches pointillées) en milieux urbains. a) situation en zone ouverte, le rayonnement infrarouge repart vers le ciel. b) rue canyon, le rayonnement infrarouge est piégé entre les bâtiments et se concentre.

Annexe XVI : Questionnaire utilisé lors des entretiens

- Rôle dans la gestion des arbres et position dans la chaîne de décision

Quels sont vos rôles et vos missions auprès des arbres ?

Quelles sont vos responsabilités vis-à-vis d'une plantation d'arbres ?

Dans le cas d'un nouveau projet avec plantation d'arbres, de qui recevez-vous une demande ?

Comment traitez-vous la demande ?

Avec qui travaillez-vous ?

Combien d'arbre compte votre collectivité ?

- Élaboration de la commande publique

Avez-vous un CCTP ?

Si oui, en quoi déroge-t-il du CCTG ?

De quels outils disposez-vous pour faire valoir vos souhaits et préconisations ?

Ces outils sont-ils efficaces ?

A votre avis, pourquoi ?

Disposez-vous d'un marché fourniture d'arbre ?

Quels sont les critères d'analyses des offres ?

Appliquez-vous des critères spécifiques pour favoriser les pépinières locales ?

- Fosses de plantation et Substrat

Quel type/dimension de fosse préconisez-vous ?

Quel substrat utilisez-vous dans les fosses de plantation ?

S'il s'agit de mélange terre-pierre,

Qui réalise le mélange ?

D'où proviennent les matériaux ?

Quels sont les avantages et les inconvénients que vous avez rencontrés ?

Y-a-t-il eu des évolutions dans les modes de plantations ces dernières années ?

Utilisez-vous des sols construits à base de déchets de la ville ?

Si oui, quels sont les avantages et les inconvénients que vous avez rencontrés ?

En termes de manière de procéder lors de la plantation, avez-vous des préconisations spécifiques aux arbres d'alignement ?

Si, oui lesquelles ?

Spécifiques aux arbres de parcs ?

Si, oui lesquelles ?

- Arrosage

Avez-vous décidé de limiter les arrosages ?

Si oui, y-a-t-il eu des dispositifs d'optimisation mis en place ?

Sont-ils efficaces ?

S'il s'agit de technologies innovantes, qu'en pensez-vous ?

Y-a-t-il eu des essais de mycorhization ?

Si oui, qu'en pensez-vous ?

- Adaptation palette végétale

A quel moment se fait le choix de la palette végétale ?

Avez-vous remarqué que certaines espèces présentent des taux de mortalité plus importants ?

Si oui lesquelles ?

Avez-vous remarqué que certaines pratiques (ou non pratiques) induisent des taux de mortalité plus importants ?

Si oui lesquelles ?

A contrario, avez-vous remarqué des espèces qui se développent particulièrement bien dans

le milieu urbain actuel ?

Si oui, lesquelles ?

Y-a-t-il eu des plantations de variétés peu communes en milieu urbain dans le but d'adapter la palette végétale au changement climatique ?

Si oui, lesquelles ?

Suivent quelle méthode de plantation ?

En termes de choix des essences, avez-vous des préconisations spécifiques aux arbres d'alignement ?

Si, oui lesquelles ?

Spécifiques aux arbres de parcs ?

Si, oui lesquelles ?

- Suivi post-plantation et reprise

Appliquez-vous des critères d'évaluation de la reprise des arbres ?

Utilisez-vous des nouvelles technologies pour cela ?

Si oui, qu'en pensez-vous ?

En termes de suivi post-plantation, avez-vous des préconisations spécifiques aux arbres d'alignement ?

Si, oui lesquelles ?

Spécifiques aux arbres de parcs ?

Si, oui lesquelles ?

Avez-vous remarqué des différences de réaction (changement climatique, facilité de reprise, ...) entre les arbres d'alignement et les arbres de parc ?

Si oui, lesquelles ?

- ZAC et MOA déléguée

Lors de l'aménagement d'une ZAC, êtes-vous consulté pour le choix des essences ?

Etre-vous consulté concernant le mode de plantation ? (taille de fosse, substrat, ...)

