HAL
open science

L'importance des arbres dans la capitale mexicaine : le cas de la Roma et de la Condesa

Laure Lucadou

To cite this version:

Laure Lucadou. L'importance des arbres dans la capitale mexicaine : le cas de la Roma et de la Condesa. Architecture, aménagement de l'espace. 2017. dumas-01807776

HAL Id: dumas-01807776

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01807776

Submitted on 5 Jun 2018

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.

Copyright

MÉMOIRE DE MOBILITÉ

L' IMPORTANCE DES ARBRES DANS LA CAPITALE MEXICAINE - LE CAS DE LA ROMA ET DE LA CONDESA

Laure LUCADOU

ENSA TOULOUSE
ANNÉE 2016 - 2017
DIRIGÉ PAR CATHERINE AVENTIN

TECTURE DE TOULOUSE
ITEUR

- SOMMAIRE

- INTRODUCTION ..... p. 6

Un intérêt historique dans la culture mexicaine
Le renouveau de l'arbre en ville à Mexico
Une expérience qui amène à un questionnement

I - LA PRÉSENCE D'ARBRES DANS LA ROMA ET LA CONDESA À MEXICO : UNE IDENTITÉ ISSUE DE L'IMPORTATION D'UN MODÈLE ..... p. 13

1 - Présentation et historique de la Roma et de la Condesa ..... p. 14

La ville de Mexico
La Roma
La Condesa
Le peuplement de la Roma et la Condesa

2 - L'avenue Alvaro Obregon et la comparaison avec les boulevards parisiens ..... p. 19

Définition du « boulevard » parisien originel
Les boulevards de la « deuxième ceinture »
Les arbres, facteurs d'identité

3 - Une importation adaptée ? ..... p. 24

L'importation d'un modèle complet ou juste d'une typologie spatiale ?
Choix justifié ou simple copie d'un « modèle » ? Les arbres étaient-ils adaptés à leur milieu?
Climat de Paris
Climat de Mexico

4 - Influence de l'importation du modèle parisien sur les autres espaces publics caractéristiques ..... p. 34

La Roma et la Condesa
Autre lieu caractéristique de la ville : l'avenue Reforma

II - LES ARBRES ET LEURS ATOUTS ENVIRONNEMENTAUX ..... p. 41

1 - Définition du phénomène d'« îlot de chaleur urbain » ..... p. 42

Sources de chaleurs
> Le chauffage naturel de la Terre
> Les sources anthropiques
Comportement des matériaux
> L'inertie thermique
> L'albédo
> La combinaison de l'inertie thermique et de l'albédo

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS A DROIT D'AUTEUR

L'influence du modèle d'urbanisation

2 - Rôles contre le phénomène d' « îlot de chaleur urbain » ..... p. 50

Diminution de la chaleur

> Humidité

> Albédo

> Ombre

Amélioration de la qualité de l'air

> Diminution du taux de Co_2 dans l'air

> Absorption de la pollution

> Création de vent, aération

3 - Autres rôles p. 62

Amélioration de la qualité du sol

> Stabilisation du sol

> Gestion des eaux de pluies

> Diminution de la pollution de l'eau

Facteur de biodiversité

Rôle psychologique et social

III - LES LIMITES DE CETTE PRÉSENCE EN MILIEU URBAIN p. 71

1 - Mauvaises conditions de développement causées par le milieu urbain p. 72

Pollution atmosphérique

> Dioxyde de soufre

> Oxydes d'azote et PAN

> Ozone

> Poussières et particules

> Autres polluants

> Pollution lumineuse

Mauvaises conditions du sol

> Caractéristiques du sol urbain

> Pollution du sol

> Stress hydrique

2 - Mauvaise gestion des arbres urbains p. 80

Problèmes de planification

Une place trop restreinte pour l'arbre

De multiples dégradations comme conséquences

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

> Dégradation des trottoirs
> Dégradations liées aux réseaux sous-terrains
> Dégradations liées aux réseaux aériens
> Dégradations liées à un espacement aléatoire

Taille abusive

> Élagage dû à la mauvaise planification
> Élagage dû au manque de connaissances
> Élagage dû au vandalisme et aux chocs

Un suivi insuffisant

3 - Interconnexions des facteurs p. 90

Incidences des différents facteurs sur les maladies et les ravageurs

> Incidence de tous les facteurs sur les maladies et les ravageurs
> Incidence de la sécheresse sur les maladies et les ravageurs
> Incidence de la pollution sur les maladies et les ravageurs

Incidences de l'atteinte au bon fonctionnement d'un arbre sur les conditions de vie en ville

> Sur le bien être
> Sur la santé
> Sur la sécurité
> Sur la voirie et le mobilier urbain

- CONCLUSION p. 97

- REMERCIEMENTS p. 101

- TABLE DES ILLUSTRATIONS p. 103

- BIBLIOGRAPHIE p. 110

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

- INTRODUCTION

Les arbres, très présents dans la culture mexicaine

Les arbres ont toujours été très importants dans l'histoire du Mexique et de sa capitale, et ce depuis ses origines. En effet, dans la culture préhispanique, l'arbre, tout comme d'autres éléments naturels, était considéré comme un être animé de caractère sacré. De par ses caractéristiques particulières, il représentait la vie et le temps grâce à ses rythmes saisonniers, et l'éternité grâce à sa régénération.
Il a joué un rôle symbolique important dans la formation de Mexico-Tenochtitlan, la capitale de l'Empire Aztèque. En effet, la ville de Mexico est située dans une vallée endoréique, ce qui signifie qu'elle n'a pas de sortie jusqu'à la mer. Il s'est donc formé un système de cinq lacs dans cette vallée, dont le point le plus bas est à 2200 m d'altitude environ. Quand les Aztèques sont arrivés dans cette vallée, quelques villages y étaient déjà installés. Ils prirent peur et décidèrent d'envoyer le peuple Aztèque sur une petite île au milieu des lacs, dans l'espoir qu'ils soient loin, isolés et les laissent en paix. Cette décision fût une erreur, puisqu'en étant sur une île, il était difficile de les attaquer sans qu'ils n'aient le temps de voir arriver et de contrer leurs adversaires. Il était donc plus facile pour eux d'aller attaquer les petits villages. Les Aztèques, forts de cette position, vainquirent alors leurs voisins, ce qui fût le point de départ du grand empire Aztèque. Afin de s'agrandir, ils eurent l'idée de copier la technique d'un petit village au sud de la vallée, Xochimilco, qu'était les « chinampas ». Cette technique permettait de créer des îlots artificiels aux endroits où les lacs étaient les moins profonds, dans le but de pouvoir les cultiver. Les paysans de Xochimilco mettaient alors des poteaux de bois aux quatre angles de la surface à transformer en terrain cultivable, du tissu ou de la maille entre ces derniers puis remplissaient le tout de terre. Ils semaient sur cette terre des arbres, les « ahuejotes », qui demandaient beaucoup d'eau et permettaient d'unir fermement la terre. Cette technique rendait la terre hautement fertile et productive, et aujourd'hui, cette agriculture peut encore se trouver dans la zone de Xochimilco. Avec cette stratégie, l'Empire Aztèque a commencé à s'accroître énormément, en gagnant du terrain sur les lacs[1].
Plus tard, les Espagnols vinrent coloniser le Mexique et combattre les Aztèques. L'empire s'était énormément étendu et avait construit plusieurs traversées jusqu'aux berges ainsi qu'un aqueduc. L'empereur aztèque Moctezuma accepta de laisser entrer les espagnols sur leur île afin de négocier avec eux, mais la discussion se termina par la bataille très connue de la « Noche Triste », le 30 juin 1520. Les Espagnols quittèrent l'île au plus vite, mais les aztèques essayaient de couper les traversées. Les soldats ayant pû fuir coururent se réfugier sur les berges du lac. Il parait que ce soir-là, alors qu'il cheminait vers Tacuba, non loin de là, Hernan Cortès, le conquérant espagnol, se trouva face à un ahuehuete. Avec son armée décimée, il se réfugia sous cet arbre et pleura en essuyant sa défaite. Cet évènement très important est toujours dans les mémoires au Mexique, et les vestiges de l'arbre de la « Noche Triste » toujours conservés, selon la même source.

1 - Intervention de Mr Arq. Jose Maria Nava Townsend sur la ville de Mexico, dans le cours de Mme Arq. Carolyn Aguilar : *Ciudad, Evolucion de la forma urbana,* le 7 avril 2016, cours de licence, IBERO Ciudad de Mexico

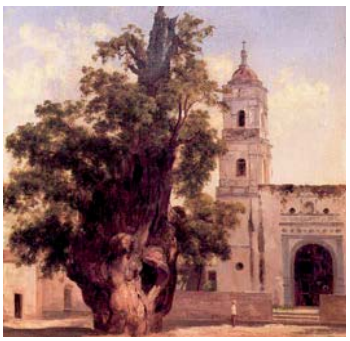
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Un autre arbre a un caractère sacré au Mexique : celui de Santa Maria del Tule dans l'État de Oaxaca. Il est reconnu comme étant l'arbre dont le diamètre de tronc est le plus élevé, et il aurait plus de 2000 ans. Selon une légende zapotèque[2], il aurait été planté par Pechoca, un sacerdote du Dieu du vent Ehécatl, dans un lieu sacré. Il est classé au Patrimoine Culturel de l'Humanité par l'UNESCO depuis 2003, et est célébré chaque année par une grande fête en son honneur.
L'arbre de la « Noche Triste », le gigantesque « plus gros arbre du monde » de Santa Maria del Tule, ceux du bois de Contador à Texcoco, et ceux situés dans le bois de Chapultepec sont ou ont tous été des ahuehuetes, ou taxodium mucronatum. En reprenant l'importance qu'a eu l'ahuehuete, qui porte aussi le nom de « Cyprès Moctezuma », nom d'un empereur aztèque, dans la culture mexicaine, cette espèce a été déclarée en 1932 Arbre National mexicain par la Société Forestière Mexicaine, aujourd'hui éteinte.
Un autre arbre important pour les aztèques était l'« oyamel », le sapin ou l'abies religiosa. Natif des montagnes du centre et du sud du Mexique, il se disait qu'il avait été envoyé comme un don spécial des dieux pour protéger les montagnes et les sources. Son usage et son respect a traversé les générations. Les indigènes utilisaient ses branches dans les églises,

- Fig. 2 : Ahuehuete de Santa Maria del Tule et l'église du même nom

- Fig. 4 : Vestige de l'arbre de la « Noche Triste »

- Fig. 3 : Ahuehuete de Santa Maria del Tule



- Fig. 5 : « Ahuehete de la Noche Triste »

- Fig. 6 : Sapins dans le parc national Cumbres del Ajusco

2 - La civilisation zapotèque est une civilisation amérindienne précolombienne qui s'est épanouie dans la vallée de Oaxaca, il y a au moins 2500 ans. On trouve des vestiges archéologiques dans la ville antique de Monte Albán, à côté de la ville de Oaxaca, sous forme de bâtiments, de jeux de balle, de tombeaux et d'œuvres d'art.

BIBLIOTHÈQUE NUMÉRIQUE ENSA TOULOUSE
SOUS DROIT D'AUTEUR

pour mettre les images des saints de leur dévotion dessus ; c'est de là que vient le nom spécifique de « religiosa »[3].

Le renouveau de l'arbre en ville à Mexico

La vallée de Mexico, étant une vallée endoréique occupée par cinq lacs, était souvent frappée par des inondations puisqu'elle n'avait pas de sortie vers la mer. À l'époque de la vice-royauté et après les inondations de 1629, des hommes ont donc commencé à essayer de l'assécher, ce qui est aujourd'hui le cas, même si cela n'a pas évité d'autres inondations de se produire au XVIIe et XVIIIe siècles. En 1900, le président de l'époque Porfirio Diaz inaugurait le « Sistema de Desagüe del Valle de México » ou système d'écoulement des eaux, qui continue de fonctionner aujourd'hui et empêche l'augmentation du niveau d'eau dans la vallée. Avec ces grandes constructions, les lacs fûrent donc asséchés en quasi totalité, et l'exploitation de ceux qui restaient pour la consommation humaine et industrielle provoca leur entière disparation. Il reste aujourd'hui une très infime partie des lacs originels qui sont les systèmes de canaux irriguant les quartiers de Xochimilco et Tláhuac, ainsi que les marais de Tláhuac. L'eau des ruisseaux qui continue d'arriver dans la vallée est conduite soit au dernier fragment de lac qui reste, soit au grand canal d'écoulement pour être conduite vers le Golfe du Mexique.

L'assèchement des cinq lacs de la Vallée de Mexico au fil de l'Histoire laissa l'image d'une ville grise et poussiéreuse, dont les rues et les places n'avaient pas d'arbres. Pour cela, à la fin du XVIe siècle, il s'est créé une promenade afin d'apporter de la beauté à la ville et de la récréation aux classes hautes de la société, qui fût appelée l' « Alameda » pour tous les nombreux « alamos » ou peupliers qui y ont été plantés à l'origine. Dans le même temps, beaucoup des « ahuehuetes » qui grandissaient autour du lac de Chapultepec ont été abattus, car il se disait qu'ils salissaient l'eau, lui donnaient une odeur désagréable et étaient la cause de la formation de marécages.

Avec la disparition des lacs, la navigation a laissé la place au transport terrestre par le moyen de chevaux. Ce changement de moyen de transport impliqua l'introduction d' « arbres d'alignements », placés au bord des rues, lesquels fûrent un nouvel élément dans les zones urbaines et servirent pour rompre la monotonie du paysage.

En 1778, le Vice-Roi de Bucareli amena le concept de l'avenue conçue comme une promenade et fit construire le Paseo - promenade - qui porte aujourd'hui son nom. Dans cette avenue furent introduits des arbres pour marquer le tracé de la promenade et créer à la fois des zones d'ombres et de fraicheur pour les piétons. Plusieurs promenades avec ce même but ont été construites postérieurement comme le Paseo Nuevo, la Calzada de la Piedad, et le Paseo de la Viga, entre autres.

Pendant l'intervention française, l'empereur Maximilien ordonna le tracé de l'avenue de

3 - Martinez Gonzalez, Lorena et Chacalo Hilu, Alicia (1994), *Los arboles de la ciudad de Mexico,* Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, 351 pages, p. 24-27

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

l'Empire ou Promenade de l'Impératrice, aujourd'hui connu comme Paseo de la Reforma. Cette promenade s'est basée sur les nouveaux concepts urbanistiques européens qui tendaient à l'établissement de voies très larges comme celles de Paris, selon le livre *Los arboles de la Ciudad de Mexico*[4]. Dans cette avenue, le tracé a été renforcé avec des frênes alignés sur différents files de chaque côté de l'avenue. Elle est aujourd'hui l'un des symboles de la ville de Mexico.

Les aires vertes urbaines prirent de l'importance pour la première fois du point de vue environnemental au début du XXe siècle. En effet, dans les Congrès Internationaux d'Hygiène et d'Urbanisme célébrés pour la première fois en 1900, dans le cadre de la Grande Exposition Universelle de Paris et plus tard en 1907 à Berlin, on avertissait sur les nombreuses conséquences qu'amenait le grand développement des principales capitales d'Europe comme Londres, Paris, Berlin, et Rome, en incluant les migrations vers les villes, et avec cela les problèmes d'hygiène et de salubrité, en plus d'altérations du climat et de l'atmosphère. Leurs résolutions proposaient qu'il devrait s'établir des espaces libres pour des parcs et des jardins, en plus d'aires de jeux pour enfants et des aires de sport sur au moins 15% de l'aire urbanisée ou à urbaniser, et devraient compter dans ses limites une zone protégée ou de réserve forestière, sur pas moins de 10 km^2 de végétation permanente et dense. Ces résolutions ont été promues au Mexique et surtout à Mexico, entre 1901 et 1940, par des centaines d'actions surtout réalisées par les premières générations de gardes forestiers mexicains, selon la même source.

À cette période a été conçu pour la première fois un plan général de zones vertes pour la ville de Mexico qui incluait, en plus de parcs et de jardins, un système de parcs en banlieues et la formation de réserves forestières. Tout cet élan d'intérêt culmina durant la période cardéniste, c'est-à-dire lorsque Lazaro Cardenas était au pouvoir, de 1934 à 1940, durant laquelle ont été créés 34 parcs nationaux en moins de cinq ans. Il faut souligner le rôle très important de Miguel Angel de Quevedo, ingénieur et chercheur mexicain qui a dédié la plupart de sa vie à la protection de la flore. Il a été un grand acteur de cet élan d'intérêt pour la végétation et a permit, au début du XXe siècle, d'augmenter le nombre de parcs dans la ville, de créer des parcs nationaux et ainsi que les très importantes pépinières de Coyoacan.

Une expérience qui amène à un questionnement

Cette suite d'événements, dont j'ai eu connaissance pendant mon année sur place, témoigne d'une certaine importance de l'arbre dans l'histoire de la ville de Mexico et dans la culture mexicaine. Elle se traduit par la présence physique très marquée de végétation dans certains quartiers, comme la Roma et la Condesa où j'ai vécu. Cette forte présence d'arbres est la première chose que j'ai remarqué en parcourant les rues de ces quartiers, tant elle est importante, et a été le déclencheur de cette réflexion. Après avoir pratiqué cette ville, il me

4 - Martinez Gonzalez, Lorena et Chacalo Hilu, Alicia (1994), *Los arboles de la ciudad de Mexico,* Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, 351 pages, p. 26

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

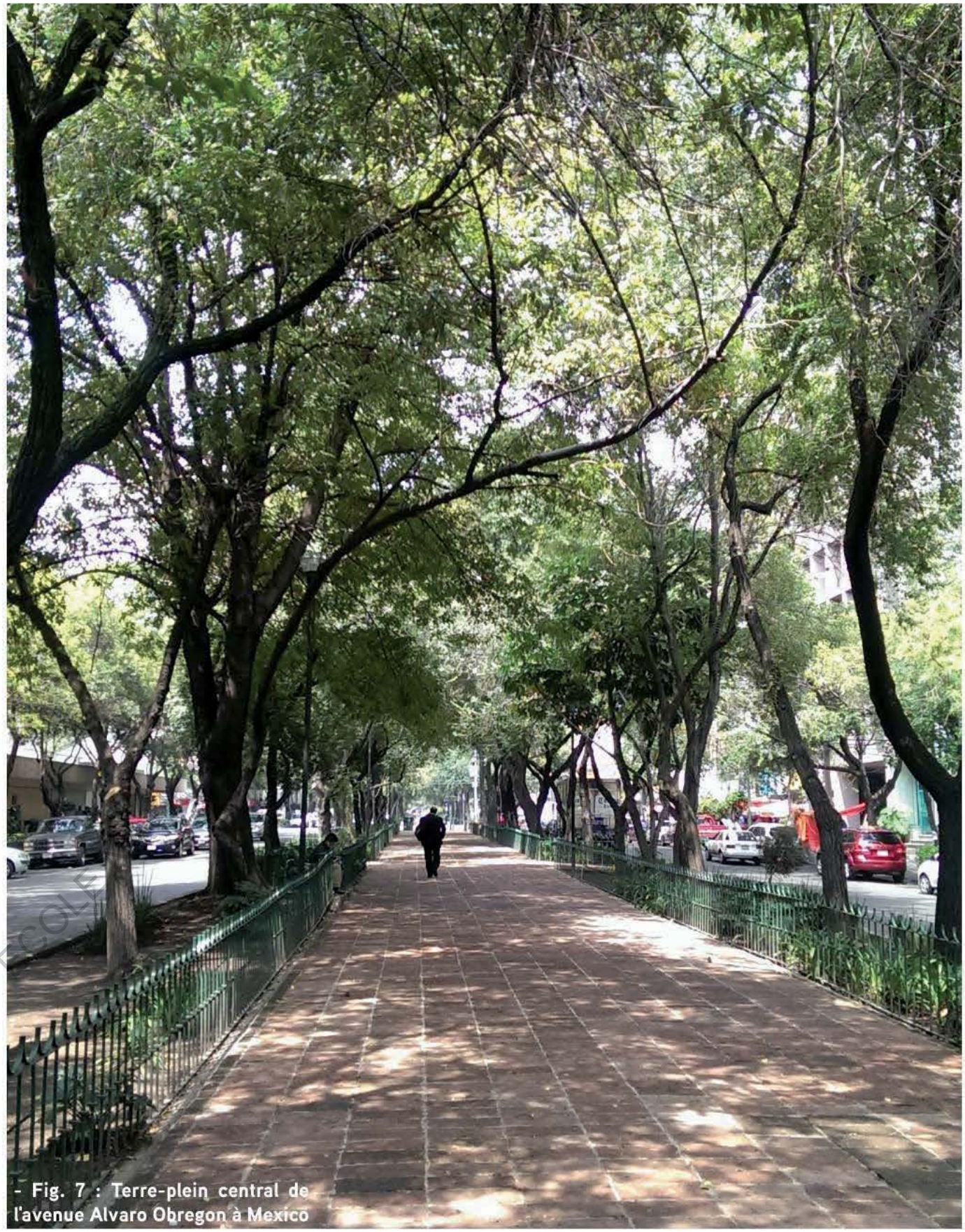
semble que les quartiers de la Roma et de la Condesa sont parmi les plus représentatifs de cette particularité. Je vais donc m'attacher à étudier le cas précis de ces quartiers que je connais afin de traiter de l'importance des arbres dans la ville de Mexico, et particulièrement dans la zone spécifiée.
J'ai décidé de travailler sur ce thème après avoir observé cette forte présence d'arbres, qui m'a beaucoup questionné. Pourquoi y a-t-il autant d'arbres ? Pourquoi dans ces quartiers plus que dans les autres ? Est-ce que leur fonction est seulement esthétique ou ont-ils un rôle précis ? Une présence si forte d'arbres pose-t-elle des problèmes ? J'ai alors regroupé tout ce questionnement en une seule problématique :

En quoi la présence des arbres dans la Roma et la Condesa à Mexico est-elle importante ?

Je vais donc m'attacher à traiter de l'histoire des quartiers de la Roma et de la Condesa afin de chercher l'origine de la forte présence d'arbres de ces quartiers, puis je vais voir quels peuvent être les bénéfices des arbres urbains et s'ils ont du sens dans la ville de Mexico. Enfin, je vais m'intéresser aux différents problèmes qu'entraînent et que subissent les arbres urbains, et ce particulièrement dans la capitale mexicaine.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

I - LA PRÉSENCE D'ARBRES DANS LA ROMA ET LA CONDESA À MEXICO : UNE IDENTITÉ ISSUE DE L'IMPORTATION D'UN MODÈLE



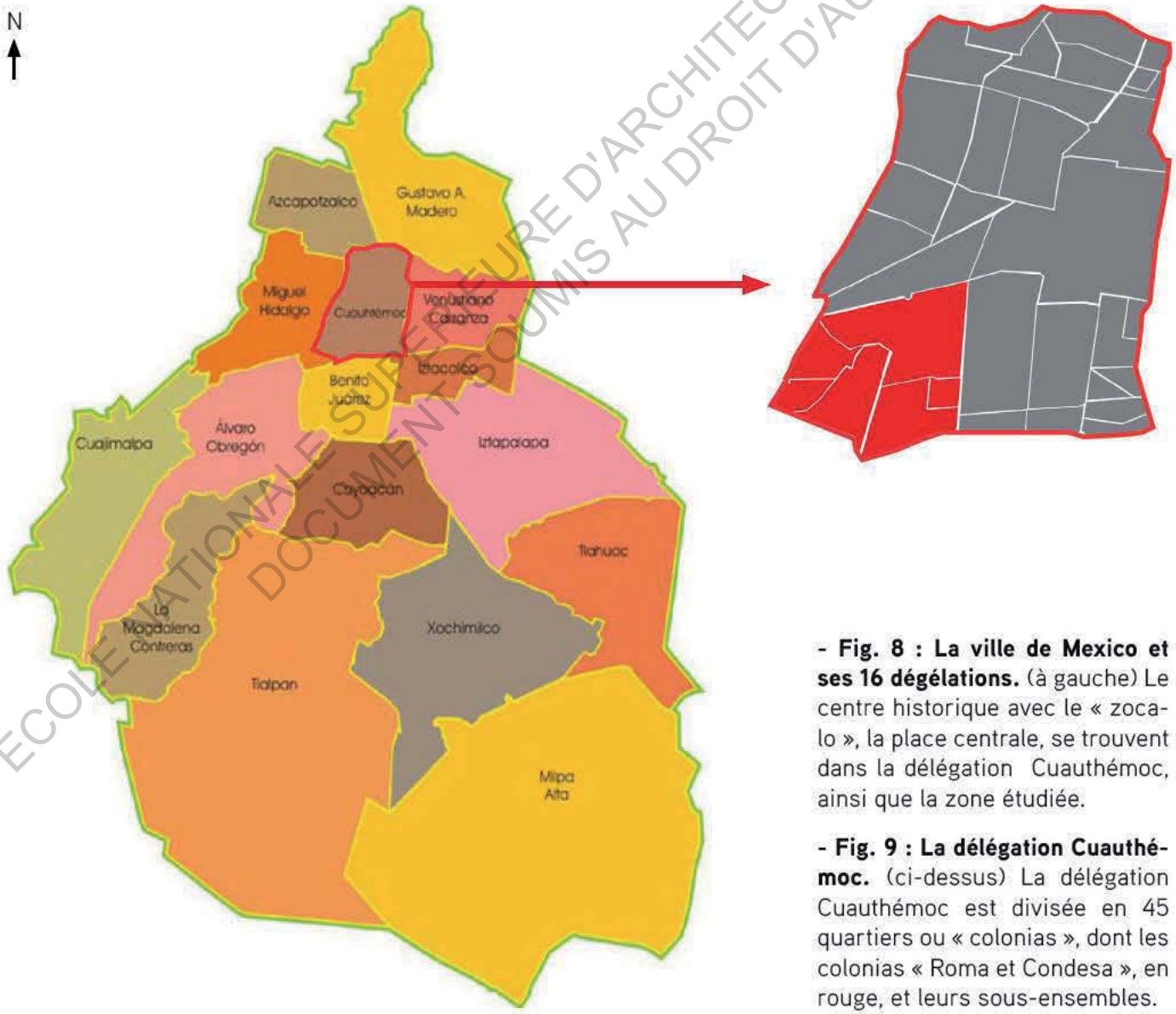
- Fig. 7 : Terre-plein central de l'avenue Alvaro Obregon à Mexico

ENSAPLB

La ville de Mexico

La Roma et la Condesa se situent au cœur de Mexico, officiellement nommée « Distrito Federal » jusqu'en janvier 2016, et aujourd'hui « Ciudad de Mexico » ou « CDMX » en abrégé. Elle est la capitale économique, politique et culturelle d'un pays comptant environ 129 millions d'habitants. Elle est l'une des constituantes de la « Zona Metropolitana del Valle de México », ou Zone Métropolitaine de la Vallée de Mexico, qui est une agglomération de près de 23 millions d'habitants, soit l'une des plus peuplées du monde. A elle seule, elle regroupe près de 9 millions d'habitants sur une superficie d'approximativement 1495 km^2. Elle est composée de 16 délégations, elles-mêmes sous-divisées en quartiers ou « colonias », comme on peut le voir sur la figure 8.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



- Fig. 8 : La ville de Mexico et ses 16 dégélations. (à gauche) Le centre historique avec le « zocalo », la place centrale, se trouvent dans la délégation Cuauthémoc, ainsi que la zone étudiée.

- Fig. 9 : La délégation Cuauthémoc. (ci-dessus) La délégation Cuauthémoc est divisée en 45 quartiers ou « colonias », dont les colonias « Roma et Condesa », en rouge, et leurs sous-ensembles.

Le secteur plus précisément étudié se trouve dans la délégation de Cuauhtémoc - figure 9, qui compte 45 « colonias ». Il est généralement nommé « Roma et Condesa », pour parler de deux quartiers distincts, cependant il correspond en fait à 5 quartiers différents. En effet, la « Condesa » est composée de 3 quartiers : la Condesa, Hipodromo, et Hipodromo-Condesa, et « la Roma » de deux : la Roma Norte et la Roma Sur, come le montre la figure 10.
Ces deux zones ont une histoire très importante et un rôle clé dans la ville de Mexico. Elles ont été fondées en 1902, comme conséquence d'une demande croissante de la population, et donc de logements, et d'une impulsion modernisatrice et européanisante promue par le régime de Porfirio Díaz. Jusque là, quasiment toute la population résidait au centre de la capitale mais vivait dans des conditions précaires et insalubres, sans eau potable, ni drainage et rues pavées.

- Fig. 10 : Composition de la Roma et de la Condesa. Ces cinq quartiers forment en réalité ce que l'on appelle généralement « la Roma et la Condesa », siuées dans la délégation Cuauthémoc.

N

PROGRAMME DE RECHERCHE DE L'ENSA DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

La Roma

Le 24 janvier 1902, la Compagnie de Terrains « Calzada de Chapultepec » acheta alors un terrain appelé « Potrero de Romita », dans le but d'établir un quartier doté de tous les services nécessaires. Le contrat fut approuvé par la mairie le 30 décembre 1902 et le quartier prit le nom du village voisin de « Romita ».

Le quartier fût projeté comme une synthèse des concepts de la tradition urbanistique française de la période haussmannienne : larges avenues arborées, places avec jardins, voirie de trace radiale, et des dernières innovations dans les systèmes de pavements et de drainage développées aux États-Unis. La Roma fût donc construite avec de larges rues asphaltées, de 20 mètres de large en général, ainsi que des avenues et leurs terre-pleins centraux engazonnés, ce qui était aussi une grande nouveauté à Mexico. La nouvelle zone fût équipée d'eau potable, d'un système d'égouts, de drainage et d'éclairage public. Le dessin urbanistique du quartier comprenait aussi un jardin central, à la différence du traditionnel « zocalo[5] », qui était le Parc Roma, actuellement Place Rio de Janeiro, et était équipé de bancs en fer autour d'une grande fontaine, le tout dans un contexte très végétalisé. Le journal *Le Monde Illustré* du 16 mars 1913[6] affirmait que la Roma était une « preuve palpable de [leur] progrès matériel, dirigé par l'évolution du bon goût, c'est ce quartier qui [leur] donne bonne réputation et prestige dans le monde civilisé ». La Roma offrait donc un espace urbain plus ample, ouvert et détendu, et a donc attiré les classes élevées de la ville grâce à ses prestations nouvelles.

L'actionnaire principal de la Compagnie de Terrains « Calzada de Chapultepec » était Walter Orrin, connu non seulement pour ses idées de rénovation de la ville de Mexico, mais aussi pour être le directeur d'un cirque connu dans le pays à cette époque dans lequel jouait

- Fig. 11 : Panneau indiquant la construction du quartier de la Roma au début du XXème siècle.

- Fig. 12 : Le parc Mexico, au centre du quartier de la Condesa, quelque peu après sa construction.

5 - « Zocalo » : mot originaire du latin « socculus », qui correspond au socle d'un bâtiment et qui permet d'élever ses fondations à un même niveau afin d'en faire une base. Par extension, au Mexique, ce mot est employé pour designer la place principale d'une ville voire d'un quartier, qui est donc son socle ou sa base.

6 - « Roma, Condesa, 111 años de historia », MODO (Museo del Objeto del Objeto), Mexico DF, 13 p., p.3

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

le clown anglais Richard Bell. Il décida de donner aux rues de la Roma les noms de villes mexicaines où il a reçu le plus d'applaudissements[7].

La Condesa

En 1881, Pedro Rincon Gallardo, conseiller municipal à la mairie, proposa de créer un Jockey Club dans le pays, ce qui fût chose fait un an plus tard, au nord du centre historique. L'hippodrome de Peralvillo fût alors utilisé pendant quasiment 20 ans, jusqu'au déménagement des classes élevées vers la Roma et la Condesa.
Le 1er octobre 1902 s'est constituée la compagnie du quartier de la Condesa entre 166 associés, qui ont ensuite acheté l'ancienne hacienda de Santa Maria del Arenal, ayant appartenu à la très riche Comtesse de Miravalle. C'est cette comtesse, « condesa » en espagnol, qui donna le nom au quartier[8]. La Compagnie fut approuvée le 30 décembre 1903 par la mairie, un an plus tard que celle de la Roma, et fut obligée par cette dernière à créer des espaces habitables sains, avec de l'eau et des rues pavées, arborées, et un parc[9].
La confirmation du prestige de ce quartier vint avec l'inauguration de l'arène de taureaux, construite en 1907 pour accueillir 23000 spectateurs, et de l'hippodrome en 1910, flambants neufs et très attractifs. En effet, comme les trains n'allaient pas jusqu'à l'entrée de l'hippodrome de Peralvillo, et que l'élite de cette époque devait traverser des champs poussiéreux pour s'y rendre, le Jockey Club décida de changer son hippodrome de lieu, la Condesa offrant un meilleur terrain. Après son inauguration 8 ans plus tard, le succès prévu ne fût pas au rendez-vous, et la Révolution Mexicaine[10] compliqua les activités du club. L'hippodrome fût donc utilisé dans les années suivantes pour des festivités et courses multiples, ce jusqu'en 1925, date où le jockey Club vendit les terrains.
Aujourd'hui, l'arène de taureaux et l'hippodrome ont tous les deux laissé leur trace, car c'est à l'hippodrome que la Condesa doit son tracé très particulier, ainsi que celui, elliptique, de l'avenue Amsterdam, qui est donc la seule du quartier à porter un nom européen puisque les rues de la Condesa ont pris la même nomenclature que celles de la Roma. Il a également laissé place au Parc México, qui est le centre du quartier, et qui comprend de nombreuses fontaines, un petit lac peuplé de canards, des étangs et miroirs d'eau, ainsi qu'un théâtre à l'air libre de style Art Déco qui font de lui un des plus beaux parcs de la ville. L'arène de taureaux a quant à elle été remplacée par un grand centre commercial, le Palacio de Hierro, équivalent des Galeries Lafayettes en France.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

7 - « Historia de la colonia Roma », 14.04.2009, dernière consultation le 01.01.2017, http://www.garrosccr.com/historiacoloniaroma.html
8 - « La historia de la condesa por la que la Condesa se llama así... », *MXCity Guia Insider*, dernière consultation le 01.01.2017, http://mxcity.mx/2016/05/poco-la-historia-la-condesa-la-la-condesa-se-llama-asi/
9 - « Roma, Condesa, 111 años de historia », MODO (Museo del Objeto del Objeto), Mexico DF, 13 p., p.4
10 - La Révolution Mexicaine a duré 10 ans, de 1910 à 1920.
11 - « Colonia Condesa (Ciudad de México) », *Wikipédia*, dernière consultation le 01.01.2017, https://es.wikipedia.org/wiki/Colonia_Condesa_(Ciudad_de_M%C3%A9xico)

Le peuplement de la Roma et de la Condesa

Comme expliqué précédemment, les classes élevées ont commencé à quitter le centre historique devenu populaire et insalubre, pour construire des maisons majestueuses dans la Roma et la Condesa. Elles ont donc été le lieu de résidence de la classe haute de la population, mais aussi de la communauté juive mexicaine ainsi que de beaucoup de communautés étrangères installées au Mexique comme l'espagnole, l'argentine, l'allemande et l'anglaise.
En effet, au fil des années, la Roma et la Condesa se sont transformées en une zone hospitalière pour ceux qui cherchaient une vie meilleure, et en un refuge pour ceux qui fuyaient ou étaient expulsés de leurs états ou pays pour des raisons politiques. Des communautés de mexicains ont alors commencé à se former, alimentées par des natifs des états de Veracruz, Oaxaca, Yucatan et Chiapas. Ont ensuite suivi des familles d'origine syrienne et libanaise. Autour de 1940, avec l'ascension du nazisme en Europe, démarre l'arrivée de citoyens allemands et autrichiens, puis plus tard, de citoyens espagnols. Cette immigration va convertir peu à peu la Roma et la Condesa en centre de réunion intellectuel très actif, en accueillant notamment des personnalités politiques et artistes de renom. Aujourd'hui, ce bouillonnement intellectuel et cette mixité entre locaux et étrangers sont encore des caractéristiques très fortes de la zone, comme le décrit Manuel Perlo Cohen[12].
Ces nouveaux quartiers, siège des classes hautes, ont donc été influencés par le modèle français de l'époque. En effet, il était question de donner aux quartiers une image francisée, comme c'était le cas lors de la création du Paseo de la Reforma, grande avenue-phare de la ville inspirée des Champs Élysées parisiens, et bourgeoise, afin d'attirer la classe haute. L'avenue Alvaro Obregon, un des plus grands axes de la Roma et de la Condesa, cultivait aussi une image assez bourgeoise : double file d'arbres, larges voies dont les angles étaient à 45 degrés pour laisser tourner les carrosses, ainsi que des sculptures et fontaines.
Cependant, une certaine variation est à noter dans la formation de ces quartiers, comme l'explique également Manuel Perlo Cohen. En effet, la section sud de la Roma, allant de l'avenue Baja California jusqu'au viaduc Miguel Aleman[13], a été la dernière à se peupler, et elle l'a fait selon un modèle bien distinct de celui de la section nord. À partir de l'avenue Baja California (on peut étendre la zone jusqu'à l'avenue Campeche ou Yucatan), les avenues arborées, les rues amples, les places et les jardins disparaissent. Traverser cette avenue est alors comme traverser une limite entre deux Roma distinctes. La nomenclature des rues de la Roma Sud est également plus modeste : des états et de ses capitales, on passe à de petites villes du Mexique (Teocelo, Ixtlan, Misantla). Le sud est une zone beaucoup plus homogène que le nord - toujours dynamique et plein de contrastes, marqué par un profil architectonique assez monotone mais parsemé de bâtiments Art Déco.

