

Synthèses

Une ville verte

Les rôles du végétal en ville

Marjorie Musy, coord.



éditions
Quæ

Une ville verte

Les rôles du végétal en ville

Une ville verte

Les rôles du végétal en ville

Marjorie Musy, coordinatrice

Éditions Quæ
RD 10, 78026 Versailles Cedex

Collection Synthèses

Ingénierie écologique. Action par et/ou pour le vivant ?

F. Rey, F. Gosselin, A. Doré

2014, 172 p.

Grasslands and Herbivore Production in Europe and Effects of Common Policies

C. Huyghe, A. Peeters, A. De Vlieghe, B. Van Gils

2014, 320 p.

Plancton marin et pesticides : quels liens ?

G. Arzul, F. Quiniou

2014, 140 p.

Principes de chimie redox en écologie microbienne

A. Pidello

2014, 144 p.

La symbiose mycorhizienne

Une association entre les plantes et les champignons

J. Garbaye

2013, 280 p.

Les sols et leurs structures

Observations à différentes échelles

D. Baize, O. Duval, G. Richard, coord.

2013, 264 p.

Structure des aliments et effets nutritionnels

A. Fardet, I. Souchon, D. Dupont, coord.

2013, 470 p.

S'adapter au changement climatique

Agriculture, écosystèmes et territoires

J.-F. Soussana, coord.

2013, 296 p.

Remerciements

La majeure partie de ce travail a été réalisée dans le cadre du projet VegDUD « Rôle du végétal dans le développement urbain durable, une approche par les enjeux liés à la climatologie, l'hydrologie, la maîtrise de l'énergie et les ambiances », financé par l'Agence nationale de la recherche, dans le cadre de l'appel à projets « Villes durables 2009 », sous la convention ANR-09-VILL-0007.

Les partenaires de VegDUD sont :IRSTV (Cerma/Ensa Nantes, LHEEA/ECN, ESO/université de Nantes), Ifsttar, Plante & Cité, LaSie (université de La Rochelle), LPGN (université de Nantes), Game (CNRM), Dota (Onera), IRSN, CSTB, Éphyse (Inra de Bordeaux).

Le projet a également reçu le soutien de la Ville de Nantes et de Nantes Métropole. Il a été labellisé par les pôles de compétitivité PGCE et Végépolys.

Nous tenons également à remercier l'Ademe, ainsi que les Régions Pays de la Loire et Poitou-Charentes, qui ont cofinancé deux doctorants ayant participé au projet.

Enfin, nous remercions Philippe Clergeau, qui bien qu'extérieur au projet VegDUD a bien voulu compléter notre travail par sa vision d'écologue.

Tous les contributeurs de VegDUD n'ont pas directement participé à la rédaction de cet ouvrage, mais ils ont d'une manière ou d'une autre contribué au travail de constitution de la connaissance :

Hervé Andrieu (IRSTV/Ifsttar), Karina Azos (IRSTV/Cerma), Insaf Bagga (LHEEA/ECN), Olivier Balaÿ (Cresson/Ensa Grenoble), Jean-Luc Bardyn (Cresson/Ensa Grenoble), Françoise Barret (Seve, Ville de Nantes), Erwan Bocher (IRSTV), Bernard Bourges (Gépéa/EMN), Jean-Marc Brun (Ifsttar), Yves Brunet (Éphyse/Inra), Aurore Brut (Cesbio), Katia Chancibault (Ifsttar), Martine Chazelas (IRSTV/Cerma), Jean-Martial Cohard (LTHE), Olivier Connan (IRSN), Cécile De Munck (Game/CNRM), Véronique Dom (IRSTV/Cerma), Sylvain Dupont (Éphyse/Inra), Bernard Flahaut (Ifsttar), Joël Garreau (Nantes Métropole), Jean-Philippe Gastellu Etchegorry (Cesbio), Carina Furusho (IRSTV/LHEEA), Dominique Gaudin (IRSTV/LHEEA), Éloi Grau (Cesbio), Noëlle Guyon (IRSTV), Mark Irvine (Éphyse/Inra), Sonja Jankowsky (Ifsttar), Zeineb Kassouk (LPGN, université de Nantes), Pascal Keravec (IRSTV/LHEEA), Philippe L'Hermite (Ifsttar), Bruno Lacarrière (Gépéa/EMN), Pierre Lagionie (IRSN),

