

Les arbres

Une bouffée d'air pur pour la ville







L'homme n'a jamais été aussi capable de modeler la nature et de maîtriser partiellement les éléments, et en même temps, la prise de conscience de la fragilité de son écosystème démontre l'urgence de certaines mesures à prendre. Au premier rang desquelles, une politique de l'arbre dans la ville semble à mettre de manière essentielle à l'ordre du jour. En effet, qu'il soit objet d'ornement dans certains lieux, publics ou privés, ou qu'il participe naturellement de notre environnement, l'arbre a droit de cité, mieux, il a devoir de cité. La prise de conscience de l'importance des enjeux environnementaux nous pousse à changer notre vision de la société, nous renvoie à la nécessité de prendre avec le plus grand sérieux l'avenir de l'arbre car il est aussi le nôtre. C'est pourquoi cet ouvrage qui aborde les bénéfices apportés par la présence des arbres nous apparaît comme un nouvel argumentaire pour les professionnels de ce secteur, concepteurs et entrepreneurs du paysage ou pépiniéristes, élus, décideurs et tout simplement citoyens.



EDITION

Cette brochure a été rédigée à la demande de Plant Promotion Holland (PPH) et de l'organisation interprofessionnelle Val'hor.

TEXTE :

Dr. Ir. J.A. Hiemstra
(*Recherche Appliquée en Horticulture (PPO)*),
e-mail : Jelle.Hiemstra@wur.nl

Ir. E. Schoenmaker - van der Bijl
(*Bureau Ecologie et Agriculture Wageningen*)
e-mail : info@belw.nl

Drs. A.E.G. Tonneijck
(*Triple E, Economy - Ecology - Experience*)
e-mail : fred@tripleee.nl

Avec l'aimable collaboration de Ir. M.H.A. Hoffman
(*Recherche Appliquée en Horticulture (PPO)*), PPH et Val'hor.

PHOTOS :

Couverture © Bruno Bernier - Fotolia.com ;
Page 12 © Bruno Bernier - Fotolia.com ;
page 25 © Jean-Michel Pouget - Fotolia.com ;
page 30 © Sam Spiro - Fotolia.com ;
page 31 © Elena Elisseeva - Fotolia.com
Plant Promotion Holland, M. Hoffman, H. Keijzers, M. Thönnessen

RÉDACTION EN CHEF ET PRODUCTION :

All-Round Communications, Boskoop
Traduction : Alpha Language Services B.V.
Version française : Y. Haddad / H.J. Anglade
(Modus Operandi) / Val'hor

Février 2008

Préambule

Les récentes études ont fourni une grande quantité d'informations concernant l'influence des arbres et d'autres plantes d'ornement sur la qualité de l'air et de la vie en milieu urbain. Cet ouvrage donne un aperçu des connaissances actuelles dont le but est de les présenter de la manière la plus pratique possible. Ceci afin de mettre à profit la fonction positive des arbres pour la préservation de la qualité de l'air en milieu urbain et la création d'espaces verts.

L'ouvrage décrit les principes sous-jacents servant de base à des choix mieux appropriés sur la gestion des arbres et des arbustes dans les villes ainsi que sur la création d'espaces verts fonctionnels. De manière à permettre une action directe, nous avons recensé le plus grand nombre de données concrètes sur le rôle des différents types d'arbres.

Certaines informations ont préalablement été publiées dans des rapports antérieurs en Hollande pour les communes de Rotterdam, Nimègue et La Haye. Les auteurs remercient tous ceux qui ont, par leur apport, contribué à la rédaction de cet ouvrage.



Malus 'Adams'

Sommaire

RÉSUMÉ	8
1 PLUS VERTE ET PLUS ATTRAYANTE	9
2 QUALITÉ DE L'AIR ET SANTÉ	10
2.1 Effet néfaste sur la santé	10
2.2 Qualité de l'air urbain	10
2.3 Normes pour la qualité de l'air	11
2.4 Particules de poussière	11
3 DES PLANTATIONS POUR FILTRER L'AIR	13
3.1 Absorption de la pollution gazeuse	14
3.2 Elimination des particules de poussière	15
4 LES ARBRES ET LES FLUX DE VENT	18
4.1 Les arbres comme écrans contre les vents	18
4.2 Epuration de l'air et importance de la porosité	19
4.3 Structures alternatives des plantations	20
5 A QUOI FAUT-IL ÊTRE ATTENTIF?	23
5.1 Généralités	23
5.2 Généralités dans la ville	23
5.3 A proximité d'une source de pollution	24
5.4 Influence sur le climat local	25
6 EFFICACITÉ DES ARBRES ET DES PLANTES POUR AMÉLIORER LA QUALITÉ DE L'AIR	26
6.1 Particules de poussière	26
6.2 Oxydes d'azote	26
6.3 Ozone	27
7 UNE VILLE VERTE ET SAINÉ NECESSITE DES PROJETS INTÉGRAUX	31
SITES INTERNET À CONSULTER SUR LA QUESTION	32
RÉFÉRENCES	33



Résumé

Embellir la ville et la rendre propre

La végétation et la mauvaise qualité de l'air dans nos villes sont plus que jamais des sujets d'actualité. Cet ouvrage présente les possibilités d'embellir nos villes de végétaux en les rendant ainsi plus propres. En effet, les arbres et autres végétaux dans l'espace urbain fonctionnent comme un filtre à air entièrement automatique qui élimine les fines particules de poussière et autres polluants. Nous avons voulu présenter les connaissances sur le sujet de la manière la plus pratique possible afin que la fonction positive des arbres et des autres formes de végétation soit mieux utilisée pour préserver la qualité de l'air dans l'espace urbain tout en permettant la création et l'aménagement d'une végétation fonctionnelle.

La mauvaise qualité de l'air dans les villes est souvent due à un trafic intense. Les concentrations de particules de poussière, de dioxyde de carbone et d'ozone dépassent fréquemment les normes de qualité dans les localités fortement urbanisées. L'ozone est formé par l'influence du soleil sur le dioxyde de carbone et sur les autres matières présentes dans les gaz d'échappement.

Les arbres ont d'innombrables feuilles et forment un écran coupe-vent, ce qui leur permet d'être plus efficaces pour filtrer la pollution et diminuer sa concentration dans l'air. Les feuilles fixent les fines particules sur leur surface et absorbent la pollution gazeuse comme le dioxyde de carbone et l'ozone par leurs stomates. Les feuillus à feuilles plates et larges sont les plus efficaces dans l'absorption de la pollution gazeuse tandis que les conifères conviennent mieux pour capter les fines particules grâce à la structure pointue des épines. Bien qu'ils soient moins efficaces que les conifères, les feuillus à feuilles poilues et rugueuses sont plus appropriés que les feuillus à feuilles plates et larges.

Un écran de protection utile contre les vents

Parce qu'ils forment un obstacle physique et freinent la vitesse du vent, les arbres sont depuis très longtemps utilisés comme écrans de protection. En provoquant un changement du climat local, ils ont également une influence directe sur le niveau de pollution par le mélange des matières polluées et de l'air ambiant. Malgré la filtration, la présence d'arbres près des routes peut parfois provoquer des concentrations de pollution élevées car le ralentissement de la vitesse du vent, lié à la présence végétale, entraîne une augmentation de la concentration des polluants. Dans ces cas, il est conseillé de favoriser la diffusion de l'air pollué en diminuant la surface du feuillage. D'autres alternatives de structures végétales comme les plantations sur toitures et en façades peuvent être envisagées. Celles-ci font office de filtres, mais ne freinent pas la vitesse du vent dans la mesure où chaque situation demande une solution spécifique.

Une ville verte exige un projet global

Il faut une végétation suffisante pour améliorer la qualité de l'air de façon structurelle. Pour le choix des variétés, il est nécessaire de partir du principe suivant : *le bon arbre à la bonne place*. Cette approche est absolument nécessaire si nous examinons la qualité de l'air dans nos villes. Les variétés d'arbres capables d'absorber efficacement les différentes formes de pollution dans l'air sont citées dans le tableau 8. Des consignes de plantation et de gestion des arbres, dans l'optique de capter les fines particules et la pollution gazeuse, sont proposées dans cette étude.

L'air de la ville contient un cocktail de composants : un bon mélange de variétés et de structures de végétation doit être choisi pour lutter contre l'ensemble des polluants. Le grand avantage d'une telle approche intégrée est qu'elle oblige à diversifier le choix des espèces ce qui rendra nos villes plus variées, plus vertes et beaucoup plus attrayantes.

1 Plus verte et plus attrayante

La présence de la végétation dans notre cadre de vie est tellement naturelle que nous nous rendons à peine compte de sa valeur. Sans végétation, la vie sur terre serait insupportable. Dans un décor urbain, l'espace vert est indispensable pour ressentir une bonne qualité de vie. La végétation est plus qu'une simple décoration et une source de loisirs. Le tableau 1 donne un aperçu des effets positifs des arbres et des espaces verts.

La végétation ne fait pas qu'améliorer la qualité de l'eau et du sol, elle a également un effet positif sur la qualité de l'air. Les arbres forment non seulement un parapluie qui nous protège contre les intempéries, mais ils ont aussi une influence favorable sur l'air qui nous entoure. Nous ne parlons pas ici de l'absorption du dioxyde de carbone, responsable du réchauffement de la planète, ni de la production de l'oxygène, mais bien de la capture de la poussière et de la pollution gazeuse. La présence de la végétation a en outre une influence positive sur la santé physique et psychique des personnes. Elle favorise la détente et l'épanouissement. Une plantation disposée de manière adéquate apporte jusqu'à 10 % de gain d'énergie dans l'habitat environnant (*Novem, 2003*). La valeur économique des maisons à proximité des espaces verts est, il faut le souligner, nettement plus élevée.