12 - Perlo Cohen, Manuel, (1988), « Historias de la Roma. Microhistoria de la ciudad de Mexico. » *Historias*, Mexico DF, 12 p.
13 - Bien qu'il soit nommé « viaduc », le « viaducto Miguel Aleman » est une voie de circulation rapide. Il tient son nom du fait qu'il passe au dessus de la rivière de la Piedad aujourd'hui invisible et releguée en sous-sol.

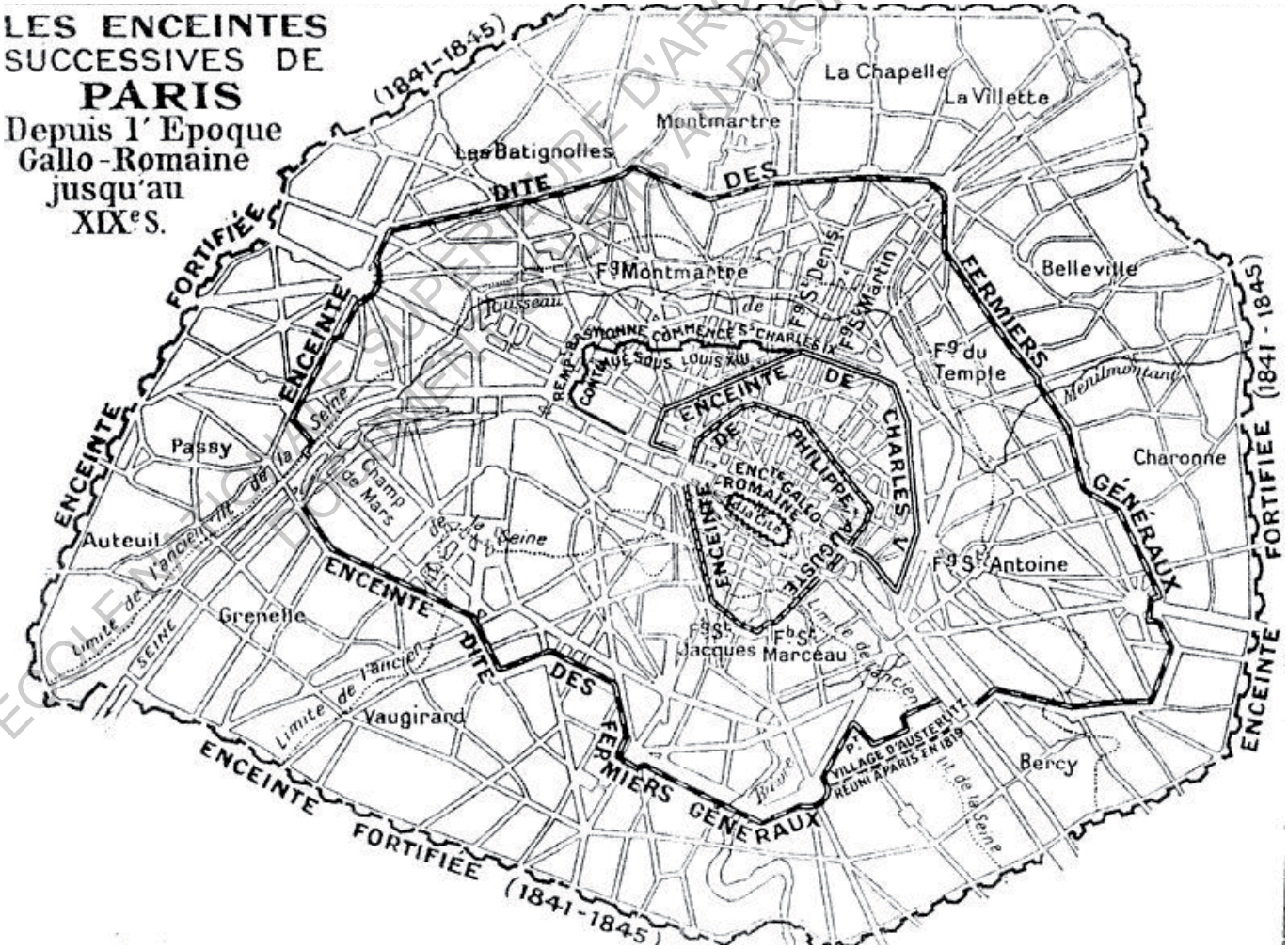
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

2 - L'AVENUE ALVARO OBREGON ET LA COMPARAISON AVEC LES BOULEVARDS PARISIENS

Dans de nombreuses sources comme celles précédemment citées, il est souvent écrit que l'avenue Alvaro Obregon, traversant les quartiers de la Roma et de la Condesa, a été dessinée selon le modèle français de l'époque, le « grand boulevard » parisien, afin de donner à ces nouveaux quartiers une image bourgeoise et francisée. Cependant, la comparaison ne va jamais plus loin, et l'on se demande alors dans quelle mesure cette avenue-phare des nouveaux quartiers a suivi le modèle parisien.

Définition du « boulevard » parisien originel

Si on prend le mot « boulevard » au sens strict du terme, il vient du néerlandais « bolwerc », qui désigne, dans le langage militaire, un ouvrage de protection avancé construit en bois et en terre, puis plus tard en maçonnerie, qui a le même rôle qu'un rempart ou un bastion. Au XVIIe siècle, Paris était protégée par des remparts, mais, à la suite de victoires militaires importantes, Louis XIV décide que sa capitale n'a plus besoin de défense et décide de le prouver. Il a alors l'idée, avec son ministre Colbert, de transformer l'emplacement de la muraille de Charles V



- Fig. 13 : Les enceintes successives de Paris.

ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
TOUS DROITS RÉSERVÉS AU DROIT D'AUTEUR

en grande promenade, qui s'étendra sur plus de 4 kilomètres, entre la Madeleine et la Bastille. C'est de cette façon qu'ont été créés les premiers boulevards parisiens, bien qu'ensuite remodelés par Haussmann. Leurs caractéristiques sont néanmoins restées identiques : ce sont de larges espaces arborés, créés en lieu et place d'anciennes murailles, et dédiés à la fois aux piétons et aux voitures, ainsi qu'un lieu de loisirs, de spectacles et de rencontre[14].
Avec cette définition générale des boulevards parisiens, la comparaison avec l'avenue Alvaro Obregon est assez floue. En effet, ces boulevards originaux ont de larges trottoirs arborés sur les côtés, et laissent la place centrale pour en moyenne quatre voies de circulation, ce qui n'est pas le cas de l'avenue étudiée, qui a des trottoirs arborés plus petits, et un terre-plein central plus grand et arboré (fig. 15). Elle garde les quatre voies de circulation, mais séparées par le terre-plein piéton. De plus, l'avenue Alvaro Obregon n'a pas non plus été construite sur le lieu d'une ancienne muraille puisque Mexico n'a pas été fortifiée. Il faut alors chercher plus tard dans l'Histoire afin de comprendre la raison de cette comparaison.

Les boulevards de la « deuxième ceinture »

En 1860 à Paris, l'enceinte de Thiers, achevée depuis une vingtaine d'années et permettant l'agrandissement de Paris de 12 à 20 arrondissements, reçoit la fonction de percevoir l'impôt sur le droit d'entrée des marchandises dans la ville. Cette fonction était auparavant la raison existentielle du « Mur des Fermiers Généraux », qui avait été construit dans ce but précis[15]. Il devient donc inutile, ainsi que ses 61 portes d'entrée ou « propylées », et est alors détruit. Il reste aujourd'hui des vestiges de quatre propylées qui ont été épargnés : la rotonde du parc Monceau, la rotonde de la Villette, la barrière du Trône, et la barrière d'Enfer. À sa destruction, de nouveaux boulevards sont alors crées sur son emplacement. Cette deuxième ceinture de la ville de Paris est formée par les boulevards de Courcelles, des Batignolles, de Clichy, de la Chapelle, de la Villette et de Belleville par exemple.
La typologie de ces boulevards est différente de celle de la première ceinture. En effet, ils sont tous composés d'un grand terre plein central piéton et arboré, de deux voies de circulation de chaque côté, puis de trottoirs également arborés, comme le montre la figure 15, sur la page suivante. On retrouve dans cette description la composition de l'avenue Alvaro Obregon à Mexico. On comprend alors que l'inspiration des créateurs de ces nouveaux quartiers s'est probablement basée sur les boulevards les plus récents de Paris.
Cette même typologie utilisant un terre-plein central se retrouve également sur d'autres boulevards, dont l'origine n'est pas la destruction d'une fortification mais de larges percées. En effet, le baron Haussmann, lors de ses grands travaux de modernisation de Paris en 1860, fît percer le tissu urbain parisien, afin de créer de nouveaux grands axes de circulation. Ces

14 - « Les "Grands Boulevards", une création parisienne », *Un Jour de plus à Paris,* 01.08.2013, consultation le 05.07.2016, http://www.unjourdeplusaparis.com/paris-reportage/les-grands-boulevards-une-creation-parisienne
15 - « Mur des Fermiers généraux », *Wikipédia*, dernière consultation le 01.01.2017, https://fr.wikipedia.org/wiki/Mur_des_Fermiers_g%C3%A9n%C3%A9raux#cite_note-2

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

boulevards, bien qu'ils ne correspondent pas à l'origine du mot « bolwerc », ont gardé ce nom car ils s'apparentent aux autres boulevards par leurs caractéristiques géographiques, sociales et culturelles. Parmi ces grands travaux, Haussmann décida, en 1860, de recouvrir en partie le Canal Saint Martin. Celui-ci, achevé en 1826, avait servi de ligne de défense pour les insurgés pendant la révolution de 1848, et devient alors le support du boulevard Richard-Lenoir. Ce boulevard est donc formé de deux trottoirs arborés, de voies de circulations, ainsi qu'un très large terre-plein piéton au centre, qui recouvre le canal. La typologie de ce boulevard est donc identique à celle de la deuxième ceinture.

- Fig. 14 : Les boulevards Beaumarchais et Richard Lenoir, vus depuis la colonne de Juillet.

On peut voir les deux typologies de boulevards : avec et sans terre-plein central.
Le boulevard Beaumarchais, à droite est un boulevard de la première ceinture, et donc originaire de la destruction de l'enceinte de Charles V. Le boulevard Richard-Lenoir, qui abrite sous son terre-plein central une partie du Canal Saint-Martin a été créé par le baron Haussmann lors de ses grands travaux.

Les arbres, facteurs d'identité

Dans cette typologie-là, les arbres ont une énorme importance. En effet, ils délimitent les différents espaces en étant placés en bordure : ils intimisent et marquent la frontière entre la voie pour véhicules et le trottoir ou terre-plein piéton. Ils servent aussi à ombrager les trottoirs, ce qui était une de leurs fonctions premières lors de leur implantation. En effet, ils servaient à rendre la promenade et la rencontre plus agréable. De plus, leur alignement servait à accentuer l'effet de perspective créé par ces grands axes, et aussi parfois à mettre en valeur des éléments architecturaux lorsque des cadrages étaient réalisés. De la même manière, et même si ce n'est pas un boulevard dont nous traitons, l'alignement d'arbres sur les Champs-Élysées sert à mettre en valeur l'Arc de Triomphe et à accentuer la perspective. Les arbres sont donc porteurs d'une identité très forte de la ville et des boulevards, qui sont eux-même un élément caractéristique et représentatif de la ville de Paris dans l'esprit des gens. En effet, les grands boulevards arborés de Paris sont une véritable image de la capitale, et les rues très arborées de La Roma et la Condesa sont aussi très représentatives du quartier mais aussi de la ville entière de Mexico, bien qu'il y ait en fait plusieurs types différents.
Cependant, il convient de noter que l'identité et l'image que renvoie cette adaptation du modèle parisien à Mexico est bien différente de celle de Paris. En effet, les espèces d'arbres sont mélangées, ne sont pas espacées aussi méticuleusement, et l'ensemble est plus dense. Enfin, l'architecture bordant l'avenue n'est pas non plus aussi uniforme que celle de Paris. On a donc un ensemble plus flou, dense, et qui paraît plus champêtre, moins maitrisé.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

- Fig. 15 : Comparaison des typologies des boulevards parisiens de la première et de la deuxième ceinture avec l'avenue Alvaro Obregon.

1 - Grand boulevard type ou boulevard de la premiere ceinture, Paris

Le boulevard Montmartre dans les années 1900

Le boulevard Poissonnière en 1912

Le boulevard des Italiens de nos jours

2 - Boulevard du mur des fermiers generaux type ou boulevard de la deuxieme ceinture, Paris

Le boulevard Richard-Lenoir en 1900

Le boulevard Richard-Lenoir dans les années 1900

Le boulevard Belleville de nos jours

3 - Typologie de l'avenue Alvaro Obregon, Mexico

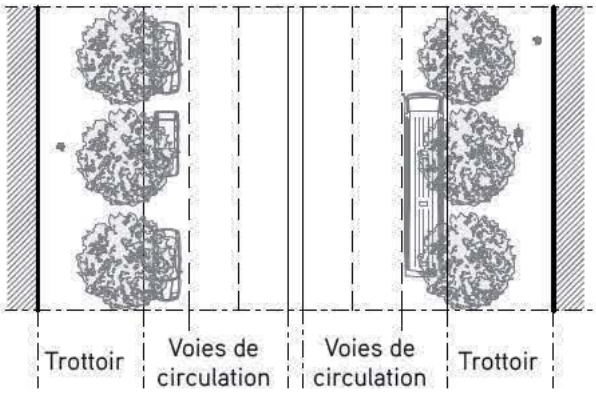
L'avenue Alvaro Obregon en 1929

L'avenue Alvaro Obregon avant 1985

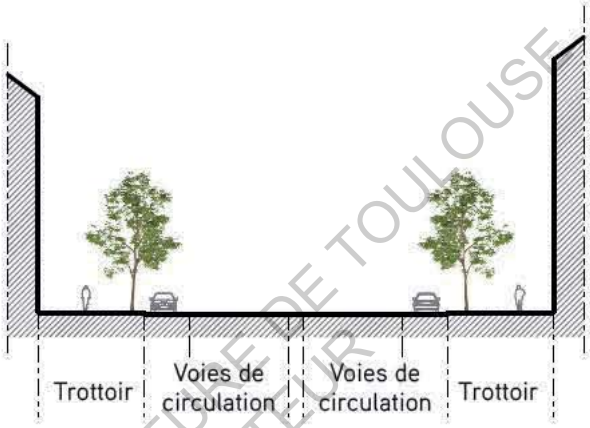
L'avenue Alvaro Obregon de nos jours

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENTS SOUMIS A DROIT D'AUTEUR

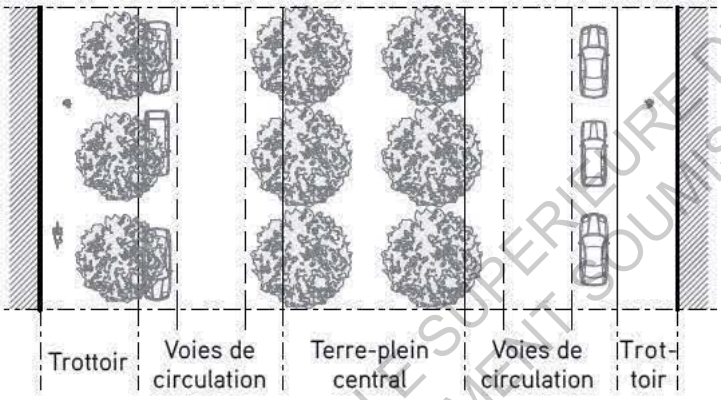
Cette comparaison nous aide à comprendre de quelle typologie parisienne se sont inspirés ses créateurs. On voit bien la ressemblance entre le type du boulevard de la deuxième ceinture et celui de l'avenue de Mexico.



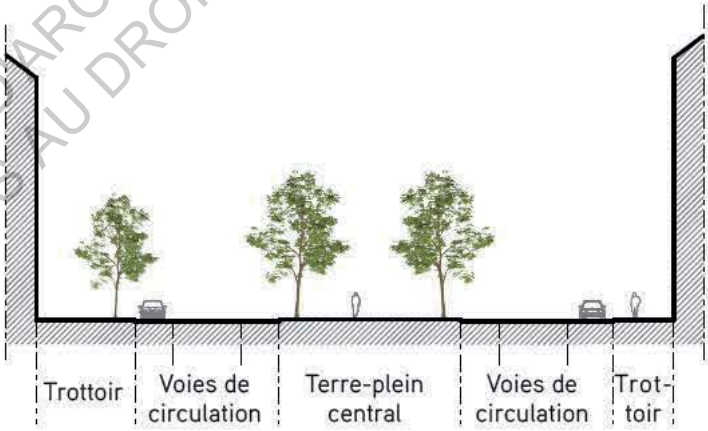
Plan schématique d'un boulevard de la première ceinture - le boulevard des Italiens - Échelle 1/500



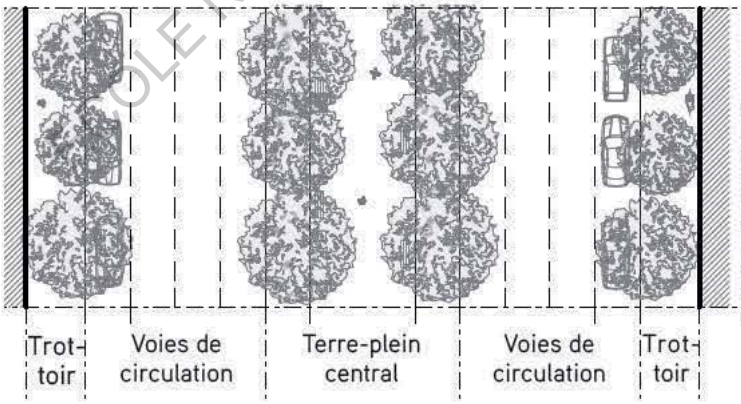
Coupe schématique d'un boulevard de la première ceinture - le boulevard des Italiens - Échelle 1/500



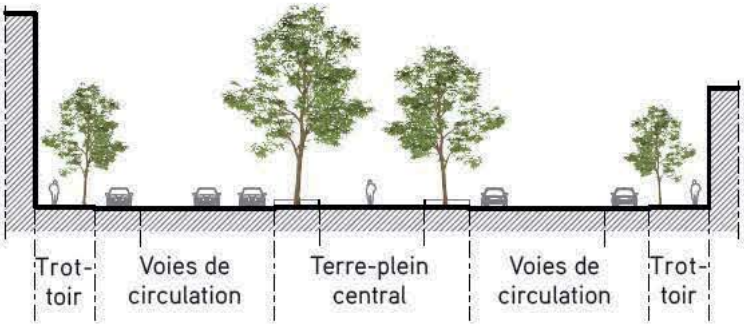
Plan schématique d'un boulevard de la deuxième ceinture - le boulevard Belleville - Échelle 1/500



Coupe schématique d'un boulevard de la deuxième ceinture - le boulevard Belleville - Échelle 1/500



Plan schématique de l'avenue Alvaro Obregon - Échelle 1/500



Coupe schématique de l'avenue Alvaro Obregon - Échelle 1/500

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

3 - UNE IMPORTATION ADAPTÉE ?

L'importation d'un modèle complet ou juste d'une typologie spatiale ?

En se basant sur l'hypothèse que le boulevard Alvaro Obregon à Mexico a été conçu selon le modèle du boulevard parisien de la deuxième ceinture quant à sa typologie spatiale, on peut alors se demander si les espèces d'arbres ont elles aussi été importées du modèle parisien, où s'il ne s'agissait que d'une inspiration formelle. Je me suis alors intéressée aux types d'arbres présents sur les boulevards parisiens concernés, afin, dans un second temps, de les comparer avec ceux que l'on peut retrouver dans la ville de Mexico.
Grâce à un site de la mairie de Paris, *Paris Data*[16], il est possible d'avoir accès à une carte interactive qui recense tous les arbres de Paris et indique leur espèce, leur année de plantation, leur circonférence et même leur hauteur si elle est renseignée. Les dates qui y apparaissent démarrent à 1700, puis elles passent directement aux années 1970-1980. On peut alors faire l'hypothèse que la date 1700 correspond aux arbres plantés originellement au XVIIIe et XIXe siècles lors des travaux des boulevards, puis que les dates suivantes correspondent à une période où un certain intérêt pour les arbres a réapparu, et que l'on a donc recommencé à collecter des données. Pour l'entre-deux, on peut aussi formuler une hypothèse selon laquelle les spécimens mourants ou plantés auraient été remplacés par d'autres arbres de la même espèce, puisque l'on trouve sur cette carte des changements d'espèces que récents - les arbres plantés « en 1700 » ne sont pas très variés, et qu'une page web de la mairie de Paris[17] explique qu'il y a aujourd'hui une politique de diversification des espèces.

La figure 16 ci-contre présente une synthèse des espèces d'arbres les plus présentes sur les boulevards de la deuxième ceinture de Paris, qui sont donc le modèle dont se sont inspirés les concepteurs du boulevard Alvaro Obregon.
Toutes ces espèces sont utilisées en nombre - mais localement, sur les boulevards, mais les deux espèces de platanes sont celles que l'on retrouve le plus. Le platane commun est le plus fréquent et de loin, puisqu'il se retrouve sur quasiment tous les boulevards de la deuxième ceinture.
On peut alors se demander si ces espèces d'arbres ont également été importées dans les espaces publics de la Roma et de la Condesa. À l'inverse de Paris, il n'existe pas de recensement précis de chaque espèce d'arbres et de son implantation dans chaque quartier pour la ville de Mexico. Cependant, il existe un livre, appelé *Los arboles de la ciudad de México*[18] qui recense les espèces présentes dans la ville de Mexico en général, et qui donne parfois quelques indications sur le lieu où se trouvent le plus fréquemment quelques espèces. En parcourant ce livre, on trouve donc quelques espèces des plus utilisées dans les quartiers de la Roma et de la Condesa, comme le montre la figure 17, sur la page suivante.

16 - https://opendata.paris.fr/explore/dataset/arbresalignementparis2010/map/?location=19,48.88191,2.31973
17 - « L'arbre à Paris », *Paris.fr*, dernière consultation le 01.012.017, http://www.paris.fr/arbres
18 - Martinez Gonzalez, Lorena et Chacalo Hilu, Alicia (1994), *Los arboles de la ciudad de Mexico*, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, 351 pages

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Nom scientifique	Nom commun	Lieu où on le trouve	Hauteur approximative	Circonférence
Platanus x hispanica	Platane commun	Sur presque tous les boulevards	5-25 m	20 - 225 cm
Platanus occidentalis	Platane d'occident	Au Sud-Est, du boulevard Saint Jacques au boulevard Vincent Auriol	6-15 m	50 - 205 cm
Aesculus hippocastanum	Marronnier d'Inde, marronnier commun	Au Sud, boulevard de Vaugirard et boulevard Pasteur	4-20 m	25-210 cm
Sophora japonica	Sophora du Japon, arbres aux pagodes	A l'Est, du boulevard de la Vilette au boulevard de Picpus	5-15 m	40-170 cm
Styphnolobium japonicum	Sophora du Japon, Pagode japonaise, Arbre de miel	A l'Est, du boulevard de la Vilettre au boulevard de Charonne	5-15 m	40-170 cm
Acer platanoides	Érable plane	Au Sud, boulevard Raspail	NR	25-95 cm
Ulmus n. sp.	Orme	Au Nord-Ouest, boulevard des Batignolles et avenue de Wagram (note)	NR	20-90 cm
Corylus colurna	Noisetier commun, noisetier de Byzance, coudrier	Au Sud-Ouest, boulevard de Grenelle et boulevard Garibaldi	NR	20-115 cm
Tilia tomentosa	Tilleul argenté	Au Nord-Ouest, boulevard des Batignolles	NR	30-50 cm
Acer negundo	Érable negondo	Au Sud-Ouest, boulevard de Grenelle	5-8 m	20-55 m
Acer pseudoplatanus	Érable sycomore	Au Sud, boulevard Raspail	NR	60-120 cm
Pyrus calleryana	Poirier de Chine, poirier d'ornement	Au Sud-Ouest, boulevard de Grenelle	5-8	20-75 cm
Ailanthus altissima	Ailante glanduleux	Au Nord, boulevard de la Chapelle et à l'Est, boulevard de la Vilette	8-13 m	65-180 cm
Celtis australis	Micocoulier de Provence	Au Nord, du boulevard des Batignolles au boulevard de Rochechouart, et au Sud, boulevard Vincent Auriol	NR	30-70 cm
Liriodendron tulipifera	Tulipier de Virginie	Au Sud-Ouest, boulevard Vincent Auriol	5-10 m	50-95 cm

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

- Fig. 16 : Tableau présentant les espèces d'arbres présents sur les boulevards de la deuxième ceinture parisienne. Ce tableau est synthétique, et présente les espèces de la plus à la moins abondante. (NR = Non renseigné)

Nom scientifique	Nom commun	Lieu où on le trouve
Acer pseudoplatanus	Érable sycomore	Parc Mexico, parc de Chapultepec
Cedrus deodora G. Don	Cèdre de l'Himalaya	Parc España, parc Chapultepec
Celtis australis	Micocoulier de Provence	Parc España, parc de Chapultepec, avenue Reforma
Jacaranda mimosae-folia	Flamboyant bleu, jacaranda à feuilles de mimosa	Parc España, parc de Chapultepec, avenue Reforma, et rues de la Roma et de la Condesa-Hipodromo
Persea gratissima Gaertn	Avocatier	Parc España, parc de Chapultepec
Platanus x hibrida Brot	Platane commun[19]	Parc España, parc Mexico, parc de Chapultepec, avenue Reforma, et rues de la Roma et de la Condesa
Phoenix canariensis Chabaud	Palmier des Canaries, Dattier des Canaries	Quartier de la Condesa
Ulmus parvifolia Jacq	Orme	Rues de la Roma et de la Condesa

- Fig. 17 : Tableau présentant les espèces d'arbres les plus présentes dans la Roma et la Condesa. Ce tableau est synthétique, et présente les espèces par ordre alphabétique. En formulant l'hypothèse selon laquelle l'importation du modèle parisien pourrait aussi avoir influé sur ces espaces majeurs de la ville, l'avenue Reforma et le parc Chapultepec ont aussi été pris en compte.

On peut alors se rendre compte que l'on retrouve quelques espèces citées précédemment, comme les suivantes : le platane, l'érable sycomore, le micocoulier de Provence, ainsi que l'orme. Ces dernières sont originaires des Pyrénées au Caucase pour l'érable sycomore, du Sud de l'Europe, du Nord de l'Afrique et de l'Asie mineure pour le micocoulier de Provence, et du Sud-Est de l'Asie (Chine, Corée, Japon) pour l'orme. Quant au platane commun, il est un hybride de deux espèces différentes originaires de Grèce, de Bulgarie, et de l'ancienne Yougaslavie pour le *platanus orientalis*, et de l'Est et du Sud-Est de l'Amérique du Nord pour le *platanus occidentalis*.
N'étant pas originaires du Mexique, on peut donc imaginer que ces espèces ont été importées dans la ville de Mexico, et ce d'après le modèle parisien où elles étaient également employées. Cependant, cette importation pose question lorsque l'on sait que chaque espèce d'arbre a des besoins géographiques et climatologiques différents, et que les villes de Paris et de Mexico n'ont pas les mêmes conditions environnementales.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

19 - On pourrait croire que le *platanus x hibrida Brot* de Mexico est différent du *platanus x hispanica* présent à Paris, or ces deux noms scientifiques sont des synonymes qui correspondent tous les deux au platane commun. Cet arbre est un hybride créé en 1670 en Espagne entre le *platanus occidentalis* et le *platanus orientalis*, ce qui lui vaut deux de ses noms : *hybrida* et *hispanica*.

Rue Parral, Condesa

Abords du parc Mexico

Abords du parc España

Rue Parral, dans la Condesa

L'avenue Nuevo Leon et le parc España à droite

Vue du parc Mexico

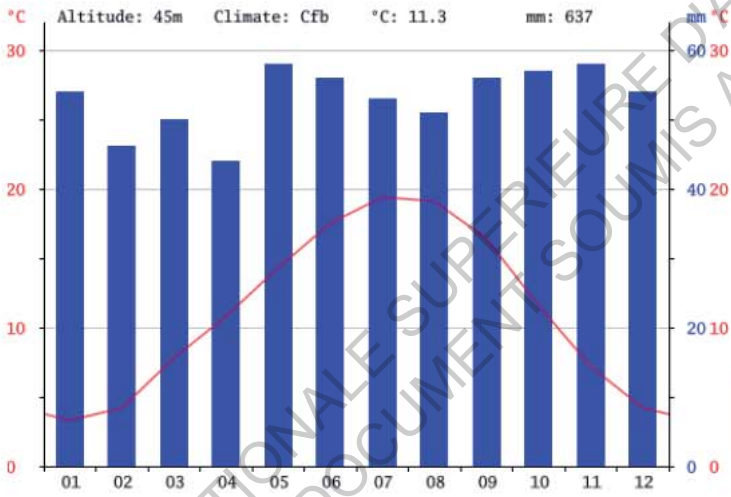
- Figure 18 : Ensemble de photos illustrant de la présence des arbres dans les rues de la Roma et de la Condesa.

Choix justifié ou simple copie d'un modèle ? Les arbres étaient-ils adaptés à leur nouveau milieu ?

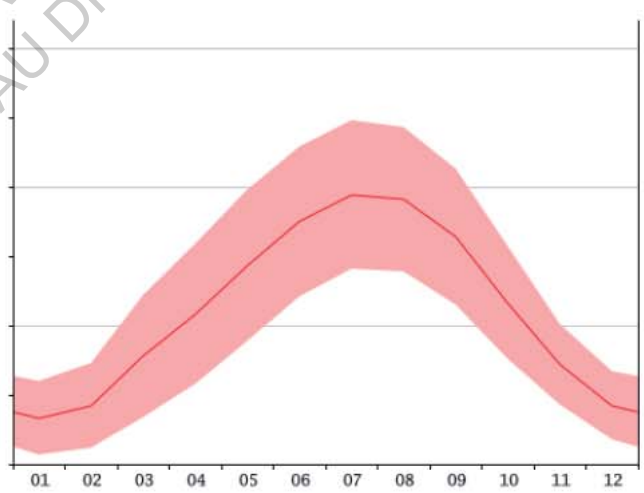
Il faut s'intéresser au climat de la ville de Paris et de celle Mexico afin d'en saisir les différences, et de comprendre si le modèle parisien a juste été copié, ou si ce choix était justifié.

Climat de Paris

La ville de Paris est située dans un bassin sédimentaire aux sols fertiles, qui sont composés de gypse, de sablons, d'argile et de calcaire. Dans ce bassin se trouvent quelques collines ou buttes gypseuses, comme celles de Montmartre, Belleville ou Ménilmontant. La ville se situe à environ 45 mètres au-dessus du niveau de la mer. Elle reçoit environ 1690 heures d'ensoleillement par an en moyenne, et 637,4 millimètres de précipitations. Le vent y est modéré. La température moyenne de l'année est de 11,3°C. La différence entre le mois le plus sec et le plus pluvieux est de 14 mm, et la différence de température moyenne entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud est de 16.1°C.



- Fig. 19 : Climogramme de Paris[20]



- Fig. 20 : Diagramme de température de Paris

Concernant les précipitations, le mois le plus sec est le mois d'avril, avec 44 mm de précipitations, alors que les mois les plus pluvieux sont les mois d'automne (octobre, novembre), ainsi que mai, avec 58 mm. On remarque que l'écart de précipitations entre les différents mois n'est pas très important.

Quant aux températures, on note clairement une grande différence de température entre les mois d'hiver et d'été. Le mois le plus chaud est le mois de juillet avec une moyenne de 19,4°C, et le mois le plus froid est le mois de janvier avec une température moyenne de 3,3°C.

20 - Les numéros de la première ligne de ce tableau ainsi que ceux qui sont notés au bas des deux graphiques précédents correspondent aux douze mois de l'année, allant de janvier (1), à décembre (12).