Même si la maîtrise d'ouvrage est déléguée, y-a-t-il un suivi ?

Si oui, de quel type ?

Les futurs gestionnaires des arbres de la ZAC sont-ils présents au moment de la remise de l'ouvrage ?

Comment la rétrocession est assurée ?

- Où planter ?

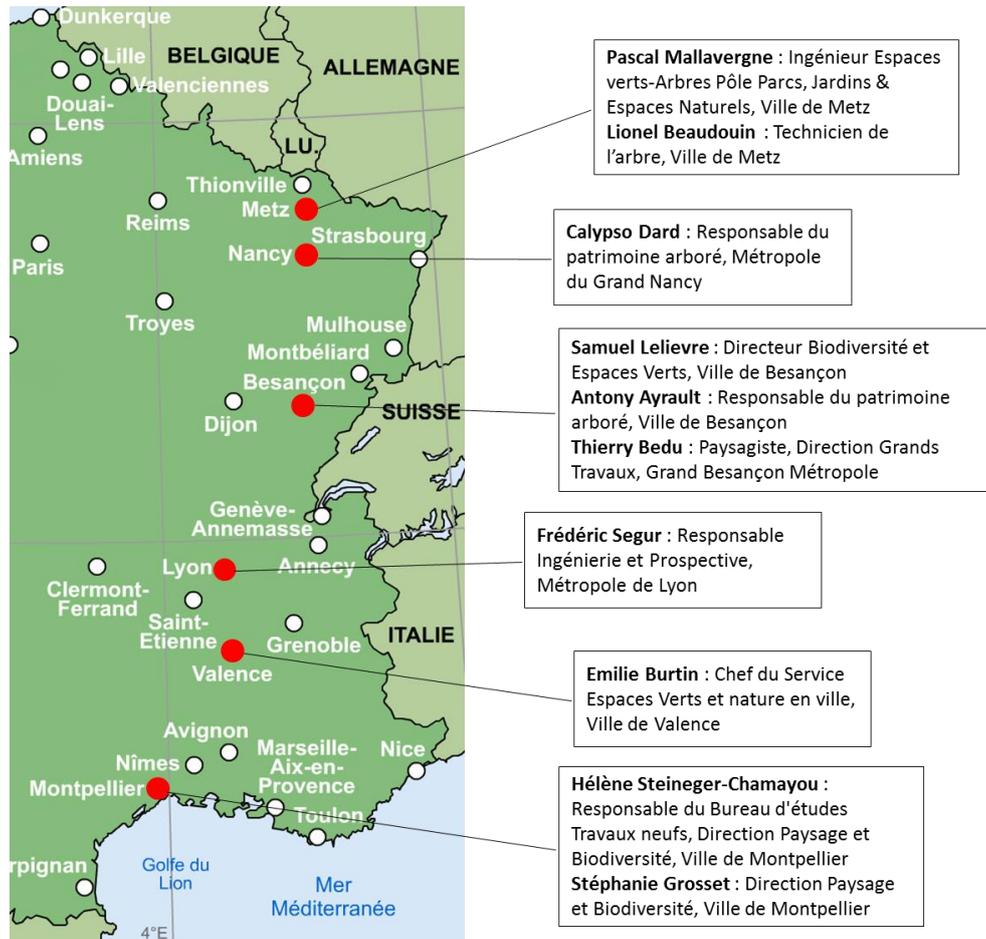
Dans un contexte d'augmentation de la demande en plantation d'arbre et de concurrence forte pour l'espace, comment identifiez-vous les opportunités ?

Quels critères appliquez-vous ?

