

Vivre avec les arbres en ville

L'arbre comme outil d'aménagement urbain

Vivre avec les arbres en ville

L'arbre comme outil d'aménagement urbain

Django Vranken



Vivre avec les arbres en ville
L'arbre comme outil d'aménagement urbain

Auteur

Django Vranken

Expert

David Schmitz

Promoteurs

Benoit Thielemans
Geoffrey Van Moeseke
Jean-Jacques Jungers
Sandrine Meyer

« Une ville ! C'est la mainmise de l'homme sur la nature. C'est une action humaine contre la nature. »

Le Corbusier, *Urbanisme*, 1924, p. 10

« La vie elle-même est devenu le 'locataire' fiévreux de la grande ville. »

Frank Lloyd Wright, *La ville évanescence*, 1932, p. 18

Remerciements

A David Schmitz pour avoir accepté de me suivre et me guider tout au long du processus de recherche et pour tous les conseils qui en ont découlé.

A Benoit Thielemans, Geoffrey Van Moeseke, Jean-Jacques Jungers et Sandrine Meyer pour leur aide hebdomadaire précieuse et leur attention toujours vive et douce.

A Luc Schuiten pour les livres prêtés et l'accueil reçu.

A Patricia pour sa relecture attentive.

A Inès et Bruno pour leur soutien moral et leurs retours et conseils.

Ainsi qu'à toutes les personnes ayant aidé à la réalisation de ce travail.

Sommaire

Introduction	- 11
Enjeux des villes actuelles	- 15
L'arbre comme remède	- 25
Les contraintes de l'arbre	- 53
En résumé : Construction d'une boîte à outils	- 67
Utiliser la boîte à outils	- 75
Conclusion	- 109
Bibliographie	- 113

Introduction

Au début du siècle dernier, la pensée la plus répandue opposait radicalement humain et nature, considérant que le premier devait bâtir lorsque la seconde devait subir. Ainsi, certains prônaient le modèle de la ville comme lieu de développement de *l'Homme* lorsque d'autres, anti-urbanités, visaient un monde rural. Un siècle plus tard, ces vues sur le monde ne sont plus d'actualité. Nous devons aujourd'hui penser la ville comme un écosystème où l'humain intervient avec la nature sur la ville. Les villes sont les lieux du commun. La majorité semble condamnée à les habiter. Nous n'avons donc d'autre choix que d'abandonner ces deux visions au profit d'une pensée alliant ville et vivant.

Le rôle de l'architecte est de concevoir la ville de sorte que l'on y vive au mieux. Avec les avancées technologiques, les intérieurs se sont développés pour maximiser le confort. L'espace public n'a pas reçu le même engouement. Il fut même délaissé au profit de l'intérieur. Pour l'exemple, la climatisation de nos appartements réchauffe l'air extérieur.

Aujourd'hui, on tend à penser les choses dans leur globalité, penser les problématiques dans leur ensemble et les intrications qu'elles entretiennent. Il serait bénéfique de concevoir dans un premier temps le bien-être à l'échelle de la ville plutôt qu'à celle du bâtiment et se concentrer ensuite sur le détail.

Traditionnellement, l'architecte-urbaniste travaille essentiellement des aspects visuels : des impressions, des dimensions. Les formes agissent sur la lisibilité de la ville, son fonctionnalisme, mais aussi sa souplesse et la capacité d'appropriation de l'espace par ses occupants. Cependant, les espaces sont également composés de ressentis invisibles pour l'œil qui excitent nos sens. Ces stimuli peuvent provoquer des émotions tout aussi intenses. L'aspect visuel d'un lieu est en réalité aussi important que sa thermique, sa qualité atmosphérique ou son ambiance sonore. La végétation s'avère être un excellent outil permettant de répondre à la fois aux questions de chaleur, de qualité de l'air et de ventilation, d'ambiance sonore et visuelle. Elle permet d'accentuer la lisibilité des espaces urbains et bien entendu la biodiversité.

Ce travail vise donc à étudier l'arbre comme outil d'aménagement de l'espace public, à démontrer la pertinence de son usage et les formes qui peuvent en ressortir en termes de spatialité et de perception. A quel point peut-il répondre à nos besoins ? Comment peut-on cohabiter avec l'arbre ? Quelles sont les formes découlant de ces réflexions ?

Francis Alÿs dit que l'arbre est architecte. Chaque arbre est un corps comprenant une multitude d'âges car il est constitué à la fois d'éléments jeunes, vieux et morts. Il évolue au cours du temps et procède donc chaque jour à des choix architecturaux. Il y a, par le monde, 24 modèles de croissances d'arbres, au total (Figureau & Lewis, 2022). Il serait offensant de considérer des corps aussi riches d'une façon purement utilitariste.

Pourtant c'est bien l'objet de ce travail.

Dans un monde où la rentabilité prime, où le coût financier de chaque arbre est remis en question s'il n'est pas utile, il faut bien convaincre par des arguments appartenant à ce système de pensée.

Ce travail traitera de l'arbre en lui-même, le plus complètement possible, et non sur l'ensemble des formes de vies végétales.

La nature a toujours réussi à infiltrer l'architecture. Il est donc judicieux de concevoir la cohabitation entre nos espèces dès la conception de nos environnements, plutôt que d'être surpris par l'emprise du végétal. Il s'agit de concevoir des écotones : des lieux où deux milieux s'interpénètrent.

La Cité Jardin de Howard et la métropole Jardin de l'agence GRAU proposent des modèles de villes relativement éparses. Mais si les prédictions trop entendues en ce moment sont justes et qu'il faudra loger des millions de personnes en plus dans nos villes, il serait judicieux de se questionner sur la cohabitation possible entre la ville dense et le végétal. C'est dans la continuité de ces visions que je me propose d'étudier la ville boisée comme modèle de bien-être.

Ce travail porte sur la ville, ses ambiances, la perception que l'on en a en tant qu'humains. Concevoir des espaces public qui se vivent avec plaisir. Il s'agira d'étudier les éléments de la vie en se concentrant sur les effets des arbres, leurs relations à l'architecture, leurs impacts hydriques, thermiques, aérauliques et acoustiques. De cette étude résultera une boîte à outil permettant d'appréhender la planification urbaine avec le vivant. Laquelle sera illustrée à travers le cas d'étude du quartier de Cureghem, à Anderlecht.

Enjeux des villes actuelles

Les sensations thermiques

Les villes font aujourd'hui face à divers enjeux environnementaux. L'un des plus connus est le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU). Il s'agit d'un microclimat artificiel nocturne se produisant sur un temps court. Les matériaux habillant nos rues et bâtiments accumulent de la chaleur en journée et la rendent la nuit. Dans un environnement naturel, l'apport d'énergie solaire cesse au coucher du soleil et l'évapotranspiration avec, mais en ville l'énergie stockée par les surfaces minérales est restituée dans l'air qui reste chaud, empêchant nos corps de se refroidir (Masson, 2020 ; Cordeau & Valette, 2010)

Les ICU sont favorisés par :

- La morphologie de la ville,
- Les propriétés thermiques et radiatives des matériaux de revêtement,
- Le mode d'occupation des sols,
- La chaleur liée aux activités humaines,
- La faible présence d'eau,
- L'environnement régional (Ademe, 2010).

L'îlot de chaleur urbain n'est absolument pas un résultat du réchauffement climatique, il n'est pas fonction de la pollution atmosphérique, du taux de CO₂. Cependant le réchauffement global comme la pollution peuvent accentuer le phénomène. La chaleur liée aux activités humaines et à l'environnement peut également influencer sur l'ICU (Masson, 2020).

Le fait que l'ambiance urbaine soit plus chaude pourrait ne pas être un problème en soi si les périodes estivales n'étaient pas de plus en plus propices à la canicule. En plus de générer des effets d'inconfort thermique, ce phénomène a un effet néfaste sur la santé humaine (insuffisance respiratoire, maladies cardiovasculaires, cérébrovasculaires, neurologiques et rénales). De plus, il cause une diminution de l'humidité relative et d'une augmentation de l'intensité des précipitations (Magdelaine, 2021).

Il provoque également un mouvement des masses d'air des zones froides vers les zones plus chaudes, autrement dit : de la campagne vers la ville, et favorisent donc une accumulation des polluants atmosphériques dans les zones déjà sujettes à ce problème (Cantat, 2004). L'intensité de l'îlot de chaleur urbain diminue avec la vitesse du vent, voire disparaît pour des vents supérieurs à 11m/s.

Différence de température en fonction de l'urbanisation

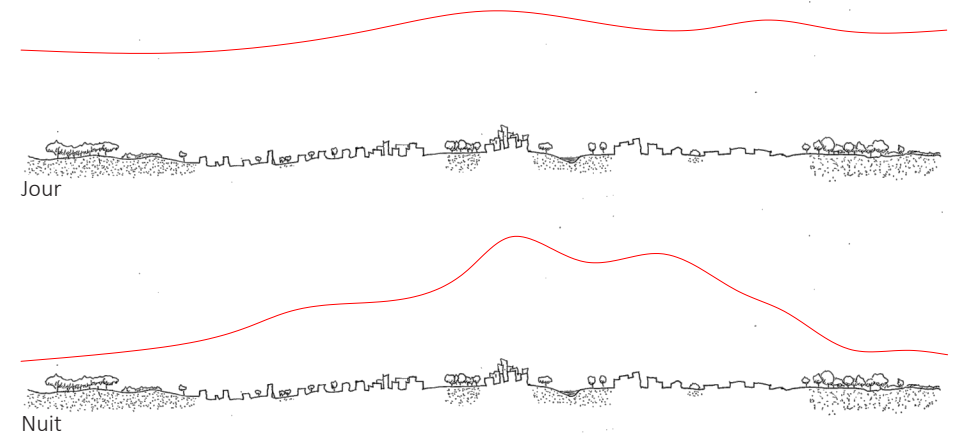


Figure 1 : Le phénomène d'îlot de chaleur

Les sensations aérauliques

Les pics de pollution de plus en plus réguliers rappellent l'importance de repenser nos émissions de polluants. Les principales causes de pollution atmosphérique sont l'industrie, les combustibles à usage domestique et les transports. Les activités industrielles ont été écartées peu à peu de nos villes pour des raisons de qualité de l'air. L'ère du tout à la voiture semble toucher à sa fin, les villes tentent de résorber le trafic automobile au profit de mobilités plus douces, voire actives¹.

La pollution de l'air réduit à la fois la qualité de vie et de santé. On considère l'air comme pollué lorsque la concentration de l'un de ses constituants est assez élevée pour :

- Menacer la santé de l'humain ou des animaux,
- Nuire à la qualité de vie par le dépôt de poussières et de saletés, l'émissions d'odeurs inconfortables, la réduction de l'ensoleillement,
- Endommager l'environnement.

Les vents qui balayent des espaces sans couverture végétale sont également une source de pollution. Les routes où s'accumule des poussières balayées par les vents génèrent des inconforts sérieux pour les piétons. L'accélération et la décélération des flux d'air produisent des turbulences qui réduisent la dispersion des polluants.

Les problèmes liés à la pollution de l'air résultent d'une absence de planification par le passé. Bien que le sujet soit de plus en plus conscientisé, les experts en qualité de l'air ne sont pas encore suffisamment consultés. Dans de nombreuses villes, l'une des plus importantes sources de pollution est le chauffage des logements. Les cheminées basses et les températures d'émission assez faibles se diffusent dans certaines rues, parfois fort polluées.

Les recherches mènent à la suggestion d'un modèle fondé sur un nouvel équilibre écologique mettant l'accent sur une intégration harmonieuse des activités humaines avec le milieu naturel. Il met également l'accent sur les zones limites et les zones tampons, c'est-à-dire l'importance d'espaces végétalisés permettant d'éviter un contact trop direct ente les activités émettrices de polluants et les zones habitées. L'efficacité de ces zones tampons augmentera

¹ Mobilité active : mode de déplacement ayant pour seule source d'énergie notre activité physique.

à mesure que les végétaux qui y sont plantés grandiront. Les végétaux peuvent absorber les polluants, capter les poussières, stimuler la turbulence (et ainsi aider à la dispersion des polluants).

L'arbre produit de l'oxygène. Mieux, il convertit le CO₂ en oxygène. Purification de l'air ambiant, écran contre les poussières et les bruits. Abri et nourriture pour la faune. Ecran contre le vent. Préservation de la qualité des sols et de l'eau font partie des nombreux avantages.

Les plantes subissent avec certains polluants, comme le dioxyde de soufre, des dommages notables pour des concentrations bien inférieures à celles entraînant une gêne pour l'humain. A l'inverse, des polluants comme le CO, mortel pour nous, n'ont aucun effet nuisible pour la végétation.

Les données de Bruxelles Environnement seraient trop optimistes. La qualité de l'air est, en réalité, pire que ce qui nous est communiqué.

Le partage de l'espace

La ville se tisse par la construction d'éléments pleins entre lesquels nous générons des vides. C'est de ces vides que traite ce travail. Ce sont ces entretiens qui composent l'espace public donc les lieux que nous habitons.

Une quête d'efficacité nous a amenés peu à peu à construire des villes plus lisses. Cette philosophie a favorisé avant tout la vitesse et l'individu, et donc la voiture. Pour qui a-t-on inventé les trottoirs ? Les avis divergent mais on peut observer l'écart progressif entre les piétons et le centre des voiries. Les villes se développent autour d'une logique de flux et d'une logique d'appropriation sociale (Terrin, 2011 : 13). Mais il me semble que les flux ont conquis l'espace, diminuant les interactions sociales. Nous courrons. Peut-être est-il temps de retrouver le plaisir de la flânerie. De s'imprégner des espaces que nous expérimentons, d'y prendre plaisir. « *Il y a un lien entre la lenteur et la mémoire, entre la vitesse et l'oubli* » (Kundera, 1994).

A cela s'ajoute la standardisation qui vise à optimiser et uniformiser l'ensemble des espaces urbains. Ainsi, la répartition de l'espace public s'opère assez identiquement quel que soit le lieu. Un plan d'aménagement doit se faire lui-même (Bardet, 1947). Toutefois je soupçonne l'humain de toujours répondre aux besoins d'un lieu selon une philosophie qui lui est propre. C'est l'espace qui s'est adapté à la voiture et non l'inverse. Cependant il est illusoire de désirer produire des espaces uniformes et lisses. La richesse est dans la variation, la différence. Bien sûr, un lieu doit être perçu comme un ensemble. Mais dans cette uniformité doivent se révéler les différences, riches et infinies.

La tendance s'inverse peu à peu. Rendre la ville au piéton passe par le travail la répartition des espaces. Dans ce travail, je propose de favoriser les piétons et leurs ressentis par le biais du végétal. Il s'agit donc de revoir le partage des espaces en étudiant la cohabitation entre humains et végétaux. Si la première caractéristique de l'espace public est l'accessibilité, il faut penser à l'accessibilité de tous les modes de vivant. Observer d'anciennes photos permet de comprendre la place qu'occupaient piétons et végétal avant l'avènement de la voiture individuelle. Si les voiries ont continué à être végétalisées, les piétons, eux, n'ont pas tellement gagné au change.

Enfin, rendre la ville marchable est un enjeu à la fois socio économique et sanitaire. Une ville où les gens veulent vivre sera plus attractive et le fait de pouvoir pratiquer la ville comme piéton influe fortement cet aspect. Pratiquer des mobilités actives est le meilleur moyen de rester en forme (Speck, 2013).



Figure 2 : L'avenue Louise : la place du piéton

L'aspiration au végétal

En plus d'influer sur l'environnement physique (thermique, aéralique, visuel, sonore), les arbres impactent directement le bien-être humain.

La preuve en est que, dans des contextes semblables, un logement face à un espace vert reviendra plus cher qu'un logement dans une rue entièrement minéralisée. Les espaces verts sont prisés par les habitants, la crise du Covid l'a d'ailleurs démontré. L'accès aux espaces verts a permis de limiter les inégalités de qualité des logements (Botton, 2020).

Les villes réfléchissent donc à la question de l'accessibilité aux espaces verts par les habitants. Dans une ville telle que Bruxelles où 63% de la population n'a pas accès à un jardin privé (INS, 2001), les espaces verts accessibles au public jouent un rôle crucial, à la fois en termes de social (puisqu'ils permettent le jeu, la rencontre), de santé (qualité atmosphérique et thermique) et de bien-être (détente, rapport à la terre).

Cependant certains quartiers sont particulièrement denses, y construire des parcs reviendrait à exproprier des populations. Je maintiens donc qu'il est judicieux d'étudier l'idée selon laquelle, pour ces quartiers, la rue soit le jardin.

Les espaces verts dits de proximité sont de trois types :

- Liés à l'habitat : essentiellement esthétiques, plantations aux abords des voiries et façades.
- De voisinage : minimum 1 ha où les habitants peuvent se rendre pour une courte durée, à moins de 400m de chez l'habitant.
- De quartier : minimum 10 ha offrant une plus grande variété d'usages, à environ 800 mètres de chez l'habitant (Bruxelles Environnement & IBGE, 2017).

Les espaces végétalisés jouent un rôle éminemment social, mais aussi culturel et parfois spirituel. Ils incitent les habitants à se déplacer, se rencontrer et participent à leur bien-être. Les villes ont l'occasion, à travers le végétal, de se forger une identité qui leur est propre. Les arbres marquent l'histoire des villes, certains sont considérés comme patrimoniaux et témoins d'évènements historiques. Dans de nombreux pays, ils contribuent à marquer les frontières (Clément, 2014, 2020).

L'arbre comme remède

Morphologies

Les pieds d'arbres, les alignements des troncs et les houppiers constituent des continuités et participent à la composition urbaine et aux relations visuelles. Les formes des arbres peuvent varier à deux échelles : le mode de taille influe sur sa forme individuelle, le mode de plantation influe sur notre perception de l'espace. Ce point traite de l'arbre d'un point de vue individuel puis d'un point de vue urbanistique.

Architecture végétale naturelle

Le modèle architectural d'une plante est défini par :

- Le mode de ramification des axes : sympodiale ou monopodiale
- Le mode de croissance des axes : continue ou rythmique (si la plante a une phase de repos dans l'année)
- L'orientation des axes secondaires : orthotropes (vertical), plagiotropes (horizontal) ou agéotrope (pas d'orientation privilégiée).
- La position de la sexualité : latérale ou terminale (Braesch, 2019).

Selon Francis Alÿs, on dénombre 24 modes architecturaux d'arbres dans le monde (Lewis & Figureau, 2022). Des familles éloignées peuvent suivre un même modèle (comme les platanes et les sapins). A l'inverse, une même espèce peut suivre deux modèles différents (les ginkgo biloba femelles et mâles ne suivent pas le même modèle, l'orientation des branches, horizontale chez les premières et verticale chez les seconds). Connaître et comprendre ces modèles permet de mieux intégrer l'arbre dans un système agroforestier ou urbain et de choisir des tailles et élagages moins traumatisants.

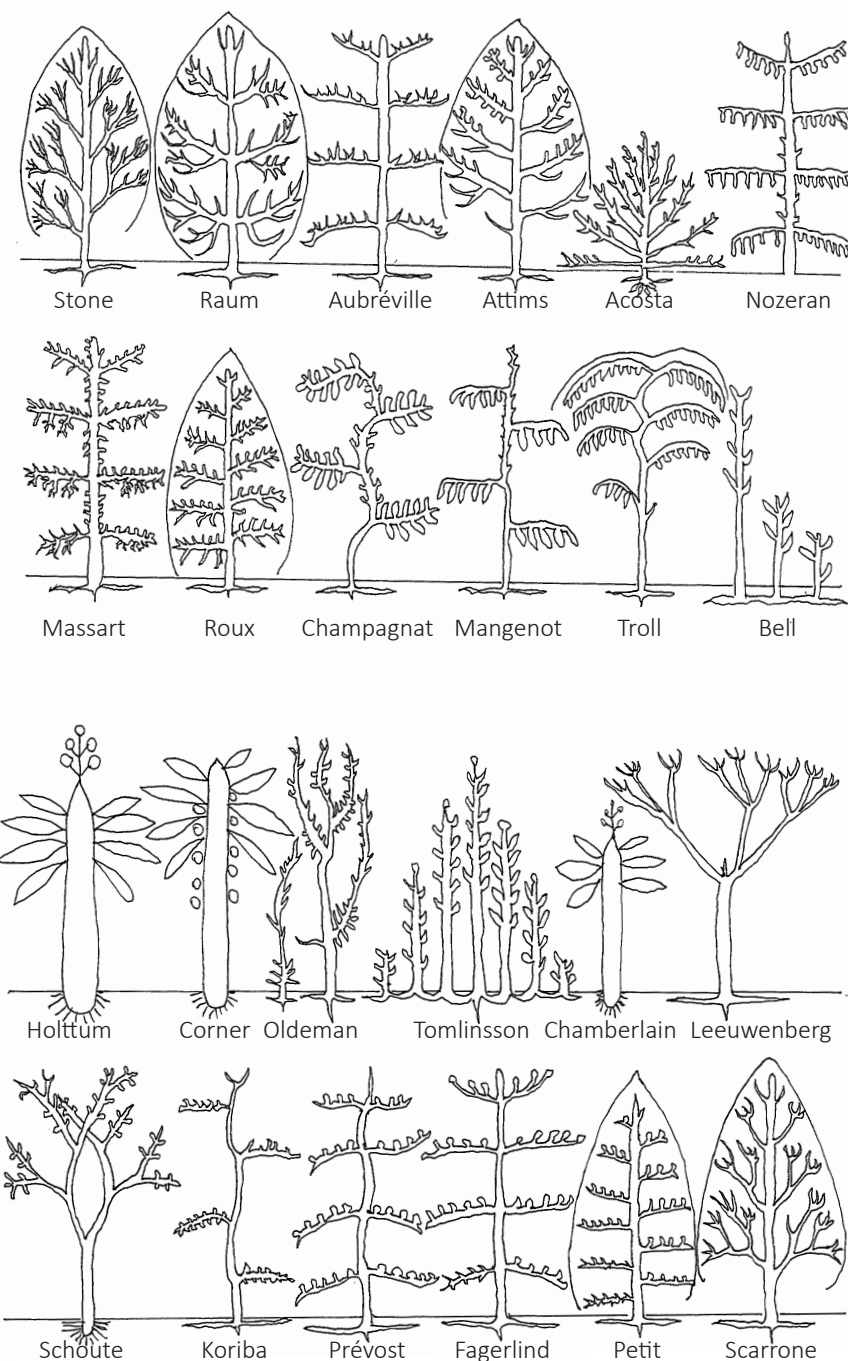


Figure 3 : Architectures naturelles des arbres

Architecture végétale artificielle : l'entretien

L'architecture de chaque espèce peut être altérée par la taille qu'on lui impose. Il s'agit de trouver un accord entre la forme de croissance initiale de l'arbre et celle que l'on veut, non de le plier à la forme que l'on souhaite. Cependant cela peut nécessiter un entretien fréquent et donc coûteux. Il est donc judicieux de limiter ces caprices à des sites particuliers. Les techniques de tailles sont adaptées aux espèces et essences, aux besoins, à l'âge et la taille du plant.