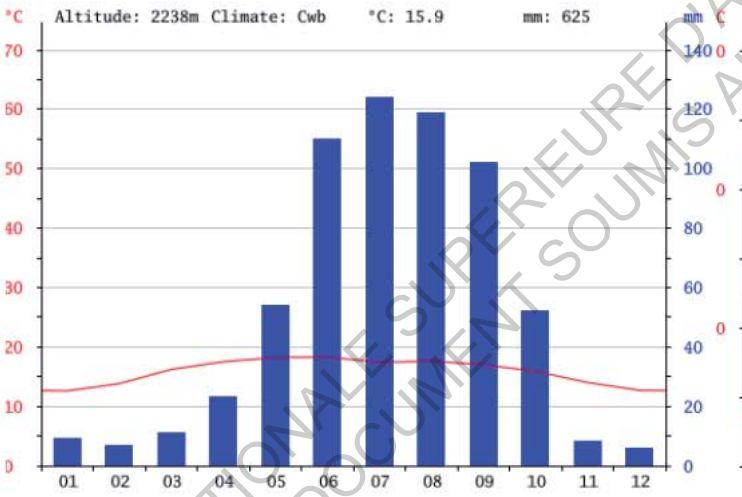
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Climat de Mexico

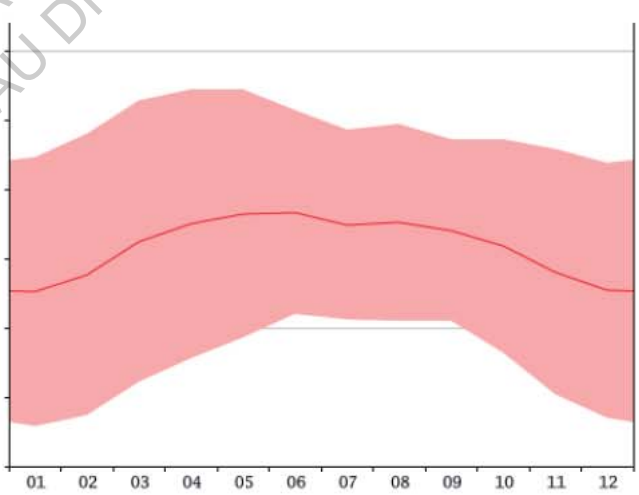
La ville de Mexico est située dans une vallée, à 2240 mètres d'altitude au point le plus bas. Cette vallée au cœur des montagnes est plane, malgré quelques petites élévations. Le sol est donc généralement composé de sédiments hétérogènes, volcaniques et lacustres. Les pluies sont beaucoup plus abondantes en hiver qu'en été, et les précipitations annuelles moyennes sont de 625 mm. Les étés sont donc chauds et humides, et les hivers doux et secs. Mexico reçoit environ 2629 heures d'ensoleillement par an en moyenne et la température annuelle moyenne est de 15,9°C. La différence de précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus pluvieux est de 118mm, et la différence de température moyenne entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid est de 5,7°C.

mm	8	7	11	23	54	110	124	119	102	52	8	6
°C	12.6	13.8	16.2	17.5	18.2	18.3	17.4	17.6	17.0	15.9	14.0	12.7
°C (min)	2.8	3.7	6.1	7.8	8.3	11.0	10.6	10.5	10.5	8.2	5.2	3.5

-Fig. 21 : Tableau climatique de la ville de Mexico



- Fig. 22 : Climogramme de la ville de Mexico



- Fig. 23 : Diagramme de température de la ville de Mexico

Concernant les précipitations, le mois le plus sec est le mois de décembre, avec 6 mm de précipitations, alors que le mois le plus pluvieux est le mois de juillet, suivi par les autres mois d'été (juin et septembre). On remarque que l'écart de précipitations entre les différents mois est très important.

Quant aux températures, le mois le plus chaud de l'année est le mois de juin avec une moyenne de 18,3°C, et le mois le plus froid est le mois de janvier avec une moyenne de 12,6°C. On remarque que l'écart de température au cours de l'année est moins élevé qu'à Paris.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Les climats des villes de Paris et de Mexico présentent donc quelques différences, bien que leurs deux climats soient tempérés, et les arbres quelques particularités comme les suivantes :

Nom scientifique	Acer pseudoplatanus	Celtis australis	Platanus x hibrida	Ulmus parvifolia Jacq
Nom commun	Érable sycomore	Micocoulier de Provence	Platane commun	Orme
Type	Caduc	Caduc	Caduc	Semi-caduc
Racines	Fibreuses, superficielles	Pivotantes, profondes	Pivotantes, souvent profondes	Superficielles
Préférence de sol	N'importe quel sol bien drainé	Sols humides, fertiles, calcaires, silicieux et argilleux	Sol profond, léger et frais	Riches, humides, argilleux, bien drainés, mais peut s'adapter à tous sauf les alcalins
Climat	Tempéré	Supporte la chaleur désertique et le froid, mais pas les gelées intenses et prolongées	Supporte l'air sec	Tolère un air sec, mais pas les basses températures
Besoin en eau	Besoin de se maintenir humide	Modéré, supporte la sécheresse	Non exigeant	Besoin d'humidité et d'un bon drainage, supporte la sècheresse
Exposition	Soleil	Soleil	Soleil	Soleil ou ombre
Résistance à la pollution	Moyenne	Accumule les poussière avec le dos poilu de ses feuilles	Sensible à l'ozone et tolérant aux fluorures. Considéré comme tolérant à la pollution dans d'autres pays, or à Mexico son état phytosanitaire n'est pas optimal.	Tolérance moyenne à l'ozone, et tolérance aux fluorures. Cependant, c'est une des espèces qui a le plus grand pourcentage de feuilles en mauvais état dans la délégation Cuauthémoc.
Ombre	Moyenne	Dense	Dense	Dense
Hauteur	Jusqu'à 40 m dans son habitat naturel	Jusqu'à 25 m dans son habitat naturel et de 6 à 8 m en ville	Jusqu'à 40m dans son habitat naturel	Jusqu'à 15m
Vent	Tolérant au vent	Résiste aux vents forts et à la fumée	Branches fragiles, ne résistent pas aux vents très forts	NR

- Fig. 24 : Tableau présentant les espèces d'arbres que l'on retrouve sur les boulevards parisiens et dans la Roma et la Condesa. Ce tableau synthétique présente les espèces par ordre alphabétique. Il renseigne non exhaustivement sur les besoins des espèces d'arbres qui sont communes aux zones étudiées.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Si l'on compare ces données avec le climat de Mexico, on remarque que les arbres importés semblent adaptés au milieu naturel de la capitale mexicaine[21].

En effet, **l'érable sycomore** présente des caractéristiques cohérentes avec le climat de la zone. Ses racines superficielles représentaient sans doute une menace pour l'aménagement des espaces publics ; c'est sûrement pour ça qu'on le trouve surtout dans les parcs comme ceux de Chapultepec ou de Mexico. Le sol de la ville semble convenir à son développement, ainsi que le climat tempéré et l'ensoleillement de la ville. Il proportionne une ombre moyenne aux habitants, ce qui permet de profiter de l'ombre sans exclure totalement le soleil. Son besoin de sol humide était sans doute rendu possible à l'époque de son implantation car la ville était beaucoup moins étendue et donc beaucoup moins minéralisée, et que ses sources d'eau n'étaient pas autant exploitées et donc plus nombreuses. Il y en avait justement une à Chapultepec, ce qui à mon avis rendait le sol humide et donc favorable au développement de ces arbres. Sa résistance moyenne à la pollution n'était pas un problème à l'époque de son implantation puisque cette problématique n'était pas présente. Sa tolérance au vent est un avantage, même s'il y en a peu dans la ville.

Le micocoulier de Provence semble lui aussi adapté à la ville de Mexico. Tout d'abord, ses besoins de sol humide et fertile devaient alors être comblés dans la plaine sédimentaire de Mexico, comparable en ce point-là à la ville de Paris. Le fait qu'il ne supporte pas les gelées prolongées n'est pas un désavantage car elles étaient peu présentes dans la capitale, et sont nulles aujourd'hui. Cet arbre a des besoins modérés en eau et supporte la sécheresse, ce qui pourrait s'avérer positif en cas de longue période sans précipitations en hiver. Son exposition au soleil correspond au climat de la ville, et il sert donc à ombrager densément les espaces publics sur lesquels il est placé. Sa résistance aux vents forts et à la pollution sont des atouts qui lui valent d'être aujourd'hui encore adapté à ce milieu urbain.

Le platane commun présente également des besoins cohérents avec son implantation dans la capitale mexicaine. En effet, il supporte l'air sec, ce qui est une caractéristique des hivers de la ville de Mexico, et demande du soleil, très présent tout au long de l'année. L'ombre dense qu'il proportionne est donc un point positif puisqu'elle permet aux habitants de se protéger du soleil. Le platane n'a pas de besoins exigeants en eau, ce qui est positif pour la période d'hiver où il ne pleut pas beaucoup, et ses racines semblent pouvoir s'adapter dans le sol de la capitale mexicaine. Ses branches fragiles ne résistent pas aux vents forts, ce qui n'est pas un gros désavantage puisque Mexico en est généralement protégée de par sa situation au creux d'une vallée, sauf dans les cas exceptionnels de tempêtes. Enfin, le platane commun est également tolérant à la pollution, bien qu'aujourd'hui ses conditions phytosanitaires ne soient pas optimales à cause des forts taux de particules dans l'air. Il faut néanmoins rappeler qu'à l'époque, cette problématique n'était alors pas du tout présente dans la ville et que l'arbre

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

21 - Informations sur les arbres tirées de Martinez Gonzalez, Lorena et Chacalo Hilu, Alicia (1994), *Los arboles de la ciudad de Mexico,* Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, 351 pages

convenait alors très bien à ce milieu.

Enfin, **l'orme** correspond aussi aux conditions géographiques et climatiques de la zone puisqu'il a besoin de sols riches et humides que l'on trouve dans cette vallée. Il tolère un air sec, mais pas les basses températures, ce qui le rend donc totalement adapté aux hivers doux et secs de la ville de Mexico. Bien qu'il aime le soleil et l'ombre, il offre une ombre dense à ceux qui pourraient en avoir besoin au cours des journées chaudes. Sa tolérance moyenne à la pollution lui porte aujourd'hui préjudice dans la ville de Mexico, mais ce facteur n'entrait pas en compte à l'époque de sa plantation.

On peut alors en conclure que les espèces d'arbres importées dans la Roma et de la Condesa à Mexico ont été sélectionnées de façon à s'adapter au climat de la capitale mexicaine, et qu'il n'a pas juste été fait une copie arbitraire.

- Fig. 25 : Photographies représentant les espèces d'arbres présentes à Paris et que l'on retrouve dans les quartiers de la Roma et de la Condesa à Mexico.

- Micocoulier de Provence ou celtis australis (en haut à droite)

- Érable sycomore ou acer pseudoplatanus (en haut à droite)

- Orme ou ulmus parvifolia Jacq (en bas à gauche)

- Platane ou platanus x hibrida (en bas à droite)

FOR ... ONLY SUBJECT TO THE DOCUMENT ... ARCHITECTURE DE TOULOUSE ... D'AUTEUR

4 - INFLUENCE DE L'IMPORTATION DU MODÈLE PARISIEN SUR LES AUTRES TYPES D'ESPACES PUBLICS CARACTÉRISTIQUES

La Roma et la Condesa

Enfin, on peut aussi se demander si le modèle parisien a été copié seulement pour les grandes avenues comme celle d'Alvaro Obregon ou si il a également été une source d'inspiration pour tout le quartier. On a vu précédemment que certaines espèces d'arbres avaient été importées dans les quartiers de la Roma et de la Condesa, or est-ce que la typologie spatiale des boulevards a elle-aussi eu une influence sur les autres rues ?

Sur la page suivante se trouve la figure 9, sur laquelle on peut voir deux typologies caractéristiques de rues de la Roma et de la Condesa, en comparaison avec l'avenue Alvaro Obregon. On peut alors remarquer que les arbres tiennent toujours une place essentielle dans ces espaces publics, ce qui est aussi les cas des boulevards parisiens étudiés.
Ces différentes typologies sont significatives d'une certaine hiérarchie des rues et espaces publics. L'avenue Alvaro Obregon représente les grandes avenues comme celle d'Orizaba ou de Veracruz, qui sont de grands axes dans la structure du quartier, très fréquentés et voient passer un flux important de personnes et de véhicules. Les petites rues comme la rue Atlixco sont des rues moins importantes dans la hiérarchie du quartier, puisqu'elles forment elles-mêmes le tissu urbain primaire. Elles sont alors moins grandes, moins fréquentées, mais toujours très arborées. Enfin, la rue Amsterdam a quant à elle un statut assez particulier de par sa forme et sa typologie. Cette avenue créée en lieu et place de l'ancien hippodrome a une forme elliptique, et elle entoure le parc Mexico, ce qui lui donne plus une fonction de promenade que de déplacement fonctionnel. En effet, cet axe ne débouche pas formellement sur un autre axe.
On peut remarquer que l'avenue Amsterdam est l'application la plus proche du modèle parisien et donc de l'avenue Alvaro Obregon. En effet, elle est composée d'un grand terre plein central arboré et de larges trottoirs, et sa fonction première est la promenade. On peut cependant noter quelques différences : il y a bien plus de végétation, de tous types et espèces, qui ne respecte pas un certain alignement comme sur les boulevards parisiens, même si elle reste comprise dans une même bande de chaque côté. On a donc un ensemble végétal plus dense, plus flou, et avec un effet plus naturel. Le nombre de voies est également réduit : on passe de quatre de chaque côté à deux, dont une est occupée par du stationnement. Enfin, l'avenue n'est pas droite mais arrondie, elle ne permet donc pas de faire des cadrages comme les boulevards parisiens. Le résultat offre donc une ambiance totalement différente de celle de Paris : avenue plus étroite, ambiance plus champêtre, forestière, avec une végétation plus abondante et des arbres diverses et non alignés. On est donc loin de l'ambiance parisienne, cependant certaines caractéristiques spatiales ont quand même été réutilisées.
Concernant une rue typique de la Roma et de la Condesa, le rapprochement avec l'avenue Alvaro Obregon et les boulevards parisiens est déjà moins évident. En effet, même si les trottoirs restent assez larges par rapport à la largeur de la rue - bien plus étroite qu'un boulevard, il n'y a que la double file d'arbres qui reste présente. Cette dernière est moins uniforme que sur un boulevard parisien puisque les espèces varient un peu et ne sont pas

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

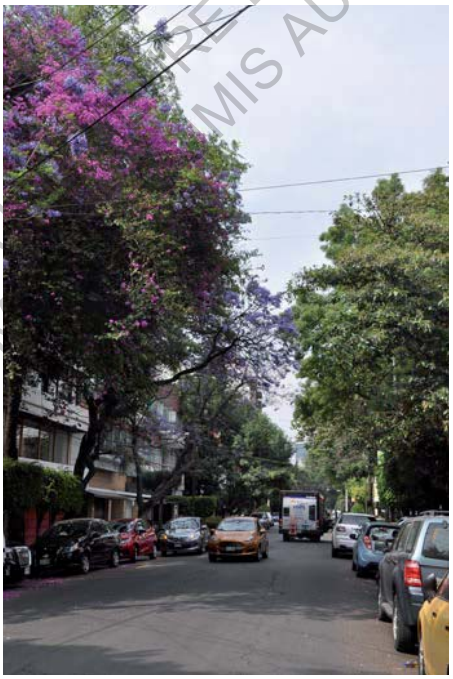
toujours éloignées de la même distance. Enfin, il n'y a pas de terre-plein central. On pourrait alors rapprocher la typologie de cette rue à celle d'un boulevard de la première ceinture - voir figure 15, avec une adaptation significative qui aurait été réalisée.

On peut donc en conclure que le modèle parisien des boulevards a été une source d'inspiration qui a influé sur toute la Roma et la Condesa, ne serait-ce que par la présence très forte d'arbres, en plus de la typologie de certaines rues.

- Fig. 26 : Terre-plein central de l'avenue Amsterdam

- Fig. 27 : Rond-point sur l'avenue Amsterdam

- Fig. 28 : Terre-plein central de l'avenue Alvaro Obregon



- Fig. 29 : Rue Atlixco, dans la Condesa

- Fig. 30 : Rue Parral, autre rue typique de la Condesa

- Fig. 31 : Comparaison des typologies des boulevards parisiens de la première et de la deuxième ceinture avec l'avenue Alvaro Obregon. (page suivante) Cette comparaison nous aide à comprendre de quelle typologie parisienne se sont inspirés ses créateurs. On voit bien la ressemblance entre le type du boulevard de la deuxième ceinture et celui de l'avenue de Mexico.

- Fig. 31 : Comparaison des typologies d'espaces publics de la Roma et de la Condesa à Mexico.

1 - L'avenue Alvaro Obregon

Vue aérienne de l'avenue Alvaro Obregon

Vue aérienne de l'avenue Alvaro Obregon

2 - L'avenue Amsterdam

Vue aérienne de l'avenue Amsterdam

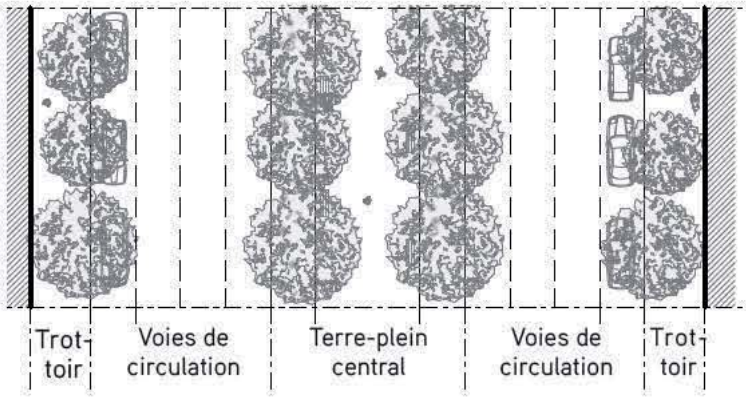
Vue aérienne de l'avenue Amsterdam

3 - La rue Atlixco

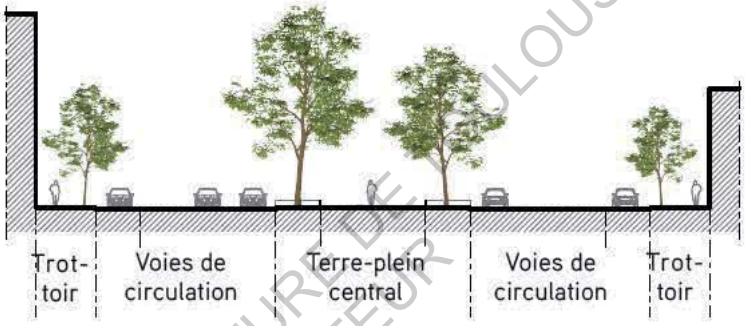
Vue aérienne de la rue Atlixco

Vue aérienne de la rue Atlixco

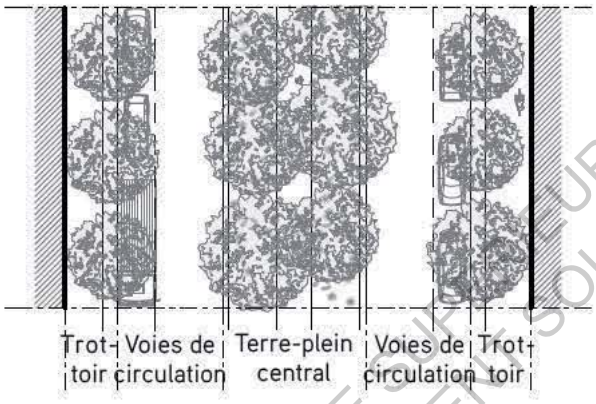
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT PROTÉGÉ PAR LE DROIT D'AUTEUR



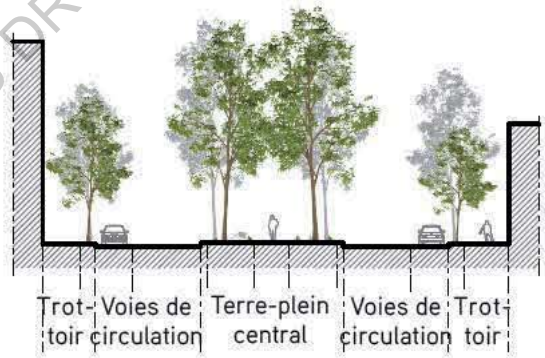
Plan typologique schématique de l'avenue Alvaro Obregon - Échelle 1/500



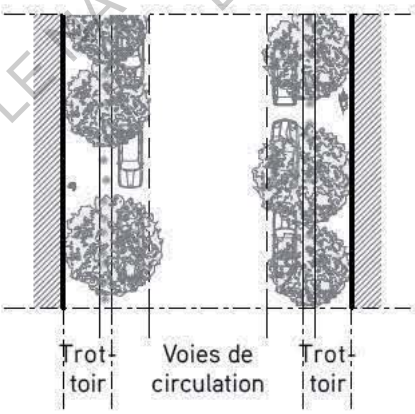
Coupe typologique schématique de l'avenue Alvaro Obregon - Échelle 1/500



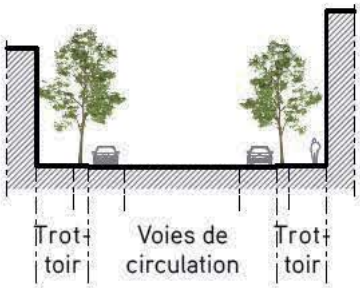
Plan typologique schématique de l'avenue Amsterdam - Échelle 1/500



Coupe typologique schématique de l'avenue Amsterdam - Échelle 1/500



Plan typologique schématique de la rue Atlixco - Echelle 1/500

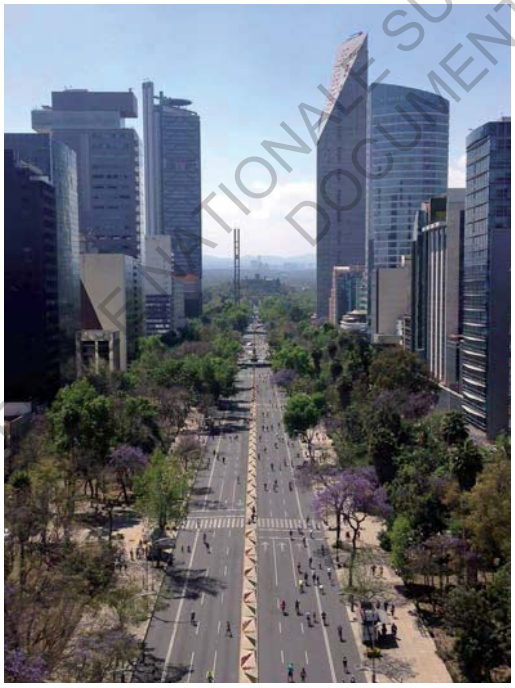


Coupe typologique schématique de la rue Atlixco - Echelle 1/500

ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Autre lieu caractéristique de la ville : l'avenue Reforma

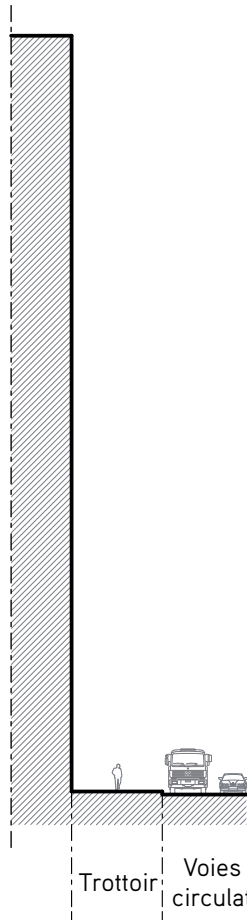
Après avoir démontré que la conception de la Roma et de la Condesa avait pû être inspirée du modèle parisien, on peut aussi se demander si cela n'aurait pas été le cas d'autres quartiers ou espaces publics de la ville de Mexico. J'ai alors choisi de m'intéresser à un autre lieu très représentatif de la ville lorsqu'on parle d'elle à quelqu'un qui ne la connaît pas : l'Avenue Reforma. Cette dernière, appelée « Paseo de la Reforma » en espagnol, est l'avenue la plus emblématique de la ville. Elle regroupe un grand nombre de monuments, évènements et bâtiments importants mais elle a surtout une place centrale dans la ville. En effet, elle a été réalisée à partir de 1864, sous l'empereur Maximilien Ier, pour relier le Palais National situé dans le centre historique au château de Chapultepec, où se trouvait le Palais Impérial. Elle coupe donc la ville en diagonale, et était un lieu de promenade qui est très souvent comparé à l'avenue des Champs-Élysée à Paris. Elle est composée de deux très larges trottoirs qui permettent la promenade piétonne, bordés par une végétation dense. Elle comprend également des voies de circulations au centre, et d'autres de chaque côté des trottoirs après qu'elle ait été agrandie. Enfin, elle a également été plantée d'arbres que l'on retrouve sur les boulevards parisiens : les platanes ou les micocouliers de Provence. Il convient de signaler l'importance des arbres dans cette configuration, qui sont, avec les grands édifices présents de chaque côté, les éléments principaux de cette avenue.

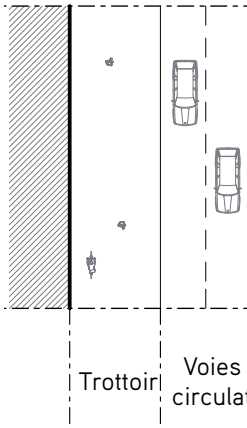


- Fig. 32 : Vue du Paseo de la Reforma

- Fig. 33 : Autre vue du Paseo de la Reforma

- Fig. 34 : Trottoir du Paseo de la Reforma



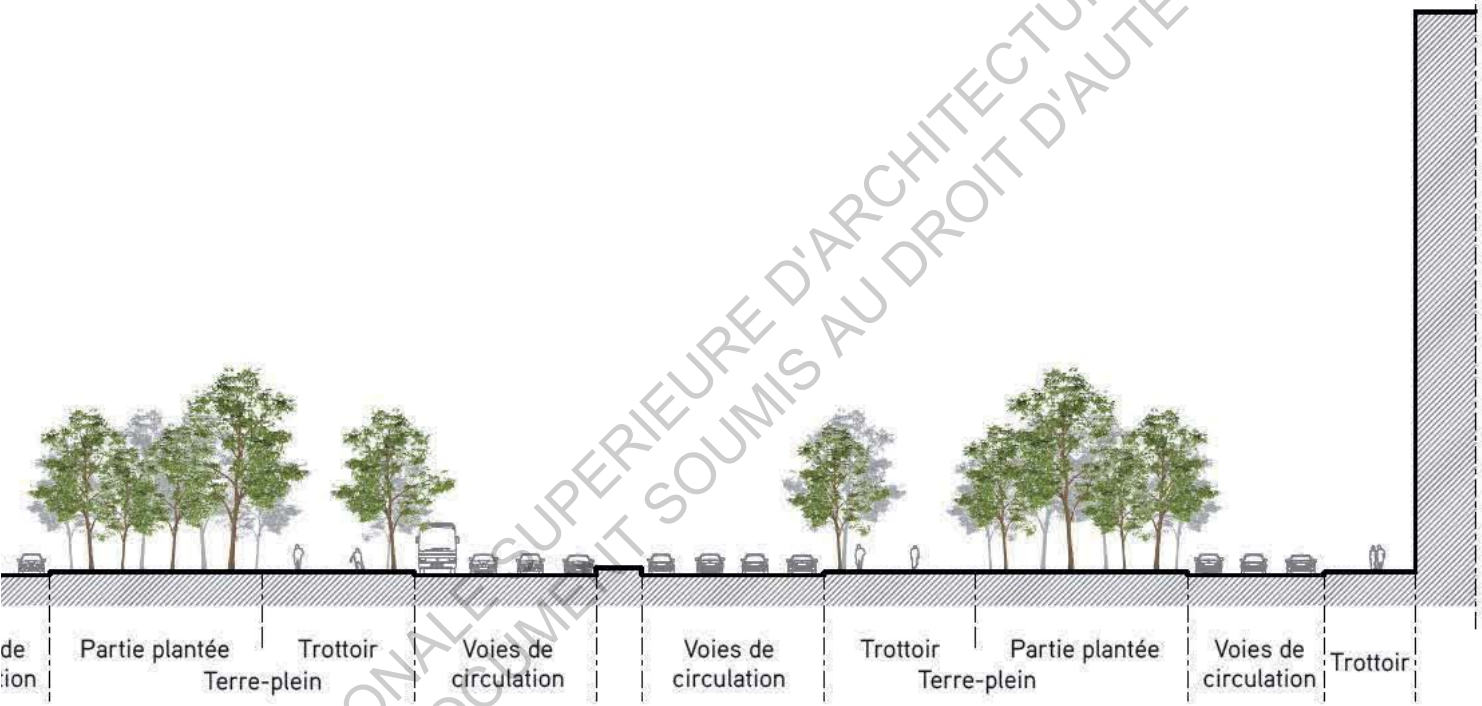


ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

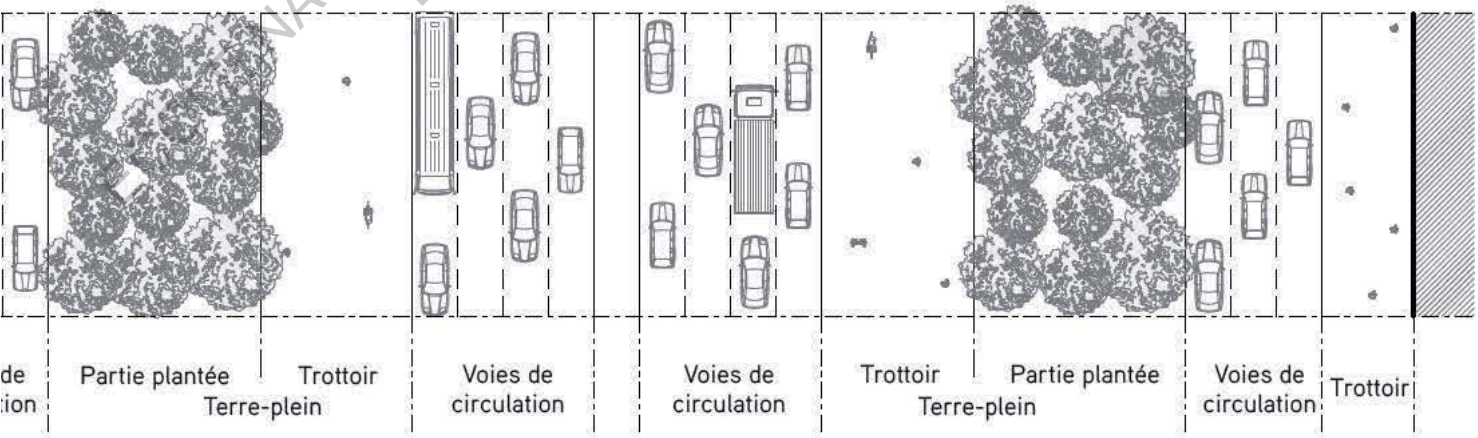
- Fig. 35 : Typologie de l'avenue Reforma

Vue aérienne de l'avenue Reforma

Vue aérienne de l'avenue Reforma



Coupe typologique schématique de l'avenue Reforma - Échelle 1/500



Plan typologique schématique de l'avenue Reforma - Échelle 1/500

NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

II - LES ARBRES ET LEURS ATOUTS ENVIRONNEMENTAUX

- Fig. 36 : Ombres dans une rue typique de la Condesa, la rue Parral.

La ville de Mexico, et particulièrement la zone étudiée, voit donc une présence très forte d'arbres dans ses rues, ce qui peut s'expliquer historiquement par l'influence du modèle parisien de l'époque. La présence de ces arbres la rend particulièrement agréable lorsque l'on s'y promène, cependant, en tant que mégalopole et que moteur de développement du pays, elle est sujette à une forte pollution.
En effet, les véhicules, l'industrie et les services de la ville de Mexico et de son aire urbaine rejette environ 175 mille tonnes de contaminants sous forme de gaz ou de particules[22]. Selon les caractéristiques atmosphériques, ces contaminants se diluent et se dispersent différemment. En effet, ils s'échappent rapidement un jour où il y a du vent, alors qu'ils peuvent rester immobiles plusieurs heures au dessus de la ville un jour de stabilité atmosphérique. Cette situation est également dûe à la situation de la ville dans une cuvette, où les vents sont faibles - 2 m/s en moyenne en 2014[23] - et ne parviennent pas à assez renouveler l'air de la ville, comme c'est le cas de Grenoble en France à une autre échelle. Le climat de la région détermine aussi les mouvements de masses d'air et influe donc sur la pollution. Pendant la saison sèche (de octobre à mai), les conditions climatiques favorisent la stabilité atmosphérique dans la vallée, ce qui entraine les niveaux de pollution les plus élevés, alors que pendant les mois de juin à septembre, la présence de pluies enlève les contaminants de l'air par dispersion ou lavage atmosphérique, entraînant alors les taux les plus bas.

On dénombre plusieurs polluants atmosphériques dans la métropole, tels que l'ozone (O_3) le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de souffre (SO_2), le dioxyde de nitrogène (NO_2) , les particules mineures $PM_{10,}$ ou $PM_{2.5}$, mais ceux qui dépassent le plus souvent les valeurs normatives mexicaines sont l'ozone et les particules en suspension, selon des données présentées dans le rapport de 2014 sur la qualité de l'air dans la ville de Mexico[24]. En effet, en 2014, la concentration d'ozone a été supérieure à la norme pendant 123 jours, et celle des particules $PM_{2.5}$ pendant 117 jours.

La contamination de l'air par ces polluants présente des patrons saisonniers relationnées aux patrons météorologiques. Il a donc été défini 3 périodes : la **période d'ozone**, la **période de particules**, et la **période des pluies**[25].