Les arbres améliorent la qualité du cadre de vie
Avoir un environnement de qualité signifie des villes florissantes avec une vitalité économique pour ses habitants, consommateurs et visiteurs. Des villes bouillonnantes, avec un bon développement social et des villes saines, belles et harmonieuses, avec une végétation équilibrée et une nature vivifiante à proximité immédiate. La capacité polyvalente de la végétation favorise aussi la création d'un bon climat d'investissement multifonctionnel. Autant de raisons de soutenir une politique de l'arbre dans la ville.

Les arbres : un vrai filtre à air

Les arbres en milieu urbain fonctionnent comme un filtre à air entièrement automatique qui élimine spontanément les particules de poussière et les autres polluants de l'air. Il est vrai que tous les arbres ne sont pas aussi efficaces les uns que les autres dans ce domaine. Mais tous les arbres ainsi que les autres formes de végétation absorbent en permanence la poussière et la pollution dans l'air. Du fait de l'urbanisation intensive, les surfaces végétalisées sont de plus en plus réduites. C'est pourquoi la diminution de la surface végétale entraîne forcément un abaissement de la capacité de filtration. Il en résulte une détérioration de la qualité de l'air et une augmentation des agressions sur notre santé. Aussi, une bonne gestion de la végétation existante et l'accroissement de la superficie des espaces verts peuvent améliorer la qualité de l'air et par conséquent diminuer les conséquences nocives pour notre santé.

TABLEAU 1 Aperçu des effets positifs des arbres et autres formes de végétation sur le climat urbain.

QUALITÉ DE L'AIR	Filtration des poussières et de la pollution de l'air
MICROCLIMAT	Limitation des températures extrêmes (par l'ombre et l'abri du vent). Humidification de l'air : plus frais et plus agréable
GESTION DE L'EAU	Collecte de l'eau et diminution des pics d'écoulement en cas de précipitations
ECONOMIE D'ÉNERGIE	Préservation de la chaleur (abri du vent) ou de la fraîcheur
VALEUR DU BIEN IMMOBILIER	Plus élevée à proximité des espaces verts
SANTÉ	Possibilités de détente et d'exercice physique
BIODIVERSITÉ	Refuges vitaux pour de nombreux organismes
LIMITATION DES EFFETS DE SERRE	Fixation du CO ₂
PAYSAGE	Ecran contre le trafic routier et l'industrie
ESTHÉTISME	Embellissement de la rue et du quartier



2 Qualité de l'air et santé

2.1 Effet néfaste sur la santé

L'air contient une gamme étendue de composants. Les conséquences pour la santé ne sont pas négligeables. La preuve : certains d'entre eux sont nocifs, d'autres non. Les composants les plus nocifs sont les particules de poussière et l'ozone. L'estimation néerlandaise la plus récente (en 2003) de décès précoces associés à une brève exposition à de hautes concentrations de ces composants, s'élève à 2.300 à 3.500 personnes pour les particules de poussière et à 1.100 à 2.200 personnes pour l'ozone. Au total, 3.400 à 5.700 personnes par an décèdent prématurément après une brève exposition (MNP, 2005). Et de nombreuses personnes exposées à de trop hautes concentrations de pollution de l'air, le sont en permanence et pas uniquement pendant une courte période. Pour disposer d'une bonne estimation des effets d'une telle exposition à long terme, il nous manque pour le moment des données fiables. Aux Pays-Bas, on estime que chaque année, 12.000 à 24.000 personnes décèdent à cause des ces effets de manière prématurée.

2.2 Qualité de l'air urbain

Ceux qui habitent le long d'une route ou voie à grande circulation risquent deux fois plus de souffrir d'une maladie cardio-vasculaire ou d'une affection pulmonaire (Hoek et autres, 2002). La mauvaise qualité de l'air en ville est surtout due au trafic routier intense. Les gaz d'échappement de ce trafic sont expulsés au niveau de l'air ambiant et plus encore dans les zones à forte densité de population. Ce sont surtout les moteurs diesels qui produisent beaucoup de particules de poussière qui sont actuellement au centre de tous les débats. La poussière est exprimée en PM10 et contient toutes les particules d'un diamètre de 10 µm (0,01 mm) et moins. Le PM10 comprend de nom-

breux éléments toxiques tels que les métaux lourds et les composés organiques ce qui explique pourquoi il est nocif pour la santé publique. Le PM10 est surtout présent dans les gaz d'échappement du trafic routier, mais il provient aussi des pneus et des conséquences du freinage.

Mises à part les particules de poussière, les gaz d'échappement contiennent encore d'autres composants importants en concentration élevée, comme les dioxydes de carbone.

TABLEAU 2
Polluants de l'air provenant du trafic routier et dommages qu'ils occasionnent à la santé publique.

POLLUTION	DÉSIGNATION	DOMMAGE À LA SANTÉ
Particule de poussière	PM10	Les particules de poussière causent des problèmes de santé et des décès prématurés.
Oxydes d'azote	NO + NO ₂	Les NO & NO ₂ et les COV sous l'influence des rayons du soleil forment de l'ozone.
Composés organiques volatils	COV	Des concentrations élevées d'ozone pendant les mois d'été sont causes de problèmes de santé et de décès prématurés.

Lors de la combustion de l'essence et du diesel dans les moteurs, la température élevée transforme l'azote et l'oxygène présents dans l'air en monoxyde d'azote. Ensuite, ce monoxyde d'azote s'oxyde et devient du dioxyde d'azote. De plus, des composés organiques volatils sont toujours libérés lors de la combustion des carburants fossiles. Le dioxyde d'azote et les composés organiques volatils provenant des échappements sont transformés en ozone sous l'influence des rayons du soleil. Les concentrations

élevées d'ozone souvent présentes en été (smog de l'été) causent des dommages à la santé publique, tout comme les particules de poussière.

2.3 Normes pour la qualité de l'air

Prenons l'exemple des Pays-Bas : ces dernières années, la qualité de l'air s'y est sensiblement améliorée et le taux d'exposition des citoyens à la pollution a été fortement réduit grâce à une politique efficace. Malgré cela, cette pollution cause toujours des problèmes de santé et une attention est toujours nécessaire pour continuer à améliorer la qualité de l'air.

Dans le contexte européen, les directives visant à améliorer la qualité de l'air sont fixées dans la fameuse directive cadre concernant ce sujet. Les Pays-Bas ont traduit ces directives européennes sur le plan national dans l'arrêté sur la qualité de l'air en vigueur depuis 2001. Pour les Pays-Bas, ce sont surtout les normes sur les particules de poussière et le dioxyde d'azote qui sont importantes, bien que l'arrêté sur la qualité de l'air ait également un rapport avec un certain nombre d'autres composants, comme l'ozone. Pour les particules de poussière, il fallait satisfaire en 2005 à la norme établie. Pour le dioxyde d'azote, ce sera le cas en 2010.

Les normes de qualité de l'air ont pour but de limiter au minimum les risques pour la santé des personnes et le dépassement des normes n'est juridiquement pas admissible. On oublie cependant souvent que les normes ne peuvent pas être placées sur le même pied d'égalité que des seuils de non-nocivité. Satisfaire aux normes ne signifie pas encore que le citoyen n'éprouve plus les nuisances de la pollution. C'est surtout pour les particules de poussière qu'aucun niveau de concentration n'a encore été fixé pour la



santé publique. Toute diminution de la quantité de poussière présente dans l'air est tout bénéfique en termes de santé publique. Cette donnée n'est pas reprise dans le fait de savoir si les concentrations dépassent ou non la norme.

2.4 Particules de poussière

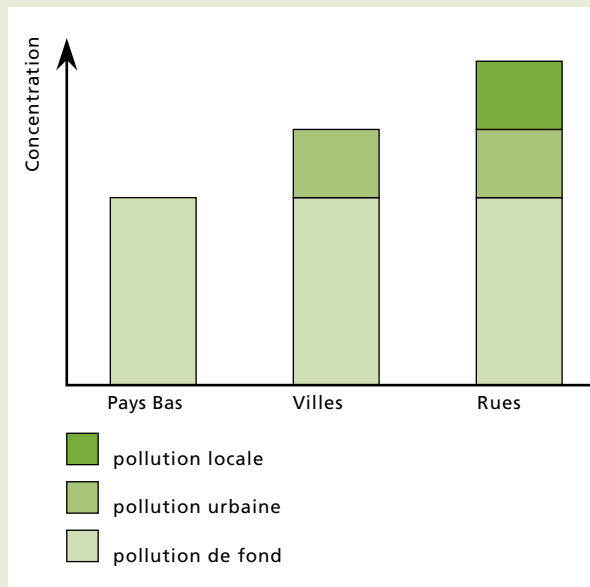
C'est un fait, partout nous respirons des particules de poussière. Le PM10 pénètre dans les voies respiratoires et les poumons, mais toutes les particules ne sont pas nocives. Ainsi, le sel marin et la poussière du sol soulevée par le vent font également partie des particules de poussière. Or la quantité totale de PM10 et la fraction des particules nocives dans celles-ci augmentent proportionnellement avec l'augmentation du trafic. La charge de particules de poussière dépend donc très fortement de l'endroit où l'on se trouve. Il est important de comprendre d'où provient le PM10 pour prendre des mesures appropriées à un endroit spécifique, afin de diminuer la concentration.

