



Architecture végétale

Jean-François Daures

EYROLLES

Jean-François Daures

Architecture végétale

La végétalisation des bâtiments est bénéfique en tout point de vue : outre ses avantages indéniables en milieu urbain, elle a un impact positif sur la durabilité du bâtiment, améliore le bilan technique des constructions, atténue la réverbération acoustique et engendre une optimisation non négligeable de la gestion des eaux pluviales.

Illustré d'exemples, de réalisations concrètes et d'entretiens exclusifs avec les professionnels, ce livre explique en détails le fonctionnement du végétal et ses caractéristiques techniques lorsqu'on l'adapte ou le couple à l'architecture.

DANS CET OUVRAGE

Le végétal dans l'architecture - Une nouvelle identité pour les constructions - Une enveloppe vivante pour l'architecture - Typologie d'espaces verts en ville - **La biodiversité urbaine** - Phytosociologie et compétition naturelle - La biodiversité menacée : les solutions possibles - **Une technologie de culture** - L'orientation et le climat - De la saisonnalité d'une matière changeante - **La palette variétale** - Sur le banc d'essai - **La végétalisation : un atout vert et économique** - Un site pilote grandeur nature - Entretien avec René Lecoustre - **Techniques de végétalisation** - Mur végétal et jardin vertical - Entretien avec... un jardinier vertical! - **La végétalisation verticale** - L'entretien des murs végétaux - Des exemples 100% végétalisés - **La végétalisation oblique ou plane** - Des toitures plantées aux toisons végétales... - Les exigences techniques - La mise en œuvre - La gestion des eaux pluviales - L'étanchéité des toitures - **La végétalisation antipodale** - Une nouvelle perception de l'espace végétalisé - Architecture des plantes en situation antipodale - **L'imagerie 4D au service du végétal** - La modélisation des plantes, un outil de simulation scientifique - **Vers un laboratoire d'architecture et de design végétalisés...** - Le vert urbain, nouveau matériau- Conception architecturale du projet - Caractéristiques techniques et structurelles - **Petit lexique d'architecture végétale** - Les bonnes adresses - Les entreprises et organismes professionnels...



Jean-François Daures est architecte à Montpellier et à l'origine de plusieurs brevets (dont le brevet Nomade). Il crée le cabinet et la marque Vision, qui englobe la création de bâtiment et de design industriel innovants et la société Greenwall, spécialiste du mur végétal. Lauréat de la consultation internationale lancée par Louis Vuitton pour un laboratoire d'architecture végétale, et architecte de la première maison 100% végétale, une « colline habitée », il livre à travers cet ouvrage les clés de son expérience et de ses connaissances du bâti architecturalement vert.



Code éditeur : G12674
ISBN : 978-2-212-12674-7

www.editions-eyrolles.com

Architecture **végétale**

Remerciements

Toutes mes meilleures pensées vont à ceux qui ont pu participer à la création de cet ouvrage par leur contribution personnelle aux textes, à la réalisation des images, des maquettes, des prototypes et des plans présentés, ainsi qu'à la mise au point de certains projets, de leur industrialisation, de leur promotion ou de leur développement.

Ces personnes ont non seulement contribué à l'enrichissement du contenu de ce livre mais, au-delà, leur soutien est un gage d'amitié pour lequel je leur suis tout à fait reconnaissant :

L'équipe de Vision® architecture & design,

la société Terroirs de Demain,

la société Greenwall,

la société Bebamboo à Gent,

l'unité mixte de recherches Amap du Cirad,

les bureaux d'études des sociétés du Groupe Maillard Industrie dont, la société ITS,

l'équipe des services Innovation et Architecture de Louis Vuitton,

le réseau HPF (Horticulteurs Pépiniéristes de France),

la pépinière Côté Sud,

pour ne citer qu'eux...

Qu'ils en soient tous remerciés,

Jean-François Daures, architecte.

Crédits photographiques : Gilles Anguenot - Pat' Branx - Gilbert Daures -
Jean-François Daures - Jean-Marc Demangel - Mathieu Feigelson - Fotolia.com -
Philippe Kreps - René Lecoustre - Hugues Légise - Julien Menuet - Mathieu
Pasquereau - Cesare Peverelli

Éditions Eyrolles
61, bd Saint-Germain
75240 Paris Cedex 05
www.editions-eyrolles.com

Avertissement : Les projets et techniques décrits, éléments de design ou d'architecture, présentés dans cet ouvrage font l'objet de brevets, de dépôts de dessins et modèles, ou encore d'enveloppes Soleau déposés auprès de l'INPI. Toute copie ou reproduction par quelques moyens que ce soit, même partielle, est interdite les droits de propriété industrielle sont réservés. Il est interdit toute exploitation de ceux-ci ou de techniques similaires sans l'autorisation expresse de leurs auteurs. Les plans sont fournis uniquement à titre d'exemple, et ne peuvent être interprétés comme plans de réalisation, ils ne peuvent donc engager l'auteur pour sa responsabilité.

© Groupe Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-12674-7



Architecture végétale

Jean-François Daures

Avant-propos	1	DE LA SAISONNALITÉ D'UNE MATIÈRE CHANGEANTE.....	39
« Bien-être » avec la plante.....	1	L'hiver	43
Un nouveau rapport à la nature.....	2	Les intersaisons : printemps et automne	44
Les murs végétaux fleurissent un peu partout dans le Monde.....	3	L'été	45
Vers une urbanité plus verte	5	LA PALETTE VARIÉTALE.....	46
Urbanisme.....	5	Le choix des palettes variétales	48
Environnement.....	5	L'atout certain de la dépollution	52
Économie.....	5	Feuilles et racines : des capacités épuratrices différentes	56
 		SUR LE BANC D'ESSAI.....	57
PARTIE 1		Cas pratique	62
LE VÉGÉTAL		 	
DANS L'ARCHITECTURE	7	La végétalisation : un atout vert et économique	65
 		LES AVANTAGES ET LE COÛT DE LA VÉGÉTALISATION DES BÂTIMENTS.....	65
Une nouvelle identité pour les constructions	8	Une maîtrise des coûts	67
UNE ENVELOPPE VIVANTE POUR L'ARCHITECTURE.....	8	Un avantage inestimable : le bilan carbone	68
Peau végétale, peau architecturale	10	UN ENTRETIEN ÉCONOMIQUE EN EAU.....	71
Après le cocooning, un retour aux fondamentaux	10	Le substrat	71
Architecture en mouvement	10	L'usage de la sphaigne	72
Des possibilités architecturales multiples	11	Les choix des plantes	72
TYPOLOGIE D'ESPACES VERTS EN VILLE.....	12	Pluie, vent et bilan hydrique	75
Des caractéristiques avantageuses	12	Un mur végétal homogène pour son hygrométrie	76
Un régulateur acoustique	12	La bonne ferti-irrigation	77
Un régulateur thermique	13	Un site pilote grandeur nature à l'école d'architecture	78
La valorisation des murs aveugles	17	UN DÉVELOPPEMENT VERT DURABLE ET ÉQUITABLE.....	80
Un renouvellement du paysage	17	Entretien avec	82
Des applications variées	17	 	
L'habitat individuel	17	PARTIE 2	
Les gares et les lieux publics	18	TECHNIQUES	
Des outils de communication	18	DE VÉGÉTALISATION	93
LA BIODIVERSITÉ URBAINE.....	20	 	
Phytosociologie et compétition naturelle	20	La végétalisation verticale	94
Densité de plantation et simulation de croissance	21	MUR VÉGÉTAL ET JARDIN VERTICAL.....	94
La compétition naturelle	24	Deux approches différentes	94
LA BIODIVERSITÉ MENACÉE: LES SOLUTIONS POSSIBLES.....	27	Les murs végétaux sont-ils une innovation récente ?	94
La valorisation des plantes menacées	29	Le mur de lianes grimpantes ou sur câbles	98
La diffusion de l'architecture végétalisée	29	Le mur de jardinières empilées ou parsemé de pots	101
L'importance du choix des végétaux	30	Le jardin vertical sur feutre intissé ou en plaques de fibres de coco	102
La contre-performance des monocultures	31	Le mur végétal modulable ou à caissons	102
« 2010 : année de la biodiversité »	34	Entretien avec un jardinier vertical	104
Une technologie de culture	37		
L'ORIENTATION ET LE CLIMAT.....	37		