22 - Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal, *Calidad del aire en la Ciudad de México informe 2014*, Direccion General de Gestion de la Calidad del Aire, Direccion de Monitoreo Atmosférico, México, D.F., Junio 2015, p. 42
23 - Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal, *Calidad del aire en la Ciudad de México informe 2014*, Direccion General de Gestion de la Calidad del Aire, Direccion de Monitoreo Atmosférico, México, D.F., Junio 2015, p. 14 à 19
24 - Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal, *Calidad del aire en la Ciudad de México informe 2014*, Direccion General de Gestion de la Calidad del Aire, Direccion de Monitoreo Atmosférico, México, D.F., Junio 2015, p. 8-9
25 - Cordeau, Erwan, *Le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) et ses conséquences*, Atelier n°9 «Adapter les villes aux ICU» du 10.10.2012, Plans Climat Energie Territoriaux - 2ème colloque national, Institut d'Aménagement et d'Ubranisme Île-de-France, p. 4

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

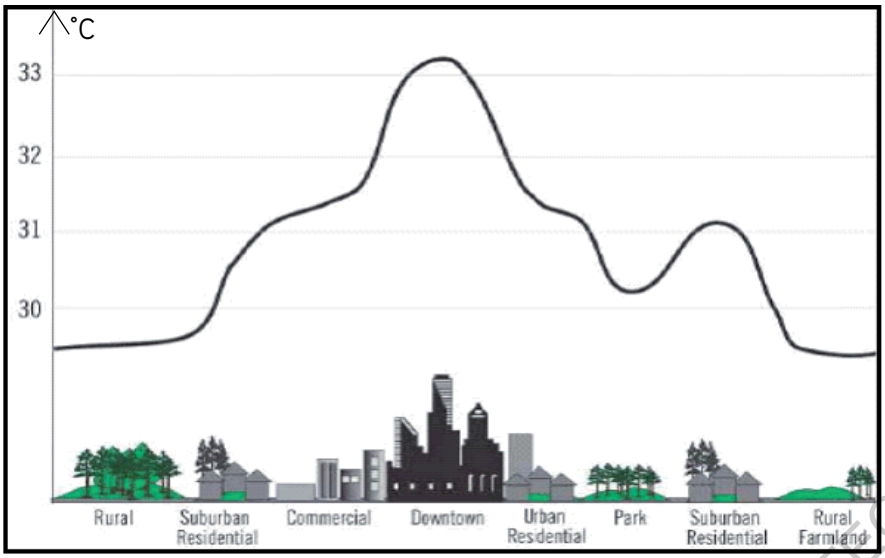
La première période s'étend généralement de fin février à juin. Elle se caractérise par des niveaux élevés d'ozone et d'autres polluants secondaires associés au smog[26], favorisés par les conditions climatiques. En effet, au printemps, le développement de systèmes atmosphériques de plus haute pression favorise un ciel dégagé, une faible humidité et une certaine stabilité atmosphérique. Avec l'augmentation de la période diurne et l'augmentation de la radiation solaire, l'activité photochimique entre les polluants augmente, provocant la formation du smog. La période des particules est caractérisée par l'augmentation des concentrations de PST (particules en suspension totale), PM_{10} et $PM_{2.5}$, provoquée par la stabilité atmosphérique, les inversions thermiques de surface, et la baisse de température et d'humidité. En effet, pendant les mois d'hiver prédominent les masses d'air continental, froid et sec venant du Nord, qui sont propices à un ciel dégagé, un vent faible et une légère baisse de température. Ces conditions participent à la formation d'inversions thermiques de surface qui retiennent les contaminants de l'air dans une couche proche du sol. Enfin la saison des pluies est caractérisée par des bas niveaux de pollutions dus aux lavements atmosphériques.

Cette forte pollution est exacerbée par un phénomène qui touche toutes les villes d'une certaine importance dont Mexico : **l'îlot de chaleur urbain**.

L'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU) est un phénomène physique climatique, caractérisé par l'observation de températures plus élevées dans une zone urbaine que dans son environnement immédiat. Ces augmentations de températures sont une manifestation de l'influence de la ville sur son environnement naturel, et résulte de la combinaison de plusieurs facteurs : situation géographique, climatique, morphologie urbaine, matériaux, activités humaines, etc.... A l'inverse, ce phénomène a aussi une influence sur la ville, sur son climat (températures, précipitations) ainsi que sur le confort de ses citadins.
Le phénomène d'îlot de chaleur urbain se manifeste par des différences parfois très importantes entre le centre chaud et la périphérie plus froide, particulièrement lors des minima de températures en fin de nuit où l'écart peut être de près de 16°C[27]. L'augmentation des températures ne se trouve pas seulement sur la couche la plus basse de l'atmosphère en contact direct avec la ville ; on observe également un dôme de chaleur en altitude.
Ces différences de températures ont déjà été mesurées à Mexico, notamment par la Commission de Coopération Environnementale (CCA) qui a plusieurs stations de mesure de températures dans la ville. En novembre 2006 et 2007, il a donc été enregistré une température de 0°C à Xochimilco (sud de la ville) alors que sur le Zócalo, soit la place principale de la ville, située dans le centre historique, il faisait 9°C[27].

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

26 - Le smog correspond à un mélange de polluants atmosphériques produits, entre autres, lors du brûlage des combustibles fossiles (pétrole, charbon) par les véhicules que nous conduisons, par certaines usines, etc. Définition dans : Lessard, G. et Boulfroy, E. (2008), *Les rôles de l'arbre en ville*, Centre collégial de transfert de technologie en foresterie de Sainte-Foy (CERFO), Québec, 21 p., p. 4
27 - Machorro, Juan-Carlos, « DF : Islas de calor », *Mi ambiente*, avril 2010, dernière consultation 10.12.2016, http://www.miambiente.com.mx/comunitarias/df-islas-de-calor



- Fig. 37 : Illustration de la différence de températures entre le centre urbain et la périphérie rurale.
Sur ce graphique, on peut noter que les températures baissent en même temps que la densité de la ville ainsi que de sa part de végétalisation.

Ce réchauffement de la zone urbaine a alors plusieurs conséquences. En faisant augmenter la température, il entraine la diminution de l'humidité relative de l'air, ainsi que la diminution du nombre de jours de gel et de couverture de neige dans les zones concernées. A Mexico, il arrivait parfois que des jours de gel soient enregistrés dans le centre de la ville, ce qui n'est aujourd'hui plus le cas[28]. Il cause aussi la diminution des rosées, brumes, et brouillards urbains, qui contribuent à épurer l'air des aérosols et des poussières en suspension. Par la diminution du taux d'humidité, il renforce également la pollution de l'air en aggravant les smogs et les effets d'inversion atmosphérique, qui confinent les particules polluantes sous une couche que l'on pourrait comparer au « plafond urbain ». L'îlot de chaleur a aussi des effets sur le régime des précipitations, en multipliant les épisodes orageux ou d'averses car la chaleur du milieu urbain fait remonter les masses d'air et rend ainsi l'atmosphère instable. Enfin, ce phénomène peut aggraver les épisodes de canicule, ainsi qu'affecter la biodiversité, en repoussant certaines espèces et en attirant d'autres espèces plus thermophiles.
Ces îlots de chaleur sont induits par le croisement de deux facteurs : l'addition de différentes chaleurs et la modification de la nature de la surface de la planète dans le contexte urbain.

Sources de chaleur

› Le chauffage naturel de la Terre

Le Soleil est la source d'énergie du Système Solaire et donc de la Terre. Ses rayons traversent l'espace jusqu'à l'atmosphère terrestre, qui renvoie dans l'espace 30 % de cette énergie. Le reste est absorbé par l'atmosphère et participe donc au réchauffement de la surface terrestre.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

28 - Martinez, Edith, « Islas de calor ahogan a la ciudad », *El Universal*, avril 2009, dernière consultation le 10.12.2016, http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/94876.html

L'atmosphère et la surface terrestre, pour ne pas surchauffer et rester en équilibre, perdent de l'énergie sous forme de rayonnement infrarouge. L'atmosphère reçoit donc à nouveau de l'énergie qu'elle rayonne en partie vers l'espace, et vers la surface terrestre. Ces rayons infrarouges participent à élever la température de manière encore plus significative que les rayons solaires.

> Les sources anthropiques

A la chaleur naturelle, vient s'ajouter la chaleur produite par les activités humaines comme les transports, l'industrie, le chauffage ou la climatisation. Ces sources anthropiques sont très importantes dans l'aire urbaine de Mexico puisqu'elle est peuplée de 23 millions d'habitants et qu'elle accueillait presque 5 millions de véhicules en 2016[29]. Elle est également le siège de nombreuses industries, en particulier au Nord de la ville. Ces activités rejettent, en plus de l'énergie, des gaz à effets de serre (GES) dans l'atmosphère, ce qui augmente sa capacité à absorber le rayonnement infrarouge, et donc sa température. Ces rejets de chaleurs perturbent l'équilibre thermique de la Terre, puisqu'ils se rajoutent dans le système de réchauffement et de refroidissement sans être compensés.

Ces différentes chaleurs peuvent se transmettre par trois modes différents : le rayonnement, la convection, et la conduction.
A l'échelle de la ville, l'énergie de source naturelle est absorbée et réfléchie en partie par les matériaux. Lorsqu'elle est absorbée, l'énergie chauffe les bâtiments et les différents revêtements, et lorsqu'elle est réfléchie, elle est renvoyée vers d'autres surfaces : c'est le rayonnement. Chaque surface recevant le rayonnement d'une autre surface va alors en absorber une partie, et réfléchir l'autre, qui ira à son tour sur une autre surface, etc. Cette réflexion multiple provoque alors un échauffement plus ou moins important selon l'indice de réflexion des surfaces.
La chaleur peut également se transmettre par convection, soit par contact de masses d'air. Par exemple, lorsque l'air est chauffé, il se dilate, devient plus léger que l'air froid et donc s'élève. En montant, il se refroidit et retombe. C'est ainsi que ce mouvement de masses d'air ascendant crée un « dôme » au-dessus de la ville.
La chaleur se diffuse également dans les matériaux par conduction, soit par la matière. Par exemple, si un mur est chauffé par le soleil à l'extérieur, cette chaleur va se diffuser à travers le matériau du mur, afin de redistribuer la chaleur par la suite vers l'intérieur. En effet, la conduction vise à rétablir l'équilibre de température entre deux milieux.
Le phénomène d'ICU est donc entre autre dû à l'addition de la chaleur naturelle et de la chaleur anthropique, qui se transmettent au milieu urbain de différentes façons.

29 - « La contaminacion ambiental en la Ciudad de México : todo sobre la contaminacion del aire », Arquitectura y Urbanismo, *Propriedades.com*, México, avril 2016, dernière consultation le 10.12.2016, http://propiedades.com/blog/arquitecura-y-urbanismo/contaminacion-ambiental-en-la-ciudad-de-mexico-df

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Comportement des matériaux

L'urbanisation fait de la ville un milieu qui absorbe plus d'énergie solaire que ne le ferait le milieu naturel. Ceci est principalement dû aux propriétés des matériaux qui composent les bâtiments, les voies de circulations et les infrastructures. Leur comportement par rapport au rayonnement et à la chaleur est différent de celui de la terre nue ou végétalisée que l'on trouve plus facilement à la campagne, et dépend de deux paramètres : l'inertie thermique et l'albédo.

> L'inertie thermique

Le principe d'inertie thermique peut se résumer comme la capacité d'un matériau à accumuler puis à restituer de la chaleur. Plus le temps d'absorption et de restitution est long, plus le matériau est thermiquement inerte. La capacité thermique représente la quantité de chaleur qu'un matériau peut stocker puis restituer. Cette capacité dépend de trois paramètres propres à chaque matériau : la capacité de conductivité, c'est-à-dire la capacité à répartir la chaleur dans un matériau, la capacité thermique massive, à savoir la capacité de réchauffement d'un matériau, et la densité, le rapport entre son poids et son volume. De manière générale, plus un matériau est lourd et épais, plus il est inerte : la chaleur circulera moins vite à l'intérieur et il lui faudra du temps pour monter en température. Mais, à l'inverse, une fois chaud, il mettra également beaucoup de temps à se refroidir.
Ce principe d'inertie est une des premières raisons de la formation des îlots de chaleur urbains car les matériaux de construction ont une inertie thermique bien plus grande que la terre. A titre d'exemple, le béton ordinaire a une capacité thermique de 2 400 à 2 640 KJ/m^3.°C, et la terre sèche de 1 350 KJ/m^3.°C[30]. Ceci signifie que les matériaux de construction mettent plus de temps à absorber puis restituer la chaleur reçue que les matériaux naturels.

> L'albédo

L'albédo est le deuxième paramètre des matériaux qui influe sur leur comportement face à la chaleur. Il représente l'énergie solaire réfléchie par rapport à l'énergie solaire reçue, et correspond donc au rapport : énergie réfléchie / énergie reçue. L'albédo s'exprime en fraction de 0 à 1, où 1 représenterait une surface qui réfléchirait 100 % de l'énergie et 0 une surface qui absorberait entièrement les rayonnements, sans aucune réflexion. Ainsi, une surface dont l'albédo est inférieur à 0,03 (ou 3 %) est perçue comme noire, et celle dont l'albédo est supérieur à 0,8 (ou 80 %) est perçue comme blanche. Appliquée aux matériaux utilisés dans un contexte urbain, cette donnée physique détermine leur capacité d'absorption ou de réflexion de l'énergie reçue, et ainsi leur température. Un matériau à faible albédo absorbe plus d'énergie, et donc de chaleur. Sa température de surface sera alors plus élevée. L'albédo

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

30 - KJ/m3.°C : Kilo Joule par mètre cube par degré Celsius

moyen du globe terrestre est de 0,28 (0,34 pour les continents, 0,26 pour les océans). En ville, on mesure des albédos très variés : 0,07 pour l'asphalte ou le goudron, 0,20 pour du béton brut, 0,4 pour des tuiles. Les surfaces noires et donc à faible albédo, comme le goudron ou les matériaux foncés, se comportent comme des capteurs solaires qui renvoient ensuite le rayonnement solaire absorbé sous forme de rayonnement infrarouge, ce qui réchauffe l'air urbain, et - en l'absence de vent - tout l'environnement urbain. C'est le cas de la zone étudiée, dont le sol est en général couvert de goudron ou de pavés foncés, comme on peut le voir sur la figure 38. Le sol de la Roma et de la Condesa absorbe donc beaucoup de chaleur, contrairement aux surfaces blanches, à albédo élevé, qui réfléchissent plus de rayons vers d'autres surfaces, qui à leur tour réfléchiront ou absorberont...

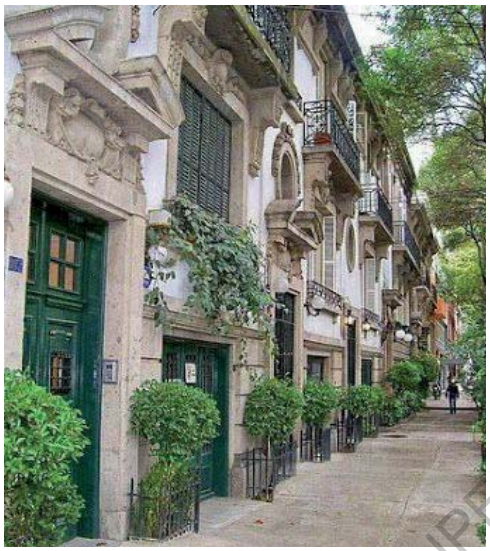
> La combinaison de l'inertie thermique et de l'albédo

Lorsque l'on prend en compte ces deux principes physiques, on comprend comment les matériaux urbains réagissent par rapport à l'énergie qu'ils reçoivent et comment fonctionne l'effet d'îlot de chaleur urbain. Si on prend l'exemple du béton brut, on voit qu'il a une inertie thermique assez élevée et un albédo faible, il absorbe donc près de 80 % de l'énergie qu'il reçoit. Ainsi, le béton soumis aux rayonnements diverses va se réchauffer lentement mais sa capacité thermique et son albédo lui permettent d'emmagasiner beaucoup de chaleur. Lorsqu'il ne reçoit plus d'énergie, il commence à se refroidir tout aussi lentement, alors que la température de l'air extérieur qui l'entoure a déjà beaucoup baissé. Il distribue donc de la chaleur à une période où il n'en reçoit plus et où il fait normalement plus frais : la nuit. Il va alors participer à réchauffer l'air à un moment où il se refroidit. Les sols naturels, ayant des albédos plus élevés et une inertie plus faible, emmagasinent beaucoup moins de chaleur, et la restituent plus rapidement. Dans la zone étudiée, la plupart des sols ne sont pas naturels et clairs et absorbent donc beaucoup de chaleur.

FINALE SUPÉRIEURE DE L'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS À LE DROIT D'AUTEUR

- Figure 38 : Sols de la Roma et de la Condesa. On peut voir sur ces photographies que les sols de la zone sont souvent asphaltés et donc foncés. Dans les parcs, comme à droite dans le parc Mexico, les sols sont peu végétalisés et la terre est laissée brute. Elle est souvent foncée et l'albédo général de ce parc n'est donc sans doute pas le même qu'un parc enherbé et végétalisé.

De plus, les constructions ne sont pas non plus claires comme c'est le cas à Cadaquès par exemple, en Espagne. En effet, la ville de Mexico est connue pour sa diversité de styles architecturaux mais aussi de couleurs et de matériaux qui donne souvent l'impression de désordre à ses visiteurs. En effet, la zone étudiée est un mélange d'architecture coloniale, moderne, et même très contemporaine. Les matériaux oscillent donc entre béton brut, pierres plus ou moins claires, mais aussi façades peintes en bleu, orange ou même vert, comme l'on peut en avoir un aperçu sur les photos ci-dessous. Ces couleurs et matériaux ne sont pas très clairs et n'ont donc pas un albédo très élevé. Ils participent alors activement à l'absorption puis à la restitution de chaleur de la zone, et donc à l'effet d'îlot de chaleur urbain.



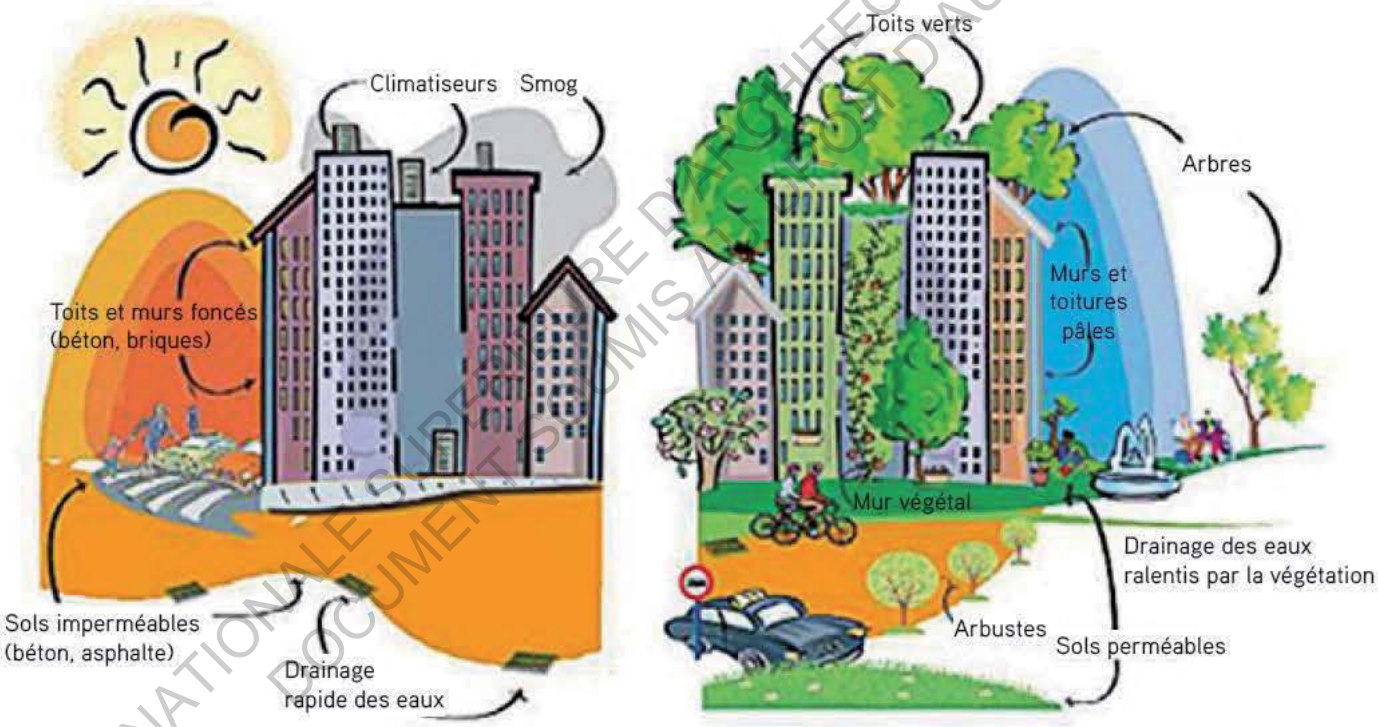
- Figure 39 : Aperçu de différents styles architecturaux de la Roma et de la Condesa.

L'influence du modèle d'urbanisation

La cause principale des îlots de chaleur est le modèle d'urbanisation et de développement de la ville. En effet, une ville concentre par nature de nombreuses activités humaines émettrices de chaleur. De plus, le comportement des matériaux urbains fait qu'ils emmagasinent de la chaleur qu'ils restituent plus tard, une fois que la température de l'air est redescendue. Ainsi, le flux thermique de l'atmosphère urbaine reste toujours positif.
La densité de construction entre également en jeu. Tout d'abord, les bâtiments déploient des surfaces de réflexion des rayonnements infrarouges importantes, qui entraînent un échauffement. Dans la zone étudiée, la hauteur moyenne des constructions est environ comprise entre deux et quatre étages, et certaines vont jusqu'à sept étages. Le développé de façade n'est donc pas négligeable, surtout lorsque les rues ne sont pas très larges comme dans les petites rues typiques, sur le modèle de la rue Atlixco.
De plus, ces bâtiments font obstacle aux écoulements d'air qui pourraient dissiper la chaleur. Au niveau du sol, la vitesse du vent est sensiblement plus faible qu'au-dessus des bâtiments,

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENTS ÉTUDIANTS

qui freinent eux-mêmes la circulation de l'air, ce que l'on nomme couramment la rugosité. Cette rugosité dépend de la surface sur laquelle s'écoule l'air : plus le milieu comporte des obstacles, plus il est rugueux.
Enfin, la ville possède moins de moyens de rafraîchissement naturels que la campagne. La végétation et l'eau ont un important pouvoir de rafraîchissement de l'air grâce à l'évaporation et à l'évapotranspiration. Or, elles sont beaucoup moins présentes en ville, d'autant plus que les eaux de pluies sont directement évacuées dans les canalisations.
Cette influence de la forme urbaine à l'échelle de la ville sur le climat se retrouve également à l'échelle de la rue et du quartier en fonction de la forme des îlots urbains et de leur orientation. Ainsi, on peut repérer de micros îlots de chaleur urbains dans des quartiers très denses par rapport à d'autres au tissu urbain plus lâche ou proches d'un espace vert ou d'un plan d'eau.



- Fig. 40 : Illustration montrant le modèle d'urbanisation actuel et celui vers lequel il faudrait tendre pour créer des conditions de vie plus agréables.
Le dessin de gauche représente le modèle d'urbanisation actuel avec ses toits et murs foncés, ses climatiseurs, ses sols imperméables, son drainage rapide des eaux ainsi que le smog toujours présent. On voit l'échauffement qui découle de ce milieu urbain, schématisé par les couleurs orange et rouge, et qui semble rendre la ville peu agréable.
Le dessin de droite représente quant à lui un autre modèle d'urbanisation, avec des toits végétalisés, des murs et toitures pâles ou végétalisés, des arbres et arbustes ainsi que des sols perméables, qui permettent un drainage ralenti des eaux de pluie. Ce type d'aménagement semble dégager de la fraîcheur, symbolisée par la couleur bleue, et rendre l'espace plus agréable. On note bien le contraste entre les deux, où le deuxième modèle utilise des mesures pour contrebalancer les effets de l'îlot de chaleur urbain.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS A DROIT D'AUTEUR

2 - RÔLES DE L'ARBRE CONTRE L' « ÎLOT DE CHALEUR URBAIN »

Les arbres ont une influence multiple sur le phénomène d'îlot de chaleur urbain, grâce à leurs effets sur le climat ainsi que sur la pollution.

Diminution de la chaleur

› Humidité

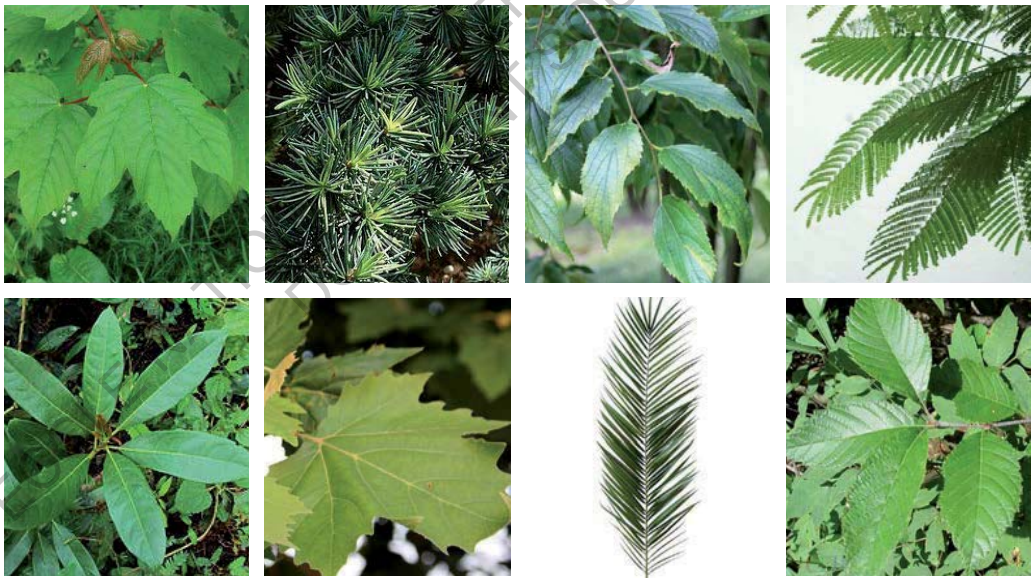
Comme tout être vivant, les végétaux ont besoin d'absorber certains éléments pour vivre et d'en rejeter d'autres après consommation. Ils ont deux sources principales de nutrition : l'air et le sol, où ils puisent de l'eau et des sels minéraux. L'eau est diffusée dans toutes les parties des végétaux grâce à l'évapotranspiration, qui fait remonter l'eau depuis les racines. La majeure partie de cette eau est évacuée par transpiration au niveau des feuilles, ce qui signifie qu'elle est rejetée sous forme de vapeur d'eau et augmente donc le taux d'humidité de l'air. Ce processus d'évaporation par le sol et de transpiration par le végétal consomme de l'énergie. Grâce à cette consommation d'énergie et à l'augmentation du taux d'humidité, la transpiration des arbres entraine le rafraîchissement de l'air.
A titre indicatif, les auteurs de *l'Arboriculture urbaine*[31] citent l'exemple suivant : un hectare de hêtraie âgée de quatre vingt ans transpirerait 3000 m^3 d'eau pendant une saison de végétation[32]. Ils considèrent également qu'une bande verte de cent mètres de large entraine une augmentation de cinquante pour cent de l'humidité atmosphérique.
La capacité de transpiration des arbres dépend de plusieurs facteurs comme la surface foliaire, c'est-à-dire de la surface des feuilles. Plus cette surface est grande, plus l'arbre a de stomates[33] et donc plus il est à même de transpirer.
Il est alors intéressant de regarder la taille des feuilles des arbres précédemment repérés[34] dans la zone étudiée afin de voir si leur capacité à transpirer et donc à humidifier l'air est importante. A partir du tableau ci-contre, on peut remarquer que les feuilles les plus grandes sont celles de la jacaranda à feuilles de mimosa, du platane commun et du palmier des Canaries. On peut alors formuler l'hypothèse que ce sont ces trois arbres qui transpirent le plus parmi les arbres repérés dans le quartier, même si nous aurions besoin d'autres informations plus techniques pour compléter cette hypothèse. En effet, on pourrait aussi s'intéresser à l'efficacité des stomates de chaque espèce dans le cas où elle différerait par exemple, mais nous allons nous concentrer sur l'hypothèse que la transpiration d'un arbre dépend uniquement de la taille de ses feuilles afin de ne pas rentrer dans des termes trop techniques.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

31 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 38
32 - Boyer P., *Végétation et écosystème urbain,* Techniques et Architectures, n°313, avril-mai 1978, p 28-31
33 - Stomates : Ensemble de deux cellules réniformes (« cellules de garde ») riches en chlorophylle, ménageant entre elles une petite ouverture (ostiole) par laquelle s'effectuent les échanges gazeux de la plante (respiration, transpiration, photosynthèse). (*Larousse*)
34 - Dans la section « 1 - Définition de l'îlot de chaleur urbain », p. 38

Nom scientifique	Nom commun	Forme et taille des feuilles
Acer pseudoplatanus	Érable sycomore	5 lobes dentés - 9 à 15 cm transversalement
Cedrus deodara G. Don	Cèdre de l'Himalaya	Épines en groupes de 10 à 20 - 3,5 cm de long
Celtis australis	Micocoulier de Provence	Ovales-lancéolées - 5 à 9 cm de long par 3 à 4 cm
Jacaranda mimosaefolia	Flamboyant bleu, jacaranda à feuilles de mimosa	16 paires de palmes de 15 à 30 cm de long, divisées sur 2 côtés, soutenant elles-mêmes 14 à 24 paires de feuilles ovales d'un cm de long
Persea gratissima Gaertn	Avocatier	Elliptique ou ovale - 8 à 25 cm de long
Platanus x hibrida Brot	Platane commun	Plus ou moins triangulaires, généralement composées de 5 lobes - tailles variables - 20 cm en moyenne
Phoenix canariensis Chabaud	Palmier des Canaries, Dattier des Canaries	Pétioles[35] rigides portant des épines - jusqu'à 6m de long - Épines de 30 à 40 cm de long par 5 cm de large
Ulmus parvifolia Jacq	Orme	Elliptique ou ovale - 2 à 6,5 cm de long

- Fig. 41 : Tableau présentant la taille des feuilles des espèces d'arbres que l'on retrouve dans la Roma et la Condesa à Mexico. Ce tableau synthétique présente les espèces par ordre alphabétique. Il renseigne non exhaustivement sur la taille des feuilles des arbres de la zone étudiée. La liste des arbres ainsi que la taille de leurs feuilles a été établie selon le livre *Los arboles de la ciudad de Mexico*[36]. Il est à regarder avec la figure 42.



- Fig. 42 : Feuilles des différents arbres repérés dans la Roma et la Condesa à Mexico.

Dans l'ordre de gauche à droite apparaissent sur la première ligne les feuilles de : l'érable sycomore, du cèdre de l'Himalaya, du micocoulier de Provence, de la jacaranda à feuilles de mimosa, et sur la deuxième ligne : de l' avocatier, du platane commun, du palmier des Canaries, et de l'orme.

FICHE ÉTUDIANT - BIBLIOTHÈQUE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENTS SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

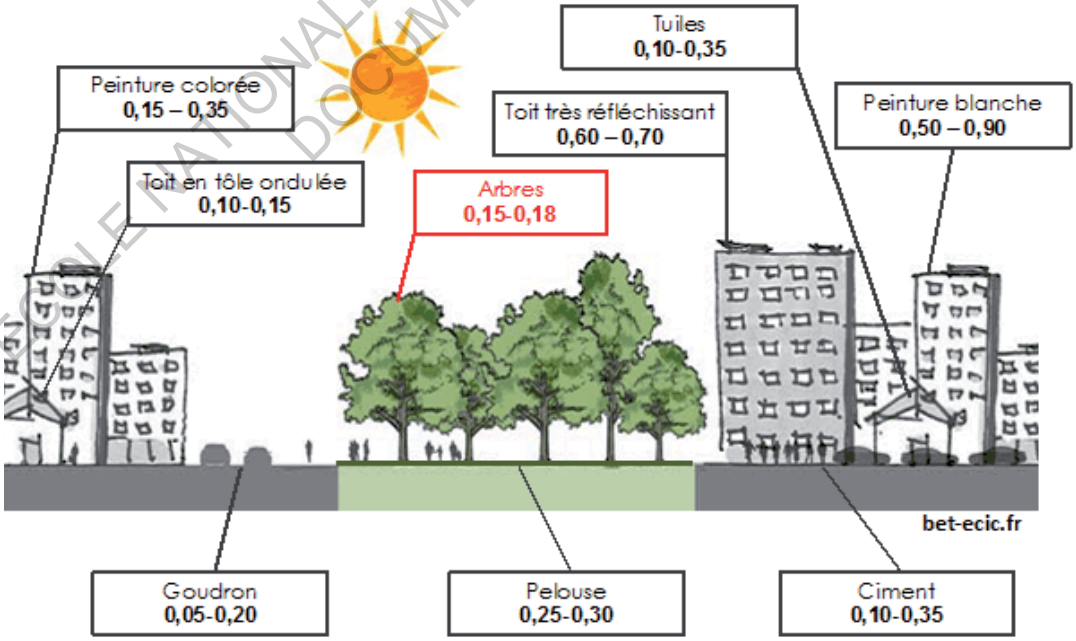
35 - Pétiole : partie de la feuille, généralement rétrécie, qui correspond à la « queue ». (*Larousse*)
36 - Martinez Gonzalez, Lorena et Chacalo Hilu, Alicia (1994), *Los arboles de la ciudad de Mexico*, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, 351 pages

L'humidification de l'air et la diminution de la température par les arbres ont un certain impact sur l'îlot de chaleur urbain en général et notamment celui de la ville de Mexico. Nous avons vu précédemment que le climat de la ville est chaud et pluvieux en été, mais doux et sec en hiver. En effet, pendant la saison hivernale, le froid est sec puisqu'il n'y a pas beaucoup de précipitations. L'humidification de l'air par les arbres est donc un véritable avantage pour assurer une hygrométrie suffisante et donc augmenter le confort des habitants pendant cette période, bien qu'elle ne soit assurée que par les arbres pérennes, qui sont une minorité. En hiver, l'humidification de l'air ainsi que son rafraîchissement facilitent aussi la création de brouillards qui aident à assainir l'air au moment où la pollution est la plus élevée comme vu précédemment. Enfin, la diminution de température occasionnée par l'augmentation de l'humidité est aussi un avantage en été car les températures sont assez élevées naturellement et peuvent l'être encore plus à cause de la surchauffe dûe au phénomène d'îlot de chaleur urbain.

› Albédo

Comme vu précédemment, l'albédo correspond au rapport énergie solaire réfléchie / énergie solaire reçue. L'albédo des végétaux et des arbres est en général assez faible mais il est plus élevé que la plupart des matériaux utilisés en zone urbaine et qui conduisent à un échauffement comme le goudron, les graviers ou le béton. On peut voir les albédos des différents matériaux en comparaison avec les arbres sur la figure ci-dessous. Les arbres emmagasinent donc moins de chaleur que ces matériaux, et en restituent également beaucoup moins.
Toutes les espèces de végétaux et d'arbres n'ont cependant pas le même albédo. Une étude

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



- Fig. 43 : Image montrant la différence d'albédo entre les arbres et les matériaux de construction d'un milieu urbain.
On peut remarquer que les arbres ont un albédo de 0,15 à 0,18, soit supérieur au goudron, au ciment, aux toits en tôle ondulée, ou encore aux tuiles, mais inférieur aux toits réfléchissants et à la peinture blanche.

britannique de janvier 2009[37] proposait alors de sélectionner les variétés de culture selon leur albédo, en affirmant que cette sélection pourrait faire baisser d'un degré Celsius la température de surface des zones cultivées.
On peut alors s'intéresser aux arbres de la zone en essayant de déterminer, à partir de la couleur de leurs feuilles et de leur écorce, lesquels ont un albédo plus élevé et sont donc plus bénéfiques pour l'environnement urbain.
Sachant que plus une couleur est foncée, plus elle a un albédo faible, on peut alors en déduire, selon la figure 44 ci-dessous, que les arbres à l'albédo le plus élevé sont ceux dont les feuilles sont de couleur vert clair ou pâle, et l'écorce pâle. On pourrait alors dire que l'arbre le plus intéressant au niveau de l'albédo est la Jacaranda à feuilles de mimosa, très présente dans la zone, et dont les feuilles sont vert pâle et l'écorce vert grisé. Cependant, le critère de l'albédo de chaque espèce d'arbre n'est pas le plus déterminant, contrairement à celui de l'ombre que proportionne un arbre par exemple.