Jean-Pierre Lagouarde (Éphyse/Inra), Sophie Lemaire (Plante & Cité), Aude Lemonsu (Game/CNRM), Arnaud Lepetit (IRSTV/ESO), Magdalena Maché (IRSTV/LHEEA), Denis Maro (IRSN), Olivier Martin (LaSie, université de La Rochelle), Benjamin Morille (IRSTV/Cerma), Marie-Laure Mosini (Ifsttar), Georges Najjar (LSIIT, université de Strasbourg), Françoise Nerry (LSIIT, université de Strasbourg), Romaric Perrocheau (Seve, Ville de Nantes), Gwendall Petit (IRSTV), Thibaud Piquet (IRSTV/LHEEA), Guillaume Pommier (Plante & Cité), Vera Rodrigues (IRSTV/LHEEA), Jean-Marc Rouaud (Ifsttar), Frédéric Rousseaux (LIENSs, université de La Rochelle), Tony Ruiz (IRSTV/LHEEA), Jean-François Sini (IRSTV/LHEEA), Jacques Soignon (Seve, Ville de Nantes), Richard Tavares (IRSTV/LHEEA), Yves Tétard (CSTB), Brice Tonini (IRSTV/ESO) et Deniz Yilmaz (CSTB).

Liste des sigles

Ademe : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
ANR : Agence nationale de la recherche
Cerma : Centre de recherche méthodologique d'architecture
Cesbio : Centre d'études spatiales de la biosphère
CNRM : Centre national de recherches météorologiques
Cresson : Centre de recherche sur l'espace sonore et l'environnement urbain
CSTB : Centre scientifique et techniques du bâtiment
Dota : Département optique théorique et appliquée
ECN : École centrale de Nantes
EMN : École des mines de Nantes
Ensa Grenoble : École nationale supérieure d'architecture de Grenoble
Ensa Nantes : École nationale supérieure d'architecture de Nantes
LHEEA : Laboratoire de recherche en hydrodynamique, énergétique et environnement atmosphérique
Éphyse : Écologie fonctionnelle et physique de l'environnement
ESO : Espace et société
Game : Groupe d'études de l'atmosphère météorologique
Gépéa : Génie des procédés, environnement, agro-alimentaire
Ifsttar : Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux
Inra : Institut national de la recherche agronomique
IRSN : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
IRSTV : Institut de recherche en sciences et techniques de la ville
LaSIE : Laboratoire des sciences de l'ingénieur pour l'environnement
LIENSs : Littoral environnement et sociétés
LPGN : Laboratoire de planétologie et géodynamique de Nantes
LSIIT : Laboratoire des sciences de l'image, de l'informatique et de la télédétection
LTHE : Laboratoire d'étude des transferts en hydrologie et environnement
Onera : Office national des études et recherches aérospatiales
PGCE : Pôle génie civil éco-construction
Seve : Service espaces verts et environnement

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	5
Introduction : Comment prendre en compte le végétal dans l'espace urbain ?	9
Les sept enjeux d'une approche multidisciplinaire	10
Chapitre 1. Présence végétale en ville : quelle connaissance ?.....	15
Introduction	15
État des lieux et évolution de la place de la végétation en ville	15
Nouvelles méthodes d'acquisition et de traitement de la donnée	26
Conclusion.....	34
Chapitre 2. Impacts sur les microclimats urbains	35
Introduction	35
Les phénomènes physiques en jeu	36
Approches expérimentales	39
Modélisation et simulation des dispositifs végétaux urbains.....	46
Les effets de différents types de végétation	52
Effet de la configuration spatiale de la végétation	60
Conclusion.....	62
Chapitre 3. Impacts sur la consommation énergétique et le confort dans les bâtiments.....	63
Introduction	63
Les phénomènes physiques en jeu	64
Approches expérimentales	66
Modélisation et simulation des impacts thermiques	66
Les effets de différents types de végétation	71
Conclusion.....	78

