



HAL
open science

Les enjeux de l'utilisation des plantes résistantes à la sécheresse dans l'aménagement des espaces publics urbains en France métropolitaine

Ariane Sulpice

► **To cite this version:**

Ariane Sulpice. Les enjeux de l'utilisation des plantes résistantes à la sécheresse dans l'aménagement des espaces publics urbains en France métropolitaine. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-03039758

HAL Id: dumas-03039758

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03039758>

Submitted on 4 Dec 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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

AGROCAMPUS OUEST

CFR Angers **CFR Rennes**

<p>Année universitaire : 2019-2020 Spécialité : Paysage Spécialisation (et option éventuelle) : Paysage : Opérationnalité et Projet</p>	<p>Mémoire de fin d'études</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement</p> <p><input type="checkbox"/> de master de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
---	---

**Les enjeux de l'utilisation des plantes
résistantes à la sécheresse dans
l'aménagement des espaces publics urbains
en France métropolitaine**

Par : Ariane SULPICE

Soutenu à Angers le 17 novembre 2020 à 14h

Devant le jury composé de :

Président : David MONTEBAULT

Maître de stage : Anne Pascale PERTUS

Enseignant référent : Élise GEISLER

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

Remerciements

À Anne Pascale PERTUS, directrice de l'agence JNC Sud, et à toute son équipe (Aurélien, Clémence, Karine, Marlène, Maryline et Noémie) pour le temps qu'il et elles m'ont consacré qui m'a permis de me perfectionner et donc d'aborder mieux armée le début de ma vie professionnelle,

À Amandine et Nolan, stagiaires au sein de l'agence JNC Sud, pour leur bonne humeur,

À Élise GEISLER, mon enseignante référente au sein de l'Agrocampus Ouest d'Angers, pour son écoute et ses conseils avisés,

À Vincent BOUVIER et Christophe MIGEON, responsables de la spécialisation « Paysage : Opérationnalité et Projet », pour leur bienveillance,

Aux professionnels interviewés pour la richesse de nos échanges sur laquelle repose la seconde moitié du présent document,

À ma famille, pour leur soutien sans faille,

À mes amis de l'école qui sont restés proches malgré la distance.

Glossaire

*Nota Bene : Les mots ou expressions définies dans ce glossaire sont repris dans le corps de ce mémoire sous la forme **mots définis***.*

Albédo : rapport entre la quantité de lumière que reçoit un corps et celle qu'il réfléchit ou diffuse.

Anthrosols : sols très fortement transformés par les activités humaines (apports répétés de matériaux allochtones, aménagement en terrasses) ou accumulations de matériaux artificiels sur au moins les cinquante premiers centimètres ou matériaux terreux déplacés.

AVant-Projet (abrégé en AVP) : études préparatoires d'un projet comprenant des études d'Avant-Projet Sommaire (APS) et des études d'Avant-Projet Définitif (APD). Les études d'APS ont pour objet de présenter une ou plusieurs solutions d'ensemble et d'indiquer des prévisions correspondantes de durées de réalisation et de coût des travaux. Les études d'APD ont pour objet d'arrêter les dimensions et aspects, de définir les matériaux, de permettre au MO d'arrêter définitivement le programme et certains choix d'équipements, d'établir l'estimation définitive du coût prévisionnel des travaux, décomposés en lots séparés, de permettre l'établissement du forfait de rémunération.

Bioaccumulation : accumulation d'une substance toxique (métaux lourds par exemple) au sein d'une chaîne alimentaire.

Bois Raméal Fragmenté (abrégé en BRF) : broyat de jeunes rameaux ligneux de feuillus, utilisé notamment comme paillage.

Cahier des Clauses Techniques Particulières (abrégé en CCTP) : document fixant les clauses techniques d'un marché public.

Concassé : granulats (ensemble de grains d'origine minérale de dimensions inférieures à 80 mm) obtenu par concassage d'une roche, par opposition à granulats roulés.

Diagramme ombrothermique : représentation graphique combinant les données mensuelles des températures moyennes et des précipitations d'une station météorologique donnée. La température et la pluie sont portées en ordonnée (1 °C = 2 mm de pluie) et les mois en abscisse.

Élastomère : substance composée de molécules de grande dimension comprenant un grand nombre d'atomes (généralement de l'ordre de mille à cent mille), à haute élasticité, utilisée comme caoutchouc synthétique.

Eutrophisation : enrichissement d'une eau en sels minéraux (nitrates et phosphates, notamment), entraînant des déséquilibres écologiques tels que la prolifération de la végétation aquatique ou l'appauvrissement du milieu en oxygène. Ce processus, naturel ou artificiel (dans ce cas, on parle aussi de *dystrophisation*), peut notamment concerner les lacs, les étangs, certaines rivières et les eaux littorales peu profondes.

Géophyte : plante dont les organes vivaces passent la mauvaise saison enterrés profondément dans le sol évitant ainsi l'action défavorable du climat.

Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (abrégé en GIEC ou IPCC en anglais) : organisme dont sont membres 195 pays (soit la quasi-totalité des pays reconnus par l'Organisation des Nations Unies) qui a pour mandat, sur la question du

changement du climat, de dégager les éléments consensuels de la communauté scientifique et d'identifier les limites dans les connaissances.

Îlot de Chaleur Urbain (abrégé en ICU) : écart de température observé entre une agglomération (ou une partie de celle-ci) et son environnement périphérique moins urbanisé, consécutif notamment à la restitution à l'atmosphère urbaine par les surfaces imperméables de l'énergie accumulée durant la journée.

Maîtrise ou Maître d'Ouvrage (abrégé en MO) : personne morale pour le compte de laquelle les travaux sont exécutés, il est le responsable principal de l'ouvrage.

Maîtrise ou Maître d'Œuvre (abrégé en MŒ) : la mission de MŒ est une mission globale qui doit permettre d'apporter une réponse architecturale, technique et économique au programme défini par le MO pour la réalisation d'une opération.

Mulch : produit végétal que l'on étale sur le sol au pied des végétaux dans un massif, pour empêcher la pousse des mauvaises herbes, préserver l'humidité du sol et enrichir la terre en se décomposant. Les déchets de tonte, la paille, certaines écorces sont utilisés comme mulch.

Parenchyme aquifère : tissu cellulaire spongieux et mou de certaines parties des plantes (feuille, jeune tige, fruit, écorce ou racine) pratiquement dépourvu de chlorophylle et capable de stocker l'eau.

pH : mesure de l'état acido-basique d'une solution contenant des ions H^+ , définie par $pH = -\log_{10} [H^+]$, où $[H^+]$ est la concentration de la solution en ions H^+ .

Phénologie : science qui étudie l'influence des variations climatiques sur certains phénomènes périodiques de la vie des plantes (germination, floraison) et des animaux (migration, hibernation).

Poudingue : roche détritique conglomérée dont les éléments sont des galets plus ou moins arrondis réunis par un ciment.

Plantes Résistantes à la Sécheresse (abrégé en PRS) : ici, plantes supportant ou vivant au sein de climats présentant au minimum un mois de sécheresse continue chaque année.

PolyVinyl Chloride (abrégé en PVC) : terme anglo-saxon désignant le polychlorure de vinyle, polymère du chlorure de vinyle, plastique très répandu.

Rythme nycthéral : succession de phénomènes biologiques liée à l'alternance du jour et de la nuit.

Stade climacique : état durable d'équilibre atteint par l'ensemble d'un sol et de la végétation qu'il porte. La biomasse y est théoriquement maximale (climax).

Technosols : nouveaux sols, complètement artificiels, créés à partir de déchets recyclés.

Terre végétale : couche superficielle de sol naturel contenant des matières organiques indispensables pour la croissance des végétaux.

Xérophyte : plante capable de vivre dans des régions habituellement sèches (déserts) ou dans des milieux physiologiquement secs (sols salés).

Zone d'Aménagement Concerté (abrégé en ZAC) : zone à l'intérieur de laquelle une collectivité publique, ou un établissement public y ayant vocation, décide d'intervenir pour réaliser ou faire réaliser l'aménagement et l'équipement de terrains, notamment ceux acquis ou à acquérir en vue de les céder ou de les concéder ultérieurement à des utilisateurs publics ou privés.

Sources des définitions

- <http://www.marche-public.fr/>
- <http://www.meteofrance.fr/>
- <http://standards-sinp.mnhn.fr/nomenclature/107-type-de-sol-2018-05-14/>
- <https://www.brgm.fr/video/science-direct-rencontre-technosols-comment-fabriquer-nouveaux-sols>
- <https://www.cnrtl.fr/definition/>
- <https://www.ecologie.gouv.fr/>
- <https://www.editions-eyrolles.com/Dico-BTP/definition.html?id=4794>
- <https://www.editions-eyrolles.com/Dico-BTP/definition.html?id=8804>
- <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/>
- LODÉ, Joël, 2012. Le désert source de vies.

Liste des abréviations

*Nota Bene : Les abréviations précisées ci-après apparaissent dans le corps de ce mémoire sous la forme **ABRÉVIATIONS***.*

AVP : AVant-Projet

BRF : Bois Raméal Fragmenté

CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (IPCC en anglais)

ICU : Îlot de Chaleur Urbain

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change (GIEC en français)

MO : Maîtrise ou Maître d'Ouvrage

MŒ : Maîtrise ou Maître d'Œuvre

PRS : Plantes Résistantes à la Sécheresse

PVC : PolyVinyl Chloride

ZAC : Zone d'Aménagement Concerté

Liste des annexes

Annexe I : Population urbaine - Analyse statistique	41
Annexe II : Liste des entretiens menés	42
Annexe III : Trame d'entretien	44
Annexe IV : Données climatiques des villes de V. et W.	46
Annexe V : Tableau synoptique des végétaux des deux projets analysés	47

Listes des illustrations

Liste des figures

Figure 1 : Les climats en France métropolitaine [13]	5
Figure 2 : Le climat méditerranéen dans le monde [15]	6
Figure 3 : Echinofossulocactus multicosatus (source : commons.wikimedia.org)	9
Figure 4 : Stachys byzantina couvert de rosée (source : needpix.com)	10
Figure 5 : Joubarbe des toits - Sempervivum tectorum (source : pixy.org)	11
Figure 6 : Tulipa micheliana (source : commons.wikimedia.org)	11
Figure 7 : Brachychiton rupestris (source : commons.wikimedia.org)	12
Figure 8 : L'Europe la nuit (source : pixabay.com)	16
Figure 9 : Racines détruisant un revêtement de pavés béton (source : treebuilders.eu)	18
Figure 10 : Euphorbia characias (source : commons.wikimedia.org)	22
Figure 11 : Chemin couvert de Lippia nodiflora (source : jardin-sec.com)	22
Figure 12 : Le jardin des Nymphes juste après la plantation (auteurs : Nicolas Delporte et Arnaud Saldi)	23
Figure 13 : Le Jardin des Nymphes deux ans après la plantation (auteur : Nicolas Delporte)	23
Figure 14 : Wisteria sinensis (projet A - septembre 2020) (auteur : Ariane Sulpice)	27
Figure 15 : Prunus ayant souffert de la sécheresse et présentant une échaudure (projet A - septembre 2020) (Auteur : Ariane Sulpice)	27
Figure 16 : Quercus cerris (projet A - septembre 2020) (auteur : Ariane Sulpice)	28
Figure 17 : Nerium oleander morts / Prunus amygdalus morts et semis n'ayant pas pris (projet B - octobre 2017) (source : JNC Sud)	29
Figure 18 : Bassin de la Crau humide (projet B - 2019) (source : JNC Sud)	31

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les grands types de climats [12]	4
Tableau 2 : Les régions de climat méditerranéen (Tassin, 2012)	6

Avant-propos

Mon stage de fin d'études s'est déroulé de mai à novembre 2020 au sein de l'agence JNC Sud à Lyon. L'activité de cette implantation française d'une entreprise belge, JNC international, est centrée sur la **maîtrise d'œuvre*** et la conception en paysage.

Au sein d'une équipe de cinq à six collaborateurs dirigée par Anne Pascale PERTUS, ma maître de stage, j'ai épaulé les chargés de missions dans l'élaboration des projets en cours. Mon travail a essentiellement consisté en la réalisation de pièces graphiques. Pour exemples je citerai ici les contributions suivantes :

- Étude de programmation pour une plage à Mayotte (schémas de diagnostic et coupes),
- Concours d'établissements scolaires et d'un EHPAD (schémas de fonctionnement et habillage de coupes),
- Avant-projet d'extension d'une **ZAC*** (plan, coupes, notice, reprise du chiffrage et étude de faisabilité pour les lots tertiaires),
- Assistance au suivi d'un chantier dans une ville thermale (place et rues principales),
- Déclaration préalable portant sur un Espace Vert à mettre en Valeur,
- Recherches et note de synthèse sur la phytoépuration et une palette végétale associée pour un projet en Guyane.

Au-delà de conforter mes compétences techniques, cette période d'immersion professionnelle a aussi constitué une expérience riche de confrontation aux réalités de la conduite de projet.

La détermination du sujet du présent mémoire résulte tout d'abord de mon intérêt pour les aménagements urbains. Les défis à relever pour optimiser la construction des villes ne manquent pas, et leur concrétisation passe notamment par une prise en compte accrue du paysage et des solutions reposant sur la végétalisation. Mais l'environnement urbain est un milieu difficile pour les plantes (pollution, chaleur...), qui nécessite une réflexion approfondie sur le choix des espèces et la manière de les installer. Ensuite, un échange avec ma maître de stage portant sur les économies en eau et les **plantes résistantes à la sécheresse*** nous a amenées à évoquer un projet en milieu méditerranéen conçu par l'agence ayant connu une très mauvaise reprise des végétaux. S'est ainsi faite jour ma démarche d'exploration des enjeux de l'utilisation des **plantes résistantes à la sécheresse*** dans l'aménagement des espaces publics urbains.

Table des matières

INTRODUCTION	1
1 LES PLANTES RESISTANTES A LA SECHERESSE DANS LEUR MILIEU NATUREL	3
1.1 Les climats et milieux de vie des plantes résistantes à la sécheresse	3
1.1.1 La sécheresse et les climats de la planète	3
1.1.2 Le climat et les milieux méditerranéens	5
1.2 Les stratégies végétales de résistance à la sécheresse	8
1.2.1 Prévention de la dessiccation	8
1.2.2 Optimisation de la gestion de l'eau	9
1.2.3 Adaptation des cycles de vie	11
2 LES CONTRAINTES SPECIFIQUES A L'AMENAGEMENT EN MILIEU URBAIN	13
2.1 Le substrat	13
2.1.1 La nature du sol	13
2.1.2 L'imperméabilisation des sols	14
2.2 Les conditions abiotiques	14
2.2.1 La température	14
2.2.2 La lumière	15
2.2.3 Les pollutions chimiques	16
2.3 L'espace et les actions humaines directes sur le végétal	17
2.3.1 La place disponible	17
2.3.2 Les détériorations	18
2.3.3 L'entretien	19
3 LES PRATIQUES ACTUELLES D'UTILISATION DES PLANTES RESISTANTES A LA SECHERESSE DANS LES AMENAGEMENTS PUBLICS URBAINS	20
3.1 L'évolution des choix végétaux	20
3.1.1 L'adaptation de la palette au milieu	20
3.1.2 L'utilisation accrue des plantes résistantes à la sécheresse dans les aménagements publics urbains	21
3.1.3 Les caractéristiques des plantes résistantes à la sécheresse implantées dans les projets	21
3.1.4 La qualité des plants	23
3.2 L'adaptation des techniques de plantation et d'entretien	24
3.2.1 Les périodes de plantation	24
3.2.2 Le travail du sol	24
3.2.3 Le paillage	25
3.2.4 L'arrosage	25

3.3	Analyse d'un cas de projet « réussi »	26
3.4	Analyse d'un cas de projet « en échec »	28
	CONCLUSION	31
	Atouts	31
	Limites	32
	« L'espace idéal »	33
	REFERENCES	35
	Références bibliographiques	35
	Références sitographiques	37

Introduction

Le végétal est une des matières premières à disposition du paysagiste, la première de ses ressources. Ce matériau est vivant, il s'inscrit dans un environnement dont il dépend pour se développer. Mais celui-ci peut fluctuer selon les saisons, les années, voire les époques. Et les végétaux, dans l'impossibilité de se déplacer, se trouvent soumis à un certain nombre de contraintes variables. Au fil de l'évolution, des mécanismes de sélection naturelle leur ont permis de mettre en œuvre des stratégies pour s'accommoder à ces contraintes.

Cependant, nous savons depuis longtemps que ces environnements évoluent [1]. La connaissance de cet état de fait a amené une prise de conscience politique, qui s'est notamment traduite par la création en 1988 du programme des Nations Unies pour l'Environnement et du **Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat* (GIEC*)**. Il a ainsi été prouvé que les bouleversements des écosystèmes surviennent beaucoup trop rapidement pour que les espèces végétales puissent toutes s'y adapter [2]. Les climats changent et s'acheminent vers des extrêmes de plus en plus marqués, qu'il s'agisse de tempêtes, de pluies ou de températures : ouragans plus nombreux, vagues de froid en hiver, canicules en été, arrêt possible du Gulf Stream...

Parmi ces changements, la raréfaction de la ressource en eau et les épisodes accrus de sécheresse durant la période estivale deviennent préoccupants pour les travailleurs du végétal. Ces sécheresses sont en effet de plus en plus fréquentes et intenses au sein de régions qui n'y étaient pas ou peu sujettes voici quelques dizaines d'années [3]. De plus, les territoires qui y étaient déjà soumis connaissent désormais des restrictions d'eau drastiques condamnant le recours à l'arrosage et aux végétaux consommateurs d'eau qui y ont été plantés durant les décennies passées [4].

Ceci oblige les paysagistes, du concepteur de l'espace au jardinier qui l'entretiendra, à modifier leurs pratiques. Différents leviers s'offrent à eux pour mettre en place des solutions. Pour le concepteur, la palette végétale est l'un d'entre eux. Il cherche donc des végétaux qui seront déjà adaptés aux changements qui interviennent dans la région de son projet.

Ainsi, les **plantes résistantes à la sécheresse* (PRS*)**, au départ souvent délaissées car considérées d'un aspect moins flatteur, retrouvent maintenant leurs lettres de noblesse sur le pourtour de la Méditerranée, dont une partie sont issues. Elles sont également de plus en plus employées au nord de leur zone de répartition originelle car adaptées aux périodes de sécheresse estivales (Filippi, 2007).

En parallèle, les populations urbaines croissent en France : en soixante-dix ans, les habitants des villes sont passés de 22 à 50 millions, soit une augmentation relative de + 126,5 %. Leur part dans la population totale est ainsi passée de 52,9 à 77,5 %. Dans le même temps, les villes s'agrandissent : la superficie du territoire urbain a plus que triplé entre 1936 et 2017 (Annexe I) [5] [6] [7]. De surcroît, au cours de la dernière décennie, les communes les plus densément peuplées ont connu une variation annuelle moyenne de leur densité de + 9 hab./km² [8]. Cette expansion fait peser sur les espaces urbains de nombreuses pressions. Le rôle des paysagistes consiste à les rendre agréables et viables, pour le bien-être de l'environnement et des populations urbaines. Les problématiques liées aux espaces publics urbains sont la réalité de nombreuses agences de paysage dont l'activité se centre sur ces questions.

Cependant, dans ce contexte multifacettes, la réalisation de projets utilisant des végétaux résistants à la sécheresse peut se heurter à certains écueils, la qualité de reprise et de pousse des

végétaux choisis n'étant alors pas toujours au rendez-vous. Pour quelles raisons ? Quelles solutions pourraient être apportées au regard de leur environnement d'origine et de celui dans lequel nous cherchons à les installer ?

En somme, la question suivante émerge : **En France métropolitaine, quels sont les enjeux de l'utilisation de plantes résistantes à la sécheresse dans l'aménagement des espaces publics urbains ?**

Il s'agira dans un premier temps de préciser au moyen d'une synthèse bibliographique dans quels milieux naturels vivent les **PRS***. Pour cela, il sera nécessaire de définir ce qu'est la sécheresse et de caractériser les climats qui en présentent une. À partir de ceci, nous pourrons expliquer quelles stratégies de résistance à la sécheresse ont mises en place les plantes qui vivent sous ces climats. La dénomination de « **PRS*** » désigne ainsi dans le développement de ce mémoire les plantes supportant ou vivant au sein de climats présentant au minimum un mois de sécheresse continue chaque année.

Dans un deuxième temps seront explorées les contraintes spécifiques du milieu urbain auxquelles les aménageurs sont confrontés. Ces difficultés contraignant les démarches de végétalisation seront structurées selon qu'elles ont trait au substrat, aux conditions abiotiques, à l'espace ou aux actions humaines sur le végétal.

Ensuite, la troisième partie traitera des pratiques actuelles d'utilisation des **PRS*** dans les aménagements publics urbains en abordant les interrogations suivantes. Pourquoi et comment les choix végétaux des paysagistes ont-ils évolué ? Quelles adaptations des techniques de plantation et d'entretien en découlent ? Cette synthèse des usages sera basée sur l'exploitation d'échanges menés avec des professionnels de l'aménagement, ayant contribué ou non aux deux projets analysés ensuite. Cette étude de cas aura pour objectif de déterminer pour quelles raisons ces deux exemples ont fonctionné ou non en termes d'implantation de **PRS*** en milieu urbain.

Enfin, le chapitre conclusif apportera des éléments synthétiques de réponse à la problématique. Il déduira des synthèses bibliographiques, analyses de cas des parties précédentes et échanges avec les professionnels, les atouts et limites de l'utilisation des **PRS*** dans l'aménagement des espaces publics urbains.

Afin de fournir une vision la plus exhaustive possible, huit entretiens ont été menés auprès de **Maîtrises d'Ouvrages*** (**MO***), demandeuses des projets, **Maîtrises d'Œuvre*** (**MŒ***), conceptrices, entreprises les réalisant et entretenant durant les périodes de garantie, et services techniques reprenant cet entretien sur le long terme (Annexes II et III). L'exploitation du contenu de ces échanges a nourri les troisième et quatrième parties du présent mémoire.

Deux projets conçus par le bureau d'études en paysage qui m'a accueillie en stage de fin d'études, JNC Sud, seront analysés en particulier. Il s'agit de deux **Zones d'Aménagement Concerté*** (**ZAC***), une première à V. (en Rhône-Alpes) dont les études ont débuté en 2004 et une seconde à W. à l'est de la plaine de la Crau (Bouches-du-Rhône) dont les études ont démarré en 2014. Ces exemples ont été sélectionnés car l'utilisation de **PRS*** et l'absence d'arrosage à terme ont constitué une demande explicite de la **MO***. Ces deux cas supports se situant en France métropolitaine, l'essentiel du propos du présent mémoire sera centré sur cette zone géographique.

