

VÉGÉTATION URBAINE

LES ENJEUX POUR L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTÉ

DOSSIER THÉMATIQUE

WWW.APPANPC.FR ► OUTILHÈQUE ► DOSSIERS



VÉGÉTATION URBAINE

LES ENJEUX POUR
L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTÉ

AU SOMMAIRE DE CE DOSSIER

2

QUELLES SONT LES PARTICULARITÉS DU MILIEU URBAIN ?	3
QUELLES SONT LES PRINCIPALES FORMES DE VÉGÉTATION EN VILLE ?	6
QUELS SONT LES EFFETS DE LA VÉGÉTATION SUR LE CLIMAT ?	9
QUELS SONT LES EFFETS DE LA VÉGÉTATION SUR LA QUALITÉ DE L'AIR ?	13
QUELS SONT LES EFFETS DE LA VÉGÉTATION SUR LA SANTÉ ?	18
QUELS SONT LES EFFETS DE LA VÉGÉTATION SUR LA VIE SOCIALE ?	22

Quelles sont les particularités du milieu urbain ?

La densité des villes est actuellement le reflet des phénomènes de croissance démographique et d'exode rural. Les villes sont des zones de fortes concentrations de population (75% des habitants des pays industrialisés y vivent), d'activités humaines et d'axes de communication. La densification des bâtiments de résidence et de travail, ainsi que la centralisation des activités entraînent des rejets de chaleur importants et une forte consommation d'énergie.. Le relief formé par le bâti entraîne d'autres impacts sur le climat, notamment en termes d'humidité, et d'aérodynamique, créant des conditions climatiques particulières regroupées sous le terme de « climat urbain ».

Le phénomène d'îlot de chaleur urbain est une élévation localisée de la température en zone urbaine. De par leur nature et leur faible albédo, les matériaux de construction et d'aménagement absorbent l'énergie solaire et la relarguent sous forme de chaleur dans l'atmosphère. Ils créent ainsi un « îlot de chaleur » au niveau des villes, où les températures sont ainsi plus élevées qu'en périphérie.

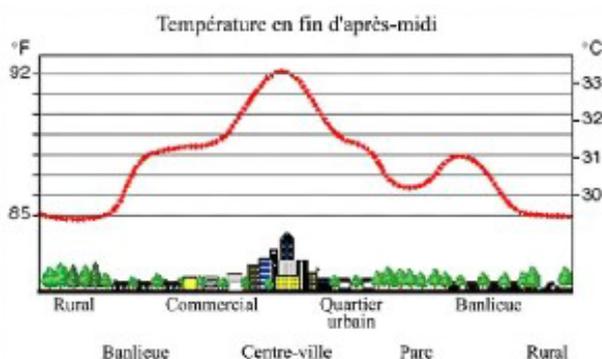


Figure 1 - Illustration de l'îlot de chaleur urbain

Les îlots de chaleur urbains sont accentués par les rejets de chaleur liés aux activités humaines et la densité des bâtiments implantés.

De plus, les gaz à effet de serre peuvent agir sur le climat à différentes échelles et contribuent notamment à augmenter les températures en milieu urbain dans le contexte actuel du phénomène global de changement climatique. Par exemple, les épisodes de canicules risquent à l'avenir d'être alors plus fréquents et plus marqués en ville qu'en campagne, entraînant des effets sanitaires plus importants pour la population.

Le phénomène d'effet de serre est un mécanisme naturel. Une partie du rayonnement solaire atteignant la Terre est directement réfléchi et renvoyée vers l'espace. Les rayons non réémis sont absorbés par l'atmosphère et la surface terrestre. Ce rayonnement, ainsi absorbé par la surface du sol, est restitué en direction de l'atmosphère. Durant cette réémission vers l'espace, une partie des rayons est absorbée par certains composants de l'atmosphère terrestre, ce qui crée un effet de serre qui réchauffe la surface du globe.

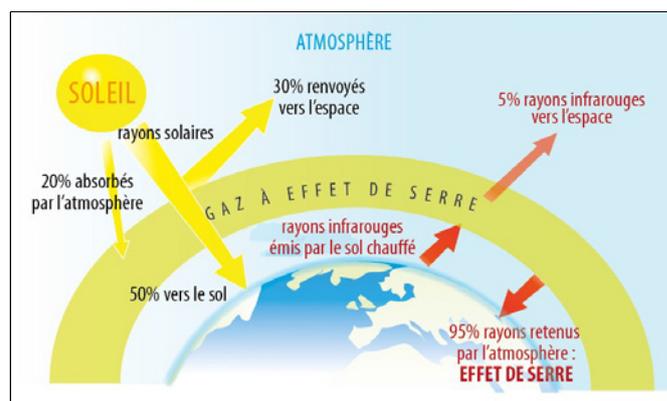


Figure 2 Schéma de l'effet de serre
Source : www.boulpat-environnement.com

Cependant, depuis plusieurs décennies, le développement des activités anthropiques a enrichi l'atmosphère en dioxyde de carbone (CO₂) et autres gaz appelés gaz à effet de serre (GES) amplifiant ce mécanisme naturel et aboutissant à un dérèglement du climat..

Par ailleurs, la ville fait l'objet d'une pollution de l'air spécifique, liée aux activités humaines et aux transports : émissions de particules, d'oxydes d'azote et de composés organiques volatils - composés précurseurs de l'ozone - et de gaz à effet de serre (GES) dont le dioxyde de carbone.

Ces gaz à effet de serre peuvent agir sur le climat à différentes échelles et contribuent notamment à augmenter les températures en milieu urbain dans le contexte actuel du phénomène global de changement climatique. Par exemple, les épisodes de canicules risquent à l'avenir d'être alors plus fréquents et plus marqués en ville qu'en campagne, entraînant des effets sanitaires plus importants pour la population.

La dispersion des polluants dans l'air est influencée par les conditions météorologiques. Elle est favorisée lors d'épisodes dépressionnaires (déplacement des masses d'air). Au contraire, les anticyclones favorisent la concentration des polluants (stagnation des masses d'air). D'autres conditions particulières peuvent influencer comme l'inversion de la couche de température qui limite la dispersion verticale des polluants.

Ces situations météorologiques défavorables peuvent amener à des épisodes plus ou moins répétitifs de pollution en ville comme c'est le cas actuellement en Chine. En effet, un brouillard épais et suffocant, appelé smog¹ et regroupant les principaux polluants urbains, s'est installé dans les rues des grandes villes entraînant des effets sanitaires comme des troubles respiratoires ou cardio-vasculaires.



Figure 3 Rue de Pékin touchée par le phénomène de smog - Source : ja.wikipedia.org

¹ Smog : contraction des mots smoke et fog, respectivement fumée et brouillard en anglais.

De plus, l'architecture urbaine, de par la hauteur, la proximité et la densité du bâti, constitue également un frein à la circulation de l'air et à la dispersion des polluants, ce qui contribue à générer des zones de concentration de pollution notamment dans des rues très encaissées (appelées rues «canyon»).



Figure 4 Rue en canyon à New-York
Source : commons.wikimedia.org

Une autre caractéristique du milieu urbain est la place relativement limitée de la végétation parmi les espaces artificialisés. Au milieu des bâtiments et des réseaux de transports, la végétation en ville prend différentes formes : l'alignement d'arbres ou de haies le long des routes, les parterres de fleurs des ronds-points, les jardins de particuliers individuels, les jardins publics ou les grands parcs urbains généralement situés en périphérie des agglomérations. De plus, on assiste à l'essor de toitures et les façades végétalisées, qui viennent s'ajouter à la végétation naturelle rencontrée en ville.

L'ensemble des conditions de vie urbaines actuelles perturbent le cadre de vie et la santé des habitants. En effet, le stress, l'inconfort, la fatigue, les allergies font partie des maux récurrents pour les citoyens. De plus, la pollution de l'air a un impact sanitaire non négligeable, allant jusqu'à la réduction de l'espérance de vie.