L'élagage des arbres peut se faire pour diverses raisons :

- *Taille de rajeunissement* : tous les 7 à 8 ans sur certains arbustes.
- *Taille de sécurité* : limiter les risques pour les personnes ou les biens.
- *Taille d'éclaircie* : coupe de certaines branches sans ôter plus de 25% du volume foliaire total.
- *Taille sanitaire ou de sauvetage* : coupe de toutes les branches mortes ou présentant des anomalies. Il en résulte un bourrelet de cicatrisation.
- *Taille de restructuration* : opération progressive dans le but de redonner une forme structurée à un arbre mutilé, délaissé ou affaibli.
- *Taille d'entretien* : préserve la bonne croissance de l'arbre et le maintien d'une forme adaptée à l'espace dans lequel il se développe.
- *Taille d'adaptation* : ajuste le volume de l'arbre selon une contrainte (câbles, bâtiments, etc.) tout en préservant une forme et un fonctionnement normal.
- *Taille fruitière* : optimisation de l'exposition des fruits à la lumière pour favoriser leur développement.
- *Taille de formation* : permet d'orienter l'arbre vers une forme prédéterminée.
- *Taille architecturée* : taille généralement de forme géométrique à but esthétique, peut être couplée à une taille d'adaptation (empêcher des ramifications basses pour garder un passage par exemple).



Source : A'urba, 2017 : 30

Figure 4 : Relation entre services et entretien des arbres

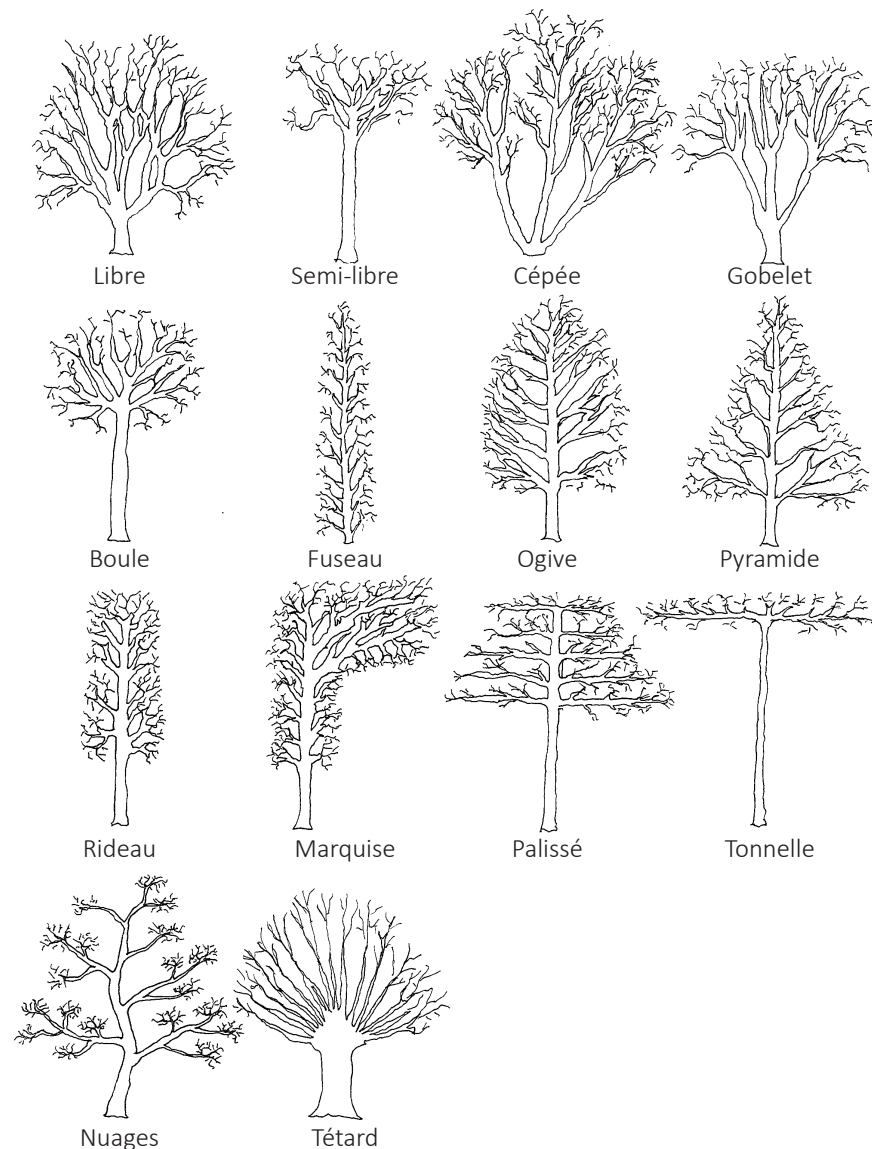
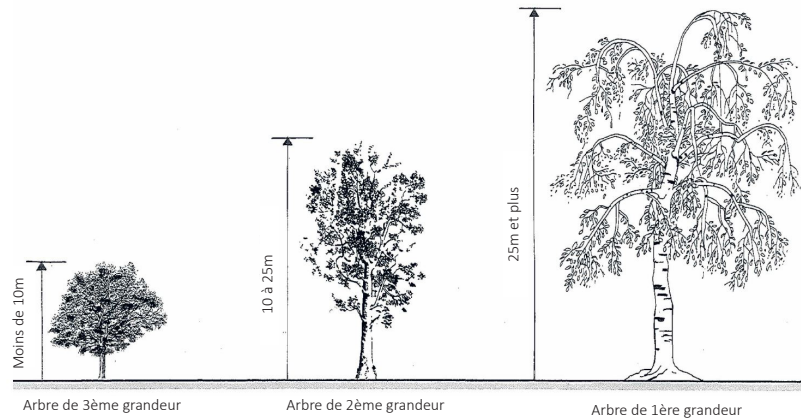


Figure 5 : Architectures artificielles des arbres

On dénombre 14 tailles de formation qui permettent d'imaginer l'arbre en devenir.

Urbanisme végétal

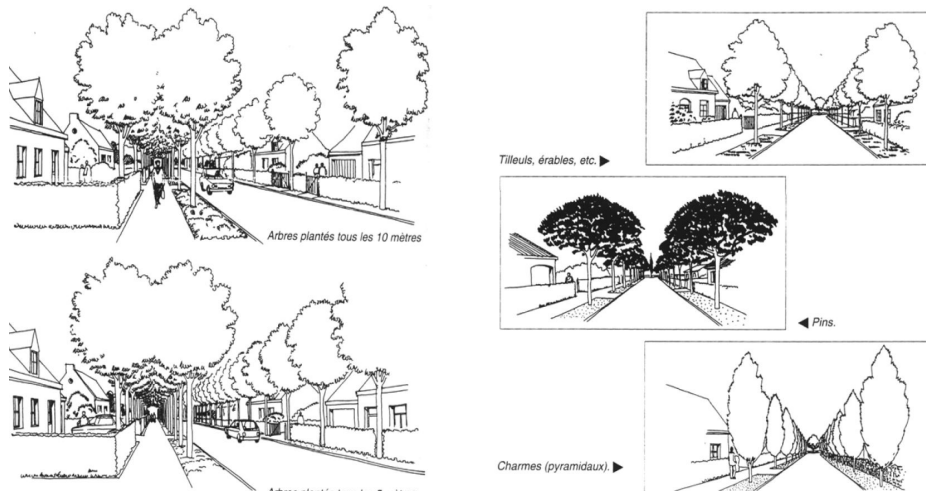
Planter des arbres de première grandeur – 20 m et plus – signifie que l'on introduit en ville une espèce qui, avec le temps, atteindra le sixième étage. Ils peuvent occuper une surface de 300 m².



Source : Pavillon Aménagement urbain, s.d. : 2

Figure 6 : Catégorisation des grandeurs d'arbre en ville

La variabilité de ces différentes formes urbaines est grande. Les éléments influant notre perception sont nombreux. Un ordonnancement composé de 2 ou 3 alignements par exemple, n'aura pas le même impact si les arbres sont espacés de 5 ou 10 mètres (Stefulesco, 1993 ; Mollie, 2020).



Source : Vinet, 2000 : 61

Figure 7 : Influence de la distance entre les plantations

Le choix des essences est évidemment l'un des choix principaux : il impacte forme, couleur, luminosité, architecture. Le paradoxe qui nous incombe est qu'une plus grande variété d'essences aura un plus grand impact sur la biodiversité mais également un coût d'entretien plus important. En effet, si l'on ne choisit pas de planter une même essence sur tout un alignement pour la cohérence visuelle que cela apporterait, ce serait pour la facilité d'entretien que cela apporte. Les élagueurs peuvent alors utiliser une même technique de taille pour tout l'alignement au lieu de devoir varier d'un arbre à l'autre.

Cependant, une haie fort diversifiée et touffue peut tout à fait être taillée radicalement malgré une grande variété d'essences. Certes, les arbres ne sont pas taillés tout à fait selon leur architecture personnelle mais ils supportent très bien un rasage général. J'observe cela depuis maintenant 10 ans à la campagne. Une haie que nous avons planté en famille, composée d'une grande variété d'arbres et donc accueillant une énorme biodiversité, subit une taille d'adaptation par un tracteur chaque année pour éviter le contact avec des câbles en hauteur. Cette haie est porteuse d'une grande biodiversité au point qu'on pourrait l'appeler une haie chantante.

Ici, il n'est plus question d'individus végétaux mais d'ensembles, de paysages, de compositions. Leur disposition peut être ordonnancée ou aléatoire. Les plus belles compositions résultent d'une alliance entre les volumes végétaux et minéraux. Mes recherches m'ont amené à reprendre dans les diverses théories existantes les formes urbanistiques suivantes :

L'arbre isolé

Un arbre seul est à la fois monument, voûte et repère. Les anciennes places étaient souvent composées autour d'un grand arbre unique. Il peut également s'agir d'un petit arbre placé dans un angle sous-utilisé qui devient un symbole pour les habitants du quartier.



Figure 8 : Arbre de la Liberté, Bayeux

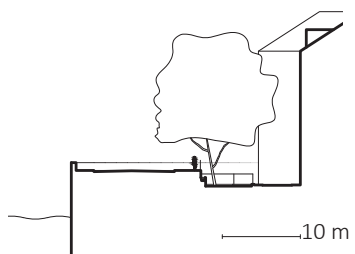


Figure 9 : Rue des ursins, Paris, 2008.

L'alignement

Une succession d'arbres placés sur un axe clair. Cette disposition peut s'opérer dans des espaces n'étant pas assez larges pour accueillir plusieurs arbres côte à côte. Cette forme et les suivantes sont vectrices de biodiversité car elles permettent plus de continuités.



Figure 10 : Quai Joffre, Gien, 1834

L'allée

Il s'agit de deux alignements consécutifs de petite échelle. Elle accompagne un chemin piéton ou de mobilité active mais sert également à cadrer des espaces larges.

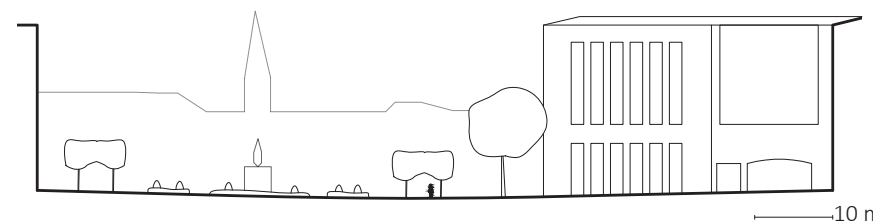
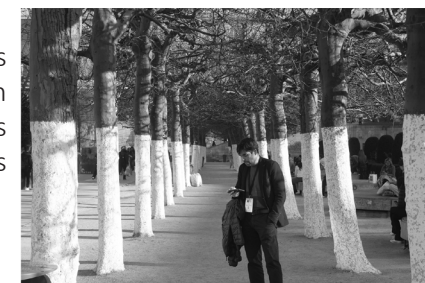


Figure 11 : Mont des Arts, Bruxelles, 1969, René Péchère

L'ordonnancement

Il s'agit de successions d'alignements côte à côte. Cette catégorie englobe les mails (promenades publiques), cours, places jardins, entrées de parcs, etc. Elle génère des voûtes végétales et couvre de grandes surfaces. La canopée peut être interrompue afin de cadrer une vue mettant en valeur un monument au bout de l'ordonnancement.



Figure 12 : Place Mme de Montesson, Seine-Port, XIXème s

Le bosquet urbain

Il s'agit d'un lieu trop dense en végétation pour être praticable par l'humain. Seule catégorie ne permettant pas la cohabitation, c'est aussi celle qui permet la meilleure croissance de végétaux plus petits ainsi qu'une plus grande biodiversité. En ville, cette catégorie s'adapte particulièrement aux ronds-points, ou aux interstices perdus (par exemple là où les redents des bâtiments forment parfois des espaces inutilisés).

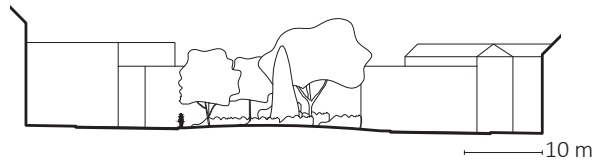


Figure 13 : Square Marie José, Bruxelles

La disposition aléatoire

La disposition aléatoire des arbres permet de rompre avec une morphologie de quartier très orthogonale. Elle génère à terme une canopée urbaine. La perception que l'on en a peut être variable selon les temporalités et les saisons.

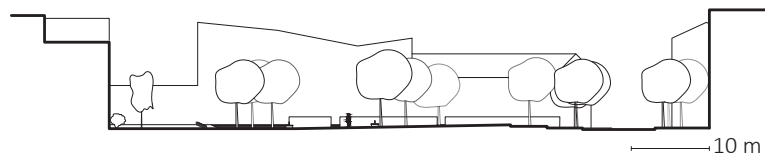
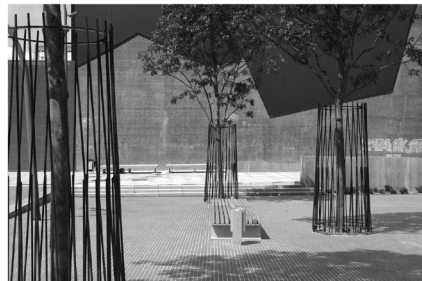


Figure 14 : Place de l'Amitié, Amiens, 2008- Bureau Arpentère

Les limites

Les lisières et voûtes végétales créent des limites visuelles. Elles peuvent préciser des trames urbaines, marquer des passages et créer des espaces privilégiés. Les lignes d'arbres fonctionnent comme une succession d'arcades ou une colonnade. L'arbre joue ici un rôle de mise en scène. Une limite placée au premier plan fonctionnera comme un rideau au théâtre.

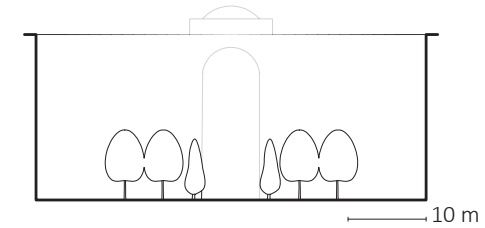


Figure 14 : Place Antigone, Montpellier

Les portes

Il s'agit d'un ensemble, généralement constitué de deux arbres. Ceux-ci sont placés de manière à signifier un passage. La place du Port-Communaux, à Nantes est séparée de la ville ancienne par des platanes monumentaux qui marquent l'accès vers la rue de Strasbourg (1991).

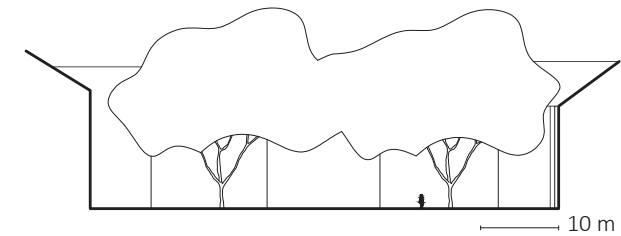


Figure 15 : Rue de Strasbourg vers la place du Port-Communaux, Nantes, 1991

Les coulées vertes

Il s'agit de continuités à une échelle plus larges. De nombreuses villes installent ce type de dispositifs qui permettent d'assurer un réseau entre les espaces verts, entre le centre-ville et sa périphérie. C'est un mécanisme essentiel pour la biodiversité, la ventilation urbaine ainsi que pour les habitants qui profitent de ces lieux comme d'un parc

En revanche, les ceintures vertes sont souvent décrites comme des coulées vertes or il s'agit en réalité de limites. Elles sont à proscrire car marquent la distinction entre deux environnements qui se trouvent alors cloisonnés, sans possibilité de communication (Desvigne, 2013 : 38'20"). Ce que nous voulons, c'est une continuité entre les espaces afin de générer des écotones, c'est-à-dire l'interpénétration de différents milieux. Il faut penser de manière rhizomatique et non sous forme de boucles.



Lisbonne



La Rochelle

Figure 16 : Coulées vertes de Lisbonne et La Rochelle

Ambiances thermiques

Plus une ville est organisée, plus elle piège la chaleur (comme le plan en damier de Barcelone). La végétalisation est une des principales stratégies de rafraîchissement des microclimats urbains. Les arbres sont les végétaux les plus efficaces lorsqu'il s'agit de combattre les ICU. Ils humidifient l'atmosphère et portent une ombre sur les surfaces.

L'évapotranspiration est le phénomène par lequel les feuilles rejettent de la vapeur d'eau dans l'air, rafraîchissant l'ambiance. « *Un arbre peut prélever plus de 450 litres d'eau dans le sol pour ensuite les rejeter dans l'air sous forme de vapeur d'eau (...) un effet refroidissant équivalent à celui de cinq climatiseurs fonctionnant 20 h/jour.* » (Vergriete et Labrecque, 2007 : 8). Grâce à l'évapotranspiration, les végétaux n'accumulent pas la chaleur du jour. L'ombre portée des arbres au sol diminue le potentiel que peuvent absorber les surfaces minéralisées, réduisant ainsi l'impact de leur inertie. Cette ombre protège également les humains des rayonnements solaires directs. Cependant, les troncs souvent sombres ont une inertie thermique pouvant conduire à une augmentation de la température. Cet effet ne devrait toutefois pas poser de problème l'été, lorsque la canopée est la plus dense, et peut s'avérer utile l'hiver. La végétation participe également à l'équilibre hydrique des sols qui agit fortement sur les microclimats.

Paradoxalement, les grands espaces verts n'ont qu'un rôle limité dans la climatisation d'une ville. Le parc de la Maourine à Toulouse, la petite Amazonie à Nantes n'ont un impact que sur les 100 à 200m alentours. Il faut jouer sur différentes échelles pour être efficace : une ceinture verte, des forêts et espaces d'agriculture, de petits parcs. Il faut donc faire attention car l'efficacité mesurée est parfois disproportionnée vis-à-vis des efforts déployés, du moins si l'on ne mesure que l'impact climatique (Ademe, 2021) !