Pour des questions de clarté, nous utiliserons un critère unique pour évaluer la réussite des projets. Nous considérerons comme « réussis » ceux présentant des pertes de végétaux inférieures à 5 % et comme « en échec » ceux accusant des pertes supérieures à 30 %.

1 Les plantes résistantes à la sécheresse dans leur milieu naturel

1.1 Les climats et milieux de vie des plantes résistantes à la sécheresse

1.1.1 La sécheresse et les climats de la planète

La sécheresse

Les **PRS*** vivent dans des écosystèmes soumis à la sécheresse. Mais qu'entend-on par le terme « sécheresse » ? Il s'agit d'« un phénomène naturel [ponctuel ou cyclique] caractérisé par un manque d'eau sur une durée suffisamment longue pour affecter les sols et la végétation » [9]. Derrière ce mot se cachent en réalité trois types de sécheresse qui, bien que différents, restent corrélés : météorologique, agricole et hydrologique. La première correspond à un « déficit prolongé de précipitations ». La deuxième est un « [manque d'eau dans les] sols superficiels, entre un et deux mètres de profondeur, [altérant] le développement de la végétation ». La dernière s'observe « lorsque les lacs rivières ou nappes souterraines montrent des niveaux anormalement bas » [10]. Cependant, ces notions restent qualitatives et les valeurs limites à partir desquelles une période de sécheresse est déclarée diffèrent selon les pays. « En France, on considère qu'il y a sécheresse lorsqu'aucune goutte de pluie (soit moins de 0,2 mm/jour) n'est tombée pendant quinze jours consécutifs » [9].

Nous prendrons ici en compte les déficits hydriques observés sur les **diagrammes ombrothermiques*** des différents climats terrestres. Sur ces diagrammes, où une graduation de l'échelle des précipitations - en mm - correspond à deux graduations de l'échelle des températures - en °C - (moyennes établies sur trente ans), on considère un mois sec comme un mois où la courbe des précipitations passe en dessous de celle des températures. En effet, ce basculement, bien qu'empirique, correspond au moment où les plantes montreront des signes de sécheresse physiologique (Emberger et al., 1963).

Les climats de la planète

Tout d'abord, le climat est à bien différencier des observations ou prévisions météorologiques : ces deux concepts « diffèrent par les échelles de temps considérées. La météo désigne le temps qu'il fait dans un lieu précis et un temps donné [tandis que] le climat s'intéresse à la statistique des paramètres météorologiques définie traditionnellement sur une longue période (30 ans) » (Cassou, Masson-Delmotte, 2015) et sur des régions plus étendues, bien que l'on parle parfois de microclimats (Martin, 2017).

Divers facteurs influencent les climats : le rayonnement solaire, la circulation atmosphérique, les facteurs géographiques comme les océans et le relief, les facteurs biologiques, les activités humaines... (Martin, 2017). Le rayonnement solaire entraîne un réchauffement hétérogène de l'atmosphère terrestre, lequel engendre des mouvements de masses d'air chaudes et froides. Cette circulation atmosphérique influe sur les vents, les précipitations et les courants marins.

Cette influence est d'autant plus importante que la grande majorité des transferts de chaleur à l'échelle de la planète sont consécutifs aux mouvements d'air. Notons qu'en retour les courants marins ont également une incidence sur la circulation atmosphérique. Le relief, en limitant ou favorisant le passage des masses d'air, et les facteurs biologiques comme les forêts ou déserts, en les humidifiant ou les asséchant, ont une action similaire [11]. L'être humain, par ses activités et leurs résidus, perturbe les interactions décrites précédemment. On peut par exemple citer « les grandes catastrophes industrielles, la déforestation, la production additive de gaz à effet de serre... » (Martin, 2017).

On utilise régulièrement la classification de Köppen-Geiger, distinguant les climats mondiaux en fonction de leurs températures et de leur pluviométrie. Ils sont rassemblés en grandes zones présentant des caractéristiques climatiques et géographiques communes décrites sommairement dans le Tableau 1 ci-après (températures, saisons, latitude...): tropical, aride, tempéré, continental et polaire [12].

Tableau 1 : Les grands types de climats [12]

Tropical	La température moyenne de chaque mois de l'année est supérieure à 18 °C. Il n'y a pas de « saison hivernale ». Le climat est humide et présente de fortes précipitations annuelles. Les précipitations annuelles sont supérieures à l'évaporation annuelle. Les précipitations sont régulières tous les mois de l'année.
Aride	Que ce climat soit chaud ou froid, l'évaporation annuelle est supérieure aux précipitations annuelles.
Tempéré	Les températures moyennes des trois mois les plus froids sont comprises entre 0 °C et 18 °C. Les températures moyennes du mois le plus chaud sont supérieures à 10 °C. Les saisons été et hiver sont bien définies. La température moyenne du mois le plus chaud est supérieure à 22 °C.
Continental	La température moyenne du mois le plus froid est inférieure à 0 °C. La température moyenne du mois le plus chaud est supérieure à 10 °C. Les saisons été et hiver sont bien définies.
Polaire	La saison d'été est très peu marquée. La température moyenne du mois le plus chaud est inférieure à 10 °C.

Parmi chacun des cinq grands types synthétisés dans le Tableau 1 ci-dessus se trouvent des climats présentant une sécheresse. Celle-ci est plus ou moins longue et associée à des températures plus ou moins élevées. En France (Figure 1), la plus grande partie du territoire métropolitain est soumise à un climat tempéré océanique : « [les] températures [y sont] douces et [la] pluviométrie relativement abondante [est] répartie tout au long de l'année », en pénétrant dans les terres l'amplitude thermique augmente et la pluviométrie diminue. On trouve également, à l'est, une zone de climat semi-continental : « les étés sont chauds et les hivers rudes, la pluviométrie annuelle est relativement élevée, [avec des orages estivaux] ».

Au-delà des zones d'altitude au climat montagnard, très particulier et souvent rapproché des climats polaires dans les classifications, le climat le plus marqué par la sécheresse est ici le climat méditerranéen [13].



Figure 1 : Les climats en France métropolitaine [13]

1.1.2 Le climat et les milieux méditerranéens

Le climat méditerranéen

Le climat méditerranéen se caractérise globalement par des étés chauds et secs, des hivers doux et un fort ensoleillement. On y observe une certaine violence des phénomènes météorologiques comme la concentration de pluies sur quelques mois et des vents violents, qui constituent un facteur supplémentaire de dessiccation de la végétation. Ainsi, en France, le pourtour de la Méditerranée subit au printemps et à l'automne des orages « [pouvant] apporter en quelques heures quatre fois plus d'eau que la moyenne mensuelle en un lieu donné », comme c'est le cas lors des épisodes cévenols [13] (Riser, 2010).

Cette définition est à nuancer selon la situation géographique : les zones d'influence océaniques montrent une amplitude thermique moindre que les secteurs à tendance continentale, ainsi les hivers lisboètes sont plus doux et les étés moins chauds qu'à Athènes [14].

On peut aussi faire référence à « l'isotherme de 9,5 °C en janvier, qui va de Lisbonne à Athènes [situées à des latitudes similaires (respectivement 38° 43' et 37° 58')] et] sépare deux domaines. [Au] nord, les maximums pluviométriques sont au printemps et en automne. Des vagues de froid se produisent en hiver, accompagnées de vents violents, la tramontane du Roussillon, le mistral en Provence [...]. Il peut neiger à Jérusalem. Au sud, les hivers sont doux, avec des pluies en décembre et janvier. La sécheresse de l'été dure de quatre à cinq mois, avec des coups de sirocco [vent violent sud-nord, chargé de sable, en provenance du Sahara] » [14].

Les régions concernées par ce climat sont systématiquement situées entre mer (ou océan) et montagne. Elles représentent une superficie globale de près de 3 millions de kilomètres carrés (Tableau 2), soit équivalente au sous-continent indien. Comme le montre la Figure 2, on en trouve tout autour du globe, au-delà des bords de la Méditerranée, « sur les façades ouest des continents aux latitudes de 30-40° environ (Californie, Chili, Afrique du Sud et sud-ouest de l'Australie) » [15] (Tassin, 2012).

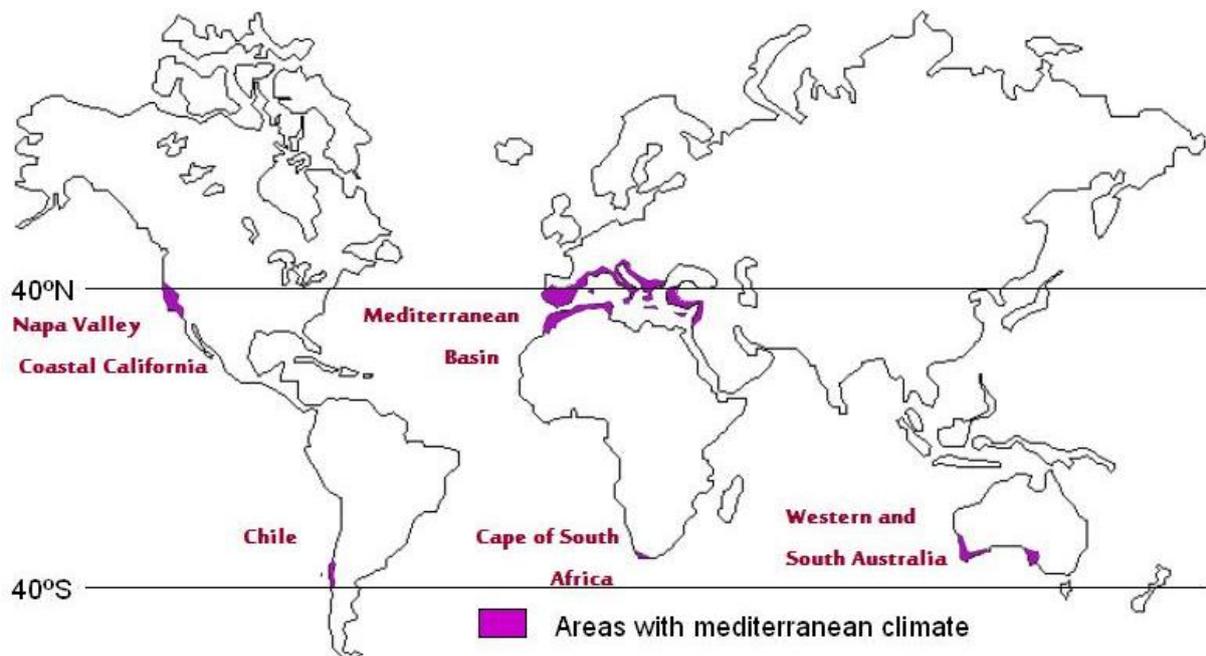


Figure 2 : Le climat méditerranéen dans le monde [15]

Tableau 2 : Les régions de climat méditerranéen (Tassin, 2012)

Région	Superficie (en km ²)
Pourtour méditerranéen	2 300 000
Californie	324 000
Chili central	140 000
Afrique du Sud	90 000
Australie méridionale	112 260

Les sols

Les étendues soumises au climat méditerranéen sont morcelées par les reliefs accidentés caractéristiques qui délimitent les zones d'influence de ce climat. Ce découpage crée autant de microclimats, de sols et de couvertures végétales que de subdivisions (Toubert, 1997).

Parmi cette diversité de sols discontinus, le plus connu est sans doute la terra rossa (terre rouge en italien). Il s'agit de sols argileux issus de calcaires riches en oxydes de fer, qui leur donnent leur couleur si caractéristique (Toubert, 1997). Le processus responsable de cette concentration en oxyde de fer se nomme fersiallisation : la roche mère est altérée en profondeur par l'humidité puis les composés ferriques migrent vers le sol (Tassin, 2012).

Les milieux méditerranéens présentent également d'autres sols dont des arènes granitiques, sables issus de la dégradation du granit et donc proches des massifs de montagnes, des sols volcaniques riches, des sols alluviaux dans les plaines littorales... (Toubert, 1997).

Cette grande gamme de sols, le caractère tampon du climat méditerranéen, transition entre climats océaniques, désertiques, continentaux..., et l'influence ancienne des activités humaines ont engendré des types de végétations nettement distincts (Tassin, 2012).

Les grands types de végétations

On distingue ainsi trois grands types de végétations qui sont eux-mêmes divisés en sous-ensembles : forêts, matorrals et steppes. Il est à noter que certaines espèces caractéristiques ne font pas partie de ces trois types, comme la canne de Provence (*Arundo donax*) qui se retrouve le long des rivières [16].

Les forêts sont concentrées dans les milieux humides à semi-arides, le plus souvent en altitude ou proches des rivières et des sources. Les chênaies à feuilles caduques se composent principalement en France de *Quercus pubescens*, parfois associé au *Quercus cerris* dans celles proches de l'Italie où ce dernier se retrouve en majorité. Les massifs de pinèdes, essentiellement de pins d'Alep (*Pinus halepensis*), souvent importants car favorisés par l'homme pour le reboisement, prennent place dans les milieux plus secs. Enfin, les chênaies sclérophylles correspondent à la forêt typique méditerranéenne, composée majoritairement de Chêne vert (*Quercus ilex*) en métropole, et sont considérées comme un **stade climacique***. Cependant, d'après des recherches en paléobotanique, ce caractère serait d'origine humaine et une conséquence des déboisements utilisant systématiquement le feu. Le Chêne vert, plus résistant que le Chêne pubescent aurait alors été favorisé (Tassin, 2012), tandis que beaucoup d'autres auraient disparus, conduisant à un appauvrissement de la biodiversité de ces forêts [16].

La pauvreté du sol combinée à ces feux répétés ont perturbé ces forêts et conduit à la naissance d'ensembles de ligneux bas : les matorrals, emblématiques des milieux méditerranéens. Ce terme, espagnol, désigne des « formations [...] n'excédant pas [sept mètres] de hauteur ». Ils peuvent prendre divers noms selon leur région, leur taille, ou bien la roche mère sur laquelle ils se développent : on trouve ainsi en France les garrigues et les maquis, dont le Chêne kermès (*Quercus coccifera*), l'Arbousier (*Arbutus unedo*), les Bruyères, le Lentisque (*Pistacia lentiscus*), l'Alaterne (*Rhamnus alaternus*), les Cistes (*Cistus sp.*), les Romarins (*Rosmarinus officinalis*), les Lavandes (*Lavandula sp.*) et les Thyms (*Thymus sp.*) sont des espèces caractéristiques [16] (Tassin, 2012).

Enfin, la steppe, milieu ouvert, est essentiellement composée de **xérophytes***. Cette végétation basse se développe en touffes tout en laissant une partie du sol à nu. On en distingue deux grands types principaux, herbacé et ligneux, qui peuvent se trouver mélangés : celui « [dominé] par des Poacées pérennes dont [par exemple ... *Brachypodium ramosum* et] *Stipa tenacissima* [...et celui ligneux formé] de sous-arbrisseaux dont [le] plus [typique est celui] à Armoise blanche (*Artemisia herba-alba*) ». D'autres types, comme les steppes succulentes ou encore les steppes crassuléscentes dans les milieux salés, existent, mais ils restent en minorité [16] (Tassin, 2012).

La biodiversité

La dégradation de ces milieux par l'homme conduit, lorsqu'elle est extrême, à la constitution de prairies ou pelouses sèches. Néanmoins, le biome méditerranéen demeure un ensemble d'espaces primordiaux en termes de concentration de biodiversité à l'échelle mondiale. En ce qui concerne la flore, le nombre total d'espèces de ces régions « est évalué entre 45 000 et 60 000 », ce qui correspond à « 20 % de la richesse spécifique végétale » concentrés sur « seulement 2 % de la surface de la planète » (Tassin, 2012). Ces régions ont ainsi été classées parmi les 34 points chauds par l'organisation non gouvernementale (ONG) *Conservation International* agissant pour protéger ces zones extrêmement riches soumises aux pressions

anthropiques. Chacun de ces points chauds regroupe au minimum « 1 500 espèces endémiques [...] - soit plus de 5 % des espèces présentes sur la Terre [concentrés dans ces points chauds - et subit une] perte de 70 % [ou plus de leurs habitats] ». De surcroît, le bassin méditerranéen est l'un des plus dégradés puisqu'il ne conserve que « moins de 5 % de son couvert végétal initial » [17] [18].

Si, malgré des conditions de stress hydrique parfois intense, la biodiversité végétale est à ce point remarquable dans les milieux méditerranéens, c'est grâce aux stratégies de résistance à la sécheresse mises en place par les plantes qui s'y développent.

1.2 Les stratégies végétales de résistance à la sécheresse

Les PRS* ont développé une multitude de mécanismes afin de croître et se reproduire dans leur milieu, hostile. Ces stratagèmes, parfois combinés, s'observent à différentes échelles, de la cellule à l'organe, voire à l'organisme tout entier. Ils sont organisés ci-après autour de trois axes : prévention de la dessiccation, optimisation de la gestion de l'eau et adaptation des cycles de vie.

1.2.1 Prévention de la dessiccation

Réduire sa surface foliaire

La première des solutions mises en place par les végétaux pour échapper aux rayons brûlants du soleil est de diminuer la surface de leurs feuilles, il s'agit de l'aphyllie (Morot-Gaudry et al., 2017). Certaines feuilles, comme celles du Romarin ou du Thym, s'enroulent ainsi sur elles-mêmes tout en conservant leurs facultés photosynthétiques (Filippi, 2007). C'est aussi le cas chez des graminées qui déclenchent ce comportement en-deçà d'un taux minimal : par exemple, 85 % d'eau dans les feuilles du *Nardus stricta* ou encore 50 % dans celles du *Deschampsia flexuosa*. D'autres feuilles, comme chez certains genêts, n'existent que temporairement (Morot-Gaudry et al., 2017). On observe aussi tout un gradient de formes foliaires, elles peuvent être : linéaires, en aiguilles, minuscules, voire même réduites à de simples écailles imbriquées. Poussée à l'extrême, cette stratégie aboutit à la transformation des feuilles en épines, comme chez les Cactées, où la tige assure alors la fonction de photosynthèse (Filippi, 2007). Avec le même objectif, les *Lithops* originaires du sud de l'Afrique ne présentent plus que deux morceaux de feuille à peine apparents à la surface du sol, d'où leur appellation de plantes-cailloux (Lodé, 2012).

Diversifier ses stratégies foliaires

Le *Phlomis lycia*, indécis, a opté pour un dimorphisme saisonnier : des feuilles étendues jusqu'en mai pour une photosynthèse optimale, puis des feuilles estivales longilignes et quasi verticales pour minimiser sa surface d'exposition. Ce choix d'orienter ses feuilles en fonction de la position du soleil est également opéré par d'autres espèces tout en conservant une même forme tout au long des saisons (Filippi, 2007).

Des *Sedum* des garrigues méditerranéennes s'auto-abritent eux grâce à une disposition de leurs feuilles « en spirales verticales le long des tiges. Tour à tour, les feuilles du bas passent ainsi à l'ombre des feuilles des étages supérieurs, en fonction de la progression du soleil dans la journée » (Filippi, 2007).

Pour se protéger en des lieux toujours ensoleillés, le *Copiapoa dealbata* s'enduit de pruine, couche cireuse poudreuse, qui lui donne sa couleur blanchâtre (Lodé, 2012) alors que les

scélérophytes (de σκληρός sklêros - dur, sec) présentent de coriaces feuilles vernissées : elles sont couvertes d'une épaisse cuticule qui constitue un écran efficace aux brûlures (Morot-Gaudry et al., 2017).

Abaisser la température

L'idée de pare-soleil se retrouve sous les épines des Cactées et le duvet des plantes à feuilles grises. Grâce à leur couche de poils, ces dernières d'une part se mettent à l'ombre car ils réfléchissent la lumière et d'autre part bénéficient d'une relative fraîcheur créée par la lame d'air isolante ainsi piégée. De plus, les gouttelettes de rosée, de pluie ou dues à l'évapotranspiration piégées par ces poils s'évaporent lentement et participent à maintenir cette température plus clémente. Les Euphorbes succulentes en sont un autre exemple : elles s'abritent du soleil sous l'ombre portée des côtes verticales de leurs tiges (Filippi, 2007). Ces côtes, lorsqu'elles sont en grand nombre, comme chez *Echinofossulocactus multicostatus* (Figure 3), créent un flux d'air qui participe à la tempérance du milieu (Lodé, 2012).



Figure 3 : Echinofossulocactus multicostatus
(source : commons.wikimedia.org)

La recherche d'un abaissement de la température s'effectue aussi au moyen d'autres techniques. Au-delà de leur rôle d'éloignement des prédateurs, par le processus de leur évaporation, les huiles essentielles produites par une grande diversité de plantes du biome méditerranéen servent à rafraîchir l'atmosphère proche de ces aromates (Filippi, 2007).

Rester compacte et proche du sol

L'assèchement n'est pas uniquement causé par une température excessive. Il est aussi consécutif à l'action du vent et la présence de sel car celui-ci, par la différence de pression osmotique qu'il engendre, aboutit à l'extraction de l'eau cellulaire. Pour résister aux embruns maritimes, les plantes des régions côtières ont tendance à se cacher les unes derrière les autres et à se rapprocher du sol. Elles restreignent de cette façon leur surface exposée à ces facteurs limitants.

La forme la plus aboutie de ces processus de résistance dessine une boule, « dense et compacte comme un coussin ». À l'extrême est du Maroc, le *Fredolia aretioides* se développe ainsi en une remarquable demie sphère (Filippi, 2007).

1.2.2 Optimisation de la gestion de l'eau

Puiser l'eau dans le sol

Les racines sont l'organe de prélèvement par excellence, elles permettent à la plante de puiser dans son milieu l'eau et les nutriments nécessaires à son développement. Classiquement, ce système prend une forme soit à dominante horizontale (racines fasciculées), soit à dominante verticale (racines pivots) (Dutuit, Gorenflot, 2016). Le stress hydrique impose aux PRS* une optimisation de cette partie fondamentale de leur anatomie : elles développent un « double système racinaire ». Le réseau de racines fasciculées s'étalant en surface leur permet de capter

les pluies faibles s'infiltrant peu dans le sol. Tandis que celui pénétrant verticalement dans le sol leur sert à atteindre l'humidité en profondeur lorsque la surface s'assèche (Filippi, 2007).

Ainsi, des végétaux soumis à des sécheresses présentent des parties souterraines de taille équivalente, voire double, à leurs parties aériennes. C'est par exemple le cas du Fonio, céréale africaine (Cruz et al., 2011), et des *Prosopis*, arbres et arbustes de la famille des *Mimosaceae* dont les « puissantes racines [atteignent] jusqu'à 25 m de profondeur, voire plus » (Lodé, 2012). D'autres plantes poussent cette adaptation à l'extrême avec « des racines longues de plusieurs mètres pour une tige aérienne de 10 cm à peine », soit une taille d'organes souterrains égale à plusieurs dizaines de fois celle des organes aériens (Couplan et al., 2013).