Il s'avère essentiel de réfléchir aujourd'hui aux caractéristiques de la ville de demain, afin d'améliorer la qualité de vie de ses habitants et leur offrir un environnement sain, confortable et durable.

Pour répondre à cette problématique, des recherches ont porté sur les effets de la végétation urbaine. Quels peuvent être les bénéfices des végétaux, de par leurs propriétés physico-chimiques, biologiques ou leur fonction paysagère ? La végétation urbaine constitue t'elle un axe de travail pertinent pour contribuer au développement de ville durable ?

Quelles sont les principales formes de végétation en ville ?

Les différentes formes de végétation en ville

Le terme de « nature en ville » désigne l'ensemble des espaces et ressources naturelles (espèces animales et végétales, eau) et les écosystèmes présents en milieu urbain. D'après la définition issue du Plan « Restaurer et valoriser la nature en ville », elle regroupe « l'air, l'eau, les sols, et le tissu vivant constitué de micro-organismes, faune, flore, milieux naturels et semi-naturels, agricoles et forestiers, squares, jardins, parcs urbains, toitures et murs végétalisés, etc. ». La nature comprend donc tout ce qui est vivant en milieu urbain, par opposition avec les composantes minérales de la ville.

Plus particulièrement, la végétation en ville prend des formes très diverses.

Afin de différencier ces formes, voici deux exemples de méthodes classifications des espaces verts extraits de la littérature scientifique² :

● Exemple de classification 1 :

- ◆ **Classe 1 : les espaces floraux** (espaces composés de massifs floraux, de jardinières et de suspensions florales) ;
- ◆ **Classe 2 : les espaces horticoles** (parcs et jardins, sites à fort décorum, comme les parties centrales des boulevards périphériques) ;
- ◆ **Classe 3 : les espaces verts urbains** (espaces collectifs publics plantés et engazonnés dans les lotissements et les accompagnements de voirie) ;
- ◆ **Classe 4 : les espaces extensifs** (grands espaces publics intermédiaires entre les espaces urbains et les espaces naturels où la flore locale est maintenue et préservée) ;
- ◆ **Classe 5 : les espaces naturels** (fourrés, haies bocagères, bois, prairies, bords de rivière, ruisseaux, lacs, mares et landes...)

● Exemple de classification 2 :

- ◆ **Classe 1 : espaces de « prestige »** : parterre

de fleurs en centre-ville, haies et massifs arbustifs soignés, parcs historiques...

- ◆ **Classe 2 : espaces à entretien soigné** : pelouses tondues régulièrement, fleurissement par plantes annuelles en taches à géométrie contrôlée, abords d'avenues...
- ◆ **Classe 3 : espaces à pratiques horticoles** : parcs de loisirs, de promenade, terrains d'entraînement...
- ◆ **Classe 4 : espaces à pratiques extensives** : espaces de jeux et de découverte, prairies, bosquets éclaircis...
- ◆ **Classe 5 : zones d'intervention limitée** : talus sub-naturels, abords de sentiers, promenade de sous-bois...
- ◆ **Classe 6** : zones de simple inventaire des milieux, pouvant être classées en **Zone Naturelle d'Intérêt Floristique et Faunistique** telles que les zones humides ou les ripisylves.

D'autres critères de classification peuvent également être cités :

- ◆ Les espaces publics / les espaces privés ;
- ◆ La taille des espaces verts ;
- ◆ La végétation sol / la végétation hors sol ;
- ◆ Les formes de végétation traditionnelles / les formes de végétation innovantes.

² Document 47 Espaces verts Energie d'avenir

Voici un panorama schématique et illustré des différents espaces de nature visibles en ville :



Source : commons.wikimedia.org

LES JARDINS PUBLICS

Espace public
Moyen à grand
Sol traditionnel



Source : fotolia

LES JARDINS D'HABITATION

Espace privé
Petit
Sol traditionnel



Source : commons.wikimedia.org

LES PARCS

Espace public
Moyen à grand
Sol traditionnel



Source : fotolia

LES PLANTATION D'ALIGNEMENT

Espace public
Ponctuel
Sol traditionnel



Source : commons.wikimedia.org

MURS VÉGÉTALISÉS

Espace privé ou public
Petit à moyen
Hors sol
Innovant



Source : fotolia

LES TOITS VÉGÉTALISÉS

Espace privé ou public
Petit
Hors sol
Innovant

La végétation : un acteur de premier plan dans la démarche « Ville durable »

Déjà cité précédemment, le plan « Restaurer et valoriser la nature en ville » s'inscrit dans la loi Grenelle I. Il répond à l'un des engagements pris par le Grenelle suite à la dégradation de l'environnement naturel et urbain : celui de « restaurer la nature en ville et ses fonctions multiples : anti-ruissellement, énergétique, thermique, sanitaire (eau, bruit, déchets), esthétique, psychologique ».

La problématique est abordée dans le plan selon trois axes stratégiques autour desquels sont déclinés des engagements et des actions :

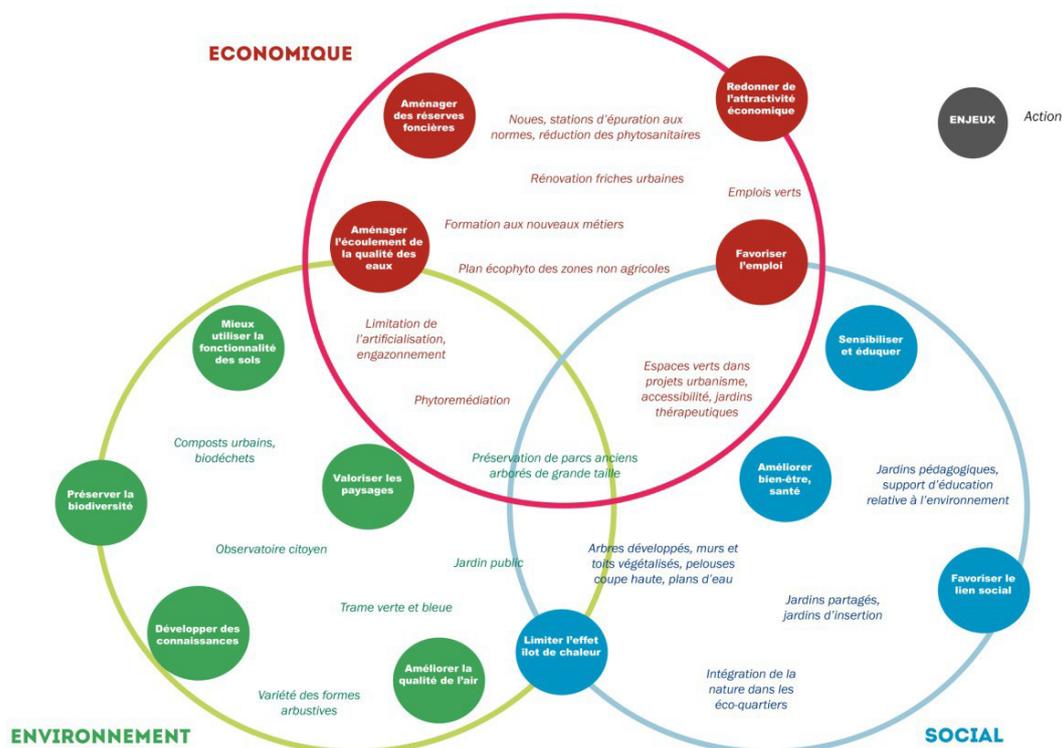
- ♦ Axe stratégique n°1 : ancrer la ville dans sa géographie et son milieu naturel ;
- ♦ Axe stratégique n°2 : développer les espaces de nature en quantité et en qualité ;
- ♦ Axe stratégique n°3 : promouvoir une culture et une gouvernance partagées.

Le plan a donc une vocation opérationnelle. Il est non réglementaire et s'appuie sur une démarche volontaire des acteurs de la ville et de la nature.