Chapitre 4. Gestion des eaux pluviales en milieu urbain et végétation.....	81
Introduction	81
Les phénomènes physiques en jeu	82
Approches expérimentales	84
Modélisation et simulation des effets de la végétation	87
Les effets de différents types de végétation	90
Conclusion.....	93
Chapitre 5. Ambiances urbaines, approches physiques	95
Introduction	95
Notion d'ambiance	96
Confort thermique.....	97
Éclairage naturel.....	106
Acoustique.....	108
Conclusion.....	119
Chapitre 6. Influence de la végétation sur la qualité de l'air	121
Introduction	121
Les phénomènes physiques et physico-chimiques mis en jeu.....	122
Approches expérimentales	128
Problèmes de modélisation.....	128
Les effets de différents types de végétation	131
Conclusion.....	134
Chapitre 7. Empreinte carbone	135
Introduction	135
Éléments de définition	135
La végétation urbaine comme puits de carbone.....	140
Effets indirects de la végétation urbaine	148
Les émissions de CO ₂ à travers les cycles de vie de la végétation et son entretien	150
Limites	153
Conclusion.....	154
Chapitre 8. Biodiversité urbaine.....	157
Introduction	157
La biodiversité urbaine et le contexte des services écologiques.....	157
Les méthodes d'investigation	159
Des résultats en biodiversité urbaine.....	159
Conclusion.....	165
Conclusion et perspectives	167
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	169
LISTE DES AUTEURS.....	195

Introduction

Comment prendre en compte le végétal dans l'espace urbain ?

Marjorie MUSY

Les grandes agglomérations françaises doivent faire face à des objectifs environnementaux forts qui peuvent s'avérer contradictoires, comme se densifier pour maîtriser l'étalement urbain, maintenir la biodiversité, anticiper et limiter le changement climatique, réduire les émissions de gaz à effet de serre, offrir un cadre de vie sain et agréable aux habitants... Ces enjeux doivent être pris en compte à toutes les échelles spatiales d'intervention urbaine, de celle de l'aménagement d'un lieu de vie à celle de la ville, et suivis dans le temps.

Ils se traduisent dans la pratique des projets, par des interrogations récurrentes sur les rôles relatifs de la forme urbaine et du végétal. En effet, pour améliorer le confort estival dans les villes, une des solutions avancées est l'accroissement de la place de la végétation. Simultanément, pour aider à maîtriser la dépense énergétique induite par la climatisation et le chauffage des bâtiments, qui entraîne l'émission de gaz à effet de serre et des charges anthropiques participant à l'îlot de chaleur urbain, les solutions végétales appliquées aux enveloppes de bâtiments ou à l'espace urbain, sont également réputées efficaces. Ainsi, des techniques industrielles de façades et toitures végétales, dont on allègue les performances hydrologiques, thermiques et climatiques, sont d'ores et déjà disponibles, des projets de forêts urbaines sont annoncés et engagés.

Les opérationnels élaborent des réponses, observent les pratiques des autres, transposent, adaptent, apprennent de leurs erreurs. Cependant, un constat est fait : les approches ne peuvent être standardisées, mais au contraire, la diversité des solutions est reconnue, justifiée par la diversité des villes, leur histoire, leur type de développement, leur taille, leur patrimoine, leur contexte climatique... Pour une aide à la décision efficace, il apparaît donc nécessaire de mieux connaître les phénomènes physiques et les paramètres qui conditionnent les rôles relatifs de la végétation et de la forme urbaine. Ceci passe par différents types d'approches d'expérimentation et de modélisation. Ce champ de recherche a été ici exploré d'une manière disciplinaire et une synthèse interdisciplinaire permet de mettre en évidence les paramètres qui influencent les fonctions écosystémiques de la végétation, ciblées en fonction du contexte urbain.

► Les sept enjeux d'une approche multidisciplinaire

Sept enjeux ont été privilégiés dans cette synthèse car ils sont très fortement liés et doivent être traités simultanément : les enjeux climatiques, énergétiques, hydrologiques, d'ambiance, de qualité de l'air, d'empreinte carbone et de biodiversité.

Le climat

Le Giec a annoncé en 2013 un réchauffement global de 0,3 à 4,8 °C (par rapport à la période 1986-2005) pour la fin du ^{xxi}^e siècle, en fonction de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre ou GES (Ipcc, 2013). À ce réchauffement viennent s'ajouter les phénomènes d'îlot de chaleur urbain (ICU), de plus en plus étudiés. On sait qu'ils sont liés à la forme urbaine, aux matériaux et aux charges anthropiques dissipées dans le tissu urbain. Les dissipations thermiques des bâtiments participent de façon importante à l'amplification du réchauffement urbain et les systèmes de climatisation peuvent en représenter une part significative, d'autant plus que leur charge augmente avec le réchauffement. Outre les questions de confort, le phénomène d'ICU pose des questions sanitaires avec parfois des conséquences dramatiques, comme lors de la canicule de l'été 2003, qui a entraîné un surcroît de mortalité estimé à plus de 70 000 morts en Europe dont 20 000 en France (Robine *et al.*, 2007).