Recueillir l'eau dans l'air

Les **PRS*** colonisent des milieux où la ressource en eau est rare. Elles regorgent de stratégies pour s'emparer de la moindre petite gouttelette.

Pour capter l'eau en suspension dans l'air de grandes feuilles peuvent s'avérer pratiques : le *Tillandsia latifolia* y condense la garua, brouillard côtier péruvien, puis l'absorbe (Lodé, 2012).

Les différentes formes foliaires réduites, aiguillons et épines, et les poils, en plus de participer à la protection contre le soleil, présentent aussi la faculté de retenir l'humidité atmosphérique qu'il s'agisse de pluie, de brouillard ou de rosée (Figure 4), voire de la vapeur d'eau issue de la photosynthèse (Bugaret, 2010 ; Lodé, 2012 ; Filippi, 2007).



Figure 4 : *Stachys byzantina* couvert de rosée (source : needpix.com)

Les stomates des végétaux vivants dans des conditions de stress hydrique présentent la particularité d'ouvrir un passage à l'eau vers l'intérieur de la plante alors qu'une de leurs fonctions premières est la transpiration. En sus, le *Welwitschia mirabilis* démultiplie cette aptitude en recouvrant entièrement les deux côtés de ses feuilles de stomates alors que la plupart du temps, les **PRS*** n'en ont que sur la face inférieure (Filippi, 2007).

Se servir de sa forme générale, de sa tige ou de ses feuilles comme d'une gouttière récupérant l'eau puis la conduisant vers la base de sa tige est une technique complémentaire. Par gravité, l'eau est ainsi dirigée directement vers les racines de surface s'étalant en réseau dense à partir du collet. Le *Welwitschia mirabilis* déjà évoqué ci-dessus adopte également ce mécanisme pour s'auto-arroser. Chez les Cactées, le chemin est un peu différent : l'eau glisse le long des épines jusqu'à l'aréole où elle est absorbée (Lodé, 2012 ; Filippi, 2007).

Se prendre pour une citerne

L'idéal, pour les **PRS***, serait de disposer d'une réserve d'eau. C'est « la » caractéristique des plantes succulentes. La succulence consiste en une double hypertrophie des cellules et des organes qui, transformés en éponges, se gonflent d'eau (Morot-Gaudry et al., 2017 ; Filippi, 2007). Diverses parties du végétal sont susceptibles d'exprimer cette propriété.

Le **parenchyme aquifère*** des feuilles de certaines succulentes est surdéveloppé. Il leur permet de stocker de grandes quantités d'eau qui engendrent une répartition inhabituelle de la masse des parties aériennes de la plante : les feuilles concentrent la plus grande part de celle-ci. Les Agaves et les Joubarbes en sont des exemples très connus (Figure 5) (Lodé, 2012 ; Couplan et al., 2013).



Figure 5 : Joubarbe des toits - *Sempervivum tectorum* (source : pixy.org)

La succulence prend une forme différente chez les Cactées où, là, ce sont les tiges qui s'hypertrophient. Pour *Pachypodium densiflorum* le stockage s'effectue niveau du caudex, base renflée de la tige lignifiée (Morot-Gaudry et al., 2017).

Ce n'est pas tout de se transformer en contenant du précieux liquide, encore faut-il éviter qu'il ne s'échappe. Le revêtement cireux des feuilles de certaines espèces les étanchéifie et constitue une barrière aux éventuelles déperditions (Couplan et al., 2013). De plus, les stomates, non contents de se limiter souvent à la face inférieure des feuilles, se cachent davantage encore en étant parfois positionnées dans des cryptes ou des sillons (Morot-Gaudry et al., 2017).

1.2.3 Adaptation des cycles de vie

Faire ponctuellement des réserves

Au lieu de stocker en permanence de l'eau dans les parties aériennes, d'autres plantes mobilisent périodiquement des organes, le plus souvent souterrains. Ceux-ci ont pour fonction de stocker de l'eau et des nutriments durant les épisodes de sécheresse et permettent ainsi la survie de ces végétaux. Entrent notamment en jeu ici les bulbes, tiges très courtes portant des racines et protégées par des pièces foliaires, et les tubercules, tiges allongées et renflées portant plusieurs nœuds et entre-nœuds.

En l'occurrence, le principe est de « disparaître pour mieux survivre. Pendant la période de végétation, la plante assimile des éléments nutritifs et de l'eau dans les organes [...] souterrains. Puis quand arrive la chaleur, la plante fane et semble disparaître, mais [les organes] chargés de réserves restent en terre, bien vivants prêts à redémarrer [le] cycle végétatif avec les pluies d'automne » (Filippi, 2007). Parmi ces **géophytes***, on peut citer en exemple les *Tulipa micheliana* (Figure 6) qui prospèrent dans les collines du désert nord-iranien du Dasht-e Kavir (Lodé, 2012).



Figure 6 : *Tulipa micheliana* (source : commons.wikimedia.org)

Dans la même dynamique, chez d'autres végétaux, une fonction de réserve s'ajoute aux fonctions originelles de certains organes. C'est le cas des arbres-bouteilles (Figure 7) qui croissent en zone semi-aride ou aride comme les *Chorisia* brésiliens ou encore les *Brachychiton* australiens (Lodé, 2012).

Limiter la transpiration

Le fonctionnement de base du cycle respiratoire végétal est le suivant : le jour comme la nuit, la plante absorbe du dioxygène et rejette du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau. Ces échanges ont essentiellement lieu grâce aux stomates, orifices de l'épiderme des organes aériens des végétaux. En parallèle, mais uniquement le jour, se déroule la photosynthèse qui elle, outre la synthèse de glucides, aboutit à un bilan gazeux inversé par rapport à la respiration, soit une consommation de dioxyde de carbone et une production de dioxygène.

Les plantes CAM (Crassulacean Acid Metabolism) présentent la particularité de limiter leurs échanges gazeux à la nuit, qu'il s'agisse de respiration ou de photosynthèse. En conservant fermés leurs stomates le jour, elles suppriment la transpiration aux heures les plus chaudes et évitent ainsi les déperditions excessives d'eau. « Le gaz carbonique absorbé la nuit est fixé en attente dans les tissus sous la forme d'acide malique, et la photosynthèse s'effectue en différé le lendemain, en utilisant les réserves constituées la nuit » (Bugaret, 2010). Ce processus a été découvert en 1816 par Benjamin Heyne et nommé métabolisme acide crassulacéen en 1940 par S.L. Ranson et Meirion Thomas à l'issue d'une étude approfondie portant sur les Crassulacées. Cette même stratégie de résistance à la sécheresse a depuis été observée dans de nombreuses autres familles de plantes comme les *Agavaceae*, les *Euphorbiaceae* et les *Cactaceae* (Balmès et al., 2013).

Adapter son cycle de vie

Certains végétaux ont poussé cette limitation de la transpiration plus loin : en été, leur cycle de vie est en pause, ils perdent leurs feuilles et entrent en dormance. « Pas de feuilles, pas de photosynthèse, donc pas de pertes d'eau ». C'est par exemple le cas de l'Arganier, arbre endémique du Maghreb, qui peut même, si les conditions météorologiques défavorables perdurent, poursuivre cette dormance pendant plusieurs années (Filippi, 2007).

À l'extrême, les plantes annuelles vont jusqu'à raccourcir leur cycle de vie. Elles se développent, fleurissent et produisent leurs graines en quelques mois avant que la sécheresse n'arrive. Cette condensation se restreint même à quelques jours dans des milieux désertiques où les pluies sont rarissimes. Cette stratégie est rendue possible par certaines spécificités des graines en question souvent profuses, restant en réserve dans le sol en attendant l'arrivée de conditions favorables (Filippi, 2007).

Munies d'un « tégument suffisamment épais pour les protéger de la dessiccation », leurs graines « sont en effet capables d'attendre plusieurs années de suite [...] la pluie salvatrice qui les fera germer ». Ainsi, les semences de *Sclerocactus* conservent durant 23 ans leurs capacités germinatives. À cette protection anatomique s'ajoute parfois d'autres curiosités comme la faculté de synchroniser la libération des graines avec les précipitations tels les Mésembryanthémacées d'Afrique du Sud (Lodé, 2012).

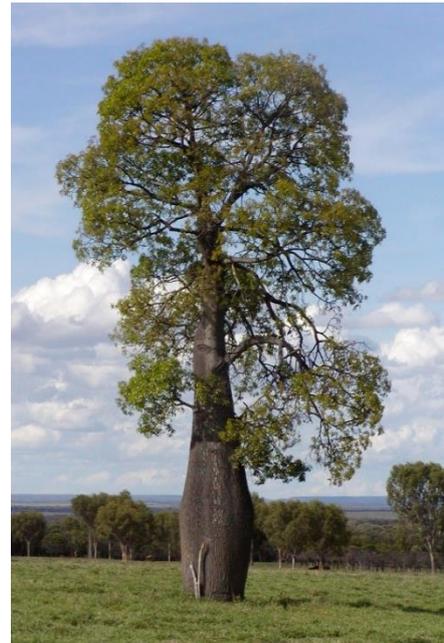


Figure 7 : *Brachychiton rupestris*
(source : commons.wikimedia.org)

2 Les contraintes spécifiques à l'aménagement en milieu urbain

S'intéresser à la problématique de l'utilisation des **PRS*** dans l'aménagement des espaces publics en ville suppose la prise en compte des particularités propres à ces végétaux et à leurs milieux de vie, abordées ci-dessus. Cela implique également d'appréhender les contraintes spécifiques au milieu urbain auxquelles les aménageurs sont confrontés.

2.1 Le substrat

2.1.1 La nature du sol

Naturellement, un sol sain est le plus souvent multicouche. Au plus profond se trouve la roche mère. Au-dessus, la couche profonde, essentiellement issue de la dégradation de la roche mère, est pauvre en matière organique. Juste sous la surface s'étend une épaisseur poreuse riche en matières organiques et en minéraux biodisponibles, la couche fertile. Enfin, un dépôt d'humus, produit de la décomposition de restes d'organismes vivants, recouvre optionnellement le tout. Sous réserve que la vie l'anime, les cycles biologiques maintiennent dans la durée les qualités de ce milieu (ADEME, 2019).

Les activités humaines engendrent l'artificialisation de ce substrat essentiel à la vie et en particulier au développement des végétaux. Les sols urbains, remarquablement hétérogènes, résultent d'une longue succession de divers processus altérant leurs qualités originelles : sédimentation, tassements, terrassements... Ces **anthroposols*** sont ainsi constitués d'innombrables épaisseurs, traces historiques des activités humaines (Gouedard, 2014).

La nécessaire portance des sols urbains, utile notamment pour supporter les véhicules ou les bâtiments, oblige à leur compaction. Celle-ci entraîne une densité accrue et une **macroporosité** diminuée aux effets néfastes pour la végétation : accès dégradé aux nutriments, échanges aqueux et gazeux amoindris, difficultés de développement (racines et jeunes pousses), et, au-delà, baisse du nombre et de l'activité des êtres vivants (Trees and Design Action Group, 2016).

Ce même impératif, de capacité à supporter des charges, pousse les aménageurs à utiliser en abondance des mélanges terre-pierre dans les fosses de plantation. Leur composition se répartit habituellement entre 60 % de pierres (de dimensions variables comprises généralement entre 60 et 80 millimètres, « grave 60/80 ») et 40 % de terre végétale. Tout d'abord, ce substrat draine davantage les eaux que la terre seule ce qui limite les quantités d'eau disponibles pour les plantes. Ensuite, les granulats sont des obstacles aux racines, obligées de les contourner voire de se ramifier et/ou de modifier leur direction pour poursuivre leur croissance. Enfin, la composition de la roche utilisée influe le **pH*** (Trees and Design Action Group, 2016 ; Gouedard, 2014).

Aux causes plutôt mécaniques décrites ci-dessus s'ajoutent des facteurs davantage chimiques. En effet, manquant d'apports, la couche du sol a priori fertile présente en ville une faible teneur en matières organiques. De plus, le **pH*** optimal d'un substrat de végétation se situe le plus souvent entre 6 et 7,5. Les matières minérales naturellement ou artificiellement présentes dans le sol perturbent cette caractéristique chimique. Or, la croissance des plantes est quasi impossible « au-dessous de 4,5 et au-dessus de 8,5 » : la basicité fréquente du milieu urbain gêne, voire empêche, leur capacité à capter les nutriments déjà rares. In fine, le nombre

d'espèces implantables est limité à celles tolérant ces deux facteurs (Trees and Design Action Group, 2016 ; Breton et al., 2015 ; Gouedard, 2014).

2.1.2 L'imperméabilisation des sols

Les espaces artificialisés représentent une part de plus en plus importante du territoire. Ils étaient estimés en 2017 à 9,7 % du territoire national contre 6,9 % en 1992, soit + 2,8 points en 15 ans correspondant une augmentation relative de deux cinquièmes [19]. Cette artificialisation des sols peut conduire à leur imperméabilisation lorsque le matériau qui les recouvre ne leur permet plus de laisser s'infiltrer l'eau. C'est par exemple le cas avec les surfaces goudronnées ou construites (ADEME, 2019 ; Breton et al., 2015).

Ce phénomène provoque des répercussions en chaîne. Au ruissellement des eaux pluviales succèdent d'une part la diminution des nappes phréatiques et l'augmentation de l'ampleur et de la fréquence des inondations, et d'autre part l'amoindrissement des quantités d'eau disponibles dans les couches superficielles du sol. La raréfaction du couvert végétal qui en découle engendre elle une chute de l'évapotranspiration, d'où la hausse des températures, et finalement, une dégradation de la qualité paysagère et du cadre de vie (ADEME, 2019 ; Breton et al., 2015).

Cette dégradation n'est pas inéluctable, certaines dynamiques pourraient inverser la tendance. Les progrès techniques sont notables en la matière, ce sont les freins culturels qui limitent les possibilités de changement. Deux volontés complémentaires servent cet objectif : en amont, limiter l'imperméabilisation et en aval, désimperméabiliser. Lors de la création de nouveaux aménagements dont l'usage ne nécessite pas un sol imperméable ou exempts d'irrégularités, on peut opter pour des revêtements conservant intactes les capacités d'absorption d'eau du sol, tels les parkings enherbés. Regagner de la pleine terre est essentiel dans une visée de continuité de la trame brune et des écoulements aqueux vers les nappes. Lorsque, sous la couche de surface imperméable, le sol est très dégradé, il est envisageable de mobiliser des **technosols*** [20] (ADEME, 2019). Ce procédé, « [s'inspire] de l'organisation et du fonctionnement des sols naturels pour créer des sols artificiels fonctionnels répondant aux usages futurs des sols » [21].

Au-delà de gommer les effets néfastes de l'imperméabilisation, les bénéfices des démarches la limitant sont nombreux : des coûts diminués de gestion des eaux pluviales, une biodiversité accrue et l'émergence d'îlots de fraîcheur (ADEME, 2019).

Malgré toutes les limitations abordées ci-dessus, une partie des sols urbains possèdent des caractéristiques suffisantes pour être plantés. Pour que la végétalisation des villes soit optimale, des diagnostics pédologiques doivent préalablement à tout projet qualifier précisément la qualité des sols, en termes de structure, texture, et composition. Les stratégies d'aménagement s'adaptent ainsi à une connaissance fine du contexte (Trees and Design Action Group, 2016).

2.2 Les conditions abiotiques

2.2.1 La température

Les villes constituent un milieu très particulier en ce qui concerne la température. En effet, en considérant une même zone géographique, elle y est plus élevée que dans les campagnes. Et certains espaces, au sein même de la ville, sont plus chauds que d'autres. Ces différentiels de températures, entre 2 °C et 10 °C, s'observent particulièrement durant la nuit et en été. Ce microclimat, bien connu, est la conséquence de divers facteurs accumulant artificiellement de la chaleur : il s'agit de l'**îlot de chaleur urbain*** (ICU*) [22] (Breton et al., 2015).

Tout d'abord, les activités humaines en elles-mêmes, par leur consommation d'énergie, libèrent de la chaleur : transports, machines industrielles, ordinateurs et serveurs, climatisation, chauffage... Cette chaleur diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre-ville, les activités y étant beaucoup plus concentrées qu'en périphérie. Par leurs autres productions de déchets polluant l'atmosphère, elles participent également à une augmentation locale de l'effet de serre, ce qui amplifie encore le phénomène de stockage de chaleur [22] (Breton et al., 2015).

Ensuite la forme particulière de la ville participe aussi à ce stockage. Le centre-ville, classiquement composé de rues étroites et de bâtiments hauts, est moins soumis au rayonnement solaire le jour du fait de l'ombre apportée par les bâtiments, ce qui l'empêche en contrepartie de se refroidir la nuit. Et l'air y circule aussi moins bien, ce qui limite encore le refroidissement. A contrario, les espaces périphériques, moins denses et plus bas, se réchauffent plus le jour mais se refroidissent aussi plus facilement une fois le soleil couché (Breton et al., 2015).

De plus, les matériaux utilisés en revêtement de sols ou de façades jouent un grand rôle dans les **ICU***. Effectivement, plus ils sont lisses et de couleur claire plus ils seront froids et inversement, plus ils sont sombres et rugueux plus ils seront chauds. Ceci est causé par l'**albédo*** plus faible de ces derniers, c'est-à-dire qu'ils réfléchissent moins les rayons du soleil et emmagasinent donc plus de chaleur. La moyenne de l'**albédo*** se situe autour de 0,15 en ville, autrement dit, les surfaces urbaines ne réfléchissent que 15 % des rayons incidents. S'y ajoutent des surfaces humides très limitées, tels les espaces verts, ce qui accentue encore le réchauffement en « diminuant les possibilités de refroidissement par évaporation » [22] (Breton et al., 2015).

Cette hausse localisée des températures en ville a évidemment « un impact sur la **phénologie*** des végétaux », comme des modifications dans la production de biomasse et le décalage ou l'allongement des périodes de pollinisation et de fructification. On pourrait penser que ces phénomènes sont bénéfiques mais ce n'est pas le cas. Ils peuvent par exemple conduire à un isolement reproductif ou encore à la destruction, lors de gelées tardives, des bourgeons sortis trop tôt [22].

Le vent

La vitesse du vent est également un point de contrainte puisque, selon s'il est amplifié ou atténué, il participe à l'assèchement de l'air ou à la stagnation de la chaleur. L'accélération du vent se fait par effet Venturi : lorsque la section d'écoulement d'un fluide diminue, sa vitesse augmente au niveau de ce rétrécissement (Breton et al., 2015).

2.2.2 La lumière

Les végétaux sont de même particulièrement soumis aux variations de lumière puisqu'ils ont besoin de cette dernière pour réaliser la photosynthèse et ainsi se développer. Cet élément peut cependant être influencé par les bâtiments, les revêtements et l'éclairage artificiel.

Les deux premiers, selon leur hauteur et les caractéristiques des rues, peuvent créer de véritables poches d'ombre permanentes ou réfléchir violemment la lumière, comme les immeubles vitrés. Ces conditions étranges ne peuvent être endurées par certaines plantes (Grand Lyon, 2011 ; Trees and Design Action Group, 2016).

Le dernier modifie complètement le « **rythme nycthéral*** (alternance du jour et de la nuit) » de la plante, en lui faisant croire qu'il fait encore jour au beau milieu de la nuit. On parle de pollution lumineuse. Cet éclairage public a bien entendu une utilité, comme la valorisation nocturne du patrimoine et l'assurance d'une certaine sécurité pour les usagers, mais il est en

revanche souvent utilisé à l'excès : « concentration des sources de lumière, [...] durée de fonctionnement trop longue par rapport à sa durée d'utilité réelle [, *et caetera*] » (Breton et al., 2015).

Ce problème est global : « [d'après] le dernier atlas mondial de la pollution lumineuse [...] 25 % de la surface terrestre et 88 % de l'Europe sont désormais contaminés par les éclairages nocturnes » (Figure 8) [23]. Pis, les nombreuses conséquences de cet éclairage nocturne s'avèrent dramatiques et affectent autant la flore que la faune : des animaux perdent leurs repères, les insectes s'épuisent, deviennent des proies faciles et disparaissent, les mécanismes liés à la lumière, tels la nutrition et la reproduction, sont chamboulés, tout comme le métabolisme des végétaux (Breton et al., 2015). Tout comme les **ICU***, cette luminosité permanente affecte le bourgeonnement, son influence en la matière étant nettement prépondérante par rapport à la température. L'effet est proportionnel, et il a été observé sur certaines essences que la lumière artificielle pouvait ainsi décaler l'éclosion des bourgeons jusqu'à plus d'une semaine plus tôt que la normale. Ces arbres sont alors susceptibles de souffrir d'un gel tardif. De plus ce type d'événement précoce affecte également toutes les autres espèces qui en dépendent et risque de dissoudre l'équilibre de cet écosystème [23].

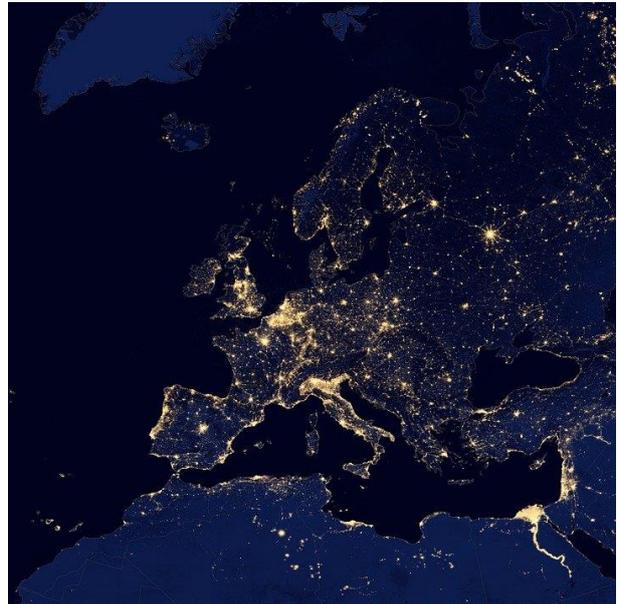


Figure 8 : L'Europe la nuit
(source : pixabay.com)

2.2.3 Les pollutions chimiques

La pollution de l'air constitue pour les plantes comme pour la grande majorité des êtres vivants un problème de taille : particules, dioxyde de carbone, oxydes d'azote, ozone, dioxyde de soufre, métaux lourds sont les principaux perturbateurs. Les particules en suspension, soit des éléments d'un diamètre inférieur à 10 μm , gênent par exemple la photosynthèse et, de la même manière que dans nos poumons, étouffent les plantes en bouchant leurs stomates. Tandis que les pluies acides acidifient les eaux, endommagent les feuilles jusqu'à lessiver le contenu de leurs cellules, libèrent des métaux toxiques et détruisent les nutriments des sols par leur action corrosive. Elles sont causées par des combinaisons humidité, dioxyde de soufre et oxydes d'azote. Ces derniers participent en sus à l'**eutrophisation*** des milieux aquatiques [22] (Breton et al., 2015).

Les eaux de pluies, qui sont souvent dirigées vers les espaces verts pour les arroser, se concentrent ainsi en polluants atmosphériques, mais aussi en polluants de surface lorsqu'elles ruissellent sur les revêtements. Ces derniers représentent au minimum les trois-quarts de la pollution totale de ces eaux pluviales. On compte parmi eux des hydrocarbures, des déchets de l'usure des toitures, des plastiques, des biocides et fertilisants... Cette pollution des eaux cause notamment « [une] **bioaccumulation*** [...], l'augmentation de la toxicité des eaux [...], la disparition d'espèces sensibles [*et caetera*] ». La majeure partie des polluants étant particuliers, il est cependant possible d'épurer en grande partie les eaux pluviales par décantation, filtration

et phytoremédiation (utilisation de plantes spécifiques aidant à la dépollution) (Breton et al., 2015 ; ADEME, 2019).

Le sel constitue un type de pollution chimique très particulier car inattendu. Bien que le climat méditerranéen présente des hivers doux, il arrive parfois que le thermomètre descende en-dessous de zéro degrés Celsius. Dans ce contexte de gel, de nombreuses villes salent leurs trottoirs et leurs voiries. Ce sel peut avoir plusieurs conséquences, directes et indirectes. Tout d'abord lorsque l'eau salée qui en découle va ruisseler jusqu'au pied des plantations et pénétrer la terre dans la zone racinaire, ou encore lorsque les parties aériennes des végétaux sont soumises aux éclaboussures des véhicules : s'ils n'y sont pas préparés, ils risquent de se dessécher en étant brûlés par le sel. Ensuite lorsque ce sel, du chlorure de sodium, « modifie les propriétés physiques et chimiques du sol » : il engendre des réactions qui créent « des particules fines qui bouchent les pores du sol », l'air se raréfie et les plantes en souffrent. De plus, en augmentant la concentration en éléments salins dans les sols, il en change les propriétés osmotiques et les végétaux « [dépensent alors] plus d'énergie pour en extraire l'eau » (Trees and Design Action Group, 2016).

Malgré toutes ces perturbations, une partie des sols de nos villes peut être plantée de végétaux, qui, bien choisis, participent potentiellement de la dépollution. Des micro-organismes bactériens ou fongiques, « via la production d'enzymes [...] ou grâce à leurs métabolites internes » pourraient aussi contribuer à cette amélioration de la composition du substrat (Gouedard, 2014).

2.3 L'espace et les actions humaines directes sur le végétal

2.3.1 La place disponible

Les constructions et le maillage structurel des villes morcellent l'espace disponible pour la nature, qu'elle soit spontanée ou implantée volontairement par l'Homme, en surfaces de dimensions généralement modestes (Mancret-Taylor, 2015).

La majorité de l'espace public urbain est dédié à l'automobile, que ce soit pour leur circulation ou leur stationnement. De nombreuses chaussées actuelles, dimensionnées dans les années 70-80 sont disproportionnées par rapport aux vitesses limites des véhicules. Dans les politiques actuelles de développement du végétal, la place qui leur est consacrée est souvent en concurrence avec celle dont les plantes ont besoin pour croître de manière optimale, en particulier les arbres. L'espace où s'étendent les racines de ces derniers est régulièrement oublié, pour appréhender la taille d'un arbre, on lui préfère celui, aérien et bien visible, du houppier. Le volume des fosses de plantations, trop faible, ne permet ni au système racinaire de se développer correctement, ni à l'arbre de satisfaire ses besoins (le système racinaire d'un vieux chêne en milieu naturel occupe 17 m³ pour sa partie centrale et 800 m³ dans son ensemble !); les courbes de croissance végétales sont alors perturbées, pour le moins chaotiques, voire d'intensité globalement plus faible. En prospectant les alentours, les racines de surface, situées à environ trente centimètres de profondeur, endommagent alors par exemple les chaussées (Figure 9). Les aménagements en question ne sont donc que peu durables dans le temps et doivent être remis à

neuf, ce qui coûte beaucoup en temps, en argent et en nuisance au moment des chantiers (Trees and Design Action Group, 2016 ; Gouedard, 2014).



Figure 9 : Racines détruisant un revêtement de pavés béton (source : treebuilders.eu)

Cette compétition dans l'occupation de l'espace se joue aussi en souterrain, envahi par les réseaux, notamment ceux d'alimentation en eau et d'assainissement. L'appétence racinaire pour l'humidité diffusant autour de ces conduites les en rapproche encore. Les racines peuvent au fil du temps s'insinuer dans les canalisations en terre cuite, mais aussi dans celles en ciment ou en **PVC*** par le biais de leurs joints **élastomères*** d'assemblage. Des solutions conciliant la pérennité, donc l'efficacité, des réseaux, et l'épanouissement des plantations, des arbres en particulier, devraient être privilégiées (Trees and Design Action Group, 2016).

Une autre fausse note survient aussi parfois au moment de travaux : creuser le sol « à proximité du tronc d'un arbre adulte [l'ampute] du tiers, voire de la moitié, de son organe de nutrition ». Cet arbre n'est alors plus viable et meurt en quelques années, voire quelques mois, ou tombe à l'occasion d'un coup de vent. En effet, la partie la plus importante des racines, en termes de nutrition et d'ancrage, correspond à leurs extrémités qui sont situées loin du houppier, à la surface projetée au sol le plus souvent protégée (Gouedard, 2014).

Ces contraintes entraînent parfois la mise en œuvre de plantations hors-sol. Cependant, celles-ci ne constituent pas une solution systématiquement idéale : les coûts d'entretien sont importants, les bienfaits environnementaux des plantations et leur croissance sont limités. Combiné à une amélioration de la prise en compte de ces points dans les phases de plantation et de travaux, le choix d'espèces moins grandes pourrait par exemple participer à réduire ces problèmes d'implantation des arbres en ville (Trees and Design Action Group, 2016 ; Gouedard, 2014).

2.3.2 Les détériorations

Les usagers représentent eux aussi une grande contrainte pour l'aménagement urbain. Que leurs actions soient volontaires ou non, elles dégradent nettement les espaces.

Un exemple particulièrement visible peut s'observer dans n'importe quelle commune : les cheminements spontanés. Lorsque les flux de circulations piétonnes ou cyclistes ne concordent pas avec ceux prévus lors de la conception, ils se créent au milieu des massifs et des pelouses non pensés pour des passages aussi fréquents (Breton et al., 2015). Les systèmes d'arrosage peuvent eux aussi pâtir de ces circulations quand un passant piétine sur le goutte-à-goutte, voire arrache les tuyaux en trébuchant. Les plantes qui dépendent en grande partie de ce système dépérissent alors (Annexe II - ND).

Sur les zones de stationnement encore, les pare-chocs des voitures viennent régulièrement écraser les massifs ou se cogner contre les arbres (Gouedard, 2014). De plus, si un

stationnement sauvage se fait au pied des arbres, il peut endommager le système racinaire, essentiel à la survie de l'arbre (Grand Lyon, 2011).

En outre, des actes de vandalisme détériorent les plantations. On peut ainsi observer des gravures dans l'écorce des arbres, des branches cassées, des végétaux arrachés (Grand Lyon, 2011) ou volés comme dans le projet A analysé ci-après, où les Lavandes ont été particulièrement appréciées et ne sont donc pas restées très longtemps en terre sur ce site (Annexe II - FG).

Par ailleurs, les animaux peuvent aussi parfois poser problème. Les urines des animaux domestiques, abondantes et trop concentrées en azote, brûlent tout autant les organes aériens que souterrains des plantes (Grand Lyon, 2011). Il arrive également que les rats grignotent les systèmes de goutte-à-goutte lorsqu'ils ne sont pas enterrés (Annexe II - CB).

Enfin, certaines blessures, en particulier d'arbres, sont directement causées par les services techniques des communes ou des entreprises mandatées. Les arbres servent en effet parfois de support à divers éléments plus ou moins agressifs : câbles, affiches, compteurs électriques... De surcroît ils sont souvent les premières victimes des conflits d'usages : « la moindre gêne occasionne des demandes d'élagages sévères, voire des demandes d'abattages » qui coûtent cher à la commune (Grand Lyon, 2011).

Pour préserver les plantations des aménagements, il est donc nécessaire de faire preuve de pédagogie et de mettre en place, aux endroits soumis à de nombreuses pressions, diverses protections solides qui coûteront plus cher mais seront certainement plus efficaces. Les ganivelles par exemple, fragiles, sont tout autant détériorées que les végétaux quand elles sont installées pour protéger les dits végétaux le long d'aménagements de voiries. Elles ne font que retarder les dégradations (Annexe II - CB). Un autre levier serait de concevoir plus souvent les espaces en collaboration avec les futurs usagers, ce qui permettrait alors de s'ajuster au mieux à leurs besoins et à leurs envies.

2.3.3 L'entretien

Amener de la main d'œuvre et du matériel pour entretenir des projets en milieu urbain peut s'avérer une tâche ardue : les délais sont courts, il est difficile de trouver une place où garer les véhicules, les temps de trajet sont démultipliés à cause des bouchons et certains passants, piétons ou automobilistes, peuvent faire preuve d'incivilités envers ceux qui entretiennent ces espaces.

À tout cela s'ajoute d'autres problèmes liés à la conception, qui rêve parfois et ne se pose que trop peu souvent la question de l'entretien sur le long terme. On peut par exemple citer le manque d'accessibilité des aménagements : des pentes trop fortes, des espaces contraints en dimensions et des problèmes de portance des sols limitent et allongent les interventions des jardiniers. Il existe également des soucis liés aux réseaux. L'absence de détails sur les plans d'exécution et les oublis de filets d'avertissement empêchent certaines interventions utilisant des machines plus invasives. Ces mêmes réseaux se retrouvent aussi parfois pris dans des revêtements de surface, ce qui entraînera des coûts excessifs pour effectuer une simple maintenance ou une remise en état (Annexe II - CB) (Breton et al., 2015).

Qu'ils concernent directement le substrat, les conditions abiotiques, la compétition spatiale ou les actions humaines directes sur le végétal, l'ensemble de ces éléments contribuent à faire du milieu urbain un environnement très contraint, notamment dans une démarche d'aménagement paysager.

3 Les pratiques actuelles d'utilisation des plantes résistantes à la sécheresse dans les aménagements publics urbains

Après avoir cerné les conditions de l'écosystème originel des PRS* puis les caractéristiques du milieu urbain s'imposant aux paysagistes, il s'agit présentement de porter un regard sur la réalité de terrain en matière d'utilisation de PRS* dans les aménagements publics en ville. Les premiers points traiteront de l'évolution des choix végétaux et de l'adaptation des techniques de plantation et d'entretien. Suivra une analyse de deux exemples, projets pour lesquels la MO* demandait l'utilisation de PRS* et l'absence d'arrosage à terme.

3.1 L'évolution des choix végétaux

3.1.1 L'adaptation de la palette au milieu

De par les conditions spécifiques du milieu urbain et les changements climatiques amenant des sécheresses de plus en plus fréquentes, il devient nécessaire d'accorder davantage encore la palette végétale des projets aux climats présents et futurs. Cette adaptation devient de plus en plus indispensable : à cause des records de températures et de la sécheresse survenus cette année, la ville de V. (Rhône-Alpes) a par exemple connu des pertes de végétaux allant jusqu'à 10 % sur certains projets, même pour des spécimens déjà installés depuis plusieurs années. La plupart des professionnels, bien que leurs approches diffèrent, s'accordent sur ce point : il faut en amont de la réalisation ajuster la composition de la palette à ces conditions et non l'inverse. Les plantes méditerranéennes et autres PRS* sont une force dans ces choix de végétaux. Bien que ne pouvant pas s'implanter sous tous les climats de la métropole, elles sont peu exigeantes une fois installées et supportent bien les conditions urbaines (sol pauvre, chaleur, sécheresse...) (Annexe II - BD/ND/FG/RGG).

L'utilisation de ces PRS* est plutôt récente et nous ne connaissons pas encore toutes leurs subtilités, notamment en ville. Ceci amène parfois à restreindre les palettes aux plantes locales, alors que d'autres seraient aussi potentiellement mobilisables, mais cela amène aussi des recherches à tâtons à la fois au sein des projets déjà réalisés et au sein des milieux naturels où poussent les PRS*. Les gestionnaires observent ainsi lesquelles s'épanouissent, lesquelles survivent, lesquelles meurent, et déterminent par la suite les meilleurs emplacements pour chaque espèce, voire chaque variété, tout en faisant aussi attention à l'esthétique finale des espaces. D'autres, jardiniers, botanistes..., en quête de connaissances végétales, partent les étudier au cœur de leur milieu naturel et participent de ce fait à l'évolution des palettes utilisées par la suite dans les projets d'aménagement. Ainsi se tisse en partie le lien entre environnement et conception (Annexe II - FG/JL/APP/X).

Appliquer le principe d'amener un maximum de diversité végétale peut aussi concourir à la pérennité des espaces créés. L'idée est de mêler de multiples espèces tout en essayant d'anticiper leurs futures aires de répartition, de manière à ce que, même dans dix ou cinquante ans, selon le type de plantes considérées, il y en ait qui soient encore en place et en bonne santé. Même si certaines ont périclité, l'intégralité de l'aménagement ne sera pas en péril (Annexe II - ND/JL).

3.1.2 L'utilisation accrue des plantes résistantes à la sécheresse dans les aménagements publics urbains

La palette végétale mobilisée dans les conceptions paysagères change la physionomie des villes soumises aux sécheresses. Des plantes méditerranéennes sont maintenant présentes dans la quasi-totalité de leurs nouveaux aménagements. En sus, les plantations de PRS* remontent de plus en plus vers le nord et on commence par exemple à trouver des Chênes verts dans la ville de V. en Rhône-Alpes. Cette démarche est plus récente dans certaines villes que dans d'autres, mais date globalement d'il y a une dizaine d'années : à cette époque, même dans les villes du sud de la France, les PRS* étaient loin de faire l'unanimité. Certains ressentent cette hégémonie des plantes méditerranéennes comme une mode et reprochent, comme Claude Boucheron, gestionnaire des espaces verts de la ville de Marseille, qu'il y ait parfois une perte de diversité : « avant on avait la mode gazon et fleurs horticoles [...] [et] tout d'un coup, on a tout abandonné [...] on ne met que de la plante méditerranéenne ». Comme expliqué plus tôt, l'idéal serait un panaché entre les plantes locales déjà utilisées et ces PRS*, « il faut de la diversité ! ». De plus, cela permettrait d'offrir des ambiances très différentes aux usagers (Annexe II - CB/ND/FG/RGG/APP).

L'attention portée à la ressource en eau, identifiée par certains professionnels comme antérieure de quelques années au développement de la plantation de PRS*, a pu encourager cette expansion. L'utilisation accrue de ces végétaux peu gourmands en eau présente en effet aussi cet avantage de servir une ambition écologique de préservation d'un bien rare et précieux, voire même de contribuer à l'atteinte d'un objectif purement économique, au sens financier (Annexe II - CB/ND/FG/RGG/JL/APP/X).

3.1.3 Les caractéristiques des plantes résistantes à la sécheresse implantées dans les projets

La plupart des PRS* implantées dans les aménagements urbains de la métropole sont des plantes de climat méditerranéen, originaires du bord de la Méditerranée ou non, comme c'est le cas des Agapanthes qui viennent d'Afrique du Sud. Cependant, on commence à installer de plus en plus de végétaux des climats arides dans le sud de la France, en particulier dans des sites difficiles d'accès, d'entretien et d'arrosage, comme des Cactées sur les ronds-points. On peut les y laisser se développer seules, quasiment sans interventions. Les résistances au froid et à la pollution, en plus de celle à la sécheresse, sont également des caractéristiques recherchées (Annexe II - ND/FG/RGG/JL/X).

Les plantes de climat méditerranéen, en elles-mêmes, présentent peu de floraisons extravagantes, ce qui leur est régulièrement reproché d'ailleurs. En opposition aux cultivars sélectionnés de manière horticole, pour leurs feuillages franchement panachés par exemple, elles affichent en revanche toute une gamme de coloris naturels de feuillage particulièrement vaste, allant du gris très clair à un vert profond, en passant par des verts vifs. Les plantes dites grises, des vivaces telles les *Salvia* ou encore les *Stachys byzantina*, sont en effet caractéristiques des PRS* implantées dans les projets. C'est leur couverture de poils duveteux qui leur donne cette couleur singulière, en-dessous, la feuille est verte. Cette teinte claire met en exergue celle de leurs fleurs : bien qu'elles soient fréquemment petites, elles arborent souvent des roses, des rouges, des violets ou des jaunes vifs. L'*Euphorbia characias* (Figure 10) est un bon exemple de la diversité de verts que l'on peut trouver chez les PRS* : la fleur est d'un vert



qui tire sur le jaune, tandis que celui du feuillage est proche du bleu et que la tige est brune (Annexe II - CB/FG/APP).

Figure 10 : *Euphorbia characias* (source : commons.wikimedia.org)

De nombreuses PRS* utilisées s'avèrent être des plantes ligneuses, qu'elles fassent partie de la strate arbustive comme les Myrtes, les Pistachiers, les Arbousiers et les Grenadiers, ou de la strate basse, comme les Thyms. Cette strate basse peut être complétée par des substituts au gazon, qui résistent à la fois au piétinement et à la sécheresse, et offrent parfois de jolies floraisons, comme les petites fleurs blanches du *Lippia nodiflora* (Figure 11) (Annexe II - CB/ND/FG/JL) (Filippi, 2007).



Figure 11 : Chemin couvert de *Lippia nodiflora* (source : jardin-sec.com)

Les Graminées sont elles utilisées pour leur côté très graphique et les mouvements de vague qu'elles dessinent sous l'action du vent. De plus, même lorsqu'elles sont sèches en saison froide, elles gardent leur allure et leur inflorescence et peuvent ainsi n'être rabattues qu'à la fin de l'hiver ou au début du printemps (Annexe II - CB).

Avec le changement climatique et le réchauffement de certaines régions, les choix dans les essences d'arbres changent aussi : certaines, gélives, peuvent désormais être implantées dans de nouvelles régions sans crainte de les perdre dès le premier hiver, tandis que d'autres, comme certains *Prunus* ou *Malus*, sont mis de côté car ils ne supportent pas bien les coups de chaud estivaux et le manque de pluie. D'autres, d'origine lointaine, tels le *Koelreuteria paniculata* chinois, s'acclimatent très bien et se ressement même spontanément (Annexe II - ND/FG/RGG/X).

Malgré toute cette diversité, quelques espèces « magiques », qui présentent une floraison ou un port intéressant et résistent à la sécheresse, ainsi qu'au froid, sont très, voire trop ?, employées par les aménageurs. On peut par exemple citer le *Stipa tenuifolia*, le *Perovskia atriplicifolia* et le *Gaura lindheimeri* qui résistent à quatre ou cinq mois de sécheresse estivale et jusqu'à -15 °C en hiver. Certains désapprouvent l'usage intensif de ces PRS* qui apparaissent dans la plupart des nouveaux aménagements, unifient les ambiances végétales et « [participent] à la banalisation des [plantes et des] paysages » (Annexe II - ND).

3.1.4 La qualité des plants

Choisir des végétaux adaptés aux contraintes de chaque site est nécessaire mais pas suffisant, encore faut-il qu'ils soient en conditions d'avoir une bonne reprise. Pour cela, l'attention des aménageurs doit se porter sur deux points : la jeunesse des plants et les conditions de leur production. Pour assurer une bonne reprise, ils doivent être produits dans un milieu similaire à celui de leur future plantation. Faire appel à des pépiniéristes producteurs locaux soutient cette idée et permet en sus de diminuer l'empreinte carbone de projets dont les végétaux ne viennent ainsi plus, comme fréquemment, par camion d'Italie, des Pays-Bas ou encore de Belgique. Ces principes ont été appliqués par Mathilde Clément et Nicolas Delporte pour le projet du Jardin des Nymphes à Marseille, lauréat du concours « Botany for Change ».

Des végétaux jeunes n'ont pas encore eu le temps de remplir leur pot dans les pépinières. Leur système racinaire est donc en bon état et en pleine croissance. Une fois plantés, ils continuent dans leur dynamique de recherche des ressources et s'implantent ainsi bien et rapidement. En sus, si l'on veille à leur apporter la juste quantité d'eau au juste moment, leur bon développement nécessitera moins d'eau que pour de plus grands sujets : « les jardiniers étaient très surpris par [...] le peu d'interventions d'arrosage que le jardin demandait » (Annexe II - ND).

Le Jardin des Nymphes a ainsi permis de mettre en oeuvre 90 % de jeunes plants achetés auprès de pépiniéristes producteurs. Deux ans plus tard, le constat est pour ces spécimens celui d'une croissance remarquable, sans pertes notables (Figure 12 et Figure 13). Des pépiniéristes revendeurs ont donné le dixième restant. Ces sujets-là, plus vieux, engoncés dans leurs pots trop petits, présentaient un système racinaire chignonné, dont une grande partie, de couleur marron, était morte. Quatre cinquièmes de ceux-ci ont dépéri, les autres ont survécu mais ne se sont pas développés.

Cet exemple démontre à quel point la qualité originelle des plants influe sur le devenir d'un aménagement. Des soins attentifs et adaptés ne suffiront pas à pallier leurs défauts initiaux (Annexe II - ND) (Filippi, 2007).



Figure 12 : Le jardin des Nymphes juste après la plantation (auteurs : Nicolas Delporte et Arnaud Saldi)



Figure 13 : Le Jardin des Nymphes deux ans après la plantation (auteur : Nicolas Delporte)

3.2 L'adaptation des techniques de plantation et d'entretien

3.2.1 Les périodes de plantation

En France métropolitaine, les plantations s'effectuent classiquement entre le 15 octobre et le 15 avril, cette période pouvant varier selon le climat, le conditionnement ou l'espèce considérés. Cependant, elles sont « [interdites] lorsque le sol est gelé, de même lorsque la terre est recouverte de neige ou saturée d'eau » (Ministère de l'équipement, des transports et du logement, 1999). Deux périodes de plantations différentes sont donc couramment prescrites dans les CCTP* : le début du printemps et l'automne.

Cette date de plantation est cruciale pour la reprise des végétaux. D'après Franck Grangette, chargé de la gestion des espaces verts de la ville de V., « plus on plante tôt en saison, mieux c'est ». Les mois d'octobre et novembre sont idéaux « parce qu'il ne fait pas encore trop froid, le sol est encore un peu chaud [et] on profite des quelques pluies d'automne ». À chaque petite hausse de température dépassant 12 °C, la partie racinaire de la plante, invisible, va s'ancrer un peu plus profondément. Par la suite, à l'arrivée du printemps, la plante sera ainsi en capacité de subvenir à ses besoins en eau et de bien développer sa partie aérienne, même s'il fait sec et qu'elle ne reçoit que peu d'arrosage. A contrario, une plantation printanière demandera une attention toute particulière, davantage d'aide pour démarrer, car son système racinaire n'aura pas eu le temps de s'étendre (Annexe II - FG).

En revanche, il arrive quelquefois que le dialogue concernant ces périodes de plantation soit rompu entre MO* d'une part et ME* et/ou entreprises de travaux d'autre part. Souvent, les MO* ne suivent alors pas leurs préconisations et leurs mises en garde, par exemple pour des questions d'esthétique au moment de l'inauguration du projet concerné. Dans ces cas-là, et en particulier en plein été, les pertes sont conséquentes même si l'arrosage est effectué quasiment tous les jours. Dans ces conditions, seules les plantes les plus résistantes à la sécheresse, comme les Arbousiers, survivent (Annexe II - RGG).

3.2.2 Le travail du sol

Pour ce qui est de la préparation des sols, tous conviennent de l'attention qu'il faut y porter et de la nécessité de la mise en œuvre de revêtements perméables et d'un décompactage. En effet, l'imperméabilisation et le tassement dû à l'artificialisation ne permettent pas la croissance des racines. Il faut aérer le sol et lui permettre de stocker de nouveau de l'eau (Annexe II - ND/RGG/JL/X). Certains emploient d'ailleurs pour accentuer cette propriété des hydrorétenteurs, même en l'absence de certitudes au sujet de leurs impacts, à terme, sur l'environnement. En effet, la décomposition du polyacrylate de potassium ou de sodium, constituant structurel de leurs billes, produit vraisemblablement des déchets plus ou moins toxiques [24] (Annexe II - JL).

En revanche, deux visions s'affrontent concernant la composition du sol : ceux qui prônent l'usage systématique d'une terre riche et ceux qui optent pour un substrat reproduisant les conditions du milieu naturel des plantes.

Les premiers avancent comme arguments de moindres pertes et une meilleure pousse des végétaux, même pour ceux adaptés aux sols pauvres. Selon eux, une reprise satisfaisante n'est possible qu'avec un apport de terre végétale* abondante en nutriments, voire de microorganismes. Ce parti-pris engendre des surcoûts, des délais supplémentaires, et une complexification des processus d'approvisionnement pour s'assurer de la qualité de cette

matière première (bonne terre difficile à trouver et parfois située loin du chantier, analyses répétitives du fait des refus de terre des **MCE***...) (Annexe II - RGG/JL/X).

Les seconds choisissent des végétaux adaptés au sol : si ceux-ci poussent naturellement sur des sols pauvres et peu profonds, il n'y aura pas d'amendements organiques ou de **terre végétale***. Il pourra en revanche être envisagé d'apporter un supplément de cailloux pour s'approcher au plus possible du sol du milieu originel de ces plantes, comme la terre caillouteuse des calanques. Ceci rendra le sol urbain d'autant plus drainant et lui permettra de laisser filer davantage d'eau vers la nappe phréatique. Une autre justification avancée est celle des adventices et autres plantes spontanées : elles auront beaucoup plus de mal à germer et se développer sur de tels sols, tandis que les **PRS*** adaptées en seront ravies (Annexe II - ND).

3.2.3 Le paillage

Une fois le sol préparé et la plantation réalisée, il reste la question de la couverture. Celle-ci a deux fonctions principales : protéger la terre d'un trop fort dessèchement par les actions du vent et du soleil, ce qui permet aussi de limiter les arrosages, et empêcher la pousse des adventices. De plus, même si ces dernières arrivent à s'y glisser et à germer, elles seront beaucoup plus aisément arrachées grâce à la préservation d'humidité (Annexe II - CB/ND/FG/RGG/APP/X).

Les solutions de paillage, organiques ou minérales, sont variées : **bois raméal fragmenté*** (**BRF***), **mulch***, **concassé***, bâches biodégradables... Chacune présente des avantages et des inconvénients. Le **BRF*** par exemple, en tant que broyat d'arbres feuillus, ne modifie pas le **pH*** du sol mais se décompose par contre très rapidement, ce qui nécessite un apport régulier afin de maintenir une couche de paillage suffisante jusqu'à ce que les végétaux, densément plantés, soient assez grands pour recouvrir eux-mêmes le sol (Annexe II - CB/ND/FG/RGG/APP/X).

Il est en effet nécessaire de veiller à la mise en œuvre de ces protections. **MO***, **MCE*** et gestionnaires déplorent que le paillage soit parfois négligé. Une épaisseur d'un minimum de dix centimètres, se décomposant lentement ou fréquemment renouvelée, est impérative si l'on veut qu'il soit efficace (Annexe II - CB/FG/APP/X). Dans le même souci d'efficacité, les couvertures de type bâches biodégradables sont à proscrire dans les régions soumises à la fois aux vents violents et aux déficits de pluviométrie, celles-ci ne conservant que trop peu l'humidité et étant facilement altérées (Annexe II - X). Il est également à noter que ce paillage n'est pas indispensable en hiver s'il fait assez humide : les **PRS*** supportent en effet mal un sol détrempé et un collet imprégné d'eau, dans ces conditions elles ont alors tendance à pourrir sur pied (Annexe II - FG) (Filippi, 2007).

3.2.4 L'arrosage

Concernant l'arrosage des plantations, trois écoles se distinguent : le goutte-à-goutte permanent, l'arrosage manuel traditionnel des régions à sécheresse et une solution intermédiaire, le goutte-à-goutte intermittent. Chacune est destinée à un usage différent, mais parfois, le dispositif finalement mise en place ne correspond pas aux besoins du projet.

La première solution, le goutte-à-goutte permanent, est préférée pour les plantations « prestigieuses », difficiles d'accès, très horticoles ou encore de surface importante, comme les centres urbains. Il s'agit, dans ces cas-là, du meilleur moyen de les garder en bonne santé tout en étant économe en eau, en coûts, et efficace en termes de rendu. Il permet de délivrer régulièrement à la plante une quantité d'eau précise et peut être ajusté au plus proche de ses besoins. Toutefois, si pour une quelconque raison, cet arrosage arrête de fonctionner, les

végétaux dépérissent. En effet, les racines trouvant de l'eau régulièrement en surface n'ont pas pris la peine d'explorer le sol en profondeur, là où l'eau se cache. De plus, cette technique pose question quant à son impact sur l'environnement : le plastique se dégrade et libère des particules dans le sol, les porosités se bouchent au fil du temps et l'on ne prend bien souvent pas la peine de les nettoyer, les tuyaux finissant aux ordures et de nouveaux étant posés. En l'état, il ne s'agit pas d'un système durable (Annexe II - CB/ND/BD/JL).

Le deuxième type d'arrosage évoqué plus tôt est réalisé manuellement dans des cuvettes modelées au pied de chaque plante (Figure 12). Il implique de former une cuvette proportionnelle aux besoins en eau de l'espèce et à l'âge du sujet autour de chaque plant. Il est effectué attentivement durant les deux premières années suivant l'implantation des végétaux puis diminue petit à petit. Durant ce laps de temps, le jardinier doit rester très vigilant au moindre signe de faiblesse que montrent ses plantes. Ce n'est qu'à ce moment-là qu'il arrose en remplissant entièrement la cuvette. Cette méthode est traditionnelle des régions arides, économe en eau et s'avère très efficace pour implanter des **PRS*** : l'eau, délivrée de temps en temps et en quantité, s'évapore peu et a le temps de s'infiltrer en profondeur dans le sol et d'y attirer les racines. Une fois les plantes bien installées et capables de subvenir seules à leurs besoins, l'arrosage est supprimé progressivement et il y a alors un gain conséquent en coût de maintenance. Cependant, cette technique est rarement utilisée parce que les différents acteurs des projets sont sceptiques quant à son utilisation. Elle est également très coûteuse en temps dans les premières années de vie d'un projet et, faute de main d'œuvre, elle n'est que peu envisageable pour de grandes surfaces (Annexe II - CB/FG/JL/APP/X) (Filippi, 2007)

Enfin, le goutte-à-goutte intermittent constitue une solution intermédiaire : il est utilisé régulièrement les deux premières années puis laissé en place, entretenu et réservé pour les épisodes de sécheresse. C'est un compromis raisonnable en termes de consommation d'eau mais qui ne permet pas aux végétaux de développer en profondeur leur système racinaire, ce qui rend difficile leur survie autonome en cas de forte sécheresse (Annexe II - CB/RGG/X).

Après la synthèse des usages présentée ci-dessus, les deux sous-parties qui suivent éclairent la question de l'utilisation des **PRS*** dans l'aménagement des espaces publics urbains au moyen de l'analyse de deux cas réels d'aménagement de **ZAC***. JNC Sud, entreprise qui m'a accueillie pour mon stage de fin d'étude, a été chargée des missions de **maîtrise d'œuvre*** de ces projets, pour lesquels la **maîtrise d'ouvrage*** demandait explicitement l'utilisation de **PRS*** et l'absence d'arrosage à terme. L'étude de ces exemples repose sur l'exploitation de leurs dossiers constitutifs (en particulier les **CCTP***, cahier des charges, carnets de détails, plans d'exécution, constats de reprise et comptes-rendus de chantiers), celle des entretiens menés avec des professionnels y ayant contribué, ainsi que sur une visite du site du projet A.

3.3 Analyse d'un cas de projet « réussi »

Le projet A, d'une surface de 8 000 m² environ, se situait au cœur du tissu bâti de la commune V., appartenant au territoire de l'ancienne région Rhône-Alpes. Il s'inscrivait dans la création d'une **ZAC*** mixte, principalement d'habitation, mais intégrant aussi quelques commerces et une crèche. La **MCE*** paysage avait pour mission la conception des espaces publics : une promenade piétonne et une nouvelle voie de circulation. Il s'est déroulé sur une période de huit années, entre 2006 et 2014.

Par rapport au projet B, celui-ci ne s'implantait pas sur un terrain vierge, ou presque, mais sur un ancien site industriel en cœur de ville. Le sol présentait donc les caractéristiques classiques

de l'urbanisation : artificialisation et tassement notamment. De plus, cette situation engendrait une contrainte supplémentaire, celle des **ICU***. En revanche, le vent y était beaucoup moins présent. Mais ce dernier point, plutôt avantageux, a amené un autre problème, la pollution atmosphérique stagnante de la zone urbaine (Annexes II - FG/JL - et IV).

Le recours à l'utilisation de **PRS*** pour l'ensemble des plantations était une demande de la ville de V., déjà soucieuse, en 2006, de ses consommations d'eau pour l'arrosage des espaces verts (Annexe II - FG/JL). Les végétaux choisis en ce sens pour la palette du projet A, hors arbres, résistent en effet bien à la sécheresse une fois installés et survivent jusqu'à au moins -12°C, voire souvent en-deçà. Deux espèces auraient potentiellement pu présenter des difficultés mais se portaient très bien en septembre 2020 : le *Wisteria sinensis* (Figure 14) qui demande un apport en eau en cas de sécheresse et le *Vitex agnus-castus* qui préfère a priori les climats doux. La palette semble en conséquence avoir été bien choisie au regard de la commande et du climat de la région. Ce dernier présente en effet des gelées régulières, passant toutefois rarement en-dessous de la barre des -10 °C, entre les mois d'octobre et avril (Annexes IV et V).



Figure 14 : *Wisteria sinensis* (projet A - septembre 2020)
(auteur : Ariane Sulpice)

Cependant, les sécheresses qui représentaient, jusqu'à il y a une dizaine d'années, des événements plutôt exceptionnels, se font désormais de plus en plus fortes et régulières. La diminution de la pluviométrie matérialise ce phénomène : elle est passée d'une moyenne de 832 millimètres chaque année entre 1981 et 2010 à 806 millimètres entre 2011 et 2019, soit - 26 millimètres entre les deux périodes (Annexe IV).

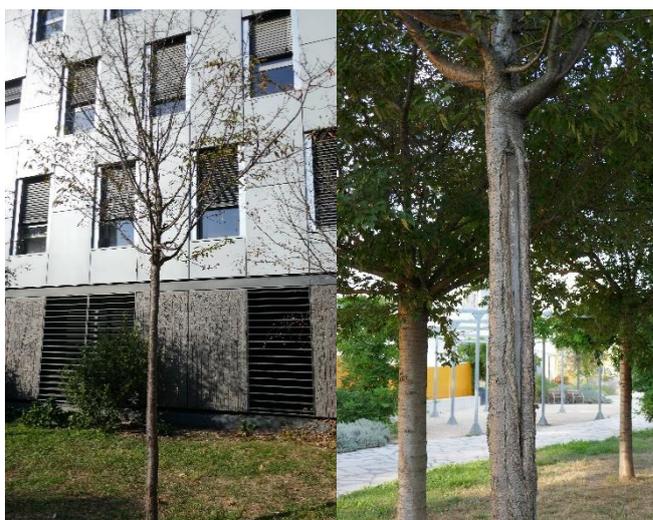


Figure 15 : *Prunus* ayant souffert de la sécheresse et présentant une échaudure (projet A - septembre 2020) (Auteur : Ariane Sulpice)

Ces changements affectent visiblement certaines plantes, en particulier deux des cinq essences d'arbres implantées, préférant les sols frais et peu adaptées à ces manques d'eau : les *Prunus serrulata* 'Pink Giant' et *Prunus subhirtella* 'Autumnalis Rosea'. Même s'ils bénéficiaient de la fraîcheur apportée par l'arrosage des gazons, ils ont beaucoup souffert de la chaleur et du manque d'eau de ces dernières années, ainsi que du soleil qui a provoqué un phénomène d'échaudure sur les troncs (Figure 15). C'est notamment l'avis de Franck Granette, gestionnaire des espaces verts : « il y a dix-quinze ans on mettait encore pas mal de Cerisiers à fleurs, et on se rend compte finalement aujourd'hui

que les Cerisiers à fleurs ne résistent pas tant que ça au sec » (Annexe II - FG). Apparaît donc ici un potentiel manque d'anticipation des perturbations consécutives à l'actuel changement climatique. Il est à noter que certains individus, protégés une partie de la journée par l'ombre des immeubles adjacents, restent vigoureux. De plus, les trois autres essences d'arbres se portent comme des charmes, en particulier le *Quercus cerris* (Figure 16). En effet, celui-ci est très bien adapté aux conditions difficiles du milieu urbain et à la sécheresse (Annexe V).



*Figure 16 : Quercus cerris
(projet A - septembre 2020)
(auteur : Ariane Sulpice)*

La plantation de ces végétaux a été menée dans les règles de l'art à la fin de l'hiver 2011, entre les semaines 7 et 12, soit du 14 février au 25 mars. Il y a malgré tout eu quelques déboires avec les équipes finissant la construction des bâtiments de la ZAC*. Les plantations en périphéries des lots avaient été piétinées par les corps d'état du bâtiment. Après les deux ans de garantie, les pertes ne se sont élevées qu'à 2-3 %. Ceci a sans doute été aidé par trois facteurs : des drains agricoles perforés d'une longueur de cinq mètres et d'un diamètre de 80 millimètres implantés en spirale autour des mottes des arbres afin de les arroser, un paillage d'une épaisseur de dix centimètres (points décrits dans le CCTP*), et un suivi attentif des plantations (Annexe II - JL).

Pour ce qui est de l'entretien, il est simple et peu gourmand en temps : tontes, désherbages manuels des massifs, apport de paillage et un peu de taille douce d'entretien au sécateur une fois par an. Mis à part pour le gazon, il n'y a pas d'arrosage automatique. Il est fait manuellement grâce aux quelques points d'eau, uniquement lorsque les plantes en ont besoin ou lors de nouvelles plantations. Le seul problème, mais que l'on retrouve aussi dans tous les espaces publics, ce sont les incivilités et les vols de plantes, en particulier celles qui sont connues de tous : « les gens aiment bien les Lavandes visiblement. Ils connaissent, du coup on a eu un petit peu de vol [...] Autrement, non, pas de gros souci en particulier » (Annexe II - FG).

Pour résumer, selon le critère défini en introduction, le projet A est « réussi », puisqu'il présente moins de 5 % de pertes de végétaux. Les réserves portent essentiellement sur l'état des *Prunus*, qui ont souffert des sécheresses successives. Avec un recul de neuf ans après les premières plantations, on peut affirmer que ce projet a bien fonctionné. Cette réussite repose notamment sur le choix d'une palette plutôt bien adaptée, la pose d'un drain autour de la motte des arbres - destiné à leur arrosage durant les premières années suivant la plantation -, la mise en place d'un paillage d'une épaisseur conséquente et un suivi attentif.

3.4 Analyse d'un cas de projet « en échec »

Le projet B consistait aussi en la création d'une ZAC* mixte, de quarante hectares, principalement d'activité, et d'habitation en moindres proportions, au sein de la commune de

W. (Bouches-du-Rhône). La **MCE*** paysage avait pour mission la conception des espaces publics, parcs, voiries, et bassins de la première phase. Cette dernière s'est déroulée de 2014 à 2020 : la conception de 2014 à 2018, le chantier à partir de 2017 et la période d'entretien et de garantie de 2018 à 2020.

La grande spécificité de ce projet était sa localisation à l'est de la plaine de la Crau, un delta fossile situé dans les Bouches-du-Rhône. Les conditions climatiques et pédologiques auxquelles sont soumis les végétaux de cette région sont en effet particulièrement rudes. D'une part, en plus des sécheresses estivales prolongées caractéristiques du climat méditerranéen, elle est continuellement balayée par un violent mistral, vent venant du nord-nord-ouest et asséchant encore plus le sol. D'autre part, la roche mère, proche de la surface, est un **poudingue***, une roche détritique sédimentaire composée d'anciens galets liés par un ciment naturel [25]. Le sol y est donc pauvre et très peu profond (Annexe II - APP/X).

La commande insistait sur ce point. Et ces caractéristiques impliquaient une palette végétale bien adaptée, sachant qu'un des objectifs finaux était de n'avoir aucun système d'arrosage automatique dans les espaces verts. Il a aussi été mis l'accent sur le fait que toutes les eaux du sous-bassin-versant de la **ZAC*** devaient pouvoir s'infiltrer par des bassins et tout un système de canaux traditionnels, présentant une grande valeur patrimoniale et paysagère. Le projet devait préserver et rénover ces filioles, ainsi que les haies associées, et créer des bassins d'infiltration plantés.

Pour pouvoir au mieux répondre à ces contraintes végétales fortes, JNC Sud s'est associé à un bureau d'étude en environnement afin d'éviter les faux-pas et de choisir les végétaux les plus pertinents par rapport aux conditions écologiques du projet. Globalement la composition de la palette végétale retenue était pertinente au regard des conditions, mais malgré tout, plusieurs espèces ont montré des difficultés d'implantation. Celles-ci ont mal résisté à la sécheresse et / ou au gel et sont mortes, ou tout du moins étaient en mauvais état, déjà après leur première période de végétation (Figure 17). En trois ans de garantie et d'entretien, le projet a ainsi accusé des pertes de près de 50 %. Quelles pourraient en être les causes ? (Annexe II - APP/X).



Figure 17 : *Nerium oleander* morts / *Prunus amygdalus* morts et semis n'ayant pas pris (projet B - octobre 2017) (source : JNC Sud)

Dans le contexte global de changements climatiques, on observe localement une baisse de la pluviométrie dans la décennie écoulée. En effet, l'étude des données climatiques fait apparaître une chute des précipitations annuelles moyennes de 66 millimètres sur la période 2011 à 2019 au regard des trente années précédentes, soit -12 %. De plus, selon le **diagramme ombrothermique***, dorénavant 5 mois sont des mois secs, où l'histogramme des précipitations passe sous la courbe représentant la température moyenne, contre trois mois précédemment : juin, juillet, et août pour la période 1981 à 2010 et de mai à septembre pour la période 2011 à 2019 (Annexe IV). L'évolution du climat local tire donc vers un assèchement encore plus franc. En outre, certaines espèces n'étaient que peu adaptées aux longues sécheresses à répétition, comme le *Celtis australis* et le *Geranium sanguineum* 'Stratium'. Installés depuis plusieurs années, ils auraient pu résister car leur système racinaire aurait eu le temps de s'ancrer profondément dans le sol pour aller y dénicher de l'eau et ainsi leur permettre de survivre, mais il s'agissait de toutes nouvelles plantations qui, pour la plupart, ont eu des difficultés à résister (Annexe V).

Deux autres facteurs ont pu contribuer à la médiocre reprise des végétaux et à leur manque de résistance à la chaleur et la sécheresse : les défauts d'arrosage et de paillage. Selon les **MCE*** et **MO***, les arrosages manuels n'ont en effet pas été réalisés dans les règles de l'art. Malgré une vigilance accrue prescrite en la matière, les quantités d'eau fournies aux plantes n'étaient pas suffisantes et la fréquence des interventions trop faible par rapport aux conditions météorologiques de l'été suivant les plantations. Cette dernière aurait en effet dû être ajustée par l'entreprise de réalisation aux réalités climatiques du moment, pour dépasser le minimum requis dans le **CCTP***, ce qui n'a visiblement pas été le cas (Annexe II - APP/X). En sus, ces plantations ont été réalisées entre mars et mai 2017, ce qui n'a pas laissé aux végétaux un laps de temps suffisant pour s'enraciner avant la saison sèche et a pu accentuer encore leurs difficultés de reprise. Sur le même sujet de l'entretien, le paillage pose aussi question. L'épaisseur de **BRF*** prescrite n'était que de 5 cm et il y a visiblement eu des défauts de mise en œuvre initiale et de suivi de la couverture, laissant le sol, déjà peu protégé, à nu et à la merci de la dessiccation (Annexe II - X).

Afin de pallier ce problème de mortalité, un arrosage automatique a été mis en place a posteriori sur cette première phase de la **ZAC***, puis prévu avant réalisation pour les phases suivantes. Ce système d'arrosage au goutte-à-goutte n'est cependant pas allumé en permanence, il n'est déclenché que durant les périodes de sécheresse pénibles pour les plantes et permet ainsi de ne pas consommer trop d'eau (Annexe II - X).

Au sujet de pertes végétales potentiellement consécutives à des températures négatives, bien que soumises au climat méditerranéen et bénéficiant donc d'hivers relativement doux, on remarque que la zone d'implantation du projet B n'est pas exempte de gelées. On dénombre ainsi un total de 21 jours par an où la température minimale y descend en-dessous de 0 °C et qui se répartissent entre les mois de novembre à mars, janvier étant le mois le plus froid (données moyennes 1981 à 2010) (Annexes II - X - et IV). Or il se trouve que certaines espèces de la palette, qui avaient déjà succombé ou souffert durant l'été 2017, auraient pu avoir des difficultés à survivre à ces épisodes récurrents, comme l'*Albizia julibrissin* ou le *Nerium oleander* qui n'apprécient pas que le thermomètre descende en-dessous de 0 °C.

Somme toute, selon le critère défini en introduction, le projet B peut être qualifié d'« en échec », puisque près de la moitié des végétaux n'ont pas survécu au terme des trois ans de garantie d'entretien. Malgré tous ses écueils, un point positif ressort clairement : les bassins d'infiltration de la « Crau humide » situés au sud du projet (Figure 18). Ils présentaient un biotope et une palette totalement différents des autres espaces créés. Ils avaient pour objectif de retourner les eaux pluviales à la nappe phréatique, alimentée à un tiers par ces eaux et aux deux tiers par les

canaux parcourant la plaine de la Crau. Les plantes de ces bassins se sont parfaitement bien développées, sans doute aidées par leur localisation en sortie du bassin versant de la **ZAC***, les mettant à l'abri du manque d'eau. (Annexes II - X - et V).



Figure 18 : Bassin de la Crau humide (projet B - 2019) (source : JNC Sud)

Les palettes choisies pour chacun de ces deux projets, A et B, étaient toutes deux en grande majorité adaptées aux conditions climatiques propres à leur région d'implantation, ainsi qu'aux demandes de la **MO***. Cependant, le projet A, plus petit, s'est avéré beaucoup plus aisé à suivre et à entretenir. Le second projet ayant cumulé l'inconvénient d'une surface imposante et les négligences de l'entreprise chargée de la réalisation et de l'entretien pendant les périodes de garanties, il s'est trouvé par conséquent « en échec ».

Conclusion

Une exploration de la littérature nous a permis de cerner les milieux dans lesquels vivent les **PRS*** et les stratégies qu'elles y développent, puis les contraintes spécifiques du milieu urbain qui s'imposent aux aménageurs. L'exploitation d'entretiens avec des professionnels et l'étude de deux exemples de projets ont ensuite constitué une synthèse des usages actuels en matière d'intégration de ces végétaux dans les projets localisés en ville.

Deux fragilités méthodologiques pèsent sur l'analyse posée. La première concerne le nombre d'exemples explorés : davantage de cas concrets auraient permis une portée plus générale aux constats énoncés. La seconde a trait à la parole recueillie auprès des professionnels : chacun des principaux acteurs des deux projets analysés a été sollicité, mais tous n'ont pas répondu favorablement à la demande d'entretien. De ce fait, les propos recueillis concernent globalement tous les rôles intervenant dans ces démarches d'aménagement, mais pas pour chacun des deux exemples pris individuellement. Les propos de ce mémoire ne reflètent donc que partiellement les multiples points de vue des protagonistes de la conception et de la mise en œuvre de ces espaces végétalisés urbains.

Dans le chapitre conclusif qui suit, l'objectif sera cependant d'apporter des éléments synthétiques de réponse à la problématique posée en introduction : en France métropolitaine, quels sont les enjeux de l'utilisation de **plantes résistantes à la sécheresse*** dans l'aménagement des espaces publics urbains ? Nous exposerons ainsi nos principaux résultats, en termes d'atouts et de limites, et les mettrons en perspective dans une démarche globale de conception d'un espace végétalisé « idéal ».

Atouts

Pour commencer, cette gamme de plantes et ses caractéristiques n'étant pas encore totalement maîtrisées, elle ouvre tout un pan de recherche et d'exploration aux botanistes, pépiniéristes et aménageurs souhaitant explorer cette voie. Les **PRS*** poussent en ce sens à s'inscrire dans une

dynamique d'enrichissement des connaissances, motrice pour les individus et fort utile au regard des transformations environnementales profondes en marche.

Au-delà de cette qualité, deux atouts majeurs de l'utilisation des **PRS*** dans les aménagements sont mis en avant par tous les corps de métier du paysage : les économies d'eau qu'elles permettent de réaliser et leur résistance à de rudes conditions climatiques.

Dans le contexte actuel de diminution des ressources, les **MO*** se doivent d'opter pour une gestion optimisée de l'eau. Cette volonté, rejoignant le souci partagé d'un moindre impact environnemental, passe souvent par une limitation de l'arrosage, d'où l'intérêt d'avoir recours à des **PRS***, peu consommatrices d'eau.

Au vu des changements climatiques, l'autre avantage principal des **PRS*** est bien évidemment, comme leur désignation l'indique, leur résistance à l'élévation des températures et à la diminution des précipitations déjà constatées sous nos latitudes. De plus, y recourir dans des régions qui commencent tout juste à s'assécher permet d'anticiper les évolutions potentiellement plus marquées à venir. Enfin, elles sont bien adaptées au phénomène des **ICU***, caractéristiques des milieux urbains qui nous intéressent ici.

Les **PRS*** possèdent aussi d'autres atouts face aux pressions subies par le végétal en ville. Poussant naturellement dans des sols pauvres, comme le sont souvent les sols urbains, elles sont a priori aptes à s'y développer plus aisément. Par ailleurs ces plantes amènent de la diversité dans les aménagements et y attirent de ce fait une faune accrue d'auxiliaires variés, qui manquent cruellement à ce milieu.

L'ensemble de ces éléments permet aux **PRS*** d'accuser de moindres pertes que les autres végétaux lorsqu'elles sont intégrées à des projets d'aménagement d'espaces publics urbains. Toutefois, présentant des besoins et des milieux d'origine différents des espèces horticoles, plus communément utilisées, le recours à ces plantes comporte un certain nombre de limites au regard nos pratiques actuelles.

Limites

La question cruciale de l'eau est à nouveau première ici. Les spécificités des **PRS*** font ainsi de la méthode traditionnelle d'arrosage à la cuvette la plus adaptée à ces végétaux supportant mal une surabondance continue d'eau. Cependant, on ne retrouve pas toujours ses principes originels dans ses prescriptions de mise en oeuvre. Par ailleurs, ce processus, nécessairement manuel, est particulièrement coûteux en temps et en moyens humains. L'application efficace de cette méthode n'est donc le plus souvent envisageable que pour des aménagements d'une superficie limitée. De plus, la sensibilité des **PRS*** à une humidité stagnante implique aussi une vigilance particulière lors de la mise en oeuvre d'un paillage : il conviendra alors de veiller strictement au dégagement de leur collet, faute de quoi la couverture gorgée d'eau leur serait fatale.

D'autres limites, d'ordre esthétique, peuvent émerger lors de l'utilisation de **PRS*** dans les aménagements. D'une part, les **PRS*** arborent des fleurissements souvent plus petits, moins impressionnants que ceux des végétaux plus classiquement utilisés. Mais se contenter d'une palette incluant uniquement les rares **PRS*** possédant les floraisons les plus majestueuses conduirait à une réduction drastique de la dite palette et à une banalisation de ses composantes que l'on retrouverait dans peu ou prou tous les nouveaux aménagements. Les efforts de diversification de la palette se doivent donc d'être renforcés. D'autre part, les planter jeunes pour optimiser leur développement futur est plus essentiel encore à ce type de végétaux. Or,

l'installation de petits plants, de faible impact de prime abord, est difficile à accepter pour les usagers et les **MO***. Il est alors nécessaire de faire preuve de beaucoup de pédagogie, voire d'imagination dans la mise en scène du lieu investi pour qu'il soit immédiatement valorisé.

Même si elles y sont plutôt bien adaptées, implanter des **PRS*** présente aussi des inconvénients spécifiquement liés au milieu urbain. Mécaniquement tout d'abord, dans un contexte de compétition spatiale courant en ville, leur double système racinaire peut facilement détériorer des réseaux souterrains et des revêtements. Ensuite, si ces espèces tolèrent mieux que d'autres les **ICU***, elles ne permettent que très peu de les réduire. En effet, si elles résistent si bien à la chaleur et la sécheresse, c'est en partie parce qu'elles ferment leur stomates le jour. En coupant ainsi les échanges gazeux avec l'extérieur, elles arrêtent aussi de transpirer, ce qui aiderait à la diminution de ces **ICU***. Un choix est donc à poser pour chaque projet entre réduire la consommation d'eau des espaces verts ou les **ICU***.

Enfin, dans un exercice périlleux d'anticipation, planter des espèces résistantes, non autochtones, dans des régions que l'on suppose devenir sèches présente un risque : certaines **PRS***, insuffisamment rustiques, pourraient très bien ne pas supporter les nouvelles conditions, vraisemblablement plus extrêmes et changeantes, qui s'imposeront in fine à elles.

« L'espace idéal »

Les enjeux exposés précédemment s'articulent autour de trois axes thématiques : l'eau, l'esthétique, et l'urbanité. Les **PRS*** y apparaissent sans conteste comme un outil supplémentaire d'ajustement des palettes végétales mobilisées par le paysagiste. Dans les démarches d'aménagement, le souci d'une adaptation optimale des choix végétaux ne devrait cependant pas, à mon sens, reléguer au second plan les éléments exprimés ci-après.

L'aménagement végétalisé d'un espace consiste en la création d'un lieu sensible. La recherche d'un maximum de sensorialité de ces lieux est d'autant plus essentielle au sein du milieu urbain, artificialisé, qui souffre d'une forme d'asepsie, de dénaturalisation. L'éveil de nos sens au contact des végétaux s'adresse non seulement à la vue mais aussi à notre odorat, notre ouïe, et notre toucher, souvent minimisés voire oubliés dans les démarches de conception. La singularité et l'apport de diversité des **PRS*** sont un moyen d'enrichir la créativité du concepteur, et par là-même les sensations, les émotions des personnes qui traversent ces espaces ou y flânent.

Ces usagers sont un élément central de réponse à la question « qu'est-ce que pour vous un aménagement urbain réussi ? ». Puisque que c'est « pour eux », pour leur bien-être, que la conception, puis la réalisation et l'entretien, sont menés, nous devons placer au cœur de nos objectifs de faciliter l'appropriation de ces espaces. Tout en conservant une identité qui leur est propre, ils sont tenus d'offrir un environnement confortable, quel qu'y soit le mode de déplacement, et d'être accueillants pour tous, universels.

Un aménagement doit aussi être pensé dans sa durabilité, autant dans le temps, en prenant notamment en compte l'évolution des usages et la détérioration des matériaux, que du point de vue écologique. Face aux contraintes urbaines et climatiques, par leur rusticité et leur adaptabilité, les **PRS*** contribuent potentiellement à cette ambition de pérennité accrue. L'idée n'est en effet pas de remettre à plat un espace public tous les dix ou quinze ans, ce qui serait un gâchis de ressources, de temps et d'argent, mais bien de faire en sorte qu'il soit durable et qu'il s'adapte à chaque nouvel élément de contexte. Le défi n'est alors plus de savoir quels en seront les futurs usages mais bien s'il pourra être utilisé quels que soient ces usages.

S'appuyer sur ces fondamentaux ne dispense pas de veiller à placer le végétal au cœur des démarches d'aménagement. Il est dommageable, dans un souci d'économie comptable, de trop fréquemment privilégier le « moins-disant » au lieu du « mieux-disant » lors des appels d'offres aux entreprises, ce qui dessert si ce n'est la pérennité des projets pour le moins le développement harmonieux des végétaux implantés. Le préjudice est grand de réduire les plantes à des outils au lieu de reconnaître qu'elles sont la composante vivante essentielle de nos projets et requièrent donc autant d'égards que l'utilisateur. Se pencher sur leur nature-même, leurs besoins, leur développement optimal, y compris en intégrant leur capacité à se ressemer spontanément et ainsi à concourir à une évolution moins guidée de l'aspect des aménagements, servira forcément la création d'espaces pleinement vivants.

Les plantes se sont épanouies en toute autonomie pendant des millions d'années. Et nous, humains, avec toutes nos « connaissances » et notre technologie, nous nous retrouvons à les arroser abondamment et à amender en masse leur substrat. De mon point de vue, de telles actions manquent foncièrement de logique. Il nous faut mieux les comprendre et les implanter dans des espaces où elles se développeront le plus naturellement possible. Pour cela, les mentalités doivent changer, autant celles des usagers, que celles des concepteurs, des **maîtres d'ouvrage*** ou encore des jardiniers. En tant qu'ingénieur paysagiste concepteur, je m'investirai pour appliquer ces idées et tenter de limiter les impacts de nos démarches d'aménagement sur une nature déjà perturbée.

Références

Références bibliographiques

ADEME, 2019. *L'avenir des sols en 10 questions* [en ligne]. Angers : ADEME. [Consulté le 18 septembre 2020]. Clefs pour agir. ISBN 979-10-297-1398-9. Disponible à l'adresse : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-avenir-sols-10-questions.pdf>.

BALMÈS, Michel, BUTTER, Gwendolin, GEORGES, François, LHOIR, Jonathan, MOUGIN, Nathalie, ROSSI, Michael, SÉGUIER-GUIS, Martine et SÉGUIER-GUIS, Martine, 2013. *Le jardin des plantes de Montpellier : de la médecine à la botanique* [en ligne]. Versailles : Éditions Quæ. [Consulté le 11 octobre 2020]. ISBN 978-2-7592-2041-0. Disponible à l'adresse : <http://univ.scholarvox.com/catalog/book/docid/88817353>.

BRETON, Erwan, BOURGES, Flora et DRAPERI, Coline, 2015. *Approche globale et innovante de la conception technique et de la réalisation des couvertures - Cahier 7 - Focus sur la végétalisation* [en ligne]. S.l. Agence Nationale de la Recherche. [Consulté le 18 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : https://irex.asso.fr/wp-content/uploads/2016/01/ANR_CANOPEE_Rapport-Final_Tache-5_Cahier-7_V%C3%A9g%C3%A9talisation.pdf.

BUGARET, Francis, 2010. *Cactus et plantes succulentes du monde* [en ligne]. Versailles : Éditions Quæ. [Consulté le 11 octobre 2020]. Guide pratique. ISBN 978-2-7592-0635-3. Disponible à l'adresse : <http://univ.scholarvox.com/catalog/book/docid/45007975>.

CASSOU, Christophe et MASSON-DELMOTTE, Valérie, 2015. *Parlons climat en 30 questions* [en ligne]. Paris : La Documentation française. [Consulté le 8 septembre 2020]. ISBN 978-2-11-010135-8. Disponible à l'adresse : <http://univ.scholarvox.com/catalog/book/docid/88867297>.

COUPLAN, François, BUTTER, Gwendolin, MARMY, Françoise, MARY, Valérie et PROQUEST (FIRME), 2013. *Étonnantes plantes de montagne* [en ligne]. Versailles : Éditions Quæ. [Consulté le 11 septembre 2020]. Carnets de sciences. ISBN 978-2-7592-1983-4. Disponible à l'adresse : <http://univ.scholarvox.com/catalog/book/docid/88817348>.

CRUZ, Jean-François, BÉAVOGUI, Famoï et DRAMÉ, Djibril, 2011. *Le fonio, une céréale africaine* [en ligne]. Versailles : Éditions Quæ. [Consulté le 11 septembre 2020]. ISBN 978-2-7592-1040-4. Disponible à l'adresse : <http://univ.scholarvox.com/catalog/book/docid/88805813>.

DUTUIT, Pierre et GORENFLOT, R, 2016. *Unité du monde vivant et développement durable : Glossaire* [en ligne]. Dijon : Educagri éditions. [Consulté le 11 septembre 2020]. ISBN 979-10-275-0077-2. Disponible à l'adresse : <http://univ.scholarvox.com/catalog/book/docid/88834647>.

EMBERGER, Louis, GAUSSEN, Henri, KASSAS, Mohammed et DE PHILIPPIS, A, 1963. *Carte bioclimatique de la zone méditerranéenne* [en ligne]. Notice explicative. Paris et Rome. UNESCO. [Consulté le 26 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000137255?posInSet=1&queryId=d80a1234-ade7-4d0c-a28c-eae4663cd010>.

FILIPPI, Olivier, 2007. *Pour un jardin sans arrosage*. Arles : Actes Sud. ISBN 978-2-7427-6730-4.

GOUEDARD, Quentin, 2014. *Mémoire : Les sols urbains, des milieux contraignants pour le développement de l'arbre dans la ville* [en ligne]. Angers. Agrocampus Ouest. [Consulté le 17 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01071315/document>.

GRAND LYON, 2011. *La charte de l'arbre* [en ligne]. novembre 2011. S.l. : Grand Lyon. [Consulté le 17 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : http://www.arboristes-sequoia.com/images/Charte_de_l_arbre_Grand_Lyon.pdf.

LODÉ, Joël, 2012. *Le désert source de vies* [en ligne]. Versailles : Editions Quæ. [Consulté le 11 octobre 2020]. Carnets de sciences. ISBN 978-2-7592-1802-8. Disponible à l'adresse : <http://univ.scholarvox.com/catalog/book/docid/88813303>.

MANCRET-TAYLOR, Valérie, 2015. *Redécouvrir la nature en ville* [en ligne]. Paris : IAU Île-de-France. [Consulté le 18 septembre 2020]. Les carnets pratiques du SDRIF, 6. ISBN 978-2-7371-1890-6. Disponible à l'adresse : https://www.iau-idf.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_1207/cp6_web.pdf.

MARTIN, Pierre, 2017. *Le climat dans tous ses états* [en ligne]. Bruxelles : De Boeck Université. [Consulté le 8 août 2020]. Sciences et plus. ISBN 978-2-8073-0660-8. Disponible à l'adresse : <http://univ.scholarvox.com/catalog/book/docid/88841176>.

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT, 1999. *Fascicule 35 : Aménagements paysagers, Aires de sports et de loisirs de plein air* [en ligne]. avril 1999. S.l. : Bulletin officiel. [Consulté le 19 août 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.fntp.fr/sites/default/files/content/fascicule_ndeg35.pdf.

MOROT-GAUDRY, Jean-François, MAUREL, Christophe, MOREAU, François, PRAT, Roger et SENTENAC, Hervé, 2017. *Biologie végétale : nutrition et métabolisme* [en ligne]. 3ème. Paris : Dunod. [Consulté le 12 septembre 2020]. ISBN 978-2-10-076137-1. Disponible à l'adresse : <http://univ.scholarvox.com/catalog/book/docid/88841881>.

RISER, Jean, 2010. *Les espaces du vent* [en ligne]. Versailles : Éditions Quæ. [Consulté le 16 août 2020]. Synthèses. ISBN 978-2-7592-0625-4. Disponible à l'adresse : <http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3399067>.

TASSIN, Claude, 2012. *Paysages végétaux du domaine méditerranéen : bassin méditerranéen, Californie, Chili central, Afrique du Sud, Australie méridionale* [en ligne]. Marseille : IRD Éditions. [Consulté le 20 août 2020]. ISBN 978-2-7099-1731-5. Disponible à l'adresse : <https://books.openedition.org/irdeditions/9781>.

TOUBERT, Pierre, 1997. L'homme et l'environnement dans le monde méditerranéen : le regard du médiéviste. In : *7ème colloque de la Villa Kérylos à Beaulieu-sur-Mer les 4 & 5 octobre 1996* [en ligne]. Paris : Académie des Inscriptions et Belles Lettres. 1997. p. 113-133. [Consulté le 30 août 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.persee.fr/doc/keryl_1275-6229_1997_act_7_1_964.

TREES AND DESIGN ACTION GROUP, 2016. *Arbres en milieu urbain : guide de mise en oeuvre* [en ligne]. S.l. : Trees and Design Action Group. [Consulté le 17 septembre 2020]. ISBN 978-0-9928686-3-5. Disponible à l'adresse : https://www.citeverte.com/fileadmin/Citeverte_Ressources/PDF/Publication_Arbre-en-milieu-urbain.pdf.

Références sitographiques

- [1] REVKIN, Andrew, 2018. On parle du changement climatique depuis plus de 30 ans. Pourquoi n'avons-nous rien fait ? In : *National Geographic* [en ligne]. 21 juin 2018. [Consulté le 16 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.nationalgeographic.fr/environnement/parle-du-changement-climatique-depuis-plus-de-30-ans-pourquoi-navons-nous-rien-fait>.
- [2] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2018. *Global Warming of 1.5°C* [en ligne]. S.l. Organisation des Nations Unies. [Consulté le 4 septembre 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.ipcc.ch/sr15/download/>.
- [3] LE BORGNE, Brice, 2020. INFOGRAPHIES. Sécheresse : quatre graphiques pour visualiser l'aggravation de la situation en France. In : *Franceinfo* [en ligne]. 8 août 2020. [Consulté le 16 août 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.francetvinfo.fr/meteo/secheresse/infographies-secheresse-quatre-graphiques-pour-visualiser-l-aggravation-de-la-situation-en-france_4067133.html.
- [4] MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE, 2020. La sécheresse. In : *Ministère de la Transition écologique* [en ligne]. 28 août 2020. [Consulté le 16 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.ecologie.gouv.fr/secheresse>.
- [5] INSEE, 2011. Le découpage en unités urbaines de 2010 - Insee Première - 1364. In : *Insee - Institut national de la statistique et des études économiques* [en ligne]. 25 août 2011. [Consulté le 17 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://insee.fr/fr/statistiques/1280970>.
- [6] INSEE, 2020a. Base des unités urbaines. In : *Insee - Institut national de la statistique et des études économiques* [en ligne]. 27 mai 2020. [Consulté le 20 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.insee.fr/fr/information/2115018>.
- [7] INSEE, 2020b. Séries historiques en 2017. In : *Insee - Institut national de la statistique et des études économiques* [en ligne]. 29 juin 2020. [Consulté le 20 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4515941>.
- [8] INSEE, 2019b. Une croissance démographique marquée dans les espaces peu denses. In : *Insee - Institut national de la statistique et des études économiques* [en ligne]. 30 décembre 2019. [Consulté le 20 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4267787>.
- [9] C.I.EAU, 2019. La sécheresse : d'où vient-elle et comment agir ? In : *Centre d'Information sur l'eau* [en ligne]. 19 mai 2019. [Consulté le 16 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.cieau.com/connaitre-leau/secheresse-comment-agir/>.
- [10] MÉTÉO-FRANCE, 2015. Réchauffement climatique et sécheresses. In : *Météo-France* [en ligne]. 4 juillet 2015. [Consulté le 16 août 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/impacts-du-changement-climatique-sur-les-phenomenes-hydrometeorologiques/changement-climatique-et-secheresses>.
- [11] UNIVERSALIS, 2015. *CLIMATS (notions de base)* [en ligne]. S.l. : Encyclopædia Universalis. [Consulté le 8 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/climats-notions-de-base/>.
- [12] I. VELTZ, 2014. Les climats du globe. In : *ifé - Plateforme ACCES - Eduterre* [en ligne]. 7 juillet 2014. [Consulté le 16 septembre 2018]. Disponible à l'adresse :

http://eduterre.ens-lyon.fr/thematiques/climat/climats-de-la-terre/climats-du-globe#classification_des_climats.

[13] MÉTÉO-FRANCE, 2013. Tout savoir sur le climat en métropole. In : *Météo-France* [en ligne]. 7 avril 2013. [Consulté le 10 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climat-en-france/le-climat-en-metropole>.

[14] LAROUSSE, 2012. Les climats du monde. In : *Encyclopédie Larousse* [en ligne]. 16 janvier 2012. [Consulté le 8 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/climat__les_climats_du_monde/185927.

[15] CIRAD, 2020. méditerranéen. In : *Dictionnaire des Sciences Animales* [en ligne]. 9 septembre 2020. [Consulté le 10 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://dico-sciences-animales.cirad.fr/liste-mots.php?fiche=29769&def=m%C3%A9diterran%C3%A9en>.

[16] AUBOUIN, Jean, GAUSSEN, Henri, HARANT, Hervé et E.U, 2004. *AIRE MÉDITERRANÉENNE* [en ligne]. S.l. : Encyclopædia Universalis. [Consulté le 6 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/aire-mediterraneenne/>.

[17] LA TOUR DU VALAT, 2015. Dossier : La Méditerranée, hotspot de biodiversité. In : *Tour du Valat* [en ligne]. 20 juillet 2015. [Consulté le 16 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://tourduvalat.org/dossier-newsletter/dossier-la-mediterranee-hotspot-de-biodiversite/>.

[18] OLIVEIRA, Valérie et VELA, Errol, 2013. Le bassin méditerranéen : un point chaud. In : *DocSciences* [en ligne]. 16 décembre 2013. [Consulté le 16 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.reseau-canope.fr/docsciences/Le-bassin-mediterraneen-un-point-chaud.html>.

[19] INSEE, 2019a. Artificialisation des sols – Indicateurs de richesse nationale. In : *Insee - Institut national de la statistique et des études économiques* [en ligne]. 23 décembre 2019. [Consulté le 18 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3281689?sommaire=3281778>.

[20] TRIBALLEAU, Frédérique et BARRA, Marc, 2019. Faire la ville nature. In : *dixit.net* [en ligne]. 2 octobre 2019. [Consulté le 18 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://dixit.net/ville-nature/>.

[21] CEREMA, 2019. Des solutions pour la ville de demain : vers une renaturation des sols. In : *Cerema* [en ligne]. 30 octobre 2019. [Consulté le 18 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.cerema.fr/fr/actualites/solutions-ville-demain-renaturation-sols-retour-journee>.

[22] GREC-SUD, 2018. Articles du cahier « Ville ». In : *GREC-SUD* [en ligne]. 11 juillet 2018. [Consulté le 17 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.grec-sud.fr/article-cahier/articles-du-cahier-ville/>.

[23] RAUSCHER, Émilie, 2019. Quel est l'impact de l'éclairage public sur la vie des arbres ? In : *Science & Vie* [en ligne]. 31 octobre 2019. [Consulté le 17 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.science-et-vie.com/questions-reponses/quel-est-l-impact-de-l-eclairage-public-sur-la-vie-des-arbres-51930>.

[24] AGRA PRESSE, 2016. Hydrorétenteurs : les zones d'ombre d'une solution « miracle ». In : *AGRA* [en ligne]. 8 juillet 2016. [Consulté le 19 septembre 2020]. Disponible à l'adresse :

<http://www.agra.fr/hydror-tenteurs-les-zones-d-ombre-d-une-solution-miracle-hydror-tenteurs-les-zones-d-ombre-d-une-solution-miracle-art423191-41.html>.

[25] POMEROL, Charles, 2006. *CONGLOMÉRATS, pétrologie* [en ligne]. S.l. : Encyclopædia Universalis. [Consulté le 20 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/conglomerats-petrologie/>.

AGROCAMPUS OUEST

CFR Angers CFR Rennes

<p>Année universitaire : 2019-2020 Spécialité : Paysage Spécialisation (et option éventuelle) : Paysage : Opérationnalité et Projet</p>	<p>Mémoire de fin d'études</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement</p> <p><input type="checkbox"/> de master de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
---	---

Les enjeux de l'utilisation des plantes résistantes à la sécheresse dans l'aménagement des espaces publics urbains en France métropolitaine

Par : Ariane SULPICE

Annexes

Soutenu à Angers le 17 novembre 2020 à 14h

Devant le jury composé de :

Président : David MONTEBAULT

Maître de stage : Anne Pascale PERTUS

Enseignant référent : Élise GEISLER

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 : Population urbaine - Analyse statistique

France métropolitaine	Données		Évolution 1936 - 2017	
	1936*	2017**	brute	relative
Chiffres au 1 ^{er} janvier				
Population totale	41 813 000	64 639 133	+22 826 133	+54,6%
Population urbaine	22 120 000	50 104 107	+27 984 107	+126,5%
Population urbaine / totale	52,9%	77,5%	+24,6%	+46,5%
Superficie du territoire urbain (km ²)	36 516	124 781	+88 265	+241,7%

Sources : * (Insee, 2011) ; ** (Insee, 2020a ; 2020b)

Annexe II : Liste des entretiens menés

Interlocuteur	Initiales	Fonction	Organisme	Formation
Claude BOUCHERON	CB	Responsable d'une division territoriale (entretien, maintenance, petits travaux d'amélioration des espaces verts de 6 arrondissements)	Direction des parcs et jardins - ville de Marseille (entretien après garantie)	Ingénieur horticulteur - école nationale d'horticulture - Versailles
Bernard DEPOORTER	BD	Architecte paysagiste / gérant	Agence BDP concept - Lyon (maîtrise d'œuvre)	Architecture des jardins et du paysage - école de Gembloux - Belgique
Nicolas DELPORTE	ND	Paysagiste chargé de projet. Précédemment autoentrepreneur	Direction Espaces verts - ville de V. (maîtrise d'ouvrage et d'œuvre)	BTS aménagement paysager. ENSP Marseille. Master 2 Urbanisme
Franck GRANGETTE	FG	Contrôleur de travaux chargé de la gestion des espaces verts	Direction Espaces verts - ville de V. (entretien après garantie, dont projet A)	BEP pépinière. Bac professionnel travaux paysagers
Roser GRATACOS GINJAUME	RGG	Architecte paysagiste / gérante	Agence Ginjaume - Narbonne (maîtrise d'œuvre)	Université Polytechnique et École Technique Supérieure d'Architecture - Barcelone (architecture et urbanisme). Master du Paysage - Barcelone et École Nationale Supérieure de Paysage - Versailles

Interlocuteur	Initiales	Fonction	Organisme	Formation
Jérôme LAVESRE	JL	Directeur de 2 agences	ID Verde - agences Jarcieu et St Etienne (réalisation et entretien pdt garantie, dont projet A)	BTS gestion forestière. Ingénieur ENSHAP spécialité : paysage et aménagement - Angers
Anne Pascale PERTUS	APP	Responsable de projets / Associée / Directrice d'agence	Agence JNC Sud - Lyon (maîtrise d'oeuvre, dont projets A et B)	Ecole d'architecture et du paysage - Bordeaux
Madame X	X	Chargée d'opérations	Entreprise Z (maîtrise d'ouvrage, dont projet B)	Ecole d'architecture et du paysage - Bordeaux

NB : Les initiales des interlocuteurs sont mentionnées dans le corps du document lorsque les propos reposent sur les paroles recueillies lors des entretiens.

Annexe III : Trame d'entretien

Personne interrogée : nom, fonction, structure

Date et mode d'entretien

Le cas échéant, identification du projet (A ou B)

Rappel du contexte : Pour vous rappeler le contexte, je suis en dernière année d'école d'ingénierie en paysage. Je suis actuellement en stage de fin d'études, à Lyon en l'occurrence, au sein de l'agence JNC Sud, un bureau d'études de maîtrise d'œuvre et de conception. Mon mémoire traite des enjeux de l'utilisation des PRS dans les aménagements des espaces publics en ville. Pour répondre à cette question, je me base sur des synthèses bibliographiques, une analyse de projets, et des entretiens avec des professionnels qui ont travaillé ou non sur ces projets.

Demande accord pour enregistrement audiophonique

Si l'interlocuteur est un acteur du projet A ou du projet B

Pouvez-vous me parler de la commande qui était faite sur ce projet ?

[Pour MOE et entreprises : Comment y avez-vous répondu ?]

Pouvez-vous me décrire succinctement le projet ?

Qui a travaillé sur ce projet ? Avec qui avez-vous collaboré ?

Sur quelle période s'est déroulé le projet ? Quelles en ont été les étapes majeures ?

Quelle était la place des PRS dans ce projet ? (Est-ce que l'utilisation des PRS faisait partie de la commande ou était-ce un choix de la MOE ?)

Avez-vous rencontré des difficultés lors de ce projet ? Concernant particulièrement l'utilisation de PRS ?

Si non : facteurs de réussite du projet

Si « quelques écueils » ou « beaucoup de problèmes » :

Nature et description du ou des problèmes / Phase(s) du ou des problèmes / Acteur(s) du projet à la source du ou des problèmes / Causes du ou des problèmes

Est-ce que l'on a pu y apporter des solutions ? / Lesquelles ? / Qui a apporté ces solutions ? /

Qui les a mises en œuvre ? / Ont-elles été concluantes ?

Des solutions ont-elles été envisagées mais non mises en œuvre et pourquoi ?

Avez-vous tiré des enseignements de ces écueils ? Si oui lesquels ?

Pour tous

Comment percevez-vous la place des PRS dans les aménagements urbains aujourd'hui ? A-t-elle évolué ?

Quels sont les atouts et les limites majeurs de l'utilisation des PRS dans l'aménagement des espaces publics ?

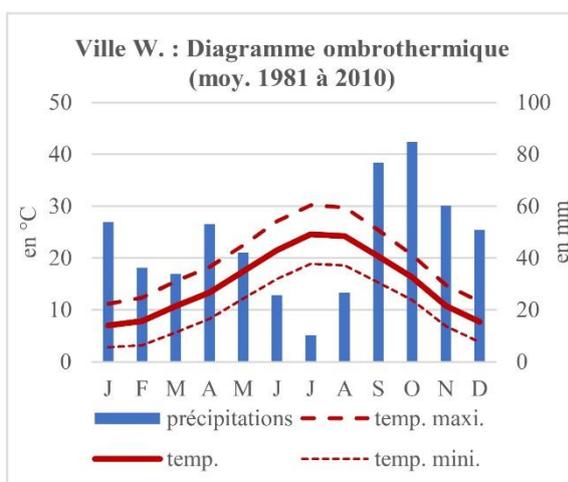
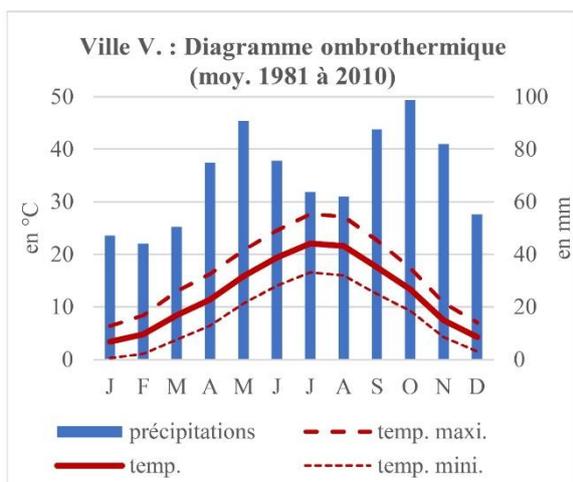
Pour vous, qu'est-ce qu'un projet d'aménagement d'espace public urbain réussi ?

Avez-vous d'autres éléments que vous souhaiteriez ajouter ?

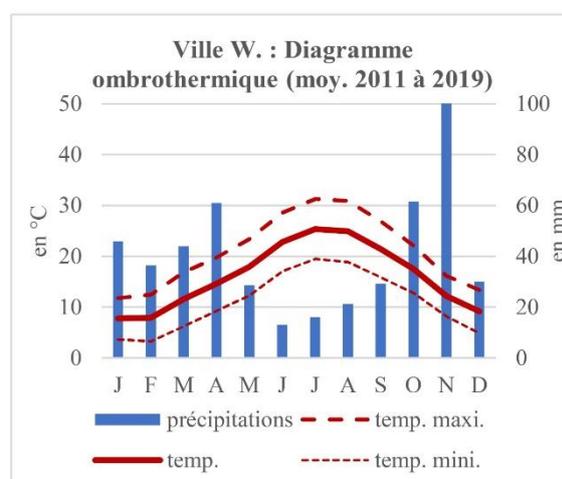
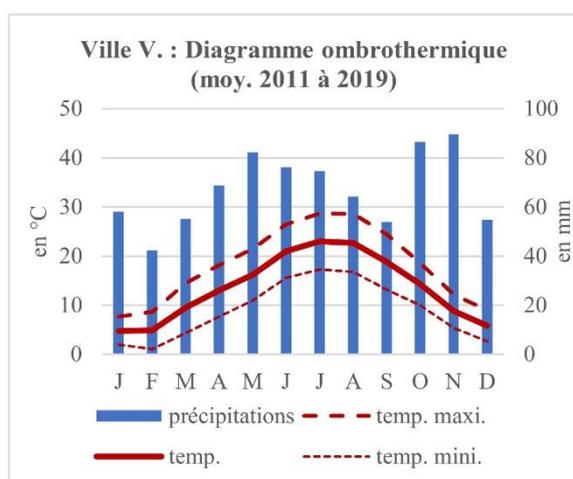
Êtes-vous d'accord pour être cité (organisme / fonction / nom) ou bien souhaitez-vous l'anonymat (0 structure, 0 nom, 0 identifiant projet -> rôle dans projet seulement, et projet décrit sans identification possible) ?

Remerciements.

Annexe IV : Données climatiques des villes de V. et W.



Ville V. (données 1981 à 2010)													
données (1981 à 2010)	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	an
nb moy. jours avec temp. Min. <0°C	15,1	11,7	5,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	5,2	11,2	49,7
vitesse du vent moy. sur 10mn (m/s)	2,9	3,2	3,6	3,7	3,2	3,2	3,2	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,2
nb moy. jours avec rafale 16m/s (=58km/h)	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	1,3
Ville W. (données 1981 à 2010)													
données (1981 à 2010)	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	an
nb moy. jours avec temp. Min. <0°C	7,6	5,5	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,6	5,0	20,9
vitesse du vent moy. sur 10mn (m/s)	5,3	5,5	5,9	5,7	5,0	5,2	5,4	5,0	4,9	4,9	5,4	5,4	5,3
nb moy. jours avec rafale 16m/s (=58km/h)	10,4	10,3	12,1	11,2	8,2	8,2	9,1	7,9	8,2	8,2	10,0	10,3	114,0



NB : le projet A est implanté dans la ville V, le projet B dans la ville W.

Source : https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id_produit=117&id_rubrique=39, création 06/10/2020, consultation le 25/10/2020.

Annexe V : Tableau synoptique des végétaux des deux projets analysés

Le tableau suivant liste les végétaux implantés pour les deux cas concrets analysés, le projet A et le projet B (scindé en B1, comportant des bassins, et B2). Pour chaque plante sont énoncées des caractéristiques relatives à la rusticité, à la durée maximale de sécheresse tolérée en conditions normales de sol et d'exposition, et le cas échéant d'autres éléments remarquables. La source principale de ces informations est le site de la pépinière Filippi, spécialisée dans les PRS (<https://www.jardin-sec.com/>). A défaut, elles ont été compilées après consultation des neuf sites internet (<http://nature.jardin.free.fr/>, <http://pepinieres-soupe.com/>, <https://pepiniere-armalette.fr/>, <https://www.floriscope.io/>, <https://www.gerard-weiner.fr/>, <https://www.gerbeaud.com>, <https://www.lejardindeau.com>, <https://www.lepage-vivaces.com/>, <https://www.rustica.fr>).

La coche « X » signifie la présence des végétaux dans le projet en question.

Genre espèce	Cultivar	caractéristiques	Projet		
			A	B1	B2
ARBRES					
<i>Acer campestre</i>		Très rustique à enracinement puissant semi-plongeant, tolère aisément -30°C. Sol : tous (pauvre, sec ou humide), aime le calcaire. Soleil, mi-ombre. Protégé du vent. Une fois installé, tolère bien la sécheresse.	X		
<i>Acer monspessulanum</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre et caillouteux. Supporte bien le calcaire. Soleil.		X	
<i>Acer rubrum</i> (issu de greffe sur saccharinum)		Très rustique. Sol bien drainé, plutôt argileux et acide ou neutre, calcaire à éviter, fertile ou riche, frais. Soleil, mi-ombre. Surtout en altitude.	X		
<i>Acer saccharinum</i>		Très rustique. Tout sol bien drainé, plutôt argileux, éviter le calcaire. Soleil, mi-ombre (n'aime pas l'ombre).			
<i>Albizzia julibrissin</i>		Climat doux. Sol bien drainé, sec en été. Préfère les sols frais. Soleil et chaleur pour assurer une floraison abondante. A l'abri des grands vents pour protéger la floraison. Adapté à la sécheresse.		X	X
<i>Broussonetia papyfera</i>		Tolère aisément jusqu'à -5°C. Sols : tous, supporte les sols très calcaires, sablonneux. Soleil ou mi-ombre. Adapté à la sécheresse.			X

Genre espèce	Cultivar	caractéristiques	Projet		
			A	B1	B2
<i>Celtis australis</i>		Espèce plus sensible au froid qu'occidentalis. Ne supporte pas le gel prolongé. Sol profond, drainé, préférence pour les sols à tendance calcaire. Souffre énormément lorsque les années sèches se succèdent.		X	X
<i>Cercis silicestrum</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 5 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil.		X	X
<i>Cotinus coggygria</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil.		X	
<i>Cupressus sempervirens</i>	'Stricta'	Rustique. Minima idéal 10°C, selon variété tolère jusqu'à -15°C. Sol indifférent, même sec et calcaire, bien drainé. Soleil, mi-ombre, ombre. Résiste aux vents, aux embruns, à l'irrigation avec des eaux légèrement saumâtres. Une fois installé, parfaitement adapté à la sécheresse.		X	
<i>Eleagnus angustifolia</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 3,5 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent, supporte bien le calcaire. Soleil. Résiste aux embruns.			X
<i>Ficus carica</i>		-15 °C, repart souvent sur la souche après les forts gels. Sol ordinaire, humifère, frais mais drainé, de préférence léger peu calcaire. Supporte très bien la sécheresse, redoute les terrains trop humides et trop froids. Soleil ou mi-ombre. Abrité des vents froids.		X	
<i>Fraxinus oxyphylla</i>		Très rustique. Tous types de sols même calcaires. Idéal pour les boisements de talus ou zones exposées plein Sud et en zone littoral. Supporte les embruns. Adapté au sec et à la chaleur.			X
<i>Pinus pinea</i>		Tolère -11 à -12°C. Sujets jeunes sensibles au gel. Sols tous, plutôt secs, supporte mal le calcaire. Soleil, mi-ombre. Adulte parfaitement adapté à la sécheresse.			X
<i>Platanus orientalis</i>		Très rustique, résiste au froid mais apprécie la chaleur. Tous types de sols même calcaires, n'aime pas les sols trop acides, pousse mieux dans les terres profondes, apprécie l'humidité non stagnante. Redoute les fortes sécheresses. Soleil. Paraît plus résistant aux insectes que les autres. Résiste très bien aux vents.		X	X

Genre espèce	Cultivar	caractéristiques	Projet		
			A	B1	B2
<i>Populus alba</i>		Rustique. Sol plutôt léger, riche et frais, mais tolère conditions assez sèches voire carrément inondés, et les sols pauvres alcalins. Soleil. Tolère sans problème les embruns. Capacité à résister aux épisodes de sécheresse.			X
<i>Prunus serrulata</i>	'Pink Giant'	Rustique -15°C. Sol pas trop sec à frais. Soleil.	X		
<i>Prunus amygdalus</i>		Sol léger et profond, surtout bien drainé, préférence pour le calcaire. Soleil. A l'abri des vents glaciaux et des gelées printanières. Parfaitement adapté à la sécheresse une fois implanté.		X	
<i>Prunus padus</i>		Tolère aisément -20°C. Sol ordinaire neutre à légèrement acide avec une nette préférence pour le calcaire, croit dans les sols humides, riches en humus, sols alluvionneux. Soleil ou mi-ombre. A l'abri des vents glaciaux et des gelées printanières. Une fois installé, supporte parfaitement la sécheresse.			X
<i>Prunus spinosa</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil.		X	
<i>Prunus subhirtella</i>	'Autumnalis Rosea'	Très rustique. Sol frais drainant profond, craint le calcaire. Soleil pas trop brûlant, abrité du vent. Végétation saine plus compacte que 'Autumnalis'.	X		
<i>Quercus cerris</i>		Très rustique. Sol sec même médiocre, ne craint pas le calcaire. pH indifférent. Adapté aux situations chaudes et sèches des villes. Très résistant aux oïdiums et insectes. C'est sur zone difficile qu'il prouvera le mieux ses grandes qualités d'arbre d'alignement.	X		
<i>Quercus ilex</i>		-12 à -15°C. Résiste à 5 mois consécutifs de sécheresse. Sol bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil ou mi-ombre. Résiste aux embruns.		X	X
<i>Sorbus aucuparia</i>		Tolère aisément jusqu'à -20°C. Pas de réelle exigence sur la nature du sol, riche, frais, et bien drainé, sans trop de calcaire. Soleil, pour une meilleure croissance, mi-ombre une partie de la journée. Espèce de montagne qui ne convient guère en ville ou dans les régions à atmosphère sèche.			X
ARBUSTES					
<i>Abelia x grandifolia</i>		-12 à -15°C. Résiste à 2,5 mois consécutifs de sécheresse. Sol souple, assez profond. Supporte bien le calcaire. Soleil ou mi-ombre.			X

Genre espèce	Cultivar	caractéristiques	Projet		
			A	B1	B2
<i>Buxus sempervirens</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent, supporte bien le calcaire. Soleil ou ombre.	X		
<i>Choisya ternata</i>		-12 à -15°C. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol léger, bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil ou ombre.			X
<i>Cistus albidus</i>		-10 à -12°C. Résiste à 4,5 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre, caillouteux ou sablonneux, parfaitement drainé. Supporte bien le calcaire (mais peut chloroser en sol lourd). Soleil.			X
<i>Cistus monspeliensis</i>		-12 à -15°C. Résiste à 5 mois consécutifs de sécheresse. Sol léger, bien drainé. Supporte bien le calcaire (mais peut chloroser en sol lourd). Soleil. Résiste aux embruns.		X	X
<i>Cistus ocymoides</i>		-10 à -12°C. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre, caillouteux ou sablonneux, parfaitement drainé. Sol acide ou neutre. Soleil.		X	X
<i>Cistus salvifolius</i>		-12 à -15°C. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre, caillouteux ou sablonneux, parfaitement drainé. Sol acide ou neutre. Soleil ou mi-ombre. Résiste aux embruns.	X		
<i>Cistus x crispatus</i>		-10 à -12°C. Résiste à 4,5 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre, caillouteux ou sablonneux, parfaitement drainé. Supporte bien le calcaire (mais peut chloroser en sol lourd). Soleil ou mi-ombre. Résiste aux embruns.			X
<i>Cornus sanguinea</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 3 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil ou mi-ombre.		X	
<i>Echium candicans</i>		-5°C. Sol drainé pauvre à peu fertile, acide, neutre, ou alcalin, apprécie le calcaire. Plein soleil. Supporte le vent fort et les embruns, apprécie même particulièrement les bords de mer.			X
<i>Laurus nobilis</i>		-12 à -15°C. Résiste à 3 mois consécutifs de sécheresse. Sol souple, assez profond. Supporte bien le calcaire. Soleil ou ombre.		X	X

Genre espèce	Cultivar	caractéristiques	Projet		
			A	B1	B2
<i>Lavandula angustifolia</i>	'Hidcote Pink'	-15°C et plus froid. Résiste à 3 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre, caillouteux ou sablonneux, parfaitement drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil.			X
<i>Lavandula x chaytorae</i>	'Silver Frost'	-12 à -15°C. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre, caillouteux ou sablonneux, parfaitement drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil.			X
<i>Lavandula x intermedia</i>	'Alba'	-15°C et plus froid. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre, caillouteux ou sablonneux, parfaitement drainé. Tous les Lavandins supportent bien le calcaire. Soleil.			X
<i>Lavandula x intermedia</i>	'Dutch'	-15°C et plus froid. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre, caillouteux ou sablonneux, parfaitement drainé. Tous les Lavandins supportent bien le calcaire. Soleil.	X		X
<i>Lavandula x intermedia</i>	'Futura'	-15°C et plus froid. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre, caillouteux ou sablonneux, parfaitement drainé. Tous les Lavandins supportent bien le calcaire. Soleil.			X
<i>Lavandula x intermedia</i>	'Grosso'	-15°C et plus froid. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre, caillouteux ou sablonneux, parfaitement drainé. Tous les Lavandins supportent bien le calcaire. Soleil.			X
<i>Lavatera arborea</i>		-7 à -12°C. Sol bien drainé, léger, pas trop riche, sablonneux, profond, même pauvre et sec. Calcaire toléré, frais pendant la croissance. Soleil, ombre partielle quelques heures dans la journée. A l'abri des vents violents et des grands froids. Parfaitement adapté aux embruns. Supporte une sécheresse passagère, mais sa floraison durera plus longtemps si le sol est frais.		X	
<i>Lavatera thunringiaca</i>		-15°C. Sol sec. Se plaît en sol léger, fertile et bien drainé. Soleil, mi-ombre. Résiste très bien aux embruns.	X		
<i>Lonicera tatarica</i>		-21 à -28°C, très rustique. Sol sans exigence, terre moyennement fertile. Soleil, mi-ombre à ombre. Parfaitement adapté à la sécheresse.	X		

Genre espèce	Cultivar	caractéristiques	Projet		
			A	B1	B2
<i>Nerium oleander</i>	'Barcelona'	-6 à -8°C. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Résiste à la sécheresse lorsque la plante est bien établie, mais a besoin d'un arrosage en profondeur à intervalles bien espacés, durant les 2 ou 3 premières années. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil.			X
<i>Nerium oleander</i>	'Mont Blanc'	Résistance -10°C (feuillage peut être brûlé en cas de gel prolongé). Sol pas trop sec au printemps et en été. Soleil.			X
<i>Nerium oleander</i>	'Mont Rose'	-6 à -8°C. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Résiste à la sécheresse lorsque la plante est bien établie, mais a besoin d'un arrosage en profondeur à intervalles bien espacés, durant les 2 ou 3 premières années. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil.			X
<i>Nerium oleander</i>		Selon les variétés tolère de -4 à -15°C. Peut-être gélif, préfère les climats doux. Préfère les sols frais et sec. Soleil.		X	
<i>Perovskia atriplicifolia</i>	'Blue Spire'	-15°C et plus froid. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol léger, bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil.	X		X
<i>Phillyrea angustifolia</i>		-12 à -15°C. Résiste à 5 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil ou ombre. Résiste aux embruns.	X	X	X
<i>Phlomis fruticosa</i>		-10 à -12°C. Résiste à 5 mois consécutifs de sécheresse. Sol léger, bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil. Résiste aux embruns.			X
<i>Phlomis lychnitis</i>		-12 à -15°C. Résiste à 5 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre, caillouteux ou sablonneux, parfaitement drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil.		X	X
<i>Phlomis purpurea</i>		-10 à -12°C. Résiste à 5 mois consécutifs de sécheresse. Sol léger, bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil. Résiste aux embruns.		X	
<i>Pistacia lentiscus</i>		-12 à -15°C. Résiste à 6 mois consécutifs de sécheresse. Sol souple, assez profond. Supporte bien le calcaire. Soleil ou mi-ombre.			X

Genre espèce	Cultivar	caractéristiques	Projet		
			A	B1	B2
<i>Pittosporum tobira</i>	'Nana'	-12 à -15°C. Résiste à 3 mois consécutifs de sécheresse. Sol souple, assez profond, bien drainé. Supporte bien le calcaire (mais peut chloroser en sol lourd). Soleil ou ombre. Résiste aux embruns.			X
<i>Pittosporum tobira</i>		-12 à -15°C. Résiste à 3 mois consécutifs de sécheresse. Sol souple, assez profond, bien drainé. Supporte bien le calcaire (mais peut chloroser en sol lourd). Soleil ou ombre. Résiste aux embruns.			X
<i>Punica granatum</i>		Tolère -15°C. Sol indifférent, même aride et sec mais sol assez neutre, riche, léger, drainé, pas trop frais serait idéal. Soleil. Excellente résistante à la sécheresse avec une tolérance moyenne à la salinité.			X
<i>Quercus coccifera</i>		Très rustique. Sol frais, sec et très sec. Meilleure résistance au calcaire que <i>Quercus palustris</i> . Assez résistant au sec pourvu qu'il puisse enfoncer ses pivots profondément dans le sol.		X	
<i>Rhamnus alaternus</i>		-10 à -12°C. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol léger, bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil ou ombre. Résiste aux embruns.	X		
<i>Rosa</i>	'Iceberg'	Tolère aisément -15 à -20°C. Sol profond et humifère, pH neutre. Soleil ou mi-ombre.	X		
<i>Rosmarinus officinalis</i>	'Boule'	-12 à -15°C. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil. Résiste aux embruns.			X
<i>Rosmarinus officinalis</i>	'Ile de beauté'	-8 à -10°C. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil. Résiste aux embruns.			X
<i>Rosmarinus officinalis</i>	'Minerve'	-12 à -15°C. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil. Résiste aux embruns.			X
<i>Rosmarinus officinalis</i>	'Rosemaray'	-8 à -10°C. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil. Résiste aux embruns.			X

Genre espèce	Cultivar	caractéristiques	Projet		
			A	B1	B2
<i>Rosmarinus officinalis</i>		Tolère sans problème -14°C. Sol sec et frais, bien drainé. Supporte les sols calcaires. Soleil, mi-ombre. Supporte le climat maritime.	X	X	
<i>Rosmarinus officinalis var. albiflorus</i>		-10 à -12°C. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil. Résiste aux embruns.			X
<i>Senecio maritima</i>		Préfère les climats doux, mais supporte ponctuellement -15°C. Sol bien drainé, apprécie les terres sablonneuses même pauvres et sèches. Soleil indispensable. Vivace en bord de mer.		X	
<i>Spartium junceum</i>		-12 à -15°C. Résiste à 5 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil.		X	X
<i>Spiraea nipponica</i>	'Snowmound'	Très rustique. Tous types de sols même graveleux (pas d'entretien sur cette plante). Meilleur vieillissement que les cultivars car cette espèce se régénère toute seule.	X		
<i>Teucrium fruticans</i>		-10 à -12°C. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol léger, bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil. Résiste aux embruns.		X	
<i>Viburnum tinus</i>		-12 à -15°C Résiste à 3 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil ou ombre	X		
<i>Vitex agnus-castus</i>		Climat doux. Sol indifférent, quasiment tous, même calcaires, toutefois un sol algileux humide en hiver ne lui conviendra pas. Plein soleil, soleil une partie de la journée. En situation abritée des vents froids et des gelées. Résiste à la sécheresse. Tolère les embruns.	X		X
<i>Yucca filamentosa</i>		Tolère aisément -20°C. Sols : tous, même pauvre, caillouteux, légèrement acide ou alcalin, mais surtout bien drainé. Soleil, mi-ombre. Adapté aux embruns et à la sécheresse.			X
GRAMINÉES					
<i>Briza media</i>		-20°C. Sol très humide à sec. Soleil.		X	
<i>Carex elata</i>		-25°C. Sol aquatique à frais		X	

Genre espèce	Cultivar	caractéristiques	Projet		
			A	B1	B2
<i>Melica ciliata</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 3 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre, caillouteux, ou sablonneux, parfaitement drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil ou mi-ombre.		X	
<i>Miscanthus sinensis</i>		-15°C et plus froid. Sol souple, assez profond. Supporte bien le calcaire. Soleil ou mi-ombre.	X		
<i>Miscanthus sinensis</i>	'Gracillimus'	-15°C et plus froid. Résiste à 2 mois consécutifs de sécheresse. Sol souple, assez profond. Supporte bien le calcaire. Soleil ou mi-ombre			X
<i>Panicum virgatum</i>		Tolère facilement de fortes gelées, entre -15 et -20°C (voire plus pour certains cultivars). Sol sec et frais. S'adapte à tous les sols mais pousse particulièrement bien en sol caillouteux, calcaire et plutôt frais. Soleil, mi-ombre. Une fois installé parfaitement adapté à la sécheresse, résiste aux vents et aux embruns.	X		
<i>Phragmites australis</i>		-15°C. Sol aquatique à humide, de préférence acide. Soleil.		X	
<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i>		-22°C. Sol aquatique à très humide. Soleil.		X	
<i>Stipa capillata</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 5 mois consécutifs de sécheresse. Sol léger, bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil.		X	X
<i>Stipa tenuifolia</i> / <i>Stipa tenuissima</i> (autre nom)		-12 à -15°C. Résiste à 5 mois consécutifs de sécheresse. Sol léger, bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil. Peut s'avérer envahissante dans certains milieux spécifiques (steppes pâturées).	X		X
GRIMPANTES					
<i>Campsis radicans</i>	'Flava'	-15°C et plus froid. Résiste à 3 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil.	X		X
<i>Campsis x tagliabuana</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 3 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil.	X		X
<i>Clematis armandii</i>		Tiges meurent vers -12 °C, mais souche résiste jusqu'à -15 °C en terre drainée. Tous sols, riche en humus, frais et bien drainé. "Le pied à l'ombre, la tête au soleil", à l'abri du gel et des vents. Une des rares clématites adaptée au climat méditerranéen ; une fois en terre, supporte bien la sécheresse.			X

Genre espèce	Cultivar	caractéristiques	Projet		
			A	B1	B2
<i>Trachelospermum jasminoides</i>		-12 à -15°C. Résiste à 3 mois consécutifs de sécheresse. Sol souple, assez profond, bien drainé. Sol acide, neutre, ou légèrement calcaire (la plante peut chloroser en sol lourd). Soleil ou ombre (la plante est plus florifère au soleil).			X
<i>Wisteria sinensis</i>		-20°C. Sol profond, humifère, frais mais surtout bien drainé, n'aime pas beaucoup le calcaire ; apports en eau nécessaires en cas d'épisode de sécheresse. Soleil, mi-ombre. A l'abri du vent pour protéger la floraison.			
VIVACES					
<i>Acanthus mollis</i>		-12 à -15°C (le feuillage peut être partiellement brûlé par le froid dès -8°C). Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil ou ombre.	X		X
<i>Acanthus spinosus</i>		-10 à -12°C (le feuillage peut être partiellement brûlé par le froid dès -8°C). Résiste à 5 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil ou ombre.			X
<i>Artemisia x</i>	'Powis Castle'	Gel répété -> maladies. Sol sec, léger, bien drainé, même calcaire. Rocaille. Soleil. Ne craint pas le vent.	X		
<i>Asphodelus fistulosus</i>		-12 à -15°C. Résiste à 5 mois consécutifs de sécheresse. Sol léger, de préférence caillouteux ou sablonneux, parfaitement drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil.		X	X
<i>Centranthus ruber</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil.		X	X
<i>Cistus albidus</i>		-10 à -12°C. Résiste à 4,5 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre, caillouteux ou sablonneux, parfaitement drainé. Supporte bien le calcaire (mais peut chloroser en sol lourd). Soleil.		X	
<i>Dichondra repens</i>		Le feuillage est brûlé par le froid dès -8 °C environ, mais la souche peut repartir au printemps après -10 à -12 °C. Résiste au maximum à 1 mois consécutif de sécheresse. Sol souple, assez profond, bien drainé. En sol lourd, décompacter le sol en profondeur et prévoir un apport de sable de rivière. Supporte bien le calcaire. Arrosages réguliers en été et suivi régulier du désherbage.			X

Genre espèce	Cultivar	caractéristiques	Projet		
			A	B1	B2
<i>Euphorbia amygdaloides subsp. robbiae</i>		-15°C. Sol sec et frais, pauvre, drainé à léger. Soleil, mi-ombre, ombre. Supporte le climat maritime.	X		
<i>Euphorbia characias</i>		-12 à -15°C. Résiste à 5 mois consécutifs de sécheresse. Sol léger, bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil.	X		
<i>Euphorbia cyparissias</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 3 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil.			X
<i>Frankenia laevis</i>		-12 à -15°C. Résiste à 2 mois consécutifs de sécheresse. Sol léger, bien drainé. En sol lourd, décompacter le terrain en profondeur et prévoir un apport de sable de rivière. Supporte bien le calcaire. Soleil. Résiste au sel de bord de mer.			X
<i>Gaura lindheimeri</i>		-12 à -15°C. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil ou mi-ombre.		X	X
<i>Geranium sanguineum</i>	'Album'	-15°C et plus froid. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil ou ombre.		X	
<i>Geranium sanguineum</i>	'Striatum'	Bonne rusticité, jusqu'à -20°C. Sol sec ou même frais. Supporte les sols calcaires. Nécessite des apports en eau en cas d'épisode de sécheresse. Soleil et mi-ombre.		X	
<i>Hedera helix</i>	'Hibernica'	-15°C et plus froid. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent. Supporte bien le calcaire. Soleil ou ombre	X		X
<i>Hieracium pilosella</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 3 mois consécutifs de sécheresse. En cas de sécheresse prolongée, perd une partie de ses feuilles en courant d'été puis se regarnit dès les premières pluies d'automne. Peu exigeante sur la nature du sol (croissance plus rapide la première année en sol léger, bien drainé, décompacté en profondeur). Supporte bien le calcaire. Soleil ou mi-ombre.			X
<i>Hyssopus officinalis</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol léger, bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil.			X
<i>Iberis sempervirens</i>		Se rencontre jusqu'à 2000m d'altitude. Sol drainé, calcaire, humifère. Soleil. Parfaitement adapté à la sécheresse.		X	

Genre espèce	Cultivar	caractéristiques	Projet		
			A	B1	B2
<i>Iris barbata</i>		-28°C. Sol frais et sec.		X	
<i>Iris pseudacorus</i>		Rustique. Sol aquatique à humide. Supporte les sols calcaires. Soleil.		X	
<i>Lavandula latifolia</i>		-12 à -15°C. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre, caillouteux ou sablonneux, parfaitement drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil.		X	
<i>Lippia nodiflora</i>		-10°C. Résiste à la sécheresse. Soleil ou mi-ombre. Tolère les embruns.	X		
<i>Lysimachia vulgaris</i>		-15°C. Sol "aquatique", très humide à frais. Soleil.		X	
<i>Lythrum salicaria</i>		Très rustique. "Aquatique", de préférence sol très humide à frais, mais accepte tous les sols, même secs. Supporte les sols calcaires. Soleil, mi-ombre.		X	
<i>Matricaria tchihatchewii</i>		Tolère -15°C. Sol quelconque, préférence pour les sols sablonneux bien drainés riches en matières organiques. Soleil, mi-ombre une partie de la journée. Une fois installée, parfaitement adaptée à la sécheresse. Peut sécher totalement en été en période de très forte sécheresse et redémarrer avec les premières pluies d'automne.			X
<i>Nepeta racemosa</i>		-20°C. Sol frais et sec.			X
<i>Phyla nodiflora var. canescens</i>		-10 à -12°C. Résiste à 3 mois consécutifs de sécheresse. Bien installé, supporter de longues périodes de sécheresse (perd alors une partie de ses feuilles, puis reverdit rapidement après quelques arrosages rapprochés). Sol indifférent (croissance plus rapide la première année en sol léger, bien drainé, décompacté en profondeur). Supporte bien le calcaire. Soleil ou mi-ombre. Résiste bien au sel en bord de mer.			X
<i>Potentilla verna</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 3 mois consécutifs de sécheresse. Sol indifférent (croissance plus rapide la première année en sol léger, bien drainé, décompacté en profondeur). Supporte bien le calcaire. Soleil.			X
<i>Salvia lavandulifolia subsp. blancoana</i>		-12 à -15°C. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre, caillouteux ou sablonneux, parfaitement drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil.			X

Genre espèce	Cultivar	caractéristiques	Projet		
			A	B1	B2
<i>Salvia sclarea</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol léger, bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil.			X
<i>Santolina chamaecyparissus</i>		-12 à -15°C. Résiste à 5 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre, caillouteux ou sablonneux, parfaitement drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil. Résiste aux embruns.	X		
<i>Thymus hirsutus</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 2 mois consécutifs de sécheresse. Sol léger, décompacté en profondeur, bien drainé. En sol lourd, décompacter le terrain en profondeur et prévoir un apport de sable de rivière. Supporte bien le calcaire. Soleil. Nécessite un arrosage régulier en zone méditerranéenne, de l'ordre d'une fois par semaine en été.			X
<i>Thymus vulgaris</i>		-15°C et plus froid. Résiste à 4 mois consécutifs de sécheresse. Sol pauvre, caillouteux ou sablonneux, parfaitement drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil.		X	X
<i>Verbena bonariensis</i>		La végétation est détruite par le froid dès -4 à -6 °C, mais la plante peut repartir de souche au printemps après des températures de l'ordre de -8 à -10 °C. Résiste à 2,5 mois consécutifs de sécheresse. Sol souple, assez profond, bien drainé. Supporte bien le calcaire. Soleil.			X

	Diplôme : Ingénieur Spécialité : Paysage Spécialisation / option : Paysage : Opérationnalité et Projet Enseignant référent : Élise GEISLER
Auteur(s) : Ariane SULPICE Date de naissance* : 29 janvier 1998	Organisme d'accueil : JNC Sud Adresse : 5 rue Gustave Nadaud 69007 LYON
Nb pages : 69 Annexe(s) : 5	
Année de soutenance : 2020	Maître de stage : Anne Pascale PERTUS
Titre français : Les enjeux de l'utilisation des plantes résistantes à la sécheresse dans l'aménagement des espaces publics urbains en France métropolitaine Titre anglais : Stakes of using drought resistant plants for the development of urban public spaces in metropolitan France	
Résumé (1600 caractères maximum) : Le végétal, première des ressources du paysagiste, est un matériau vivant s'inscrivant dans un environnement fluctuant. Dans le contexte actuel de changements climatiques et de raréfaction de la ressource en eau, les plantes résistantes à la sécheresse retrouvent leurs lettres de noblesse. En parallèle, l'expansion urbaine fait peser sur ces espaces de nombreuses pressions, auxquelles se heurtent des agences de paysage. De ce fait, la réalisation en ville de projets utilisant ce type de végétaux rencontre parfois des écueils en termes de qualité de reprise et de pousse. Une synthèse bibliographique précisera tout d'abord les écosystèmes originels des plantes supportant au minimum un mois de sécheresse continue chaque année, puis les contraintes spécifiques du milieu urbain. Un regard sera ensuite porté sur la réalité de terrain concernant leur utilisation dans les espaces publics en ville. L'exploitation d'entretiens menés avec des professionnels de l'aménagement éclairera l'évolution des choix végétaux et l'adaptation des techniques de plantation et d'entretien. L'analyse de deux exemples de projets, incluant l'utilisation des plantes résistantes à la sécheresse et l'absence d'arrosage à terme, complètera cette synthèse des usages. Les principaux enjeux de l'utilisation de ces plantes adaptées aux milieux secs seront finalement exposés en termes d'atouts et de limites selon trois axes thématiques - l'eau, l'esthétique, l'urbanité - et mis en perspective dans une démarche globale de conception d'un espace végétalisé « idéal ».	
Abstract (1600 caractères maximum) : Plants, first resources for the landscape designer, are a living material in keeping with a changing environment. Within the present context of climate change and depletion of water resources, drought resistant plants rediscover their nobility. More, urban expansion is a heavy weight on these spaces that landscape agencies have to fight. So, the realization, in town, of projects using this kind of plants, sometimes come across snags for effectiveness of revival and growing. A bibliographic synthesis will precise, first the original ecosystems of plants which support, at least, one month of continuous drought each year, then specific constraints of urban environment. After that, a look will be given to the practical reality about their use in public spaces in town. Interviews with professionals of town planning and other landscape actors will throw light in the evolution of choosing plants and on the adaptation of techniques of planting and maintenance. The analysis of two models of projects, including the use of drought resistant plants, and the avoidance of watering at the end, will complete this synthesis of practices. The main stakes of using these plants adapted to a dry environment will finally be exposed as advantages and limits according to three thematic axes: water, esthetic, urbanity, and put in prospect in a global process of designing an ideal vegetal space.	
Mots-clés : adaptation / aménagement urbain / contraintes / sécheresse / paysage Key words: adaptation / constraint / drought / landscape / urban development	

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