Le diagramme 1 reproduit schématiquement les niveaux de concentration de PM10 dans diverses situations. Une grande partie des particules de poussière apportées par les vents provient hors de la ville. Ces particules de poussière se déposent véritablement comme une couverture sur les villes. Cette toile de fond sur le territoire est la cause de la présence dans l'air d'une certaine quantité de poussières. Le trafic dans et autour des villes ajoute ensuite une quantité supplémentaire de particules de poussière. La concentration moyenne de la ville est alors plus élevée par rapport à celle du territoire.

Enfin, le trafic intensif dans les rues étroites ou sur les routes encombrées et les places, provoque localement des pointes de concentration importantes. Ces endroits à niveaux variables sont souvent situés dans la ville et généralement désignés par le terme *hot-spots*. Les normes sur les quantités de particules de poussière y sont très souvent dépassées. Des projets de construction sont mis à l'arrêt car les mesures techniques susceptibles de parer les problèmes de dégradation de la qualité de l'air font défaut, ce qui n'est pas sans conséquences financières importantes.

DIAGRAMME 1

Répartition de la concentration de PM10 en milieu urbain (modifié par Oosterbaan et autres, 2006)



Les concentrations élevées de particules, dans une rue déterminée, sont donc liées à la somme de celles issues de la pollution de fond avec le supplément de la pollution urbaine et le supplément de la pollution locale provoquée par le trafic dans la rue elle-même. Les mesures pour diminuer de telles concentrations élevées à un *hot-spot* doivent donc être prises en principe à différents endroits. Nous pouvons tenter de diminuer le niveau général du territoire ainsi que celui de la charge urbaine et nous pouvons prendre des mesures spécifiques à l'endroit du *hot-spot*. Quelles que soient ces mesures, les plantes et les arbres sont utiles à tous ces endroits pour éliminer les particules de poussière et les autres pollutions de l'air.

3 Des plantations pour filtrer l'air

Tous les arbres, toutes les plantes éliminent la poussière et la pollution gazeuse présentes dans l'air. L'emplacement des plantes déterminera leur degré d'efficacité : en ville, à la campagne, à l'intérieur des lieux de travail ou à la maison. On l'a déjà vu, les arbres sont très feuillus et forment un écran pour le vent. C'est pourquoi les arbres se révéleront plus efficaces pour filtrer la pollution de l'air et influencer les concentrations d'air.

Le dépôt de la poussière de l'atmosphère sur un bois est de 2 à 16 fois plus important que sur une végétation basse. Des chercheurs américains démontrent que les arbres en milieu urbain absorbent des tonnes de toutes sortes d'éléments pollués (Nowak, 1995). Par conséquent, ils peuvent avancer que la plantation urbaine peut être estimée à une valeur de plusieurs millions de dollars. Une étude récente pour la ville d'Anvers a démontré que les pointes de concentration d'ozone sont moins élevées de 8 % là où il y a des arbres par rapport aux endroits où il n'y en a pas (*Benefits of Urban Green Space*; www.vito.be/bugs). Des estimations pour la région West Midlands, en Angleterre, indiquent que si le nombre d'arbres était doublé, il y aurait 140 décès en moins par an du fait qu'un nombre élevé d'arbres absorbe davantage de particules de poussière. C'est dire l'impact sur la santé !

TABLEAU 3
Capture de différents types de pollution par les feuilles.

TYPE DE POLLUTION	MÉCANISME	CARACTÉRISTIQUES DES FEUILLES LES PLUS APPROPRIÉES
Ozone, dioxyde d'azote	Absorption	Feuilles plates et larges des feuillus
Composés organiques volatils (PCB, dioxines, furanes)	Adsorption	Couche épaisse et cireuse (cuticule) sur la feuille, surtout chez les conifères
Particules de poussière (PM10)	Contact	Forme pointue comme les épines des conifères. Feuilles rugueuses, velues et adhésives des arbres feuillus.

La manière dont les arbres influencent la qualité de l'air : Il s'agit ici de deux phénomènes importants :

- 1 Effets directs : élimination effective des particules de poussière et de la pollution gazeuse par les feuilles ;
- 2 Effets indirects : modification de la vitesse du vent et des turbulences et par conséquent, des concentrations locales de pollution par l'influence de la dispersion de la pollution.

Ces phénomènes apparaissent en même temps à un degré plus ou moins fort. Leur connaissance ne donne pas seulement une idée de la manière dont la végétation fonctionne. Elle peut aussi être utilisée pour constater à quel point la végétation est importante pour la qualité de l'air et pour savoir comment la disposer au mieux afin d'améliorer celle-ci.

La manière dont les feuilles absorbent la pollution dépend du type de pollution.

Les feuilles sont essentielles pour l'élimination effective de la pollution. Les troncs, les branches et les tiges des arbres et des arbustes sont importants pour la suppression des particules de poussières. Ainsi, les pollutions gazeuses comme les oxydes d'azote et l'ozone sont absorbées dans la partie intérieure de la feuille, tandis que les particules de poussière sont fixées sur la surface extérieure de la feuille.

Ce tableau donne un aperçu des différents mécanismes par lesquels les feuilles éliminent de manière effective la pollution. Bien que les mécanismes puissent être différents, l'effet sur la qualité de l'air est identique dans tous les cas. La présence de feuilles entraîne systématiquement une diminution de la pollution de l'air. Pour tous les composants, plus la pollution est importante, plus l'arbre absorbe ou fixe la pollution, tant que l'arbre lui-même n'en subit que peu ou pas de contraintes. Situé tout près d'une source de pollution où les concentrations sont élevées, un arbre en absorbera donc plus que lorsqu'il en est éloigné. Preuve que l'arbre est un véritable rempart vert face à la menace que représente la pollution de l'air.

3.1 Absorption de la pollution gazeuse

Les plantes sont capables d'absorber les composants gazeux, tant par les stomates des feuilles que par les cuticules. La cuticule est la fine couche supérieure de la feuille composée d'une substance grasseuse qui protège la plante notamment du dessèchement. Les stomates sont des ouvertures dans la feuille au travers desquelles s'opère continuellement l'échange gazeux entre la feuille et l'air environnant.

Les oxydes d'azote et l'ozone pénètrent principalement par les stomates.

C'est le processus d'absorption, chaque feuille possédant un grand réseau de cavités internes en contact avec l'air extérieur par les stomates (voir aussi Figure 2). A partir de ces cavités, le dioxyde de carbone est absorbé dans les cellules de la feuille, l'oxygène et l'eau sont diffusés dans l'air environnant. Les cavités augmentent la surface de la feuille et la capacité d'échange gazeux devient de ce fait énorme. Chez le hêtre adulte par exemple, cette surface interne atteint environ 15.000 m², ce qui équivaut pratiquement à la superficie de deux terrains de football !

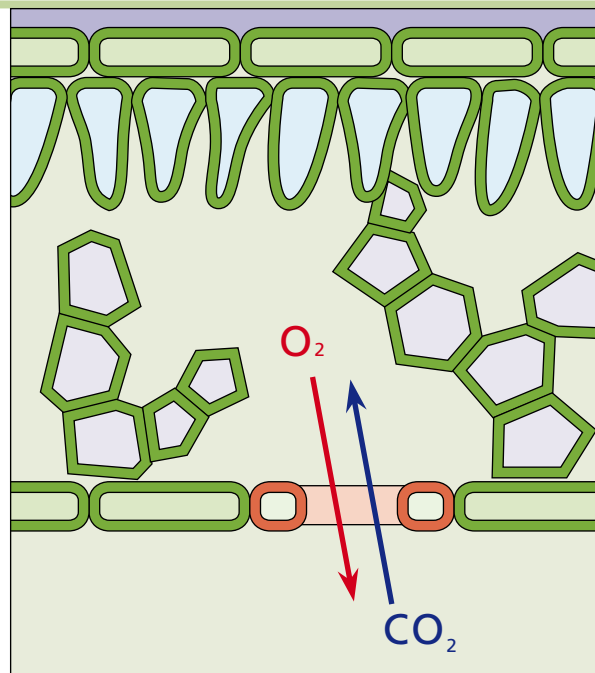


FIGURE 2
Schéma de l'échange gazeux par un stomate du côté inférieur de la feuille ; le dioxyde de carbone (CO₂) est absorbé et l'oxygène (O₂) est restitué. La cuticule sur la surface supérieure de la feuille est colorée en bleu.

Stomates : ouverts le jour, fermés la nuit...