LA VÉGÉTALISATION VERTICALE.....	110
Les performances structurelles, acoustiques et thermiques.....	110
Un mur qui « absorbe » le bruit.....	114
Un mur manteau qui optimise le bilan thermique du bâti.....	118
L'architecture des plantes en situation verticale.....	120
La culture verticale, un procédé inédit.....	126
Le pixel vert, un élément interchangeable et modulable.....	126
La culture hors sol dans la sphaigne.....	142
L'acclimatation.....	144
Les palettes variétales.....	146
Composer sa palette variétale.....	149
Le bon exemple : l'arbre à orchidées.....	154
Le potager vertical.....	156
La boîte magique.....	156
À cultiver sur les six faces.....	157
L'ENTRETIEN DES MURS VÉGÉTAUX.....	159
L'équipement pour l'alimentation.....	159
La configuration de l'espace technique.....	160
L'automatisation de l'irrigation et son contrôle.....	161
Des exemples 100 % végétalisés.....	162
La végétalisation oblique ou plane.....	168
DES TOITURES PLANTÉES AUX TOISONS VÉGÉTALES.....	168
LES EXIGENCES TECHNIQUES.....	170
Vers une amélioration thermique et acoustique.....	173
À l'échelle individuelle.....	173
À l'échelle urbaine.....	173
LA MISE EN ŒUVRE.....	174
Le bon exemple : les astucieux agri sacs.....	174
LA GESTION DES EAUX PLUVIALES.....	175
L'ÉTANCHÉITÉ DES TOITURES.....	176
LE BON EXEMPLE : LA YOURTE VÉGÉTALISÉE.....	177
Des cas 100 % nature.....	181
La végétalisation antipodale.....	192
UNE NOUVELLE PERCEPTION DE L'ESPACE VÉGÉTALISÉ.....	192
La pergola de lianes grimpantes ou sur câbles.....	194
Le plafond végétal.....	196
ARCHITECTURE DES PLANTES EN SITUATION ANTIPODIALE.....	197
« Antipodalement vert ».....	200

L'imagerie 4D au service du végétal.....	204
La représentation architecturale et ses difficultés.....	204
Vers un nouveau mode de représentation.....	206
La modélisation.....	206
Les fichiers-plantes.....	207
Les films d'animation.....	207
La spécificité de la représentation des murs végétaux.....	207
La modélisation des plantes, un outil de simulation scientifique, entretien avec René Lecoustre.....	209
Virtuellement vert.....	214
Vers un laboratoire d'architecture et de design végétalisés... ..	217
LE VERT URBAIN, NOUVEAU MATÉRIAU.....	218
Du Paradis à la sauvegarde de l'environnement.....	219
« Du jardin utile au jardin nécessaire ».....	219
« Une hybridation entre architecture et nature ».....	220
« Pour la transformation du monde en jardin et pour une éthique de la contemplation... ».....	221
Éthique du jardin.....	221
CONCEPTION ARCHITECTURALE DU PROJET.....	222
Une architecture intemporelle.....	222
« Autonomes, multifonctionnels, modulables et vivants... ».....	222
CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES ET STRUCTURELLES.....	224
La structure en aluminium.....	224
La feuille de bois de châtaignier et sa broderie végétale.....	225
Le ruban de matière végétale.....	227
Un dispositif architectural simple.....	227
La palette variétale.....	228
Le jour et la nuit.....	229
Un outil de projet modulable.....	230
La maîtrise des ambiances.....	230

Vers un laboratoire d'architecture et de design végétalisés... ..

LE VERT URBAIN, NOUVEAU MATÉRIAU.....	218
Du Paradis à la sauvegarde de l'environnement.....	219
« Du jardin utile au jardin nécessaire ».....	219
« Une hybridation entre architecture et nature ».....	220
« Pour la transformation du monde en jardin et pour une éthique de la contemplation... ».....	221
Éthique du jardin.....	221

CONCEPTION ARCHITECTURALE DU PROJET.....	222
Une architecture intemporelle.....	222
« Autonomes, multifonctionnels, modulables et vivants... ».....	222

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES ET STRUCTURELLES.....	224
La structure en aluminium.....	224
La feuille de bois de châtaignier et sa broderie végétale.....	225
Le ruban de matière végétale.....	227
Un dispositif architectural simple.....	227
La palette variétale.....	228
Le jour et la nuit.....	229
Un outil de projet modulable.....	230
La maîtrise des ambiances.....	230

PARTIE 3 ALLER PLUS LOIN.....

Petit lexique d'architecture végétale.....	236
LES BONNES ADRESSES.....	249
Les entreprises et organismes professionnels.....	249
Les sites d'informations.....	249
S'approvisionner.....	250



Caratéristique du site actuel,
les murs se recouvrent de
ronces...

Le talus, territoire de substitution,
intègre l'infrastructure du centre et
permet de répondre aux exigences du
programme :
Liaison de tous les services entre eux
de manière directe, et liaison interne
aux services.

- Les murs végétaux des façades de ce Centre opérationnel d'incendie et de secours sont à l'image des murs des vignes et des chemins creux typiques dans le Pays, où percolent avec une forte inertie les eaux de pluies et de ruissellement, chargées d'oligo-éléments qui alimentent ces plantes rudérales et pionnières qui vivent spontanément à la verticale. Un dispositif, à mi-chemin entre de la terre armée et un mur de soutènement, perméable à l'eau de ruissellement comme aux plantes, voulu pour lutter contre la poussée des terres.
-
- Le rendu de cette architecture a été fait en 1994 par des collages exécutés à la main sur calques de rhodoïd.

Avant-propos

Grâce à l'observation du végétal, les hommes sont à la recherche du bien être, la plante vivante est apprivoisée et se trouve mêlée à l'architecture où elle joue un rôle fonctionnel. L'architecture et la plante coexistent, c'est là une des expressions de ce compagnonnage que nous entretenons avec elle. Un parcours réalisé en commun, marqué d'attentions et d'oublis. Ce parcours est fait de rendez-vous avec la plante rendant plus exclusive la saison des fraises ou l'apparition fugace d'une floraison. De la même façon, la récurrence des épisodes de la croissance végétale ponctue le temps...

« Bien-être » avec la plante

Au-delà de cette complicité naturelle que nous entretenons avec la plante, nous devons remarquer que s'installe une relation d'échange, quasi immanquablement, tant la plante parvient à nous interpeller. Peu d'entre nous se résignent à ignorer la beauté d'une fleur ou d'un feuillage luisant et l'attrait d'un parfum sucré. La plante interpelle, en provoquant nos sens elle nous invite à la toucher pour mieux la considérer. En retour, nous recevons de la satisfaction née de ce « bien-être » qui a ici un double sens : bien « être », car nous sommes responsabilisés par la plante généreuse que l'on respecte en retour et « bien-être » apporté par la promiscuité avec le végétal. C'est bien d'un art de vivre qu'il s'agit, et les murs végétaux, auprès desquels on marche et qu'on touche au passage, sont un vecteur formidable de ces préceptes.

On pourrait parler d'urbanité « verte », car le monde minéral du cadre bâti courant, par le peu d'échange qu'il suscite, ne pousse pas à la socialisation. Un côté froid et immuable qui parfois

est générateur de stress, en témoignent les nombreuses agressions dont il fait l'objet. Les murs végétaux sont plus résistants au vandalisme puisqu'ils se régénèrent sans cesse. Les graffitis et les « trous » disparaissent comme absorbés par le mouvement des plantes. Ces murs de plantes qui ne s'usent pas de manière perceptible n'appellent pas non plus la dégradation et leur bonne croissance rassure.

La possibilité de disposer ainsi des surfaces verticales ou les parties d'ordinaire inaccessibles aux plantes permet aussi d'envisager une culture aromatique. La notion de bien-être se traduit par la diffusion de parfums réellement perceptibles par les passants ou les utilisateurs.

La matière qui compose l'architecture peut se faire plus avenante soit par sa destination comme sur un mur végétal au bord d'une piscine, soit par le lieu, à l'ergonomie mauvaise, en déficit de convivialité comme un parking ou une station de métro.

Un nouveau rapport à la nature

Une relation affective peut alors se tisser entre l'architecture et ceux qui l'habitent ou qui l'entretiennent régulièrement.

Le côté « fragile » de la nature responsabilise et son côté « généreux » récompense. S'il existe une noblesse dans la patine des matériaux, c'est parce qu'il peut y avoir de la fierté dans le regard de ceux qui ont su conserver et préserver des objets ou des architectures au travers du temps. L'architecture végétale, parce qu'il faut l'entretenir, même au cours d'une période de quelques cycles végétaux seulement, possède ce type de noblesse, à l'image des jardins des villas prestigieuses.

Les floraisons ou l'apparition de fruits sont vécues comme un cadeau de la nature reçu en récompense de toutes ces attentions. À l'inverse, une chlorose où l'attaque massive d'insectes rava-

geurs de cultures peut provoquer inquiétude ou même frustration. Le rapport entretenu avec le cadre bâti n'est plus impersonnel et standardisé mais totalement adapté à la personnalité des usagers. Proposer aux citoyens de se reconnecter avec la nature passe par là. Cette relation est plus particulièrement ressentie par les propriétaires particuliers qui peuvent plus facilement s'approprier l'architecture que par les collectivités ou les grands groupes. Pourtant, chacun peut faire sien un mur végétal en y ajoutant des broméliacées ou en l'agrémentant de plantes aromatiques ou vivaces. La « récompense » offerte aux utilisateurs par cette matière végétale ne s'exprime qu'en termes de couleur ou d'aspect. Elle se traduit aussi par des goûts pour sa partie comestible et des fragrances diffusées par le mélange des parfums exhalés par certaines plantes qui composent la palette variétale.



- Aux Baux de Provence, une maison contemporaine est construite dans un site exceptionnel. Cette habitation est
- ceinturée d'un mur en pierres sèches des Baux surmonté d'un bandeau vitré sur toute sa longueur. Ce mur linéaire
- se courbe pour souligner l'entrée principale située en retrait. Le mur d'enceinte en pierre devient alors végétal.
- Il encadre la porte de deux plates-bandes peuplées de fougères et de plantes d'ombre en climat méditerranéen.

Les murs végétaux fleurissent un peu partout dans le Monde

C'est un fait, les solutions qui naissent des cahiers de charges sont toutes conditionnées par l'analyse conjointe des besoins de la société, de l'évolution des mœurs et de l'état des connaissances techniques. C'est pourquoi il n'est pas rare de voir des innovations, portant sur des sujets identiques, émerger simultanément de plusieurs pays à la fois tout simplement parce que l'évolution est globale. Chaque équipe située à des endroits très distants géographiquement, est capable de faire la même analyse au même moment. Depuis les années 2000, diverses initiatives en matière de végétalisation de bâtiments ont ainsi été menées.

En Belgique, alors que les études de perspectives urbaines sur la «ville végétale» du dessinateur Schuitten à Bruxelles sont largement diffusées et que le pays compte nombre de grands projets immobiliers, il n'y a que relativement peu de jardins verticaux et aucun mur végétal proprement dit n'a encore été réalisé. Une société bruxelloise semble étudier, au cas par cas, l'ensemble des brevets et des procédés préexistants en France pour s'en inspirer.

Aux Pays-Bas, il existe deux ou trois sociétés qui proposent des «murs poids» anti-bruit recouverts de lierre. Mais ce n'est qu'en 2006, que l'entreprise Copijn entreprend la végétalisation des façades et les toits d'un centre de loisirs, le Sport Plaza Mercator à Amsterdam, dans le quartier de Sloterdijk. La technique à base de deux rangs de feutre tissé est empruntée à celle du Musée du Quai Branly. Une durée de cinq ans minimum a été annoncée par le fabricant pour obtenir un degré de végétalisation à 70% seulement. La plantation des jeunes plants a été faite in situ entre les deux rangs de feutre tissé. La palette variétale utilisée est large : constituée de fougères, de chèvrefeuilles persistants et même d'iris. Le choix de celle-ci semble adapté

au climat très froid et venté où les murs végétaux seront exposés pendant plusieurs semaines consécutives, à des températures de l'ordre de quinze degrés en dessous de zéro et ne pourront compter que sur un très faible ensoleillement. Il a déjà été effectué plusieurs replantations de végétaux. Malgré quelques larges zones dépeuplées, ce qui est caractéristique de cette technique de plantation par masses en monoculture, l'aspect de ces murs et toits végétaux semble en rapport avec les prévisions du fabricant, cinq ans après la livraison.

Au Japon, trois procédés de murs végétaux, dont un est modulable, sont sur le marché. Ces produits sont proposés depuis cinq à six ans par d'importantes sociétés spécialisées dans l'aménagement paysager. Le concept marketing et de distribution japonais est éloigné du nôtre, puisque ces murs végétaux sont surtout disponibles à la location, entretien compris. En février 2008, le groupe Suntory a présenté un sol artificiel baptisé «Pafcal». Celui-ci plus spongieux, solide et léger que la terre est destiné à être apposé directement sur les murs et les toitures des immeubles de manière à rafraîchir la température en ville et celle des bâtiments ainsi végétalisés. L'évolution climatique est un sujet qui fait réfléchir l'Homme, sur toute la surface du globe...

Au Canada, dès l'an 2000 le programme «Vivre en ville» identifie le fait que la végétalisation verticale des bâtiments est à l'image de la création des toitures végétalisées, c'est-à-dire un outil performant pour l'amélioration du cadre de vie urbain. Les universitaires canadiens ont démontré que les murs végétaux contribuent, eux aussi, à l'atténuation des îlots de chaleur présents en ville et du bruit urbain. Une première expérience de quatre-vingt mètres carrés a été réalisée sur un des murs de la Faculté de Laval. Ce mur végétal est visible depuis 2005.

Aux États-unis, la *Fab Tree House* est un projet de prospective architecturale porté par un groupe de recherche du MIT, le célèbre *Massachusetts Institute of Technology*. Dans ce projet, il est proposé d'utiliser aussi des végétaux vivants, comme des chênes et des ormes, pour constituer la structure de bâtiments dont le design « bio » est résolument avant-gardiste. Cet habitat se place en rupture technologique franche par rapport aux cabanes archaïques que l'on connaît. Cette architecture nécessite quelques années pour mûrir. Pour son côté esthétique, la fameuse *Crazy House* au Vietnam semble avoir inspiré les concepteurs.

En Australie, une société propose des jardins verticaux intérieurs comme extérieurs avec un très grand catalogue de plantes. Une vingtaine de belles réalisations sont visibles sur Internet.

La France est le seul pays à proposer une offre si diversifiée en matière de murs végétaux et de jardins verticaux. Elle supplante même les autres pays Européens comme l'Allemagne ou l'Autriche, pourtant grands champions des toitures végétalisées, où pas une société ne propose encore des murs végétaux avec de vraies références. Si une trentaine d'acteurs de tous types sont présents sur le marché national, peu sont spécialisés et sortent du lot en pouvant prendre en charge des chantiers de grande envergure, en relation avec des maîtres d'ouvrages

professionnels. La grande majorité de ces acteurs restent de petites structures plutôt adaptées au marché des particuliers en offrant un service « sur-mesure » et haut de gamme.

L'absence de normes pour régir le périmètre technique de cette nouvelle famille de produits est aussi un frein à l'innovation et au développement du marché qui tend à naître et à se structurer. Paradoxalement, la normalisation des techniques par un Document technique unifié (DTU) va jouer, comme avec les toitures végétales, un rôle réducteur en imposant aux concepteurs une « vue » unique et « pré-certifiée ». Ne pas suivre un DTU s'il existe, oblige à recourir à des Avis de techniques expérimentales (Atex) ou à faire mener des Enquêtes de techniques nouvelles (ETN), pour imaginer des procédés plus performants, mieux adaptés à l'architecture d'un projet, et surtout pour pouvoir les mettre en œuvre dans les respects de la réglementation.

Sans être exhaustif, ce petit tour d'horizon des nouveaux végétaliseurs de murs dans le monde montre que nous ne sommes qu'au début d'un nouveau mode de construction intégrant le végétal vivant. Le marché se structurant et l'offre se diversifiant, il y a fort à parier que nous verrons, dans les jours futurs, de nouveaux projets de bâtiments ou même des quartiers entiers qui porteront la nature en vertical, comme une nouvelle « peau », vivante cette fois.



Vers une urbanité plus verte...

Le secteur de la rénovation urbaine est concerné ; les cités en banlieue pourraient se verdir, les sites industriels et ceux de production d'énergie s'inséreraient harmonieusement dans le paysage. Par extension, c'est tous les lieux délaissés de l'urbain, les dessous de ponts et les murs de nos gares ferroviaires qui pourraient se prêter à des initiatives de revitalisation par le végétal.

Urbanisme

Nous sommes ici dans le domaine de la performance pour la compensation de la perte des espaces verts traditionnels par la végétalisation des façades, ainsi que pour l'inertie hydrique des systèmes à savoir leur capacité de rétention des eaux pluviales. Le critère intervient conjointement dans le domaine du social pour ce qui est de l'amélioration du cadre urbain. La végétalisation verticale pouvant apporter du confort et du lien social dans les espaces urbains équipés.

Environnement

Ce critère regroupe la première partie des performances attendues par l'apport de «vert» sur les immeubles. La capacité de réduction des îlots de chaleur urbaine et l'amélioration de la qualité de l'air répondent à des préoccupations sur le climat et son évolution. Le respect du principe de biodiversité est utile pour connaître la fiabilité du système et permet d'apprécier si le biotope créé sera en rapport avec son environnement. Enfin la compatibilité avec le principe de l'agriculture raisonnée est importante pour optimiser la quantité d'engrais et de produits phytosanitaires.

Économie

C'est parfois le premier critère de l'acheteur, pour autant il faut toujours s'attacher à la notion de « meilleur disant » et trouver le meilleur rapport qualité/prix en fonction des objectifs visés. Il faut ensuite distinguer le prix de revient avec ou sans la pose. L'incidence du coût horaire pouvant être très fort dans certains produits faits sur mesure in situ ou d'autres techniques de végétalisation plus complexes à mettre en œuvre.

Le coût à l'achat et ensuite le coût des opérations d'entretien courantes doivent être additionnés pour connaître le coût global. La facilité de réparation, la fiabilité du système, la bonne variété de plantes sont des facteurs déterminants pour apprécier le coût réel d'une végétalisation.

L'estimation du rapport entre la qualité et le prix se fait au vu de l'ensemble des critères mis en rapport avec les objectifs visés. Un produit ayant de faibles performances à bas coût peut offrir un très bon rapport qualité/prix si l'objectif visé est en rapport. À l'inverse, un produit très performant peut paraître très cher si on n'en a pas l'utilité...

C'est en regard de toutes ces données que nous allons aborder l'architecture végétale, en voyant comment la plante peut s'immiscer dans l'architecture, via quelles techniques, et comment les mettre en application.



PARTIE I

**LE VÉGÉTAL
DANS L'ARCHITECTURE**

Une nouvelle identité pour les constructions

L'architecture a depuis toujours su développer ses techniques en fonction des avancées technologiques d'une part et en fonction de l'évolution des mœurs de la société d'autre part.

UNE ENVELOPPE VIVANTE POUR L'ARCHITECTURE

À l'académisme ornemental de l'architecture classique et son vocabulaire varié succède la rigueur minimaliste du mouvement moderne où la relation entre la forme et la fonction, devenue prépondérante, ne supporte plus la décoration jugée superflue et ostentatoire.

À la naissance de chaque mouvement, que ce soit dans l'architecture ou dans les arts, des changements importants ont lieu. Les anciens styles et ceux qui les portent deviennent à chaque fois dépassés.

Dans l'architecture contemporaine, l'enveloppe est cette interface qui existe entre la sphère privée (à l'intérieur) et la sphère publique (à l'extérieur) des bâtiments. Cette enveloppe s'oppose au concept devenu suranné des toits et des façades aux modénatures classiques ou modernes. Cela est rendu possible parce qu'avec les logiciels 3D de type CAD qui servent aujourd'hui à concevoir les projets d'architecture, la façade ne joue plus obligatoirement un rôle structurel et peut se détacher des constructions, rendant plus lisible la structure.

De l'imagination des concepteurs, deux tendances émergent : celle des exosquelettes d'abord, où la structure est affichée à l'extérieur et sur laquelle se trouvent suspendues les enveloppes et les planchers ainsi libres de toutes structures ; la seconde tendance est celle des endosquelettes, lorsque la structure est à l'intérieur des constructions et l'enveloppe est tendue sur celle-ci à l'image d'une peau, des chapiteaux de cirques et de l'architecture textile en général.

Un nouveau registre formel est devenu possible, grâce auquel les constructions s'affranchissent de la planéité de l'architecture moderne, et les structures deviennent des éléments à la fois décoratifs et fonctionnels. On notera que le béton, matière emblématique de l'architecture moderne, tend à disparaître au profit des façades légères et des structures métalliques par exemple. Dans certains cas, les architectes ont même pensé à une architecture « souple » et « fluide » dont l'aspect ou la forme ne sont plus figés, permettant ainsi de passer de l'inerte au vivant.



Peau végétale, peau architecturale

Cette notion d'enveloppe introduit la notion de «peau architecturale». Un terme qui renvoie sans équivoque à la peau humaine ou animale, avec ses pores, sa transparence et sa capacité de respiration. L'enveloppe de nos architectures contemporaines peut être diaphane et légère ou au contraire lourde et épaisse, intégrant ainsi des espaces qui marquent la transition entre le dedans et le dehors. L'enveloppe devient elle-même «habitée».

L'inventivité des architectes a permis de voir ces habillages réalisés dans des matières nouvelles, écologiques, souples ou rigides, transparentes ou opaques. Ces peaux deviennent parfois le support de projections vidéo, peuvent être parsemées de diodes qui les animent, ou encore, «intelligentes», peuvent adapter automatiquement leur transparence à la luminosité ambiante.

Après le cocooning, un retour aux fondamentaux

Les années 1980 ont vu l'avènement de la mode du «cocooning», c'est-à-dire l'apparition de la notion du «bien vivre chez soi». En architecture et dans le design, cela s'est traduit par un regain d'intérêt pour l'aménagement intérieur des habitats, à tel point que des revêtements intérieurs comme la céramique blanche (un revêtement qu'on ne peut recycler qu'en le cassant) est mise dehors, en façade des immeubles. L'enveloppe est ainsi «retroussée». Suivent les années 2000, qui annoncent une ère nouvelle de responsabilisation de l'homme vis-à-vis de son environnement dont nous découvrons le caractère fragile et dont les ressources ne sont pas infinies.

Pour redonner du sens à notre existence et pour restaurer certains équilibres, l'homme se rapproche à nouveau de la nature qui n'est plus le milieu hostile et sauvage que connaissaient nos ancêtres. Dans ce début du XXI^e siècle, on éprouve le besoin de revenir aux fondamentaux. Nous retrouvons la plante et ses qualités.



Le végétal, premier ami de l'homme, est à l'origine de l'arrivée sur terre de «l'homme-animal». Pour profiter de ces vertus, pourquoi n'imaginons-nous pas une «peau» pour l'architecture contemporaine qui serait à la fois vivante et végétale ?

Architecture en mouvement

La matière végétale est à l'opposé du statique. Toujours en mouvement, elle change d'aspect au fil des jours et des années. Surprenante parfois, elle provoque le souvenir et suscite un travail de mémoire. Les saisons sont marquées par des apparitions florales successives en alternance

avec des périodes de repos végétatif. Ainsi, son aspect n'autorise pas l'ennui, ni l'habitude.

Un mur planté de camomille romaine à l'odeur de pomme acidulée ou de géraniums mentholés et poivrés nous surprendra, car nous nous sommes habitués à l'inertie des matériaux de construction courants.

Interactive, cette nouvelle peau pour l'architecture modifie son aspect en fonction de ses utilisateurs. En effet, la qualité et le soin apporté à son entretien témoignent avec poésie de la gestion des bâtiments équipés et du goût de ses occupants. Des murs «vagues» laissés à l'abandon et peuplés d'adventices aux murs soigneusement toilettés des terrasses luxueuses, on trouve une quantité infinie de réponses données par cette matière végétale dont chaque situation lui confère un aspect unique.

L'apparition du vivant dans l'architecture par l'introduction du végétal ouvre aussi une nouvelle gamme de relations entre les habitants ou les utilisateurs. Cette matière végétale est consensuelle de par l'émerveillement qu'elle suscite tout en restant toujours personnelle, puisqu'elle change d'aspect selon les situations et les climats.

Le nombre et la taille des percements dans une peau végétale ne posent pas non plus de problèmes majeurs sauf à constater un surcoût lié à la réalisation d'encadrements de baies étanches. Ainsi, imaginons qu'une tour dont la structure serait en fait un exosquelette de lanières végétales entrecroisées. Le savoir-faire des ingénieurs agronomes et celui de

l'ingénierie structure et fluides entrent en jeu pour régler la question de la ferti-irrigation et du choix des végétaux.

Des possibilités architecturales multiples

La végétalisation des bâtiments est trop souvent réduite à des tableaux. Quand on parle d'architecture végétale, ce sont les murs et les toitures qui sont visés. On parle bien d'enveloppe au sens global. Les plafonds, les zones en surplomb et les loggias peuvent aussi être habités par les plantes. Les fonctions et les utilisations à trouver pour ce nouveau matériau et à l'architecture végétale par extension sont multiples, un champ nouveau s'ouvre. De plus, des solutions pour la végétalisation des bâtiments existent parfois depuis plus de trente ans. Certains produits éprouvés ont des performances certifiées, qui sont accessibles via des marchés structurés où évoluent un certains nombre d'acteurs.

Cette nouvelle peau pour l'architecture a une mise en œuvre particulière et les premiers mois sont déterminants. Cette matière végétale est capable de «s'auto-réparer» en se régénérant d'elle-même. Une capacité naturelle qui a toutefois des limites dues au caractère vivant qui induit un comportement cyclique, et peut nécessiter des soins en sus des nutriments courants et de la lumière. Cette notion récurrente du «soin à apporter» appliqué à l'architecture et qui se substitue au terme classique de ravalement, indique bien que nous sommes passés à une autre dimension de l'architecture, depuis l'inerte jusqu'au vivant.

* Le point de vue des architectes

Cette enveloppe serait le témoin des saisons et du temps qui passe. «... L'architecture est plus belle avec une patine et des rides...» a dit l'architecte italien Renzo Piano en constatant l'ancrage des bâtiments dans leur environnement. Pour l'architecte portugais Alvaro Siza, les matériaux peuvent devenir sublimes avec le temps, à l'image des portes de l'école d'architecture d'Evora au Portugal, dont le bois a été volontairement non traité pour «feutrer» avec l'usure. Il y a une noblesse de la patine, et un matériau qui est capable de traverser le temps est assurément supérieur à ceux que l'on doit remplacer sans cesse parce qu'ils sont usés ou devenus poreux. Une enveloppe vivante est par définition capable de se régénérer : elle réagit avec le temps, et non contre lui, tout en se bonifiant.

TYPOLOGIE D'ESPACES VERTS EN VILLE

L'arrivée du végétal sur les façades des immeubles et des ouvrages d'art inaugure une nouvelle typologie d'espaces verts urbains. À l'heure où le foncier devient rare et cher, il est intéressant de comprendre que l'implantation de

cette nouvelle famille d'espaces verts qui s'offrent tout entier à la contemplation transforme nos bâtiments et nos villes, afin de les rendre « vivants ». Les murs végétaux possèdent, de manière intrinsèque, de véritables fonctions urbaines polyvalentes.

Des caractéristiques avantageuses

Le verdissement fonctionnel de la ville ouvre de nouvelles perspectives pour l'architecture et l'aménagement urbain. Il va bien au-delà du seul champ décoratif, qui concerne essentiellement les jardins verticaux à base de feutre tels qu'on les voit dans les projets prestigieux. À l'heure de l'éco-construction, dont l'objectif est d'abord environnemental, la végétalisation de la ville, qui touche à la fois les murs, les toits, les dessous de ponts et les plafonds, doit être appréciée pour ses qualités techniques au-delà de ses qualités décoratives. La matière végétale intervient globalement dans la maîtrise des ambiances acoustique et thermique, et dans l'amélioration de la qualité de l'air...

Un régulateur acoustique

Si l'utilisation des plantes est largement bénéfique dans l'architecture et dans les lieux déshérités comme les parkings souterrains, les dessous de ponts ou bien les gares, c'est surtout pour la capacité d'absorption du bruit que possèdent certains types certifiés de murs végétaux. La pollution sonore est en effet la première pollution urbaine en termes d'importance. Lutter contre le bruit urbain, c'est œuvrer pour l'amélioration du cadre de vie en général.

La qualité la plus vérifiable des murs végétaux est l'absorption acoustique. Ces murs végétaux

se doivent d'être épais, lourds et étanches à l'air. Les systèmes légers et fins d'une trentaine de kilos par mètres carrés environ ne sont pas performants. Puisque l'élément végétal n'a aucune capacité pour l'absorption acoustique, c'est bien le support de culture qui est à analyser. Les murs végétaux performants pour lutter contre le bruit présenteront à l'extérieur un aspect poreux et non réfléchissant. Les murs végétaux en sphaigne sont très performants sur ce plan pour autant qu'ils ne soient pas troués et que le support est bien étanche. La technique modulable des murs végétaux qui utilisent la sphaigne comme substrat a été certifiée. Les tests de mesure ont été effectués dans les laboratoires du CSTB, et seule une technique passée au banc d'essai dans des conditions normalisées peut se prévaloir des résultats. Les copies, souvent mal mises en œuvre, ne sont pas performantes.

Ces murs manteaux végétalisés, dont la certification A4 est la meilleure, peuvent absorber le son de manière significative. On peut imaginer dès lors de trouver en ville, sur les murs pignons aveugles, des ensembles monumentaux de murs végétaux qui auraient vocation à verdir la ville tout en absorbant la rumeur ambiante pour une réelle amélioration du cadre de vie. Le mariage entre murs végétaux et murs d'eau-recyclée-

est heureux sur le plan de l'acoustique puisque le bruit d'eau couvrirait la rumeur résiduelle.

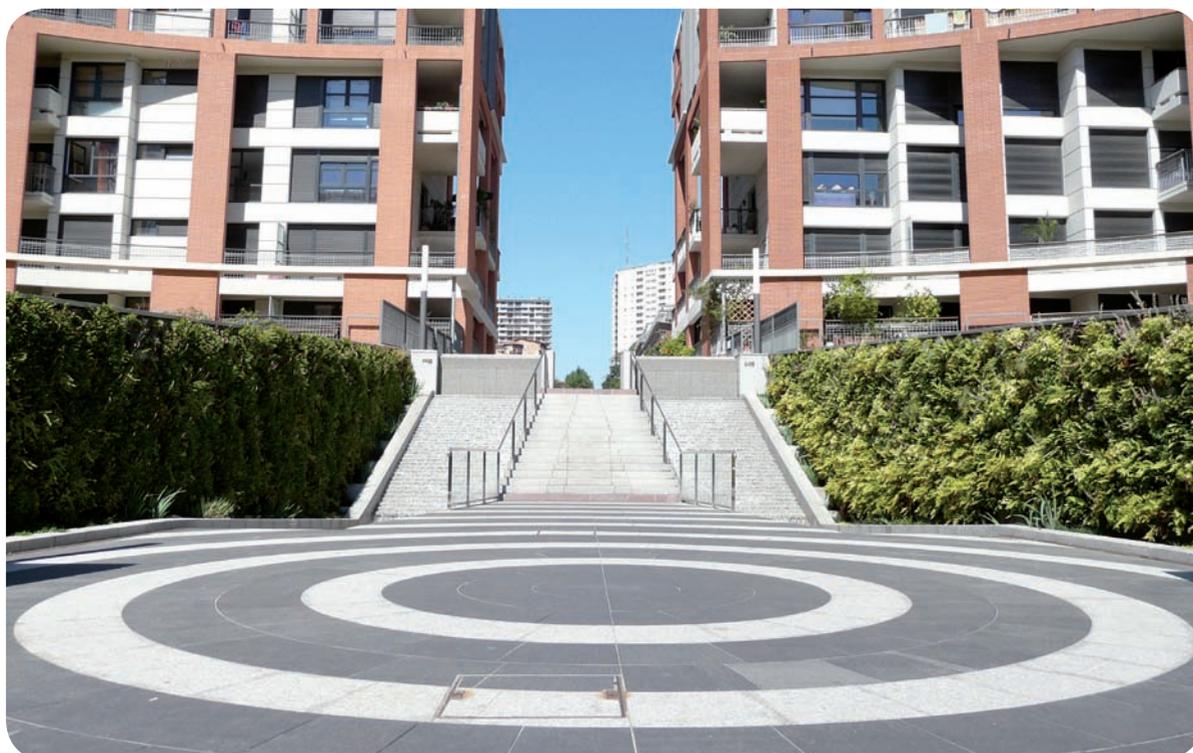
Un régulateur thermique

Les zones urbanisées sont des lieux où l'on observe des pics de chaleur et où l'on peut mesurer plusieurs degrés d'écart de température avec les zones périphériques ou naturelles. La compacité des villes et la surdensité des équipements engendrent des zones de chaleur localisées. En effet, il est facile de comprendre que de la densité des tissus de nos villes, et surtout, de la grande variété des activités quasi non-stop, naissent les facteurs du réchauffement urbain. L'absence d'eau et de végétaux, la profusion d'équipements comme les climatiseurs, le cadre minéral avec sa grande capacité de stockage de la chaleur due à son inertie thermique, la concentration des émissions de chaleur anthropogénique, tous ces facteurs concourent à ce réchauffement... Le cadre bâti important génère une forte inertie thermique dont les effets, ajoutés à ceux de l'activité de la ville, créent une surchauffe qui favorise l'apparition de microcli-

mats appelés « îlots de chaleur urbains ». Plus le tissu urbain est dense, plus on constate que l'intensité des îlots de chaleur urbaine, ICU, est forte. Lutter contre ce phénomène est un enjeu majeur pour le confort urbain et cela implique un verdissement de la ville.

Pour atténuer l'effet de ces îlots de chaleur, on peut penser à l'action naturelle des plantes qui peuplent les murs mantaux végétalisés, avec une densité initiale de 24 sujets par mètre carré. L'action rafraîchissante se fait par le biais de la photosynthèse et par le phénomène d'évapotranspiration. Cette eau qui est rejetée dans l'air par les végétaux sous l'action du soleil peut, sous certains climats, améliorer le confort par son action rafraîchissante.

En effet, c'est grâce au phénomène naturel d'évapotranspiration des plantes que peuvent s'atténuer les îlots de chaleur urbains qui se forment à l'intérieur des villes. Les bâtiments anciens en pierre et ceux, nouveaux, en béton absorbent la



À Toulouse, sur le Campo Marengo...

chaleur et la restituent avec un certain décalage dans le temps. Bien mis en œuvre, les murs végétaux agissent comme des « rafraîchisseurs d'ambiance » à l'échelle de la ville.

Enfin, ces murs végétaux sont maintenus humides. Ils sont frais l'été et sont doublés d'une lame d'air ventilée grâce au principe de convection naturelle. Ils peuvent être mariés à des fontaines comme c'est le cas à Toulouse ou à Milan.

Grâce à l'emploi des techniques nouvelles de végétalisation du cadre bâti, il n'y aura pas de réduction de la densité d'occupation au sol, bien au contraire. L'architecture devenant elle-même le support de cette végétation.

L'influence des ICU, des microclimats, est suffisante globalement pour augmenter l'effet de réchauffement urbain. Alors, une série de murs et de toits végétaux, bien mis en œuvre et irrigués, judicieusement placés en ville, peuvent lutter efficacement contre ce phénomène. Il est déjà

admis que la présence d'eau dans les fontaines et les plantations d'arbres d'alignement ainsi que la création d'espaces verts partout où c'est possible sont un moyen naturel et simple pour lutter efficacement contre l'effet des îlots de chaleur. La végétalisation de l'architecture joue le rôle de régulateur thermique depuis l'échelle du jardin jusqu'à celle de la cité toute entière.

En absorbant une partie des eaux pluviales, ce verdissement est utile aussi pour compenser une imperméabilisation des sols. Dans certains cas ce facteur a été pris en compte pour attribuer des bonus de surface à bâtir.

Une étude américaine¹ amène toutefois à repenser ce phénomène en fonction du modèle de ville, et plus particulièrement en fonction de son exposition à l'étalement urbain. En effet, l'analyse et la comparaison des données de températures effectuées par l'équipe de chercheurs fait ressortir d'importants contrastes : le nombre de jours de très grosses chaleurs est deux fois plus important

- ... ou avec des murs d'eau comme
- dans ce projet de plus de 1 300 m²
- de façade d'hypermarché à
- Fiordaliso près de Milan.



1. *Environmental Health Perspectives*, octobre 2010.

- À Cannes sur la Croisette, le mur végétal installé
- au Palais Miramar en 2008 a permis d'habiller un mur
- pignon aveugle créé par un nouveau projet de centre
- commercial au pied de l'ancien hôtel transformé
- en résidence. Cet écran végétal et vertical, que l'on
- aperçoit lorsqu'on déambule sur la promenade, sert
- à la fois de point de repère et assure la transition
- entre le projet construit et le jardin voisin existant.
- La palette variétale que les ingénieurs agronomes
- ont établi spécifiquement pour ce projet
- situé plein Ouest et à 50 mètres de la mer
- est composée de plantes littorales et
- halophytes. Sa gamme de couleurs,
- qui va du bleu turquoise au gris
- argent, est assortie aux
- couleurs blanc nacré
- et acier du projet
- architectural.



dans les villes victimes d'étalement urbain. On y observe, chaque été en moyenne, 14,8 jours de canicule de plus que dans les années 1950 et que dans les villes restées à l'intérieur de leurs limites géographiques, où on ne relève seulement que 5,6 jours en moyenne.

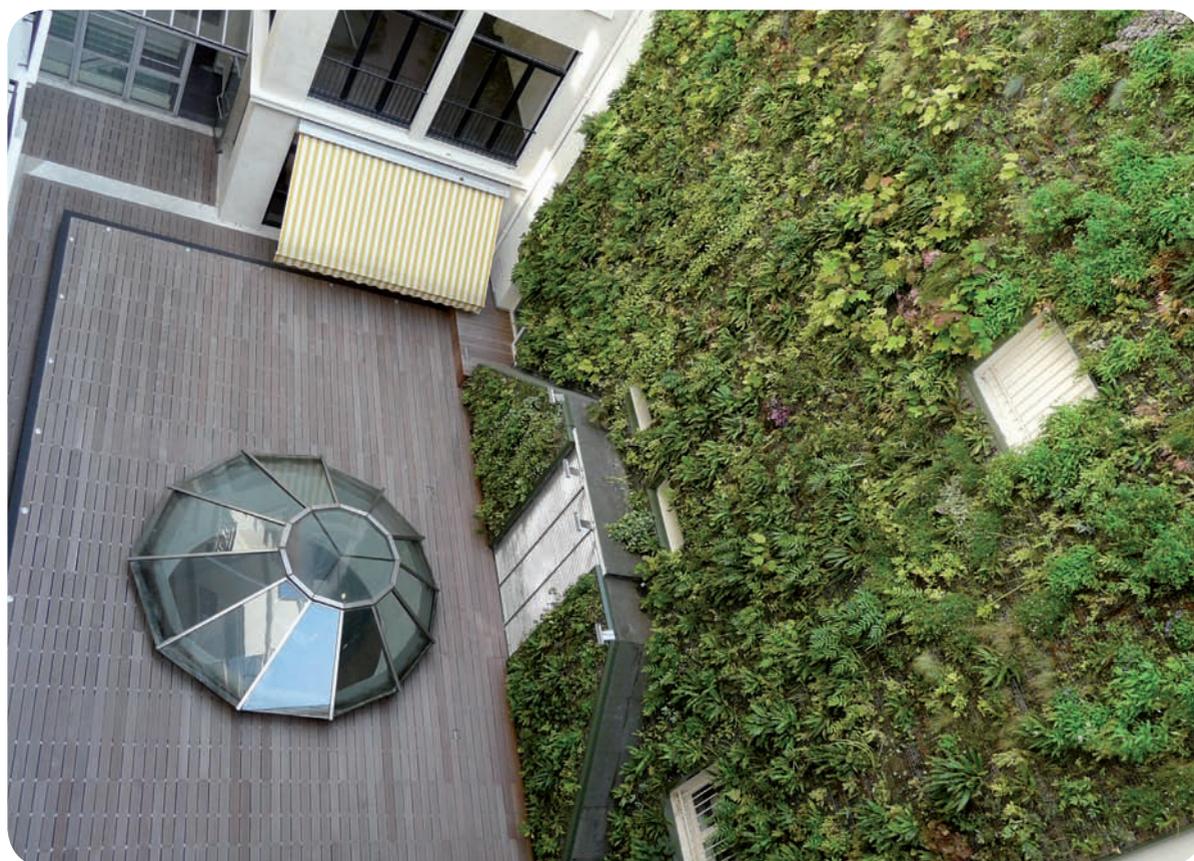
Notons que cette tendance est générale, quels que soient le type de climat des villes en question, le nombre d'habitants et le mode de développement.

Ce qui est vrai pour la pollution, l'est aussi pour l'isolation thermique. Les murs végétaux, parce qu'ils sont humides, ne peuvent être pris pour des isolants de façade en tant que tels comme on l'entend dire parfois. Leur mise en œuvre particulière en ménageant une lame d'air ventilée continue permet en revanche d'améliorer le bilan

thermique des constructions. En effet, s'il s'agit de murs manteaux qui répondent à la définition technique de ce type de vêtture, il est vrai de prétendre qu'ils abaissent la température extérieure des murs exposés au soleil et qu'ils les protègent

* La canicule à Paris

Paris et son agglomération qui connaissent un étalement urbain explosif ne devraient pas échapper au phénomène. En 2060, par exemple, les températures estivales à Paris pourraient correspondre à celles du sud de l'Espagne aujourd'hui. C'est dans ce contexte que Bertrand Delanoë a engagé la ville de Paris dans une campagne mondiale visant à inciter citoyens, entreprises et collectivités à réduire de 10% leurs émissions de CO₂ à partir de 2010...².



⋮ Au 118, Champs-Élysées, les murs végétaux en place ont transformé cette cour intérieure...

2. Source : le Figaro, Octobre 2010.

l'hiver des vents glacés et des intempéries. Bien mise en œuvre, la végétalisation améliore le bilan thermique d'un édifice.

La valorisation des murs aveugles

La végétalisation urbaine, à condition d'utiliser à la fois ses capacités d'absorption acoustique et celles liées au développement durable, est un outil clé pour engager ou poursuivre une politique en faveur de l'aménagement de nouveaux espaces verts au cœur de la ville, alors même que la place fait défaut. La végétalisation des murs permet de changer radicalement la donne dans bien des lieux déshérités.

À l'échelle d'une copropriété, dans une cour d'immeuble, l'installation d'un mur végétal est toujours un bienfait. La dimension consensuelle de la plante et des espaces verts y est pour beaucoup. Au-delà de l'aspect décoratif indéniable des murs végétaux, qui offrent aux habitants une vue sur un paysage végétal plutôt que sur un mur aveugle, il y a la dimension acoustique. À cause de leur morphologie, qui est souvent celle d'un puits carré très réverbérant, et à cause des matériaux mis en œuvre comme la pierre et le béton, ces cours intérieures sont toujours des lieux sonores où aucune activité ne peut réellement s'y tenir sans gêner celle de la collectivité.

Un renouvellement du paysage

Il existe une certaine idée de la ville européenne : solidaire et polycentrique. Ramener le paysage dans nos villes et nos cités, en l'utilisant sur les toitures, les façades et les murs, accélère le renouvellement du paysage urbain qui reste souvent trop statique du fait de son caractère minéral. L'appréciation de chacun pour ces morceaux de nature verticale, oblique ou tournée vers le ciel nous renseigne.

Chaque saison se suit, accompagnée de son lot d'événements et par sa transformation ainsi que sa bonne maturité, la végétalisation devient vénérable. La nouveauté des installations est accrue par le caractère juvénile des plantes que l'on est impatient de voir grandir.

Nous prenons conscience de notre appartenance au projet urbain, nous possédons la ville. Les responsables des services Espaces verts des villes qui ont installé des murs végétaux l'ont constaté ; très peu de dégradations avec les murs végétaux. La situation n'a rien de comparable avec les autres installations urbaines et fleuries comme les plates-bandes ou les jardinières. La plante et le côté vivant de la matière végétale inspire la connivence et elle est moins convoitée ici que la plante fleurie ou d'ornement, car on comprend qu'elle fait partie des immeubles.

Des applications variées

De manière générale et non exhaustive tant la liste semble infinie, les applications possibles pour les murs végétaux en ville sont variées et la limite sera celle de la créativité des architectes et des publicitaires.

L'habitat individuel

Au-delà des projets prestigieux, plus simplement des résidences et des maisons, en conception neuve et en réhabilitation, peuvent se prêter à des végétalisations de façades ou de toitures. Le

manque de densité et la trop forte réverbération des sons sont deux des grandes faiblesses que l'on observe dans nos cités en matière d'urbanisme. Là encore, la végétalisation de l'architecture est une voie pour améliorer le confort et la qualité de vie tout en incitant à la rencontre grâce au renforcement du caractère identitaire des quartiers. Dans ce cas de figure, il ne s'agit pas seulement d'un effet de peinture « verte » puisque cette seconde peau végétale vivante va aussi améliorer les performances thermiques des bâtiments, notamment l'été, stop-