Le rafraîchissement de l'ambiance urbaine génère une économie d'énergie en climatisation des intérieurs de bâtiment. En Colombie, « *dans la zone métropolitaine d'Aburra, il a été estimé que les arbres urbains économisent 6712 mégagrammes d'émissions de dioxyde de carbone par an (MgCO₂/an) - l'équivalent des émissions annuelles de 1428 voitures équipées d'un moteur à essence moyen - en évitant l'émission de 5090 MgCO₂/an grâce à une économie de refroidissement électrique et en piégeant 2077 MgCO₂/an. A Medellin, les arbres urbains et périurbains ne représentent que 1,33% de la population totale d'arbres mais séquestrent plus de 25% du carbone émis chaque année dans la ville et éliminent presque 10 tonnes de particules polluantes* » (Sarre, 2018 : 24).

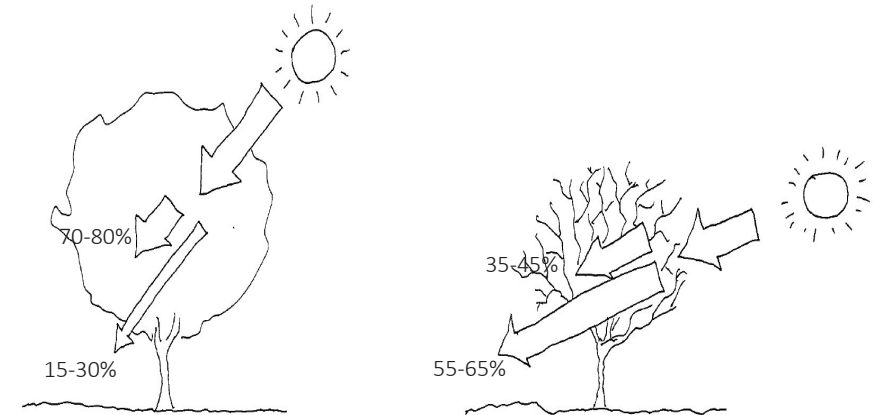


Figure 17 : Transmissivité des flux solaires par la végétation été et hiver

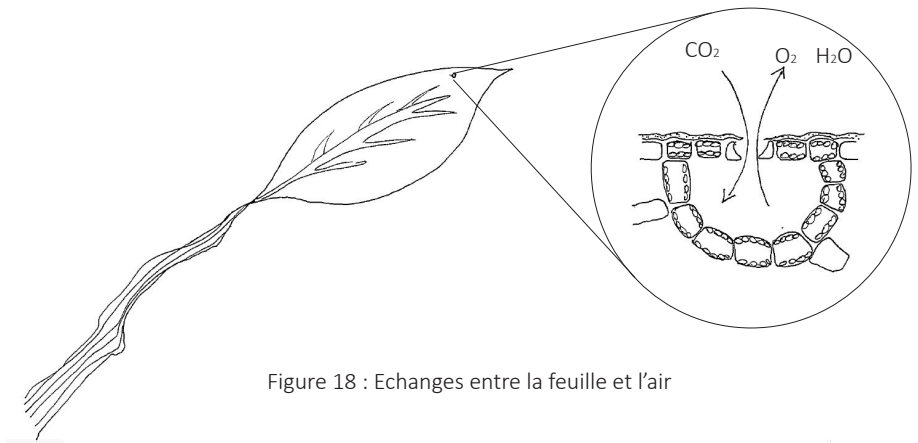
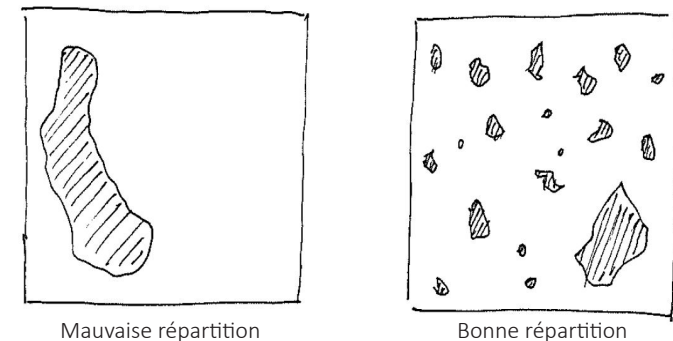


Figure 18 : Echanges entre la feuille et l'air



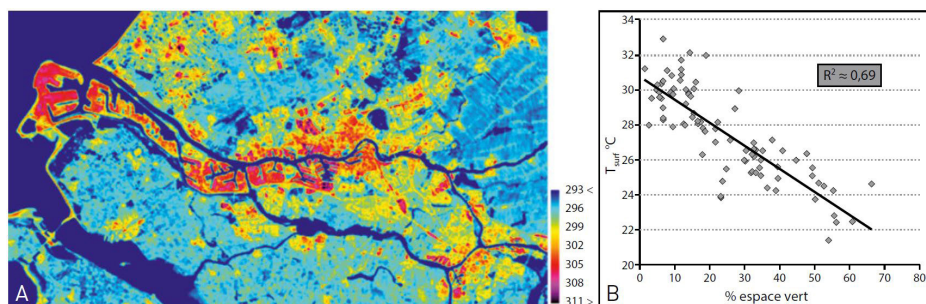
Mauvaise répartition

Bonne répartition

Figure 19 : Principe de répartition des espaces végétalisés sur un territoire du point de vue de la chaleur

Jerome Vinet étudie la place Antigone, à Montpellier, selon trois situations : entièrement minéralisée, avec des arbres jeunes et des arbres matures. Ses modèles étudient essentiellement les flux solaires et démontrent l'impact des arbres sur l'ensoleillement des surfaces, avec des canopées végétales ne laissant passer que 10% des apports solaires incidents. L'évolution de la végétation au cours du temps joue donc un rôle crucial dans la situation thermique.

A Rotterdam, une comparaison entre une thermographie de la ville et une carte des espaces verts a permis d'observer une relation quasi linéaire entre le pourcentage de surface végétalisée.



Thermographie de la ville de Rotterdam

Relation entre la température de surface et le pourcentage de surface végétalisée sur chaque pixel de 1x1 km considéré.

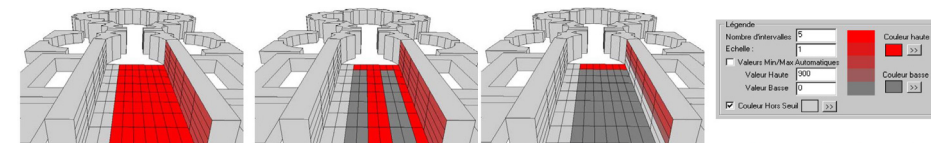
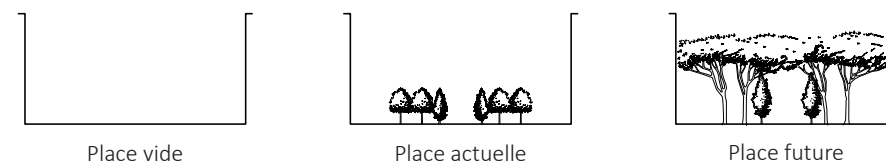
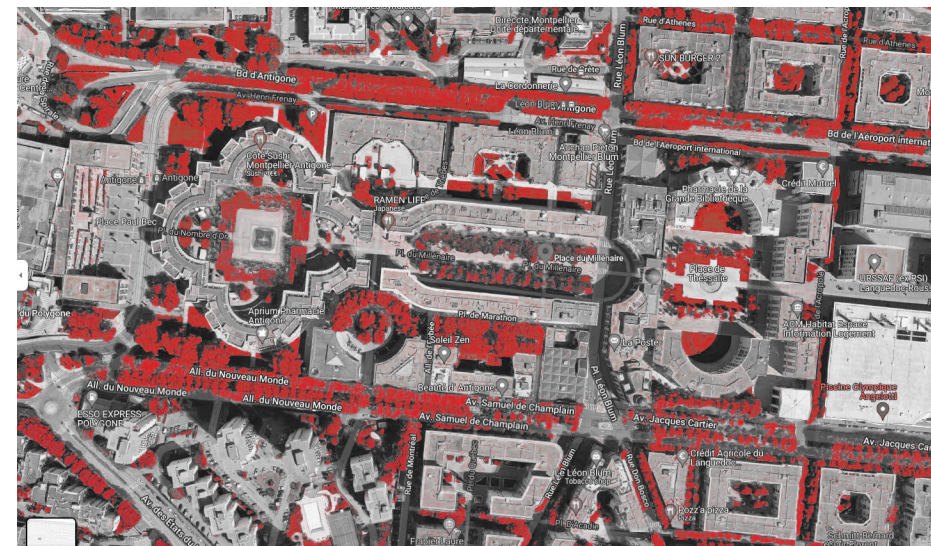
Source: Brunet, 2017 : 223

Figure 20 : Relation entre températures et pourcentage de surface végétalisée

En général, un arbre dans une rue à fort trafic routier rafraichira l'air de 1 à 2°C. Cependant cette donnée est variable au cours de la journée, avec un rafraichissement maximum de 6°C à moins de 50 m ou de 4 à 8°C sous son ombre. La température ressentie, elle, peut diminuer de 10°C pour un arbre isolé et de 12°C pour un alignement ou ordonnancement. Un bosquet urbain de 100m² peut avoir un effet rafraichissant de 1 à 2 °C jusque 100m alentours. Un parc aura un impact de 1 à 2° jusqu'à 200m alentours¹ (Leroy et al., 2021).

Les sensations thermiques sont indissociables de la ventilation urbaine qui influe fortement sur nos sensations de chaud et de froid.

1 Il s'agit d'une donnée moyenne, en réalité l'aura de rafraichissement est variable selon les lieux, A Mexico par exemple, on observe une aura de rafraichissement sur 2 km pour un parc urbain.



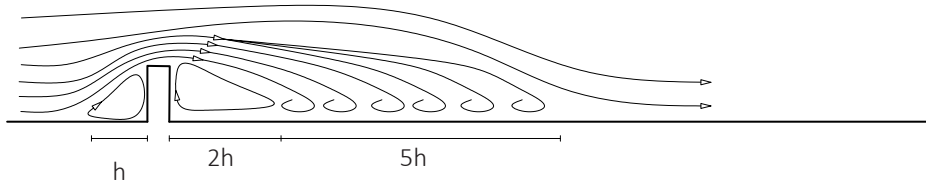
Flux solaires incidents transmis dans les trois situations

Figure 21 : Place Antigone, Montpellier, 1978
Architecte : Ricardo Bofill
Analyse de Jérôme Vinet, 2000

Ambiances atmosphériques

Agir sur la morphologie des villes est un bon moyen de réguler les déplacements des masses d'air mais il s'agit d'une entreprise de grande envergure. Cette opération est à limiter au maximum, voire à éviter. Selon les typologies, une même ville a des différences de distribution de l'air et de durée d'attardement des polluants entre les espaces selon leur forme. Lorsque la ventilation est bonne, la pollution reste bénigne et la durée d'attardement des polluants est moindre. Dans les zones de haute densité et de ventilation pauvre, la pollution de l'air est sérieuse et son attardement est grand. Différentes formes génèrent différentes vitesses de l'air et conditions de turbulences. Les bâtiments hauts génèrent des effets de coin, des lieux où les masses d'air accélèrent, impactant négativement le confort du piéton (Guyot, s.d. ; Athamena, 2012 ; Brunet &

Ecoulement de l'air pour un obstacle dur de hauteur h



Ecoulement de l'air pour un obstacle poreux de hauteur h

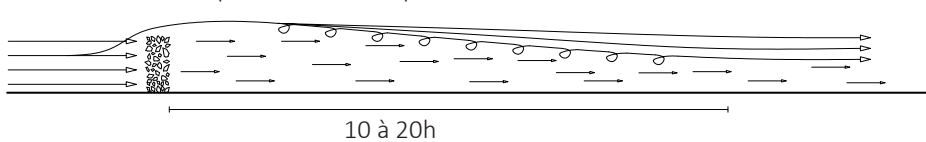


Figure 22 : Perturbations aérauliques face à un obstacle

Mestayer, 2015).

Les arbres permettent d'influer sur la vitesse du vent. La rugosité des sols (qui se traduit souvent par de la végétation) a le même rôle. Les effets d'accélération sont réduits par les massifs végétaux qui jouent le rôle de brise-vent. Ainsi, une réflexion sur les déplacements des masses d'air peut amener à végétaliser la

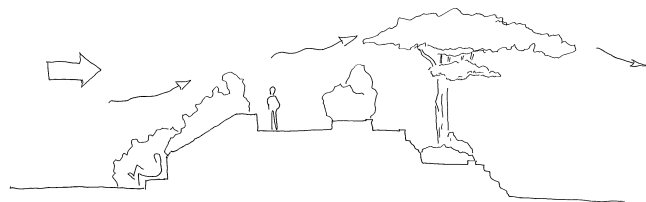
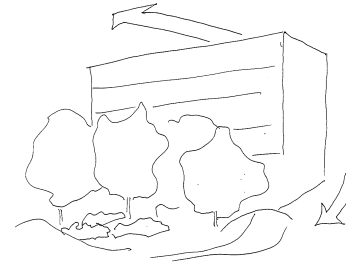


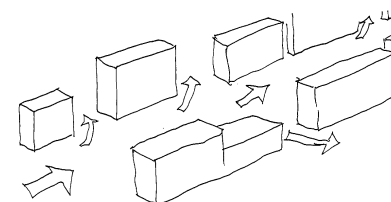
Figure 23 : Brise-vent végétal

Effet de sillage et tourbillon aval



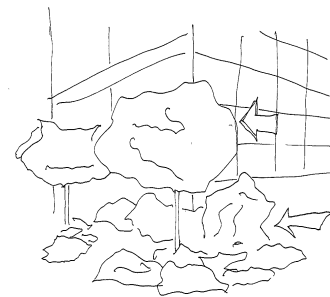
- Recréer une rugosité de sol par des plantations ou du mobilier urbain dans la zone de sillage.
- Prévoir des «écrans» horizontaux au-dessus du niveau piéton.

Effet de canalisation



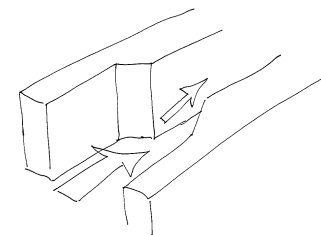
- Augmenter la porosité par des emplacements entre immeubles.
- Introduire des pertes de charge par brise vent (mobilier urbain, végétation)

Effet de coin



- Eviter la fréquentation sur la zone de passage
- Opérer des retraits en hauteur du bâti
- Ceinturer des bâtiments par un élément en rez-de-chaussée
- Filtrer par des plantations pour limiter l'accélération

Effet de rétrécissement

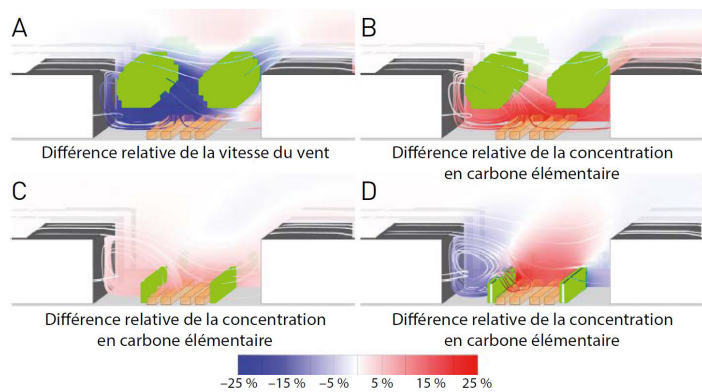


- Eviter les axes des rues piétonnes dans le sens du vent
- Proposer des cheminements alternatifs
- Densifier par des masses végétales

Figure 24 : Effets des morphologies urbaines sur les vents

Source : Guyot, s.d

ville et avoir un impact environnemental (Brunet & Mestayer, 2015). Cependant, en réduisant les mouvements aérauliques, les arbres limitent la dilution des polluants par ventilation, ce qui nécessite de choisir leur implantation judicieusement. Selon Philippe Rahm, les arbres dans un milieu urbain n'influent pas sur la vitesse de l'air à hauteur du piéton, seuls les arbustes auraient cet effet. S'il parle ici de l'effet d'arbres isolés, on peut cependant noter



l'effet d'une large canopée (Brunet, 2017).

Les arbres améliorent la qualité de l'air. Par leurs feuilles et racines, ils captent les particules en suspension dans l'air, les débris dans le sol, les poussières et les polluants atmosphériques, dont l'ozone et le CO2. Mais les poussières retenues par les feuilles retomberont s'il pleut. De plus, ils émettent des composés volatils solubles dont les taux sont variables selon les espèces, et qui, combinés avec des oxydes d'azote émis par la combustion des hydrocarbures produits par les véhicules, conduisent à la production d'ozone. De plus, certaines espèces génèrent des réactions allergiques pour une part importante de la population citadine. Mais d'autres - comme les érables, copalme, caryer, etc.- restent nettement moins allergisantes (Brunet & Mestayer, 2015).

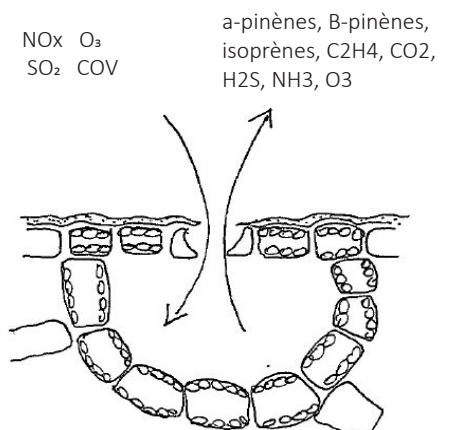


Figure 26 : Emission et absorption de polluants

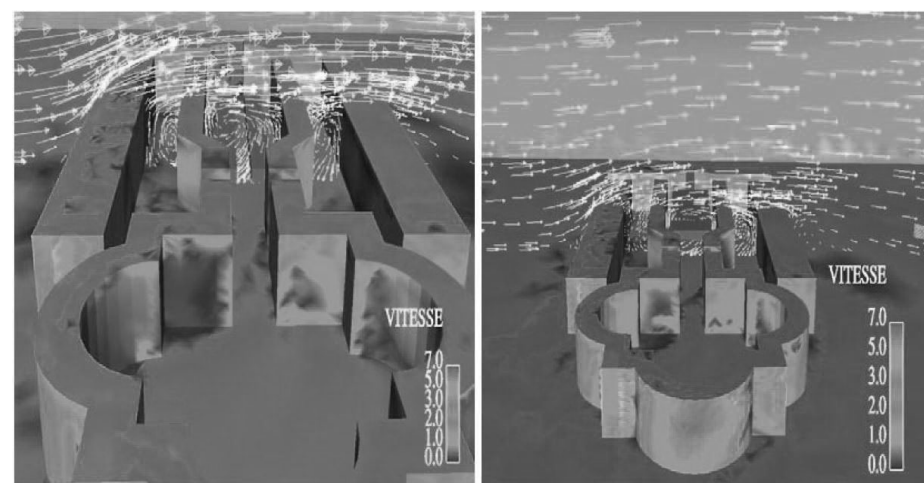
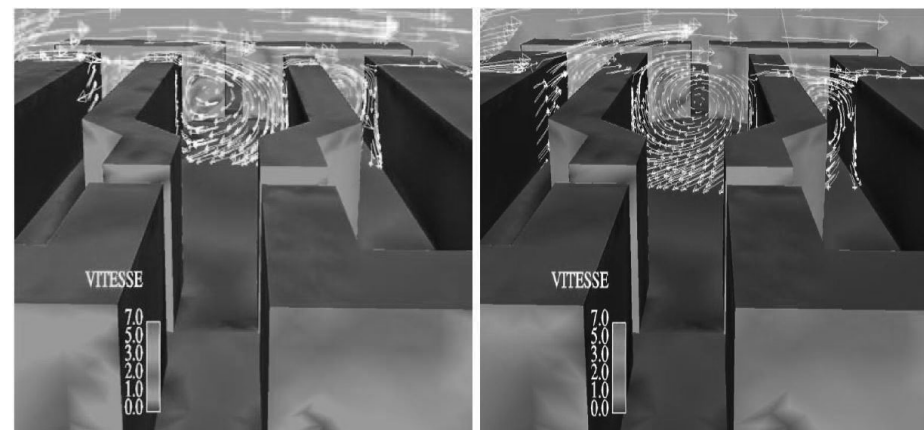
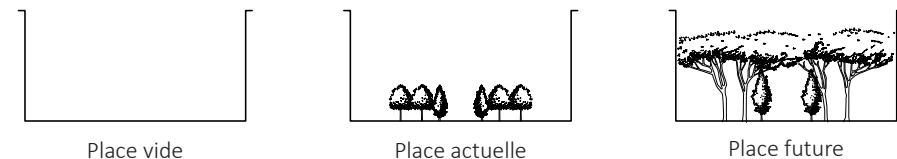


Figure 27 : Place Antigone, Montpellier, 1978
 Architecte : Ricardo Bofil
 Analyse de Jérôme Vinet, 2000

Dans son travail sur la place Antigone, Jerome Vinet étudie également l'impact d'une canopée végétale sur les vents. Il démontre l'importance de la morphologie de la rue et de la direction des vents et en conclut que les arbres perturbent les mouvements aérauliques en générant des ralentissements et accélérations au niveau du piéton.