Afin de pouvoir absorber suffisamment de dioxyde de carbone, de grandes quantités d'air doivent circuler à travers les feuilles. Les autres éléments présents dans l'air s'y ajoutent et parmi ceux-ci, les gaz émis par le trafic routier entrent en contact avec la structure interne de la feuille. Les oxydes d'azote et l'ozone sont parfaitement solubles et les quantités absorbées peuvent être transformées dans la feuille. Généralement, les stomates sont ouverts le jour

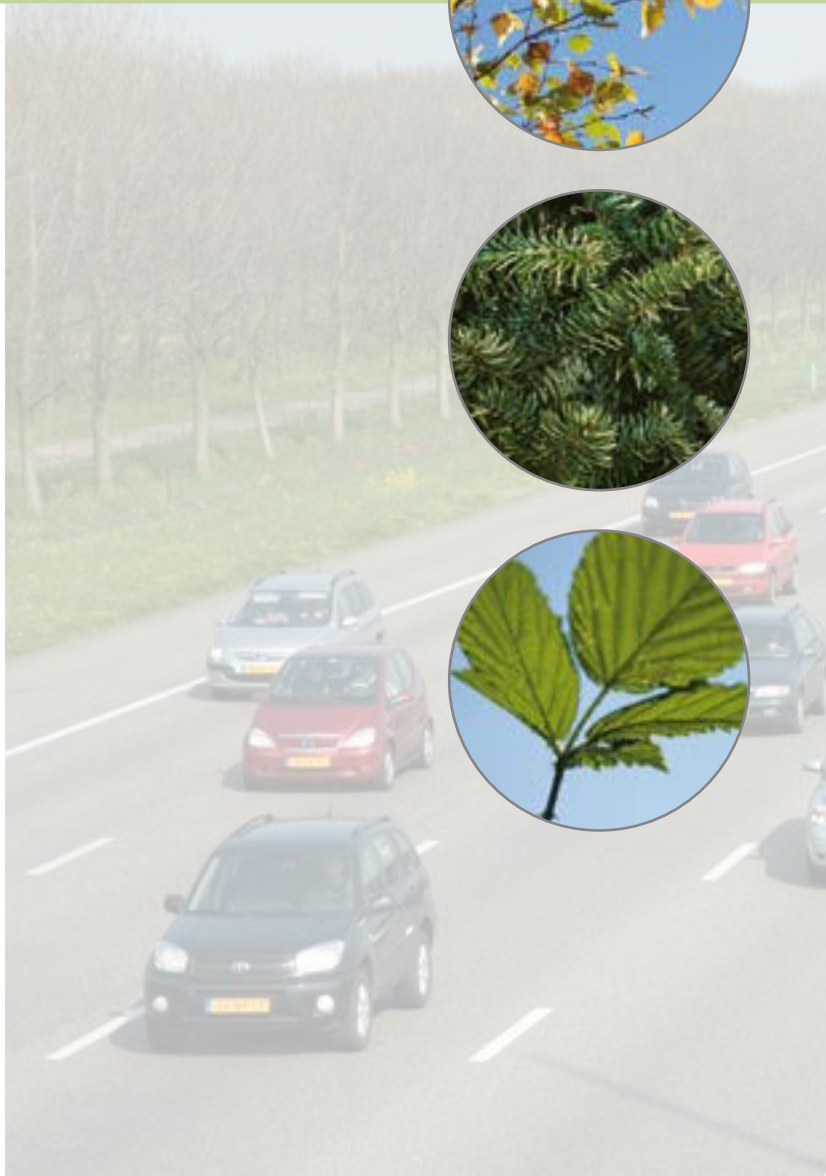
et fermés la nuit. L'élimination de la pollution gazeuse dans l'air s'opère donc davantage le jour que la nuit. L'absorption est optimale si les stomates sont approvisionnés sans entrave par l'air environnant. C'est le cas surtout des feuilles plates et larges dont les stomates sont situés directement à la surface de la feuille.

Cuticule : mission adsorption

Pour de nombreux composés organiques volatils comme les PCB, les dioxines et les furanes, la cuticule constitue la voie la plus importante du processus appelé adsorption. Ces matières ne sont souvent pas solubles dans l'eau, mais en revanche dans les éléments gras de la cuticule. L'adsorption par la cuticule présente l'avantage que celle-ci continue simplement durant la nuit, lorsque les stomates sont fermés, et pendant les mois d'hiver, lorsque les plantes vertes sont moins actives. Après l'adsorption au niveau de la cuticule, les composés organiques volatils sont déposés peu à peu dans la partie interne de la feuille. Les feuilles à cuticule épaisse grasseuses conviennent parfaitement à la capture de ce type de composés organiques. Citons ici les épines des conifères mais aussi, par exemple, une plante comme le chou frisé.

3.2 Élimination des particules de poussière

Les particules de poussière tombent ou sont emportées par le vent sur la feuille. Ce processus s'appelle l'impaction. Dans ce processus, les particules de poussière doivent entrer en contact direct avec la feuille ou alors à une distance assez proche de la feuille pour être attirées par l'électricité statique. Les inégalités sur la feuille, comme les surfaces rugueuses et les poils de la feuille, accélèrent ce processus. Le degré d'humidité et la matière adhérente de la feuille jouent également un grand rôle.





Ce sont surtout les conifères qui captent efficacement les particules de poussière, en raison de la structure de l'épïne et de la forme relativement pointue. Ce sont non seulement les épines et les feuilles qui participent à la capture des poussières mais aussi les troncs, les branches et les tiges. Une structure de branches enchevêtrées a une fonction très positive : les particules de poussière n'aboutissent pas dans la structure interne de la feuille et ne sont donc pas traitées comme c'est le cas pour les composés gazeux. Les particules restent agglomérées à la surface externe de l'arbre. En principe, pour la capture de la poussière, il n'est pas important que les feuilles ou les épines sur les arbres soient vivantes ou mortes, du moment qu'elles sont en contact avec l'air pollué.

Au cours de la saison, les feuilles vont contenir de plus en plus de particules de poussière (Figure 3). Un arbre de ville, jeune sujet récemment planté, en capture en moyenne environ 100 grammes nets par an. Un arbre adulte peut en capturer pratiquement 1,4 kg net par an.

Après déposition, une partie de la poussière reste agglutinée. Une autre partie se détache à nouveau de la feuille en cas de vent assez fort ou elle est rincée et évacuée par l'eau de pluie. Dès son arrivée au sol, la particule de poussière peut être emportée par l'eau de ruissellement dans le caniveau ou se coller au sol où elle est stockée plus longtemps. Certaines combinaisons fixées aux particules de poussière peuvent être neutralisées sur le sol.



FIGURE 3

Particules de poussière sur une feuille de vigne vierge en juin (à gauche) et en octobre (à droite) (Thönnessen, 2005).



Pinus parviflora

4 Les arbres et les flux de vent

4.1 Les arbres comme écrans contre les vents

L'efficacité des épinettes dans la capture des particules de poussière est due à la manière dont les épinettes influencent le flux du vent par leur forme pointue. Lorsque l'air pollué est projeté sur l'épinette pointue, le flux d'air se courbe légèrement. Les particules de poussière présentes dans l'air sont entraînées encore un instant tout droit et entrent ainsi en contact avec la surface des épinettes. Elles y sont ensuite retenues.

Nous savons tous que les arbres forment un obstacle physique et agissent sur la vitesse du vent et sur les turbulences. De tout temps, les arbres ont été utilisés comme brise-vent. Le freinage de la vitesse du vent et les modifications des turbulences dans l'air ont une grande influence sur l'efficacité des arbres à éliminer la pollution présente dans l'air. En outre, ces modifications du vent local entraînent aussi directement des changements de concentration de pollution aux

alentours des plantations, parce qu'elles influencent le mélange de la pollution avec l'air environnant. Un bois peut être totalement abrité du vent alors qu'il souffle violemment à l'extérieur car il forme une barrière naturelle. A l'orée du bois, l'air est véritablement poussé vers le haut, il ne traverse pas le bois mais passe au-dessus. L'orée d'un bois fonctionne précisément de la même façon qu'un brise-vent. Sur la figure 4, le comportement du vent autour d'un bois est illustré schématiquement. Devant la lisière du bois, la vitesse du vent diminue déjà. A une courte distance du bois sous le vent (dans la direction du vent), la vitesse du vent redevient à nouveau normale. La zone protégée du vent où sa vitesse est ralentie est relativement réduite. Le même phénomène apparaît pour un écran de verdure très serré. Ici aussi, l'air est véritablement retenu et propulsé vers le haut, puis retombe ensuite sur le sol derrière l'obstacle.



FIGURE 4

Le flux d'air au-dessus d'un bois. Le vent chasse depuis le côté gauche par-dessus le bois. Sur une courte distance située derrière le bois, la vitesse du vent redevient normale. La longueur de la zone protégée où la vitesse du vent est réduite, est indiquée en bleu.

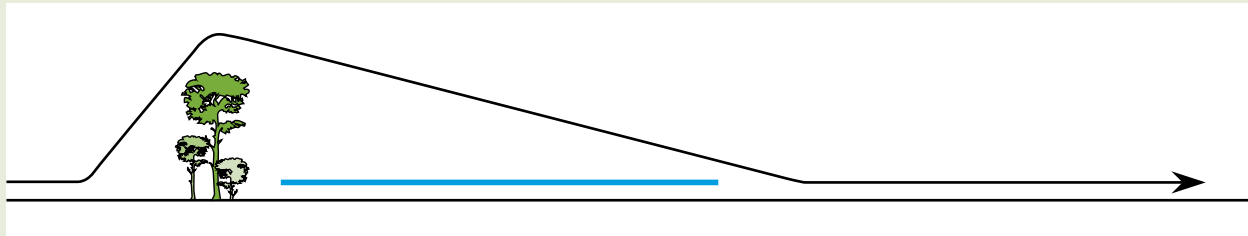


Il en va autrement pour une rangée d'arbres (semi) ouverte qui laissera passer une partie du vent, contrairement à un écran d'arbres en brise-vent ou un bois. Dans une structure de plantation ouverte, la vitesse du vent diminue également mais en moindre mesure par rapport à un brise-vent fermé. La distance présente derrière un écran d'arbres ouvert, jusqu'à l'endroit où la vitesse du vent redevient normale, devient cependant beaucoup plus grande qu'à proximité d'un bois ou d'un écran d'arbres fermé. En d'autres termes,

la zone protégée derrière un écran d'arbres ouvert, où la vitesse du vent a diminué, est relativement grande. On pourrait admettre de manière empirique que la zone située derrière une rangée d'arbres a une longueur de 15 à 20 fois supérieure à la hauteur de la rangée d'arbres. La diminution de la vitesse du vent dans cette zone protégée peut apporter d'elle-même un changement des concentrations.