Ce plan constitue un volet transversal du plan « Ville durable ». Ce dernier a pour but de développer une nouvelle manière de penser,

concevoir, construire et faire évoluer la ville de demain. En effet, la notion de « ville durable » implique d'envisager les différents usages de la ville (transports, habitats, activités économiques, loisirs, etc) autour des finalités du développement durable, à savoir l'environnement, l'économie et le social. Ceci est possible en utilisant une approche intégrée de la ville en prenant en compte les principes de cohérence, d'amélioration continue, de gouvernance partagée et en respectant les exigences environnementales, économiques et sociales. Ainsi, la ville durable permettra d'apporter des solutions à la lutte contre le changement climatique, à la préservation des ressources naturelles, à l'économie sociale, à l'environnement, à la santé tout en réduisant les inégalités.

La végétation urbaine participe à la construction de cette ville durable en apportant différentes solutions répondant aux trois piliers du développement durable comme le présente le schéma suivant :



Source : Revue repères N°54, La Nature Urbaine, ressources pour une ville durable, juin 2010

Quels sont les effets de la végétation sur le climat ?

Les mécanismes d'actions

Les végétaux contribuent à rafraîchir l'air en milieu urbain en combinant les effets liés à leur ombre et leur évapotranspiration. L'ombre faite par la végétation permet de réduire la température de surface des éléments de structure et des bâtiments en diminuant la part d'énergie solaire qu'il perçoivent. L'évapotranspiration permet de rafraîchir l'air via l'évaporation de l'eau présente dans le sol et les végétaux ainsi que la transpiration au niveau des feuilles. Parmi la végétation, les arbres ont de plus la particularité d'intercepter directement le rayonnement solaire incident et de réfléchir le rayonnement émis par les surfaces environnantes.

De manière indirecte, la végétation permet également de d'atténuer l'effet de serre, grâce à la photosynthèse. Via ce mécanisme, le dioxyde de carbone (CO_2) est absorbé au niveau des feuilles des végétaux chlorophylliens, ce qui contribue à diminuer la concentration de ce GES dans l'air. Cependant, cet aspect est à modérer car les végétaux relâchent également du CO_2 lors de la respiration ou lors de leur coupe, leur tonte ou leur décomposition.

QUELQUES CHIFFRES ISSUS DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

A Valence, les températures relevées au sein des espaces verts s'avèrent plus fraîches de $2,5^\circ\text{C}$ par rapport aux températures maximales mesurées en ville.

A Montréal, la température des parcs urbains peut atteindre $2,5^\circ\text{C}$ de moins par rapport aux zones habitées environnantes.

A Tokyo, la température estivale moyenne varie de $1,6^\circ\text{C}$ entre les zones végétalisées et non végétalisées.

En Chine, l'étude de l'indice de végétalisation et des niveaux de température dans la ville de Pékin montre que plus la couverture végétalisée d'un espace est faible, plus la température y est élevée.



Les effets locaux

La végétation en ville peut donc influencer le microclimat urbain. Cependant, évaluer la réduction de température de l'air par les végétaux reste complexe car ceci dépend à la fois de la surface végétalisée et des surfaces environnantes. En effet, différents facteurs viennent moduler les effets de la végétation sur le climat.



10

C'est l'ombrage apporté par les houppiers et les troncs des arbres qui est prédominant dans l'effet de rafraîchissement.

Cependant, l'évapotranspiration de la végétation herbacée exerce une influence complémentaire en abaissant les températures dans les espaces verts non ombragés.

De plus, la superficie de végétation doit aussi être intégrée car l'ampleur des effets de la végétation est fonction de l'échelle des surfaces végétales et des espaces entre celles-ci. Toutefois, le rayon d'action reste principalement local. De plus, il semblerait que des petites surfaces suffisamment espacées (environ 200 m selon les études) offrent aussi un rafraîchissement efficace.

En conclusion, la circulation de l'air frais dégagé par les surfaces vertes est facilitée en jouant sur la diversité de la végétation telle que les arbres, les arbustes ou les pelouses ainsi qu'en jouant sur la disposition des différents types de végétation.

QUELQUES CHIFFRES ISSUS DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

L'effet notable d'un parc de 500 ha à Mexico s'étend sur un rayon de 2 km et celui d'une superficie de 35 ha au Japon est perceptible jusqu'à 1 km.

En Israël, les effets d'un parc de 50 ares sont estimés sur un rayon de 20 à 150 m.

L'aménagement entre aussi en jeu dans la régulation des températures urbaines notamment l'albédo des surfaces et des matériaux. Pour mémoire, l'albédo correspond au rapport entre la quantité d'énergie solaire réfléchi et la quantité d'énergie solaire reçue.

Ainsi, la stratégie la plus efficace pour rafraîchir le climat urbain est celle qui allie l'augmentation de l'albédo des surfaces à l'augmentation de la couverture végétale. L'impact de la forme des bâtiments et de leur organisation est également à prendre en compte : ainsi, la stagnation des masses d'air chaud locales est favorisée dans les rues encaissées qui sont étroites et délimitées par de hauts bâtiments.

D'autres formes de végétation telles que les toitures et les murs végétalisés contribuent à l'atténuation des îlots de chaleur urbains. Par exemple, l'implantation de toitures végétalisés augmente l'albédo du toit des bâtiments et limite l'énergie emmagasinée par ceux-ci. De plus, elles permettent aussi de réduire les dépenses énergétiques liées à la climatisation des bâtiments.

L'effet des toits et murs végétalisés varie en fonction du type de climat : plus il est chaud et sec, plus l'effet sera important. Il semble que les murs végétaux aient un effet rafraîchissant plus important que les toits végétalisés dans les rues encaissées. Mais le rafraîchissement maximal de l'air dans ces rues comme sur les toits des bâtiments adjacents est obtenu en végétalisant les toitures et les murs.

Les végétations grimpantes, en agissant comme des dispositifs « d'ombrage biologique », peuvent également atténuer les îlots de chaleur urbains. La végétalisation des façades a un impact sur la température de l'air extérieur et agit comme un isolant thermique, ce qui régule la température à l'intérieur des bâtiments. Elle diminue la réduction des dépenses énergétiques liées à la climatisation en été ou au chauffage en hiver. De même, les haies d'arbres réduisent la pénétration du vent à l'intérieur du bâtiment permettant ainsi des économies de chauffage en réduisant le taux d'infiltration de l'air extérieur.

QUELQUES CHIFFRES ISSUS DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

Le rafraîchissement de l'air par les plantes grimpantes (telles que la vigne ou le lierre) atténue de 4 à 6°C les pics de température estivaux au niveau des façades permettant le rafraîchissement de l'intérieur du bâtiment.

La baisse des coûts de climatisation en été a été estimée de 3 à 5% pour une augmentation de la surface végétalisée en centre-ville par un facteur de 0,065 sous des latitudes moyennes.

QUELQUES CHIFFRES ISSUS DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

L'installation d'une toiture végétalisée à la place d'un toit classique ou d'un revêtement noir fait économiser 40 à 110 % de l'énergie consacrée au refroidissement ou au chauffage des bâtiments.

Les impacts sur l'effet de serre

A une échelle plus globale, la végétation contribue à lutter contre le changement climatique en captant le dioxyde de carbone. Ainsi, de grandes quantités de végétation, comme les forêts aux abords des villes, peuvent agir comme des puits de CO₂.

C'est la photosynthèse qui a lieu au niveau des feuilles qui permet de stocker du carbone grâce à l'absorption du CO₂. Cela est donc vrai tant qu'il y a des feuilles et est contrebalancé par la respiration.

Le taux annuel de séquestration du CO₂ varie en fonction de l'espèce considérée, de l'âge de l'arbre, de sa hauteur et de son diamètre à hauteur d'homme. Il est conditionné par de nombreux facteurs environnementaux dont la pollution de l'air et par les facteurs impactant la photosynthèse : lumière, disponibilité en eau...

Il existe quelques logiciels et outils méthodologiques pour calculer les quantités de dioxyde de carbone séquestrées par les arbres.

QUELQUES CHIFFRES ISSUS DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

Le programme « MillionTreesNYC » visant à planter 1 million d'arbres dans la ville de New-York, en plantant chaque année 100 000 arbres sur une période de 10 ans, amènerait, selon les calculs, à capter 15kg de CO₂/arbre/an, soit 1 500 tonnes de CO₂/an.