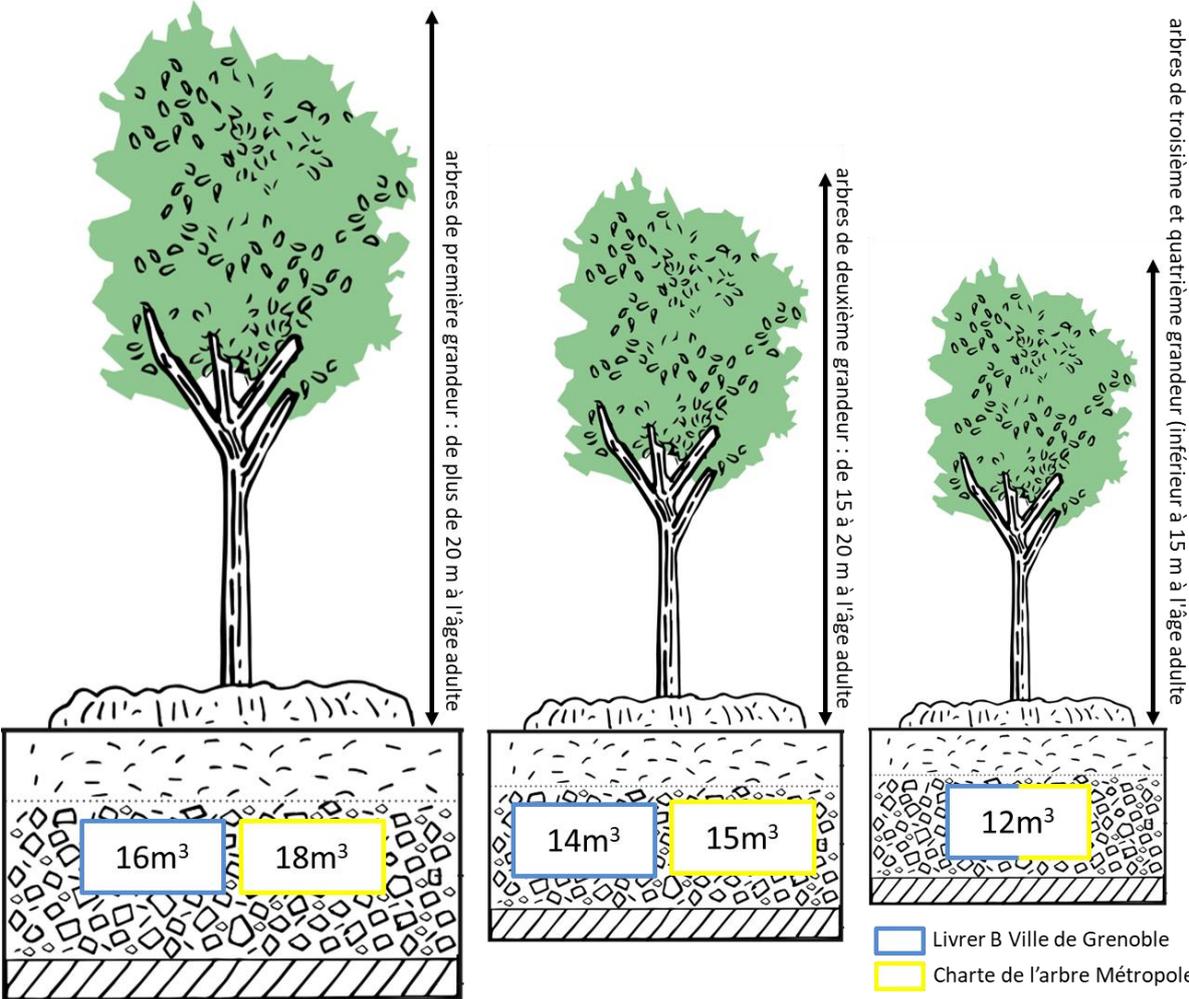
- Conclusion

Selon vous, quelle est l'étape cruciale à ne pas louper afin d'avoir des arbres qui vivent longtemps et en bonne santé en ville ?