La végétation a un impact important sur le microclimat urbain, par son ombrage et sa capacité d'évaporation, elle améliore les conditions de confort en été, et limite les vitesses de vent en hiver.

Le facteur 4

Dans la plupart des grandes villes, l'amplification des phénomènes d'ICU entraîne une consommation supplémentaire d'énergie pour le rafraîchissement des bâtiments en été. La consommation d'énergie finale de la France et la part liée aux secteurs résidentiels et tertiaires se stabilisent depuis 2006 à des valeurs respectivement de 155 et 68 Mtep¹ (Insee, 2013). Ces secteurs représentent 44 % des consommations d'énergie et 23 % des émissions de CO₂. Pour l'Europe, le conditionnement des espaces habités est estimé à 57 % de la demande énergétique. On lui associe également 33 % de la production de CO₂ du secteur bâtiment. Il faut en plus considérer qu'il est l'une des principales sources anthropiques responsables des phénomènes d'ICU.

Le secteur du bâtiment constitue donc une des clés pour le respect de l'engagement pris en 2003 de diviser par quatre d'ici 2050 les émissions nationales de gaz à effet de serre du niveau de 1990. Or, du point de vue technique, ce « facteur 4 » restera beaucoup plus facile à atteindre dans le bâtiment neuf que dans la rénovation, alors qu'il faut compter avec un stock important de bâtiments anciens dont l'amélioration des performances énergétiques devra être programmée sur plusieurs années.

1. Mtep : million de tonnes équivalent pétrole.

Pour ces bâtiments, un des leviers consiste à agir sur le contexte climatique local afin de réduire la sollicitation thermique d'été. Cette solution, qui présente par ailleurs un caractère équitable et sanitaire, doit cependant être évaluée globalement, en termes de coûts, de durabilité, de bilan écologique et comparée à des solutions traditionnelles d'isolation et d'équipement thermique (énergies renouvelables, par exemple).

L'hydrologie

Les villes fortement minérales sont confrontées à des problèmes de gestion des eaux pluviales de plus en plus critiques. La présence de végétation peut être utilisée comme outil de gestion à la source, avec des aménagements qui permettent leur stockage et leur infiltration sur place plutôt qu'une évacuation directe vers les réseaux enterrés, afin de répondre à deux objectifs : limiter les risques de crues et éviter le coûteux surdimensionnement des réseaux. Ainsi, les toitures végétalisées sont préconisées en compensation de la réduction du sol naturel pour « écrêter » les événements pluvieux. Des noues paysagées sont mises en place dans de nombreux écoquartiers. Les arbres interceptent une partie de l'eau de pluie, limitant le phénomène de ruissellement et ses conséquences, comme l'entraînement des polluants vers les réseaux. Le fonctionnement hydrique de ces dispositifs conditionne non seulement la survie des plantes mais également leur impact sur le climat à travers l'effet de l'évapotranspiration.

Le végétal et l'ambiance de la ville

La végétation est déjà présente en milieu urbain sous forme de jardins privés, squares ou de parcs publics, arbres d'alignement... On attend d'elle aujourd'hui qu'elle équilibre environnementalement l'artificialisation du milieu de vie qu'est la ville, tout en lui attribuant des vocations récréatives et sociales qui répondent au désir de la société de retour à la nature et d'amélioration du cadre de vie.

Des enquêtes ont mis en évidence la demande sociale de nature. En 2008, l'Union nationale des entrepreneurs du paysage (Unep) et l'institut de sondage Ipsos, montrent le caractère désormais central de la végétation en ville : 7 Français sur 10 choisissent aujourd'hui leur lieu de vie en fonction de la présence d'espaces verts à proximité de leur habitation et 3 Français sur 4 fréquentent de façon périodique ou quotidienne, ces espaces de leur commune. Si les raisons de cet engouement sont diverses, la volonté de se relaxer, de rencontrer les autres habitants et de pratiquer un sport est régulièrement avancée.

Ces rapports entre ville et végétal participent à l'« ambiance urbaine », résultat d'éléments objectifs, mesurables, par exemple physiques et climatiques (morphologie, densité, minéralisation, microclimat urbain...), et d'éléments plus subjectifs qui varient selon les usages et les perceptions.