Nom scientifique	Nom commun	Couleur des feuilles	Couleur de l'écorce
Acer pseudoplatanus	Erable sycomore	Vert foncé	Gris métallique (marron pâle quand il est âgé)
Cedrus deodora G. Don	Cèdre de l'Himalaya	Vert foncé	Marron foncé ou noir
Celtis australis	Micocoulier de Provence	Vert pâle	Gris ou marron grisé
Jacaranda mimosaefolia	Flamboyant bleu, jacaranda à feuilles de mimosa	Vert pâle	Vert grisé
Persea gratissima Gaertn	Avocatier	Vert foncé - envers pâle	Gris brun à rougeâtre
Platanus x hibrida Brot	Platane commun	Vert brillant - envers pâle	Parties marron, vertes et grises
Phoenix canariensis Chabaud	Palmier des Canaries, Dattier des canaries	Vert clair	Marron
Ulmus parvifolia Jacq	Orme	Vert olive ou foncé brillant - envers pâle	Grise

- Fig. 44 : Tableau présentant la couleur des feuilles et de l'écorce des espèces d'arbres que l'on retrouve dans la Roma et la Condesa à Mexico. Ce tableau synthétique présente les espèces par ordre alphabétique. Il renseigne non exhaustivement sur la couleur et des feuilles et de l'écorce des arbres de la zone étudiée.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

37 - University of Bristol, « Cooling the planet with crops », janvier 2009, cité dans *Les îlots de chaleur urbain, répertoire de fiches connaissance*, Institut d'aménagement et d'urbanisme Ile de France, novembre 2012, p. 30

> *Ombre*

En effet, les arbres jouent aussi un rôle essentiel dans la diminution de la chaleur en ville dans la mesure où ils créent des zones d'ombres qui empêchent les rayonnements de surchauffer les surfaces à l'albédo et à l'inertie thermique élevées. Par exemple, lorsqu'un arbre fait de l'ombre sur de l'asphalte, il empêche que celle-ci reçoivent les rayons solaires. Sans lui, cette surface se chaufferait et diffuserait plus tard la chaleur emmagasinée, ce qui participerait à l'augmentation de la chaleur et donc au phénomène d'îlot de chaleur urbain. Selon les auteurs de *l'Arboriculture Urbaine*[38], l'absence de couvert végétal dans l'est de Montréal se traduirait par une augmentation de la température ambiante de 10,5 ºC, ce qui laisse comprendre l'importance de son rôle.
Les arbres n'ombragent pas que le sol mais aussi les façades d'immeubles, permettant ainsi aux logements ou bureaux par exemple de ne pas surchauffer, leur évitant donc un usage plus important de la climatisation. L'usage de l'air conditionné étant déjà très important au Mexique, on peut dire que la présence des arbres dans la Roma et la Condesa limite cette pratique qui réchauffe l'air extérieur pour refroidir l'air intérieur, et est alors un cercle vicieux. Il convient également de signaler qu'à l'inverse, les arbres caducs laissent passer les rayons solaires en hiver, ce qui permet de chauffer les immeubles naturellement dans une ville où très peu de bâtiments sont équipés de chauffage artificiel et où il fait autour de 5-10°C à cette saison. Cela permet donc d'augmenter le confort des habitants qui sont résignés à attendre que l'hiver se termine.

Nom scientifique	Nom commun	Type d'arbre	Ombre
Acer pseudoplatanus	Érable sycomore	Caduc	Moyenne
Cedrus deodora G. Don	Cèdre de l'Himalaya	Pérenne	Légère
Celtis australis	Micocoulier de Provence	Caduc	Dense
Jacaranda mimosaefolia	Flamboyant bleu, jacaranda à feuilles de mimosa	Caduc	Légère
Persea gratissima Gaertn	Avocatier	Perenne	Dense
Platanus x hibrida Brot	Platane commun	Caduc	Dense
Phoenix canariensis Chabaud	Palmier des Canaries, Dattier des Canaries	Pérenne	Dense
Ulmus parvifolia Jacq	Orme	Caduc	Dense

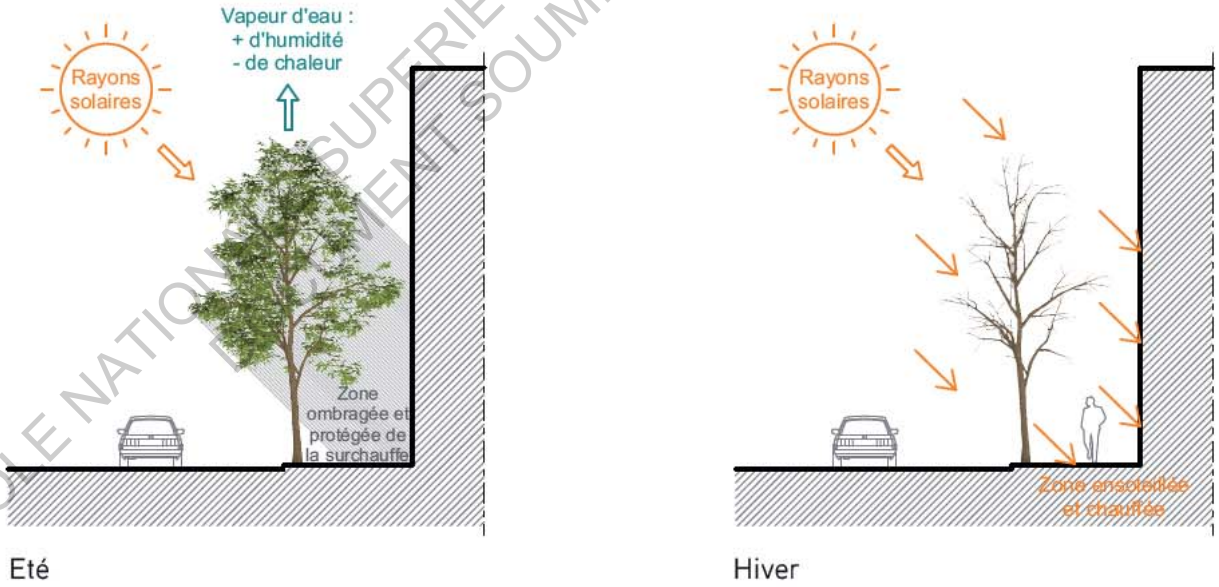
- Fig. 45 : Tableau présentant le type d'arbre de la zone étudiée ainsi que leur ombre.

38 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 38

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

On peut déduire, à partir du tableau ci-contre, que les arbres qui offrent le plus d'ombre aux espaces publics de la capitale sont ceux dont l'ombre est dense, soit le micocoulier de Provence, l'avocatier, le platane commun, le palmier des Canaries et l'orme. Cependant, il faut aussi prendre en compte le fait que certains arbres sont caducs et d'autres pérennes. Ceux qui offrent de l'ombre dense toute l'année sont alors l'avocatier et le palmier des Canaries, or les plus bénéfiques pour les espaces publics métropolitains, qui ont besoin de soleil l'hiver se réchauffer, sont en fait ceux qui ont sont caducs et offrent une ombre dense. Il s'agit donc du micocoulier de Provence, du platane, et de l'orme. Étant nombreux dans la zone, ils ont alors une action efficace contre l'îlot de chaleur urbain puisqu'ils fournissent une ombre importante.

Les arbres ont alors un impact très important sur l'îlot de chaleur urbain en agissant sur l'humidité de l'air, l'albédo et l'ombre. Ils apportent donc de nombreux bénéfices aux espaces publics de la zone étudiée et à leurs usagers, et ce notamment par leur importante concentration dans la Roma et dans la Condesa.
Voici ci-dessous un schéma récapitulatif des impacts des arbres quant à la diminution de la chaleur dans une rue typique de la Condesa.



- Fig. 46 : Schéma synthétique du rôle que jouent les arbres dans la diminution de la température.

La coupe schématique de gauche représente les rôles de l'arbre en été, soit la création d'ombre sur des surface, ce qui les protège de l'échauffement, ainsi que le rejet de vapeur d'eau qui augmente le taux d'humidité de l'air et diminue donc la chaleur ambiante.
La coupe de droite montre quant à lui ce qu'il se passe dans le cas d'arbres caducs, perdant leurs feuilles en hiver. L'arbre permet alors aux rayons solaires de passer et de chauffer naturellement les surfaces atteintes.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Amélioration de la qualité de l'air

> Diminution du taux de CO_2, production d'O_2

Les végétaux, dont les arbres, agissent sur la composition de l'atmosphère à la fois par la photosynthèse et par la respiration. La photosynthèse est un processus rendu possible par des pigments contenus dans les végétaux comme la chlorophylle, verte, et les caroténoïdes, jaunes. Ces pigments absorbent la lumière et exploitent son énergie pour transformer le dioxyde de carbone (CO_2) en carbone (C) qui est stocké dans la plante, et en dioxygène (O_2) qui est rejeté dans l'atmosphère. A l'inverse, la respiration consomme de l'oxygène et dégage du dioxyde de carbone, or la quantité de CO_2 rejetée est 15 fois inférieure à celle absorbée pour la photosynthèse[39].

Les arbres auraient alors un rôle de « puits de carbone », ce qui signifie qu'ils sont absorbent de manière significative le dioxyde de carbone, gaz hautement responsable du phénomène de réchauffement climatique. Ainsi, toujours selon le livre *l'Arboriculture Urbaine*[40], un hectare de hêtres âgés de cent ans fixe annuellement une moyenne de 4800 kilos de gaz carbonique, et un seul hêtre de cent ans, haut de 25 m et d'une couronne de 15 m de diamètre, peut fixer le gaz carbonique produit par 100 appartements[41].

En revanche, il convient de préciser que l'effet de la production d'oxygène est réduit en ville car l'homme en consomme une grande partie : en un an, un homme consommerait 255 kg de dioxygène en moyenne[42], ce qui serait équivalent à la production de vingt épicéa adultes[43]. La consommation en oxygène d'une ville de 100 000 habitants correspondrait donc à la production d'une forêt de 3000 hectares[44]. Proportionnellement, il faudrait 690 000 hectares de forêt pour produire l'oxygène des 23 millions d'habitants de la ville de Mexico, ce qui est loin d'être le cas.

Il ne faut pas non plus sous-estimer la capacité de l'arbre urbain, comme nous le montre une étude faite à Leicester sur ses puits de carbone et publiée en 2011[45]. Les résultats ont montré que la flore urbaine y stockait en tout 231 521 tonnes de carbone, soit 3,16 kg/m^2 en moyenne. Les jardins privés en stockent plus que le milieu rural agricole (environ 0,76 kg/m^2,

39 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 40

40 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 40

41 - Boyer P., *Végétation et écosystème urbain*, Techniques et Architectures, n°313, avril-mai 1978, p 28-31

42 - « L'arbre urbain », Wikipédia, dernière consultation le 19.12.2016., https://fr.wikipedia.org/wiki/Arbre_urbain

43 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 40

44 - INRA, *La forêt et la ville*, CNRA Versailles, Ed. Sei, 1979, p23-64

45 - Zoe G. Davies, Jill L. Edmondson, Andreas Heinemeyer, Jonathan R. Leake et Kevin J. Gaston "Mapping an urban ecosystem service: quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale" ; *Journal of Applied Ecology*, Volume 48, Issue 5, pages 1125–1134, octobre 2011

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

soit un peu plus qu'une prairie anglaise (0,14 kg/m^2), mais ce sont surtout les grands arbres urbains qui forment le principal puits de carbone, en stockant plus de 97 % de la quantité totale de carbone de la biomasse végétale totale urbaine, avec en moyenne 28,86 kg/m^2 pour les espaces verts publics boisés. Les grands arbres sont rares à Leicester où les espaces verts sont surtout engazonnés, or si 10 % de ces gazons étaient plantés d'arbres, le stockage de carbone de la ville augmenterait de 12 % selon cette étude[46].
Les arbres ont donc un rôle important dans la lutte contre le phénomène d'îlot de chaleur urbain dans la mesure où ils absorbent et stockent du dioxyde de carbone, qui est un gaz à effet de serre, et rejettent du dioxygène dont nous avons besoin pour respirer. Ils améliorent donc la qualité de l'air, ce qui est nécessaire dans une ville comme Mexico où les rejets de CO_2 sont très importants et où la population est très nombreuse.

› Absorption de la pollution

Les végétaux sont des puits de carbone puisqu'ils réduisent la concentration de CO_2 dans l'air, mais pas seulement. Ils participent aussi à l'absorption et à la filtration d'une partie des gaz et particules polluants rejetés dans l'air par les activités humaines, ce qui a été largement démontré[47] et repris dans le livre *l'Arboriculture urbaine*[48].
Plusieurs facteurs influent sur leur capacité d'absorption de polluants : ils sont d'autant plus efficaces qu'ils sont grands, feuillus, et insérés dans une large canopée urbaine, ou parc urbain.

Premièrement, la **taille de la canopée** et la distance de diffusion de la pollution sont deux facteurs clés qui influent sur le taux d'épuration de l'air. Dans le cas d'un parc urbain, l'absorption de polluants dans l'air est très efficace comme cela a été observé[49] dans le district de Pudong, à Shangai, où ont été notées les diminutions suivantes : -9,1 % des particules en suspension, - 5,3 % du SO_2 et - 2,6 % du NO_2. Ce phénomène dépend donc beaucoup de la taille du couvert végétal et du volume foliaire ; il s'applique alors majoritairement aux grands parcs urbains et aux bandes boisées. Même dans les situations d'effet de canyon qui

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

46 - Enquête publiée dans « L'arbre urbain », *Wikipédia*, dernière consultation le 19.12.2016., https://fr.wikipedia.org/wiki/Arbre_urbain
47 - Ferry C., et Frochot B., « Les oiseaux, l'arbre et la ville », dans Numéro spécial de la *Revue forestière française*, 1989, p. 68-75
48 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 40-41
49 - Shan Yin, Zhemin Shen, Pisheng Zhou, Xiaodong Zou, Shengquan Che, Wenhua Wang, « Quantifying air pollution attenuation within urban parks: An experimental approach in Shanghai, China » ; *Environmental Pollution* ; Volume 159, Issues 8-9, August-September 2011, Pages 2155-2163 Selected papers from the conference *Urban Environmental Pollution: Overcoming Obstacles to Sustainability and Quality of Life* (UEP2010), 20-23 June 2010

tendent à piéger les poussières et gaz dans les rues, les arbres dépolluent l'air de manière significative à condition d'occuper un volume d'air suffisant. Les effets sont significatifs à partir d'une bande linéaire de végétation pas ou peu disjointe sur une bande de 5 m de large selon une étude[50] menée sur l'effet de canyon dans les rues[51].
Une étude a aussi montré que c'est bien l'importance de la canopée ou du couvert forestier, mieux que la présence de buissons et d'une strate herbacée qui diminue le plus ce type de pollution. En effet, selon une étude faite dans la ville de Guangzhou en Chine[52], il a été estimé que les espaces verts de la ville contribuaient à ôter de l'air environ 312,03 tonnes de SO_2, NO_2, de particules en suspension, même dans les mois secs de l'hiver alors que la pollution particulaire est plus élevée comme nous l'avons vu à la page 38. Les arbres ont le plus dépollué l'air dans les quartiers où ils avaient été récemment plantés, et il est estimé qu'ils le feront encore mieux au fur et à mesure de leur croissance. Les auteurs de cette étude ont aussi estimé qu'une diversification des espèces végétales ainsi que l'ajout d'espaces verts arborés supplémentaires pourrait encore améliorer l'épuration de l'air par les végétaux.
Si on considère alors que la taille de la canopée urbaine est un facteur clé de la capacité d'absorption des arbres, on peut estimer que la zone estimée est plutôt bien fournie. En effet, la majorité de ses rues est composée de bandes d'arbres peu disjointes, et elle comprend plusieurs parcs, ce qui n'est pas le cas de la plupart des autres quartiers de la ville. En plus de son parc historique, le parc Mexico, la Condesa comprend aussi le parc España, tout proche, ainsi qu'une multitude de petits espaces publics très arborés comme la place Popocatepetl par exemple. La Roma est elle même dôtée de deux jardins ainsi que de petits espaces publics très arborés comme la place Rio de Janeiro. On peut alors estimer que la filtration de l'air est importante dans le quartier étudié, au vu du couvert végétal important.

Une autre étude réalisée en 1994[53] a estimé qu'au cours de l'année, les arbres ont ôté de l'air environ 1 821 tonnes de polluants à New-York, 1 196 tonnes à Atlanta, et 499 tonnes à Baltimore, avec une élimination de la pollution par mètre carré de couvert forestier pourtant assez semblable pour ces trois villes (New York : 13,7 g/m²/an; Baltimore : 12,2 g/m²/an; Atlanta : 10,6 g/m²/an). Ces taux moyens de dépollution varient selon les villes en fonction des quantités de polluants, de la surface foliaire totale, de la durée de la saison de végétation, des précipitations et d'autres variables météorologiques, mais aussi de la **taille des arbres**.

50 - Yin Shan, Cai Jingping, Chen Liping, Shen Zhemin, Zou Xiaodong, Wu Dan, Wang Wenhua, "Effects of vegetation status in urban green spaces on particle removal in a street canyon atmosphere" ; *Acta Ecologica Sinica*, Volume 27, Issue 11, November 2007, Pages 4590-4595
51 - Etudes publiées dans « L'arbre urbain », *Wikipédia*, dernière consultation le 19.12.2016., https://fr.wikipedia.org/wiki/Arbre_urbain
52 - C.Y. Jim, Wendy Y. Chen, « Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China)» ; *Journal of Environmental Management*, Volume 88, Issue 4, septembre 2008, pages 65-676.
53 - David J. Nowak, « The effect of urban trees on air quality » [archive] ; USDA Forest Service, Syracuse, NY

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Les grands arbres sains au tronc mesurant plus de 77 cm de diamètre ont ôté annuellement environ 70 fois plus de polluants de l'air (1,4 kg/an) que les petits arbres sains de moins de 8 cm de diamètre (0,02 kg/an). Le gain de qualité de l'air apporté par les feuilles des arbres a été estimé à New York par cette même étude de 0,47 % pour les particules en suspension, de 0,45 % pour l'ozone, 0,43 % pour le dioxyde de soufre, 0,30 % pour le dioxyde d'azote, et 0,002 % de carbone monoxyde de carbone.
A Mexico, il n'y a pas de recensement de la taille des arbres comme à Paris, mais en se promenant dans les quartiers de la Roma et de la Condesa, on remarque que la majorité sont grands et paraissent anciens. Sachant que la date de construction de ces quartiers remonte au début du XXe siècle, puisque nous avons vu aux pages 12 et 13 que la mairie à approuvé leur construction en 1902 et 1903, on peut alors en déduire que les arbres ont autour d'une centaine d'années, selon s'ils ont été plantés dès le début de la construction ou légèrement plus tard dans le processus. Il est alors possible de dire que les arbres ne vont pas grandir beaucoup plus et ont atteint leur taille maximale, bien qu'en milieu naturel ils auraient pû être encore plus grands. En effet, le développement des arbres en milieu urbain est compromis et plus réduit qu'en milieu naturel, comme nous le verrons dans la troisième partie. On peut alors en conclure que les arbres de la zone étudiée sont à leur capacité maximale d'absorption de polluants.

Enfin, la **qualité des feuilles** a aussi une grande importance. On estime[54] de 300 kilos à une tonne par hectare et par an, la quantité de poussières filtrées par les végétaux. Les variations importantes de cette estimation sont en partie liées à la qualité du feuillage : les feuilles très pubescentes (palownia, catalpa...) ou duveteuses (marronnier, orme..) filtrent beaucoup plus que les feuillages légers (robinier, frêne...) ou à épiderme lisse (platane..).
En regardant sur la figure 47 la texture des feuilles des arbres présents dans notre zone donnée par les auteurs du livre sur les arbres de la ville de Mexico[55], on s'aperçoit qu'il y a bien des feuilles pubescentes. Elles ne le sont pas autant que celles du palownia, car seulement l'envers est pileux, mais elles sont quand même bien plus efficaces que les feuilles lisses. Les arbres dont les feuilles ont cette caractéristique sont l'érable sycomore, le micocoulier de Provence, la jacaranda à feuilles de mimosa et le platane commun. De par leur pilosité, ils peuvent donc absorber et stocker plus de polluants que les autres.

Tous ces arbres étant inclus dans la même canopée et ayant tous, hypothétiquement, atteint leur taille optimale, on peut alors dire que leur capacité à absorber de la pollution dépend uniquement du troisième critère, qui est celui de la texture des feuilles. Les arbres les plus efficaces sont alors ceux dont les feuilles sont pubescentes, et que nous venons de citer.

54 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine,* Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 40-41
55 - Martinez Gonzalez, Lorena et Chacalo Hilu, Alicia (1994), *Los arboles de la ciudad de Mexico*, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, 351 pages

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Nom scientifique	Nom commun	Texture des feuilles
Acer pseudoplatanus	Érable sycomore	Envers pubescent
Cedrus deodara G. Don	Cèdre de l'Himalaya	Épines
Celtis australis	Micocoulier de Provence	Envers pubescent
Jacaranda mimosaefolia	Flamboyant bleu, jacaranda à feuilles de mimosa	Envers pubescent
Persea gratissima Gaertn	Avocatier	Glabres
Platanus x hibrida Brot	Platane commun	Envers pubescent
Phoenix canariensis Chabaud	Palmier des Canaries, Dattier des Canaries	Glabres
Ulmus parvifolia Jacq	Orme	Légèrement pileuses

- Fig. 47 : Tableau présentant la texture des feuilles des arbres que l'on retrouve dans la Roma et la Condesa à Mexico. Ce tableau synthétique présente les espèces par ordre alphabétique. Il renseigne non exhaustivement sur la texture des feuilles des arbres de la zone étudiée.

› Création de vent, aération

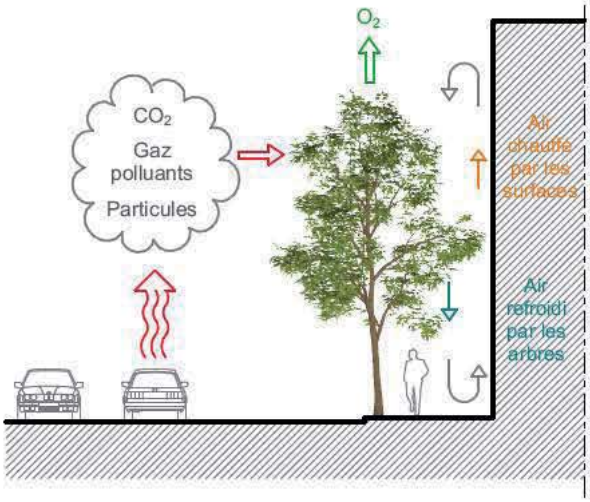
Les arbres influencent aussi la circulation de l'air en agissant sur sa température. Les variations de température enregistrées à proximité des espaces verts d'une certaine importance vont contribuer à la formation de vent et donc, à la ventilation de la ville. En pratique, les masses d'air refroidies situées au niveau des parcs sont plus lourdes, et vont donc descendre, alors qu'à l'extérieur du parc se crée un courant ascendant d'air chauffé par les surfaces bâties, après réflexion, absorption et restitution de chaleur. C'est donc un véritable mouvement d'air pouvant atteindre une brise de l'ordre de 12km/h qui se crée[56]. Cette ventilation peut contribuer à la lutte contre l'éventuel dôme de pollution sur la ville et assurer un certain renouvellement de l'air ambiant.

L'amélioration de la qualité de l'air par les arbres a aussi une très grande importance dans la ville de Mexico ainsi que dans le secteur étudié car la pollution y est très élevée . Les arbres permettent donc d'absorber le CO_2, les autres gaz polluants ainsi que les particules, et de rejeter de l'O_2. Même si la balance n'est pas équilibrée, la forte concentration en arbres de notre secteur permet de diminuer légèrement la pollution ambiante et donc d'améliorer le confort de ses habitants. En créant des différences de températures, les arbres entraînent des mouvements de masses d'air qui permettent aussi de ventiler les espaces et de ne pas diminuer l'immobilité et la suspension de polluants.

54 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine,* Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 40

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Voici ci-dessous un schéma récapitulatif des impacts des arbres quant à l'amélioration de la qualité de l'air dans une rue typique de la Condesa.



- Fig. 48 : Schéma synthétique du rôle que jouent les arbres dans l'amélioration de la qualité de l'air. On voit sur ce schéma que l'air est chargé de CO_2, de divers polluants ainsi que de particules, qui sont par exemples rejetés par des véhicules. Les arbres absorbent ces polluants et rejettent à la place de l'O_2 ou dioxygène, gaz nécessaire à notre respiration.
Les arbres, en augmentant l'humidité de l'air, le refroidissent et le rendent donc plus lourd : c'est alors qu'il descend, contrairement à l'air chauffé par les surfaces minérales. Il se crée alors un mouvement d'air qui permet d'aérer la ville.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

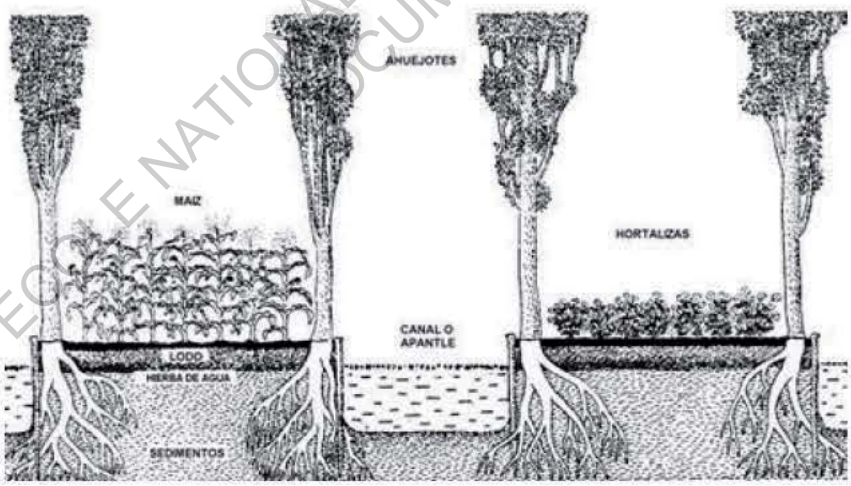
Amélioration de la qualité du sol

Stabilisation du sol

La plantation et la conservation des arbres sont d'excellents moyens de lutte contre l'érosion du sol, très fréquente en milieu urbain, et ce notamment à cause des travaux de construction et du piétinement. Les racines des arbres maintiennent le sol en place alors que leur feuillage apporte régulièrement de la matière organique pour fabriquer une litière permettant de recouvrir les terrains.

L'exemple le plus significatif de la stabilisation du sol par les arbres est celui des « chinampas », dont nous avons parlé dans l'introduction et que nous pouvons voir sur les figures 49 et 50. Cette technique ancestrale consistait à planter quatre troncs autour d'une surface à transformer en terre cultivable, de l'entourer avec des mailles, et de la remplir de terre. Elle était plantée d' « ahuejotes », arbres sacrés au Mexique, qui absorbaient beaucoup d'eau et dont les racines stabilisaient le sol afin qu'il soit ferme et fertile. Le rôle de stabilisant de leurs racines a donc été prouvé il y a très longtemps déjà et a permis à la ville de Mexico d'être ce qu'elle est aujourd'hui. En effet, la vallée où s'étend l'aire urbaine de la capitale n'était avant qu'un ensemble de lacs, où les aztèques ont repris du terrain sur l'eau petit à petit grâce à cette technique. Ceci explique aussi pourquoi le sol de la ville est si fragile, comme nous le verrons dans la sous-partie suivante. Les arbres sont donc utiles à petite échelle afin de stabiliser le sol qui est assez délicat dans la zone.

De plus, l'absence de couvert végétal rend la surface du sol plus sensible à l'impact des gouttes d'eau et de la force du vent. Il peut s'ensuivre une dégradation de la structure du sol ou une perte de matériaux par ravinement, érosion par ruissellement, etc. Le problème est particulièrement important sur les sols en pente, les berges des rivières, les falaises, les collines et les talus. Les arbres agissent donc comme une protection aux conditions climatiques



- Fig. 49 : Représentation schématique du système de chinampas. On voit sur ce schéma que les chinampas étaient bien bordés d'arbres afin de les maintenir en place et de pouvoir les cultiver.

- Fig. 50 : Des chinampas aujourd'hui, dans la zone de Xochilmilco, où perdure encore une forme de cette agriculture.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

et protègent le sol d'une autre façon. Ils peuvent s'avérer particulièrement protecteurs lors des précipitations diluviennes qui frappent la ville lors de la saison des pluies.

> Gestion des eaux de pluies

Les arbres permettent aussi de stabiliser et de régulariser l'hydrologie du sol et le niveau des nappes phréatiques puisqu'ils permettent à l'eau de s'infiltrer dans le sol. En effet, ils permettent de gérer les eaux de ruissellement, qui plutôt que de s'écouler sur des surfaces imperméabilisées pour aller directement dans les réseaux d'égouts, restent dans le sol, nourrissent les plantes naturellement et s'évaporent, rafraîchissant d'autant plus l'atmosphère. Cela permet également de réduire la charge des réseaux d'évacuation et d'épurer les eaux pluviales de manière naturelle.
Cet écoulement des eaux de pluies, beaucoup plus rapide en milieu urbain qu'en milieu naturel à cause de tous les espaces imperméabilisés et de la carence végétale, peut poser des problèmes lors de grosses précipitations, lorsque les moyens d'évacuation sont saturés. Ce problème est très fréquent dans la capitale mexicaine où l'on constate de nombreuses inondations au cours de l'année, car les réseaux de drainage ne parviennent pas à évacuer toute l'eau tombée au cours de pluies de plus en plus intenses.
Les arbres aident à réduire la vitesse de l'écoulement des eaux, pas seulement en permettant son infiltration, mais aussi en interceptant une partie par leur feuillage, ce qui ralentit leur descente jusqu'au sol. Ensuite, une portion importante de l'eau de pluie qui arrive au sol est absorbée par les racines des arbres. À la forêt Montmorency de l'Université Laval près de Québec, des recherches[57] ont démontré qu'un peuplement d'arbres feuillus intercepte 21% des eaux de pluie et une sapinière, 32 %, ce qui diminue d'autant la quantité d'eau qui ruisselle. Enfin, la litière que laissent les arbres sur le sol joue également un rôle dans la régulation des eaux de pluie, puisqu'elle emprisonne une partie de l'eau et diminue alors le ruissellement.
La gestion des eaux de pluies est l'une des premières problématiques de gestion urbaine, et ce surtout à Mexico. En effet, cette question est essentielle puisqu'aujourd'hui, 72 % de l'eau consommée par les 23 millions habitants de l'aire urbaine provient des nappes phréatiques situées sous la ville, et que seulement la moitié y retourne par l'infiltration des eaux de pluies[58]. Cette consommation exacerbée provoque un problème important : l'affaissement du sol et l'enfoncement de la ville. En effet, selon des données[59] du Secrétariat de Protection Civile

57 - Lessard, G. et, Boulfroy E. (2008), L*es rôles de l'arbre en ville*, Centre collégial de transfert de technologie en foresterie de Sainte-Foy (CERFO), Québec, 21 p., p.7
58 - Castañeda, Jorge, (mars 2016) « Hundimiento de la Ciudad de México alcanzó un metro en 10 años », *Foro Ambiental*, dernière consultation le 20.12.2016, Foro Ambiental, http://www.foroambiental.com.mx/hundimiento-de-la-ciudad-de-mexico-alcanzo-un-metro-en-10-anos/
59 - Olivares Alonso, Emir, « El Centro Histórico se ha hundido al menos 10 metros, revela investigador », *La Jornada*, dernière consultation le 20.12.2016, http://www.jornada.unam.mx/2007/07/23/index.php?section=-sociedad&article=039n1soc

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

de la Ville de México citées dans un article local, 75 % du territoire de la capitale s'enfonce différentiellement de 2 à 30 centimètres par an, ce qui provoque de sérieux dommages aux édifices et infrastructures. Une des zones les plus critiques serait la zone du centre historique, qui se serait enfoncée de 10 mètres en 100 ans, selon un chercheur de l'Institut d'Ingénierie de l'Université Nationale Autonome de Mexico (UNAM), qui dirige un projet de recherche sur le sujet pour le gouvernement, et cité par la même source. L'exploitation trop importante des nappes phréatiques ainsi que l'affaissement du sol de la ville cachent un autre problème : la fragilité du sol. Ce sol, lorsqu'il manque d'eau, de laquelle il est composé à 90 %, devient source de résonance lors d'un séisme, c'est-à-dire qu'il transforme les ondes transversales qu'il reçoit en ondes horizontales. Il devient donc plus important et plus long. Ce phénomène explique pourquoi le séisme de 1985 a été aussi meurtrier et destructeur dans quelques délégations du centre-ville comme le centre historique ou la Roma mais pas le reste, ni la zone proche de l'épicentre, sur la côte Sud. Il a été démontré[60] par cette même équipe de l'UNAM que ces quartiers étaient au dessus de l'ancien lac de Tenochtitlan, un des lacs primitifs de la vallée, et donc un des endroits où le sol est le plus composé de sédiments et le plus fragile lorsqu'il manque d'eau.
On comprend alors l'importance de restaurer les nappes phréatiques pour la ville de Mexico. Beaucoup de solutions peuvent être envisageables, comme celle de la perméabilisation des sols par la plantation de végétaux ou d'arbres. En effet, lorsqu'un arbre est planté, il requiert une certaine surface perméable autour de son tronc afin de pouvoir être assez alimenté en eau et ne pas être trop oppressé, surface qui permet donc l'infiltration des eaux dans le sol.

> Diminution de la pollution de l'eau

Les arbres préservent aussi la qualité de l'eau en réduisant la pollution des eaux de surface grâce à leur absorption par les racines. Ainsi, ils limitent les écoulements d'eau sur des espaces pavés sales et imprégnés de déchets, et qui, comme nous l'avons vu précédemment, doivent être très polluées au vu des taux contenus dans l'air. En l'absence d'arbres, ces écoulements chargés d'éléments polluants sont drainés vers les égoûts, affectant alors la qualité de l'eau ou augmentant ses coûts de traitements[61].
Les arbres agissent aussi comme agent de filtration de l'eau souterraine. En effet, les arbres permettent d'obtenir une meilleure qualité de l'eau en retenant certains éléments polluants, comme les fertilisants, dans leur système racinaire. Ces éléments, retenus par les racines des végétaux et des arbres en général, ne vont donc pas contribuer à la sur-fertilisation des plans d'eau qui conduit au développement d'algues et autres plantes aquatiques que l'on voit par exemple florir dans certains cours d'eau de Bretagne.