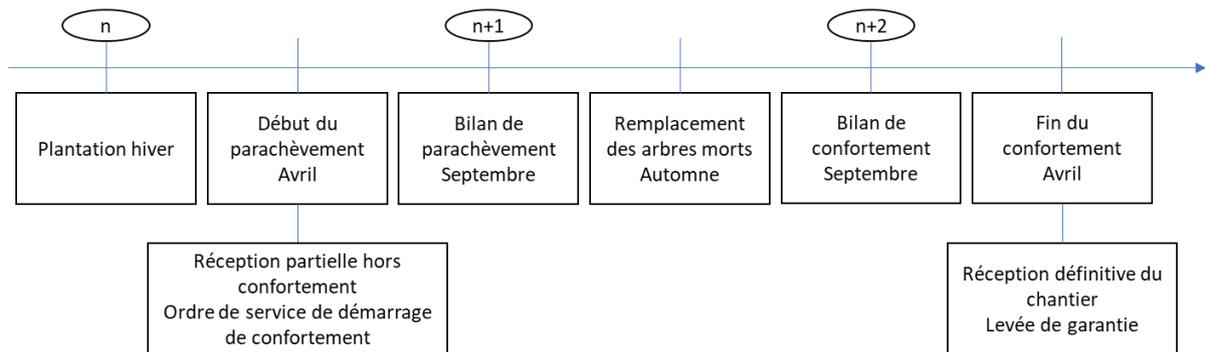
Annexe XVII : Répartition des personnes interrogées lors de la deuxième phase d'entretien (A. Meilleur, 2020)



Annexe XVIII : Taille de fosse préconisée par le Livret B de la Ville de Grenoble ou par la Charte de l'arbre de Grenoble Alpes Métropole (A. Meilleur d'après Charte de l'arbre de Grenoble Alpes Métropole, 2019)



Annexe XIX : Frise chronologique du déroulement du parachèvement et du confortement (A. Meilleur d'après Q. De Neeff, communication personnelle)



Annexe XX : Réponses des collectivités interrogées à deux questions concernant l'adaptation de la palette végétale aux changements climatiques

Avez-vous remarqué des espèces qui se développent particulièrement bien dans le milieu urbain actuel ? Si oui, lesquelles ?

	Réponses
Ville de Besançon	<i>Tilia cordata</i> , <i>Tilia europea</i> , <i>Acer campestre</i> , <i>Quercus frainetto</i> , <i>Koelreuteria paniculata</i> , <i>Prunus avium</i> , <i>Pyrus communis</i> , <i>Pyrus caleriana</i> , <i>Styphnolobium japonicum</i> , <i>Magnolia grandiflora</i> , <i>Celtis australis</i> , <i>Alnus incana</i> , <i>Gleditsia triacanthos</i> , <i>Crataegus x lavalleei 'Carrierei'</i> , <i>Amelanchier canadensis</i> , <i>Cornus mas</i> , <i>Corylus colurna</i> , <i>Prunus padus</i> , <i>Prunus serrula</i> , <i>Prunus serrulata</i> , <i>Fraxinus angustifolia</i> , <i>Malus sylvestris</i> , <i>Liquidambar sp.</i> , <i>Cercis siliquastrum</i>
Métropole du Grand Nancy	<i>Acer freemanii</i> , <i>Gleditsia sp.</i> , <i>Robinia sp.</i> , <i>Magnolia grandiflora</i>
Ville de Valence	Espèces méditerranéennes, <i>Platanus</i> , <i>Fraxinus</i>
Ville de Montpellier	<i>Quercus sp.</i> , <i>Sorbus sp.</i>