Plusieurs projets de canopées urbaines ont été commandés dans le but de diminuer les accélérations des masses d'air aux pieds des tours. C'est le cas du projet imaginé par Bas Smets au pied de la Tour Trinity, dans le quartier de la Défense à Paris. Il s'agit d'une dalle de béton couvrant une autoroute urbaine. On distingue trois espaces principaux où se développent les arbres. Les deux premiers sont des lieux de vie lorsque le troisième (le plus à droite sur le plan), est un réel couloir urbain. Les deux premiers suivent une disposition aléatoire et le troisième est ponctué par un alignement dont quelques éléments se décrochent afin de générer une impression d'organicité.

Cependant ce lieu semble rester un lieu de passage mais cela est sans doute plus dû au contexte du quartier d'affaires parisien qu'au projet lui-même.

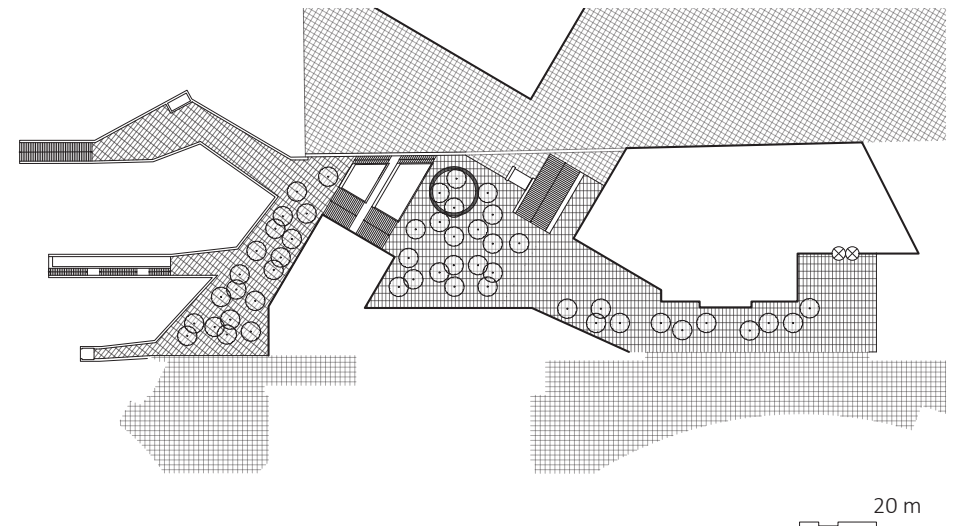
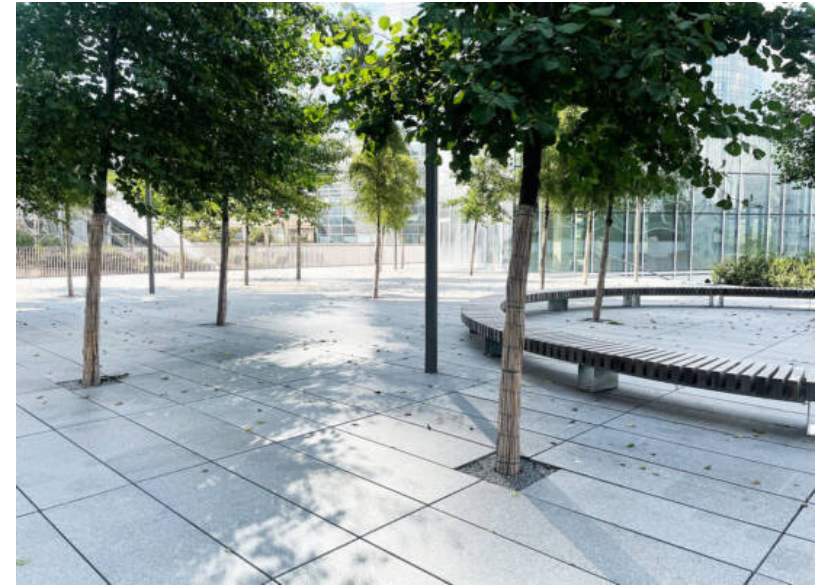


Figure 28 : Projet Trinity, Paris, 2011-2020
Architecte : Bas Smets

Ambiances sonores

Pouvant être considérée comme moins urgente, l'ambiance sonore est un enjeu moins discuté dans les villes. Pourtant les bruits de la nature sont reconnus comme apaisants tandis que la ville épuise le cerveau. Dans une réflexion sur l'espace public, il est nécessaire d'avoir une approche holistique de l'environnement. Après la vue et le toucher, il faut considérer l'ouïe.

Les nuisances sonores ont un impact réel sur la santé physique. En plus de causer des pertes auditives et des acouphènes, elles peuvent entraîner des perturbations du sommeil et des maladies cardiovasculaires. Contrairement aux yeux, les oreilles ne se ferment jamais et n'ont donc pas de repos. Nous ne sommes donc pas capables de nous adapter au bruit par nous-même. Selon l'OMS, il n'y aurait pas d'effet néfaste sur la santé en-dessous d'un seuil de 30 dB à l'intérieur, ce qui équivaut à 40 dB en extérieur.

Le bruit a également un impact psychosocial sur la santé. Il perturbe l'apprentissage, peut mener à des conflits entre les personnes et nuit à la qualité de vie et au bien-être.

La propagation du son est influencée par divers facteurs : les conditions météorologiques, la topographie et présence d'écrans, la nature réfléchissante ou absorbante des surfaces (Gauthier & Martin, 2018).

La végétation peut contribuer à la réduction des niveaux sonores de deux manières :

- Déviation des ondes sonores par réflexion ou diffraction,
- Absorption des ondes sonores (Bruxelles Environnement, 2021).

La végétation joue un rôle absorbant, ce qui améliore la qualité de l'environnement sonore. Toutefois, le végétal n'a qu'un effet très limité quant à l'isolation acoustique. Il faut une forêt de 100m de large pour une réduction de 3 à 5dB (qui s'ajoute à la diminution due à la distance elle-même). A courte distance, une isolation acoustique ne peut être générée que par un écran ou un merlon (une butte de terre). La végétation peut limiter l'effet réfléchissant d'une façade. Les études démontrent tout de même un apport du végétal vis-à-vis des nuisances sonores : si une barrière visuelle poreuse ne diminue pas le niveau sonore physiquement, elle diminue tout de même la perception que l'on a de cette nuisance qui se trouve invisibilisée. Pour une réduction physique efficace des niveaux sonores, le mieux reste encore l'écran en plein.

Figure 29 : Evaluation de l'ambiance sonore idéale selon des cartes mentales

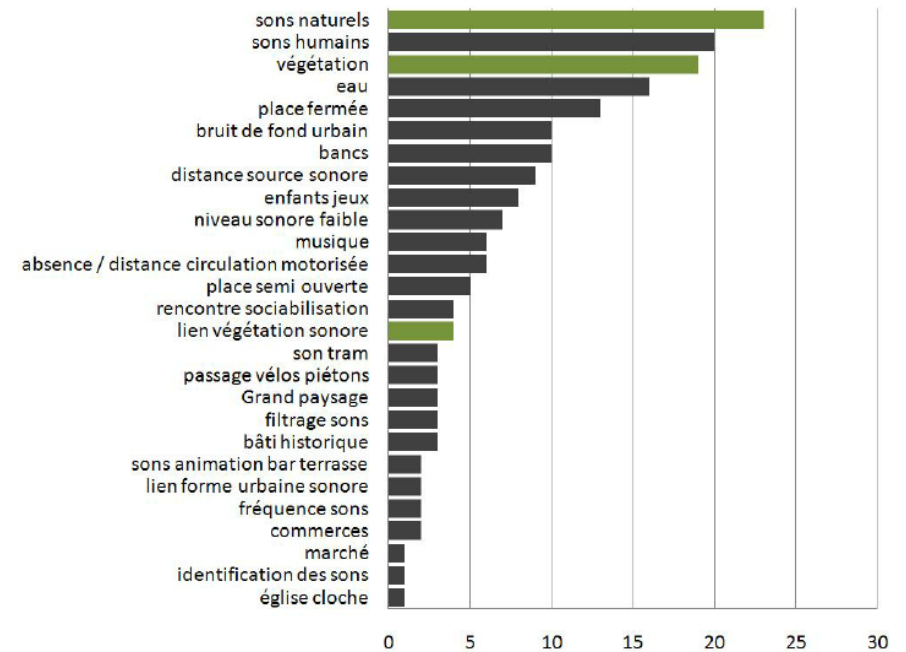
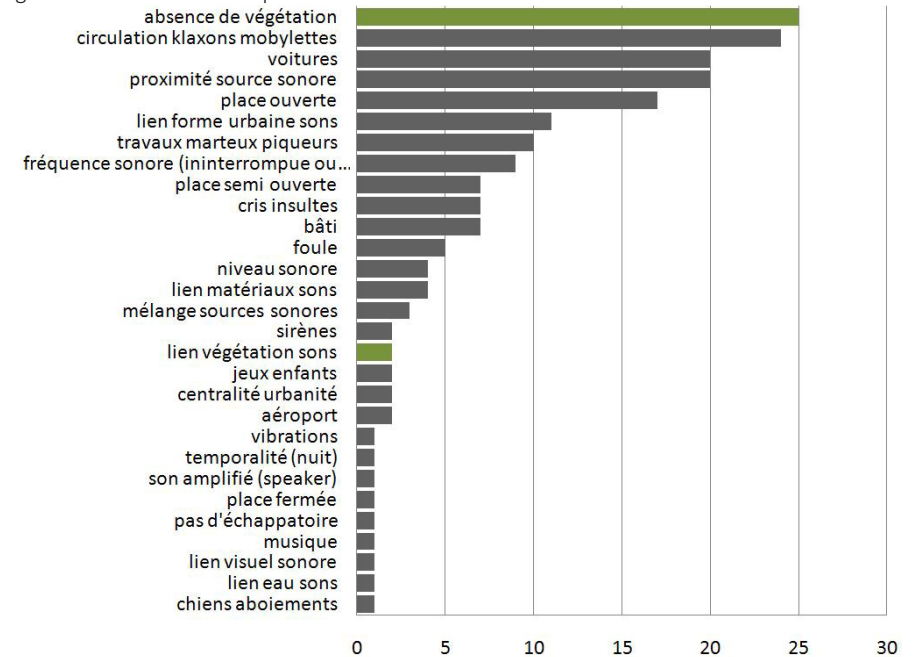


Figure 30 : Evaluation de la pire ambiance sonore selon des cartes mentales



Source : Marry & Delabarre, 2011 : 15-16

Le boulevard Robert-Bourassa est bordé d'une rangée d'arbres ayant un effet psychologique auquel s'ajoute une distanciation entre la route et les logements qui amène un réel effet physique.



Figure 31 : Boulevard Robert-Bourassa, Québec

Les ambiances naturelles peuvent également couvrir des nuisances. A New York, le Paley Park inclut un mur avec une chute d'eau. Le bruit de cette chute couvre celui du trafic à proximité. Ainsi, le niveau sonore de la place varie de 65 à 70 dB au cours de la journée, mais est acceptable pour les usagers car ils perçoivent essentiellement un son naturel.

Les murs végétaux qui l'entourent absorbent les sons et contribuent ainsi à les rendre plus acceptables. Les quelques marches qui séparent la place de la rue influent sans doute aussi, si ce n'est psychologiquement.

L'aménagement et la conception de l'espace ont de réels impacts sur les émissions sonores. Limiter les véhicules en nombre, vitesse, mais aussi en poids, implanter des ronds-points, sont des solutions qui diminuent et/ou fluidifient le trafic et, par conséquent, les niveaux sonores de celui-ci. Réduire les dimensions des voiries incite naturellement les automobilistes à ralentir mais il est important de permettre le passage de véhicules d'intervention urgente. Les méthodes de ralentissement du trafic sont nombreuses toutefois je ne les répertorierai pas dans ce travail.

Bref, le végétal n'est pas une solution miracle. Cependant, couplé à d'autres actions, il a un réel impact.

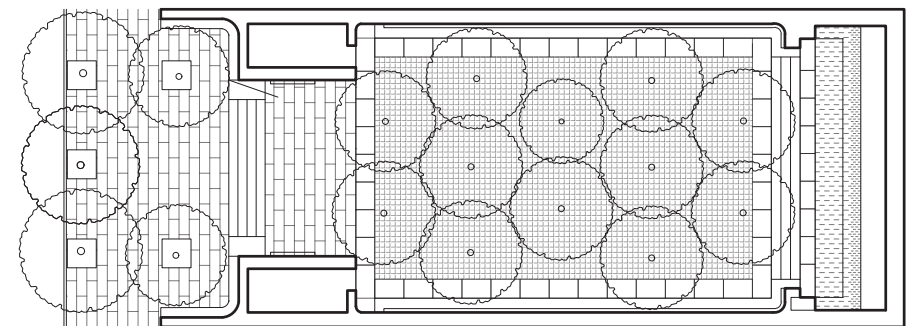
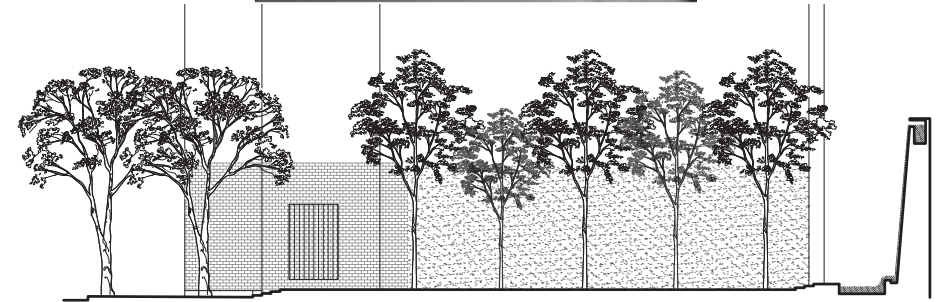


Figure 32 : Paley Park
Robert Zion, 1967

20 m

Les contraintes de l'arbre

Le rapport aux sols

Selon leur matérialité, les formes urbaines produisent des effets très différents. Les arbres ont de multiples vertus mais il leur faut pour cela être dans un environnement qui leur permet une bonne croissance. Il faut donc penser les sols et la mise en réseau des végétaux.

L'albédo des surfaces

Pour réfléchir la chaleur, on distingue les revêtements selon leur albédo. Un albédo élevé correspond à un haut pouvoir réfléchissant. Plus le matériau est réfléchissant, moins il stocke la chaleur. Un albédo élevé permettra donc d'éviter le phénomène d'ICU. Il faut toutefois être attentif car des matériaux trop réfléchissants renverront les flux solaires sur les piétons¹. Un environnement urbain dont les sols sont de trop haut albédo génèreront donc un inconfort thermique et visuel (dû à l'éblouissement) pour le piéton.

La porosité des surfaces

La ville traditionnelle est pavée de revêtements imperméables mais la tendance semble s'inverser peu à peu aujourd'hui. Les revêtements drainants stockent temporairement l'eau, cela génère de l'évaporation qui contribue à une baisse de la température ressentie et à l'humidification de l'atmosphère. Cela évite également de renvoyer la totalité des eaux pluviales vers les réseaux qui, par temps d'orage, peuvent se trouver saturés.

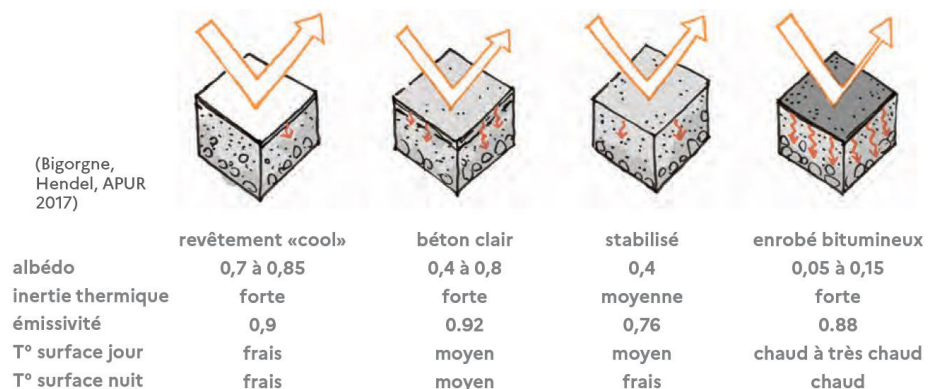


Figure 33 : Albédo des surfaces

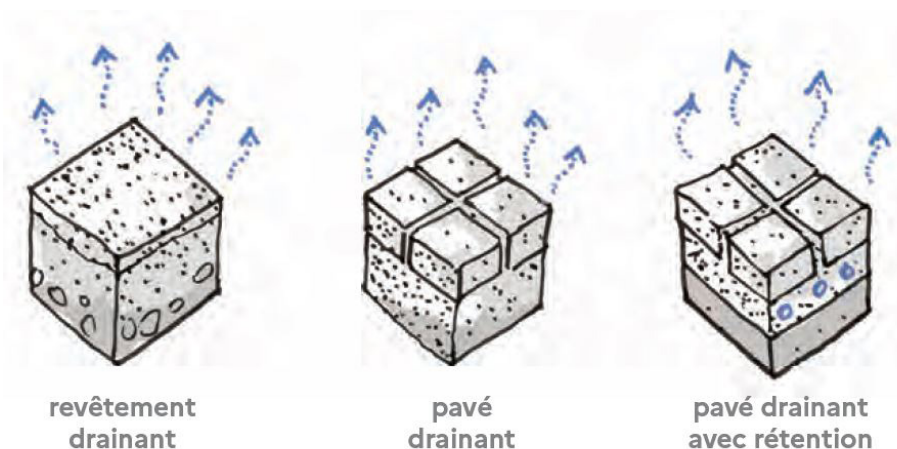


Figure 33 : Porosité des surfaces

Source : Ademe, 2021 : 54-56

¹ Selon Elie Bou-Zeid lors d'une conférence donnée à Louvain-La-Neuve : Meteorology of Urban Heat Islands & questions to consider when developing a Heat Mitigation Plan.

Les pieds d'arbres

Compte tenu des usages et contraintes de l'espace public, les pieds d'arbre sont souvent limités à de petites dimensions (minimum exigé : 2,25 m² à Bruxelles, cependant d'autres villes ont un minimum bien plus élevé, à Lyon : 4m²). La surface visible des pieds d'arbres est généralement inférieure à celle des fosses de plantation. Elle est essentielle aux échanges entre l'atmosphère et le sol qui sont vitaux pour l'arbre. La mise en place de revêtements imperméables est proscrite dû à l'importance de l'apport en eau pour la survie du végétal. Selon leur composition, on distingue quatre formes de pieds d'arbres (Soares et al, 2010) :

La végétalisation est la plus apte à limiter la sécheresse du sol. Il peut s'agir du semis - constitué de fleurs et d'herbes basses, il nécessite plus d'entretien au départ - ou de la plantation - qui monte plus en hauteur. Cette forme est incompatible avec une pratique du sol par l'humain car les plantations ne résistent pas au piétinement. Pour des questions de sécurité, il est préférable de choisir des végétaux n'excédant pas 80 cm pour des questions de visibilité des piétons, et de choisir des essences qui ne s'étendront pas sur les itinéraires cyclistes. La réfection se fait moyenne tous les cinq ans mais cela dépend des essences et de leur environnement.

Coût : 21 à 51 e TTC/m²

Le mulch minéral ne nécessite pas ou peu d'entretien, il est donc adapté à des espaces plus difficiles d'accès. Il est aussi choisi pour des questions de colorimétrie. Le mulch est mis en place sur une épaisseur de 5 à 10cm selon les matériaux. On utilise en général le sablé, la pouzzolane ou le gravier. Soit des matériaux pulvérulents. Pour limiter leur éparpillement, on peut les encadrer d'une bordure et d'un arasement du mulch. Ils peuvent être adjoints d'un revêtement alvéolaire afin de prévenir l'effet de tassement. Le pouzzolane et le gravier emmagasinent la chaleur pouvant contribuer à l'assèchement du sol. Seuls les usagers piétons sont habilités à pratiquer ces sols. Un complémentaire de mulch est à prévoir tous les trois ans.

Coût : 5 à 11 euros TTC / m²



Figure 34 : Végétation basse



Figure 35 : Végétation haute



Figure 36 : Gravier



Figure 37 : Pouzzolane

Le mulch organique limite le compactage du sol, assure sa température et son humidité. Il peut s'agir de déchets ligneux broyés, de bois déchiqueté calibré non traité, ou de bois raméal fragmenté (BRF). Par dégradation du bois, c'est un apport de matière organique améliorant la texture du sol et entretenant sa fertilité. Il favorise également la vie microbienne du sol et stimule le développement du mycélium, favorisant l'absorption d'eau et de minéraux par les végétaux. Il peut également s'agir de paillages organiques décoratifs composés d'écorces de pin ou de bois de palette déchiquetés calibré et coloré. Mais ces derniers n'assurent pas les bonnes conditions du sol, bien qu'ils soient parfois plus esthétiques. L'épaisseur de mulch organique préconisée est de 8 à 15 cm. Cette forme ne résiste pas au piétinement. Un complément de mulch est à prévoir tous les trois ans. Le mulch organique a également un effet amortissant. Il est donc utilisé comme revêtement des plaines de jeux car permet de prévenir des chutes.
Coût : 6 à 10euros TTC / m².