60 - Castañeda, Jorge, (septembre 2015), « Terremoto de 1985, la resonancia y la Ecología », *Foro Ambiental,* dernière consultation le 20.12.2016, http://www.foroambiental.com.mx/terremoto-de-1985-la-resonancia-y-la-ecologia/
61 - Lessard, G. et, Boulfroy E. (2008), *Les rôles de l'arbre en ville*, Centre collégial de transfert de technologie en foresterie de Sainte-Foy (CERFO), Québec, 21 p., p.7

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Enfin, et même si cela ne concerne pas qu'une infime partie de la ville de Mexico, les arbres ont un autre rôle dans la diminution de la pollution de l'eau. En effet, l'ombre créée par les arbres sur l'eau réduit le réchauffement des petits cours d'eau peu profonds, comme les canaux de Xochimilco, ce qui permet une meilleure oxygénation essentielle à la faune aquatique puisque le taux d'oxygène présent dans l'eau est inversement proportionnel à sa température.

Facteur de biodiversité

La contribution des arbres en ville à l'amélioration de l'écosystème urbain ne se limite pas aux impacts sur les caractéristiques climatiques ou physiques d'un milieu. Elle se ressent aussi sur tous les êtres vivants présents en milieu urbain : insectes, oiseaux, mammifères et communautés végétales. La végétation en ville, dont les arbres, sont d'une aide précieuse pour le maintien d'une biodiversité de plus en plus menacée par l'étalement urbain et le changement climatique. En effet, ils sont le siège de plusieurs animaux dont ils assurent l'habitat, soit l'abri, la protection et la nourriture. Par exemple, certains arbres et arbustes, dont les aubépines et les sorbiers, conservent leurs fruits en hiver, ce qui assure une source de nourriture pour les oiseaux[62]. Les arbres sont donc le siège d'une intense activité de l'avifaune qui, d'après certaines études, peut être utilisée comme bio-indicateur[63]. En effet, le nombre d'espèces d'oiseaux varie en fonction de la diversité du milieu. Plus les lieux d'abri, de nidification, et de nourriture sont variés, plus on rencontre d'oiseaux différents. La diversité des arbres, tant sur le plan des espèces, des structures de plantation (arbre isolé, parc) que des âges, contribue à la variété d'espèces d'oiseaux.
L'effet positif de la végétation dans le maintien de « morceaux de nature dans la ville » est d'autant plus important que les espaces plantés sont peu éloignés et reliés au milieu extérieur à la ville, afin de ne pas être des pièges écologiques. La colonisation de la flore et de la faune se faisant de proche en proche, les échanges permanents entre un centre-ville et des zones périphériques assurent le renouvellement des races et des espèces. Ainsi, les arbres, maillons essentiels des liaisons ville-milieu environnant, contribuent très largement à la pénétration de la nature en ville[64], et forment alors des continuités écologiques[65].
En restant à l'échelle de la Condesa, on peut voir que la quasi totalité des rues, en étant arborées, forme un réseau de continuités écologiques, qui permet le déplacement de la petite

62 - Lessard, G. et, Boulfroy E. (2008), *Les rôles de l'arbre en ville*, Centre collégial de transfert de technologie en foresterie de Sainte-Foy (CERFO), Québec, 21 p., p.7
63 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 40
64 - Sukopp, M. et Werner, P., *Développement de la faune et de la flore en territoire urbain*, Comité européen, pour la sauvegarde de la nature et des ressources naturelles, Conseil de l'Europe, 1987, 60 p.
65 - Assassin, Sylvie, « Connectivités écologiques : trames vertes et trames bleues», cours de Master, ENSA Toulouse, 2016

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

faune. Ces réseaux peut même aller jusqu'au grand parc de Chapultepec, bien que les animaux doivent traverser le périphérique. On peut alors imaginer que les animaux vivant dans la zone sont ceux qui se déplacent dans les airs, d'arbre en arbre, le sol étant plus hostile pour eux. Selon le site de la ville de Mexico[66], il existe 2254 espèces de faune dans la ville[67] dont 340 espèces d'oiseaux, qui vivent au moins une période de l'année dans la ville, ainsi que de nombreux insectes. On peut alors imaginer qu'elles trouvent refuge dans les nombreux arbres du quartier étudié, qui leur offrent des habitats différents. Les arbres servent alors à protéger la faune de la ville, qui est riche, et qui est menacée par l'urbanisation croissante. Leur rôle est alors essentiel.

Rôle psychologique et social

L'arbre en milieu urbain est également source de **bien-être physique et de santé mentale** des citadins, en contribuant par sa présence à l'amélioration de la qualité de vie. En effet, les espaces boisés permettent de maintenir une certaine proportion d'éléments naturels indispensables à l'équilibre psychique des individus, selon Jean Lamontagne[68]. Cole[69] explique alors les résultats remarquables d'une expérience faite en 1984 : « parmi les patients d'un hôpital, on découvrit que les patients qui pouvaient voir des arbres de leur lit retrouvaient beaucoup plus vite la santé que ceux situés dans l'autre aile ne bénéficiant pas d'une vue aussi privilégiée. Ces premiers avaient meilleur moral, une fièvre moins importante et restaient moins longtemps à l'hôpital. » Les arbres aideraient donc les malades à récupérer plus vite et auraient donc une véritable fonction thérapeutique.
Les arbres en villes sont alors beaucoup plus qu'une décoration. En effet, ils viennent rappeler aux citadins l'existence d'une nature ponctuée par le rythme des saisons. La coloration automnale des feuilles, l'éclosion des bourgeons et des fleurs, ou encore le parfum de la floraison sont autant de manifestations qui agissent sur tous. Ils constituent une forme d'ambiance remarquable et suscitent un sentiment d'admiration. La végétation, et particulièrement les arbres, améliore l'esthétique du paysage urbain en créant un changement de texture, un contraste de couleurs et de formes par rapport aux bâtiments adjacents. Les jacarandas à feuilles de mimosas, qui sont comme un symbole de la ville et du quartier, en sont un bon exemple. En effet, avec la couleur rose, violette ou bleue de leurs fleurs, qui colore littéralement les rues de la ville, leur odeur, et leur présence très importante, ils permettent aux citadins de pouvoir apprécier les cycles et la beauté de la nature, comme le montrent les figures 51 et 52.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

66 - http://data.sedema.cdmx.gob.mx/biodiversidadcdmx/fauna.html
67 - Il convient de préciser que dans la limite de la ville, soit du District Fédéral, se trouvent des zones de conservation appelées « suelos de conservacion » qui occupent 59 % de son territoire, soit 87.291 hectares.
68 - Lamontagne Jean, « Importance de nos arbres », https://arboquebec.com/importance, dernière consultation le 19.12.2016
69 - Cole L, « Trees and their importance to people » , Doc polycopié, 1985, 15 p. et annexes

- Fig. 51 : Jacarandas en bordure du parc Mexico.
(à gauche)

- Fig. 52 : Jacarandas sur l'avenue Veracruz, dans la Condesa.
(à droite)

De même, les arbres et arbustes donnent une **dimension humaine à la ville** et au paysage urbain. Ce dernier est parfois très brutal dans certaines parties de la ville de Mexico, comme le montre la photographie suivante, et la végétation parait l'adoucir. C'est d'ailleurs dans ce but là, ainsi que dans celui de rendre la ville plus durable, que le gouvernement a pris la décision de créer des jardins verticaux sur les piliers du deuxième étage du périphérique qui court le long de la ville. Cette mesure, prise en 2016, a fait controverse quant à son utilité comparée aux fonds engagés.
Les plantations de rue, en donnant une dimension plus humaine à la ville, créent alors un espace plus confortable pour les piétons, en facilitant et en rendant plus agréables les circulations piétonnes. Ils servent également à séparer l'espace piétonnier de l'espace routier lorsqu'ils sont plantés en alignement et assurent ainsi un sentiment de sécurité aux piétons.

- Fig. 53 : Périphérique de la ville de Mexico.

- Fig. 54 : Jardins verticaux sur les pilliers du deuxième étage du périphérique.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENTS SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Les espaces verts (parcs urbains, parcs de quartier, parcs linéaires, etc.) favorisent les activités de plein-air et servent de lieux de récréation pour la détente, la promenade, la marche, la bicyclette, la course à pied ou même l'observation de la nature. Ils facilitent l'accès aux citadins à des espaces pouvant accueillir la pratique de leurs loisirs, et favorisent alors les rencontres entre citoyens. Dans les parcs Mexico et España, dans la Condesa, ont été installés des équipements permettant à tous les citoyens de pouvoir pratiquer du sport en plein air, et ce gratuitement. Ces machines sont très fréquentées et permettent alors aux habitants du quartier de pratiquer du sport dans un endroit agréable et ombragé et de se rencontrer. Les arbres ont donc aussi un **rôle social** important.
En plus de lieux de rencontres, certains espaces boisés, en étant situés à proximité d'écoles ou d'habitations, représentent des lieux privilégiés de rencontre avec le milieu naturel. Ils participent alors à la sensibilisation à la conservation des espaces verts et à la vulgarisation des phénomènes écologiques dans lequel ils agissent. Ceci signifie que les arbres jouent aussi un **rôle éducatif**, et ce pour tous les âges.

Les arbres ont alors de nombreux rôles bénéfiques sur l'environnement urbain. Ils contribuent d'abord à lutter contre le phénomène d'îlot de chaleur urbain en diminuant la chaleur de l'air et en en améliorant sa qualité de plusieurs façons. Il a aussi d'autres rôles environnementaux comme l'amélioration de la qualité du sol et de l'eau, de la biodiversité, ainsi que du bien-être. On pourrait citer d'autres qualités à l'arbre urbain tel que la protection du vent par exemple, or la ville de Mexico en est très peu dotée.
Cependant, la présence d'arbres en milieu urbain n'a pas que des avantages et entraîne aussi des complications. Celles-ci vont être l'objet de la troisième partie.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

III - LES LIMITES DES ARBRES EN MILIEU URBAIN

Pollution atmosphérique

Comme vu précédemment, les arbres diminuent le taux de gaz carbonique par échange gazeux, réduisent le nombre de poussières par filtration et fixent de petites quantités de gaz toxiques par absorption. Le rôle des arbres dans la diminution de la pollution a alors été largement démontré[70].
Cependant, passés certains seuils, les différents polluants atmosphériques peuvent avoir des effets négatifs sur les arbres. Ces effets sont difficiles à mettre en évidence tant les phénomènes sont complexes et les symptômes ressemblants. La résistance des arbres à la pollution varie selon la nature du gaz et le type d'émission, mais elle dépend également du stade de développement de l'arbre (un arbre jeune est plus sensible à la pollution qu'un arbre âgé), et des conditions de milieu (sol, climat, nutrition). L'accumulation des polluants induit un affaiblissement chronique des arbres dont la résistance varie selon le milieu, l'état physiologique général mais aussi l'espèce, comme le montre la figure 56.
C'est principalement au niveau des feuilles que les plantes réalisent leurs échanges avec l'atmosphère, par de minuscules orifices présents à la surface des épidermes : les stomates. Les polluants atmosphériques diffusent à travers ces ouvertures vers l'intérieur de la feuille et leur impact est d'autant plus important que la quantité absorbée par la feuille est grande. La quantité absorbée dépend donc à la fois de la concentration de polluant dans l'air et du degré d'ouverture des stomates, qui est contrôlé par de nombreux facteurs physiques et physiologiques (rayonnement solaire, température, humidité de l'air, état hydrique, etc.).

› Dioxyde de soufre

Émis principalement par les foyers domestiques, la concentration en SO2 est très élevée en hiver71. Le dioxyde de soufre, pénétrant dans les feuilles par les stomates, entre en concurrence avec le CO2 et diminue de ce fait la photosynthèse. En ville, les fortes teneurs de gaz carbonique dus aux multiples sources de rejet comme les transport ou les activités industrielles peuvent cependant réduire ce risque.
Les symptômes sont des nécroses internervaires de couleur ivoire à brun clair ou rouge apparaissant très vite après une forte pollution. Ces nécroses sont définitives et la croissance de la feuille ne reprend que si l'atteinte n'est pas trop grave[72]. Le soufre participe aussi au

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

70 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 40-41
71 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 77
72 - Géron, M., « L'influence des espces verts urbains sur les pollutions et les nuisances », Doc. polycopié, ENSA de rennes, 1988, 23 p., cité dans Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 77

phénomène de « smog acide[73] » et de pluies acides. Les dégâts en milieu urbain sont en partie limités car le maximum de rejets intervient pendant la période de repos végétatif, soit lorsque les arbres caducs n'ont plus de feuilles et donc plus de stomates. Toutefois, une présence chronique à faible dose, soit de 0,05 à 0,2 ppm (parties par million), pourrait provoquer des dommages sérieux, selon les auteurs de *l'Arboriculture Urbaine*.
Si l'on compare ces valeurs avec celles données par le gouvernement de la ville de Mexico dans son rapport de 2014[74], la moyenne de l'année était de 4 ppb (parties par milliard), soit 0,004 ppm, ce qui est bien inférieur aux doses pouvant causer de sérieux dommages. Il convient tout de même de signaler que le niveau de concentration de dioxyde de soufre le plus haut de 2014 était de 266 ppb soit 0,266 ppm, ce qui est supérieur aux données indiquées plus haut. Ce taux n'était pas chronique mais on peut supposer qu'à une dose aussi élevée, il y a quand même dû avoir quelques dommages.

› Oxydes d'azote et PAN

L'oxyde d'azote (NO), produit surtout par la combustion des moteurs à explosion, est assez innofensif[75]. Oxydé, il produit du dioxyde (NO_2), qui est également assez peu toxique. Cependant, ces gaz peuvent le devenir lorsqu'ils entrent en synergie avec le SO_2[76]. Les oxydes d'azote (NO et NO_2) peuvent alors former, en présence d'hydrocarbures, un mélange de composés organiques, le PAN (Péroxyl Acétyl Nitrate) et de l'Ozone (O3), particulièrement toxiques.
Les symptômes caractéristiques du PAN sont l'apparition de reflets métalliques de couleur bronze ou argent à la face intérieure des feuilles. La concentration de ces gaz n'est pas indiquée dans le rapport de 2014 de la ville de Mexico sur la qualité de l'air.

› Ozone

L'ozone, formé à l'issue de réactions photochimiques, constitue un polluant atmosphérique aux propriétés très oxydantes, qui réagit directement avec les composés chimiques présents à la surface des cellules végétales. En réponse à ces oxydations, on peut observer différents dégâts, notamment ceux qui touchent les feuilles et sont les plus spectaculaires.

73 - « Smog acide » : État de l'atmosphère caractérisé par la présence simultanée de polluants gazeux à propriétés acides et d'un aérosol de fumées retenu dans un brouillard. (http://www.thesaurus.gouv.qc.ca/tag/terme.do?id=11829)
74 - Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal, *Calidad del aire en la Ciudad de México informe 2014*, Direccion General de Gestion de la Calidad del Aire, Direccion de Monitoreo Atmosférico, México, D.F., Junio 2015, 122 p., p. 40
75 - Bälher, W., P*ollution atmosphérique et végétation*, Session de formation «L'arbre dans le contexte urbain », USSP, 1977, p. 62-68 ,cité dans Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 79
76 - Peulon, V., *Le déperissement des arbres en ville*, Services technique de l'Urbanisme, 1988, 61 p., cité dans Mailliet L., et Bourgery C. (1993), L'arboriculture urbaine, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 79

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Ils se manifestent par l'apparition de tâches ou de nécroses à la surface des feuilles. On les observe habituellement après un pic de pollution[77]. Cependant, l'impact sur le fonctionnement des organismes végétaux reste limité si seulement une faible proportion de la surface des feuilles est endommagée.
L'ozone provoque aussi des perturbations du métabolisme des arbres, qui conduisent à une diminution de la croissance, à une réduction de la photosynthèse ou l'augmentation de la respiration[78]. Une partie des sucres élaborés par la photosynthèse est alors consommée par la respiration pour fournir l'énergie nécessaire à la réparation des tissus abîmés par l'ozone. L'ozone a aussi un rôle sur la sénescence des feuilles. La sénescence est le phénomène de vieillissement par lequel les feuilles jaunissent, sèchent et finissent par mourir. Sous l'effet de l'ozone, les feuilles vieillissent plus vite, et leur photosynthèse est donc moins longtemps efficace. Ceci conduit également à une diminution de la croissance et de la production des arbres. L'ozone est un des polluants les plus présents dans la ville de Mexico comme nous avons pu le voir dans la partie précédente. On peut alors imaginer les dégâts qu'il peut causer sur les arbres, leurs feuilles, leur photosynthèse et leur durée de vie, ce qui réduit de manière significative leurs bénéfices.

› Poussières et particules

On les classe selon leur diamètre : PM_{10}, si leur diamètre est inférieur à 10 µm et $PM_{2,5}$ si leur diamètre est inférieur à 2,5 µm. L'arbre sert de filtre aux nombreuses poussières et particules de l'air urbain tant que la quantité ne devient pas néfaste pour lui. Les particules trop abondantes peuvent former de véritables couches, gênant l'absorption lumineuse des feuilles ou encore, par corrosion, produire des lésions sur les feuilles. Ce peut être le cas pour les arbres qui ont une forte capacité d'attraction de particules comme ceux dont les feuilles sont pubescentes. Nous avons vu qu'il y en a plusieurs dans les quartiers de la Roma et de la Condesa, tels que l'érable sycomore, le micocoulier de Provence, la jacaranda à feuilles de mimosa et le platane commun. Les persistants, notamment les conifères ou le cèdre d'Himalaya présent dans notre zone, filtrent l'air en permanence et voient leurs feuilles ou aiguilles se charger fortement de polluants. Contrairement aux espèces à feuilles caduques, ils ne renouvellent leur feuillage que tous les trois ou quatre ans et sont donc très peu adaptés aux atmosphères très polluées des centres-villes[79] car ils se chargent beaucoup en particules.
La concentration en particules étant très élevée dans la zone de Mexico, notamment pendant les

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

77 - Pic de pollution : Période pouvant durer de quelques heures à quelques jours pendant laquelle la teneur en ozone de l'air atteint des niveaux assez élevés en milieu de journée.
78 - Castell, J-F., « L'ozone et les plantes », AgroParisTech, INRA, 2011, http://www.airparif.asso.fr/pollution/effets-de-la-pollution-vegetation
79 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 79

mois d'hiver où elle atteint son niveau maximal, on peut imaginer que le cèdre d'Himalaya n'est vraiment pas à son niveau phytosanitaire optimal, puisqu'il doit emmagasiner des particules pendant plusieurs années. Il doit donc absorber plus difficilement de la lumière ainsi que transpirer, ce qui diminue alors considérablement ses bénéfices. Quant aux arbres à feuilles caducs, ils perdent leurs feuilles avant que les taux soient les plus hauts et n'absorbent donc pas de particules au moment le plus critique. Ils ne participent donc pas à réduire les niveaux élevés de particules pendant l'hiver, et ne sont pas gênés par une absorption trop élevée qui perturberait leur fonctionnement.

› Autres polluants

Les fluorures provoquent la brûlure des extrémités des aiguilles des arbres persistants, et éventuellement la mort des aiguilles. Les vieilles aiguilles sont plus résistantes. Les feuilles de feuillus présentent une nécrose des extrémités et des bordures, qui finit par toucher la feuille entière. L'ammoniaque, les chlorures et l'éthylène peuvent provoquer le jaunissement des feuillles des feuillus et la mort de l'extrémité ou plus des aiguilles de connifères[80].

Nom scientifique	Nom commun	Texture des feuilles	Résistance à la pollution
Acer pseudoplatanus	Érable sycomore	Envers pubescent	Résistance moyenne à la pollution
Cedrus deodara G. Don	Cèdre de l'Himalaya	Épines	X
Celtis australis	Micocoulier de Provence	Envers pubescent	Accumule beaucoup de particules
Jacaranda mimosaefolia	Flamboyant bleu, jacaranda à feuilles de mimosa	Envers pubescent	Absorbe une grande quantité de plomb
Persea gratissima Gaertn	Avocatier	Glabres	Résistant à l'ozone
Platanus x hibrida Brot	Platane commun	Envers pubescent	Sensible à l'ozone, résistant aux fluorures
Phoenix canariensis Chabaud	Palmier des Canaries, Dattier des Canaries	Glabres	Résistant à la pollution
Ulmus parvifolia Jacq	Orme	Légèrement pileuses	Tolérance moyenne à l'ozone et tolérance aux fluorures

- Fig. 56 : Tableau présentant la résistance des arbres de la zone étudiée à la pollution. Ce tableau synthétique présente les espèces par ordre alphabétique et est non exhaustif. Il a été réalisé selon les informations du livre *Los arboles de la ciudad de Mexico*, de Martinez Gonzalez, Lorena et Chacalo Hilu, Alicia. On peut lire sur cette figure que les arbres de la zone présentent tous une résistance à la pollution différente, mais que certains y sont plutôt sensibles. On peut alors que les arbres sensibles à l'ozone comme le platane ou l'orme ne doivent pas être dans un état phytosanitaire optimal, ni l'érable sycomore qui présente une résistance générale moyenne.

80 - « Impact de la pollution sur le développement de l'arbre urbain », 2012, http://web04.univ-lorraine.fr/ENSAIA/marie/web/ntic/pages/2012/saller.html

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

> Pollution lumineuse

L'expression pollution lumineuse désigne à la fois la présence nocturne anormale ou gênante de lumière et les conséquences de l'éclairage artificiel nocturne sur la faune, la flore, les écosystèmes ainsi que les effets suspectés ou avérés sur la santé humaine. La pollution lumineuse des milieus urbains a des impacts sur les arbres, bien qu'ils soient assez mal connus. L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) a cependant recommandé aux collectivités, en 2014, de l'inclure parmi les indicateurs de pression sur la biodiversité[81].

L'éclairage artificiel a un effet néfaste sur la faune et la flore, car il dérègle leur rythme biologique. En effet, la photopériode, qui est le rapport entre la durée du jour et la durée de la nuit, a un rôle important dans la croissance des végétaux car elle conditionne de nombreuses activités physiologiques et écologiques comme la floraison par exemple[82].

En raison de l'îlot de chaleur urbain et de la pollution lumineuse, le débourrement - moment de croissance des bourgeons - est souvent plus précoce, et la chute des feuilles beaucoup plus tardive, jusqu'à plusieurs mois sous les lampadaires. La pollution lumineuse en ville allonge donc la saison de la végétation, mais selon la NASA, elle entraîne la diminution de la production d'oxygène des arbres de 20 % par rapport à un arbre en milieu naturel. De plus, même si l'éclairage artificiel peut légèrement stimuler la croissance d'un arbre, elle augmente de ce fait sa sensibilité à la pollution et aux froids précoces[82]. L'éclairage public est beaucoup moins courant et développé dans la zone étudiée qu'en France. En effet, il y a peu d'éclairage public dans la Roma et la Condesa, sauf sur les grands axes comme l'avenue Alvaro Obregon ou l'avenue Sonora par exemple. Ce phénomène est donc réduit et ne concerne qu'une partie des arbres du quartier. A l'inverse, le milieu urbain peut occasionner beaucoup d'ombre sur les végétaux, notamment dans les rues ou les quartiers encastrés entre de grandes tour, ce qu'on appelle « l'effet canyon ». Selon *l'Arboriculture Urbaine*, l'ombre peut entraîner une réduction des systèmes aériens et racinaires en diminuant l'activité photosynthétique. Sur un site ombragé, les canopées manquent alors souvent de lumière le jour mais sont exposées à la pollution lumineuse la nuit. Dans la zone que nous étudions, les bâtiments ne sont pas très hauts, et ce phénomène n'est donc observable que très localement, au pied des édifices les plus hauts notamment.

81 - UICN France (2014), « Rapport Indicateurs de biodiversité pour les collectivités : cadre de réflexion et d'analyse pour les territoires » [archive] Paris, France, rapport rédigé par l'UICN France dans le cadre de son travail d'accompagnement des collectivités territoriales (groupe de travail Page intitulée «Collectivités et Biodiversité » [archive]), consulté 2014-07-02, Voir p. 75/160, chapitre «Autres pollutions de l'environnement», cité par *Wikipédia*

82 - « La pollution lumineuse : une nuisance qui coûte cher », Agence Régionale de de l'Environnement de Normandie, juillet 2013, consulté le 27.12.2016, http://www.arehn.asso.fr/dossiers/pollution_lumineuse/index.html#12

83 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine,* Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 74

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Mauvaises conditions du sol

› Caractéristiques du sol urbain

En ville encore plus qu'ailleurs, le sol joue un rôle capital dans le développement des arbres. Il leur permet de s'alimenter en eau, en air, et en sels minéraux, et de s'ancrer afin d'assurer leur stabilité. Cependant, en milieu urbain, il est touché par différents problèmes comme la pollution, la sécheresse, le tassement, les carences, etc. Près de 80 % des problèmes rencontrés par les arbres en ville proviendraient du sol, selon Patterson, cité par Ware[84] et repris dans *l'Arboriculture Urbaine*. En ville, celui-ci a plusieurs caractéristiques spécifiques. Premièrement, il est **tassé** et compacté à cause du piétinement, du tassement dans le cadre de travaux ou des vibrations transmises lors de passages de poids-lourds. Le compactage du sol provoque l'affaiblissement progressif de nombreux arbres. Les travaux menés sous l'égide du Professeur Impens à Bruxelles[85], et relatés dans *l'Arboriculture Urbaine*, ont montré que 40 % des arbres dépérissants ou morts avaient des racines mal aérées. Les tassements de sols constituent donc un des ennemis majeurs de l'arbre.

Il est également **sec**, car 80 % des eaux pluviales s'écoulent vers les réseaux d'assainissement à cause de la forte minéralisation de la ville et du compactage des sols de surface[86]. Nous verrons par la suite qu'un manque d'eau pour l'arbre peut avoir des conséquences négatives sur son fonctionnement.

Les sols urbains sont également **pauvres** en matière organique. En effet, le ramassage des feuilles participe à appauvrir les sols urbains, car il empêche la fabrication de litière, propice au développement racinaire et protégeant la surface du sol contre l'érosion. Il empêche également la restitution des éléments minéraux contenus dans les feuilles et les brindilles qu'il faudrait à terme compenser. En conditions normales, environ 80 % des éléments minéraux retournent au sol, selon les auteurs de *l'Arboriculture Urbaine*.

Enfin, le sol peut également avoir une **composition déséquilibrée** en minéraux dont il est composé, ou des carences. Il peut même y avoir un excès de certains éléments, provoquant jusqu'à une toxicité du sol dans le cas de certains polluants comme les métaux lourds. Si certaines espèces ont la capacité d'accumuler ces polluants, la majorité souffre de ce facteur de stress supplémentaire, qui perturbe l'équilibre biologique des arbres.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

84 - Ware, G., « Contraints to tree growth imposed by urban soil alkalinity », dans le *Journal de l'Arboriculture,* 16, février 1990, p. 35-38- Peulon, V., Le dépérissement des arbres en ville, Services technique de l'Urbanisme, 1988, 61 p., cité dans Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 74

85 - Paul, R., Delcarte, E., Tilman, J., et Godefroid, C., « Influence de l'aération du sol sur la composition minérale des feuilles de tilleul », Acte du 5ème colloque international de Trévise sur le contrôle de la nutrition des plantes, 25-30 août 1980, 6 p.

86 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 81

> Pollution du sol

La pollution des sols provient essentiellement de l'accumulation des **métaux lourds**, de la présence de fuites de gaz et même de l'utilisation d'herbicides.
En raison d'une faible solubilité, le plomb est peu absorbé par les arbres, même s'il est présent à forte dose dans le sol, contrairement au cadmium (protégeant la surface des métaux), qui est absorbé par les racines et devient rapidement toxique. Sa présence se manifeste par une décoloration des feuilles et l'apparition de nécroses[87]. Présents dans les sols urbains à des doses très variables, le zinc, le cuivre et le cobalt peuvent localement devenir toxiques et provoquer des jaunissements de feuilles puis des dépérissements.
En ville, il arrive qu'il y ait des **fuites de gaz** dans le sol. Ces fuites proviennent essentiellement de la vétusté des réseaux, du manque d'étanchéité de certains joints et des risques de fissurations. Il y en a particulièrement à Mexico à cause de l'affaissement différentiel du sol, qui provoque de nombreux dommages aux bâtiments et aux infrastructures.
L'effet du gaz est indirect, car le méthane (CH_4), dont il est principalement composé, n'est pas toxique en soi pour les racines. Le gaz naturel modifie la composition de l'air et les caractéristiques chimiques du sol à la fois par substitution de l'oxygène du sol par le méthane et, par production de gaz carbonique provenant de l'activité de micro-organismes méthanophages. Il réduit donc considérablement le taux d'oxygène dans le sol. Selon Paul[88], cité dans *l'Arboriculture Urbaine*, une atmosphère correcte pour le sol doit comprendre au minimum 16 % d'oxygène, moins de 2 % de gaz carbonique et pas de méthane, ce qui est alors fortement compromis. De plus, le gaz naturel entraîne la formation de molécules toxiques comme les sulfures, le fer ferreux, ou la manganèse échangeable[89]. On imagine alors les effets nocifs que ces fuites peuvent causer lorsqu'elles sont nombreuses. L'apparition de dégâts sur les arbres est très rapide sachant qu'en dessous de 13 à 15 % d'oxygène, l'arbre est en danger. Toujours selon les auteurs de *l'Arboriculture Urbaine*, un arbre sain peut alors dépérir en six à huit semaines. Ce dépérissement est accentué par la sécheresse.
Ce phénomène a touché de nombreux arbres notamment lors du passage de la distribution du gaz de ville au gaz naturel en Europe du Nord. A titre d'exemple, les fuites de gaz ont occasioné la mort de 5 à 20 % des arbres d'alignement aux Pays-bas[90].

87 - Peulon, V., Le dépérissement des arbres en ville, Services technique de l'Urbanisme, 1988, 61 p., cité dans Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 82
88 - Paul, R., Delcarte, E., Tilman, J., et Godefroid, C., « Influence de l'aération du sol sur la composition minérale des feuilles de tilleul », Acte du 5ème colloque international de Trévise sur le contrôle de la nutrition des plantes, 25-30 août 1980, 6 p.
89 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 85
90 - Tabois, H. et G., « Le gaz naturel, sa détection, ses effets et les mesures à prendre », dans *Baum in der Stadt,* Session de formation USSP/VSGG, 1977, p. 35-38, cité dans Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 84

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS A DROIT D'AUTEUR

> Stress hydrique

Les végétaux, comme nous l'avons vu précédemment, sont très intéressants en ville pour réduire le taux de CO_2 ainsi que d'autres éléments polluants, et rafraîchir l'atmosphère par évapotranspiration. Cependant, afin d'avoir un réel effet, les végétaux, dont les arbres, ont besoin d'un apport en eau suffisant, ce qui est rarement le cas en ville où l'on observe généralement une diminution des ressources en eau. En effet, les sols urbains ont une faible capacité d'absorption des eaux de pluie, qui ruissellent directement jusqu'aux réseaux d'assainissement. Enfin, l'accès du système racinaire aux nappes phréatiques est rendu difficile par tous les réseaux et infrastructures souterraines.
On parle donc de « stress hydrique » lorsque la quantité d'eau qui est diffusée par évapotranspiration est supérieure à celle que la plante puise dans le sol[91]. Afin de se protéger, les plantes développent alors des mécanismes qui leur permettent de conserver l'eau, comme la fermeture des stomates, les cellules spécialisées des feuilles par lesquelles les végétaux transpirent. Selon la gravité de la situation de déficit hydrique (durée, température, taux de sécheresse...), les conséquences sur la santé du végétal peuvent être importantes : diminution puis arrêt de la photosynthèse (qui passe également par les stomates), flétrissement, nécroses foliaires ou mort de la plante. De plus, cela fait perdre à l'arbre non seulement son potentiel rafraîchissant, mais aussi son rôle de fixation du carbone : il devient alors un émetteur de carbone en absorbant du dioxygène et en rejetant du CO_2. Ceci entraine une augmentation de la température et une diminution de l'humidité, qui favorisent à leur tour la pollution et l'îlot de chaleur urbain, ainsi que l'augmentation du taux de CO_2, gaz hautement responsable du réchauffement climatique. Le stress hydrique a donc une influence négative sur les arbres en inversant ses rôles. Il est alors essentiel qu'ils puissent avoir accès à suffisamment d'eau.
On peut supposer que le stress hydrique est également un facteur qui touche la ville de Mexico, très urbanisée, mais aussi notre zone, et ce notamment car il y a peu d'espaces végétalisés mis à part les quelques parcs que nous avons cités. De plus, on peut constater que généralement, dans le quartier, les arbres ont très peu de surface perméable à leur pied, ce qui empêche l'eau de s'infiltrer. On peut donc en déduire que les arbres doivent être en situation de stress hydrique, d'autant plus que l'on a vu précédemment que la ville de Mexico pompait la plupart de l'eau consommée dans les nappes phréatiques de la ville. Le sol est donc vidé de son eau, et en absorbe très peu en retour.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

91 - IAU îdF, *Les îlots de chaleur urbains*, Répertoire de fiches connaissance, Novembre 2010 p. 29-30

Problèmes de planification

Lors de planification de la plantation d'arbres à Mexico, il existe divers problèmes dont ont parlé deux auteurs en 1991. Parmi les plus importants se trouvent la sélection des essences, les conditions de sol, la période de plantation, et l'espacement entre les arbres.
Au moment de la **sélection des essences**, il n'a pas nécessairement été choisi les espèces les plus résistantes aux stress urbains et aux conditions particulières a chaque zone, car il n'y a pas eu de programme et d'étude spécifique des espèces qui seraient les mieux adaptées. Or, ce problème ne dépend pas uniquement de la ville mais aussi des pépinières qui produisent les arbres. En effet, celles-ci ne répondent pas à la diversité des besoins ou offrent des essences peu adaptées, or ce sont elles qui devraient répondre aux besoins spécifiques des plantations et non l'inverse. On ne devrait donc pas planter en fonction des essences disponibles en pépinière mais bien en fonction des choix établis sur la base des conditions du milieu, comme l'affirment Alicia Chacalo et Marius Pineau[92]. Ce manque de sélection des essences plantées peut alors avoir plusieurs impacts, comme le dépérissement des arbres non adaptés aux conditions du sol, du climat ou à la pollution de ville. Ce lent dépérissement, qui peut avoir des effets négatifs sur l'environnement urbain comme nous l'avons vu précédemment, entraîne aussi un coût important de remplacement des arbres morts. Il est donc essentiel de réaliser une étude afin de définir les arbres qui peuvent être plantés dans la ville de Mexico, dans le but de limiter la plantation et la perte de nombre d'arbres, et de favoriser leur évolution de manière optimale. En ce sens, ils pourraient donc apporter leurs nombreux bénéfices à leur environnement urbain, et non le contraire.
Un autre problème est celui de la **terre utilisée pour remblayer** l'espace de plantation. En effet, pour combler l'espace autour des racines dans le trou de plantation, il faut employer une terre de bonne qualité afin que l'arbre ait toutes les chances de se développer correctement. Cependant, la terre utilisée a cette fin, selon les mêmes auteurs, « provient des excavations et ne subit aucun traitement d'engrais ou de tamisage », ce qui peut être critique pour l'arbre. En effet, cette terre pauvre en minéraux ne peut pas permettre au sol de trouver ce dont il a besoin pour se développer, et peut causer des dysfonctionnements chez l'arbre, comme nous l'avons évoqué plus tôt.
Il est aussi très important de tenir en compte la **période de plantation**, étant donné que la ville de Mexico dispose de peu d'eau pour les arrosages et que les arbres récemment plantés nécessitent une irrigation fréquente durant la première année. Il faut donc profiter du début de la saison des pluies, soit le mois de mai, pour démarrer les plantations. Des essais ont été réalisés en dehors de la période des pluies et la quantité d'eau d'arrosage a été insuffisante pour le bon développement des arbres, comme cela a été le cas du programme de réhabilitation du bois de Chapultepec, réalisé de septembre a décembre 1985.