La qualité de l'air

Du fait de la conjonction d'une forte densité de population et d'activités polluantes, les villes focalisent les problématiques de qualité de l'air. Le terme « pollution de l'air » inclut les polluants de type gazeux comme les composés organiques volatils, ou les pollutions de type particulaire (particules émises par les véhicules et les systèmes de chauffage, ou particules organiques comme les pollens). La végétation doit être vue à la fois comme un récepteur, un émetteur, ou simplement un élément qui modifie localement le transport et la diffusion des polluants. Ainsi, quand on aborde le rôle de la végétation dans la qualité de l'air extérieur, on doit en aborder les rôles mécaniques et chimiques, fortement liés aux phénomènes climatiques, tant vis-à-vis des particules que des gaz.

Les interactions climatiques vont au-delà de phénomènes locaux : par exemple, le phénomène d'ICU induit un allongement des périodes de pollinisation et donc d'exposition aux pollens allergisants.

L'empreinte carbone

Dès lors que l'on s'intéresse à la réduction des émissions de GES que la présence de végétation en ville permet d'obtenir, il est nécessaire d'intégrer le bilan carbone de ces dispositifs végétaux. On introduit là de nouveaux paramètres, liés à la gestion des espaces (intensive ou extensive, par exemple), s'avérant de surcroît influents sur l'ensemble des fonctions écosystémiques étudiées. Il est également nécessaire de raisonner sur des échelles de temps plus longues en prenant en compte non seulement la séquestration de carbone par les végétaux, mais aussi le devenir de ce carbone qui dépend du devenir de ces végétaux.

La biodiversité urbaine

La notion de biodiversité (définie par la variété en écosystèmes, espèces et gènes et leurs interrelations) est une question qui émerge de la problématique « nature en ville ». La biodiversité est à la fois support des différents services écologiques rendus et lien entre eux. Sa préservation est fondamentale à toutes les échelles et préoccupe aujourd'hui bien au-delà du cercle des spécialistes.

Les implications sont grandes notamment dans la pratique des espaces verts urbains qui intègre une démarche plus écologique, parfois incluse dans une gestion différenciée favorisant l'installation de nombreuses espèces. Même si la nature en ville ne sera jamais celle de la campagne ou des zones plus « naturelles », elle peut être lieu de biodiversité.

Un travail important devait être fait sur la biodiversité en milieu urbain où les effets de matrice (c.-à-d. de cloisonnement ou de coupure), les perturbations et les usages sont forts. Ce questionnement a été à l'origine du programme financé par le projet de l'Agence nationale de la recherche « Trames vertes urbaines », qui a permis de débroussailler une biodiversité urbaine encore peu connue.

La présence du végétal en ville, nécessaire tant pour des raisons physiques que pour des raisons sociales, ne peut être seulement envisagée à partir de son rôle climatique, mais doit aussi être pensée à partir des ambiances qu'elle offre aux citoyens dans l'espace public, les jardins privatifs comme dans les bâtiments, à différents moments de la journée et de l'année.

Lorsque l'on cherche à expliciter le rôle de la végétation par rapport à une des fonctions évoquées, on doit faire face à de nombreuses interactions qu'il est bien difficile d'ignorer. La prise en compte simultanée de l'ensemble de ces interactions est cependant un exercice complexe et ambitieux.

C'est dans cette optique systémique qu'a été construit le projet de recherche VegDUD « Rôle du végétal dans le développement urbain durable, une approche par les enjeux liés à la climatologie, l'hydrologie, la maîtrise de l'énergie et les ambiances ». L'approche a été construite par l'intersection d'enjeux de méthodologie de recherche et de l'évaluation de différents impacts de la végétation. Nous avons ainsi été amenés à travailler en domaines de questionnements :

– **les pratiques** : quelles sont les pratiques du végétal urbain, communes, nouvelles ou à venir ? dans quelle mesure les différentes contraintes du développement durable, les contraintes financières ou la demande sociale modifient-elles ces pratiques ? comment classer les différentes formes de présence de la végétation en ville ? comment formaliser, pour ces pratiques, un bilan global (environnemental, social, économique) ?