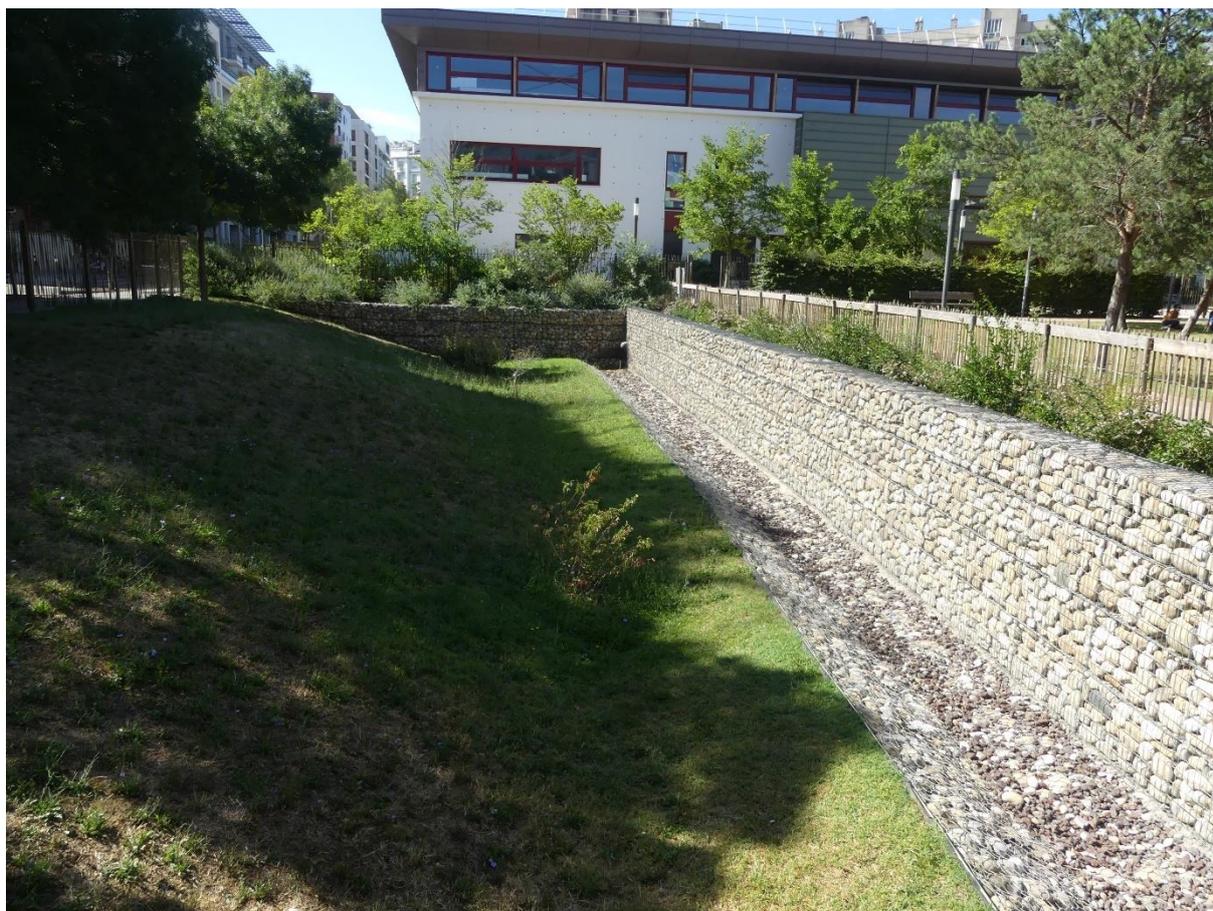
Y-a-t-il eu des plantations de variétés peu communes en milieu urbain dans le but d'adapter la palette végétale au changement climatique ? Si oui, lesquelles ?

	Réponses
Ville de Besançon	<i>Morus alba</i> , <i>Acer monspesulanum</i> , <i>Acer buergerianum</i> , <i>Acer opalus</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Quercus libani</i> , <i>Quercus phellos</i> , <i>Quercus variabilis</i> , <i>Quercus myrsinifolia</i> , <i>Quercus velutina</i> , <i>Tilia mongolica</i> , <i>Ficus carica</i> , <i>Lagerstroemia indica</i> , <i>Tetradium daniellii</i> , <i>Toona sinensis</i> , <i>Ulmus 'Dodoens'</i> , <i>Zelkova serrata</i>
Métropole du Grand Nancy	<i>Celtis sp.</i> , <i>Zelkova sp.</i> , <i>Sophora sp.</i> , x <i>Chitalpa tashkentensis</i>
Ville de Montpellier	<i>Jacaranda mimosifolia</i>
Ville de Metz	<i>Celtis sinensis</i> , Chênes mexicains, Chênes asiatiques