Exemple de taux de séquestration de CO₂ en fonction de l'espèce, la hauteur, le diamètre et l'âge de l'arbre :

- ➔ Peuplier hybride (Robusta X Siouxland) de 20m de haut de 33 ans : 29,6kg/an ;
- ➔ Pin blanc de 13,6m de haut et de 34 ans : 15,2kg/an ;
- ➔ Frêne vert de 11m de haut : 10,8 kg/an.



A NOTER

Si la nature en ville apporte des réponses à certains enjeux de développement, il est important de prendre en considération **les limites et contraintes** nécessaires à son bon développement dans la planification de la végétation. En effet, **le milieu urbain** demeure un **environnement stressant** pour les végétaux, leur durée de vie est plus faible en ville et diffère selon la zone où ils sont implantés. De plus, les végétaux respirent également, ce qui entraîne des émissions de CO₂. Enfin, le **coût de mise en place et d'entretien de la végétation** peut également un frein à la mise en place d'une politique d'augmentation de la végétation en ville.



Quels sont les effets de la végétation sur la qualité de l'air ?

Les mécanismes d'actions

■ Les composés gazeux

Les polluants gazeux pénètrent dans les feuilles via les stomates³. Les polluants peuvent ensuite pénétrer au sein des cellules pour y être métabolisés.

Les végétaux sont ainsi capables d'absorber et dégrader certains composés organiques comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

L'entrée des polluants peut être influencée par l'action de différents paramètres sur le fonctionnement du stomate : le vent, la

température, l'humidité, la lumière mais aussi la nature, les propriétés physico-chimiques et la toxicité des polluants. De plus, les paramètres liés aux végétaux interviennent également comme l'espèce végétale, l'âge de la plante ou encore la densité stomatique, le stade physiologique et l'état sanitaire de la plante.

■ Les particules

Les particules présentes dans l'air sont fortement interceptées par les feuilles des arbres. La majorité reste retenue à la surface grâce à la rugosité des feuilles. La dimension de ces particules collectées varie de moins de 1 μ à une cinquantaine de microns. Elles peuvent ensuite être remises en suspension dans l'air, lessivées par la pluie ou retomber au sol avec la chute des feuilles. Une certaine quantité peut également pénétrer au sein des tissus au travers de la cuticule ou de blessures, suivant leur solubilité dans l'eau, éventuellement via les stomates.

Les facteurs et influençant le piégeage des particules, sont identiques à ceux agissant sur le

fonctionnement des stomates à l'exception de la densité stomatique. En outre, la structure de la surface foliaire (rugosité et pilosité), l'épaisseur et la composition de la cuticule⁴ influencent également le piégeage des particules.

³ *Stomate : orifice situé à la surface des feuilles des végétaux, qui intervient dans les processus de respiration, photosynthèse et transpiration de la plante.*

⁴ *Cuticule : couche lipidique formée de cutine et de cires présente à la surface des feuilles.*

Le piégeage des polluants gazeux

Ne seront abordés dans cette partie que les principaux polluants gazeux pour lesquels la France dépasse régulièrement les seuils réglementaires à savoir les oxydes d'azote et l'ozone.

■ Les oxydes d'azote

Grâce aux stomates présents à la surface de la plante, le dioxyde d'azote (NO_2) peut pénétrer dans les plantes et être métabolisé.

Toutefois, les différentes espèces végétales ne possèdent pas toutes le même potentiel d'assimilation du NO_2 , ni la même affinité pour celui-ci. D'après différents travaux, les arbres à feuilles caduques auraient une plus forte capacité d'assimilation du NO_2 .

Les légumineuses, dont font partie le robinier faux acacia ou le trèfle, présentent un intérêt particulier lié à leur capacité à former une symbiose avec des bactéries du sol du genre *Rhizobium*. Grâce à celles-ci, ces végétaux sont ainsi capables d'utiliser l'azote du NO_2 piégé pour fabriquer leurs propres composés organiques azotés.

En effet, cette association symbiotique confère aux légumineuses la capacité de fixer l'azote de l'air au sein de nodules racinaires, les bactéries permettant de réduire l'azote atmosphérique en ammonium, directement assimilable par les plantes. Notons que dans ce cas, le piégeage se fait au niveau des racines et non des feuilles.

CE QUE DIT LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

*Des tests de fumigation en laboratoire sur plus de 200 espèces végétales (herbacées sauvages, cultivées, arbustes et arbres) ont permis de classer **le magnolia de Kobé, le gommier blanc et le peuplier noir** parmi les espèces à forte capacité d'assimilation pour le NO_2 , qui, selon les auteurs, sont de ce fait adaptées pour une implantation dans les espaces verts près des routes.*

■ L'ozone

D'après certaines études par modélisation, les arbres et notamment les forêts en périphérie des villes permettraient une diminution des concentrations en ozone dans l'air.

Cependant, l'ozone (O_3) est un composé difficile à étudier car son cycle de formation/destruction est très complexe. Par ailleurs, c'est un composé phytotoxique, qui induit un stress oxydant dans les feuilles des végétaux. Ceci pose donc la question de l'effet à long terme des dommages provoqués par l'ozone sur les structures foliaires

et le métabolisme des arbres et donc de la pérennité de leur capacité potentielle à fixer ce polluant.

En outre, les arbres sont aussi des émetteurs composés organiques volatils (COV) comme les terpènes, en quantité variable selon l'espèce. Ces COV étant des précurseurs de l'ozone, les espèces les plus émettrices auront donc tendance à favoriser la formation de celui-ci.

Le piégeage des particules

Le piégeage des particules au sein des végétaux se fait différemment de celui des polluants gazeux. Les particules dans l'air peuvent être absorbées par la végétation mais elles sont majoritairement retenues en surface puis remises en suspension, lessivées par la pluie ou tombent au sol avec les feuilles. La végétation est alors un site de rétention temporaire.

■ Les grosses particules et PM10

D'après les études menées, la quantité de particules dont le diamètre est inférieur à 10 microns (PM10) captées par les arbres et arbustes varie en fonction de différents paramètres comme l'espèce végétale, leur position et leur implantation dans l'environnement. Les différentes hypothèses formulées sont les suivantes :

- ◆ Les espèces possédant une importante surface totale de feuillage auraient un potentiel plus important pour piéger les particules PM10.
- ◆ Les conifères seraient plus efficaces pour l'accumulation des particules grâce à leur grande surface de dépôt et leur surface foliaire plus adhésive que les feuillus.
- ◆ L'accessibilité du feuillage et l'espace entre les arbres sont aussi des critères importants. Ainsi, les arbres isolés ou suffisamment espacés des autres sont plus efficaces pour l'accumulation des particules par rapport aux arbres des forêts urbaines. Il est par exemple recommandé de ne pas espacer les arbres de moins de 5 mètres notamment dans les alignements d'arbres.
- ◆ Dans certains cas, des arbres trop densément plantés peuvent altérer l'écoulement de l'air, ce qui concentre la pollution. Ce peut être le cas par exemple dans les rues encaissées mal ventilées.

CE QUE DIT LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

Les conifères (pin, cyprès, épicéa) apparaissent plus efficaces que les feuillus (érable, peuplier et alisier blanc) pour l'accumulation des particules PM10.

De plus, leurs aiguilles persistent toute l'année contrairement aux feuillus qui perdent leurs feuilles durant l'hiver.

Les toitures végétalisées peuvent également contribuer au piégeage des particules atmosphériques. L'efficacité d'accumulation par les toitures végétalisées varie en fonction des espèces présentes mais aussi de la concentration en polluants, des conditions météorologiques et de la croissance des plantes. Ainsi, l'accumulation sera plus importante au printemps-été au moment où les feuilles des plantes sont complètement développées, période fréquemment corrélée avec les hauts niveaux de pollution.