Les grilles et les platelages bois sont avantageuses du fait qu'elles peuvent être pratiquées par toute les activités. Particulièrement utiles pour des trottoirs étroits, les grilles et platelages protègent les sols des piétinements et du tassement du sol. Les grilles peuvent être en fonte ductile, acier ou bois. La fonte et l'acier permettent de résister à de fortes contraintes de résistance mécanique et sont donc adaptées à des lieux accessibles aux véhicules lourds. Les platelages bois peuvent être adaptés à faible coût. Les grilles ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années. Les platelages bois en ont une de moins de 10, leur durabilité varie selon l'essence.

Coût : bois - 130euros TTC / m² fonte pausée - 3900 euros TTC l'unité



Figure 38 : Mulch de copeaux de bois



Figure 39 : Ecorce de pin maritime



Figure 40 : Grille



Figure 41 : Platelage bois et mulch organique

Au niveau des racines

On sait que les arbres sont plus vigoureux s'ils sont plantés en pleine terre. Leurs systèmes racinaires évoluent de manière différente selon les essences. Toutefois, ils peuvent vivre en pot, ils croissent alors jusqu'à épuiser les ressources qu'ils y trouvent avant de se nanifier eux-mêmes et vivre des nutriments qui se forment dans la couche supérieure du substrat (Figureau et Lewis, 2022).

Certains projets questionnent la capacité des arbres à se développer dans divers environnements. C'est le cas du projet Trinity. Conçu par le paysagiste Bas Smets, le chantier pris fin en 2020. Il lui fut demandé de réaliser un espace arboré afin de diminuer la vitesse des vents sur la place. Seulement celle-ci se trouve au-dessus d'une autoroute. Il fallait donc planter sur une dalle de béton. Les arbres évoluent ainsi depuis deux ans dans une épaisseur de substrat de 52 cm. Pour que les racines puissent se développer convenablement, le substrat s'étend sur une surface la plus large possible. Cela nécessite un travail en amont pour travailler les arbres de manière à ce qu'ils développent des racines les plus plates possibles.



Figure 42 : Trinity : axonométrie

Source : Smets, 2019 : 25'42''

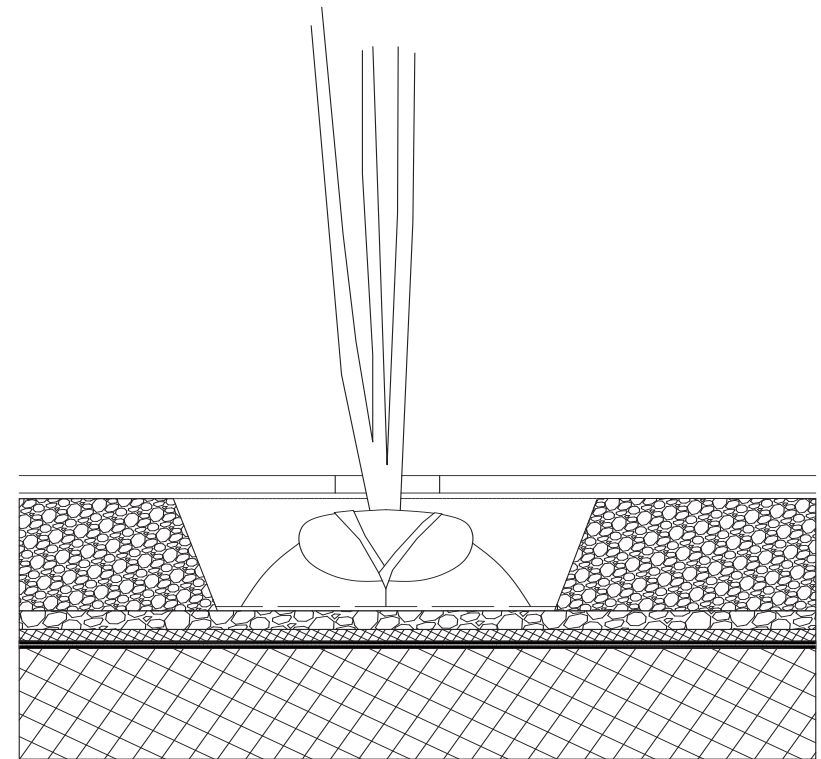


Figure 43 : Trinity : mode de plantation

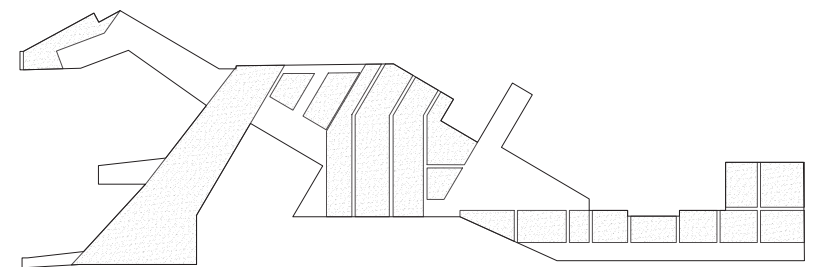


Figure 44 : Trinity : Plan des zones de développement des racines

Faire réseau

Tout comme les humains, les arbres nécessitent d'être en relation. Il est donc important de les mettre en réseau. Pour ce faire, diverses stratégies existent.

Les espaces dédiés aux piétons du quartier Tivoli, à Bruxelles sont entrecoupés de bandes végétales : des pieds d'arbres continus sur de grandes distances. Achitectesassoc. a dessiné des espaces verts en intérieurs d'îlots communiquant avec ceux des espaces publics. Ce projet encore récent semble nécessiter encore un peu de temps avant de pouvoir être justement évalué.



La gestion de l'eau est sans doute l'un des aspects les plus travaillés. Cela est couplé à des sols où la végétation peut se développer d'elle-même.

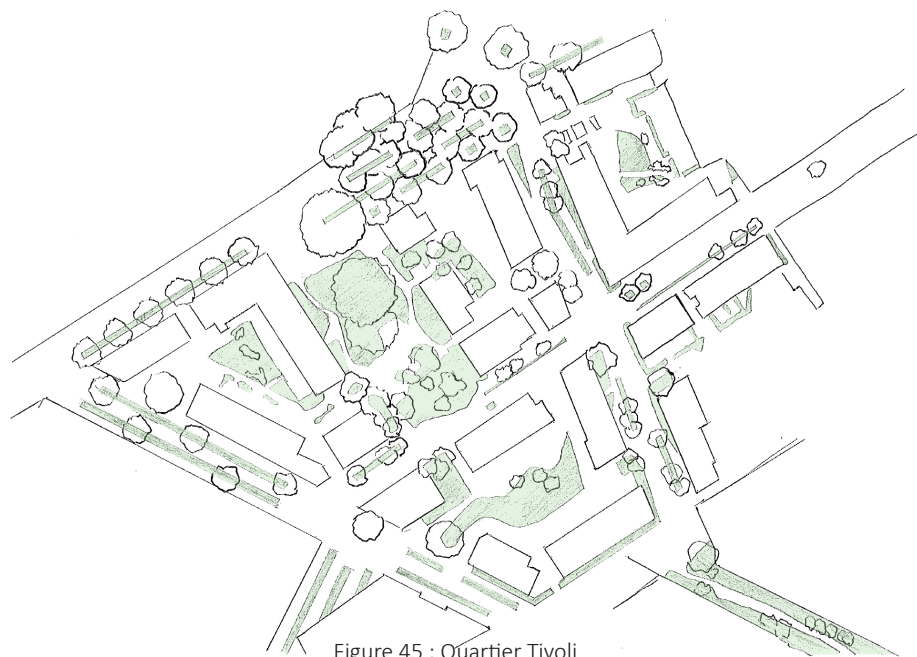


Figure 45 : Quartier Tivoli

Bâti en 1891 comme logements ouvriers, le projet de Falkenried Terrassen, à Hamburg, vise une extrême proximité entre les logements. Ici, cinq voies de 13 à 15m de large ont à la fois le rôle de distribution des logements et de jardin. La rue devient un espace commun aux habitants qui se l'approprient. Les bâtiments se tournent uniquement vers cet espace, l'arrière étant une source de lumière et un lieu de ventilation. Malgré l'ancienneté des bâtiments qui ne répondent ni à toutes les normes, ni aux habitudes de confort actuelles, ces logements sont fortement en demande (Lyppens, 2020). Toutefois il s'agit d'une communauté qui tourne le dos à son quartier. Il serait intéressant de considérer ce type d'aménagement dans un espace réellement public.

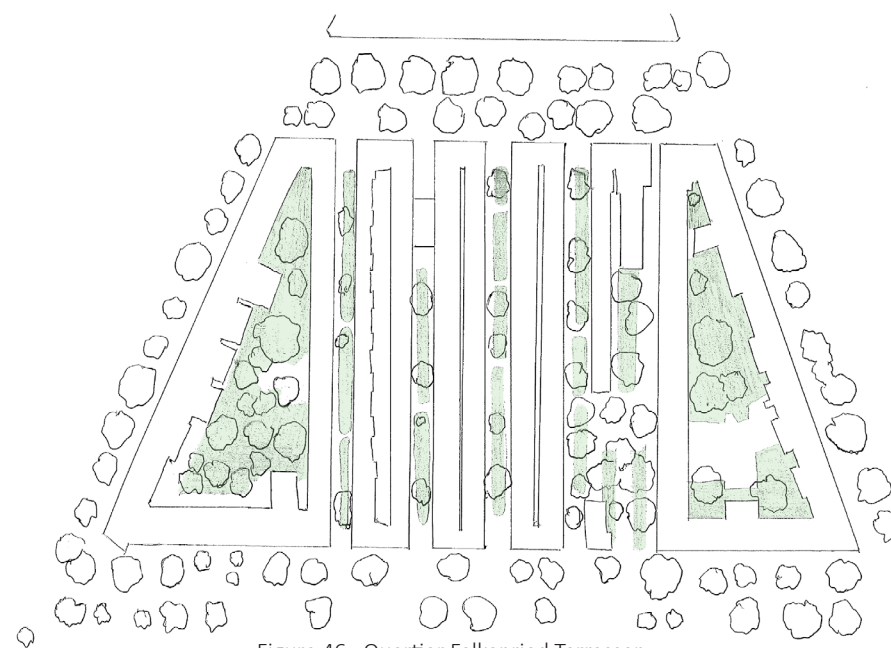
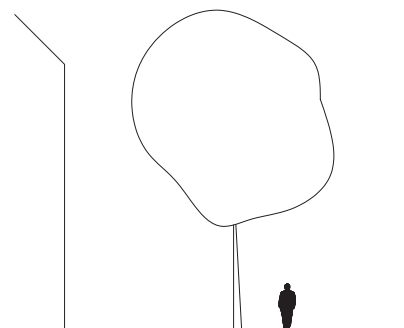


Figure 46 : Quartier Falkenried Terrassen

En résumé : Construction d'une boîte à outils

Les implantations possibles des arbres sont diverses :

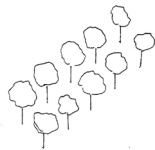
L'arbre isolé



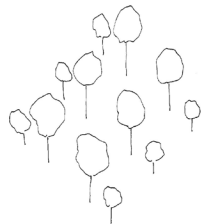
L'alignement



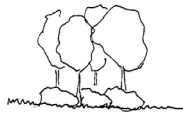
L'allée



L'ordonnancement



Le bosquet urbain



La disposition aléatoire

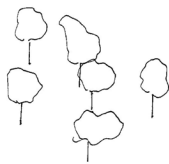
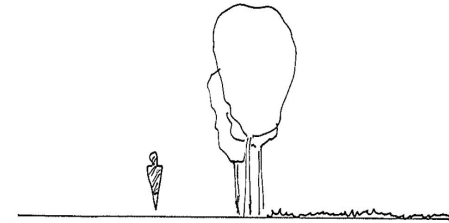


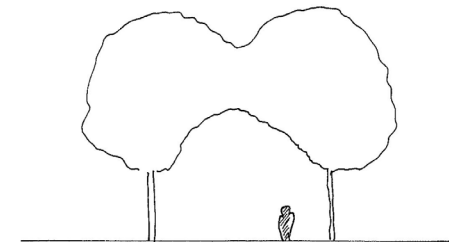
Figure 48 : Boite à outils, composition urbanistique

Ils permettent d'améliorer la lisibilité des espaces en servant de :

Limite



Porte



Balise

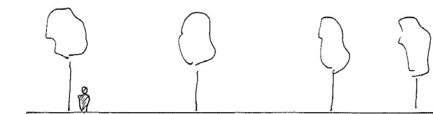
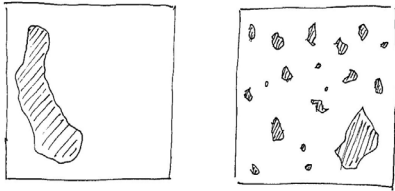


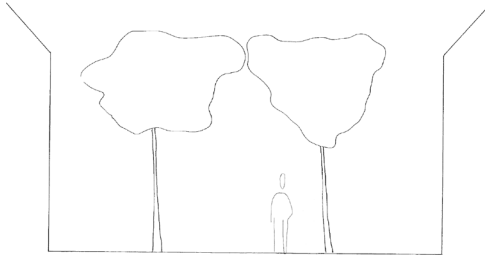
Figure 49 : Boite à outils, lisibilité

Pour résoudre les enjeux thermiques, il faut :

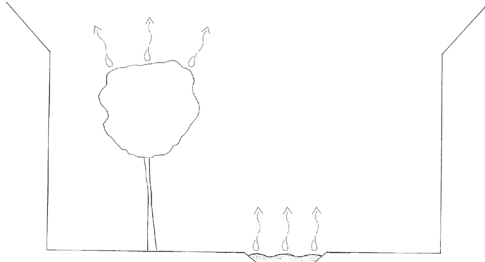
Répartir



Couvrir



Humidifier



Ventiler

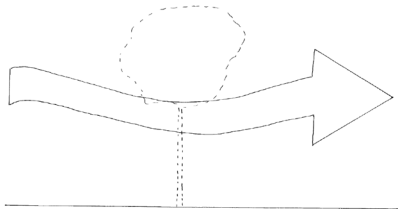
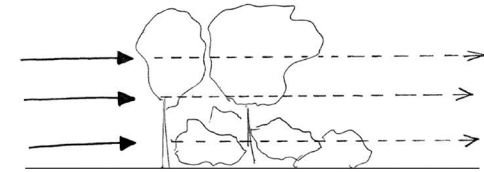


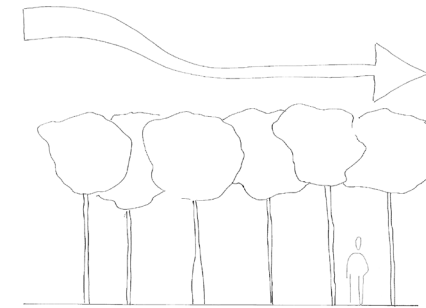
Figure 50 : Boite à outils, ambiances thermiques

Pour résoudre les enjeux atmosphériques, il faut :

Tempérer



Couvrir



Permettre la dispersion des polluants

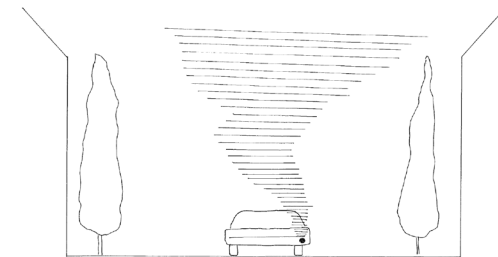
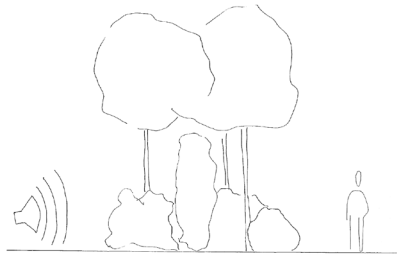


Figure 51 : Boite à outils, ambiances atmosphériques

Pour résoudre les enjeux sonores, il faut :
Cacher la source physiquement



Cacher la source visuellement



Couvrir la nuisance par des sons naturels



Ralentir le trafic



Fluidifier le trafic

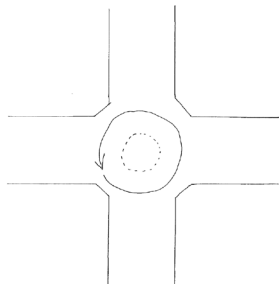
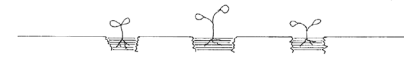
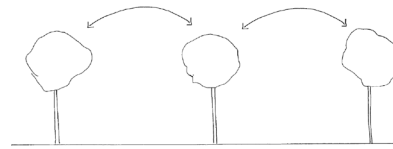


Figure 52 : Boite à outils, ambiances sonores

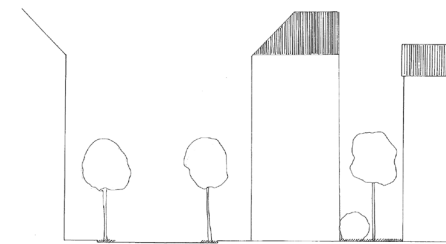
Mais ils nécessitent d'être en réseau. Pour ce faire, on peut :
Percer stratégiquement les sols



Etablir des continuités



Profiter des interstices



Connecter les intérieurs d'îlots et les espaces publics

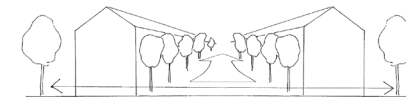


Figure 53 : Boite à outils, faire réseau

Utiliser la boîte à outils

Méthode

Les points suivants consisteront à la recherche de solutions adaptées au quartier permettant de limiter les effets des îlots de chaleur, de nuisances aérauliques (vents et pollution) et de nuisances sonores. Ces solutions se baseront sur la théorie et les références étudiées précédemment.

Les étapes seront donc les suivantes :

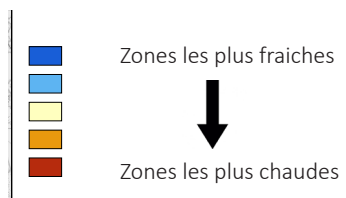
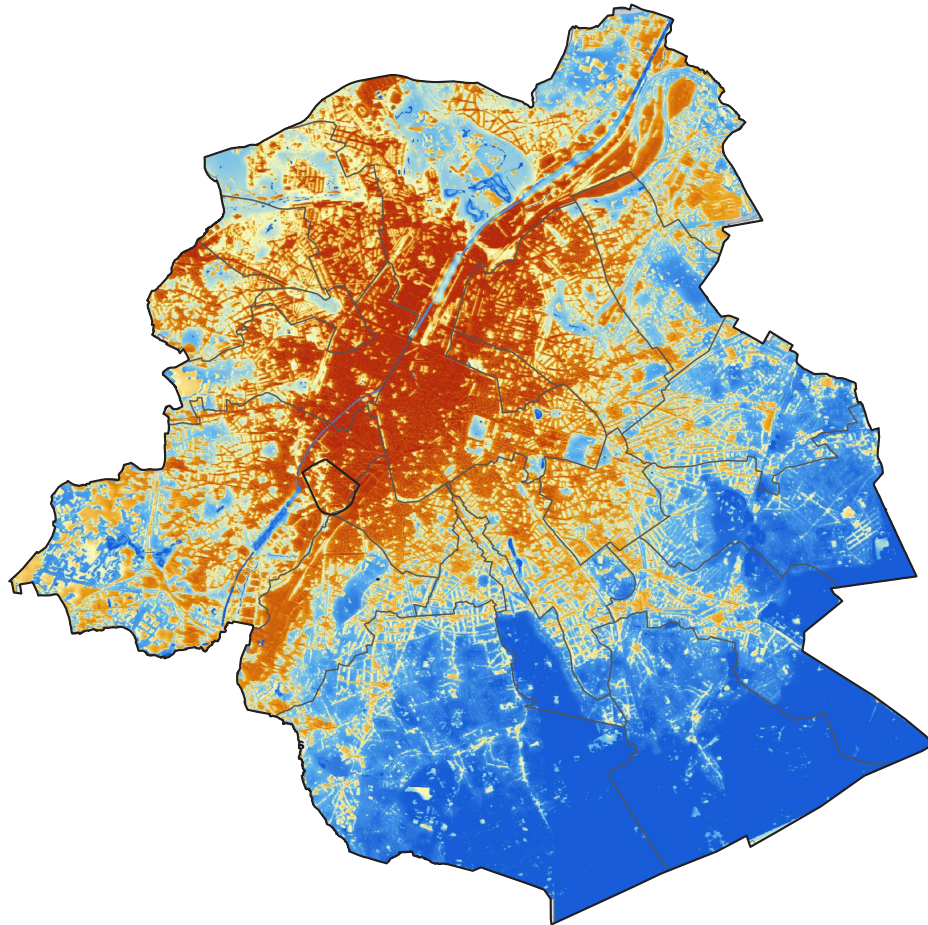
- Identifier des typologies représentatives des espaces urbains du quartier,
- Observer leur situation du point de vue de la chaleur, des sols, de l'air et du son,
- Comprendre les causes des problèmes,
- Proposer un ou plusieurs scénarii radicaux de végétalisation répondant à la situation.