92 - Chacalo, Alicia et Pineau, Marius (1991), « Problème environnementaux et situation des arbres urbains dans la ville de Mexico », 6 p., article paru dans la revue *Journal of Arboriculture,* n°17

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Une place trop restreinte pour l'arbre

En ce qui concerne l'espace réservé aux arbres à Mexico, on peut dire que même s'il y a des normes pour la dimension des trottoirs et des terres-pleins, pour les espaces nécessaires aux canalisations d'eau, téléphone, électricité, éclairage public et feux de signalisation, il n'y en a aucune qui assure l'espace nécessaire aux arbres bordant les rues[93]. La conséquence immédiate est que l'arbre, planté là où rien n'a été planifié pour lui, occupe un espace trop restreint qui entraîne alors des problèmes de développement des racines, d'échange d'air et d'eau ainsi que des contraintes au niveau de la cime, des racines et de l'arbre lui même. Tout ceci conduit ensuite a des actions inconsidérées comme la taille excessive dont nous verrons plus tard les conséquences, ou bien l'élimination complète de l'arbre.
Premièrement, l'espace laissé aux arbres dans la ville de Mexico est généralement très faible. En effet, dans une étude effectuée en 1993[94] et commentée dans un autre article[95], il a été constaté que dans la capitale, la moitié des trottoirs mesurait entre un mètre soixante et deux mètres, ce qui n'est pas suffisant pour le développement des arbres, car ils se retrouvent alors très des bâtiments et de la chaussée. Dans 60 cas sur les 1261 cas étudiés, il n'y avait même pas de trottoir ! On remarque alors un manque de prise en compte général de la taille du système racinaire ainsi que du système aérien d'un arbre dans la ville.
En ce qui concerne les racines, des relations entre le volume du houppier et le volume racinaire ont été mises en évidence par Kopinga et Balker[96]. Pour chaque mètre cube de projection au sol de la couronne foliaire, le volume de sol nécessaire aux racines serait de 0,75 m^3. Le volume racinaire serait alors de 1/10e du volume de la couronne. Ces formules se traduisent, pour un tilleul de 20 ans et d'une couronne de 8 m de diamètre par exemple, par la nécessité de 40 m^3 de bon sol exploitable, soit une fosse de 2 m de profondeur et de 20 m^2 de surface. Sachant que 95% des racines se trouvent dans 1,30 m de sol, selon Didier Larue[97], et qu'en règle générale, un arbre adulte nécessite plusieurs dizaines de mètres cubes pour le développement de ses racines, on peut alors imaginer que pour ce tilleul servant d'exemple,

93 - Laguna, de O.C., (1985), *Manual de planeacion y manejo de las areas verdes urbanas del D.F.*, Mexico, 681 p., cité dans Chacalo, Alicia et Pineau, Marius (1991), « Problème environnementaux et situation des arbres urbains dans la ville de Mexico », article paru dans la revue *Journal of Arboriculture, p.4*
94 - Chacalo, Alicia, Grabinsky, Jaime et Aldama, Alejandro, (février 1994), « Sreet Tree inventory in Mexico City », article paru dans la revue *Journal of Arboriculture,* n°20
85 - Chacalo, Alicia, Grabinsky, Jaime et Aldama, Alejandro, S*ite Limitations to Tree Growth*, Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, México D.F., publié en 2009, consulté le 27.12.2016, https://www.ces.ncsu.edu/fletcher/programs/nursery/metria/metria09/chacalo.html
86 - Kopinga, J., (1985), *Selecting and preparing sites for urban trees*, Proceedings of the fifth conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance, cité dans Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 58
97 - Larue D. (1996). *L'arbre dans la ville. Sang de la terre, Ecologie urbaine*, 166 p., cité dans Le Gourrierec, S., *L'arbre en ville : le paysagiste concepteur face aux contraintes du projet urbain*, Mémoire de fin d'études, AGROCAMPUS OUEST, 2012

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

la fosse pourrait mesurer 1,50 m de profondeur et 26 m² de surface. On peut alors estimer que la moyenne nécessaire pour un arbre adulte serait comprise autour de cette valeur.
De plus, la plupart des arbres présentent des systèmes racinaires peu profonds, mais qui s'étendent au delà de la projection au sol de la couronne et qui dépasse donc la largeur du houppier. A titre d'exemple, les peupliers de culture, connus pour leur appareil racinaire traçant et superficiel, posséderaient près de 35 % de leurs racines au-delà de deux fois la projection au sol de leur houppier, selon *l'Arboriculture Urbaine.*
On peut maintenant comparer ces données avec la situation des arbres et notamment de leurs pieds dans la zone d'étude. La figure ci-contre présente alors différents pieds d'arbres dans les rues que nous avons étudié plus tôt et qui sont représentatives du quartier concerné à savoir l'avenue Alvaro Obregon, l'avenue Amsterdam, et la rue Atlixco.
Sur l'avenue Alvaro Obregon, il y a plusieurs types de pieds d'arbre, selon s'ils se situent sur le terre-plein central ou sur les trottoirs périphériques. Sur le terre plein central, les arbres sont plantés dans une bande de terre large d'un mètre cinquante à deux mètres environ qui apparaît sur la deuxième photographie, sauf dans certains cas comme l'on peut voir sur la première image. Quant aux arbres des trottoirs périphériques, ils sont plantés dans une plus petite bande de terre grillagée, de 75 centimètres environ, dans des carrés étroits délimités par du béton, ou dans un petit espace non délimité, comme on le voit sur les trois dernières photos, dans l'ordre.
On retrouve la même situation le long de l'avenue de l'avenue Amsterdam. En effet, les arbres situés sur le terre-plein central sont plantés dans une bande de terre large de deux à trois mètres, et les arbres des trottoirs périphériques dans d'étroites jardinières ou à même le niveau de la rue, dans un espace mesurant tout juste plus que la taille du tronc, comme le montre la première photo.
Enfin, dans la rue Atlixco, l'espace donné aux arbres est le même que celui donné à ceux des trottoirs périphériques des avenues précédentes.
L'espace laissé aux arbres pour leur développement dans ces trois espaces représentatifs est variable, de deux-trois mètres à presque zéro. Cependant, dans tous les cas, il est bien trop petit, lorsque nous avons vu qu'il faudrait une surface moyenne de sol perméable de 20 m² autour d'un tronc. Dans certains cas, l'arbre n'a même pas de terre autour de son tronc, ce qui compromet énormément son développement.

De multiples dégradations comme conséquences

› Dégradation des trottoirs

Avec ce peu d'espace donné aux arbres, on comprend alors la dégradation des infrastructures qui peut se produire, comme c'est le cas dans la rue Parral, parallèle à la rue Atlixco, ou à un carrefour de l'avenue Amsterdam. En effet, on peut voir sur la figure suivante que les racines ont littéralement cassé les trottoirs, car elles ont eu besoin de se développer à un endroit qui n'avait pas été prévu pour.
De plus, le système racinaire d'un même arbre peut évoluer au cours de sa vie, selon les

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

1 - L'avenue Alvaro Obregon

Pieds d'arbres le long de l'avenue Alvaro Obregon

2 - L'avenue Amsterdam

Pieds d'arbres le long de l'avenue Amsterdam

3 - La rue Atlixco

Pieds d'arbres le long de la rue Atlixco

- Fig. 57 : Photographies présentant diverses types de pieds d'arbres sur les trois espaces publics caractéristiques choisis de la Roma et de la Condesa à Mexico. Les photographies sont des captures écran de Google Street View.

conditions locales du sol. Ceci est fréquent en ville, où le sol est compact. Des espèces réputées à enracinement pivotant et profond peuvent ainsi développer leurs racines en surface, pour trouver l'oxygène nécessaire.
Ce phénomène, ajouté au peu de place laissé au développement des racines, entraîne de nombreuses dégradations, et ce particulièrement sur les trottoirs. Ces dommages causent alors des gênes importantes dans la mobilité des piétons, et peuvent également gêner les autres citadins en touchant aux différents réseaux.

- Fig. 58 : Photographies présentant des dommages causés aux trottoirs par les racines des arbres dans la Roma et la Condesa. Les photographies sont des captures écran de Google Street View. La photographie de droite a été prise au croisement de la rue Cacahuamilpa et de l'avenue Amsterdam, et celles de droite au à l'intersection de la rue Parral et de la rue Fernando Montes de Oca.

› Dégradations liées aux réseaux sous-terrains

Les arbres ne sont pas les seuls habitants du sol urbain. En effet, ils doivent partager cet espace avec les réseaux, avec qui ils rentrent souvent en conflit. Les principales difficultés, selon les auteurs de *l'Arboriculture Urbaine*, proviennent non seulement de la multiplicité des acteurs mais aussi de l'absence d'une véritable politique du sous-sol urbain, qui coordonnerait tous les intervenants entre eux afin de respecter les intérêts de chacun, dont ceux des arbres, et participerait à la réalisation d'économies en mutualisant les travaux. On assiste donc à des dommages causés sur les arbres par les réseaux et leur entretien, ou, à l'inverse, à des dégâts causés aux réseaux par le manque de planification.
Les dommages relatifs à la présence de réseaux sous-terrains proviennent de la suppression d'une partie du système racinaire lors de l'ouverture de tranchées situées à proximité des arbres. La réaction de l'arbre dépend de la proportion d'organes atteints, du niveau de ses réserves et de son état physiologique. Or, ces attaques peuvent entrainer jusqu'à la mort de tout ou une partie de l'arbre, particulièrement lorsqu'elles se produisent en période de débourrement, soit lors de la mobilisation des réserves pour la croissance aérienne de l'arbre. En effet, il existe une relation très étroite entre le système racinaire d'un arbre et son

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS A DROIT D'AUTEUR

houppier[98]. Toute destruction racinaire entraîne alors une diminution de l'approvisionnement en eau et en sels minéraux, et une perturbation du transport de la sève. Un inévitable dépérissement apparaît, soit immédiatement, soit plusieurs années après.
A l'inverse, les arbres peuvent causer des dégâts sur les réseaux lors de leur croissance, étant donné qu'aucun plan n'est établi pour que chaque élément de la ville ait son espace. Ils peuvent alors gêner, pénétrer ou casser des canalisations avec la même force avec laquelle ils peuvent soulever des trottoirs. De plus, en situation de stress hydrique, les arbres sont à la recherche d'eau, et leurs racines peuvent alors aller jusqu'à des canalisations et les endommager.

› Dégradations liées aux réseaux aériens

Les arbres, lorsqu'ils sont plantés sans vision d'ensemble, peuvent aussi dégrader les réseaux aériens. A Mexico, la chute de branches ou d'arbres peut arriver lors de vents forts ou d'orages qui secouent la ville à la saison des pluies. Ces chutes d'arbres peuvent donc endommager les réseaux, qui sont majoritairement aériens dans la capitale, et représentent donc un danger potentiel. De même, les arbres sont une gêne pour l'éclairage public ou la signalisation routière. En effet, ils doivent être dégagés et les branches ne doivent pas les obstruer. Sous ces prétextes de sécurité et d'efficacité, des élagages drastiques, conduits en totale méconnaissance des principes de base de la taille, entraînent des dommages souvent irréversibles aux arbres. Tout ceci est la conséquence de la non-planification de la plantation d'arbres dans la ville. La cohabitation des arbres et des réseaux est alors complexe car elle entraîne des gênes et des dommages dans les deux sens.

› Dégradations liées à un espacement aléatoire

La distance entre les arbres est un autre facteur qui n'est pas pris suffisamment en compte au moment de la plantation des arbres. Selon ce que nous avons vu précédemment, un arbre a besoin d'une surface moyenne de 20 m^2 de surface au sol pour le développement de ses racines, ce qui pourrait correspondre à une surface de quatre mètres sur cinq. Or, cette dimension moyenne, qui dépend de la taille de chaque arbre, n'est souvent pas respectée. On voit parfois des arbres proches d'un ou deux mètres, comme sur la figure suivante, ce qui, dans tous les cas, n'est pas suffisant pour que les arbres aient chacun leur espace nécessaire pour leurs racines. En ce qui concerne le houppier, le chevauchement des arbres ne doit pas dépasser 25 %, selon un cours de Maria Esperanza Viramontes[100]. Or, lorsque les arbres ne

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

98 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 56
99 - Garapon G., Tourret V., (1994), « L'arbre en ville et les constructions en souterrain », *Les Cahiers d'Arbre Actuel*, Paris, IDF, n° 1, cité dans « L'arbre urbain », *Wikipédia,* dernière consultation le 19.12.2016., https://fr.wikipedia.org/wiki/Arbre_urbain
100 - Esperanza Viramontes, Maria, *Diseño de Paisaje y Taller,* cours de licence, Departamento de Arquitectura Universidad Iberoamericana, Mexico DF, Otoño 2015

sont espacés que d'un ou deux mètres, on peut imaginer qu'ils se chevauchent bien plus. On peut aussi voir sur les photographies suivantes la façon dont les arbres se chevauchent. Le fait que l'espacement soit aléatoire implique alors une gêne mutuelle entres les arbres et peut compromettre leur bon développement.

1 - L'avenue Alvaro Obregon

Espacements d'arbres le long de l'avenue Alvaro Obregon

2 - L'avenue Amsterdam

Espacements d'arbres le long de l'avenue Amsterdam

3 - La rue Atlixco

Espacements d'arbres le long de la rue Atlixco

- Fig. 59 : Photographies présentant de faibles espacements entre des arbres des trois espaces publics caractéristiques choisis de la Roma et de la Condesa à Mexico. Les photographies sont des captures écran de Google Street View.

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DROITS DE DOCUMENTS

Taille abusive

La mauvaise planification de la plantation d'arbres entraîne à son tour une mauvaise gestion, car les services techniques doivent alors réparer les dégâts causés par la plantation aléatoire des arbres.

> Élagage dû à la mauvaise planification

Le fait que l'arbre n'ait pas une place définie dans la ville entraîne une taille abusive car il peut devenir une gêne. En effet, nous avons vu que l'arbre doit cohabiter avec les réseaux, les feux de signalisation, les bâtiments, les travaux, etc. Etant donné qu'il n'a pas été placé de façon à respecter la place de chacun, et qu'une planification harmonieuse n'a pas été réalisée, l'arbre devient forcément un désagrément pour la ville, qui se voit alors obligée de le couper jusqu'à ce qu'il ne gêne plus. Or, ces tailles ne se font pas dans le respect des besoins de l'arbre étant donné qu'elle dépend de la place qu'il faut laisser aux différents éléments urbains.
À ce titre, il existe des servitudes d'élagage, pour les fournisseurs des réseaux électriques notamment. En France par exemple, EDF peut « couper les arbres ou les branches qui, se trouvant à proximité des conducteurs aériens, gênent leur pose ou pourraient par leur mouvement ou leur chute occasionner des courts circuits ou des avaries aux ouvrages[101] ». A Mexico, les entreprises mandatées pour libérer les réseaux aériens élaguent aussi de manière drastique et inconsciente, avec la justification de donner un bon service, selon Maria Del Carmen Meza Aguilar[102]. Une des principales est la Comision Federal de Electricidad, qui des règles très claires en ce qui concerne l'abattage de branches, mais n'en a pas autant en ce qui concerne les techniques de taille. L'élagage se fait alors selon leurs besoins et non ceux de l'arbre, ce qui peut considérablement l'endommager. De plus, il existe un équilibre entre les parties aériennes et souterraines de l'arbre. Ceci signifie que tout évènement affectant la partie aérienne, comme une défoliation par des parasites ou des ravageurs, une ablation brutale par une tempête ou un élagage, etc., aura des conséquences importantes sur les racines. Ce phénomène peut alors entraîner un cercle vicieux, puisque l'affaiblissement des racines entraîne ensuite un affaiblissement de l'arbre entier.

> Élagage dû au manque de connaissances

En ville, la taille est souvent obligatoire, et ce avec une accessibilité parfois difficile. Une taille douce est souhaitable, faite par des professionnels bien formés, car elle est une porte d'entrée pour de nombreux pathogènes. Chez certaines espèces d'arbres, elle doit même se

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

101 - Arrêté technique du 17 mai 2001 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique, cité dans « L'arbre urbain », *Wikipédia*, dernière consultation le 19.12.2016., https://fr.wikipedia.org/wiki/Arbre_urbain
102 - Del Carmen Meza Aguilar, María (2015), « Los árboles de la Ciudad de México. Guardianes de su imagen y calidad ambiental », *BÍTACORA* n°31, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico DF

poursuivre dans le temps. Une gestion attentive est alors recommandée.
Cependant, l'apparition de la tronçonneuse et des nacelles hydrauliques, ainsi que l'incompétence et la perte de savoir-faire de certains maîtres d'ouvrage et élagueurs causent d'importants dégâts aux arbres des villes[103]. Les propriétaires inexpérimentés ou certaines entreprises insuffisamment formées traitent alors les arbres de manière inappropriée, et c'est le tronc, les branches et les racines qui souffrent de ces tailles dures. Elles sont diverses, comme le rapprochement, le ravalement, ou l'étêtage par exemple.
Les expériences de différents pays indiquent que la gestion de ces espaces est la responsabilité de personnes hautement qualifiées en arboriculture, selon les auteurs du livre *Los arboles de la Ciudad de Mexico*[104], or elles affirment qu'au Mexique, il y a un grand retard dans ce domaine.

> *Élagage dû au vandalisme et aux chocs*

Malheureusement, les arbres urbains sont victimes de vandalisme au même titre que les infrastructures. Il est une cause commune de mort d'arbres urbains : jusqu'à 15 % des arbres récemment plantés en Europe[105]. Il est aussi possible que les arbres soient abîmés après des chocs non-volontaires. Dans le cas de coupes sauvages par exemple, les dégâts occasionnés nécessitent des interventions rapides des gestionnaires pour reprendre les coupes proprement en deçà des tissus arrachés[106]. Ces mesures permettent d'éviter la prolifération des micro-organismes et assurent de meilleures cicatrisations. En effet, les blessures d'écorces entraînent l'altération des tissus conducteurs de sève et créent donc des portes d'entrée aux parasites, qui colonisent rapidement la plaie et altèrent le bois. De plus, lorsque l'écorce est arrachée ou brûlée, le bois du tronc est directement en contact avec l'air, ce qui entraîne un changement brutal de l'environnement du bois (température, humidité...), or le bois à tendance à pourrir sous l'effet de l'eau.
Pour faire face aux agressions, l'arbre réagit de deux manières : soit il tente d'isoler la zone infestée en opposant des barrières chimiques aux agents pathogènes, soit il développe, sur le pourtour de la blessure, un bourrelet cicatriciel, qui, à terme, doit refermer la plaie. En effet, contrairement aux animaux, les arbres ne guérissent pas de leurs blessures. Les tissus infectés ou blessés ne régressent pas mais sont alors enkystés dans des tissus sains. La répétition de tels accidents, surtout sur les jeunes sujets, affecte considérablement l'arbre, parfois jusqu'à sa mort.

103 - Martinez Gonzalez, Lorena et Chacalo Hilu, *Alicia (1994), Los arboles de la ciudad de Mexico,* Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, 351 pages, p. 28
104 - Martinez Gonzalez, Lorena et Chacalo Hilu, Alicia (1994), *Los arboles de la ciudad de Mexico,* Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, 351 pages, p. 28-29
105 - Programme COST « E12 forêts urbaines et des arbres », Konijnendijk C., Schipperijn J., Nilsson K., (2005), *Action Number: E12Urban Forests and Trees*, Proceedings no 2 Pages: 296, cité dans « L'arbre urbain », Wikipédia, dernière consultation le 19.12.2016., https://fr.wikipedia.org/wiki/Arbre_urbain
106 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 89

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

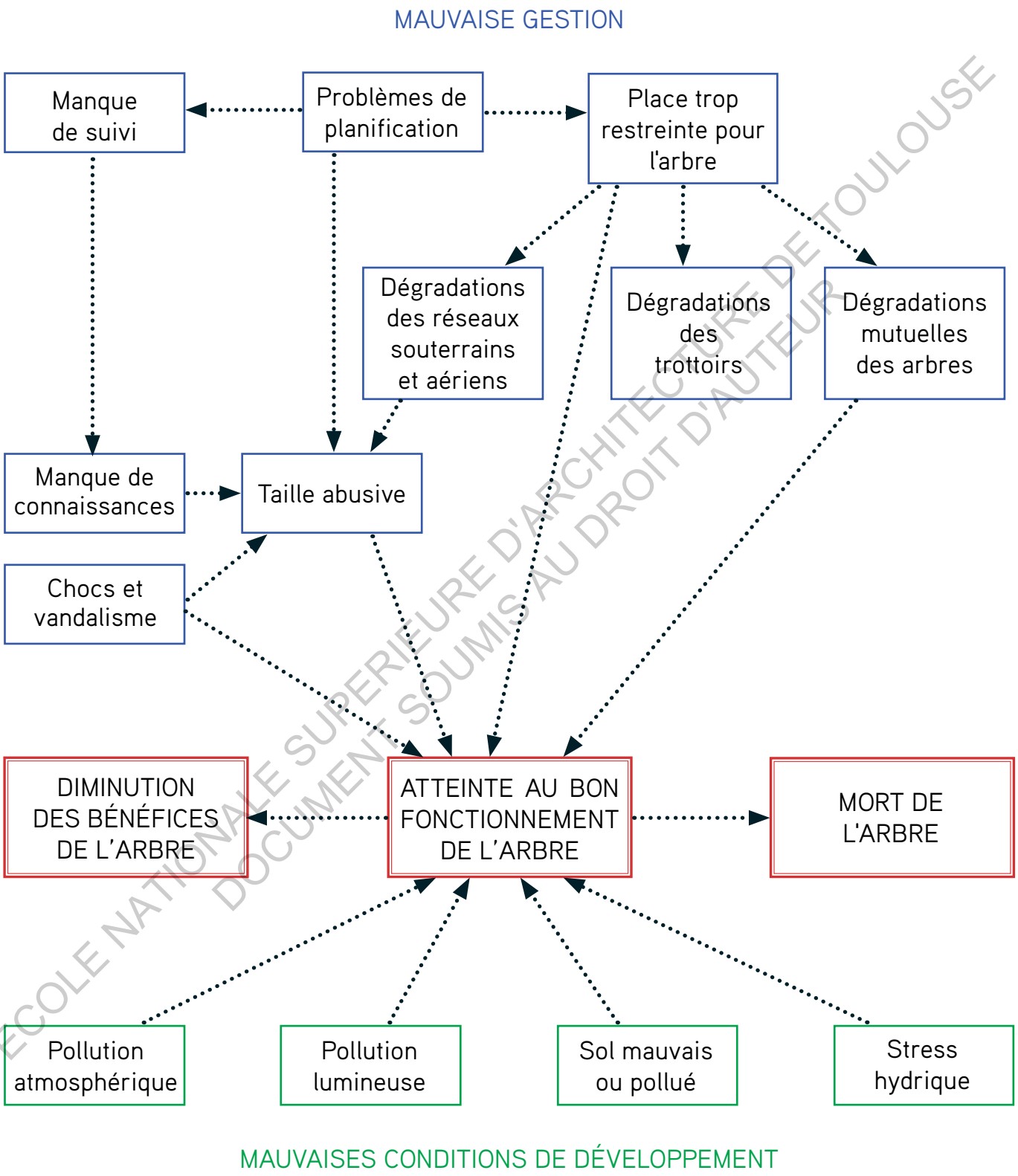
Un suivi insuffisant

Selon les auteurs du livre *Los arboles de la Ciudad de Mexico*[107], dans les années 70, le gouvernement métropolitain a répondu a l'appel des écologistes qui demandaient que soient plantés des arbres à Mexico pour réduire le déficit en espaces verts, étant à l'époque de 75% inférieur au minimum recommandé par les normes internationales. Les campagnes de reforestation de l'aire urbaine se sont alors développées jusqu'à maintenant, avec peu de planification et en grande partie de façon empirique.
L'effort réalisé reste cependant modeste en ce qui concerne l'entretien des arbres. En effet, il a été donné une grande priorité à la plantation de milliers d'arbres, mais pas autant à leur entretien et à leur permanence dans le site. De plus, l'efficacité des programmes de reforestation est mesurée par le nombre d'arbres plantés, ce qui fausse les résultats. Des milliers d'arbres sont alors plantés chaque année, cependant on ne sait pas combien survivent après la première année, et combien des survivants sont en bon état, selon la même source[108].
Un autre problème important est la rare information sur la reforestation urbaine des quarante dernières années. Toujours selon le livre *Los arboles de la Ciudad de Mexico*, l'information existante n'est pas publique ou pas informatisée, et on assiste donc à une absence de registre sur les arbres urbains qu'on a aujourd'hui, en plus d'une grande difficulté à évaluer le succès des plantations. On a pu constater cette absence de registre lors de la comparaison entre les espèces d'arbres de Paris et ceux de la Roma et de la Condesa à Mexico. En effet, la ville de Paris avait un registre de tous les arbres de la ville quand il était plus difficile de trouver les espèces d'arbres présentes dans la zone étudiée. A titre de rappel, il avait fallu chercher les indications de chaque espèce dans le livre cité précédemment.
Cette situation s'ajoute au fait qu'il n'existe pas non plus d'instance qui légifère de manière intégrale les activités en relation avec la gestion des arbres urbains et des espaces verts. Les arbres ont donc manqué d'entretien et de soins après plantation, ce qui explique aujourd'hui les problèmes précédemment cités et reliés à la santé des arbres.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENTS SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

107 - Martinez Gonzalez, Lorena et Chacalo Hilu, *Alicia (1994), Los arboles de la ciudad de Mexico,* Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, 351 pages
108 - Martinez Gonzalez, Lorena et Chacalo Hilu, *Alicia (1994), Los arboles de la ciudad de Mexico,* Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, 351 pages, p. 28

3 - INTERCONNEXIONS DES FACTEURS



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

- Fig. 60 : Schéma de synthèse de la relation entre les différents facteurs qui rendent difficile la vie de l'arbre en ville.

Nous venons de voir qu'il existe plusieurs problèmes liés à l'arbre en ville, et notamment à Mexico. Tous ces problèmes, étant des facteurs de stress pour l'arbre, portent tous atteinte au bon fonctionnement de l'arbre de diverses façon. Les conséquences recensées par les auteurs de *l'Arboriculture Urbaine*[109] sont les suivantes : diminution de la photosynthèse, augmentation de la respiration, perturbation de l'absorption par le système racinaire, perturbation du transport de l'eau et des minéraux, augmentation de la transpiration, diminution de la croissance, et fragilisation de la structure de l'arbre. Tous ces dérèglements mènent à la diminution des bénéfices de l'arbre cités dans la deuxième partie ou même à sa mort.

Incidences des différents facteurs sur les maladies et les ravageurs

> *Incidence de tous les facteurs sur les maladies et les ravageurs*

L'atteinte au bon fonctionnement de l'arbre augmente aussi son risque d'être atteint par des maladies ou des ravageurs[110]. Parmi les êtres vivants agresseurs de l'arbre, certains sont incapables de le coloniser lorsqu'il est dans son état normal, soit dans de bonnes conditions de développement. Un arbre vigoureux est donc à même de mieux résister à certaines attaques parasitaires. Cependant, il peut tout de même être colonisé par les parasites actifs et ravageurs primaires, qui sont capables de s'installer dans les tissus vivants et de les détruire après avoir dépassé les barrières de protection de l'arbre. Ils correspondent aux insectes piqueurs (pucerons, cochenilles), aux acariens, aux chenilles et aux larves défoliatrices par exemple, ou même à des champignons comme les anthracnoses. Les parasites de faiblesse et déprédateurs secondaires, champignons ou insectes, sont en revanche incapables de s'attaquer à un arbre sain. Les barrières de protection physiques ou chimiques de l'arbre les empêchent de se développer, et ils peuvent s'installer en son sein que si celui-ci ou l'un de ses organes est affaibli et n'offre plus de résistance. Ils sont alors dits secondaires car ils n'interviennent pas en premier lieu mais viennent à la suite d'une première agression. Les principaux déprédateurs secondaires sont des insectes xylophages[111] ou des champignons. Enfin, il existe une dernière catégories de déprédateurs : les saprophytes[112] et xylophages stricts. Ces derniers ne peuvent se développer que dans des tissus morts et n'ont pas la possibilité de s'attaquer aux parties vivantes de l'arbre. Ils ne peuvent donc pas altérer directement sa vitalité. Ces organismes ont impérativement besoin d'une blessure profonde, ayant mis à nu les tissus internes de l'arbre pour coloniser le sujet. Parmi les saprophytes les plus importants, on trouve les champignons lignivores.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

109 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 98-99
110 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 94-96
111 - Xylophages : Se dit des insectes qui se nourrissent de bois. (Larousse)
112 - Saprophytes : Se dit des végétaux supérieurs, des champignons et des micro-organismes qui se nourrissent de matière organique morte. (Larousse)

Le fait qu'un arbre soit stressé, affaibli ou même taillé profondément implique alors un risque bien plus grand d'être attaqué par des parasites ou des ravageurs. Pour qu'un arbre soit en bonne santé, il faut aussi qu'il puisse vivre dans de bonnes conditions de gestion et de développement.

> Incidence de la sécheresse sur les maladies et les ravageurs

De façon générale, le stress occasionné par une sécheresse altère et réduit les réactions de défense de l'arbre. De plus, le déficit hydrique conjugué à de fortes températures influence directement la croissance, la reproduction et les capacités de survie de nombreux champignons pathogènes. L'environnement thermique des arbres en situation de sécheresse est aussi plus favorable à la croissance et à la reproduction des ravageurs, selon la même source[113], qui décrit plus techniquement les changements physiologiques occasionnées par la sécheresse. Il en résulte que les arbres stressés se trouvent physiologiquement plus adaptés à la croissance, la survie, et la reproduction des insectes. En effet, les nutriments, plus concentrés ou mieux équilibrés, sont davantage utilisables par les insectes.

> Incidence de la pollution sur les maladies et les ravageurs

L'influence des polluants peut être directe sur les phases de développement du pathogène, ou indirecte, en diminuant les mécanismes défensifs de l'arbre par son affaiblissement.
Les différents polluants ont en général un impact négatif sur les maladies, en réduisant le développement de parasites. Cependant, la pollution peut avoir un effet positif pour les ravageurs. En effet, comme l'explique le livre *l'Arboriculture Urbaine*[114], de nombreuses études expérimentales ont mis en évidence une corrélation entre le taux des polluants émis par les gaz d'échappement et les populations de pucerons. La forte augmentation de pucerons sur plusieurs espèces d'arbres s'explique alors par trois raisons. Premièrement, les concentrations élevées d'oxyde d'azote libéré par les gaz d'échappement entraînent une augmentation de la teneur en azote du feuillage dont les qualités nutritionnelles sont alors profitables aux pucerons. Par ailleurs, la pollution, agissant sur les arbres comme n'importe quel stress, induit une augmentation de sucres solubles et de certains acides aminés, favorisant la prise de nourriture des pucerons. Ensuite, la densité et les capacités prédatrices des défenseurs de l'arbre sont diminuées par les effets de la pollution. Enfin, les températures moyennes supérieures observées en milieu urbain permettent un développement plus rapide des populations au printemps et un taux de multiplication des pucerons plus élevé.
D'autres relations entre les polluants et la prolifération de ravageurs ont été mis en évidence, comme c'est le cas pour l'ozone. En effet, les modifications induites par l'ozone sur les pins facilitent les phases d'établissement et de regroupement des scolytes, qui peuvent ensuite

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

113 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 103-104
114 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 103-104

attaquer leurs hôtes, selon la même source. De même, les fluorures semblent favoriser certaines attaques comme celle de la tordeuse sur les pousses de pin[115]. Enfin, les poussières stimulent fortement les acariens sur une grande variété d'espèces d'arbres, sans que cela puisse vraiment être expliqué.

Incidences de l'atteinte au bon fonctionnement d'un arbre sur les conditions de vie en ville

› Sur le bien être

La notion de bien-être est difficilement quantifiable mais elle est clairement exprimée et ressentie par les usagers. De nombreux parasites peuvent nuire à la beauté des arbres, en les rendant malades. Ainsi, les défeuillaisons par des chenilles défoliatrices, les décolorations de feuilles suite à une attaque d'acariens ou des dessèchements de branches réduisent de façon temporaire ou définitive la valeur esthétique d'un arbre tant appréciée par les citadins, selon *l'Arboriculture Urbaine*[116] De plus, des chutes précoces de feuilles ou des défoliations suppriment partiellement l'ombrage tant convoité en période estivale, et peuvent alors réduire le bien-être et le confort des citadins.

› Sur la santé

Certains ravageurs peuvent provoquer chez l'homme des problèmes de santé, comme les chenilles défoliatrices aux poils volatiles urticants. Elles entraînent diverses réactions allergiques : démangeaisons, œdèmes, asthme, et même parfois, perte de connaissance. Des problèmes oculaires peuvent également survenir à la suite de la pénétration de ces poils.
De plus, par l'atteinte au bon fonctionnement de l'arbre, nous avons vu que les facteurs de stress réduisent les bénéfices de l'arbre, et parfois même les inversent. L'arbre n'absorbe donc parfois plus de dioxyde de carbone mais du dioxygène, transpire moins, ce qui participe à la diminution de la pollution par la création de brouillards, et ne filtre plus autant l'air de ses polluants. L'inversion des bénéfices de l'arbre a alors une incidence très importante sur la santé des citadins.

› Sur la sécurité

La solidité de l'arbre en ville est très importante, car des chutes de branches ou d'arbres peuvent causer des accidents importants. On peut alors assister à des dommages à la propriété, aux réseaux électriques et même aux individus. Il est rare que les arbres en bon état sanitaire, soient concernés. En effet, les arbres défaillants présentent des cavités, des pourrissements, des branches fragilisées ou un mauvais ancrage de ces dernières sur le tronc. Leur résistance mécanique étant considérablement diminuée, ils sont dangereusement

115 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 106
116 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 99-102

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENTS SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

exposé à l'action du vent. C'est donc l'affaiblissement de l'arbre par tous les facteurs de stress qui peut ensuite entraîner un danger. Les quelques tempêtes qui passent par la ville de Mexico causent en général beaucoup de dégâts par la chute de branches et d'arbres, comme ce fût en mars 2016. Selon un site d'information mexicain[117], ce sont 510 arbres qui sont tombés dans la ville, causant alors d'importants dégâts matériels, après que le vent ait atteint les 70 km/h. Ceci laisse alors penser que beaucoup d'arbres de la ville sont en mauvais état de santé.