Annexe XXI : Bacs semi-enterrés

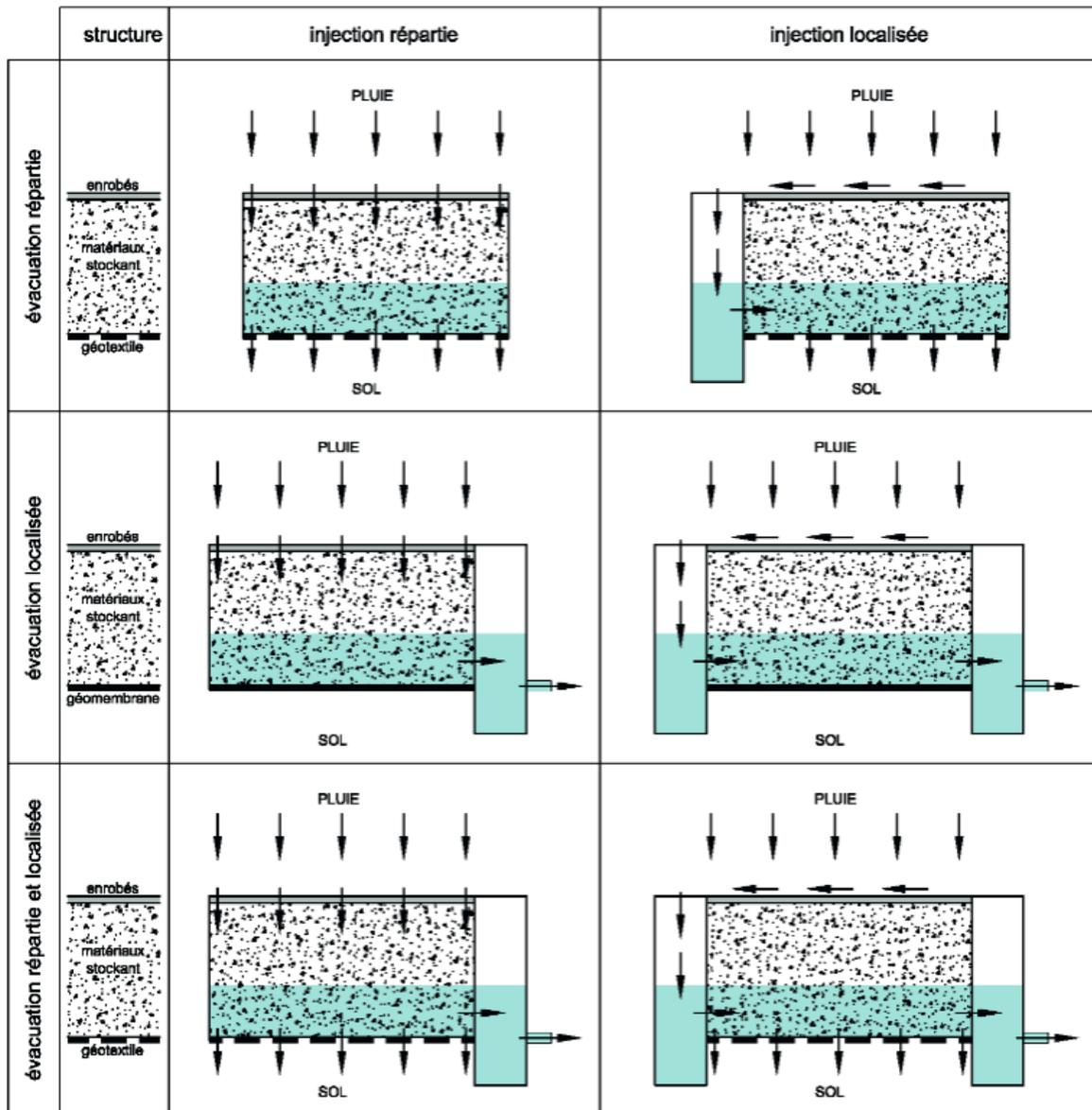


Annexe XXII : Jardin de pluie



Dépression récupératrice des eaux de pluie du Jardin Jacob Kaplan, ZAC de la Bruire, Lyon. Des regards récupèrent les eaux de ruissellement de la rue Professeur René Guillet pour qu'elles soient infiltrées dans cet ouvrage. Photo : A.Meilleur

Annexe XXIII : Chaussée à structure réservoir (Source : Lille Métropole, 2012)