Il s'ensuivra une discussion autour de ces recherches et un questionnement sur les limites des arbres lorsqu'il s'agit d'ICU, de qualité de l'air et de confort aéraulique ainsi que d'environnement sonore.

Analyse du contexte bruxellois

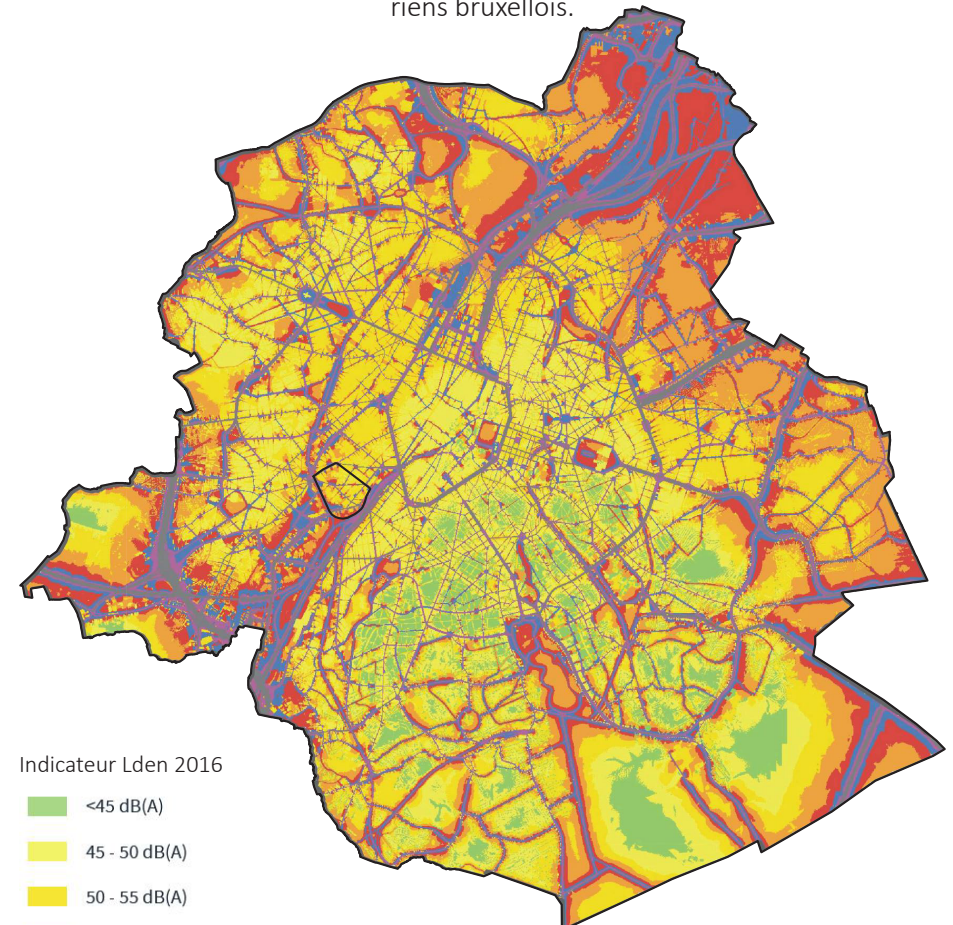
Pour développer des solutions arborées répondant à un site, j'ai choisi de traiter du quartier de Cureghem Vétérinaire, à Bruxelles. C'est un lieu représentatif des différents sujets traités. Les cartes suivantes permettent de le situer et en comprendre différents aspects.

Figure 54 : Carte des îlots de chaleur bruxellois

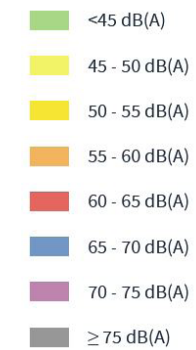


Source : Bruxelles Environnement, 2020

Figure 55 : Carte des niveaux sonores des trafics routiers, ferroviaires et aériens bruxellois.



Indicateur Lden 2016



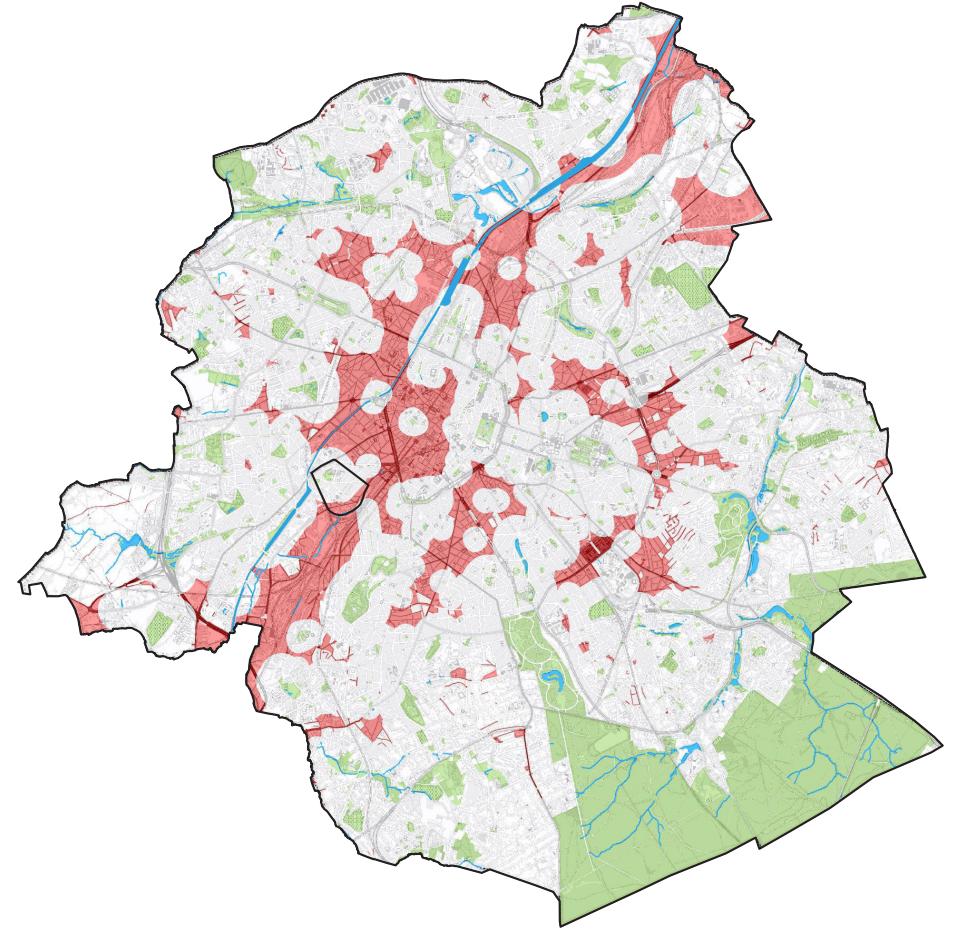
Source : Bruxelles Environnement, 2021

Figure 56 : Carte des espaces verts



Source : Bruxelles Environnement, 2021

Figure 57 : Carte des carences en espaces verts accessibles au public.



Source : Bruxelles Environnement, 2021

Situation du quartier et opportunités

Le quartier de Cureghem Vétérinaire est au carrefour d'environnements variés, souvent marqué par des limites fortes : le canal, le chemin de fer, la petite ceinture.

Le quartier est entre la Senne et le canal, en fond de vallée. Le relief est assez plat. On peut donc supposer un accès à l'eau à faible profondeur et donc une bonne tenue des arbres plantés en pleine terre.

Les vents dominants arrivent du Sud-Est, dans le sens du canal. La zone industrielle et la largeur du canal créent un couloir de ventilation dont les flux aériens débouchent sur laquelle le quartier analysé, générateur de turbulences et de déviations des flux d'air.

Ce quartier est composé de morphologies diverses et donc représentatifs d'environnements urbains relativement denses et variés. Il comporte une densité de population de 14 695,93 hab/km² (source : monitoring des quartiers).

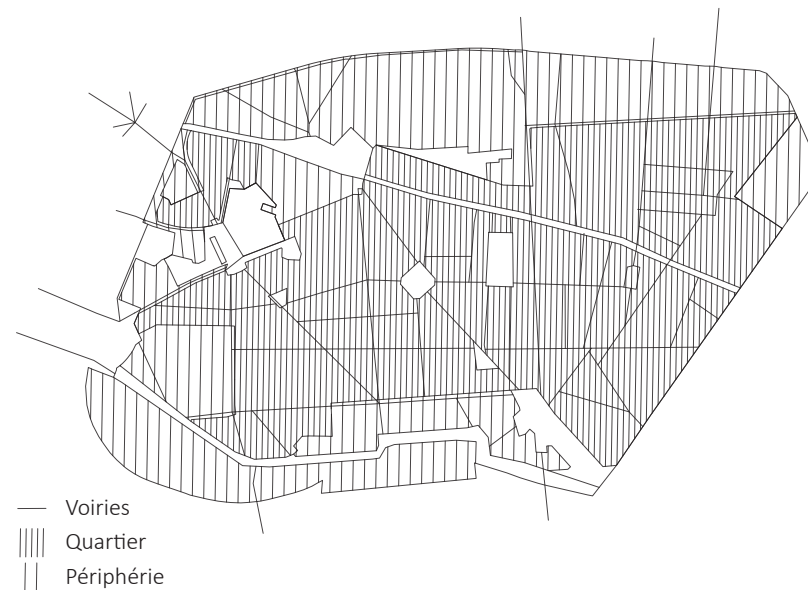
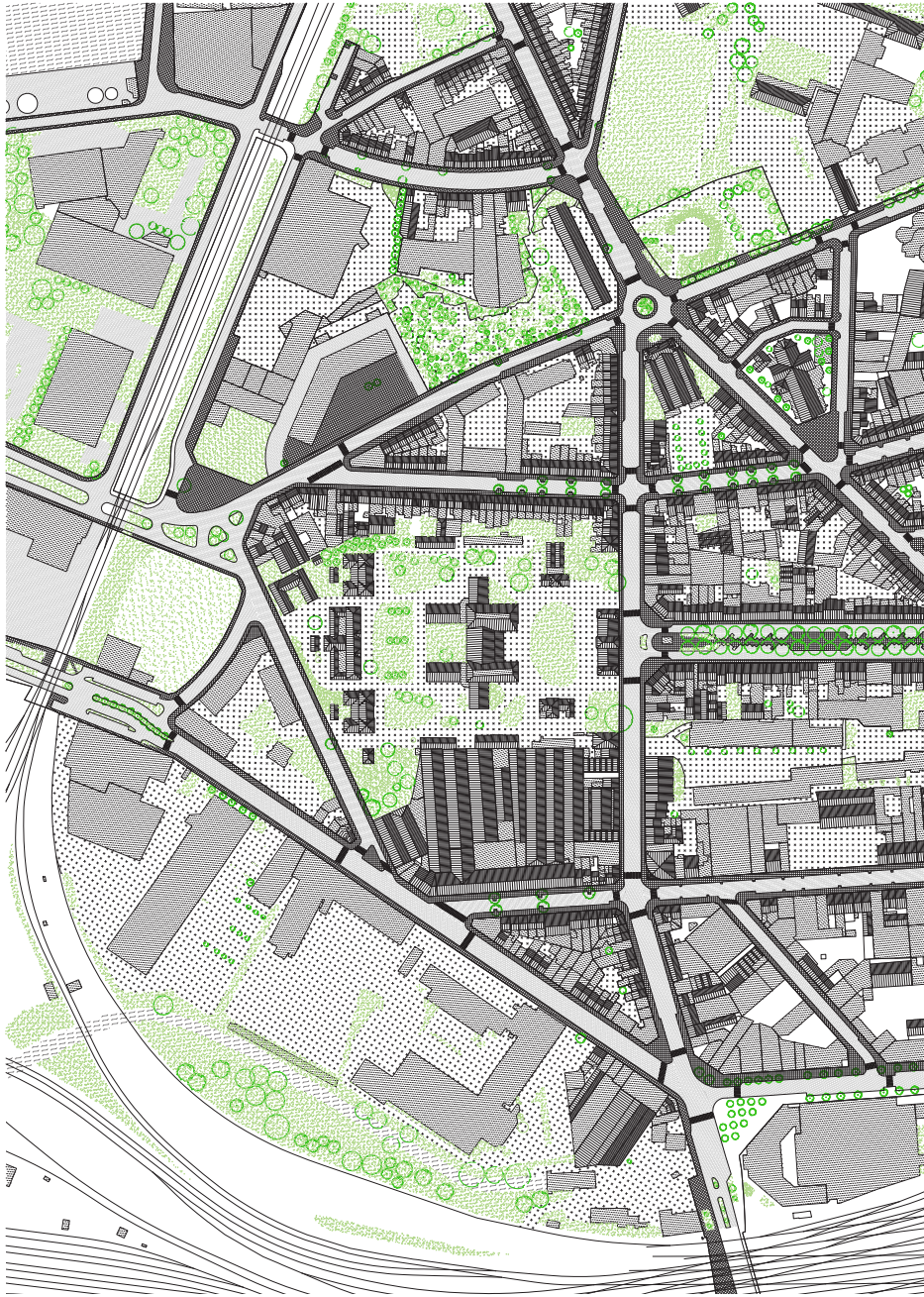


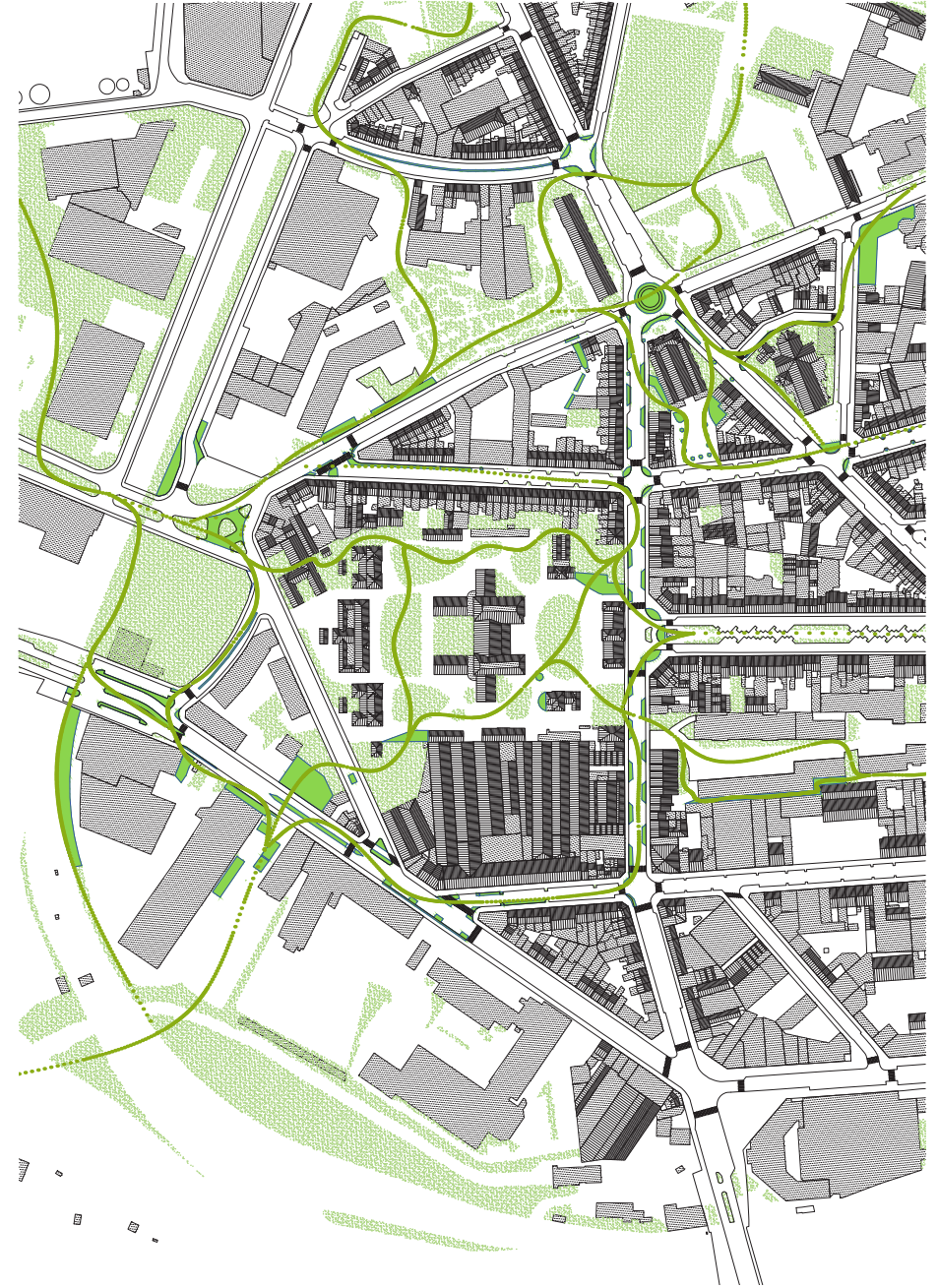
Figure 58 : Morphologie du quartier



Figure 59 : Réseau biologique



Situation actuelle
Figure 60 : Plan des surfaces



Opportunités
Figure 61 : Où faire réseau ?



Situation actuelle
Figure 62 : Plan des îlots de chaleur



Opportunités
Figure 63 : Où rafraichir ?



Situation actuelle
 Figure 64 : Plan des vents



Opportunités
 Figure 65 : Où temporiser les vents ?



Situation actuelle
 Figure 66 : Plan des niveaux de Black Carbon



Le Black Carbon est une sous-classification des particules fines, une gamme allant de 10 à 500 nm. Il sert à tracer la pollution urbaine, essentiellement celle du trafic routier.

Opportunités
 Figure 67 : Où ne pas planter ?



Figure 68 : Plan des niveaux sonores



Opportunités

Figure 69 : Où agir sur les niveaux sonores ?

Quelles actions mener ?

Ce territoire comporte donc diverses opportunités. Malgré sa relative densité, y établir un réseau écologique n'est pas inatteignable. Un rafraîchissement des zones les plus chaudes devrait, par aura, rafraîchir l'ensemble du quartier. Des massifs végétaux placés dans quelques lieux stratégiques limiteront les accélérations des vents sans pour autant empêcher la ventilation urbaine. Enfin, le quartier est bruyant. On constate qu'il n'y a, dans ce quartier, aucun espace où le niveau sonore baisse en dessous de 45 dB. C'est donc un environnement inconfortable au niveau acoustique, d'autant qu'il ne s'agit que des bruits émanant du trafic, non des autres activités. Lorsque les nuisances sonores sont fortes, il est de bon d'au moins rendre l'environnement le plus absorbant possible de sorte de réduire la perceptin que l'on a du bruit. Les propriétés absorbantes des abres peuvent donc grandement améliorer la situation.

La suite de l'étude portera sur quelques lieux clefs caractéristiques des enjeux travaillés.



Figure 70 : Lieux représentatifs des divers enjeux

Le quartier - Mode de répartition du végétal

Il est adéquat de se demander quel mode de répartition de la végétation génère le plus d'espaces verts. Trois possibilités principales apparaissent :

Le long des façades

Ce mode d'action double la végétation présente dans chaque rue, ce qui présente l'avantage de générer des canopées.

Le total de surfaces végétalisées est de 27 241 m²



Figure 71 : Végétalisation le long des façades

Au centre des voiries

Ce mode de répartition est intéressant bien que moins efficace. Il s'agit de séparer les routes

Le total de surfaces végétalisées est de 22 183 m².



Figure 72 : Végétalisation au centre des voiries

En intérieur d'îlots.

Ce mode de répartition est celui qui produit la plus grande surface. Cependant les espaces verts sont séparés par des bâtiments et, s'ils ont un impact sur la thermique générale de la ville, ils ne génèrent pas d'ombre dans l'espace public.

Le total de surfaces végétalisées est de 138 501 m².