– **la connaissance et la modélisation de la végétation en ville** : de quelles données de description de la végétation urbaine dispose-t-on ? quelles sont les techniques permettant d'acquérir rapidement une connaissance détaillée de la place du végétal urbain à grande échelle ? comment construire des modèles informatiques regroupant les informations relatives au végétal, au bâti et aux infrastructures dans la ville existante ? comment formaliser des projections de la place de la végétation dans la ville future ?

– **l'instrumentation (métrologie et modélisation)** : sait-on quantifier les différents impacts sur l'environnement des dispositifs végétaux ? à quelles échelles spatio-temporelles peut-on/doit-on évaluer ces techniques végétales en fonction des impacts mesurés ? comment le rapport entre les surfaces artificielles et naturelles, en termes de répartition et de densité, modifie-t-il ces impacts ? de quelle manière la gestion de la végétation les influence-t-elle ?

– **l'évaluation comparative des impacts de la végétation** : sur quels critères, à quelles échelles spatiales et temporelles peut-on comparer l'impact de techniques d'implantation du végétal en ville (toitures végétalisées, microjardins suspendus, parkings poreux, chaussées filtrantes, lagunage urbain, rivières urbaines) ? comment élaborer une évaluation globale ?

– **l'analyse rétrospective et l'anticipation** : quel sera à long terme l'impact des politiques en place ? quelles sont les alternatives possibles ? où faudrait-il porter l'effort végétal en fonction des enjeux ambiantaux, énergétiques, hydriques... ? comment penser le développement du végétal en milieu urbain comme un espace appropriable selon l'organisation spatiale de la ville et l'organisation culturelle de chaque société ?

Cet ensemble de questionnements a structuré notre travail de recherche, tant dans l'analyse des travaux déjà réalisés sur lesquels nous nous appuyons, que dans notre propre production de méthodes ou de connaissances.

Présence végétale en ville : quelle connaissance ?

Virginie ANQUETIL

et Karine ADELIN, Amar BENSALMA, Xavier BRIOTTET,
Caroline GUTLEBEN, Patrick LAUNEAU, Nathalie LONG,
Marjorie MUSY, Rosa OLTRA-CARRIÓ, Damien PROVENDIER

» Introduction

La présence végétale en ville est liée à l'histoire de la fabrication de la ville, mais aussi à l'impulsion de contraintes environnementales fortes qui ont récemment modifié les pratiques des professionnels (urbanistes, paysagistes, gestionnaires), ainsi qu'à une évolution des usages des citadins, qui, dans une ville de densité grandissante, recherchent des espaces de nature qu'ils peuvent s'approprier. Un état des lieux s'impose donc.

D'autre part, la ville évoluant rapidement, la question de l'inventaire des espaces verts urbains et de leur composition, nécessite des approches solides à grande échelle. En effet, les bases de données disponibles sont très partielles et même leur structuration est peu adaptée dans des approches systémiques de la ville. Nous ferons donc un état de l'art des méthodes d'inventaire efficaces et robustes.

» État des lieux et évolution de la place de la végétation en ville

La végétation urbaine est un objet de recherche commun à de nombreuses disciplines scientifiques mais également aux métiers opérationnels de la conception des formes urbaines et de la gestion des espaces urbains. Aborder cet objet de recherches sous l'angle des services écosystémiques constitue une posture scientifique qui découle,

directement ou indirectement, des évolutions sociétales et des pratiques en matière d'urbanisme. L'état des lieux présenté ici a deux principaux objectifs :

- replacer la végétation urbaine, qui constitue l'objet de recherches, dans un contexte sociétal global à travers une approche urbanistique ;
- positionner notre questionnement au regard de la recherche scientifique d'une part, et des attentes opérationnelles d'autre part.

Dans un premier temps, une lecture historique des évolutions de l'urbanisme permet de mieux comprendre comment la place de la végétation a évolué, elle aussi. Cette lecture expose les principes théoriques et les concepts qui ont contribué à la formation de courants urbanistiques. Ces principes se déclinent en un ensemble de pratiques liées notamment aux métiers d'urbaniste, de paysagiste et de gestionnaire d'espaces verts au sein des villes.

Ensuite, nous dégagerons les tendances actuelles et émergentes en ce qui concerne la place de la végétation urbaine ainsi que les pratiques qui y sont liées. Certaines formes de végétation, que nous appellerons dispositifs végétaux, constituent des révélateurs de ces tendances. Ils peuvent faire l'objet de travaux scientifiques dans le cadre de processus d'innovation de type « technologique » mais aussi d'usage.