FIGURE 5

Flux de vent autour d'une rangée d'arbres plus ou moins ouverte. Le vent s'approche par la gauche. L'ampleur de la zone protégée où la vitesse du vent est réduite est indiquée en bleu. La zone protégée s'étend sur une longueur supérieure de 15 à 20 fois la hauteur de la rangée d'arbres.



4.2 Epuration de l'air et importance de la porosité

Les arbres situés à la lisière d'un bois sont plus efficaces pour absorber la pollution que les arbres situés au milieu du bois. En effet, les arbres situés à la lisière sont aussi attaqués par les vents sur leurs côtés, alors que les arbres du milieu n'entrent en contact avec l'air pollué que par une partie de leur sommet. Grâce à la fonction d'écran de l'orée du bois, la plupart des feuilles au milieu du bois n'entrent pas en contact avec l'air pollué. Les arbres isolés

sont donc aussi plus efficaces que les arbres protégés au milieu d'un bois. Cela plaide en faveur d'un plus grand nombre d'espaces verts sous la forme de bois pour purifier la concentration à un endroit spécifique. Naturellement, les bois absorbent fortement la pollution présente dans l'air, surtout parce qu'il s'agit d'une grande superficie. Les bois sont, pour cette raison, surtout appropriés pour abaisser le niveau de base du territoire. On estime



que tous les bois aux Pays-Bas éliminent ensemble 7200 tonnes de particules de poussière par an (*Houben et autres, 2006*). Cela représente 17 % de la quantité totale des particules de poussière qui envahissent chaque année le territoire Néerlandais !

Le contact entre la pollution et les feuilles est essentiel pour obtenir une filtration efficace par les arbres. Ceux dont le feuillage est traversé par l'air pollué sont plus efficaces que les arbres des brise-vent qui sont totalement denses. Dans les espaces verts « poreux », bien plus de feuilles participent au processus de nettoyage que dans les groupes denses. En effet, les feuilles qui se trouvent à l'intérieur de la couronne du feuillage des arbres entrent alors en contact avec l'air pollué et peuvent y accomplir leur travail d'épuration. Pour les arbres à couronne élevée, une grande quantité d'air pollué circule sous la couronne et n'est pas purifié. Il est donc très intéressant du point de vue fonctionnel de planter quelques arbustes supplémentaires sous ces arbres à couronne élevée pour éliminer la pollution là où les troncs ne peuvent le faire ou trop peu. Il est très important d'avoir une bonne porosité des éléments de végétation. Celle-ci est une mesure très utilisée pour avoir une idée de la quantité d'air qui traverse le feuillage. Une couronne est poreuse si l'on peut apercevoir le ciel bleu à travers son feuillage. Plus le ciel bleu est visible, plus la porosité est grande. Du fait que la porosité peut très bien être estimée à vue d'œil, nous pourrions parler également d'une porosité optique.

La filtration par les arbres ne permet pas toujours une diminution des concentrations à l'endroit où poussent les arbres en question. Les arbres situés juste à côté de la route remplissent bien leur fonction de filtration, mais ils freinent aussi la vitesse du vent. Ce freinage provoque un mélange des gaz d'échappement à une moins grande quantité d'air que dans une situation où il n'y a pas d'arbres. L'effet net de l'augmentation de la concentration par freinage de la vitesse du vent et de la diminution de

concentration par la filtration de la végétation provoque souvent une augmentation des concentrations à l'endroit où l'arbre est situé. C'est le cas pour les PM10 si la porosité des plantations est inférieure à 40 %. Naturellement, ceci n'empêche nullement les éléments des espaces verts de continuer à capturer des particules de poussière et à éliminer les PM10 dans l'air.

L'effet du tunnel vert

Cet effet d'augmentation de concentration causé par le freinage de la vitesse du vent est souvent appelé « effet de tunnel vert ». Dans ce genre de situations, la dispersion, surtout des particules plus fines, est limitée à un tel point qu'elle ne peut pas être compensée par la filtration des espaces verts. « L'effet de tunnel vert » peut être évité en aménageant une plantation d'une porosité suffisante (plus de 40%) par exemple, en plantant des types d'arbres ayant une couronne suffisamment aérée ou encore grâce à une gestion plus soutenue. « L'effet de tunnel vert » n'apparaît qu'à 100 ou 150 mètres de la route lorsque les gaz d'échappement ne sont pas encore totalement mélangés avec l'air environnant. Dans la majeure partie des Pays-Bas, il n'est donc aucunement question d'effet de tunnel et la fonction de filtration des arbres entraîne toujours une diminution de la concentration. On estime que sous des conditions météorologiques normales, les éléments de la végétation captent au maximum 15 à 20 % des particules de poussière (PM10). La concentration du dioxyde d'azote peut être diminuée de 10 % au maximum par la plantation d'une structure végétale à une porosité adéquate (*Wesseling et autres, 2004*).

4.3 Structures alternatives des plantations

La présence d'arbres entraîne toujours une filtration, mais ne fait pas toujours diminuer les concentrations à l'endroit où l'arbre est situé. Tout près d'une source polluante, « l'ef-

fet tunnel vert» peut entraîner un tel freinage de la vitesse du vent que malgré la filtration, les niveaux de concentration deviennent localement trop élevés. Il peut arriver aussi que la place soit tout simplement insuffisante pour la plantation des arbres. Dans ce cas, les plantes grimpantes et les plantes de toiture offriront une bonne alternative. Ces structures de plantations ne freinent pas la vitesse du vent et ne provoquent pas d'augmentation des concentrations à proximité de la route. Elles éliminent cependant la pollution dans l'air. Il est à noter que les fonctions positives de différentes plantes de toiture sous des formes diverses sont également de plus en plus étudiées.

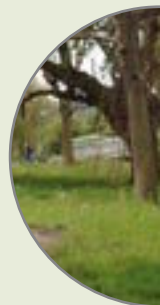
Le lierre à l'assaut de la poussière

La plantation du lierre (*Hedera helix*) sur des murs nus pour capter les particules de poussière fait l'objet d'une attention accrue. Par mètre carré de mur, un lierre peut compter jusque trois à huit mètres carrés de feuilles et contenir jusqu'à six grammes de particules (Dunnett et Kingsbury, 2004). Cette plante a en outre un feuillage persistant de sorte qu'elle peut fonctionner comme filtre pendant toute l'année. Cette qualité est surtout importante pour l'élimination des particules de poussière. Par rapport aux murs nus, le lierre permet une augmentation très significative de la surface filtrante. Le verdissement des murs nus améliore en outre considérablement l'aspect de la ville. Les murs végétaux ont gagné aussi Paris, dans certains centres commerciaux ou établissements hôteliers qui ont donné le ton, sans oublier des immeubles (Ivry) et des bâtiments publics dont le plus fameux est à ce jour le Musée du Quai Branly. Citons également le premier mur végétal à vocation dépolluante mis en place à Lyon en 2007. A Monaco, où la densité de population est trois fois supérieure aux grandes villes des Pays-Bas, les façades sont également utilisées depuis 2005 pour augmenter la verdure dans la ville. En même temps, ces façades joignent l'utile à l'agréable puisqu'elles éliminent la pollution.

TABLEAU 4

Aspects structurels importants des plantations

LARGEUR	Avec une plantation étendue (par ex. un bois) la zone protégée sous le vent est plus réduite qu'avec une plantation en ligne. L'ampleur de la zone protégée dépend de la hauteur de la plantation.
HAUTEUR	La réduction de la vitesse du vent derrière une rangée d'arbres peut se mesurer jusqu'à une distance 20 fois supérieure à la hauteur. Dans cette zone, les concentrations diminuent également. Il est question ici d'une protection locale contre la pollution.
POROSITÉ	Pour la protection locale à proximité d'une source de pollution (trafic intense), la porosité doit être de plus de 40 % pour obtenir une épuration optimale de l'air pollué et éviter l'effet de tunnel vert. Pour des porosités moindres, en fonction des sources de pollution, les concentrations risquent parfois d'augmenter à cause des arbres, malgré la filtration.
LISIÈRES	Les effets des lisières augmentent la turbulence et renforcent l'élimination de la pollution par les plantations. Créez pour cette raison des transitions étroites là où elles sont possibles.
QUANTITÉ	Plus il y a de plantations, mieux c'est. Toutes les plantations contribuent à l'élimination des particules polluées dans l'air. C'est la capture en masse. Optimisez la protection locale par des éléments plantés en ligne de manière répétée à des distances espacées de 150 à 200 m.
VARIÉTÉS	Utilisez de préférence des variétés endémiques avec des caractéristiques de feuilles qui sont efficaces pour absorber une ou plusieurs composantes de pollution. Utilisez un mélange de variétés pour combattre un cocktail de matières polluées.
TYPES	Toute plantation filtre l'air pollué. Il en va de même pour les plantes de façade et de toiture. Là où l'espace est insuffisant pour la plantation d'arbres, les plantes de façade et de toiture offrent des possibilités intéressantes.





Picea pungens

5 A quoi faut-il être attentif ?

5.1 Généralités

Dans ce chapitre, un certain nombre de conseils sont proposés concernant la plantation et la gestion des arbres dans le but de capturer les particules de poussière et la pollution gazeuse.