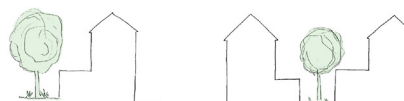


Figure 73 : Végétalisation en intérieur d'îlot

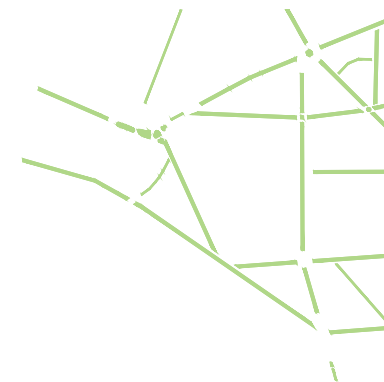


Figure 74 : Lieux représentatifs des divers enjeux

Causes de la baisse de biodiversité

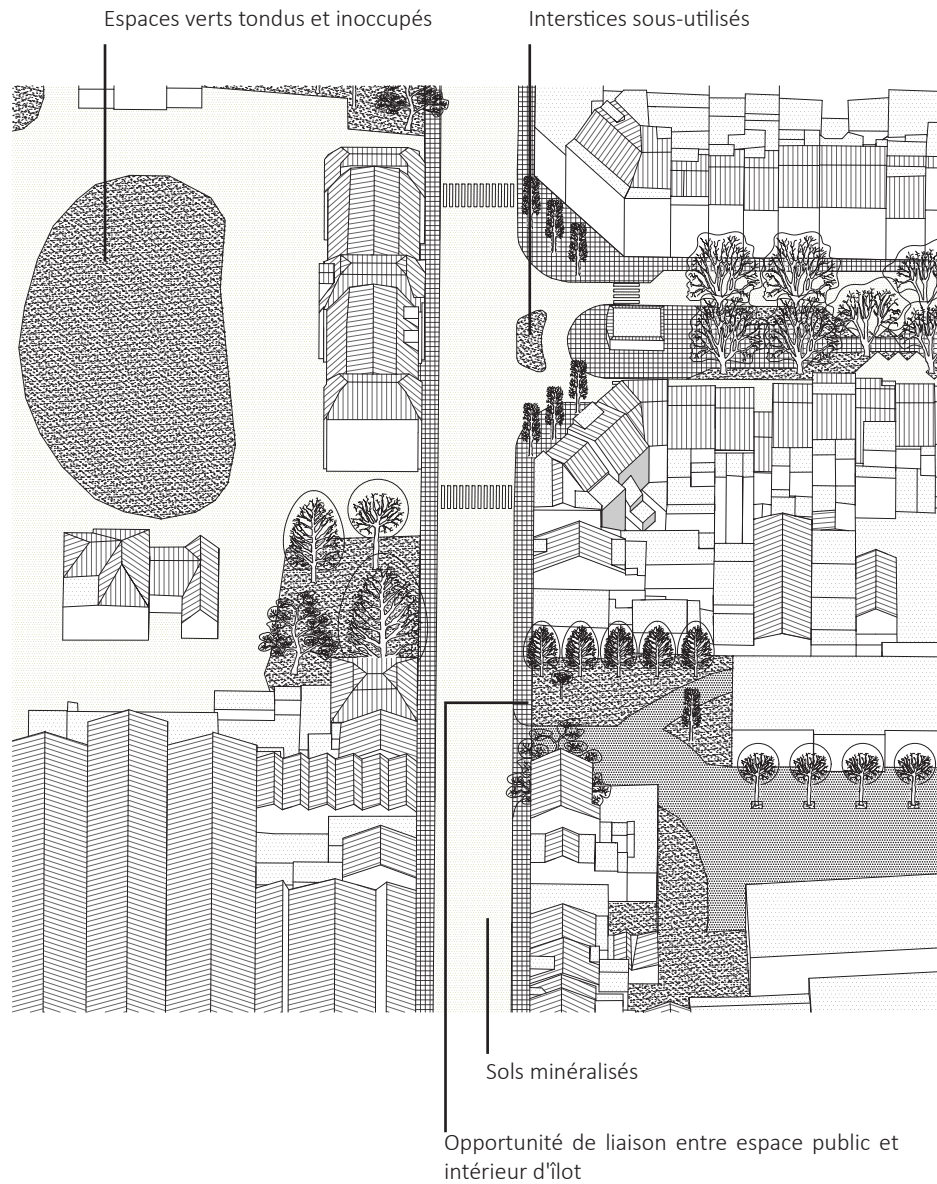


Figure 75 : Faire réseau : causes

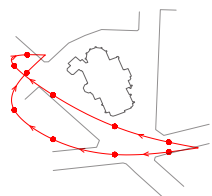
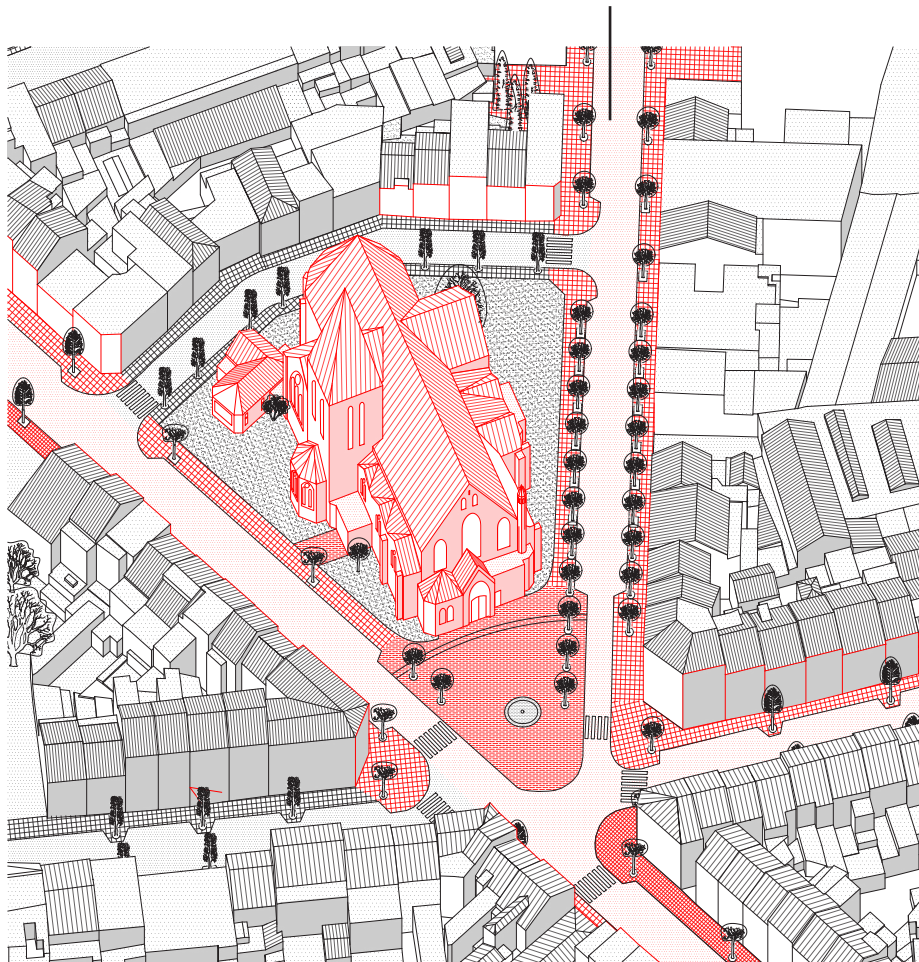
Exemples d'utilisation des outils



Figure 76 : Faire réseau : actions

Causes de la surchauffe potentielle

Trop de surfaces minéralisées

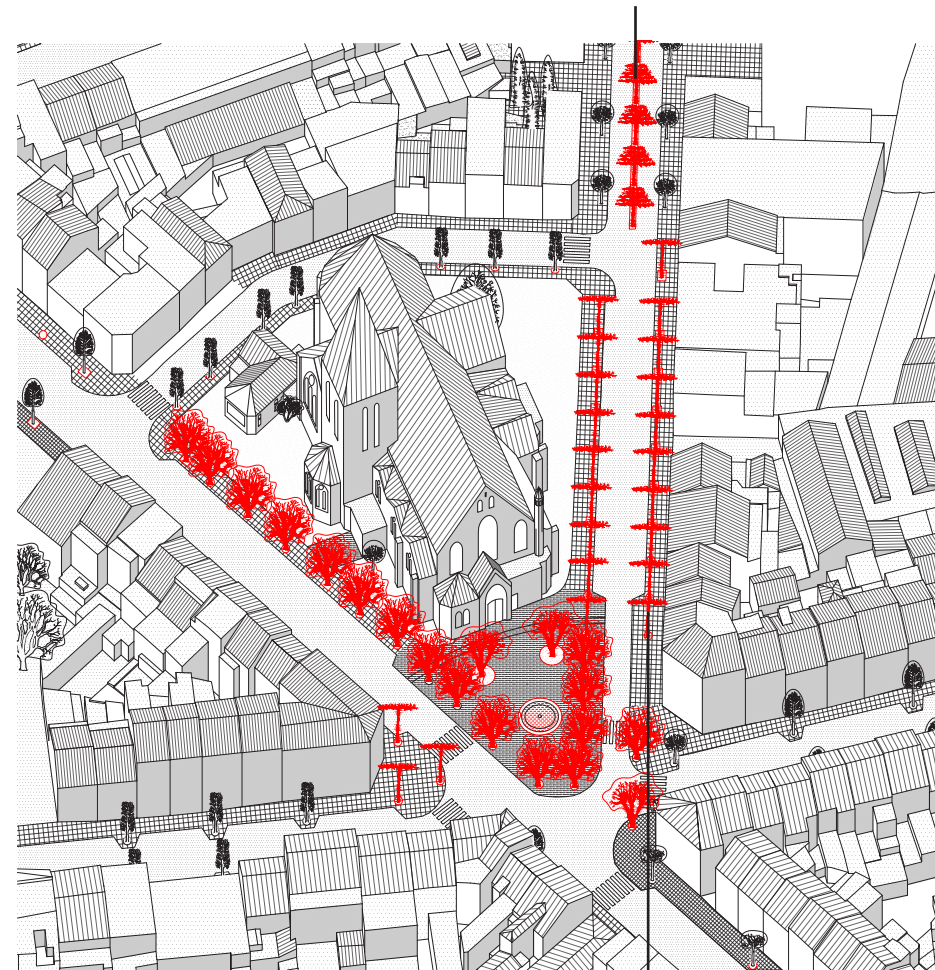


Ensoleillement continu au cours de la journée

Figure 77 : Climatiser : causes

Exemples d'utilisation des outils

Adapter la forme au besoin



Couvrir

Couvrir les sols grâce à une canopée végétale permet de palier au problème des ICU. Cependant le climat bruxellois est assez frais une grande partie de l'année. L'usage d'essences d'arbres caduques permet de favoriser l'ensoleillement en saison froide et de le limiter en période chaude. L'effet chauffant des revêtements minéraux sera en effet bienvenue à certaines périodes.

Figure 78 : Climatiser : actions

Causes de turbulences

Immeuble de taille unique dans le quartier. Sa grandeur génère des accélérations et des turbulences.

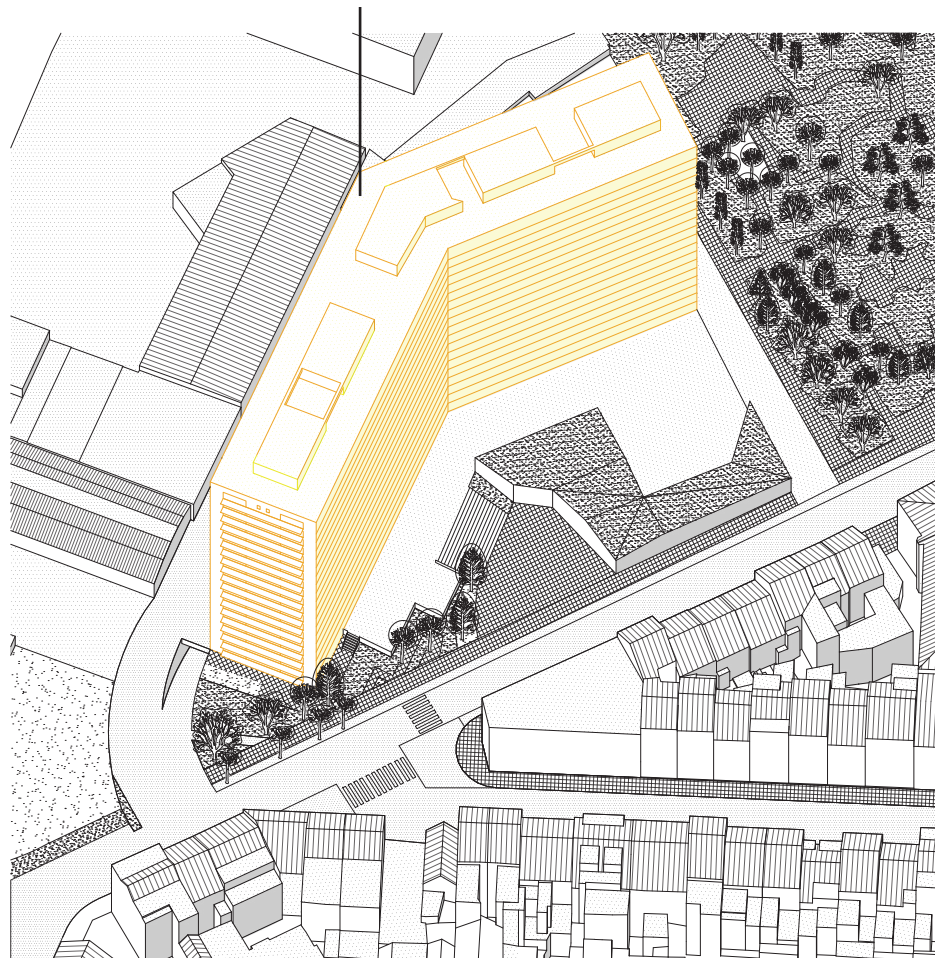


Figure 79 : Tempérer : causes

Exemples d'utilisation des outils

Massifier les pieds de tour est un outil imparable pour ralentir les vents. Toutefois il faut veiller à ne pas obstruer les polluants.



Tempérer les effets de coin

Couvrir

Permettre la dispersion des polluants

Figure 80 : Tempérer : actions

Causes de nuisances sonores

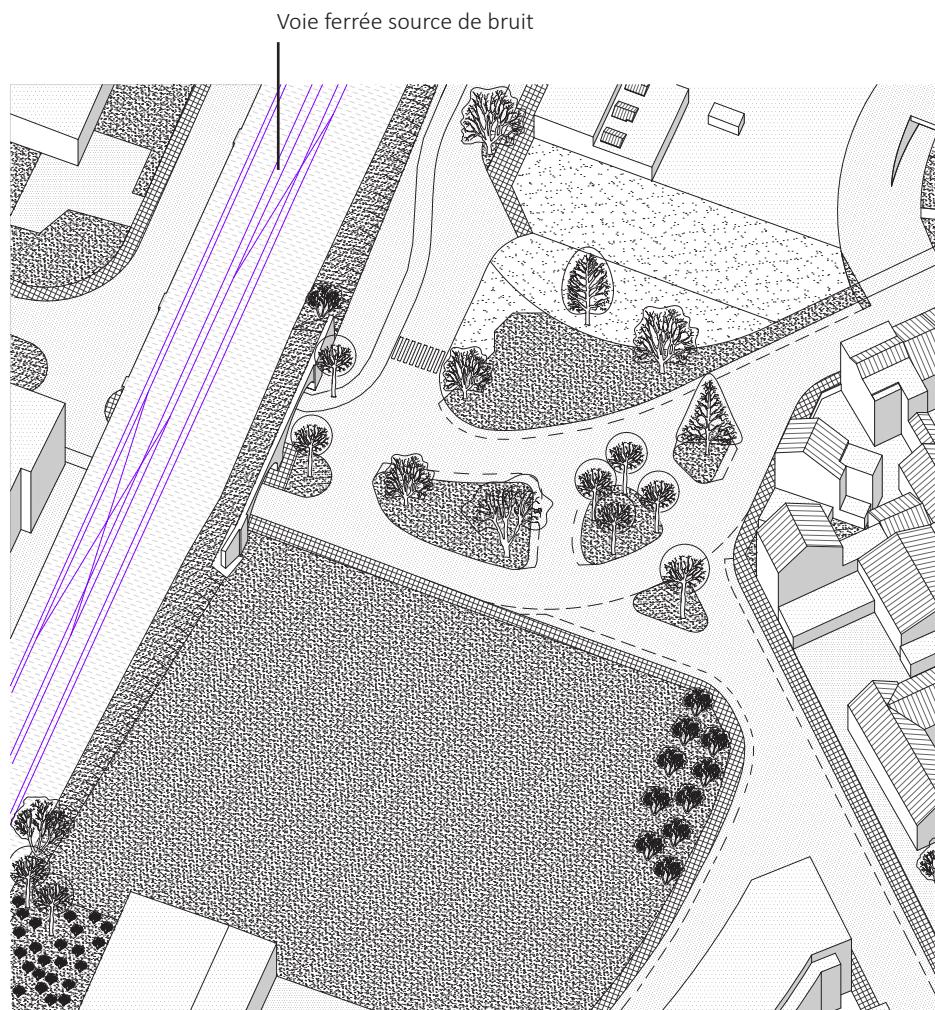


Figure 81 : Nuisances sonores : causes

Exemples d'utilisation des outils

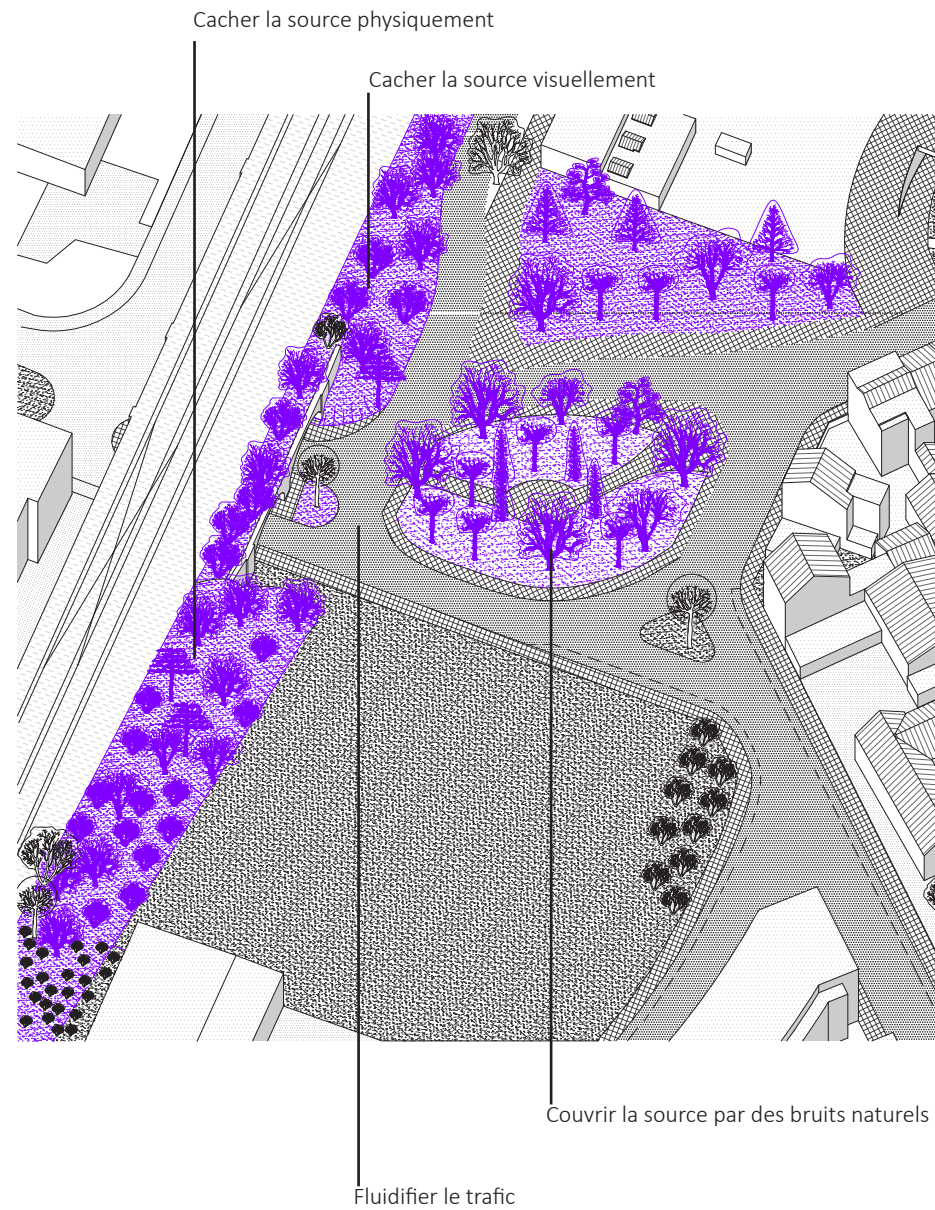


Figure 82 : Nuisances sonores : actions

Discussion

Répartir la végétation en intérieur d'îlot est le modèle qui génère le plus haut taux de végétalisation à l'échelle du quartier. En revanche, il ne s'agit pas d'espaces publics. On pourrait considérer la question de l'ouverture des intérieurs d'îlots au public, c'est d'ailleurs ce qu'ils font à Barcelone. Dans tous les cas, le mieux est de combiner les modes d'action et agir autant sur les intérieurs d'îlot que sur les espaces publics comme cela s'est fait dans le quartier Tivoli à Bruxelles.

La conception des espaces publics nécessite une réflexion holistique. Il faut donc estimer la juste proportion entre les niveaux de couverture et d'ouverture de l'espace afin de répondre aux différents enjeux. La ventilation des espaces urbains nécessite de ne pas couvrir entièrement les voiries afin de permettre la dispersion des polluants. Mais il peut également être désirable de garder des espaces volontairement chauds à condition que leur ventilation soit bonne et qu'on ne soit pas obligé d'y passer, qu'il s'agisse d'espaces de loisir et non de flux. Ainsi, seuls ceux qui désirent s'y arrêter le peuvent. Il s'agit de générer un environnement varié et variable, non d'uniformiser des ensembles urbains afin de tenter de répondre à une vision du confort, vision sans doute unique alors que les seuils de confort sont variables d'une personne à l'autre.

Les arbres humidifient l'air. Il faut donc veiller à ne pas appliquer cette méthode à tous les types de climat. Les corps soumis à des températures chaudes et des environnements humides ne peuvent plus transpirer, donc ne plus réguler leur température. Cela est cause de nombreux décès (comme on peut l'observer en ce moment en Inde et au Pakistan qui souffrent de canicules humides mortelles).

La gestion des environnements urbains par le végétal amène une réflexion sur les usages. Un air sec sera plus propice à la transpiration et donc aux activités sportives. Une zone bien ventilée sera plus apte à recevoir des polluants. Il est donc temps de penser la répartition des fonctions urbaines non plus par leur proximité mais bien par leur logique environnementale.

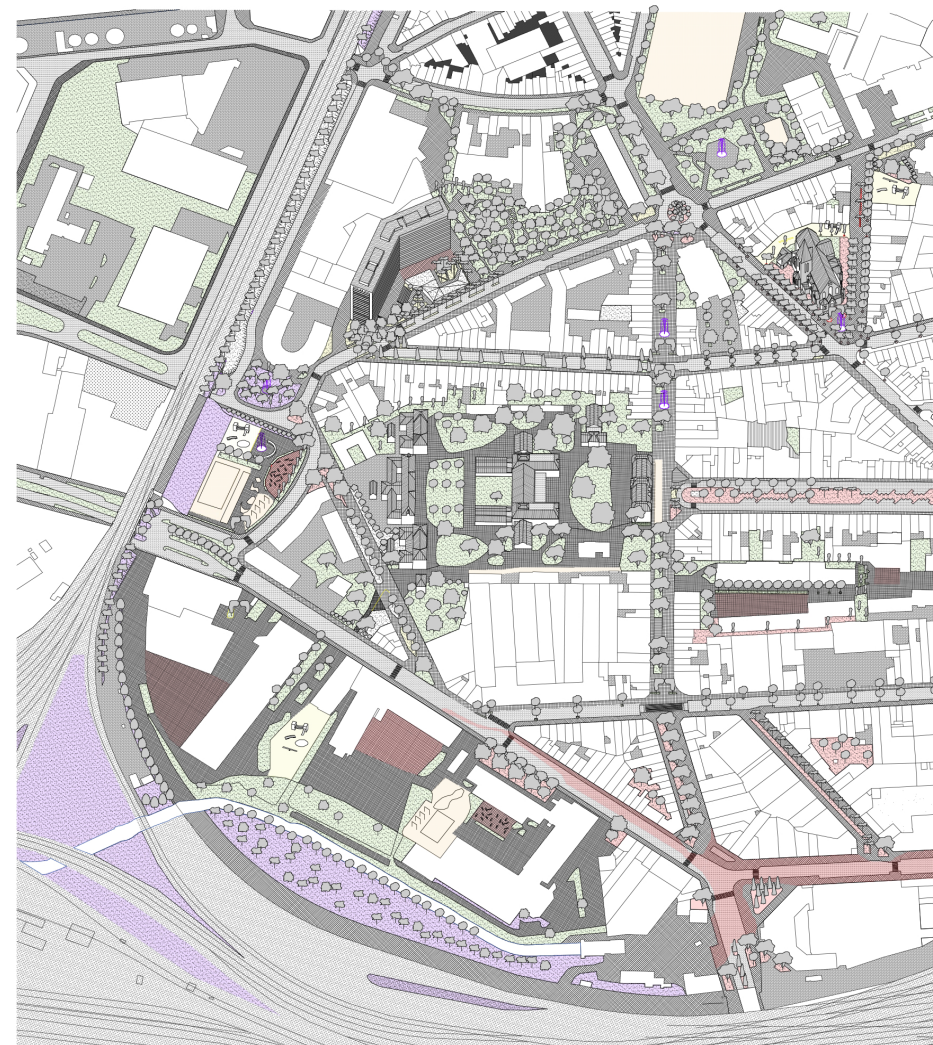


Figure 83 : Compatibilité des actions

L'architecte devra faire des choix. Les ambiances ne sont pas uniquement le fruit des arbres et de leurs effets physiques mais également des qualités spatiales et de la vie qui s'y produit. Il devra par endroits éliminer la végétation, ou en tout cas ne pas l'y amener. Et ce pour produire des effets différents ou répondre à diverses fonctions, voire pour des questions de budget.

Conclusion

L'étude de la plantation stratégique d'arbres en ville permet donc de montrer leurs intérêts mais aussi leurs limites. Si les possibilités d'aménagements sont nombreuses et adaptables selon les lieux, chaque individu doit être traité selon son essence, son mode d'entretien et la manière dont on le taille. C'est à ces conditions que les arbres permettent de répondre efficacement à un problème d'îlot de chaleur, de ventilation trop forte, de gestion des eaux, etc.

Il est urgent de remettre en question la conception fonctionnaliste de l'urbain en considérant la ville comme fabrique du vivant et non comme production machinale de bâtiments inertes et finis. En intégrant le minéral, le végétal et l'humain, les paysages s'enrichissent naturellement. En pariant sur l'intelligence des plantes, on peut générer une co-domestication dont le citoyen serait finalement le bénéficiaire.

Il est primordial d'intégrer le temps long à nos réflexions afin de concevoir la ville de manière évolutive dans le domaine du bâti, de l'urbanisme ou du végétal. Il faut accompagner ces éléments dans leur évolution. Au lieu d'espérer un résultat définitif, viser une transition constante et infinie de l'environnement qui nous entoure (Bardet, 1947 ; Figureau & Lewis, 2022).

Accompagner le végétal dans son évolution peut générer des objets comme la plus grande haie du monde, à Powys, dont les nouvelles ramifications sont respectées par les jardiniers, ce qui donne lieu à des excroissances végétales libres et esthétiquement intéressantes. Si l'on conçoit la ville comme un écotone humain-nature, on peut imaginer des paysages domestiqués mais libres, comme l'est un chat de compagnie. Produire des environnements selon notre volonté mais qui appartiennent bien aux cycles naturels, qui s'y intègrent. C'est grâce aux plantes qu'il y a de la vie dans le sol.

A travers ce travail, j'ai mis en valeur une pensée favorable au développement du vivant en ville. Sans l'aborder de manière frontale et détaillée, les actions proposées favorisent la biodiversité.

Un environnement urbain sans porosité génère des turbulences et accélérations aérauliques. Mais les villes sont ce qu'elles sont. Il faudra donc penser leur évolution en les adaptant subtilement, ponctuellement, sans blesser ni brusquer. N'est-il pas temps de privilégier le tissu social par transitions douces et évolutives plutôt que de le détruire par égos d'architectes démiurges et intérêts de promoteurs ?

Bibliographie

- ATHAMENA K., *Modélisation et simulation des microclimats urbains : Etude de l'impact de la morphologie urbaine sur le confort dans les espaces extérieurs : Cas des éco-quartiers*, Ecole Centrale de Nantes, 2012.
- A'urba agence d'urbanisme Bordeaux Métropole Aquitaine, *Végét-Eau : principes, composition, mise en œuvre & entretien pour plus de végétation et d'eau dans les espaces publics*, Guide Technique : Cahier 7, Bordeaux Me-tro-pole, 2017.
- BARDET G., *L'urbanisme*, Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je ? », Paris, 1947.
- BARRIERE N., DEFRANCE J., JEAN P., *Les arbres et les forêts peuvent-ils contribuer à l'amélioration de l'environnement sonore ?*, Cairn Info, Revue Santé Publique, 2019, consulté en février 2022 sur <https://www.cairn.info/revue-sante-publique-2019-HS1-page-187.html>.
- BOTTON H., *Accès aux espaces verts : des inégalités révélées par la Covid-19*, The Conversation, 2020, consulté en mai 2022 sur <https://theconversation.com/acces-aux-espaces-verts-des-inegalites-revelees-par-la-covid-19-150864>.
- BRAESCH C., *Les arbres et leur structure*, Le Goût du Sauvage, 2019, consulté en avril 2022 sur <https://www.legoutdusauvage.com/2019/03/les-arbres-et-leur-structure.html>.
- BRUNET Y., *Impact de la végétation sur le microclimat urbain et la qualité de l'air, dans La chimie et les grandes villes*, EDP Sciences, France, 2017.
- BRUNET Y., MESTAYER P.G., *Impact de la végétation urbaine sur la qualité de l'air*, Innovations Agronomiques 45, Nantes, 2015.
- Bruxelles Environnement, *Cartographie des îlots de fraîcheur à Bruxelles*, environnement.brussels, 2020, consulté en janvier 2022 sur <https://environnement.brussels/thematiques/air-climat/plan-forte-chaaleur-et-pics-dozone/cartographie-des-ilots-de-fraicheur>.
- Bruxelles Environnement, *Focus : Ilots de chaleur*, s.d. consulté en janvier 2022 sur <https://environnement.brussels/lenvironnement-etat-des-lieux/rapports-sur-letat-de-lenvironnement/rapport-2011-2014/climat/focus-0>.
- Bruxelles Environnement, *Végétaliser pour réduire localement l'exposition au bruit : des solutions fondées sur la nature*, environnement.brussels, 2021, consulté en avril 2022 sur <https://environnement.brussels/lenvironnement-etat-des-lieux/en-detail/environnement-pour-une-ville-durable/vegetaliser-pour-reduire-localement-lexposition-au-bruit-des-solutions-fondees-sur-la-nature>.
- Bruxelles Environnement, IBGE, 6. *Le maillage vert*, Collection fiche documentées, Thématique Sols, 2017.

- Bureau Bas Smets, *Projects*, s.d. consulté en décembre 2021 sur <https://www.bassmets.be/projects-selection>.
- CANTAT O., *L'îlot de chaleur urbain parisien selon les types de temps*, Norois, 2004, 75-102. <https://journals.openedition.org/vertigo/12826>
- CORDEAU E., VALETTE E., *Les îlots de chaleur urbains : Répertoire de fiches connaissance*, IAU, Ile-de-France, 2010.
- CLEMENT G., *Aménager la nature ?*, Gilles Clément, Editions M-Editer, Youtube, 2020, consulté en novembre 2021 sur <https://www.youtube.com/watch?v=kL6qluJRv68>.
- CLEMENT G., *Manifeste du tiers paysage*, Sens&Tonka, Paris, 2014.
- DESVIGNE M., *Michel Desvigne, "Intermediate Natures"*, Youtube, 2013, consulté en mai 2022 sur <https://www.youtube.com/watch?v=0TAMpQ2mIkE>.
- FIGUREAU C., LEWIS D., *Construire avec les arbres*, Arc en Rêve centre d'architecture, Bordeaux, 2022, consulté en mai 2022 sur <https://www.youtube.com/watch?v=p-3A-EK9ptk>.
- GAUTHIER M., MARTIN R., *Meilleures pratiques d'aménagement pour prévenir les effets du bruit environnemental sur la santé et la qualité de vie : Guide*, Institut National de santé publique du Québec, Québec, 2018.
- GUTLEBEN C., MUSY M., POMMIER G., PROVENDIER D., *Impact du végétal en ville*, Plante & Cité, 2014.
- GUYOT Alain, *Conception architecturale en fonction du vent, fascicule : Conclusions*, Encyclopédie du Bâtiment, édition Eyrolles, s.d.
- KUNDERA M., *La lenteur*, Gallimard, France, 1994.
- LABRECQUE M., VERGRIETE Y., *Rôle des arbres et des plantes grimpantes en milieu urbain : revue de littérature et tentative d'extrapolation au contexte montréalais*, IRBV, Université de Montréal, 2007.
- LECLERCQ ASSOCIES, *Euroméditerranée II Marseille*, s.d. consulté en mai 2022 sur <https://www.leclercqassocies.fr/en/projects/euromediterranee-ii>.
- LEROY M., MARIE H., LAPRAY K., MUSY M., RODIER A., GUERNOUTI., *Rafraîchir les villes : des solutions variées*, ADEME, Angers, 2021.
- LYPPENS G., *Collective Housing as Urban Building Stones*, A+280 Collective Housing, 2020, consulté en avril 2022 sur <https://www.a-plus.be/fr/opinion/collective-housing-as-urban-building-stones/>.
- MAGDELAINE C., *L'îlot de chaleur urbain : définition et conséquences*, Notre Planète, juin 2021, consulté en février 2022 sur https://www.notre-planete.info/terre/climatologie_meteo/ilot-chaaleur-urbain.php.
- MARRY S., DELABARRE M., *Naturalité urbaine : l'impact du végétal sur la perception sonore dans les espaces publics*, Vertigo, Université du Québec à Montréal, 2011.

- MASSON V, *Climat urbain : études interdisciplinaires* – Valery Masson, 21/01/2020, Youtube, 22/01/20, consulté le 04/06/2021 sur <https://www.youtube.com/watch?v=eNrK5yfVlgY>.
- MOLLIE C, *Des arbres dans la ville : L'urbanisme végétal*, ACTES SUD, CITE VERTE, 2020.
- Pavillon Aménagement urbain, *Guide de bonnes pratiques d'aménagement urbain : Création et gestion d'espaces verts*, Ville de Namur, Namur, s.d.
- SARRE A., *Unasylva*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Revue Internationale des forêts et industries forestières, Mantoue, 2018.
- S.A., *Choisir la bonne technique de taille : arbres, arbustes et plantes*, Aménagement Jardin, s.d., consulté en avril 2022 sur <https://www.amenagement-jardin.net/technique-de-taille/>.
- S.A., *Taille et soin des arbres*, arbresco, s.d., consulté en avril 2022 sur <https://www.arbresco.com/comp%C3%A9tence-et-service/taille-et-soin-des-arbres/>.
- SOARES I., VANDROUX B, MAGALON N., *Conception et gestion des espaces publics : Les pieds d'arbres*, Grand Lyon, 2010.
- SMETS B., *Bas Smets | Atmosphere 2019 : Adaptation*, Faculty of Architecture University of Manitoba, Youtube, 2019, consulté en novembre 2021 sur <https://www.youtube.com/watch?v=QTwwpHnAxHg>.
- SPECK J., *Jeff Speck: La ville adaptée à la marche*, Youtube, 2013, consulté en mai 2022 sur <https://www.youtube.com/watch?v=Wai4ub90stQ>.
- STEFULESCO C., *L'urbanisme végétal*, Institut pour le développement forestier, Collection Mission du paysage, Paris, 1993.
- TERRIN J-J., *Le piéton dans la ville : l'espace public partagé*, Parenthèses, coll. La ville en train de se faire, Mar-seille, 2011.
- TERRIN J-J., *Villes et changement climatique : îlots de chaleur urbains*, Parenthèses, coll. La ville en train de se faire, Marseille, 2015.
- VINET J., *Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du micro-climat urbain : caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs*, Université de Nantes, 2000.

Table des illustrations

Figure 1 : Le phénomène d'îlot de chaleur	17	Figure 33 : Porosité des surfaces	55
Figure 2 : L'avenue Louise : la place du piéton	21	Figure 34 : Végétation basse	57
Figure 3 : Architectures naturelles des arbres	27	Figure 36 : Gravier	57
Figure 4 : Relation entre services et entretien des arbres	28	Figure 35 : Végétation haute	57
Figure 5 : Architectures artificielles des arbres	29	Figure 37 : Pouzzolane	57
Figure 6 : Catégorisation des grandeurs d'arbre en ville	30	Figure 38 : Mulch de copeaux de bois	59
Figure 7 : Influence de la distance entre les plantations	30	Figure 40 : Grille	59
Figure 8 : Arbre de la Liberté, Bayeux	32	Figure 39 : Ecorce de pin maritime	59
Figure 9 : Rue des ursins, Paris, 2008.	32	Figure 41 : Platelage bois et mulch organique	59
Figure 11 : Mont des Arts, Bruxelles, 1969, René Péchère	33	Figure 42 : Trinity : axonométrie	60
Figure 12 : Place Mme de Montesson, Seine-Port, XIXème s	33	Figure 44 : Trinity : Plan des zones de développement des racines	61
Figure 10 : Quai Joffre, Gien, 1834	33	Figure 43 : Trinity : mode de plantation	61
Figure 13 : Square Marie José, Bruxelles	34	Figure 45 : Quartier Tivoli	62
Figure 14 : Place de l'Amitié, Amiens, 2008- Bureau Arpentère	34	Figure 46 : Quartier Falkenried Terrassen	63
Figure 15 : Rue de Strasbourg vers la place du Port-Communaux, Nantes, 1991	35	Figure 47 : Projet Euroméditerranée II	65
Figure 14 : Place Antigone, Montpellier	35	Figure 48 : Boîte à outils, composition urbanistique	68
Figure 16 : Coulées vertes de Lisbonne et La Rochelle	37	Figure 49 : Boîte à outils, lisibilité	69
Figure 17 : Transmissivité des flux solaires par la végétation été et hiver	39	Figure 50 : Boîte à outils, ambiances thermiques	70
Figure 18 : Echanges entre la feuille et l'air	39	Figure 51 : Boîte à outils, ambiances atmosphériques	71
Figure 19 : Principe de répartition des espaces végétalisés sur un territoire du point de vue de la chaleur	39	Figure 52 : Boîte à outils, ambiances sonores	72
Figure 20 : Relation entre températures et pourcentage de surface végétalisée	40	Figure 53 : Boîte à outils, faire réseau	73
Figure 21 : Place Antigone, Montpellier, 1978	41	Figure 54 : Carte des îlots de chaleur bruxellois	78
Figure 22 : Perturbations aérodynamiques face à un obstacle	42	Figure 55 : Carte des niveaux sonores des trafics routiers, ferroviaires et aériens bruxellois.	79
Figure 23 : Brise-vent végétal	42	Figure 56 : Carte des espaces verts	80
Figure 24 : Effets des morphologies urbaines sur les vents	43	Figure 57 : Carte des carences en espaces verts accessibles au public.	81
Figure 25 : Influence de la végétation sur la pollution	44	Figure 58 : Morphologie du quartier	83
Figure 26 : Emission et absorption de polluants	44	Figure 59 : Réseau biologique	83
Figure 27 : Place Antigone, Montpellier, 1978	45	Figure 60 : Plan des surfaces	84
Figure 28 : Projet Trinity, Paris, 2011-2020	47	Figure 61 : Où faire réseau ?	85
Figure 29 : Evaluation de l'ambiance sonore idéale selon des cartes mentales	49	Figure 62 : Plan des îlots de chaleur	86
Figure 30 : Evaluation de la pire ambiance sonore selon des cartes mentales	49	Figure 63 : Où rafraichir ?	87
Figure 32 : Paley Park	51	Figure 64 : Plan des vents	88
Figure 33 : Albédo des surfaces	55	Figure 65 : Où temporiser les vents ?	89
		Figure 66 : Plan des niveaux de Black Carbon	90
		Figure 67 : Où ne pas planter ?	91
		Figure 68 : Plan des niveaux sonores	92

Figure 69 : Où agir sur les niveaux sonores ?	93
Figure 70 : Lieux représentatifs des divers enjeux	95
Figure 71 : Végétalisation le long des façades	96
Figure 72 : Végétalisation au centre des voiries	96
Figure 73 : Végétalisation en intérieur d'îlot	96
Figure 74 : Lieux représentatifs des divers enjeux	97
Figure 75 : Faire réseau : causes	98
Figure 76 : Faire réseau : actions	99
Figure 77 : Climatiser : causes	100
Figure 78 : Climatiser : actions	101
Figure 79 : Tempérer : causes	102
Figure 80 : Tempérer : actions	103
Figure 81 : Nuisances sonores : causes	104
Figure 82 : Nuisances sonores : actions	105
Figure 83 : Compatibilité des actions	107

Table des matières

Introduction	- 11
Enjeux des villes actuelles	- 15
<i>Les sensations thermiques</i>	16
<i>Les sensations aérauliques</i>	18
<i>Le partage de l'espace</i>	20
<i>L'aspiration au végétal</i>	22
L'arbre comme remède	- 25
<i>Morphologies</i>	26
<i>Architecture végétale naturelle</i>	26
<i>Architecture végétale artificielle : l'entretien</i>	28
<i>Urbanisme végétal</i>	30
<i>Ambiances thermiques</i>	38
<i>Ambiances atmosphériques</i>	42
<i>Ambiances sonores</i>	48
Les contraintes de l'arbre	- 53
<i>Le rapport aux sols</i>	54
<i>Les pieds d'arbres</i>	56
<i>Au niveau des racines</i>	60
<i>Faire réseau</i>	62
En résumé : Construction d'une boîte à outils	- 67

Utiliser la boîte à outils	- 75
<i>Méthode</i>	76
<i>Analyse du contexte bruxellois</i>	78
<i>Situation du quartier et opportunités</i>	82
<i>Quelles actions mener ?</i>	94
<i>Le quartier - Mode de répartition du végétal</i>	96
<i>La rue - Faire réseau</i>	98
<i>Le parvis - l'arbre comme climatiseur</i>	100
<i>Au pied de la tour - Réguler les vents</i>	102
<i>Près de la voie ferrée - Invisibiliser les nuisances sonores</i>	104
<i>Discussion</i>	106
Conclusion	- 109
Bibliographie	- 113
Table des illustrations	-118