> Sur la voirie et le mobilier urbain

La voirie et le mobilier urbain peuvent être endommagés de plusieurs façons. Premièrement, les racines des arbres peuvent, comme nous l'avons vu précédemment, soulever et casser des trottoirs et le bitume des rues. De la même façon, le mobilier urbain comme les bancs ou les lampadaires peuvent aussi être atteints. Le mobilier urbain peut également être dégradé voire détruit lors de chutes d'arbres. Enfin, ils peuvent être abîmés et tâchés par une substance sécrétée par certains insectes présents dans les arbres : le miellat. Cette substance collante et riche en glucides provient de la sève élaborée, de laquelle le ravageur retire les substances azotées et rejette les produits sucrés[118]. Il se dépose alors sous les feuilles des arbres atteints et forme une pellicule poisseuse et brillante. Rapidement, des champignons noirâtres, les fumagines, vont s'y développer. La voirie et le mobilier urbain (bancs, abris de bus...), les tentures des commerces ou les véhicules en stationnement sont rapidement salis par ces dépôts. L'emploi d'un détergent est alors nécessaire pour les faire disparaître. Le miellat est très abondant lors ce certaines attaques comme celles des pucerons ou des cochenilles.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

117 - Dominuez, Pedro (10.03.2016) « Caen 510 arboles en la Ciudad de México », *Milenio.com,* dernière consultation le 31.12.2016, http://www.milenio.com/df/arboles_caidos_CdMx-viento_caida_espectaculares-vehiculos_danados_viento_0_698330266.html

118 - Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, collection mission du paysage, p. 101-102

- CONCLUSION

L'objet de ce mémoire était de savoir en quoi la présence des arbres dans la capitale mexicaine, et particulièrement dans la Roma et la Condesa, était importante. Après être partie d'une simple observation pour dérouler toute une réflexion, on peut dire que le sujet nous a apporté de nombreux éléments de réponse.

Pour résumer, nous avons vu que les arbres ont une importance très forte dans la Roma et la Condesa et ce pour plusieurs raisons. Tout d'abord, ils ont une présence physique très marquée dans la zone, ce qui s'explique par l'histoire de la création des quartiers et l'influence du modèle parisien de l'époque. Ils font alors partie de l'essence de la Roma et de la Condesa. Les arbres ont aussi une importance non-négligeable en ce qui concerne les bénéfices apportés à l'environnement urbain. En effet, nous avons vu qu'ils permettent de lutter contre l'îlot de chaleur urbain, phénomène qui touche particulièrement la ville de Mexico. Ils permettent de diminuer la chaleur en offrant de l'ombre sur les matériaux qui s'échauffent et en augmentant l'humidité de l'air. De plus, ils en améliorent la qualité en rejetant de l'oxygène et en absorbants les différents polluants, très présents dans la capitale mexicaine. Les arbres ont d'autres bénéfices environnementaux tels que l'amélioration de la qualité du sol par sa stabilisation et par la filtration de l'eau, mais aussi par son aide à l'infiltration des eaux de pluies, ce qui est aujourd'hui un enjeu capital pour la ville. Ils permettent de favoriser la biodiversité urbaine très riche dans la vallée métropolitaine et jouent aussi un rôle psychologique et social très fort dans une ville aussi grande et parfois rude. Nous pouvons donc dire que les arbres ont une importance capitale dans la ville de Mexico, cependant, bien qu'ils aient de nombreux bienfaits, nous avons vu que leur présence n'est pas optimale. En effet, les nombreux bénéfices qu'apportent les arbres en milieu urbain sont compromis, voire même inversés, lorsque les conditions de développement des arbres sont altérés par les contraintes de la ville.

On peut donc rendre compte de la difficulté du sujet au vu de l'interconnexion de tous les facteurs. En effet, les arbres ont des bénéfices indéniables sur le milieu urbain, or ils n'existent que si ce milieu tient compte de leur présence et leur offre un cadre de vie agréable. En effet, le fait qu'aucune place ne soit véritablement réservée aux arbres dans la ville de Mexico est un véritable problème. En plus de voir leur développement et leurs bénéfices altérés, ils causent aussi en retour des dégâts sur les infrastructures. Ce manque de planification et de prise en compte des arbres et de leur fonctionnement n'est alors bénéfique ni pour eux ni pour la ville.

On peut expliquer ce manque de prise en compte par le fait que la Roma et la Condesa soient des quartiers relativement anciens, construits il y a plus d'une centaine d'années. En se basant sur l'hypothèse selon laquelle la conception de ces quartiers s'est inspirée des boulevards parisiens, on peut alors rappeler que la plantation d'arbres en ville en était à ses débuts. Elle avait effectivement eu lieu à Paris à la fin du XIXe siècle. Nous avons vu que les concepteurs de ces quartiers s'en sont sans doute inspirés puisqu'ils en ont reproduit beaucoup d'éléments, or il y a un point qui est complètement différent : la place des arbres

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

elle-même. En effet, nous avons pu voir différents cas où les arbres ont très peu de place ou sont très peu espacés. Ils sont parfois plantés sans terre autour de leur tronc et on une place restreinte, jusqu'à n'avoir même pas de trottoir dans les cas les plus extrêmes. On peut imaginer qu'à cette époque, le recul n'était pas encore assez important pour avoir conscience de la place que nécessite un arbre en ville et des conséquences que pouvaient avoir leur développement sur le milieu urbain. Les concepteurs de la Roma et de la Condesa n'auraient donc pas autant pris en compte cette donnée qu'à Paris, où l'on ne constate pas les mêmes situations.

Il paraît donc nécessaire de mettre en place un programme de planification intégral comme l'expliquent Alicia Chacalo et Marius Pineau[118], et ce pour entretenir les arbres actuels et prévoir les plantations futures. Ce programme devrait démarrer bien avant la plantation, avec l'identification des espèces adaptées au milieu particulier de la ville de Mexico, avec la formation du personnel amené à intervenir sur les arbres, et avec un programme de maintenance ainsi qu'un financement prévu à cet effet. La réalisation d'un inventaire précis des arbres de la ville permettrait également d'en assurer une meilleure gestion et un meilleur suivi. Enfin, les problèmes que connaissent les arbres seraient nettement réduits si les autorités de la ville prévoyaient dès le départ l'espace terrien et aérien nécessaire à leur développement. On éviterait alors les dégâts mutuels causés par et contre les réseaux.

La ville de Mexico aurait tout intérêt à prendre soin de ses arbres existants et à prévoir de bonnes conditions pour les suivants, car ils peuvent être d'une grande aide dans la résolution d'enjeux majeurs pour elle. Par exemple, nous avons parlé de la pollution qui est aujourd'hui un problème croissant, forçant le gouvernement à mettre en place des programmes de circulation alternée qui font débat. Nous savons que les arbres ont le pouvoir d'en absorber, or il faut qu'ils soient suffisamment nombreux et en bon état sanitaire. Avec plus d'entretien, de planification et de plantation dans les zones qui en sont dépourvues, ils pourraient alors participer plus activement à la réduction de la pollution. Nous avons également vu que les arbres contribuent à augmenter l'humidité et à diminuer la chaleur. En prenant les mêmes mesures, ils pourraient diminuer la chaleur de la ville qui augmente chaque jour à cause du phénomène d'îlot de chaleur urbain et atteint parfois des températures assez élevées. Un autre enjeu majeur pour Mexico est celui de l'eau, puisque la ville puise la plupart de ses ressources en eau dans le sol. L'exploitation excessive de ces sols lacustres ainsi que leur assèchement a de nombreuses conséquences. La première est que les nappes phréatiques manquent aujourd'hui d'eau pour toute la population, et il y a des jours où l'on découvre qu'il n'y a plus d'eau au robinet. Ensuite, les sols de la zone sont composés de sédiments, ce qui signifie que c'est le fait qu'ils soient gorgés d'eau qui les stabilise. Nous avons vu que

118 - Chacalo, Alicia et Pineau, Marius (1991), « Problèmes environnementaux et situation des arbres urbains dans la ville de Mexico », article paru dans la revue *Journal of Arboriculture* n°17

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

le manque d'eau dans le sol a eu des conséquences dramatiques lors du séisme de 1985 à Mexico, puisque les ondes, qui n'ont pas eu de conséquences proche de l'épicentre, se sont amplifiées dans la vallée de Mexico et ont ravagé la ville. Cet assèchement a aussi une autre conséquence majeure : l'affaissement différentiel du sol, qui cause des dommages sur les infrastructures et les bâtiments, mais aussi expose les zones les plus enfoncées à de nombreuses inondations. Aujourd'hui, il est donc nécessaire de recharger les aquifères de la ville afin de garantir la sécurité et le confort de tous ses habitants. Cette infiltration d'eau peut se faire par la perméabilisation des sols. La plantation de nouveaux arbres peut alors être l'occasion de lutter contre les problèmes environnementaux mais aussi de permettre l'infiltration des eaux dans le sol.

Les arbres ont donc une place prépondérante à Mexico, de par les nombreux bénéfices qu'ils peuvent apporter, mais aussi de par l'enjeu environnemental et social énorme qu'ils représentent. En effet, la plantation d'arbres ainsi que l'entretien des arbres existants dans la capitale sont alors un enjeu à part entière, puisque plus il y aura d'arbres en bonne santé, plus ils apporteront de bénéfices au milieu urbain. De la même façon, moins le milieu urbain sera hostile avec eux et plus ils lui offriront leur contribution. Il est urgent que la machine se mette en route afin de pouvoir révéler le pouvoir ô combien important des arbres.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

- REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je voudrais remercier Catherine Aventin, pour son suivi et ses conseils avisés qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

Je souhaiterais également remercier l'ENSA de Toulouse pour m'avoir donné la chance d'aller vivre et étudier un an à Mexico. Cette expérience m'a profondément marquée, elle m'a permis de grandir et de dépasser mes peurs. Elle m'a aussi permis de découvrir une ville que j'ai réellement aimé, et qui m'a inspiré pour ce mémoire. Le fait d'y avoir vécu a été une source d'informations très précieuse pour moi.

Je tiens également à remercier l'Université Iberoamericana de la ville de Mexico pour son accueil très chaleureux, tant par l'équipe de mobilité que par les professeurs. Je tiens particulièrement à remercier les professeurs qui m'ont donné des cours éclairés et tout nouveaux pour moi, comme Luis Carlos Delgado Castillo m'ayant enseigné les principes de l'urbanisme durable, ainsi que Jesica Amescua Carrera et Juan Manuel Casillas Pintor, mes professeurs de projet. Ces derniers m'ont sensibilisé à l'architecture durable et régénérative et m'ont fait vivre une incroyable aventure de projet participatif au Mexique. Cette sensibilisation a aussi renforcé mon intérêt pour les questions environnementales, ce qui a participé à ma motivation de mener à bien ce mémoire, qui traite de problématiques environnementales très importantes.

Je souhaiterais également témoigner de ma gratitude envers tous les élèves que j'ai côtoyé, et qui sont devenus de vrais amis. Ils ont été un soutien pendant toute mon année et ont participé à ce qu'elle soit une réussite pour moi. Je tiens à dédier tout particulièrement ce mémoire à mon ami regretté Patricio Floresmeyer Caballero, avec qui j'ai partagé un semestre de projet intense, et qui nous a malheureusement quitté peu après mon retour en France.

Je souhaite également à souligner et remercier la présence de Bastien Lacombe tout au long de l'année passée à Mexico mais aussi au quotidien. Il a été et est toujours d'un grand soutien, et m'a toujours poussé à aller plus loin et à croire en mes capacités.

Enfin, je tiens à remercier ma famille et mes amis, pour leur présence et leur soutien permanent, ainsi que leur compréhension.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

- TABLE DES ILLUSTRATIONS

- Figure 1 : Vue de Mexico depuis un toit de la Condesa ..... **p. 1**
Photographie : Laure Lucadou, toit de la rue Parral, Condesa, Mexico

- Figure 2 : Ahuehuete de Santa Maria del Tule et l'église du même nom ..... **p. 7**
Photographie : *Árbol e iglesia del Tule*, Óscar M. Villalobos

- Figure 3 : Ahuehuete de Santa Maria del Tule ..... **p. 7**
Photographie : *Árbol del Tule*, Rafael Bautista (2012)

- Figure 4 : Vestige de l'arbre de la « Noche Triste » ..... **p. 7**
Photographie : *Árbol de la Noche Triste en la actualidad,* du site Arte y Cultura

- Figure 5 : « Ahuehuete de la Noche Triste » ..... **p. 7**
Peinture de José María Velasco

- Figure 6 : Sapins dans le parc national Cumbres del Ajusco ..... **p. 7**
Photographie : Alejandro Lopez Ceja, sur le site Skyscrapercity

- Figure 7 : Terre plein central de l'avenue Alvaro Obregon à Mexico ..... **p. 11**
Photographie : Jose Antonio T., sur le site de Vogue

- Figure 8 : La ville de Mexico et ses 16 dégélations ..... **p. 12**
Image : MapaMexicoDF360°

- Figure 9 : La délégation Cuauthémoc ..... **p. 12**
Image : Base Wikipédia, modification Laure Lucadou

- Figure 10 : Composition de la Roma et de la Condesa ..... **p. 13**
Carte : Laure Lucadou, sur base de capture de Google Maps

- Figure 11 : Panneau indiquant la construction du quartier de la Roma au début du XXème siècle. ..... **p. 14**
Photographie : pacuriosos.wordpress.com

- Figure 12 : Le parc Mexico, au centre du quartier de la Condesa, quelque peu après sa construction. ..... **p. 14**
Photographie : pacuriosos.wordpress.com

- Figure 13 : Les enceintes successives de Paris. ..... **p. 17**
Carte : paris1900.lartnouveau.com

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

- Figure 14 : Les boulevards Beaumarchais et Richard Lenoir, vus depuis la colonne de Juillet. ..... p. 19
Photographie : paris1900.lartnouveau.com

- Figure 15 : Comparaison des typologies de boulevards parisiens et de l'avenue Alvaro Obregon. ..... p. 20

1 - Grand boulevard type ou boulevard de la deuxième ceinture

› *Le boulevard Montmartre dans les années 1900,*
Photographie : paris1900.lartnouveau.com
› *Le boulevard Poissonière en 1912,*
Photographie : paris1900.lartnouveau.com
› *Le boulevard des Italiens de nos jours,*
Photographie : geographyblog2014.wordpress.com
› *Plan schématique d'un boulevard de la première ceinture - le boulevard des Italiens* - Echelle 1/500, Laure Lucadou
› *Coupe schématique d'un boulevard de la première ceinture - le boulevard des Italiens* - Echelle 1/500, Laure Lucadou

2 - Boulevard du mur des fermiers généraux type du boulevard de la deuxième ceinture

› *Le boulevard Richard-Lenoir en 1900*
Photographie : paris1900.lartnouveau.com
› *Le boulevard Richard-Lenoir dans les années 1900*
Photographie : cparama.com
› *Le boulevard Belleville de nos jours*
Photographie : cparama.com
› *Plan schématique d'un boulevard de la deuxième ceinture - le boulevard Belleville*
Echelle 1/500, Laure Lucadou
› *Coupe schématique d'un boulevard de la deuxième ceinture - le boulevard Belleville* - Echelle 1/500, Laure Lucadou

3 - Typologie de l'avenue Alvaro Obregon

› *L'avenue Alvaro Obregon en 1929*
Photoraphie : eluniversal.com.mx
› *L'avenue Alvaro Obregon avant 1985*
Photoraphie : eluniversal.com.mx
› *L'avenue Alvaro Obregon de nos jours*
Photoraphie : registropersonal.nexos.com.mx
› *Plan schématique de l'avenue Alvaro Obregon* - Echelle 1/500, Laure Lucadou
› *Coupe schématique de l'avenue Alvaro Obregon* - Echelle 1/500, Laure Lucadou

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

- Figure 16 : Tableau présentant les espèces d'arbres présents sur les boulevards de la deuxième ceinture parisienne. ..... p. 23
Tableau : Laure Lucadou, réalisé à partir du site *Paris Open Data*

- Figure 17 : Tableau présentant les espèces d'arbres les plus présentes dans la Roma et la Condesa. ..... p. 24
Tableau : Laure Lucadou, réalisé à partir du livre *Los arboles de la ciudad de Mexico*

- Figure 18 : Ensemble de photos illustrant de la présence des arbres dans les rues de la Roma et de la Condesa. ..... p. 25
Photographies : Laure Lucadou

- Fig. 19 : Climogramme de Paris ..... p. 26
Document : Climate-data.org

- Fig. 20 : Diagramme de température de Paris ..... p. 26
Document : Climate-data.org

-Fig. 21 : Tableau climatique de la ville de Mexico ..... p. 27
Document : Climate-data.org

- Fig. 22 : Climogramme de la ville de Mexico ..... p. 27
Document : Climate-data.org

- Fig. 23 : Diagramme de température de la ville de Mexico ..... p. 27
Document : Climate-data.org

- Fig. 24 : Tableau présentant les espèces d'arbres que l'on retrouve sur les boulevards parisiens et dans la Roma et la Condesa. ..... p. 28
Tableau : Laure Lucadou, réalisé à partir du livre *Los arboles de la ciudad de Mexico*

- Figure 25 : Photographies représentant les espèces d'arbres présentes à Paris et que l'on retrouve dans les quartiers de la Roma et de la Condesa à Mexico. ..... p. 30
- *Micocoulier de Provence ou celtis australis*, Photographie : leafland.co.nz
- *Erable sycomore ou acer pseudoplatanus*, Photographie : treeseedonline.com
- *Orme ou ulmus parvifolia Jacq*, Photographie : learn2grow.com
- *Platane ou platanus x hibrida*, Photographie : Lakeshore Garden Centres Plant Finder

- Fig. 26 : Terre-plein central de l'avenue Amsterdam ..... p. 33
Photographie : Laure Lucadou

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

- Fig. 27 : Rond-point sur l'avenue Amsterdam ..... **p. 33**
Photographie : Laure Lucadou

- Fig. 28 : Terre-plein central de l'avenue Alvaro Obregon ..... **p. 33**
Photographie : Laure Lucadou

- Fig. 29 : Rue Atlixco, dans la Condesa. ..... **p. 33**
Photographie : Laure Lucadou

- Fig. 30 : Rue Parral, autre rue typique de la Condesa. ..... **p. 33**
Photographie : Laure Lucadou

- Fig. 31 : Comparaison des typologies des boulevards parisiens de la première et de la deuxième ceinture avec l'avenue Alvaro Obregon. ..... **p. 34**

1 - L'avenue Alvaro Obregon

› *Vue aérienne de l'avenue Alvaro Obregon,* Capture écran de Google Maps
› *Vue aérienne de l'avenue Alvaro Obregon,* Capture écran de Google Maps
› *Plan typologique schématique de l'avenue Alvaro Obregon* - Echelle 1/500, Laure Lucadou
› *Coupe typologique schématique de l'avenue Alvaro Obregon* - Echelle 1/500, Laure Lucadou

2 - La rue Amsterdam

› *Vue aérienne de la rue Amsterdam,* Capture écran de Google Maps
› *Vue aérienne de la rue Amsterdam,* Capture écran de Google Maps
› *Plan typologique schématique de la rue Amsterdam* - Echelle 1/500, Laure Lucadou
› *Coupe typologique schématique de la rue Amsterdam* - Echelle 1/500, Laure Lucadou

3 - La rue Atlixco

› *Vue aérienne de la rue Atlixco,* Capture écran de Google Maps
› *Vue aérienne de la rue Atlixco,* Capture écran de Google Maps
› *Plan typologique schématique de la rue Atlixco* - Echelle 1/500, Laure Lucadou
› Coupe typologique schématique de la rue Atlixco - Echelle 1/500, Laure Lucadou

- Fig. 32: Vue du Paseo de la Reforma ..... **p. 36**
Photographie : Bastien Lacombe

- Fig. 33 : Autre vue du Paseo de la Reforma ..... **p. 36**
Photographie : flickr.com, Martin Mercado

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

- Fig. 34: Trottoir du Paseo de la Reforma ..... **p. 36**
Photographie : depatalarga.com

- Figure 35 : Typologie de l'avenue Reforma ..... **p. 37**
Vue aérienne de l'avenue Reforma, Capture écran de Google Maps
Vue aérienne de l'avenue Reforma, Capture écran de Google Maps
Coupe typologique schématique de l'avenue Reforma - Echelle 1/500, Laure Lucadou
Plan typologique schématique de l'avenue Reforma - Echelle 1/500, Laure Lucadou

- Fig. 36 : Ombres dans une rue typique de la Condesa, la rue Parral. ..... **p. 39**
Photographie : Laure Lucadou

- Fig. 37 : Illustration de la différence de températures entre le centre urbain et la périphérie rurale. ..... **p. 42**
Graphique : climatism.wordpress.com

- Fig. 38 : Sols de la Roma et de la Condesa ..... **p. 45**
Photographies : Laure Lucadou

- Fig. 39 : Aperçu de différents styles architecturaux de la Roma et de la Condesa. ... **p. 46**
Photographies : À droite, skyscrapercity.com, à gauche, commons.wikimedia.org

- Fig. 40 : Illustration montrant le modèle d'urbanisation actuel et celui vers lequel il faudrait tendre pour créer des conditions de vie plus agréables. ..... **p. 47**
Graphique : ecohabitation.com, légendes réécrites Laure Lucadou

- Fig. 41 : Tableau présentant la taille des feuilles des espèces d'arbres que l'on retrouve dans la Roma et la Condesa à Mexico. ..... **p. 49**
Tableau : Laure Lucadou, selon le livre *Los arboles de la ciudad de Mexico*

- Fig. 42 : Feuilles des différents arbres repérés dans la Roma et la Condesa. ..... **p. 49**
- *Érable sycomore*, Photographie : australianseed.com
- *Cèdre de l'himalaya*, Photographie : parasud.com
- *Micocoulier de Provence*, Photographie : ebben.nl
- *Jacaranda à feuilles de mimosa*,Photographie : zazzle.com
- *Avocatier*, Photographie : wikiwand.com
- *Platane commun*, Photographie : ebben.nl
- *Palmier des Canaries*, Photographie : gdbobalcons-shop.com
- *Orme*, Photographie : khartasia-crcc.mnhn.fr

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

- Fig. 43 : Image montrant la différence d'albédo entre les arbres et les matériaux de construction d'un milieu urbain. ..... **p. 50**
Image : topsy.fr

- Fig. 44 : Tableau présentant la couleur des feuilles et de l'écorce des espèces d'arbres que l'on retrouve dans la Roma et la Condesa à Mexico. ..... **p. 51**
Tableau : Laure Lucadou, selon le livre *Los arboles de la ciudad de Mexico*

- Fig. 45 : Tableau présentant le type d'arbre de la zone étudiée ainsi que leur ombre **p. 52**
Tableau : Laure Lucadou, selon le livre *Los arboles de la ciudad de Mexico*

- Fig. 46 : Schéma synthétique du rôle que jouent les arbres dans la diminution de la température. ..... **p. 53**
Schéma : Laure Lucadou

- Fig. 47 : Tableau présentant la texture des feuilles des arbres que l'on retrouve dans la Roma et la Condesa à Mexico. ..... **p. 58**
Tableau : Laure Lucadou, selon le livre *Los arboles de la ciudad de Mexico*

- Fig. 48 : Schéma synthétique du rôle que jouent les arbres dans l'amélioration de la qualité de l'air. ..... **p. 59**
Schéma : Laure Lucadou

- Fig. 49 : Représentation schématique du système de chinampas. ..... **p. 60**
Imagee : classconnection.s3.amazonaws.com via Pinteret

- Fig. 50 : Des chinampas aujourd'hui, dans la zone de Xochimilco, où perdure encore une forme de cette agriculture. ..... **p. 60**
Photographie : terraekoloji.org

- Fig. 51 : Jacarandas en bordure du parc Mexico. ..... **p. 65**
Photographie : Laure Lucadou

- Fig. 52 : Jacarandas sur l'avenue Veracruz, dans la Condesa. ..... **p. 65**
Photographie : Laure Lucadou

- Fig. 53 : Périphérique de la ville de Mexico. ..... **p. 65**
Photographie : skyscrapercity.com

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

- Fig. 54 : Jardins verticaux sur les piliers du deuxième étage du périphérique. ..... **p. 65**
Photographie : ciudadsatelite.tv

- Fig. 55 : Trottoir soulevé par un arbre, rue Parral. ..... **p. 69**
Photographie : Laure Lucadou

- Fig. 56 : Tableau présentant la résistance des arbres de la zone étudiée à la pollution.
Tableau : Laure Lucadou ..... **p. 73**

- Fig. 57 : Photographies présentant diverses types de pieds d'arbres sur les trois espaces publics caractéristiques choisis de la Roma et de la Condesa à Mexico. ..... **p. 81**
Photographies : Captures d'écran de Google Street View

- Fig. 58 : Photographies présentant des dommages causés aux trottoirs par les racines des arbres dans la Roma et la Condesa. ..... **p. 82**
Photographies : Captures d'écran de Google Street View pour les deux des côtés, Laure Lucadou pour la photo centrale

- Fig. 59 : Photographies présentant de faibles espacements entre des arbres des trois espaces publics caractéristiques choisis de la Roma et de la Condesa à Mexico. ..... **p. 84**
Photographies : Captures d'écran de Google Street View

- Fig. 60 : Schéma de synthèse de la relation entre les différents facteurs qui rendent difficile la vie de l'arbre en ville. ..... **p. 88**
Schéma : Laure Lucadou

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

- BIBLIOGRAPHIE

› LIVRES

- Granados Sanchez, Diodoro et Mendoza Angeles, Oscar (2002), *Los arboles y el ecosistema urbano,* Universidad Autonoma de Chapingo, 96 pages

- Garcia Coll, Julio et Schjetnan, Mario (1975), *México Urbano,* México : Fondo de cultura economica, 61 pages

- Mailliet L., et Bourgery C. (1993), *L'arboriculture urbaine*, Institut pour le développement forestier, Collection mission du paysage, 318 pages

- Martinez Gonzalez, Lorena et Chacalo Hilu, Alicia (1994), *Los arboles de la ciudad de Mexico*, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, 351 pages

- Martinez Rivera, Sergio et Trapaga Delfin, Yolanda coordinadores, (2012), *Construyendo ciudades sustentables: experiencias de Pekin y la Ciudad de México*, 209 pages

- Publicaciones PAOT (2010), *Presente y Futuro de las Áreas Verdes y del Arbolado de la Ciudad de México*, PAOT, Mexico, 261 p.

- Stefulesco, Caroline (1993), *L'urbanisme végétal*, Institut pour le développement forestier, Collection mission du paysage, 323 pages

› ARTICLES ET DOSSIERS

- Amat, Jean-Paul et Hotyat, Micheline (2000) « Dossier 9 : Problèmes environnementaux dans les grandes métropoles, exemple de Mexico », *Les Métropoles dans le monde,* Gabriel Wackerman, Les dossiers du CAPES et de l'agrégation, Paris : Elipse, 222 pages

- Caballero Deloya, Miguel (1993) «La foresterie Urbaine à Mexico», UNASYLVA, vol. 44, n°173

- Castañeda, Jorge, (mars 2016) « Hundimiento de la Ciudad de México alcanzó un metro en 10 años », *Foro Ambiental*, dernière consultation le 20.12.2016, Foro Ambiental, http://www.foroambiental.com.mx/hundimiento-de-la-ciudad-de-mexico-alcanzo-un-metro-en-10-anos/

- Castañeda, Jorge, (septembre 2015), « Terremoto de 1985, la resonancia y la Ecología », *Foro Ambiental*, dernière consultation le 20.12.2016, http://www.foroambiental.com.mx/terremoto-de-1985-la-resonancia-y-la-ecologia/

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

- Chacalo, Alicia et Escobedo, Francisco, (2008), « Estimacion preliminar de la descontaminacion atmosférica por el arbolado urbano de la ciudad de México », dans la revue *Interciencia*, vol. 33, n°1

- Chacalo, Alicia, Grabinsky, Jaime et Aldama, Alejandro, (2009) *Site Limitations to Tree Growth*, Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, México D.F., consulté le 27.12.2016, https://www.ces.ncsu.edu/fletcher/programs/nursery/metria/metria09/chacalo.html

- Chacalo, Alicia, Grabinsky, Jaime et Aldama, Alejandro, (février 1994), « Street Tree inventory in Mexico City », article paru dans la revue *Journal of Arboriculture*, n°20

- Chacalo, Alicia et Pineau, Marius (1991), « Problèmes environnementaux et situation des arbres urbains dans la ville de Mexico », article paru dans la revue *Journal of Arboriculture* n°17

- Cordeau, Erwan, *Le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) et ses conséquences*, Atelier n°9 «Adapter les villes aux ICU» 10.10.2012, Plans Climat Energie Territoriaux - 2ème colloque national, Institut d'Aménagement et d'Urbanisme Île-de-France,

- Del Carmen Meza Aguilar, María (2015), « Los árboles de la Ciudad de México. Guardianes de su imagen y calidad ambiental », *BÍTACORA* n°31, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico DF

- Dominuez, Pedro (10.03.2016) « Caen 510 arboles en la Ciudad de México », Milenio.com, dernière consultation le 31.12.2016, http://www.milenio.com/df/arboles_caidos_CdMx-viento_caida_espectaculares-vehiculos_danados_viento_0_698330266.html

- Institut d'aménagement et d'urbanisme Ile de France (Novembre 2010), *Les îlots de chaleur urbain, l'adaptation de la ville aux chaleurs urbaines*, 81 p.

- Institut d'aménagement et d'urbanisme Ile de France (Novembre 2010), *Les îlots de chaleur urbain, répertoire de fiches connaissance*, I, 58 p.

- Lessard, G. et, Boulfroy E. (2008), *Les rôles de l'arbre en ville*, Centre collégial de transfert de technologie en foresterie de Sainte-Foy (CERFO), Québec, 21 p.

- Machorro, Juan-Carlos, (Avril 2010), « DF : Islas de calor », *Mi ambiente*, dernière consultation le 10.12.2016, http://www.miambiente.com.mx/comunitarias/df-islas-de-calor

- Martinez, Edith, « Islas de calor ahogan a la ciudad », *El Universal,* avril 2009, dernière consultation le 10.12.2016, http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/94876.html

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

- Olivares Alonso, Emir, « El Centro Histórico se ha hundido al menos 10 metros, revela investigador », *La Jornada*, dernière consultation le 20.12.2016, http://www.jornada.unam.mx/2007/07/23/index.php?section=-sociedad&article=039n1soc

- Perlo Cohen, Manuel (1988), « Historias de la Roma. Microhistoria de la ciudad de México », paru dans la revue *Historias* (México, D.F.), 12 p.

- Richter, Willian (2005) « Arboles sagrados », *Konbini*, William, http://www.konbini.com/mx/estilo-de-vida/arboles-sagrados-el-ahuehuete/

- Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal (Juin 2015), *Calidad del aire en la Ciudad de México informe 2014*, Direccion General de Gestion de la Calidad del Aire, Direccion de Monitoreo Atmosférico, México, D.F., 122 p.

- « Impact de la pollution sur le développement de l'arbre urbain », 2012, http://web04.univ-lorraine.fr/ENSAIA/marie/web/ntic/pages/2012/saller.html

- « L'arbre à Paris », *Paris.fr*, dernière consultation le 01.012.017, http://www.paris.fr/arbres

- « La contaminacion ambiental en la Ciudad de México : todo sobre la contaminacion del aire », Arquitectura y Urbanismo, *Propriedades.com*, México, avril 2016, dernière consultation le 10.12.2016, http://propiedades.com/blog/arquitecura-y-urbanismo/contaminacion-ambiental-en-la-ciudad-de-mexico-df

- « La historia de porque la Condesa se llama asi... » *Mxcity Guia Insider*, dernière consultation le 01.01.2017, http://mxcity.mx/2016/05/poco-la-historia-la-condesa-la-la-condesa-se-llama-asi/

- « Les "Grands Boulevards", une création parisienne », *Un Jour de plus à Paris,* 01.08.2013, consultation le 05.07.2016, http://www.unjourdeplusaparis.com/paris-reportage/les-grands-boulevards-une-creation-parisienne

- « Los arboles en la ciudad de Mexico», (sept. 1998), *Mexico Desconocido* n°259, https://www.mexicodesconocido.com.mx/los-arboles-en-la-ciudad-de-mexico.html,

- « Roma, Condesa, 111 años de historia », MODO (Museo del Objeto del Objeto), Mexico DF, 13 p.

- « Un poco sobre la verde historia de Miguel Ángel de Quevedo », *Mxcity Guia Insider*, dernière consultation le 01.01.2017, http://mxcity.mx/2015/11/un-poco-sobre-la-verde-historia-de-miguel-angel-de-quevedo/

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

› SITES INTERNET

- *Google Maps*

- *L'arbre à Paris*, http://www.paris.fr/arbres

- *Paris Data*, « Les arbres d'alignement », http://www.opendata.paris.fr/explore/dataset/arbresalignementparis2010/map/

- *Climate-data.org*, http://es.climate-data.org/location/1093/ ; http://es.climate-data.org/location/44/

› COURS

- Assassin, Sylvie, (2016) « Connectivités écologiques : trames vertes et trames bleues », cours de Master, ENSA Toulouse

- Aventin, Catherine, (2014-2015), *Notions de thermique urbaine*, cours de licence (S6), ENSA de Toulouse

- Esperanza Viramontes, Maria, *Diseño de Paisaje y Taller,* cours de licence, Departamento de Arquitectura - Universidad Iberoamericana – Mexico DF, Otoño 2015

- Nava Townsend, José Maria, intervention dans le cours de AGUILAR, Carolyn, *Ciudad: evolucion de la forma urbana,* cours de licence, Departamento de Arquitectura - Universidad Iberoamericana – Mexico DF, 7 avril 2016

› MÉMOIRES - THÈSES

- Sarrazin, Adeline, (2015) *La place des arbres dans les rues de Mexico D.F.*, Mémoire de mobilité, ENSA de Toulouse, 63 p.

- Gonzalez De Canales, (2002), Carlos Priego, *Beneficios del Arbolado Urbano*, Ensayo doctorado

- Le Gourrierec, Stéphane, (2012) *L'arbre en ville : le paysagiste concepteur face aux contraintes du projet urbain*, Mémoire de fin d'études, AGROCAMPUS OUEST, 78 p.

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE

Mémoire de séminaire : conditions de consultation

Ce document est protégé par le droit d'auteur (art. L. 112-1 du Code de la propriété intellectuelle).

L'auteur du document accorde les droits d'usages suivant :

	OUI	NON
Consultation sur place	☑	☐
Impression	☑	☐
Diffusion Intranet	☑	☐
Diffusion Internet	☑	☐
Exposition	☑	☐
Publication non commerciale	☑	☐

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

École nationale supérieure d'architecture de Toulouse _83 rue Aristide-Maillol _BP 10629 _31106 Toulouse cedex 1
Tél. : 33 (0)5 62 11 50 50 _Fax : 33 (0)5 62 11 50 99 _Courriel : ensa@toulouse.archi.fr _Site : www.toulouse.archi.fr

Établissement public décret 81.333 du 6-4-81 _N° siret : 193 101 508/00011 _Code ape : 9215