Évolution des formes de la ville et des formes végétales

Dans la ville médiévale, il n'existe pas ou peu d'espaces verts. Il s'agit alors de jardins potagers pour l'espace privatif et de quelques arbres, peu nombreux mais majestueux, dans les lieux publics.

Premiers jardins

La médecine et son apprentissage sont à l'origine d'un grand nombre de jardins publics en France. Il en est ainsi à Paris du « Jardin royal des plantes médicinales » (actuel Jardin des plantes du Muséum national d'Histoire naturelle), créé en 1633 par Guy de la Brosse, médecin de Louis XIII.

C'est un peu plus tard, en 1687, qu'est créé le premier jardin botanique de la ville de Nantes, le « Jardin des apothicaires », uniquement destiné à la culture des végétaux. La ville à cette époque ne dispose pas de jardin significatif destiné à la promenade. Le jardin se développe alors que Nantes devient le principal port français et accueille de nombreux chargements de plantes. Il devient un lieu idéal d'acclimatation des plantes tropicales rapportées par les navigateurs et Louis XV, par ordonnance royale, assujettit « les Capitaines des Navires de Nantes d'apporter Graines et Plantes des Colonies des Pais Étrangers, pour le Jardin des Plantes Médicinales établi à Nantes ». Ces jardins sont également lieu d'enseignement de la botanique.

De l'époque pré-industrielle à l'époque post-industrielle

À la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e siècle, les villes occidentales, au développement autrefois restreint et dense, ont connu une croissance importante de leur population, des progrès techniques rapides, des évolutions profondes des modes et infrastructures de transport, la modernisation du système productif, ce qui a

provoqué un bouleversement profond. En effet, la révolution industrielle et ses conséquences en termes d'emplois et la perspective d'une haute qualité de vie ont conduit à un exode rural important (Carmona *et al.*, 2003). Les formes urbaines ont brutalement changé afin de répondre à l'afflux important de travailleurs. Les modes de transports étant encore très limités, les logements se sont spontanément massés autour des usines. Dans ce contexte, les conditions d'hygiène, de sécurité et le manque de contrôle de l'urbanisation ont commencé à devenir problématiques et sont à l'origine, plus tardivement, de préoccupations hygiénistes et d'une planification plus rigoureuse de l'espace urbain.

L'ouverture des fortifications des villes et le développement périphérique créèrent de nombreux espaces ouverts que le végétal structurait sous la forme de cours ou de promenades plantées. Liant l'ancien cœur de ville aux faubourgs, ces espaces publics sont utilisés pour les spectacles, les foires ou les déplacements quotidiens (Werquin & Demangeon, 1995). À Paris, le baron Haussmann crée les parkways, de larges avenues densément plantées qui relient le centre aux grands parcs périphériques (avenue de l'Impératrice vers le bois de Boulogne). Les parcs centraux sont des espaces publics, ils catalysent la vie sociale urbaine et sont d'un aménagement sobre et neutre. L'idée d'espaces assainissant et aérant la cité était d'autant plus prégnante pour répondre à l'apparition de nombreuses épidémies (choléra en 1849, par exemple). La végétation devient dès cette époque un moyen de rendre la ville viable et vivable.

L'idéal des cités-jardins

Avec le développement des moyens de transport collectif, à la fin du XIX^e siècle mais surtout au début du XX^e siècle, les distances entre lieux de travail et de résidence ont augmenté, créant une nouvelle forme urbaine, différente de celle de la ville traditionnelle : les banlieues résidentielles (Carmona *et al.*, 2003). Les jardins familiaux apparaissent à la fin du XIX^e siècle dans la nouvelle périphérie des villes, proches des logements des travailleurs. Leur fonction est d'abord hygiéniste et de santé publique mais elle est aussi une référence à la « valeur du travail agricole » (Werquin & Demangeon, 1995). Le végétal est utilisé, dans le modèle des cités-jardins imaginé par E. Howard, comme un rappel à la ruralité, structurant les espaces collectifs comme les jardins privés et créant un rapport de proximité et de voisinage entre les habitants de ces nouveaux quartiers (Choay, 1965 ; Werquin & Demangeon, 1995). Cette forme urbaine idéalisée devait rapprocher « l'Aimant-ville », caractérisé par la vie en société et le travail, et « l'Aimant-campagne », caractérisé par une proximité avec la nature (Choay, 1965 ; Champeaux & Champeaux, 2007 ; Cunha, 2009).

La « ville verte » du courant moderniste

En 1933, le Congrès international d'architecture moderne formalise et diffuse, dans la charte d'Athènes, reprise plus tard par Le Corbusier, les principes d'un urbanisme progressiste ou moderniste. Celui-ci s'est surtout développé lors de la reconstruction suite à la seconde guerre mondiale et pendant les Trente Glorieuses. Le principe le plus marquant de l'urbanisme moderne est le zonage fonctionnel par rapport à quatre fonctions : « travailler, habiter, se divertir, se déplacer ». Dans la période de forte croissance économique des Trente Glorieuses, la ville moderne est pensée et construite selon une logique capitaliste de production et de

consommation (Gaudillière, 2005). Ce mouvement privilégie donc la fonctionnalité de la ville avant l'urbanité (la ville comme milieu de vie). En conséquence, les formes urbaines sont standardisées, donnant naissance à une architecture de style international. Les éléments urbains sont conçus selon leur logique interne propre et non sur la base des spécificités du paysage, de la culture locale et des formes urbaines traditionnelles.

Les principes hygiénistes sont repris, les vides sont privilégiés par rapport aux pleins et on assiste à la création des grands ensembles. Ces immeubles, suffisamment éloignés les uns des autres pour laisser circuler l'air et la lumière, se caractérisent par une grande hauteur et une faible emprise au sol, laissant la place à de vastes espaces libres pour la circulation automobile et la « verdure » (Choay, 1965). Le souci de l'urbanisme moderne est en effet d'augmenter les surfaces plantées dans ces espaces libres pour créer une « ville verte », plus saine et proche de la nature. Le modernisme a marqué les politiques en matière de végétalisation, qui ont suivi les principes du zonage fonctionnel : les espaces vides sont plantés et sont devenus des espaces fonctionnels, compensant la présence forte du minéral et offrant aux usagers des aires de jeux, des espaces de détente et de promenade. Une « ambiance végétale » est recherchée pour atténuer les nuisances engendrées notamment par la forte mobilité quotidienne de la population. Dans les années 1960, le terme « espaces verts » désigne tous les espaces libres ou interstices entre les constructions qui ont été végétalisés. Ce vocabulaire nouveau symbolise un éloignement de l'art des jardins et, de manière générale, de toutes références culturelles et artistiques. Des végétaux issus de la sélection horticole sont intégrés dans la gamme végétale. Les modes de gestion se mécanisent et s'intensifient, et l'usage des produits phytosanitaires se développe fortement, marquant une rupture avec les savoir-faire traditionnels (Aggéri, 2010).

Mais en dehors de ce courant moderne, les espaces verts ne sont pas au centre des préoccupations et il faut surtout attendre les années 1970 pour assister à leur retour vraiment généralisé. Celui-ci repose sur la montée en puissance de l'écologie (création du ministère de l'Écologie en 1971) et la mise en place de politiques en faveur du végétal en ville (« Plan vert » régional en Île-de-France). De plus, le constat de la faiblesse du ratio d'espace vert parisien par habitant en comparaison d'autres grandes villes européennes incite à un effort important en faveur de la présence du vert en ville (Paris, 9,5 m²/hab ; Berlin, 13 m²/hab et Vienne, 25 m²/hab).

La remise en cause d'un modèle urbain

La fin des années 1960 et le début des années 1970 marquent un tournant dans la société et dans la manière de concevoir les villes. Les mouvements sociaux de mai 1968 ont concrétisé une critique générale du capitalisme (Cunha, 2009), qui a conditionné la construction « rationnelle » et fonctionnelle des formes urbaines modernes (Voyé, 2003). Les chocs pétroliers en 1973 et 1979, les récessions économiques et la montée du chômage sont à l'origine d'un climat d'incertitudes sur l'avenir, qui ont accentué ces critiques du modernisme (Cunha, 2009). Déjà présente après la seconde guerre mondiale, la mesure de changements globaux à l'échelle de la planète s'accroît et fait prendre conscience d'une certaine irréversibilité des impacts des activités humaines sur l'intégrité des ressources naturelles, et des risques auxquels s'expose la société actuelle et les générations futures (Luginbühl, 1992). L'idée que la dégradation d'un élément de l'environnement à l'échelle locale