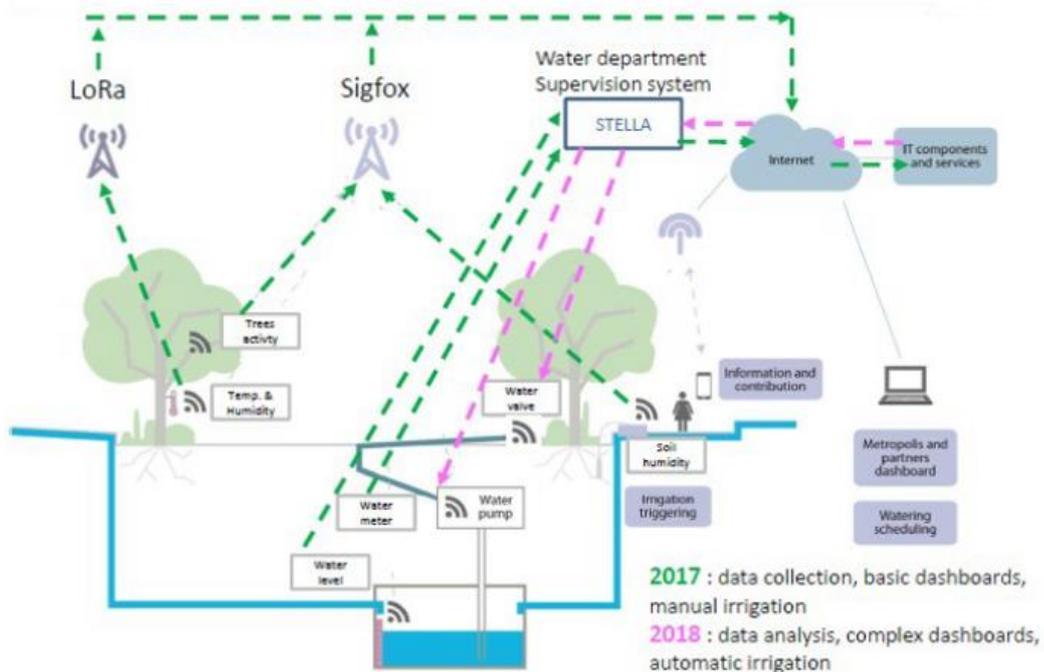
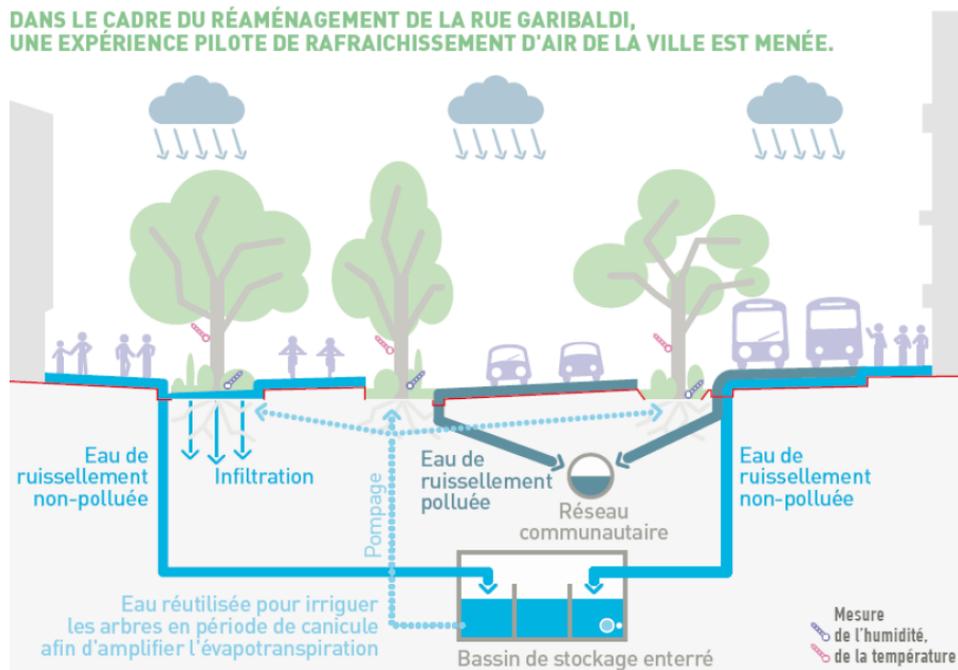
Principes de fonctionnement de différentes chaussées à structure réservoir
 (Source : CETE Nord - Picardie)