A NOTER

Quelle que soit la localisation des arbres, ils n'élimineront pas complètement les particules. Ces dernières peuvent s'accumuler par retombée dans le sol sous l'arbre posant ainsi la question de l'utilisation future des sols. De la même

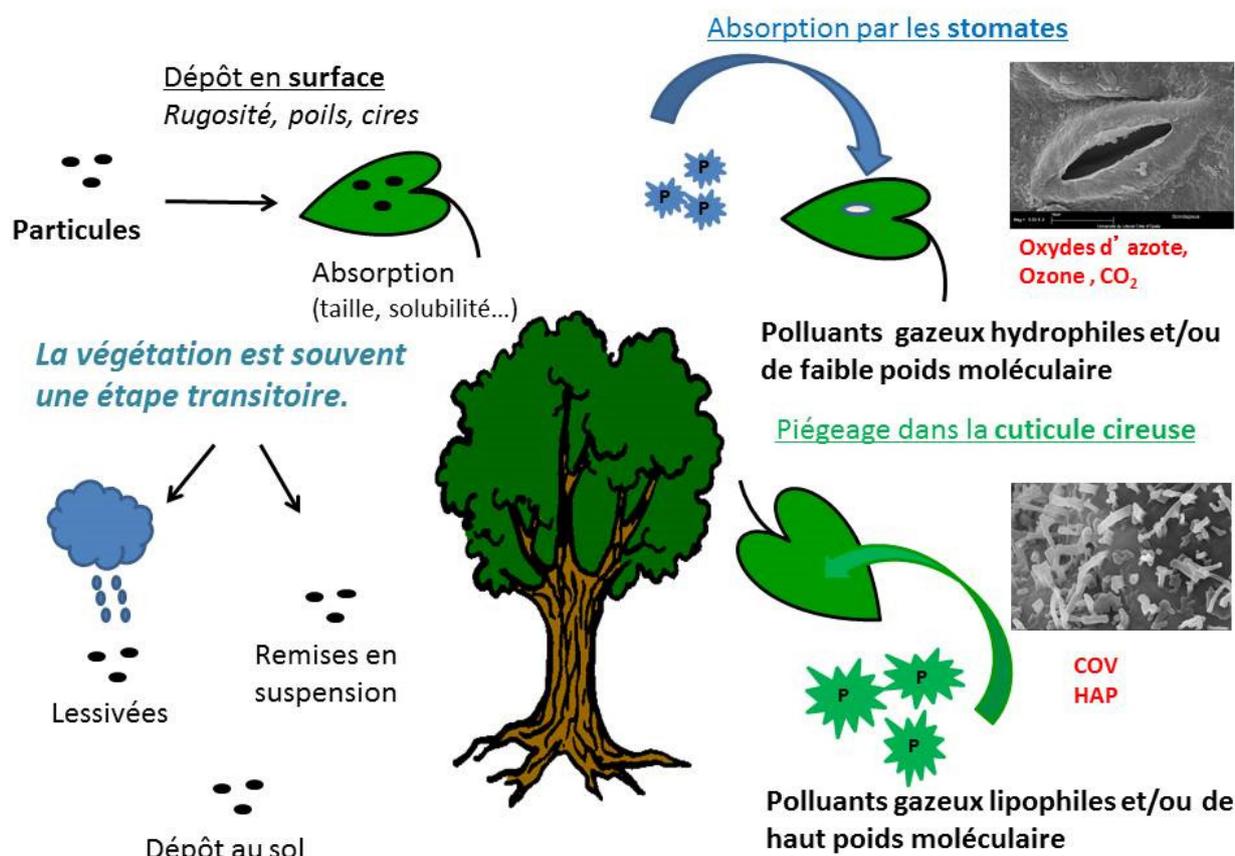
manière, il est nécessaire de prendre en compte les dommages éventuels provoqués par les particules sur les arbres : abrasion, occlusion des stomates des feuilles, formation d'une croûte de particules en surface des feuilles pouvant perturber les mécanismes physiologiques tels que le débourrement des bourgeons, la pollinisation ou l'absorption de lumière.

■ Les particules fines et ultrafines en milieu urbain

Il existe un certain nombre de publications sur le piégeage des particules de diamètre inférieur à $10\ \mu$ (PM 10), mais beaucoup moins sur les particules plus fines (PM 2,5, PM 1).

Outre les arbres, les plantes grimpantes sur les façades, comme le lierre, sembleraient capables de piéger les particules plus fines avec un bon rendement. Les toitures végétalisées notamment avec des herbacées peuvent aussi jouer un rôle complémentaire.

Voici un schéma récapitulatif des mécanismes de piégeage des polluants gazeux et particulaires par les végétaux.



Mécanismes d'interactions entre les plantes et les polluants.

CE QUE DIT LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

Selon les études menées, l'efficacité des toitures végétales sur l'élimination des polluants atmosphériques serait moindre par rapport aux arbres et arbustes. Elles peuvent néanmoins jouer un rôle complémentaire dans l'amélioration de la qualité de l'air. De plus, il s'agit d'un bon moyen pour augmenter le couvert végétal urbain car il existe peu de places et de disponibilités pour l'implantation des végétaux au vu de la superficie imperméabilisée. Cependant, la mise en place de toitures végétales représente un coût supérieur à l'implantation d'arbres.

En supplément de la végétation, d'autres paramètres peuvent influencer la qualité de l'air en ville :

- ♦ La topographie des lieux notamment l'arrangement et la disposition des rues

et des bâtiments, qui jouent un rôle sur la dispersion des polluants

- ♦ Le trafic routier et la composition du parc automobile
- ♦ La direction des vents.

A NOTER

Dans certains cas, selon leur densité de plantation et leur morphologie, les arbres peuvent altérer l'écoulement de l'air, ce qui freine la dispersion des polluants et entraînerait même une augmentation des polluants, qui se concentrent donc à certains endroits. Ce peut être par exemple le cas dans des rues encaissées.

Bien qu'elle puisse contribuer à améliorer la qualité de l'air, la végétation présente aussi des aspects négatifs tels que l'émission de COV qui sera plus ou moins importante selon l'espèce d'arbres. En plus de ces émissions, il faut considérer celles de CO₂ et de méthane liées à la décomposition de la biomasse végétale.

Enfin, il est nécessaire de privilégier les espèces les moins invasives et non allergisantes dans l'aménagement des espaces verts ou la plantation d'alignement d'arbres en ville.

Quels sont les effets de la végétation sur la santé ?

L'état sanitaire d'une personne est défini selon différents critères : sa santé physique, sa santé mentale et le confort de son environnement. D'après différentes études, la végétation apporte des effets, généralement bénéfiques, sur chacun de ces aspects.

La santé physique

■ Santé physique globale

Les habitants de milieux urbains pourvus d'espaces verts ont une meilleure santé physique globale. En effet, ils déclareraient moins de problèmes de santé. Tous les types de végétation semblent efficaces pour cette amélioration, l'important étant la quantité globale d'espaces verts et non pas la diversité des espèces végétales. La perception de la différence entre bâti et végétation est supérieure à celle entre les différents types de végétation. Cette meilleure santé physique apparaît d'ailleurs de façon plus marquée chez les groupes de personnes

sensibles telles que les femmes enceintes ou les personnes âgées.

Ainsi, la relation entre espaces verts et indicateurs de santé est la plus forte pour les groupes socio-économiques les moins favorisés. Ces personnes peuvent compenser un mode de vie moins bon par un environnement local agréable offrant des loisirs extérieurs.

■ Santé physique et qualité de l'air

La qualité de l'air est fortement liée à la pollution atmosphérique. Comme vu précédemment, la végétation peut contribuer à réduire la pollution. Les espaces de nature ont donc indirectement un effet thérapeutique pour les personnes atteintes de maladies respiratoires ou les personnes sensibles pour qui la pollution atmosphérique est un facteur de risque sanitaire. Concernant plus particulièrement les enfants, des études ont montré que la présence d'arbres en ville peut même prévenir l'asthme précoce et donc réduire sa prévalence.

Toutefois, certaines espèces végétales peuvent s'avérer nocives pour les personnes allergiques au pollen (bouleau, graminées ambrosie...). Les allergies respiratoires peuvent provoquer des symptômes tels que des rhinites ou des

conjonctives, mais aussi des crises d'asthme. De façon générale, la qualité de vie des personnes allergiques est considérablement altérée : troubles du sommeil, altération de la vigilance, restriction des activités courantes... Des allergies cutanées peuvent également se manifester par des dermatites suite à un contact entre la peau et les plantes toxiques.

Pour que la végétation en ville n'ait pas d'impact négatif sur la santé respiratoire, il faut donc procéder à une analyse intégrée des impacts dans le choix des espèces végétales.

A NOTER

Si la végétation a les capacités de réduire la pollution atmosphérique, elle peut aussi l'aggraver par le biais d'espèces végétales émettrices de COV tels que les isoprènes, les monoterpènes ... Ces COV d'origine biogénique, tout comme l'ozone qu'ils contribuent à former, entrent dans la composition du « SMOG photochimique », mélange de polluants gazeux et de particules fines secondaires néfaste pour les voies respiratoires.

Par ailleurs, les citadins représentent une population plus sensible aux allergies car leur organisme est fragilisé par la pollution atmosphérique et leur système immunitaire est moins stimulé que les ruraux vivant en contact direct avec ces végétaux. De plus, sous l'effet du stress qu'ils subissent, la quantité de pollens produits par les végétaux serait plus importante en milieu urbain.

Enfin, la présence de végétation est intimement liée à la présence d'eau. Or, les réservoirs d'eau stagnante sont propices à la prolifération du moustique tigre, vecteur de maladies comme la dengue et du chikungunya, dont des cas autochtones ont été observés dans le sud est

■ Pratique des activités physiques

Les espaces verts permettent aux citadins de pratiquer des activités physiques en plein air, de manière spontanée ou sans une importante organisation préalable, comme du vélo ou de la course à pied. Accroître l'attractivité et le nombre d'espaces verts de proximité serait bénéfique pour l'activité physique des citadins et pour les bienfaits sanitaires associés tels que la baisse de la pression artérielle ou de l'obésité, qui touche particulièrement les enfants. Aménager des espaces verts leur permettrait de passer plus de temps dehors et de s'y dépenser, diminuant ainsi la prévalence de l'obésité.

QUELQUES CHIFFRES ISSUS DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

Concernant le surpoids et l'obésité, une étude a montré que, l'activité physique augmentait de 27 minutes et la prévalence du surpoids chutait de 41 % à 27 % chez les enfants de 0 à 12 ans qui passaient chaque semaine une heure en plus dehors.

La santé mentale

■ Le bien-être psychologique

L'implantation de végétation en milieu urbain a une incidence psychologique positive. Elle permet détente, apaisement et méditation. Ces bénéfices sont notamment visibles chez des personnes malades, pour qui la végétation semble réduire la douleur et permet une récupération plus rapide.

Le contact ou la vue de végétation permettent également de mieux récupérer de la fatigue mentale pouvant provoquer des sensations d'anxiété ou de stress, d'irritabilité ou des difficultés de concentration. Il a notamment été montré que la proximité d'espaces verts ou leur vue permet d'améliorer le bien-être sur le lieu de travail en diminuant l'incidence des maux de têtes chez les salariés.

Ces bénéfices psychologiques seraient augmentés par la biodiversité et la richesse des espaces verts, à condition que les citoyens puissent percevoir cette diversité. Ainsi, il est conseillé d'agir en priorité sur les taxons les plus représentatifs, c'est-à-dire les plantes et les oiseaux.

En tant qu'élément esthétique, la végétation améliore aussi le bien-être mental en atténuant

une pollution visuelle causée par le bâti ou en mettant en valeur une architecture remarquable.

Selon certaines études, les espaces verts tendraient également à augmenter les capacités et l'efficacité générale des individus. Ils permettraient d'affronter les problèmes de la vie de façon plus sereine, tels que des situations de pauvreté, en trouvant des ressources psychologiques.

La végétation améliorerait aussi la santé mentale chez les enfants atteints de troubles de l'hyperactivité. Ceux-ci seraient plus attentifs et concentrés après des activités en plein air dans des espaces urbains végétalisés. Une fréquentation régulière et d'une durée suffisante pourraient ainsi être une réponse alternative aux médicaments pour les enfants hyperactifs.

QUELQUES CHIFFRES ISSUS DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

Concernant le bien-être, une étude a été réalisée chez des personnes hospitalisées après une opération chirurgicale. Elle a montré que les patients situés dans une chambre avec une vue sur un espace végétalisé ont besoin de moins d'antidouleurs et sortent en moyenne une journée plus tôt que les patients ayant une fenêtre donnant sur un mur en briques.



Le confort

Au-delà de la santé physique et mentale, l'état sanitaire d'une personne résulte du confort qu'elle ressent dans son environnement.

■ Le confort thermique

Comme vu précédemment, la végétation contribue à réguler les températures en ville et phénomènes d'« îlots de chaleur urbains ». Elle participe ainsi à préserver l'état sanitaire des citoyens en limitant les stress thermiques qu'ils subissent. En effet, les fortes chaleurs peuvent provoquer : inconforts, faiblesses, troubles de la conscience, crampes, syncopes, coups de chaleur...Elles peuvent également aggraver des maladies préexistantes comme le diabète, l'insuffisance

respiratoire, les maladies cardio-vasculaires, cérébro-vasculaires, neurologiques et rénales. La végétation contribue donc au bien-être et à la santé de la population, notamment des personnes âgées, qui sont davantage prédisposées à des troubles liés à la chaleur en raison des changements physiologiques associés au vieillissement.

■ Le confort phonique

Le bruit est la première nuisance citée par les citoyens français. Or, le niveau sonore moyen a augmenté ces dernières années. La végétation est une solution à ce problème puisque les feuilles plus ou moins poreuses peuvent faire office d'obstacle en absorbant, réfléchissant ou réfractant le bruit. Elle influe également sur l'absorption du bruit par le sol. De plus, les bruits liés à la nature en ville (faune et flore), tels que les chants d'oiseaux ou le bruissement des feuilles

contribuent à masquer la pollution sonore liées aux activités urbaines.

L'utilisation de toitures végétalisées apporte également une isolation phonique, effet variable selon la teneur en eau et l'épaisseur du substrat.

■ Protection contre les conditions climatiques

Le couvert végétal, notamment arboré, protège contre certaines conditions climatiques : il évite l'éblouissement contre le soleil et retient une grande part des précipitations grâce à ses

feuilles. Il diminue également la vitesse des vents en faisant obstacle aux déplacements de l'air. Ceci contribue donc à un micro climat plus agréable pour les citoyens.



Quels sont les effets de la végétation sur la vie sociale ?

La présence de végétation urbaine permet de favoriser la vie sociale des citoyens. Ces bénéfices sociaux liés à la nature en ville diffèrent en fonction de la forme de végétation en place.

Créer du lien social

Afin de créer des liens sociaux, la végétation peut prendre la forme de jardins en ville ou d'espaces verts tels que des parcs ou des squares.

Ces jardins en ville peuvent être de différentes

natures. A ce jour, il est possible d'en distinguer 3 :

- ◆ Les jardins « familiaux » ;
- ◆ Les jardins partagés ;
- ◆ Les jardins d'insertion sociale et professionnelle.

■ Les jardins familiaux

Les jardins « familiaux », héritiers des jardins « ouvriers », sont des parcelles mises à disposition des personnes souhaitant cultiver la terre pour leur propre consommation. Ce type d'accès à la végétation offre un échange entre les propriétaires de parcelles sur leur savoir-faire et leur matériel végétal. Ces jardins peuvent également renforcer les liens intergénérationnels au sein des familles. Des prix régionaux du label des Villes et Villages Fleuris sont même instaurés afin de promouvoir ces initiatives.



Jardins familiaux à Saint Cloud - Source : commons.wikimedia.org

■ Les jardins partagés

Les jardins partagés sont une forme de jardins plus urbaine et récente, inspirés par les « community gardens » de New York. Ce concept a été porté dans les années 90 par le réseau national Jardin dans Tous Ses Etats. Il s'agit de jardins communautaires, ouverts au public, et entretenus collectivement par les habitants d'un quartier de manière écologique. Ces jardins sont des espaces de convivialité, de solidarité entre citoyens, d'animation d'un quartier et parti-

cipent ainsi à la création de lien social. Ce sont également des lieux de dialogue entre cultures et entre générations.

Pour être accessibles au public, ils doivent répondre à une logique de proximité par rapport aux habitats denses, et s'insérer sur des espaces publics. Ils peuvent également occuper des friches urbaines, ce qui favorise également la revalorisation de l'espace.



Jardins communautaires - Source : commons.wikimedia.org

■ Les jardins d'insertion sociale et professionnelle

Ce type de jardins met l'accent sur le sentiment de citoyenneté en s'adressant à une population défavorisée. En effet, ils s'adressent aux personnes de tous âges en situation précaire, les aidant ainsi à se réinsérer dans la vie professionnelle tout en pratiquant une activité valorisante. Des partenaires sociaux du secteur de l'insertion et du secteur agricole sont généralement acteurs de ce type de projets.

Il est également possible d'observer en ville des jardins pédagogiques qui répondent davantage à un enjeu de sensibilisation et d'éducation de la population, notamment du jeune public.

Les espaces verts urbains représentent également des lieux d'échanges entre citoyens permettant discussions et rencontres. Ils présentent

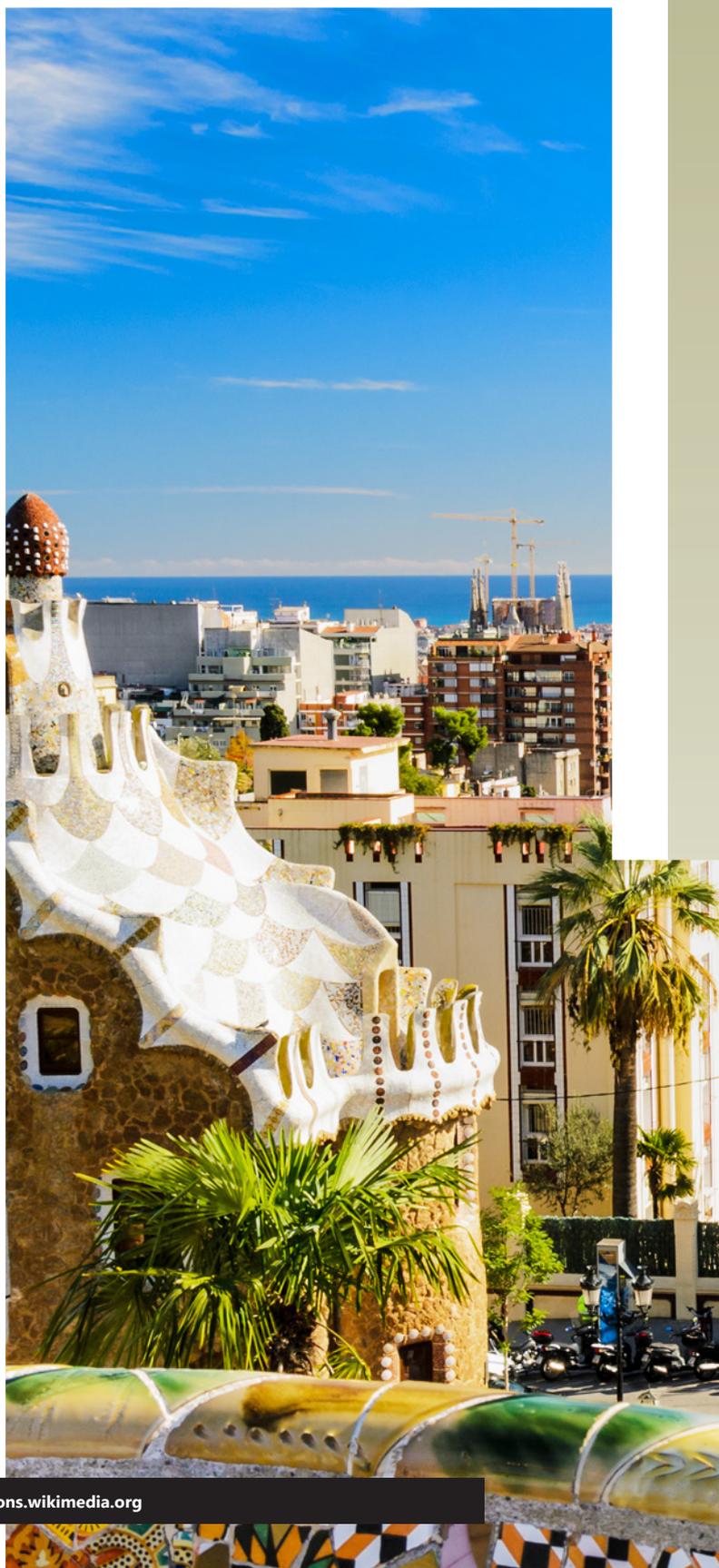
un potentiel de socialisation plus important que les espaces urbains non végétalisés de par une fréquentation accrue. Les parcs en ville sembleraient être aussi un élément favorisant la mixité sociale car ils permettraient de créer des liens d'amitié entre enfants et jeunes de différentes cultures.

Cependant, la végétation peut aussi avoir un effet inverse et devenir une barrière sociale. Cette situation résulte, dans les parcs, d'un marquage social voire d'une appropriation des lieux par des riverains usagers ou des groupes de personnes, telles que des adolescents, des personnes âgées ou des minorités ethniques. Ceci crée une pression sociale sur les autres visiteurs allant jusqu'à les exclure des lieux.

Améliorer la sécurité urbaine

La végétation peut venir améliorer la sécurité en ville en influençant les incivilités, la criminalité et la violence. Concernant les incivilités et les actes criminels, les quartiers les plus végétalisés, correspondant généralement à des espaces entretenus et chers aux habitants, sont moins touchés par des actes malveillants tels que les tags, les graffitis ou des agissements plus graves. Les espaces végétalisés induisent en effet une surveillance accrue même si celle-ci est informelle. Les individus mal attentionnés peuvent alors y être aisément remarqués. L'entretien des espaces inspire également une notion de respect et de règles.

Concernant la violence, les espaces urbains végétalisés tempéreraient certains précurseurs psychologiques induisant ce comportement. Ils permettraient ainsi de contrôler les attitudes agressives et de résoudre les conflits de façon plus constructive et aisée.



Barcelone - Source : commons.wikimedia.org

A NOTER

Si le développement d'espaces verts est bénéfique pour la santé physique, il faut être particulièrement vigilant notamment en ce qui concerne leur entretien. En effet, le mauvais entretien de ces zones peut favoriser la prolifération d'espèces animales nuisibles car vectrices de maladies pour l'homme à cause des germes, bactéries, parasites ou virus qu'elles transportent. Chaque zone géographique présente ses propres spécificités concernant les espèces nuisibles : pigeons, rongeurs, renards, oiseaux ou moustiques. Le développement des espaces verts doit donc se faire parallèlement à une réflexion sur les potentielles espèces nuisibles.

De plus, un sentiment d'insécurité peut être provoqué par des espaces verts mal entretenus, à l'aspect sauvage.

Ce sentiment survient particulièrement la nuit dans les espaces verts ou à proximité lorsque la densité de la végétation, notamment celles des arbres, cache la vue et peut donc abriter une activité malveillante. L'entretien et l'éclairage des espaces, plus précisément des sentiers ne doivent donc pas être négligés.

L'utilisation de phytosanitaires doit également être un point de vigilance car l'exposition à ces produits met en danger la santé humaine et l'environnement. Cela peut se traduire par des problèmes de santé à plus ou moins long terme comme des atteintes neurologiques ou immunitaires, des cancers ou des problèmes de fertilité.



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akbari H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO₂ emissions from power plants, *Environmental Pollution*, 116, Supplement 1, p. S119-S126.
- Alexandrii E. et Jones P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates, *Building and Environment*, 43, Issue 4, p. 480-493.
- Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H., Taylor, G. (2000). Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed, *Global Change Biology*, 6, p. 995-1003.
- Brunson L. (1999). Resident appropriation of defensible space in public housing: Implications for safety and community. Unpublished Doctoral Dissertation, University of Illinois, Urbana-Champaign, IL.
- Clark C., Talbot B., Bulkley J., Adriaens P. (2005). Optimization of green roofs for air pollution mitigation. In: Proc. of 3rd North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities, Washington, DC. 4 au 6 mai 2005. The Cardinal Group, Toronto.
- Cleland V., Crawford D., Baur LA, Hume C, Tomperio A, Salmon J. (2008). A prospective examination of children's time spent outdoors, objectively measured physical activity and overweight. *Int J Obes* 2008;32:1685-93.
- De Vries S, Verheij R. A. (2003). Natural environments - healthy environments ? An exploratory analysis of the relationship between greenspace and health. *Environment and Planning*, vol. 35, n° 10, p. 1717-1731, 15 p.
- Desbiens E., (1987). Ministère de l'environnement du Québec-Direction du patrimoine écologique, Manuel de foresterie urbaine : la gestion des arbres et des espaces boisés dans les municipalités du Québec, Collection Les Guides Verts.
- Dimoudi A., Nikolopoulou M. (2003). Vegetation in the urban environment: microclimate analysis and benefits, *Energy Build*, 35, p. 69-76.
- Donovan R.G. (2003). The development of an urban tree air quality score (UTAQS) and its application in a case study. Ph.D. Thesis, Department of Environmental Sciences, Lancaster University, Lancaster.
- Freer-Smith P.H., Beckett K.P., Taylor G. (2005). Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides* x *trichocarpa* 'Beaupré', *Pinus nigra* and *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment, *Environmental Pollution*, 133, Issue 1, January 2005, p.157-167.
- Fuller .R.A., Irvine K.N., Devine Wright P., Warren P.H., Gaston K.J. (2007). Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity, *Biology Letters* (2007) 3, 390-394 doi:10.1098/rsbl.2007.0149
- Ip K., Lam M., Miller A. (2010). Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy, *Building and Environment*, Volume 45, Issue 1, p.81-88.
- Jo H.-K. et McPherson E.G. (2001). Indirect carbon reduction by residential vegetation and planting strategies in Chicago, USA, *Journal of Environmental Management*, 61, Issue 2, p.165-177.
- Johnston J. et Newton J. (2004). Building Green- A guide to using plants on roofs, walls and pavements - Greater London Authority - Mai 2004- ISBN 1 85261 637.
- Kaplan R. et S. (1989). *The Experience of Nature: A Psychological Perspective*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kuo F.E. (2001). Coping with poverty Impacts of environment and attention in the inner city, *Environment and behaviour*, Vol. 33 No. 1, January 2001 5-34 2001.
- Kuo F.E. (2003). The role of arboriculture in a healthy social ecology. *Journal of arboriculture* 29(3), may 2003.
- Kuo, F. E., Faber Taylor, A. (2004). A potential natural-treatment for attention deficit/hyperactivity disorder: evidence from a national study. *American journal of public health*, septembre 2004, vol. 94, n° 9, p. 1580-1586, 7 p.
- Lambin E. (2009) ; Une écologie du bonheur, 350p.
- Lessard G., 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.
- Mc Donald A.G. , Bealey W.J., Fowler D., Dragosits U., Skiba U., Smith R.I., Donovan R.G., Brett H.E., Hewitt C.N., Nemitz E. (2007). Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM₁₀ in two UK conurbations, *Atmospheric Environment*, 41, Issue 38, p.8455-8467.
- Morani A., Nowak D.J., Hirabayashi S., Calfapietra C. (2011). How to select the best tree planting locations to enhance air pollution removal in the MillionTrees NYC initiative, *Environmental Pollution*, 159, Issue 5, p. 1040-1047.
- Potwarka L.R., Kaczynski AT, Flack A.L. (2008). Places to play: Association of park space and facilities with healthy weight status among children. *J Community Health* 2008;33:344-50.

- Rosenfeld A.H., Akbari H., Bretz S., Fishman B.L., Kurn D.M., Sailor D., Taha H. (1995). Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates, *Journal of Energy and Buildings*, 22, p.255–265.
-
- Sailor D.J.(1998). Simulations of annual degree day impacts of urban vegetative augmentation, *Atmospheric Environment*, 32, Issue 1, p.43-52.
-
- Scherer D. (2007). Améliorer le climat urbain grâce aux petits espaces verts. Communiqué de presse de l'Université Technique de Berlin,
- Seeland K., Dubendorfers S. et Hansmann R. (2008), Making friends in Zurich's urban forests and parks: The role of public green space for social inclusion of youths from different cultures, *Forest Policy and Economics* 11 (2009) 10–17 (2007).
-
- Shan Y., Jingping C., Liping C., Zheming S., Xiaodong Z., Dan W. et Wenhua W. (2007). Effects of vegetation status in urban green spaces on particle removal in a street canyon atmosphere, *Acta Ecologica Sinica*, 27, Issue 11, p. 4590-4595.
-
- Shashua-Bar et Hoffman (2000) Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees Original Research Article *Energy and Buildings*, Volume 31, Issue 3, April 2000, Pages 221-235
-
- Shashua-Bar L. et Hoffman M.E.(2002). The Green CTTC model for predicting the air temperature in small urban wooded sites, *Building and Environment*, 37, Issue 12, p.1279-1288.
-
- Shashua-Bar L., Hoffman M.E. et Tzimir Y.(2006). Integrated thermal effects of generic built forms and vegetation on the UCL microclimate, *Building and Environment*, 41, Issue 3, p. 343-354.
-
- Sternberg T., Viles H., Cathersides A., Edwards M.(2010). Dust particulate absorption by ivy (*Hedera helix* L) on historic walls in urban environments, *Science of The Total Environment*, 409, Issue 1, p.162-168.
-
- Sullivan W., Kuo F.E., Depooter S.F (2004). The fruit of urban nature, *Vital neighborhood spaces, environment and behavior*, vol.36 no5, septembre 2004 678-700
-
- Susca T., Gaffin S.R., Dell'Osso G.R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs, *Environmental Pollution*, 159, Issues 8–9, p. 2119-2126.
-
- Taha H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat *Energy and Buildings*, 25, Issue 2, p. 99-103.
-
- Takahashi M., Higaki A., Nohno M., Kamada M., Okamura Y., Matsui K., Kitani S., Morikawa H. (2005) Differential assimilation of nitrogen dioxide by 70 taxa of roadside trees at an urban pollution level, *Chemosphere*, 61, Issue 5, p. 633-639.
-
- Yang J., Yu Q., Gong P. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs, *Atmospheric Environment*, 42, p.7266-7273.
-
- Taylor AF, Kuo FE (2009). Children with attention deficits concentrate better after walk in the park. *J Atten Disord* 2009;12:402.
-
- Troy A., J. Grove M., O'Neil-Dunne J., (2012). The relationship between tree canopy and crime rates across an urban–rural gradient in the greater Baltimore region, *Landscape and Urban Planning* 106 (2012) 262– 270
-
- Ulrich R.S.(1984). View through a window may influence recovery from surgery, *Science* 27 April 1984: Vol. 224 no. 4647 pp. 420-421 ;
-
- Van, den Berg A. E., De Vries S. (2000) Het binnenstedelijke buitengevoel, *De Levende Natuur*, *Journal of Nature Conservation and Management* 101(6) 182 - 185
-
- Wilson J. Q., & Kelling G. L. (1982). The police and neighborhood safety: Broken windows. *Atlantic Monthly*, 249, 29–38.



NORD-PAS DE CALAIS

**235 AVENUE DE LA RECHERCHE
59120 LOOS**

TÉL. : 03 20 31 71 57

FAX : 03 20 21 87 40

postmaster@appanpc.fr

WWW.APPANPC.FR