Grâce à leur action filtrante, tous les arbres, arbustes, brise-vent et haies améliorent manifestement et sans coût supplémentaire la qualité de l'air. Cependant, toutes les variétés ne fonctionnent pas dans cette optique de la même façon et certainement pas pour chaque composant. Pour affronter un cocktail de pollution, il est nécessaire de disposer d'une bonne mixité d'arbres et d'arbustes différents.

Les gaz comme le dioxyde d'azote et l'ozone sont surtout bien absorbés par les feuillus qui possèdent des feuilles larges et lisses. Pour les composants organiques, la couche de cire sur la feuille (cuticule) est le principal moyen d'absorption. Les feuilles munies d'une cuticule épaisse comme les épines des conifères le font très bien. Les feuillus qui possèdent des feuilles rugueuses, poilues et collantes sont bien adaptés pour capturer les particules de poussière. Ces particules se déposent sur la feuille et sont éventuellement rincées par la pluie. Toutefois, ce sont les conifères qui capturent le mieux les particules d'autant qu'ils ont souvent un feuillage persistant. La plantation de variétés persistantes est très opportune parce qu'elles continuent à filtrer les particules de l'air pollué également pendant les mois d'hiver. Quant à l'ozone, cela a moins d'importance, parce que les concentrations (trop) élevées d'ozone sont un problème qui surgit surtout aux beaux jours (smog de l'été).

Pour la plantation des variétés adéquates, il faut évidemment rechercher davantage de caractéristiques plutôt que de veiller uniquement à la diminution des particules de poussière et du smog de l'été. Une considération

supplémentaire pourrait être, par exemple, que l'aulne et le bouleau provoquent des réactions allergiques sur les humains. Et aussi les peluches, les fruits et les feuilles qui tombent peuvent dans certaines circonstances causer une telle nuisance qu'elle devient un argument important dans le choix des variétés. Un autre aspect dont il faut tenir compte est la sensibilité des arbres eux-mêmes à la pollution. Il existe dans ce domaine une palette de différences qui dépend aussi du type de pollution à combattre.

En outre, la première condition est naturellement de savoir si l'emplacement pour la plantation convient aux variétés d'arbres choisis et si l'espace disponible (en surface et sous le sol) le sera assez longtemps pour le bon développement des arbres, sans leur causer de gêne. C'est la raison pour laquelle la réalisation finale d'un projet doit toujours être un travail sur mesure qui nécessite des connaissances approfondies. D'une part celle des arbres, de leurs caractéristiques de croissance et des exigences qu'ils imposent à leur lieu de croissance. D'autre part, des connaissances d'aérodynamique et de l'effet des arbres et des plantations sur les vents. «Integral Technisch Groen Ontwerpsysteem» ou le système ES (www.es-consulting.nl) donnent des exemples éclairants sur le sujet. Cette technique (ou technologie) est un développement innovant néerlandais, la première méthode de calcul de ce genre au monde. Elle a été spécifiquement étudiée pour pouvoir mettre en œuvre de manière organisée des structures de plantations dans un but d'économie d'énergie, de limitation du bruit et d'amélioration de la qualité de l'air.

5.2 Généralités dans la ville

Tous les arbres et autres végétaux éliminent l'air pollué et fonctionnent de manière efficace pour ce que nous appelons la protection régionale. Cette protection a pour

but principal de filtrer à grande échelle l'air pollué afin d'améliorer la qualité de l'air en général. C'est ce que l'on appelle captage en masse.

Au niveau de la ville, il est intéressant de mettre en pratique un certain nombre de conseils qui ont surtout pour but de maintenir et d'étendre une superficie effective de végétation.

TABLEAU 5
Gestion efficace de la végétation urbaine

1	Augmentez le nombre d'arbres pour accroître la capacité de filtration
2	Favorisez de bonnes conditions de croissance grâce à des arbres sains qui sont les plus efficaces
3	Veillez à laisser les arbres devenir adultes
4	Utilisez des arbres adaptés à l'environnement urbain et qui de préférence n'ont besoin que de peu d'entretien
5	Diversifiez les variétés pour lutter contre le cocktail de pollution de manière performante
6	Utilisez des conifères (de préférence à feuillage persistant) pour une absorption continue des particules de poussière toute l'année
7	Utilisez en alternative pour la capture des particules de poussière des feuillus à feuilles rugueuses et poilues
8	Choisissez des feuillus à feuilles plates et larges pour capter efficacement le dioxyde d'azote et l'ozone
9	Évitez les variétés sensibles à la pollution
10	Limitez l'utilisation des variétés d'arbres qui sécrètent beaucoup de composés organiques volatils et leur plantation à grande échelle pour ne pas stimuler la production du smog de l'été

5.3 A proximité d'une source de pollution

Par exemple près d'une route à trafic intense, la végétation peut aider à abaisser la concentration sur place. Tenez compte du fait qu'une éventuelle diminution de la concentration est très locale et qu'elle se manifeste sous le vent de l'arbre. L'effet de protection pourra être répété en plantant à quelque distance une deuxième rangée d'arbres.

TABLEAU 6
Protection près de la source de pollution

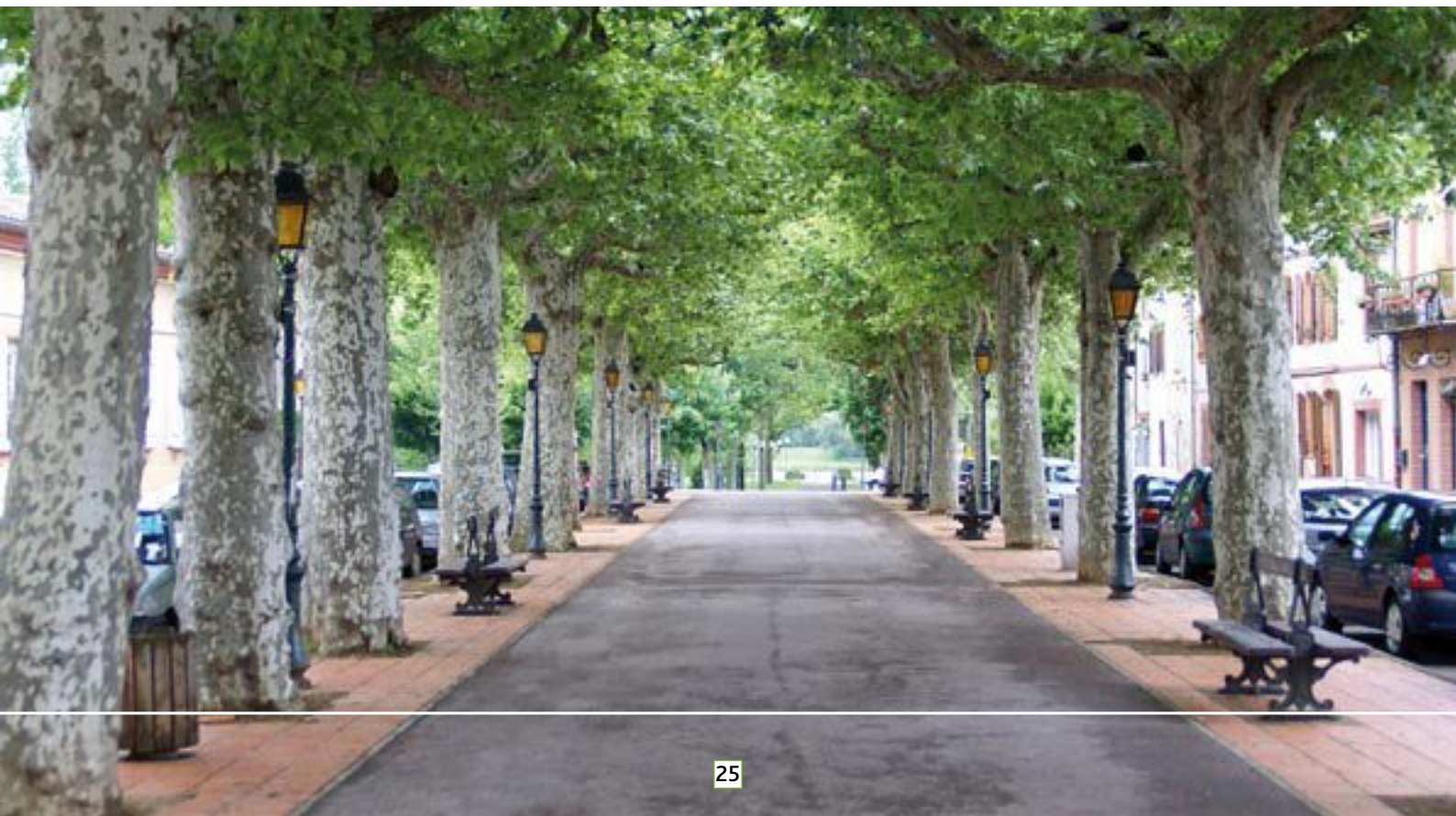
1	Veillez à ce que la couronne de l'arbre puisse laisser passer l'air pollué (> 50 % de porosité optique), soit par un choix de variété appropriée soit par une gestion guidée
2	Évitez que des arbres ne freinent trop la vitesse du vent à proximité de la source de pollution (le fameux « effet de tunnel vert ») ce qui peut provoquer localement des concentrations plus élevées, malgré leur fonction d'épuration de l'air
3	Combinez les arbres à couronne surélevée avec des herbacées et des arbustes au pied des arbres afin de profiter d'un feuillage à tous les niveaux
4	Choisissez des arbres qui ont une structure de branches enchevêtrées car ils contribuent à l'absorption des particules de poussière, même si les feuilles sont tombées
5	Plantez des arbres en lignes perpendiculairement à la direction du vent pollué, là où c'est possible et faites revenir ces lignes dans le quartier
6	Veillez à ne pas gêner l'afflux du vent latéral sur les arbres à proximité d'une source de pollution
7	Utilisez des arbres non seulement à proximité de la source d'émission pour capter le plus de pollution, mais aussi autour des lieux sensibles comme les écoles, les hôpitaux et les maisons de repos

5.4 Influence sur le climat local

Les arbres exercent une influence notable sur le climat local. Pour les arbres isolés, c'est surtout l'effet d'ombrage qui est nécessaire.

TABLEAU 7
Ombrage

1	Plantez des arbres pour ombrager les voitures en stationnement afin de limiter l'évaporation des composés organiques volatils des réservoirs de carburant
2	Utilisez des structures de végétation alternative, comme les plantes grimpantes de façade, les structures du type pergola et une végétation de toiture si l'espace de plantation des arbres est insuffisant ou si la circulation de l'air est trop limitée



6 Efficacité des arbres et des plantes

Si toutes les plantes contribuent à améliorer la qualité de l'air, une bonne végétation est cependant une nécessité absolue. L'efficacité n'est pas la même pour chaque variété et dépend des composants de l'air pollué. Les feuilles sont l'endroit principal où sont filtrées la pollution gazeuse et les particules de poussière. Les différences de structure et de quantité de feuilles ainsi que leurs aspects déterminent énormément les différences d'efficacité entre les variétés. Il nous manque encore beaucoup d'information au sujet de l'efficacité précise des différentes variétés d'arbres et d'arbustes pour améliorer la qualité de l'air. Dans le tableau 8, vous trouverez une estimation de cette efficacité établie sur la base des caractéristiques des feuilles. Il s'agit ici de différences d'efficacité relatives entre les variétés. En effet, toutes les plantes éliminent dans une mesure plus ou moins grande la pollution de l'air. Cependant, certaines plantes peuvent stimuler la formation d'ozone en sécrétant des composés organiques volatils, la dernière colonne présente toutes les données connues à ce sujet.

6.1 Particules de poussière (PM10)

En ce qui concerne les particules de poussière, l'efficacité est estimée d'après les critères suivants :

- 1 Les conifères sont plus efficaces pour l'élimination des particules de poussière que les feuillus ;
- 2 Dans la catégorie des feuillus, les arbres à feuilles rugueuses et poilues sont plus efficaces que les arbres à feuilles plates et larges ;
- 3 Les variétés à feuillage persistant éliminent plus de particules de poussière que les variétés à feuilles caduques ;
- 4 Les variétés à feuilles à grande surface captent plus de poussière que les variétés à surface de feuille plus petite. A ce titre, les arbres sont donc plus efficaces que les arbustes.

Au stade des connaissances actuelles, les particules de poussière ne sont pas nuisibles pour les plantes. Pour le choix des variétés, il ne faut donc pas tenir compte des aspects de sensibilité à la poussière.

L'évaluation de l'efficacité est reproduite dans ce tableau à une échelle de 1 (le moins efficace) à 3 (le plus efficace).

6.2 Oxydes d'azote

En ce qui concerne les oxydes d'azote, l'efficacité est estimée d'après les critères suivants :

- 1 Les feuillus sont plus efficaces que les conifères pour l'absorption des oxydes d'azote ;
- 2 Dans la catégorie des feuillus, les arbres à feuilles lisses et plates sont plus efficaces que les arbres à feuilles rugueuses et poilues ;
- 3 Les variétés à grande surface foliaire absorbent plus d'oxydes d'azote que les variétés à petite surface. Là aussi, les arbres sont donc plus efficaces que les arbustes.

L'évaluation de l'efficacité est reproduite dans ce tableau à une échelle de 1 (le moins efficace) à 3 (le plus efficace).

Les oxydes d'azote peuvent être nuisibles aux plantes. Si les arbres et les arbustes sont plantés pour abaisser les concentrations d'oxydes d'azote, il faut tenir compte des aspects de sensibilité. Celle-ci varie également parmi les variétés qui sont connues d'après une étude japonaise (*Takahashi et autres, 2005*) pour pouvoir être plantées dans un environnement où les oxydes d'azote sont abondants (indiqués par le signe +).

pour améliorer la qualité de l'air



6.3 Ozone

L'effet des arbres sur la concentration en ozone est un problème très complexe. L'ozone est formé par le dioxyde d'azote et les composés organiques volatils à des températures élevées et sous l'influence des rayons du soleil. Les variétés d'arbres peuvent influencer la concentration d'ozone de nombreuses façons.

- 1 Grâce à l'évaporation de l'eau par les feuilles, les plantes atténuent l'élévation de la température et freinent ainsi la formation d'ozone par rapport à une situation sans plantes ;
- 2 Les arbres et les plantes absorbent le dioxyde d'azote (colonne 3 du tableau 8) dans une mesure plus ou moins grande. Plus le dioxyde d'azote est absorbé, moins l'ozone est formé ;
- 3 Les arbres et les arbustes absorbent l'ozone dans une mesure plus ou moins grande ;
- 4 Les arbres secrètent des composés organiques volatils en quantités différentes (voir colonne 5 du tableau 8). Ces composés organiques sont source de formation d'ozone. Plus il y a d'émissions de ce type de combinaisons, plus la production d'ozone est stimulée.

Dans la colonne 4, vous trouverez une estimation de l'efficacité des arbres et des arbustes à absorber l'ozone. En ce qui concerne l'efficacité, l'absorption de l'ozone s'effectue de manière parallèle à celle du dioxyde d'azote parce que les processus d'absorption sont comparables. L'évaluation de l'efficacité est donc reproduite également à une échelle de 1 (le moins efficace) à 3 (le plus efficace). Sont indiquées entre parenthèses les variétés qui sont capables de diminuer (+) ou d'augmenter (-) effectivement la concentration d'ozone dans la ville selon une étude anglaise (*Donovan et autres, 2005*).

Les variétés qui émettent beaucoup de composés organiques volatils (colonne 5 du tableau 8) peuvent provoquer une augmentation des niveaux d'ozone. Bien que ces variétés absorbent l'ozone également, on enregistre une faible augmentation de ces niveaux. Si la diminution des concentrations d'ozone est souhaitée, il vaut mieux éviter la plantation de ces variétés à grande échelle.

TABLEAU 8 Estimation de l'efficacité des variétés les plus importantes pour abaisser les concentrations de particules de poussière, des oxydes d'azote et de l'ozone présentes dans l'air.

COLONNE ESPÈCES

* les caractéristiques citées concernent également les cultivars de l'espèce en question.

COLONNE PARTICULES DE POUSSIÈRE (CAPTURE), OXYDES D'AZOTE (ABSORPTION) ET OZONE (ABSORPTION)

■ : moins efficace
 ■ ■ ■ : plus efficace

COLONNE OXYDES D'AZOTE

+ variétés qui absorbent beaucoup de dioxydes d'azote et qui n'y sont pas sensibles (*basée sur une étude japonaise*)

COLONNE OZONE

+ variétés qui font baisser efficacement les concentrations d'ozone en ville

- variétés qui font augmenter la concentration d'ozone en ville (*basée sur une étude anglaise*)

COLONNE EMISSION DES COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS

■ : émission réduite
 ■ ■ ■ : beaucoup d'émission

• l'émission des composés organiques volatils ne peut pas être mesurée pour ces variétés

SOURCE

① Takahashi et al, 2005
 ② Donovan et al, 2005

③ Stewart and Hewitt, 2002
 ④ Nowak et al, 2002

ESPÈCES	PARTICULES DE POUSSIÈRE PM10	OXYDES D'AZOTE NO+NO ₂	OZONE O ₃	EMISSION DE COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS ③ ④
ARBUSTES				
<i>Amelanchier lamarckii</i>	■	■	■	•
<i>Berberis xfrickartii</i> *	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■
<i>Chaenomeles</i>	■	■ ■	■ ■	
<i>Corylus colurna</i>	■ ■	■ ■	■ ■	+
<i>Euonymus (caduque)</i>	■	■ ■ ■ + ①	■ ■ ■	•
<i>Euonymus (persistant)</i>	■ ■	■ ■ ■ + ①	■ ■ ■	•
<i>Hedera</i>	■ ■	■	■	•
<i>Ilex xmeserveae</i>	■ ■	■ ■	■ ■	+
<i>Lonicera (caduque)</i>	■	■	■	•
<i>Lonicera (persistant)</i>	■ ■	■		
<i>Mahonia</i>	■ ■	■ ■ ■	■ ■	■ ■ ■ ■
<i>Potentilla fruticosa</i>	■ ■	■ ■	■ ■	■
<i>Rosa</i>	■ ■	■ ■	■ ■	■
<i>Spiraea</i>	■	■ ■	■ ■	■
PLANTES GRIMPANTES				
<i>Clematis</i>	■	■	■	•
<i>Fallopia</i>	■	■ ■ ■	■ ■ ■	•
<i>Hedera</i>	■ ■ ■	■	■	•
<i>Lonicera</i>	■	■ ■	■ ■	•
<i>Parthenocissus</i>	■	■ ■	■ ■	•
<i>Pyracantha</i>	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	•
<i>Rosa</i>	■ ■	■ ■	■ ■	■
<i>Wisteria</i>	■	■ ■	■ ■	•

ESPÈCES	PARTICULES DE POUSSIÈRE PM10	OXYDES D'AZOTE NO+NO ₂	OZONE O ₃	EMISSION DE COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS ③ ④	
CONIFÈRES					
<i>Ginkgo biloba</i> *	■	■■■	■■■		■
<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	■■■	■	■		■
<i>Pinus nigra</i>	■■■	■	■	+	■
<i>Pinus sylvestris</i> *	■■■	■	■		■
<i>Taxus</i>	■■■	■	■		■
HAIES					
<i>Carpinus betulus</i>	■■	■■■	■■■		■
<i>Fagus</i>	■■	■■■	■■■		●
<i>Ligustrum</i>	■■	■■■	■■■		●
FEUILLUS					
<i>Acer platanoides</i> *	■	■■■	■■■	+	● ②
<i>Acer pseudoplatanus</i> *	■	■■■	■■■	+	●
<i>Aesculus</i>	■■	■■■	■■■		●
<i>Ailanthus altissima</i>	■	■■■	■■■		■
<i>Alnus cordata</i>	■	■■■	■■■	+	●
<i>Alnus glutinosa</i> *	■	■■■	■■■	+	●
<i>Alnus xpaethii</i>	■■	■■■	■■■	+	●
<i>Betula ermanii</i> *	■■	■■■	■■■	+	■
<i>Betula nigra</i>	■■	■■■	■■■	+	■
<i>Betula pendula</i>	■■	■■■	■■■	+	■
<i>Betula utilis</i> *	■■	■■■	■■■	+	■
<i>Carpinus betulus</i> *	■■	■■■	■■■		■
<i>Crataegus xpersimilis</i> *	■	■■■	■■■	+	●
<i>Fagus sylvatica</i> *	■■	■■■	■■■		●
<i>Fraxinus angustifolia</i> *	■	■■■	■■■		●
<i>Fraxinus excelsior</i> *	■	■■■	■■■	+	●
<i>Fraxinus ornus</i> *	■	■■■	■■■		●
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	■■	■■■	■■■		●
<i>Gleditsia triacanthos</i> *	■■	■■■	■■■		●
<i>Koelreuteria paniculata</i>	■	■■	■■		■■■■
<i>Liquidambar styraciflua</i>	■■	■■■	■■■		■■■■
<i>Liriodendron tulipifera</i>	■	■■■	■■■		●
<i>Magnolia kobus</i>	■	■■	■	+	■
<i>Malus</i> *	■■	■■■	■■■	+	●
<i>Parrotia persica</i>	■■	■	■		
<i>Platanus xhispanica</i> *	■■	■■■	■■■		■■■■
<i>Populus</i> *	■■	■■■	■■■	-	■■■■
<i>Prunus</i> *	■■	■■■	■■■	+	●
<i>Pyrus calleryana</i> *	■	■■■	■■■		●
<i>Quercus palustris</i>	■■	■■■	■■■	-	■■■■
<i>Quercus robur</i> *	■	■■■	■■■	-	■■■■
<i>Salix alba</i> *	■■	■■■	■■■	-	■■■■
<i>Sophora japonica</i>	■■	■■■	■■■		●
<i>Sorbus</i>	■■	■■■	■■■	+	■
<i>Tilia cordata</i> *	■■	■■■	■■■		■
<i>Tilia europaea</i> *	■	■■■	■■■	+	■
<i>Ulmus</i> *	■■	■■■	■■■	+	■

7 Une ville verte et saine



nécessite des projets intégraux

Dans les chapitres précédents, nous avons expliqué que la végétation peut être utilisée pour améliorer la qualité de l'air dans la zone urbaine. La végétation présente dans un quartier est non seulement un élément positif à l'oeil, mais est aussi fonctionnelle. Elle a en outre une valeur marchande. D'après une étude publiée en 2005 aux Pays-Bas, il apparaît que les souhaits les plus importants dans le domaine du logement se définissent par une habitation à prix abordable dans un environnement de verdure.

D'autres études mettent en évidence que la qualité de l'environnement végétal fait augmenter la valeur des maisons. Il a encore été démontré que la végétation à proximité des habitations exerce une influence positive sur la qualité de vie dans un quartier, le sentiment de sécurité et sur le bien-être des habitants.

Afin de pouvoir inscrire toutes ces fonctions dans la durée, une végétation doit être pensée dès le début de l'aménagement d'un quartier (ou de tout autre projet d'infrastructure) de façon qualitative et fonctionnelle. Cette réflexion constitue le point le plus important du concept Cité Verte. Le principe de base d'une Ville Verte est que l'infrastructure de la végétation apporte une plus-value dès le début de l'aménagement ou de la restructuration. Ce qui signifie que la végétation fait partie intégrale du plan technique et financier du projet planifié. Dès le début de la formation du plan, la végétation est aussi importante que les fonctions «rouges» (bâtiments), «grises» (réseau routier) et «bleues» (superficie aquatiques). L'aménagement des espaces verts doit être réalisé avant la livraison du quartier aux habitants. Lors de la présentation du projet, la projection de la situation souhaitée après réalisation doit être prise en compte et l'entretien de la végétation pleinement garanti.

Pour le choix des variétés, il faut partir du principe : *le bon arbre à la bonne place* et il est indispensable de faire appel aux experts dans ce domaine. Si nous considérons

la qualité de l'air dans nos villes, il apparaît clairement que faire un bon choix est primordial. La pollution de l'air contient un cocktail de composants dont les matières les plus importantes sont le dioxyde d'azote et l'ozone. Un bon mélange de variétés et la diversification des structures de végétation doivent être mis en place pour lutter contre ce cocktail. Le grand avantage d'une telle approche intégrée est qu'elle mène à une grande richesse de variétés synonyme d'une meilleure répartition des espaces verts et d'une plus juste maîtrise des équilibres écologiques.

Dans le chapitre 6 de cet ouvrage, les variétés les plus couramment utilisées sont appréciées en fonction de leur efficacité vis-à-vis de la diminution de la pollution de l'air.

Ce chapitre constitue un point de référence pratique pour faire le bon choix de plantation dans le but de rendre nos villes plus variées, plus vertes et encore plus agréables !



SITES INTERNET À CONSULTER SUR LA QUESTION :

Filière Arbres et paysage

Pépiniéristes : www.fnphp.com
Entreprises du paysage : www.entreprisesdupaysage.org
Concepteurs : www.f-f-p.org
Interprofession : www.valhor.com

Données sur l'environnement en France :

www.ifen.fr

Innovation

Plante&Cité : www.plante-et-cite.fr
Astredhor : www.astredhor.asso.fr

Sites internationaux Cité verte :

www.thegreencity.co.uk
www.die-gruene-stadt.de
www.degroenestad.nl

Autres sites intéressants:

www.vito.be/bugs
www.straatbomen.nl
www.es-consulting.nl
www.rfs.org.uk
www.thegreenroofcentre.co.uk
www.treesforcities.org/html/informationrepo/
<http://gdt.vito.be/>
www.galk.de



Références

Oosterbaan, A., Tonneijck, A.E.G., de Vries, E.A., 2006. Kleine landschapselementen als invangers van fijn stof en ammoniak. Rapport Alterra 1419, Wageningen, Pays-Bas.

Donovan, R.G., Stewart, H.E., Owen, S.M., Mackenzie, A.R., Hewitt, C.N., 2005. Development and application of an urban tree air quality score for photochemical pollution episodes using the Birmingham, United Kingdom, area as a case study. *Environmental Science and Technology* 39, 6730-6738.

Dunnett, N., Kingsbury, N., 2004. Planting green roofs and living walls. Timber Press, Portland, Oregon, VS.

Houben, B., Jongbloed, F., Kroon, T., Prins, M., Terhürne, R., 2006. Bos als fijnstoffilter. Een literatuurstudie. Rapport de Geldersch Landschap en Geldersche Kasteelen, Arnhem.

Hoek, G., Brunekreef, B., Goldbohm, S., Fischer, P., Van den Brandt, P.A., 2002. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *The Lancet* 360, 1203-1209.

MNP, 2005. Milieubalans 2005. Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven, Pays-Bas.

Novem, 2003. Energetische stedenbouw. In: NEO: Nieuw EnergieOnderzoek in Praktijk, 2NEO-03.03, Novem, pag. 17-22.

Nowak, D.J., 1995. Trees pollute? A "TREE" explains it all, Proceedings of the 7th National Urban Forest Conference, American Forests, Washington, DC, p. 28-30.

Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C., Ibarra, M., 2002. Brooklyn's urban forest. Gen. Tech. Rep. NE-290. Newton Square, PA. U.S. Department of Agriculture, Forest service, Northeastern Research station, 107 p.

Stewart, H., Hewitt, C.N., 2002. Lancaster University (www.es.lancs.ac.uk/people/cnh).

Takahashi, M., Higaki, A., Nohno, M., Kamada, M., Okamura, Y., Matsui, K., Kitani, S., Morikawa, H. Differential assimilation of nitrogen dioxide by 70 taxa of roadside trees at an urban pollution level. *Chemosphere*, 2005, vol. 61, 633-639.

Thönnessen, M., 2005. Feinstaub und Innerstädtisches Grün – Eine Übersicht, Avril 2005.

Wesseling, J.P., Duyzer, J., Tonneijck, A.E.G., van Dijk, C.J., 2004. Effecten van groenelementen op NO₂ en PM10-concentraties in de buitenlucht, TNO-Rapport R 2004/383, Septembre 2004.







P.O. Box 81, 2770 AB Boskoop, The Netherlands
www.pph.nl



44, rue d'Alésia 75682 Paris Cedex 14, France
www.valhor.com