Annexe XXIV : Revêtement perméable



Aire de stationnement avec allées et stationnement imperméable, de couleur clair. Un arbre occupe la place de 2 véhicules. La fosse, en mélange terre-pierres, déborde sous les places adjacentes. (T. Bedu, communication personnelle, 11/05/2020). Photo : T. Bedu

Annexe XXV : Illustrations du projet de réaménagement de la rue Garibaldi à Lyon
 (Source : F. Ségur, 2018)



 agriculture • alimentation • environnement 	Diplôme : Ingénieur Spécialité : Horticulture Spécialisation / option : Ingénierie des Espaces Végétalisés Urbains option Gestion Durable de Espaces Végétalisés Urbains Enseignant référent : Gilles Galopin
Auteur(s) : Anaïs Meilleur Date de naissance* : 25 mars 1997	Organisme d'accueil : Mairie de Grenoble Adresse : 11 Bd Jean Pain CS 91066 38021 Grenoble Cedex 1
Nb pages : Annexe(s) :	
Année de soutenance : 2020	Maître de stage : Anne-Sophie Mellet-Breton
<p>Titre français : Arborer la ville : Assurer une place plus durable aux arbres pour répondre aux enjeux sociaux et climatiques actuels.</p> <p>Titre anglais : Planting and Maintaining Trees in Urban Areas: Ensuring a sustainable role for trees to address social and climatic issues.</p>	
<p>Résumé : Le changement climatique est un phénomène global aux conséquences locales. Les villes sont des milieux particulièrement sensibles qui accentuent les perturbations climatiques par leur densité, leur imperméabilité et la concentration des activités humaines. Un levier d'action important apparait dans l'intégration de la végétation en milieu urbain et tout particulièrement des arbres. Consciente des vulnérabilités de son territoire : ICU, pollution atmosphérique, difficultés d'approvisionnement en terre végétale et en eaux, la Ville de Grenoble souhaite maintenir et développer son patrimoine arboré dans le respect du développement durable. Ce travail constitue les bases de réflexion en vue de l'élaboration de cette stratégie. Il s'agit de définir un outil cartographique de superposition des enjeux concernant l'arbre afin de visualiser les zones à végétaliser en priorité pour orienter les planifications d'aménagement. De plus, après un diagnostic des pratiques actuelles du processus de plantation, de la planification à la fin de la période de confortement en passant par les étapes de conception, il sera développé quelques pistes d'amélioration en accord avec les exigences de durabilité. Le mélange terre-pierres, la gestion des eaux pluviales, l'adaptation de la palette végétale, l'évaluation de la reprise et l'optimisation des outils règlementaire sont les thèmes traités.</p>	
<p>Abstract: The climate change is a global phenomenon with local consequences. Cities are particularly sensitive to climate perturbations because of their population density, soil impermeability and human activity concentration. Revegetation of the cities, especially with trees, is a way to counter urban constraints and improve the situation. Aware of the vulnerabilities of its territory, including urban heat island, atmospheric pollution, water and topsoil supply, the city of Grenoble wants to maintain and develop its tree patrimony while respecting sustainable development. This work constitutes a basis for reflection to implement this strategy. The aim is to define a cartographic tool to highlight tree-related issues and prioritize areas. In addition, after a diagnosis of the current practices in the planting process, from planning to design stages and to the end of the reinforcement period, ideas for improvement will be developed according to the sustainable development. Topics discussed cover soil-stone mix, rainwater management, adaptation of the plant range, recovery assessment and optimization of regulatory tools.</p>	
<p>Mots-clés : Arbres en ville, Développement durable, Changement climatique, Stratégie, Adaptation Key Words: City Trees, Sustainable development, Climate Change, Strategy, Adaptation</p>	

* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires