

# **UCL**

**Université  
catholique  
de Louvain**

**Elaboration d'outils méthodologiques et techniques  
d'aide à la conception d'ambiances urbaines  
de qualité pour favoriser  
le développement durable des villes**

## **Thèse de doctorat**

**Soutenue en vue de l'obtention du diplôme de  
Docteur en Sciences Appliquées**

**Sigrid Reiter**

### **Promoteur**

Prof. André De Herde

### **Membres du jury**

Prof. André De Herde (UCL)

Prof. Christian Gilot (UCL et EPFL)

Prof. (honoraire) Domenico Olivari (Institut von Karman)

Prof. Hervé Jeanmart (UCL)

Prof. David Vanderburgh (UCL)

**Faculté des Sciences Appliquées**

**Architecture et Climat**

**Juin 2007**

*« Savoir, c'est comprendre comme la moindre chose est liée au tout. »*

**Emile Chartier**

## Remerciements

Avant tout entrée en matière, je souhaite remercier vivement tous ceux qui, par leur aide, leurs conseils et leurs encouragements, m'ont aidée à élaborer et finaliser cette thèse de doctorat.

Je suis particulièrement reconnaissante au Professeur André De Herde de m'avoir accueillie dans son équipe de recherche ainsi que pour le soutien permanent et chaleureux qu'il m'a témoigné depuis que je travaille à Architecture et Climat. Je le remercie également d'avoir accepté d'être mon promoteur de thèse et pour la totale confiance qu'il m'a accordée dans l'élaboration de ce travail.

Ma gratitude s'adresse également à la Région de Bruxelles-Capitale qui a financé en grande partie ma thèse de doctorat par l'intermédiaire du programme de recherches « Prospective Research for Brussels ». Sans cette bourse doctorale, je n'aurais pas pu entreprendre cette thèse. Je désire également transmettre mes remerciements à la Politique Scientifique Fédérale grâce à laquelle j'ai pu achever et soutenir cette thèse de doctorat dans le cadre du contrat de recherche multidisciplinaire DRUPSSuC du programme de recherches « Science for a Sustainable Development ».

Je remercie chaleureusement le Professeur Christian Gilot (AUCE, UCL) et le Professeur honoraire Domenico Olivari (Institut von Karman) pour avoir accepté de faire partie du comité d'accompagnement de mon doctorat et pour les conseils judicieux qu'ils m'ont promulgués. J'envoie également mes remerciements sincères au Professeur Hervé Jeanmart (MECA, UCL) pour avoir accepté d'évaluer ce doctorat et de faire partie du jury. Je remercie enfin le Doyen Jean-Didier Legat et le Professeur David Vanderburgh d'assurer la présidence du jury.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à Mme Catherine Sémidor du laboratoire Grecau de Bordeaux pour avoir partagé avec moi ses compétences en acoustique urbaine. Je désire également exprimer ma gratitude profonde à M. José Flémal pour les superbes illustrations qu'il a réalisées et qui participent à la mise en valeur de ma recherche. Un tout grand merci à tous les membres d'Architecture et Climat pour l'accueil qu'ils m'ont témoigné et pour le plaisir que j'ai eu à travailler à leurs côtés tout au long de cette recherche doctorale.

L'élaboration de cette thèse a été pour moi une expérience riche en questionnements, découvertes, voyages, rencontres et évolutions. Que tous ceux qui y ont contribué de près ou de loin en soient remerciés. Je pense plus particulièrement à ma famille et à mes amis qui m'ont soutenue et encouragée tout au long de son développement.

## Résumé

Cette thèse de doctorat consiste à élaborer des outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes.

Ce travail de thèse s'inscrit dans la recherche de nouveaux modes de conception de notre espace habité pour assurer le développement durable des villes. Il vise à promouvoir un nouveau rapport de la société à l'espace public urbain, à travers la création d'ambiances urbaines de qualité, confortables et adaptées aux conditions climatiques locales.

Cette thèse propose un éclairage spécifique et technique des ambiances urbaines, tout en l'insérant dans une approche architecturale globale. Dans une première partie, cette thèse étudie les caractéristiques des espaces publics qui sont nécessaires pour promouvoir une conception architecturale et urbaine respectueuse de l'homme et de l'environnement. Dans une seconde partie, ce travail de thèse approfondit l'étude du confort des piétons dans les espaces publics, selon une approche innovante du confort à l'extérieur qui consiste à regrouper les points de vue physiologiques et psychologiques. Dans une troisième partie, cette thèse décrit les moyens existants et développe de nouveaux outils méthodologiques et techniques pour concevoir des ambiances urbaines de qualité du point de vue microclimatique et acoustique. Ces outils permettront aux différents acteurs du processus de conception et de réalisation des projets urbains d'identifier dans le tracé de leurs plans masses les zones susceptibles d'être critiques ou clémentes pour les piétons en fonction du microclimat et de l'acoustique. Signalons notamment le développement d'outils graphiques simplifiés pour déterminer les risques d'inconfort au vent autour des bâtiments, à partir de nombreuses simulations numériques CFD (Computational Fluid Dynamics).

Cette thèse de doctorat aidera donc concrètement les concepteurs et les décideurs de projets urbains à évaluer la qualité d'un espace public réel ou projeté et ainsi guidera leurs choix d'aménagement. Les stratégies de conception et les outils de calcul simplifiés développés dans cette thèse faciliteront la conception d'ambiances urbaines confortables pour les piétons.

Les résultats de cette recherche soulèvent une interrogation sur le type de société que nous désirons promouvoir. Ils soulignent l'importance du rôle des espaces publics urbains pour améliorer l'habitabilité de nos villes et valorisent un développement de l'humanité qui soit éthique et pas seulement financier. Ils ont été rédigés dans le but de participer à une prise de conscience collective, ce qui ne peut se réaliser que par la sensibilisation du public, l'information donnée aux décideurs politiques et la formation des concepteurs de projets. C'est pourquoi une attention particulière a été portée sur l'aspect graphique de cette thèse et sur le choix de nombreuses illustrations afin qu'elle soit agréable à lire pour les différents acteurs concernés.

## Table des matières

<b>Introduction</b>		<b>7</b>
	Les enjeux de cette thèse de doctorat	
	Les objectifs de cette thèse de doctorat	
	La méthode de travail	
	Le caractère innovant	
	Thèmes et structure de cette thèse de doctorat	
<b>1. Elaboration d'une définition d'un espace public durable</b>		<b>19</b>
1.1 Développement durable des urbanisations		19
1.1.1	Le concept de « développement durable »	19
1.1.2	Le développement insoutenable de nos urbanisations	21
1.1.3	Les principes de la conception durable des espaces publics urbains	38
1.2 Contextualité		40
1.2.1	L'intégration	42
1.2.2	La participation	52
1.2.3	L'adaptation	66
1.3 Coexistence		74
1.3.1	Le rassemblement	75
1.3.2	La diversité	87
1.3.3	L'ouverture	102
1.4 Cohérence		112
1.4.1	L'identité	113
1.4.2	Le sens	120
1.4.3	La naturalité	132
1.5 Stratégie de conception et de rénovation d'un espace public durable		142
<b>2. Elaboration d'une nouvelle méthode d'évaluation du confort à l'extérieur</b>		<b>145</b>
2.1 Confort des piétons		145
2.1.1	Les différences entre le confort intérieur et extérieur	148
2.1.2	Le processus d'adaptation	149
2.2 Critères qualitatifs du confort extérieur		152
2.2.1	L'identification d'une ambiance	153
2.2.2	La relation au contexte	156
2.2.3	La continuité des conditions environnementales	158
2.2.4	La diversité des ambiances	160
2.2.5	La variabilité des conditions environnementales	164
2.2.6	La perception du contrôle possible	166
2.2.7	La capacité de s'adapter	168
2.2.8	La naturalité du lieu	171
2.2.9	Le caractère signifiant du lieu	174
2.2.10	La globalité de la sensation de confort	178

2.2.11	Les composantes culturelles et individuelles	182
2.2.12	Similitudes entre les concepts fondateurs d'un espace public durable et les critères qualitatifs du confort des piétons	184
2.3	<b>Critères quantitatifs du confort extérieur</b>	<b>186</b>
2.3.1	Les critères quantitatifs du confort thermique extérieur	187
2.3.2	Les critères quantitatifs du confort par rapport au vent	226
2.3.3	Les critères quantitatifs du confort respiratoire à l'extérieur	244
2.3.4	Les critères quantitatifs du confort acoustique à l'extérieur	246
2.3.5	Les critères quantitatifs du confort visuel à l'extérieur	253
2.3.6	Les critères quantitatifs du confort par rapport aux intempéries	269
2.4	Nouvelle méthode d'évaluation du confort à l'extérieur	273
<b>3.</b>	<b>Etude du microclimat</b>	<b>278</b>
3.1	Paramètres microclimatiques	278
3.1.1	Les différents types de climats	280
3.1.2	Les données climatiques disponibles	282
3.1.3	Les éléments qui déterminent le microclimat d'un site	284
3.2	Spécificités du microclimat urbain	320
3.2.1	La pollution urbaine	322
3.2.2	L'effet d'îlot de chaleur urbain	337
3.2.3	La modification du rayonnement solaire en ville	350
3.2.4	La modification des mouvements d'air en milieu urbain	378
3.2.5	La modification de l'humidité et des précipitations en milieu urbain	405
<b>4.</b>	<b>Analyse et quantification de l'influence des bâtiments sur l'écoulement du vent</b>	<b>408</b>
4.1	Simulations CFD	408
4.1.1	Les paramètres de simulation	408
4.1.2	Les différents modèles de turbulence	412
4.2	Validation de FLUENT comme outil d'étude du vent autour des bâtiments	417
4.2.1	Validation de FLUENT pour l'étude du vent autour d'un bâtiment isolé	417
4.2.2	Validation de FLUENT pour l'étude du vent autour d'un groupe de bâtiments	428
4.2.3	Validation de FLUENT pour l'étude du vent dans un tissu urbain dense	433
4.3	Règles d'élaboration d'une simulation CFD pour l'étude du vent autour des bâtiments	449

4.4 Outils quantitatifs simplifiés pour l'évaluation du vent autour des bâtiments	454
4.4.1 L'effet de coin	456
4.4.2 L'effet de cisaillement	469
4.4.3 L'effet de passage sous immeuble	472
4.4.4 Le rouleau tourbillonnaire	478
4.4.5 L'effet de barre	482
4.4.6 L'effet de protection dans le sillage d'un bâtiment isolé	484
4.4.7 L'effet Venturi	486
4.4.8 L'effet Wise	490
4.4.9 L'effet de double coin	495
4.4.10 L'effet de bâtiments en quinconce	501
4.4.11 L'effet de canalisation linéaire	504
4.4.12 L'effet de maille	505
4.4.13 L'effet d'écran linéaire	508
4.4.14 L'effet de pyramide	510
4.4.15 L'effet de la végétation	511
4.4.16 L'effet de masque urbain	511
4.4.17 L'effet canyon	515
4.4.18 L'écoulement du vent autour d'un bâtiment élevé implanté en milieu urbain dense	518
4.4.19 Les effets du vent au sein de grands ensembles de bâtiments élevés.	521
<b>5. Etude de l'ambiance sonore à l'extérieur des bâtiments</b>	<b>523</b>
5.1 Paramètres acoustiques	523
5.1.1 Les émissions de bruit en milieu urbain	524
5.1.2 La propagation du bruit en milieu urbain	525
5.1.3 Les dispositifs de correction acoustique	538
5.2 Méthodes d'évaluation des ambiances sonores	542
<b>6. Elaboration de règles de conception pour des ambiances microclimatiques et acoustiques de qualité</b>	<b>558</b>
6.1 La planification urbaine	559
6.2 La morphologie urbaine	569
<b>Conclusion</b>	<b>599</b>
Prospectives	
Le mot de la fin	
<b>Bibliographie</b>	<b>622</b>

## Introduction

*« La relation existant entre l'humanité et la nature doit être faite de respect et d'amour, non de domination. » René Dubos*

Ce chapitre d'introduction commence par une description générale du contexte urbain et politique dans lequel cette thèse de doctorat s'inscrit. Ensuite, nous y présentons les enjeux et les objectifs de notre recherche doctorale ainsi que la méthodologie utilisée et l'originalité de ce travail dans le contexte de la recherche actuelle. Ce chapitre comprend enfin la description des thèmes abordés et la structure de cette thèse.

La qualité de l'environnement urbain est une expression de l'évolution d'une civilisation. Les villes ont été, depuis la fin du Moyen Age, des pôles de développement économique, de transformation culturelle et d'émancipation sociale de notre société. Aujourd'hui, nos urbanisations rassemblent la majorité de la population et constituent les pôles de développement les plus importants de notre civilisation.

Cependant, en ce début de XXI<sup>ème</sup> siècle, il est temps d'envisager très sérieusement l'avenir de nos villes. L'urbanisation croissante du monde et le contexte actuel de la globalisation ont entraîné des mutations profondes au sein de nos villes, générant des déséquilibres environnementaux, sociaux, politiques et économiques. Actuellement, nos urbanisations représentent fondamentalement les lieux où se jouent des enjeux planétaires cruciaux pour l'avenir de l'humanité, tels que les changements climatiques, la pénurie d'eau, la dégradation de l'environnement, l'exclusion sociale, la pauvreté, la criminalité, la mauvaise utilisation des sols, l'augmentation de la pollution, l'épuisement des ressources naturelles, une vulnérabilité croissante face aux catastrophes naturelles et technologiques, ... Le développement durable des villes est devenu un enjeu critique pour notre planète.

**Cette thèse s'inscrit dans la recherche de nouveaux modes de conception de notre espace habité pour assurer le développement durable des villes.**

Aujourd'hui, l'espace public urbain est un enjeu primordial du développement social, environnemental et économique des villes belges et européennes. Il joue un rôle essentiel dans notre société (tissu social, style de vie, participation des citoyens,...). Il a des effets indéniables sur le bien-être, autant que la santé de la population (nuisances sonores, accidents de la route,...), la qualité de l'environnement (pollution de l'air, dégradation de la nature,...) ainsi que sur le développement économique (consommation d'énergie, ...). Ainsi, concevoir des espaces publics urbains de qualité est un des fondements de la création d'un urbanisme durable.

**Cette thèse de doctorat vise à promouvoir un nouveau rapport de la société à l'espace public urbain, à travers la création d'ambiances urbaines de qualité, confortables et adaptées aux conditions climatiques locales.**

L'importance stratégique de cette recherche pour le développement durable des urbanisations belges et européennes provient d'abord de ce qu'elle traite du cœur même de la ville, de ce qui la caractérise en premier lieu et constitue son problème actuel majeur : l'espace public urbain. En effet, l'espace public a joué un rôle



important dans l'élaboration de la ville européenne et de ses structures sociales, culturelles, politiques et économiques. Toutefois, l'avènement de l'automobile et la privatisation de nombreuses fonctions publiques font qu'aujourd'hui l'espace public est davantage synonyme de nuisances que de bien-être. L'étalement urbain actuel implique une consommation considérable du territoire et une perte des valeurs fondamentales qui constituaient nos paysages bâtis. Face aux processus de dispersion de l'urbanisation et de désinvestissement par rapport à l'espace public, il est important de revaloriser les espaces publics urbains, non seulement dans les centres anciens mais aussi dans les proches banlieues, les quartiers en difficulté, les friches urbaines, ... Si aujourd'hui, certains centres urbains touristiques redonnent de la vitalité à leurs réseaux de rues et de places, les extensions contemporaines restent généralement des lieux où la voirie et le rond point ont remplacé la rue et la place publique. Il est donc essentiel de promouvoir la réalisation d'espaces publics durables dans tous les quartiers et particulièrement dans ceux où la présence d'espaces interstitiels est prédominante.

Par ailleurs, cette thèse de doctorat, développée dans le contexte politique belge, est en accord avec **les cinq principes du développement durable choisis par le Bureau Fédéral du Plan (BFP) en juin 2000** comme les plus novateurs, caractéristiques de la notion de développement durable définie en 1992 à Rio et synthétiques de l'ensemble des 27 principes de la déclaration de Rio, à savoir (BFP 2000):

- le principe d'intégration des composants du développement durable,
- le principe de double équité, intra et intergénérationnelle,
- le principe de précaution et de reconnaissance des incertitudes scientifiques,
- le principe de responsabilité commune mais différenciée,
- le principe de participation des citoyens.

Le principe d'intégration des composantes du développement durable consiste à prendre en compte et à relier la composante environnementale (c'est-à-dire la qualité de l'environnement, y compris les réserves des ressources naturelles, la qualité de l'air, l'eau, la biodiversité, ...), la composante sociale (c'est-à-dire le bien-être et la santé de la population, les rapports qu'une société propose entre ses membres, ...), la composante économique (c'est-à-dire le capital physique, tels que les infrastructures ou l'utilisation du sol, et la rentabilité financière des interventions) et la composante politique (c'est-à-dire les lois, les règlements et les valeurs qui permettent d'organiser les modes de vivre ensemble dans une société). Les enjeux et les objectifs de cette thèse couvrent ces différentes composantes du développement durable. Cette recherche porte sur la qualité des espaces publics urbains, à travers des aspects aussi divers que la densité construite, les consommations d'énergie, les modes de déplacements, l'équité sociale, la cohésion sociale, le confort des citoyens, le microclimat, la qualité de l'air, le niveau de bruit, la biodiversité, le cycle de l'eau, ... Enfin, elle s'inscrit dans le contexte politique belge actuel et devrait participer à l'évolution de ses politiques d'aménagement du territoire.

Le second principe du développement durable défini par le Bureau Fédéral du Plan est le principe de double équité, intra et intergénérationnelle. Améliorer la qualité des espaces publics urbains, c'est offrir des espaces de vie commune agréables et accessibles à tous. Un environnement convivial ainsi qu'une qualité de vie et de santé offerte à tous les citoyens sont essentiels à l'équilibre socio-économique de la société d'aujourd'hui. Cette thèse s'inscrit donc par essence dans une recherche

d'équité intragénérationnelle. La manière dont cette thèse traite l'espace public en intégrant des aspects aussi variés que la densité urbaine, la mobilité et la biodiversité, élargit les bénéfices attendus aux générations futures. Rappelons notamment que la consommation croissante d'énergie pose des problèmes environnementaux et de santé en Europe comme dans les pays en voie de développement et que les dégâts engendrés seront transmis aux générations futures. Ainsi, promouvoir des urbanisations respectueuses de l'environnement naturel et construit par l'aménagement d'espaces publics durables est un gage d'équité intra et intergénérationnelle.

Le troisième principe du développement durable défini par le Bureau Fédéral du Plan est le principe de précaution et de reconnaissance des incertitudes scientifiques. Le principe de précaution s'applique particulièrement à l'urbanisme car les risques hypothétiques de toute intervention sur notre milieu sont d'autant plus difficiles à évaluer qu'ils engagent des échelles spatiales et temporelles importantes, ce qui est évidemment le cas des décisions d'urbanisme. Cette recherche doctorale consiste à développer un potentiel scientifique et des outils pratiques dans différents domaines stratégiquement importants pour le développement durable des villes belges et européennes. Elle précise et réduit les incertitudes scientifiques actuelles et elle souligne les besoins futurs en termes de connaissances sur le milieu urbain. Les outils développés dans cette recherche aideront les décideurs à prendre en considération les mesures de précaution nécessaires au bien-être actuel et futur de la population.

Le quatrième principe du développement durable défini par le Bureau Fédéral du Plan est le principe de responsabilité commune mais différenciée. Ce principe souligne notre responsabilité à tous à travers nos modes de vie individuels et collectifs dans le développement d'une humanité durable. Ce principe ajoute aussi l'idée que, si la responsabilité par rapport aux enjeux du développement durable est commune à tous les êtres humains, elle n'est toutefois pas la même dans un pays développé que dans un pays en voie de développement. Les nombreux exemples européens choisis pour illustrer cette thèse de doctorat permettront de sensibiliser les utilisateurs des espaces publics belges et européens à leur responsabilité en tant que citoyen d'un pays développé, notamment dans leurs choix de déplacement et l'implantation de leurs logements (densité urbaine,...). C'est pourquoi cette thèse a été rédigée dans le but de toucher les différents publics concernés, non seulement les décideurs et les concepteurs de projets urbains mais aussi le grand public.

Le cinquième principe du développement durable défini par le Bureau Fédéral du Plan est le principe de participation des citoyens. La participation citoyenne localise les décisions à l'échelle des citoyens, facilite la prise en compte des particularités locales et l'appropriation des choix devenus collectifs. Elle garantit la pluralité des solutions et des points de vue. La participation citoyenne est également abordée dans cette thèse sur les espaces publics urbains et elle y est illustrée à partir de plusieurs exemples concrets. Le principe de participation consiste à intégrer les enjeux et les limites de l'échelle globale avec les nécessités du contexte local. L'étude des ambiances urbaines se situe par définition à l'intersection des enjeux globaux et locaux du développement durable des villes.

Cette thèse doctorale répond donc véritablement au questionnement politique actuel sur le développement durable puisqu'elle correspond aux cinq principes synthétiques du développement durable définis par le Bureau Fédéral du Plan.

## **Les enjeux de cette thèse de doctorat**

### **Les ambiances urbaines participent au développement social, environnemental et économique de nos urbanisations.**

Il existe de nombreuses influences entre la morphologie urbaine, l'ambiance d'un espace public et le comportement des piétons dans ce lieu. L'espace public urbain ne peut en aucun cas être considéré comme un espace résiduel entre les bâtiments. C'est un espace fondamental pour la vie sociale d'une ville de par ses capacités à générer des rencontres et à favoriser une mixité de la population. De plus, des espaces publics de qualité participent activement à la construction d'une équité sociale puisqu'il s'agit de lieux de vie offerts à tous les citoyens, ce qui rejoint l'enjeu social du développement durable.

L'urbanisme peut être un agent destructeur des réseaux sociaux, c'est le cas dans les projets de rénovation urbaine sans nuance mais il peut à l'inverse entretenir les possibilités d'une vie de quartier pleine de richesses. Ceci ne signifie pas que l'urbanisme induit la présence ou l'absence de cohésion sociale : ce sont les individus eux-mêmes qui choisissent de créer un lien social mais l'urbanisme joue un rôle par rapport aux possibilités de choix qui s'offrent à la population. La convivialité est une des qualités essentielles d'un espace public durable car elle favorise l'utilisation des espaces publics ainsi que les rencontres et les échanges qui peuvent s'y produire. Cette recherche se base sur l'hypothèse qu'une ville durable offre aux citoyens des espaces publics (places, rues, îlots, ...) réellement appropriables par ceux-ci. Ainsi, il est indispensable que l'espace public urbain soit confortable et attrayant parce que c'est le lieu où les valeurs sociales et collectives se construisent. Tenir compte de l'espace public lors de la conception des bâtiments en zone urbaine améliore l'habitabilité des villes.

La conception et la modification des formes urbaines induisent des transformations profondes et à long terme de l'environnement, dont le microclimat est un des aspects fondamentaux. Les villes modernes ont été fortement influencées par des intérêts économiques à court terme et des valeurs technologiques. La qualité environnementale de l'espace laissé entre les bâtiments a rarement été prise en compte, ce qui génère souvent un inconfort intolérable pour les piétons. En outre, ces espaces modernes inadaptés à notre climat créent des problèmes globaux importants pour notre planète tels que l'augmentation de la pollution et les changements climatiques qu'elle induit. A l'heure actuelle, il est temps de changer les critères de sélection des projets urbains. Le développement durable des villes dépend en grande partie de la capacité des urbanistes à offrir des espaces extérieurs urbains à haute qualité environnementale, qui enrichissent l'expérience de vivre en ville. Le microclimat d'un lieu est une clé de conception pour des ambiances architecturales et urbaines de qualité.

Une conception urbaine basée sur l'étude du microclimat peut non seulement améliorer le confort extérieur en ville mais aussi la qualité intérieure des bâtiments ainsi que diminuer leurs consommations énergétiques. Ainsi, la ventilation d'une place peut y réduire les risques de pollution de l'air mais aussi accroître la qualité de l'air dans les édifices qui la jouxtent et offrir la possibilité de remplacer un système de climatisation éventuel par une ventilation naturelle des locaux. Le microclimat fixe d'une certaine manière les limites pour la construction d'une architecture durable et influence également le comportement des piétons dans les espaces publics. L'objectif d'une conception microclimatique est de créer des

espaces publics et des bâtiments plus confortables et plus sains pour les habitants mais aussi plus autonomes vis à vis des techniques impliquant la consommation d'énergies fossiles (transport, climatisation, éclairage, ...). Cette démarche qui met l'accent sur la conception de l'architecture et de l'urbanisme et non sur l'utilisation de technologies est bien sûr exigeante pour les concepteurs mais très bénéfique pour les futurs utilisateurs.

La morphologie urbaine influence fortement l'économie locale par son action sur nos modes d'habiter et sur les possibilités de rentabilité des infrastructures (transports en commun, routes, réseaux d'énergie,...). Le développement économique durable d'une région nécessite donc de prendre en compte la gestion de l'aménagement de ce territoire, notamment en favorisant une certaine densité construite et la mixité des fonctions (logement, travail, services, loisirs,...). Ainsi, pour une économie durable, il est nécessaire de limiter l'étalement urbain et de valoriser la vie urbaine pour attirer de nouveaux habitants en ville. La qualité des ambiances urbaines est donc un des éléments qui participe à promouvoir une économie urbaine rentable.

Il y a un optimum à chercher pour la densité des villes. De manière évidente, une utilisation plus intense du territoire et un partage des infrastructures ( espaces publics, énergie, eau, transport public, ...) réduit l'énergie associée à sa construction et sa maintenance et bénéficie d'une économie d'échelle par rapport à une configuration urbaine dispersée. Cependant, des densités trop importantes créent des difficultés pour conserver un bon niveau de bien-être. La prise en compte de la santé de l'homme dans les processus de décision est un aspect essentiel du développement durable. Or, la santé des citoyens dépend dans une large mesure de la création d'ambiances urbaines confortables valorisant des modes de vie sains (marche à pied, éclairage naturel des bâtiments,...). C'est ainsi que la conception d'ambiances urbaines de qualité devient un élément charnière entre l'enjeu local d'assurer le bien-être des habitants et l'enjeu global de densifier le tissu urbain.

**Ces différents points de vue prouvent l'importance indéniable de la qualité des ambiances urbaines pour le développement durable des villes. Concevoir des ambiances urbaines de qualité est un des fondements de la création d'un urbanisme durable.**

**Cependant, il n'existe pas aujourd'hui de théorie cohérente pour la conception d'ambiances urbaines de qualité.** Notons l'absence d'une définition approfondie des critères de durabilité des espaces publics urbains, le manque d'informations accessibles aux concepteurs de projets urbains sur les interactions entre le climat et la ville, le manque crucial d'études sur les critères qui déterminent le confort à l'extérieur et l'absence d'une stratégie de conception microclimatique urbaine. Il s'agit de lacunes à combler de toute urgence pour aider les architectes et les urbanistes à concevoir des ambiances urbaines de qualité.

Les grands centres urbains ont vu leur microclimat changer au rythme de l'activité humaine. Les millions de déplacements automobiles quotidiens, le chauffage et l'éclairage des édifices ou des lieux publics sont autant de sources de chaleur et de pollutions diverses qui modifient le microclimat urbain. En concentrant ses activités en ville, l'homme y modifie les différents paramètres de son microclimat : température moyenne plus élevée, vitesses de vent plus faibles mais turbulences plus élevées, modification des précipitations, nébulosité due à la pollution de l'air,... Les paramètres climatiques d'un site urbain présentent généralement de

substantielles modifications par rapport aux moyennes climatiques relevées dans les stations météorologiques. Il est donc souhaitable que les architectes et les urbanistes prennent en compte les valeurs locales du microclimat car elles peuvent induire des différences significatives pour l'évaluation du confort à l'intérieur comme à l'extérieur ainsi que des consommations d'énergie des bâtiments. Le microclimat urbain a une logique propre qui devrait enrichir tout projet.

Si, à l'heure actuelle, les seules données météorologiques dont nous disposons proviennent de stations météorologiques en site dégagé, comment tenir compte de l'effet de l'urbanisation dans notre conception architecturale? Comment prédire et simuler ces effets? Il est indispensable de pouvoir évaluer le microclimat local d'un lieu, spécialement lorsqu'il s'agit d'un milieu urbain.

Les outils de simulation qui permettent d'évaluer précisément le microclimat urbain sont des développements récents. L'architecture du passé était basée sur le transfert d'une tradition de construction et sur un apprentissage par des méthodes empiriques. Ces nouvelles techniques d'évaluation du microclimat nous permettent d'analyser scientifiquement les paramètres en jeu et de fixer des limites pour une conception moderne respectueuse de l'homme et de son environnement. Cependant, les technologies de pointe qui permettent aujourd'hui de simuler le microclimat urbain sont très complexes et demandent aux concepteurs un investissement trop important en temps et en argent pour la majorité des projets.

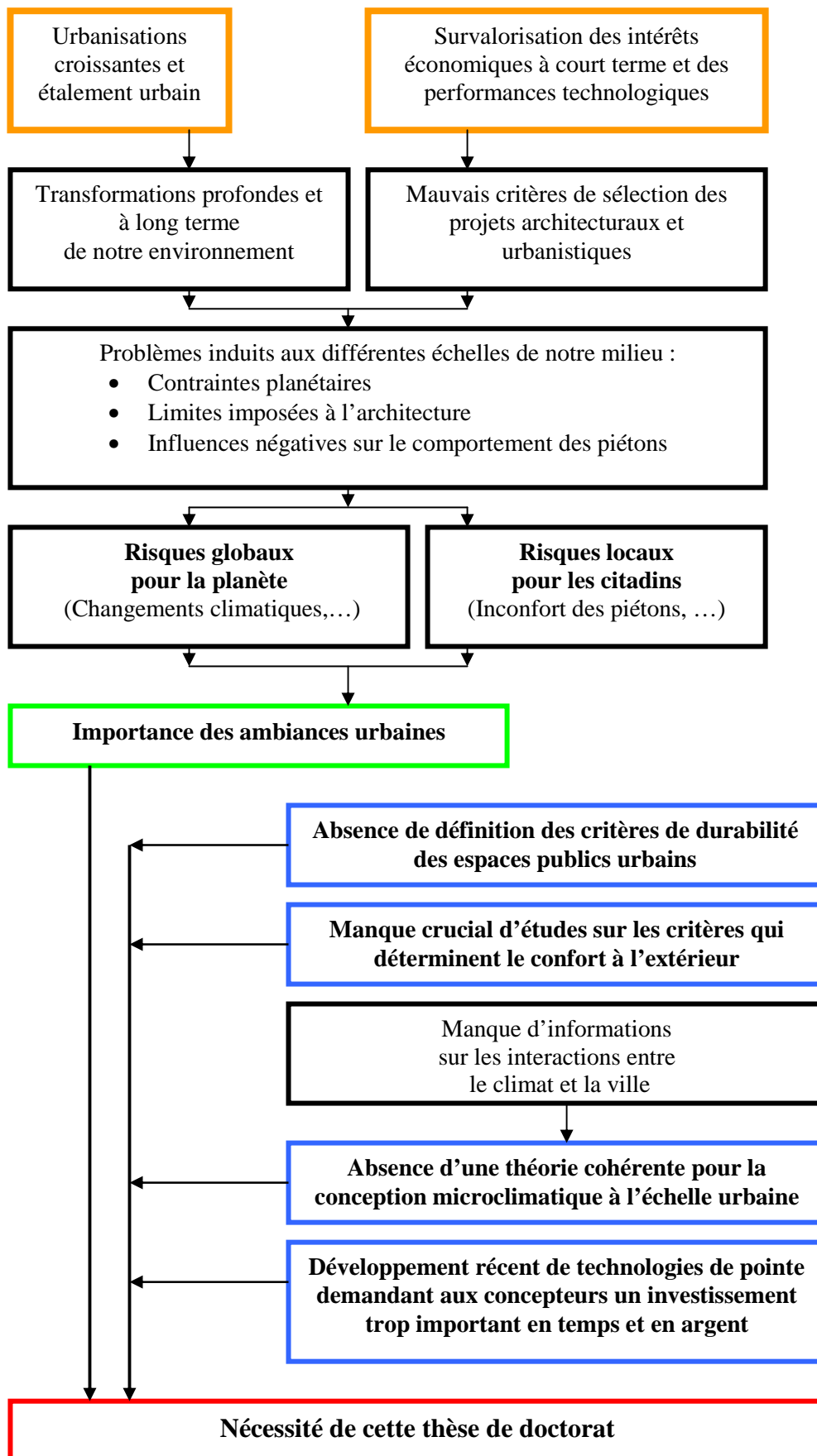
C'est ainsi qu'est né notre projet d'offrir aux architectes et aux urbanistes des outils pratiques simplifiés pour intégrer efficacement l'aspect microclimatique à leurs projets, dès la phase de conception. Il s'agit donc de tenter de combler le fossé actuel entre les technologies sophistiquées de simulations du microclimat urbain, complexes d'usage et coûteuses en temps d'utilisation et en argent, et la pratique du projet architectural.

La réhabilitation d'un espace extérieur existant ou la conception d'un nouvel espace public peuvent offrir la possibilité de créer des ambiances urbaines de qualité. Les solutions possibles aux problèmes spécifiques auxquels fait face un espace public déterminé sont illimitées et dépendent fortement de la morphologie urbaine et de son microclimat. Mais il y a un certain nombre de considérations que le concepteur doit absolument prendre en compte de manière à proposer avec succès un environnement attractif et confortable ; ce sont ces principes que nous développons dans cette thèse. Notre but est de donner aux concepteurs et aux décideurs de projets urbains la stratégie et les outils pratiques pour concevoir des ambiances urbaines de qualité du point de vue architectural, microclimatique et acoustique.

Signalons une étude réalisée en Angleterre par Mc Cartney et Matsika sur l'enseignement de l'architecture : elle montre clairement que l'enseignement et l'explication de l'usage de l'outil graphique et stratégique qu'est la charte bioclimatique d'Olgyay transforme réellement l'approche du projet des étudiants architectes qui y insèrent une réflexion climatique avec une certaine facilité (Mc Cartney & Matsika 2004). Il nous semble donc que les outils développés dans ce doctorat auront un impact concret évident pour l'enseignement futur de l'architecture.

**Cet ensemble d'enjeux prouve la nécessité d'effectuer des recherches approfondies sur la conception d'ambiances urbaines de qualité et particulièrement sur la conception microclimatique des espaces publics.**

Le schéma ci-dessous synthétise les enjeux de cette thèse de doctorat.



## **Les objectifs de cette thèse de doctorat**

Face à la complexité de la ville, un premier but de ce travail est d'améliorer et d'étendre la connaissance scientifique actuelle dans trois domaines:

- les espaces publics collectifs en ville,
- le microclimat en milieu urbain,
- le confort des personnes à l'extérieur des bâtiments.

A ce premier objectif, se mêle immédiatement une autre ambition : promouvoir une conception architecturale et urbaine respectueuse de l'homme (par la solidarité, l'égalité des chances, l'échelle humaine, la symbolique,...) et de l'environnement (par les équilibres écologiques, la limitation des nuisances environnementales,...).

**Le but fondamental de cette recherche est de favoriser le développement d'espaces publics durables.** Son exploration sous-tend une tentative d'énonciation d'une philosophie de conception de notre cadre bâti. A travers cette étude, notre but est de favoriser la création de liens entre l'homme, son environnement et les différentes échelles de l'habiter, grâce à la participation à une prise de conscience collective, qui ne peut se réaliser que par la sensibilisation du public, par l'information des décideurs politiques et par la formation des concepteurs de projets urbains.

**La question essentielle à laquelle cette thèse de doctorat tente de répondre est comment générer des conditions confortables dans les espaces publics urbains, tout en favorisant le développement durable des villes.**

Les effets positifs du confort des personnes en ville sont nombreux. Citons:

- l'amélioration de la qualité de vie dans les espaces publics collectifs en ville (équité sociale, santé ...),
- l'accroissement de l'utilisation des places urbaines (rencontres, mixité de la population, ...)
- la diminution des consommations d'énergie liées à l'utilisation de l'espace public (circulation,...),
- des effets bénéfiques pour la planète (valorisation de l'image des villes,...)
- la limitation des nuisances environnementales (réduction de la pollution atmosphérique,...).
- ...

L'être humain dans toute sa complexité est au centre de la question du développement durable. Cette recherche a également pour objectif de souligner l'importance du point de vue humain et de son expérience corporelle pour qu'un espace public puisse être approprié. L'expérience sensible préexiste toujours à notre interprétation abstraite et donc à notre capacité à donner sens à un espace.

Nous désirons renouer avec l'échelle du corps et avec l'échelle du milieu naturel. Sur ce sujet, laissons parler Françoise Choay : *«Le pas vers un espace différent-emblème d'une société différente- requiert l'intégration laborieuse et subversive de paramètres qui s'appellent, en particulier, le corps, la nature, la technique : corps à réapproprier et à réintégrer dans l'espace de ses parcours ; nature à réinvestir et à réapprendre, par le corps précisément ; technique à démystifier, à affranchir des idéologies qui l'encensent ou la condamnent sans nuance ni alternative, alors que, instrument fondamental d'une nouvelle édification, ses innovations doivent être exposées à toutes les modulations et, en particulier, ouvertes aux acquis de la tradition comme au travail prospectif de la science. »* (Choay 1980)

**Cette recherche a pour objectif pratique d'offrir aux concepteurs et aux décideurs des projets urbains les outils méthodologiques et techniques qui leur permettent d'évaluer rapidement et d'améliorer la qualité d'ambiances urbaines réelles ou projetées du point de vue architectural, microclimatique et acoustique.**

Une attention particulière est centrée sur la conception microclimatique des espaces publics urbains. Comprendre la richesse que recèlent les facteurs microclimatiques et leurs implications sur le confort humain ouvre de nouvelles possibilités pour la conception et l'aménagement d'espaces publics de qualité. Mais il ne suffit pas de conscientiser les urbanistes et les architectes à l'étude du microclimat urbain, encore faut-il leur donner les moyens d'intégrer cette question dans leur processus de conception. Ce travail de thèse a pour objectif **l'élaboration d'une stratégie et de conseils pratiques pour l'intégration du microclimat dans le processus de conception et de rénovation des espaces publics en site urbain.**

**Enfin, cette thèse a été écrite dans le but de toucher l'ensemble des acteurs intervenant dans le processus de conception et d'appropriation des espaces publics :**

- les autorités locales qui développent des plans urbanistiques ou environnementaux pour leur commune ou leur ville,
- les architectes qui désirent concevoir des bâtiments et des espaces publics,
- les architectes paysagers qui désirent améliorer les qualités environnementales, microclimatiques et écologiques d'un site.
- les politiciens qui mettent concrètement en place les normes et prescriptions pour l'environnement urbain.
- les chercheurs dans ce domaine ou des domaines connexes qui désirent utiliser les études déjà réalisées pour comparer ou compléter leurs résultats.
- les citoyens investis dans un projet de construction ou intéressés par les possibilités concrètes de participer à des modes de vie durables.

Signalons que cette thèse a fait l'objet d'un travail de rédaction important. Elle a été largement illustrée par des exemples concrets qui montrent de nombreux espaces publics belges et européens, afin d'en rendre la lecture plus aisée pour les différents publics concernés.

Ces différents objectifs montrent clairement que cette étude peut apporter de nombreux impacts positifs au développement environnemental, économique et social des urbanisations européennes.

## **La méthode de travail**

La conception d'ambiances urbaines de qualité est un processus créatif qui génère des solutions appropriées au niveau architectural et technique. Toute étude de conception urbaine doit intégrer ces deux niveaux d'action, dès l'esquisse d'un projet. Du point de vue microclimatique, la conception artistique requiert la connaissance de certains phénomènes physiques, constructifs et ergonomiques basés sur un savoir historique, traditionnel, intégrant les données naturelles du site et de son climat. Le point de vue technique, lui, consiste à étudier et utiliser les développements scientifiques actuels pour une meilleure maîtrise de la conception des ambiances climatiques, notamment grâce aux technologies de simulation des paramètres climatiques.



L'approche technique seule ne permet pas de fonder un projet architectural car elle ignore les fondements culturels et psychologiques indispensables pour créer une architecture de qualité. C'est pourquoi ce travail de doctorat utilise deux méthodes de recherche :

- une réflexion basée sur une étude bibliographique étendue. Cette recherche se fonde sur une approche scientifique rigoureuse.
- des simulations informatiques du vent autour des bâtiments. Cette approche se base sur un outil de pointe : FLUENT, logiciel de CFD (Computational Fluid Dynamics).

Cette thèse se fonde sur une approche fondamentalement pluridisciplinaire. Nous avons la certitude que la question du développement durable de l'humanité nécessite une transformation des méthodes de recherche et une plus grande interdisciplinarité. Notre approche consiste à interroger les multiples visages de la connaissance humaine. Cette thèse présente une réflexion basée sur une vaste étude bibliographique, s'étendant à des disciplines aussi variées que l'architecture, la philosophie, la sociologie, la psychologie, la physiologie humaine et la physique ainsi que des domaines plus spécifiques tels que la thermique, l'éclairage, la mécanique des fluides ou l'acoustique.

Les développements urbains dépendent de nombreux spécialistes qui ont généralement peu de temps pour confronter leurs problématiques. Par exemple, les experts en acoustique limitent l'étude du confort extérieur à son point de vue sonore. Nous avons choisi d'étudier le confort des piétons dans les espaces urbains ouverts à travers la confrontation des points de vue des différentes disciplines concernées. Notre recherche est réellement multidisciplinaire.

En outre, le temps est venu de tenir compte de l'importance fondamentale de la notion de qualité et de son rôle dans la production des phénomènes quantitatifs observables. Cette étude utilise deux langages complémentaires : celui de la raison à travers l'étude d'expériences scientifiques et celui de la signification à travers l'étude de différents types d'interprétations signifiantes du monde : l'architecture, la psychologie, ... Utilisant ces deux langages, on peut tenter de répondre au « comment » sans jamais négliger le « pourquoi ».

Chaque partie de cette recherche est étudiée dans une démarche holistique afin de déterminer des critères de conception aussi bien qualitatifs que quantitatifs. Ainsi, l'étude sur le confort extérieur intègre les points de vue physiologiques et psychologiques des piétons afin de créer une architecture plus humaine et mieux reliée à son milieu. Notre nouvelle méthode d'évaluation du confort à l'extérieur est née du croisement entre les aspects scientifiques et techniques du confort extérieur et ses aspects liés à la perception et aux comportements des usagers.

Il est important de souligner la qualité de cette démarche holistique, qui replace en permanence cette recherche au sein de la complexité du fonctionnement urbain, tout en gardant un point de vue scientifique et en s'attaquant aux difficultés réelles des simulations numériques réalisées.

## **Le caractère innovant**

Le concept de « développement durable » est sans cesse utilisé à l'heure actuelle mais peu de centres de recherche se sont penchés sur la définition d'un urbanisme durable au-delà de la question de la mobilité. L'importance de l'espace public urbain comme enjeu du développement durable et la définition des critères de conception d'un espace public durable sont des nouveaux thèmes de recherches.

Si la conception d'un bâtiment du point de vue bioclimatique a été largement analysée, l'influence de la forme urbaine sur le microclimat extérieur est en général négligée. De plus, un de ses paramètres fondamentaux, le vent, est encore très peu étudié. Il y a donc actuellement un manque crucial d'informations et d'outils faciles et rapides permettant aux concepteurs de projets urbains d'intégrer la préoccupation microclimatique.

Enfin, la majorité des études actuelles sur le confort portent uniquement sur les conditions intérieures et les quelques recherches qui ont été abordées pour étendre les critères de confort à l'extérieur sont très souvent des approches purement physiologiques. Il est toutefois évident qu'on ne peut pas évaluer de manière identique le confort à l'intérieur et à l'extérieur d'un bâtiment. Tout d'abord, les deux paramètres climatiques principaux à l'extérieur sont le vent et le rayonnement solaire direct, tous deux exclus des études réalisées à l'intérieur. De plus, le comportement des personnes face aux conditions environnantes est très différent à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments.

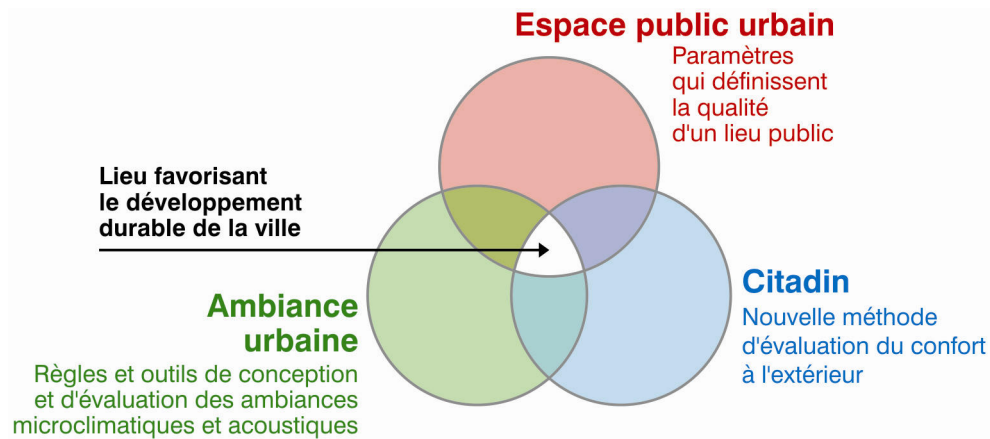
Cette thèse de doctorat est donc fondamentalement innovante dans le contexte de la recherche d'aujourd'hui. En outre, elle enrichit de manière évidente la connaissance des problématiques urbaines actuelles en Belgique et en Europe. Il faut noter que des problèmes typiquement microclimatiques sont visibles dans la plupart de nos urbanisations; citons, par exemple, les rafales de vent qui atteignent les piétons aux environs de nombreux immeubles-tours.

## **Thèmes et structure de cette thèse de doctorat**

Cette thèse développe des méthodes et des outils d'aide à la création d'ambiances urbaines de qualité, confortables et adaptées aux conditions climatiques locales. Ses trois orientations privilégiées sont la qualité de la conception architecturale urbaine, la question du confort des personnes à l'extérieur et le microclimat urbain.

L'échelle de la réflexion de cette recherche va du territoire au bâtiment mais l'espace public urbain et ses deux composants majeurs, la rue et la place, y ont une place prioritaire. L'espace public urbain est une échelle d'intervention urbaine spécialement pertinente pour traiter de la question du développement durable. En effet, c'est à cette échelle que peuvent se résoudre de nombreux problèmes écologiques et sociaux ainsi que la mise en oeuvre d'une démarche participative.

Cette thèse de doctorat est centrée sur l'étude des multiples interactions entre la morphologie du tissu urbain, les ambiances urbaines et les citoyens. Le schéma ci-dessous représente les différents thèmes abordés par cette recherche doctorale.



La première partie de ce doctorat étudie les caractéristiques des espaces publics qui sont nécessaires pour promouvoir le développement durable de nos villes. Cette étude aboutit à la définition d'un espace public durable, basée sur trois qualités fondamentales : la contextualité, la coexistence et la cohérence.

Dans une seconde partie, cette thèse approfondit l'étude du confort des piétons dans les espaces publics. Notre approche innovante du confort à l'extérieur consiste à regrouper les points de vue physiologique et psychologique. Cette étude aboutit à l'élaboration d'une méthode d'évaluation du confort à l'extérieur, regroupant des critères quantitatifs et des critères qualitatifs.

La troisième partie de ce doctorat étudie les multiples interactions entre la morphologie urbaine et les ambiances microclimatiques et acoustiques des lieux publics. Cette étude aboutit à l'élaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception des ambiances urbaines. L'étude du vent autour des bâtiments y est particulièrement développée. Cette section comprend une validation du logiciel FLUENT pour l'étude du confort au vent au niveau piéton ainsi que l'élaboration d'outils graphiques quantitatifs d'évaluation des niveaux d'inconfort au vent autour des bâtiments.

Ainsi, grâce à la mise en commun de ces trois directions de recherche, cette thèse de doctorat analyse la thématique des ambiances urbaines de manière globale et promeut une architecture qui enrichit la vie humaine tout en étant respectueuse de la planète.

# 1. Elaboration d'une définition d'un espace public durable

*« Le meilleur modèle de développement durable, c'est la diversité du vivant, depuis 4 milliards d'années. » Robert Barbault.*

Cette première partie aborde le concept de développement durable. Après une courte introduction, cette section met en évidence les modes d'urbanisations insoutenables les plus répandus à l'heure actuelle et leurs conséquences désastreuses du point de vue environnemental, social, culturel, politique et économique. Ensuite, nous y développons une définition de la durabilité des espaces publics à partir de trois principes fondamentaux : la contextualité, la coexistence et la cohérence. Cette stratégie de conception et de rénovation des espaces publics est largement illustrée par de nombreux exemples concrets d'espaces publics essentiellement belges ou européens.

## 1.1 Développement durable des villes

### 1.1.1 Le concept de « développement durable »

En 1983, les Nations-Unies décident de créer une commission d'experts internationaux pour analyser les détériorations de l'environnement humain et des ressources naturelles de notre planète ainsi que leurs conséquences sur le plan économique et social. Le rapport de cette commission, « Our common futur », publié en 1987 et plus connu sous le nom de rapport Brundtland (WCED 1987), constate l'insoutenabilité de l'évolution contemporaine du développement mondial du point de vue environnemental, social, économique, culturel et politique. Ce rapport postule aussi l'interdépendance de ces différents domaines de développement et il propose d'orienter les forces internationales vers un nouveau type d'évolution planétaire: le développement durable.

Le rapport Brundtland prouve que le modèle de développement occidental pratiqué depuis quelques décennies engendre des dégâts environnementaux et socio-culturels considérables. Ces problèmes ne se limitent pas à diminuer notre qualité de vie mais, en outre, hypothèquent gravement le potentiel des générations futures. Chacun de nous doit dès lors reconnaître la part de responsabilité qu'il prend, jour après jour, dans l'évolution de notre environnement (dont les composantes naturelles, construites et humaines ont toutes leur importance). Il est temps que nous nous sentions plus solidaires dans un développement en meilleure harmonie avec notre héritage naturel et culturel. L'inaction n'est pas neutre, c'est une politique à haut risque dont on oublie de prendre en compte les conséquences dans les arguments de décision.

Les projets architecturaux et urbanistiques modifient fortement nos environnements physiques, sociaux, culturels et économiques. Les architectes et les urbanistes ont donc un rôle important à jouer pour favoriser des conditions de vie qui contribuent

à la santé, au bien-être et au développement durable de l'humanité. Il nous semble dès lors indispensable de repositionner nos choix de conception urbaine dans le cadre du développement durable.

En 1990, à peine trois ans après le rapport Brundtland, la Commission Européenne publie le *Livre vert sur l'environnement urbain* (CEE, 1990). Ce livre réalise le premier diagnostic urbain à l'échelle de la communauté européenne. Il met l'accent sur le caractère commun des problèmes auxquels les villes sont confrontées. Malheureusement, quinze ans plus tard, nous constatons que la situation urbaine a encore très peu évolué...

La définition communément admise du développement durable qui figure dans le rapport Brundtland est la suivante: «*Le développement durable est le développement qui satisfait les besoins de la génération actuelle sans priver les générations futures de la possibilité de satisfaire leurs propres besoins.*» (WCED 1988).

Le développement durable est donc un concept beaucoup plus vaste que la protection de l'environnement. Il pose la question de la qualité de la vie, du développement de l'humanité (qui est fondamentalement éthique et pas seulement financier), de l'équité sociale, de la transmission d'un héritage naturel et culturel. Il suppose que l'on se préoccupe des générations actuelles et futures ainsi que de la salubrité et de l'intégrité du milieu naturel à long terme. Se situer dans une perspective de développement durable nécessite de repenser les échelles de la ville, allant du territoire à l'être humain, dans un horizon temporel qui tient à la fois compte de son histoire et des générations avenir.

Le développement durable propose donc un mode de développement éthique qui consiste à faire vivre ensemble sur Terre les êtres humains et les écosystèmes dans le respect de leurs différences, tout en assurant le renouvellement de l'héritage naturel et culturel qu'ils constituent pour les générations à venir. Ainsi, le développement durable permet de réorienter la notion de développement, qui a souvent été utilisée uniquement dans le contexte économique, en la plaçant désormais dans le cadre de l'éthique.

Le développement durable de nos urbanisations relève d'une approche globale où interfèrent des dimensions objectives et quantifiables, telles que la consommation de ressources ou l'émission de polluants, et des dimensions plus qualitatives, tel que le confort des citoyens. De toute évidence, le développement durable nécessite de réintroduire la conception et la rénovation urbaine dans un cadre holistique. Le développement durable fait donc appel à l'élaboration de principes universels mais applicables localement à travers les multiples dimensions des sociétés humaines.

Le concept de développement durable offre l'opportunité d'intégrer une réflexion globale sur nos mode de vie et de développement en réunissant les dimensions environnementales, socio-culturelles et économiques entre elles et aux différentes échelles de l'humanité. Le concept de développement durable doit s'appuyer sur la recherche d'un équilibre entre les préoccupations environnementales (atteinte aux écosystèmes et à la biodiversité,...), les préoccupations sociales (accessibilité, qualité de vie, santé publique, équité,...) et les préoccupations économiques (utilisation efficace et rentable des ressources, ...). Il s'agit donc de définir une nouvelle éthique pour habiter-ensemble dans le respect des dimensions écologiques, socio-culturelles et économiques de notre milieu.

Enfin, on peut définir le développement durable comme la mise en pratique d'un certain nombre de principes qui visent à penser et à agir autrement, selon des valeurs fondamentalement éthiques. S'inscrire dans une logique de développement durable signifie tenter de mettre en oeuvre de nouvelles démarches, de nouvelles méthodes, de nouvelles grilles de lecture, de nouvelles stratégies au service d'un projet d'avenir à construire ensemble. Le développement durable est donc une dynamique, un processus d'évolution bien plus qu'un but en soi ou une série d'objectifs précis à atteindre. Il nous donne une direction.

C'est donc selon cette vision du développement durable que je vais aborder la question de la durabilité de nos urbanisations. Il est grand temps de prendre conscience à la fois de l'importance de notre milieu bâti sur notre qualité de vie et de la responsabilité de l'architecte et de l'urbaniste vis-à-vis de notre environnement et de notre planète.

Les enjeux du développement durable de nos urbanisations s'adressent aujourd'hui à tous les architectes, tous les urbanistes et toutes les personnes susceptibles de poser des choix importants du point de vue de l'aménagement de notre territoire (hommes politiques, ingénieurs des réseaux,...) mais aussi à chaque citoyen car nous modifions tous inconsciemment notre environnement urbain à travers nos modes de vivre et d'habiter.

## **1.1.2 Le développement insoutenable de nos urbanisations**

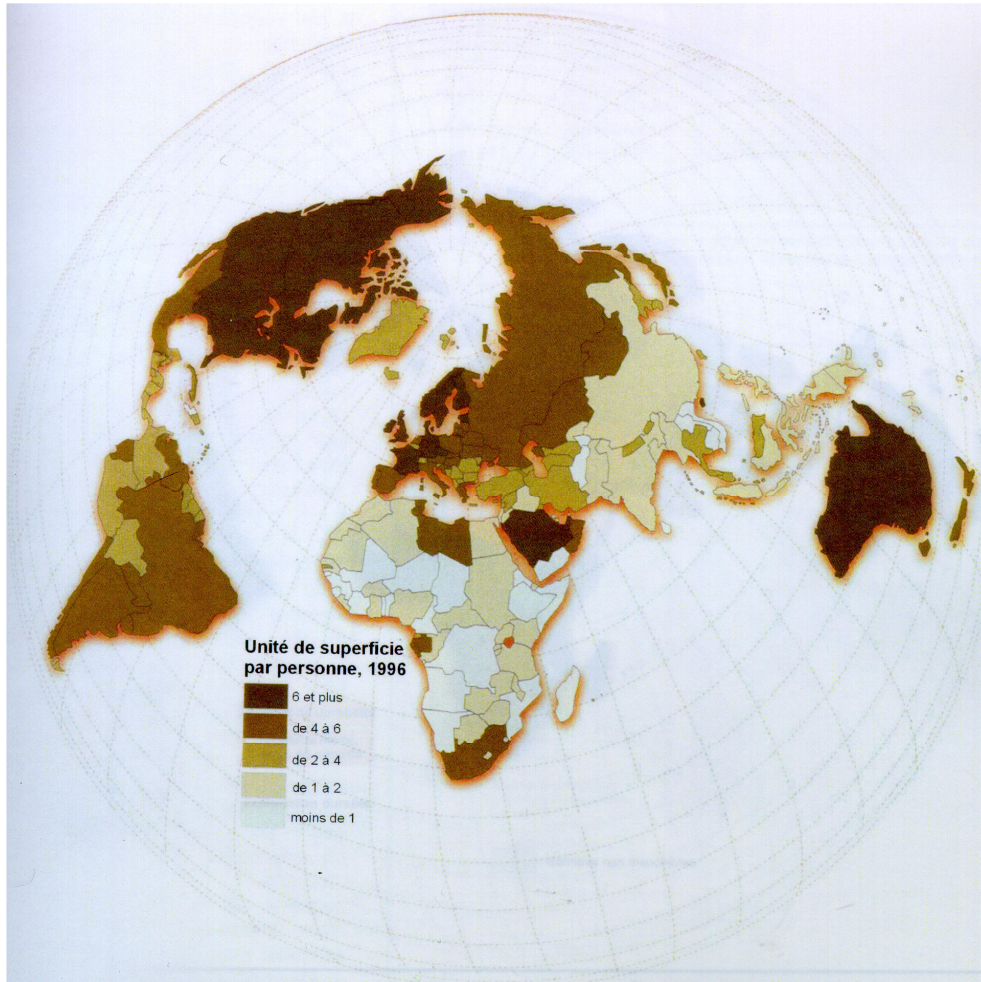
### **1.1.2.1 Les enjeux planétaires**

Le concept d'**empreinte écologique** défini par Mathis Wackernagel et William Rees établit une estimation par unité de surface et par habitant de la pression des activités humaines sur les écosystèmes de la planète. L'empreinte écologique correspond au nombre d'hectares de sol et de mer productifs dont une personne a besoin pour répondre à sa consommation en ressources naturelles (aliments, énergie, bois,...) mais aussi pour absorber les déchets et la pollution qu'elle produit (émissions de CO<sub>2</sub>,...).(Rees 2004)



Empreinte écologique des villes.

Le calcul de cette empreinte écologique, réalisé par le WWF (World Wildlife Fund) sur les bases de données publiées par les agences des Nations Unies et par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), montre que les modes d'exploitation, de production et de consommation actuelles dépassent de 30% les capacités des ressources naturelles à se renouveler et à absorber les pollutions (Sacquet 2002). Le dessin ci-dessous, repris du livre « Atlas mondial du développement durable », représente la répartition terrestre de l'empreinte écologique, en unité de superficie consommée par personne en 1996.



Répartition terrestre de l'empreinte écologique (Sacquet 2002).

L'empreinte écologique tient compte du nombre d'habitants, de leur consommation moyenne, des technologies et des infrastructures mises en œuvre. Tout développement urbain durable devrait présenter une empreinte écologique inférieure à 2 hectares/habitant, ce qui nécessite une transformation radicale de nos modes de vie et de nos urbanisations. La moyenne mondiale est de 2.85 hectares/habitant; un Nord-américain arrive à 12, un européen à 6, un asiatique et un africain à moins de 2.

De manière globale, l'humanité consomme aujourd'hui plus de ressources que la Terre n'est capable de lui fournir et produit plus de déchets que la Terre n'est capable d'assimiler. L'activité humaine mondiale actuelle correspond à l'exploitation renouvelable de 1.3 Terre. L'humanité entame donc aujourd'hui son capital écologique de près de 30% et les prévisions pour le futur vont vers un accroissement évident des ressources nécessaires dues au développement des pays

pauvres et à l'accroissement continu de la population mondiale sur la Terre. Notons qu'entre 1970 et 1996, l'empreinte écologique mondiale a été multipliée par le facteur 1.5.

Insistons sur le fait que la **démographie mondiale** est en continuelle croissance. Or, plus la population mondiale grandit, plus nous sommes nombreux à devoir nous partager les limites de la Terre. Le capital naturel n'est pas inépuisable... Si la totalité de la population mondiale atteignait un jour le niveau de vie actuel des européens avec le même type de mode de production et de consommation, il nous faudrait occuper l'équivalent de trois planètes de même capacité que la Terre.... La nature obéit à des cycles que nous sommes obligés de respecter dans le but de préserver l'existence de l'humanité sur Terre.

Rappelons que la **consommation énergétique** mondiale est en croissance exponentielle. La consommation d'énergie mondiale par habitant a doublé entre 1960 et 2000 (Gay 2004) et le niveau de la demande énergétique mondiale prévu pour 2020 est encore largement supérieur à cause de l'industrialisation de pays comme la Chine et l'Inde. Cet accroissement de la consommation énergétique mondiale risque de conduire à une catastrophe sur le plan des changements climatiques et des pollutions. En effet, les gaz à effet de serre induisent une augmentation générale de la température du globe. Nous rejetons aujourd'hui dans l'atmosphère 28 milliards de tonnes de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, méthane, CFC, oxydes d'azote) pour nos besoins de transport, de chauffage, de climatisation, d'agriculture, d'industrie,... (Sacquet 2002). Ces valeurs sont énormes et dépassent largement les capacités d'assimilation naturelle de notre planète. Signalons que l'absorption naturelle du CO<sub>2</sub> par les océans est seulement de 2 milliards de tonnes. Le CO<sub>2</sub> est également assimilé par les végétaux qui stockent le carbone et libèrent l'oxygène au cours de leur processus de photosynthèse mais là aussi la rapidité de l'évolution de nos activités humaines polluantes a largement dépassé la capacité d'absorption des végétaux présents à la surface de la Terre. De plus, les déforestations massives générées par les activités humaines sont en train de diminuer encore la capacité végétale d'absorption des polluants sur Terre pour le futur. La photo ci-dessous illustre ce processus dramatique qu'est la déforestation actuelle de la forêt amazonienne.



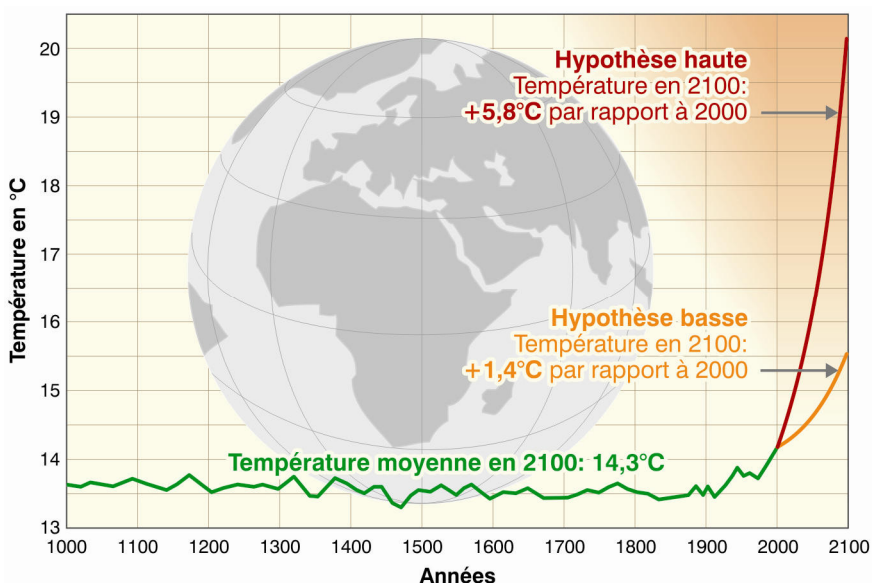
Déforestation de la forêt amazonienne (Liébard & De Herde 2005).

Dès 1990, le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur le Climat annonçait des **changements climatiques** majeurs pour le 21<sup>ème</sup> siècle et démontrait le lien de causalité entre les activités humaines et le réchauffement du climat global de notre planète depuis l'ère industrielle.



Le rapport 2001 du groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) indiquait que l'effet de serre a déjà amorcé une modification majeure du climat terrestre. Le rapport 2007 du GIEC a confirmé ces tendances. La seule incertitude encore présente est la détermination exacte de l'ampleur du phénomène.

Alors que la température planétaire a seulement varié de quelques dixièmes de degrés entre l'an 1000 et 1860, la révolution industrielle a favorisé par ses rejets en CO<sub>2</sub> une élévation de près de 0.8°C entre 1860 et 2000. La hausse de température prévue à l'heure actuelle par le GIEC entre 2000 et 2100 serait une augmentation de la température de l'air en surface de 1.4°C à 5.8°C en moyenne globale. Cette hausse de températures serait la plus ample de toutes celles survenues au cours de 10 000 dernières années. Elle n'est donc pas négligeable et ne peut être imputée uniquement à des phénomènes naturels cycliques. Le graphe ci-dessous montre les deux courbes d'évolution de la température sur Terre prédites par le GIEC en fonction d'une hypothèse pessimiste et d'une hypothèse optimiste.



Prédictions de l'évolution de la température moyenne terrestre (GIEC 2001).

L'ensemble des simulations prédisent que l'augmentation de la température moyenne sera plus importante sur les zones terrestres que sur les océans et qu'elle sera particulièrement importante sur l'hémisphère nord. Le protocole de Kyoto, décidé en 1997 pour limiter l'émission des gaz à effet de serre, ne correspond malheureusement qu'à 3% de l'effort nécessaire pour enrayer ce processus de réchauffement de la température moyenne de l'air sur Terre.

Les conséquences de ce réchauffement devraient toucher une grande majorité des populations de la planète, en particulier les états insulaires et les zones littorales menacées d'immersion, donc de disparition. La montée des eaux, une des conséquences prévisibles de ce phénomène, n'excéderait pas un mètre d'ici 2100, ce qui pourrait déjà provoquer le déplacement de 150 millions de personnes d'ici 2050. Signalons toutefois que les experts n'ont guère travaillé sur l'hypothèse d'une fonte des glaces de l'Antarctique, alors que la péninsule antarctique a déjà perdu 3% de sa calotte glaciaire depuis 1974. La prise en compte de ce phénomène pourrait entraîner une montée des eaux encore plus considérable.

Il n'apparaît pas improbable que les zones climatiques pourraient se déplacer vers les pôles de 150 à 500 km dans les régions de latitude moyenne modifiant ainsi

profondément les écosystèmes. Ces fortes transformations climatiques modifieront également profondément le tissu socio-économique local.

Signalons divers effets critiques de cette augmentation de température :

- la fonte des glaciers, la hausse du niveau des mers et donc des risques d'inondations en bordure des mers,
- la détérioration des sols (désertification, déforestation, salinisation),
- l'augmentation du nombre de catastrophes naturelles (ouragans, inondations,...),
- la disparition de nombreuses espèces animales et végétales incapables de s'adapter aussi rapidement,
- la multiplication d'épidémies infectieuses sensibles à de minimes écarts de températures,
- ...

Les photos ci-dessous donnent quelques illustrations des effets du réchauffement de la planète lié aux émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre.



Hausse du niveau des mers au pôle sud (Liébard & De Herde 2005)

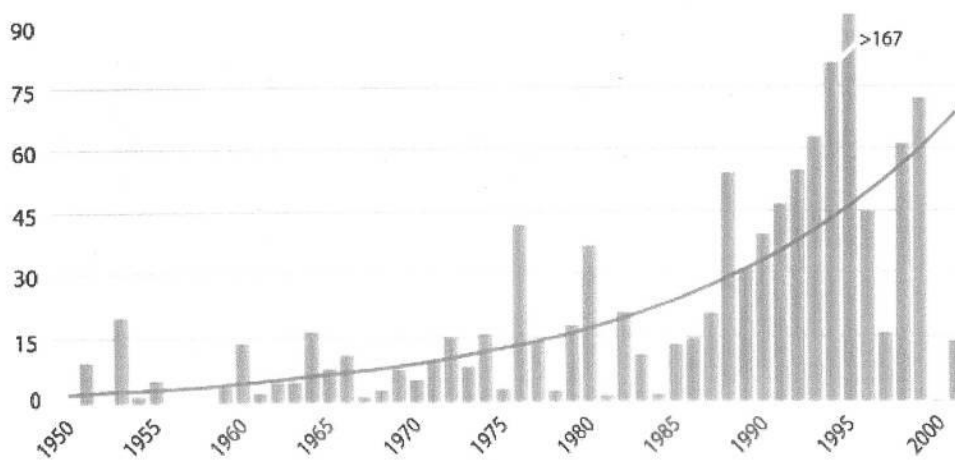


Assèchement des sols au Burkina-Faso (Liébard & De Herde 2005)



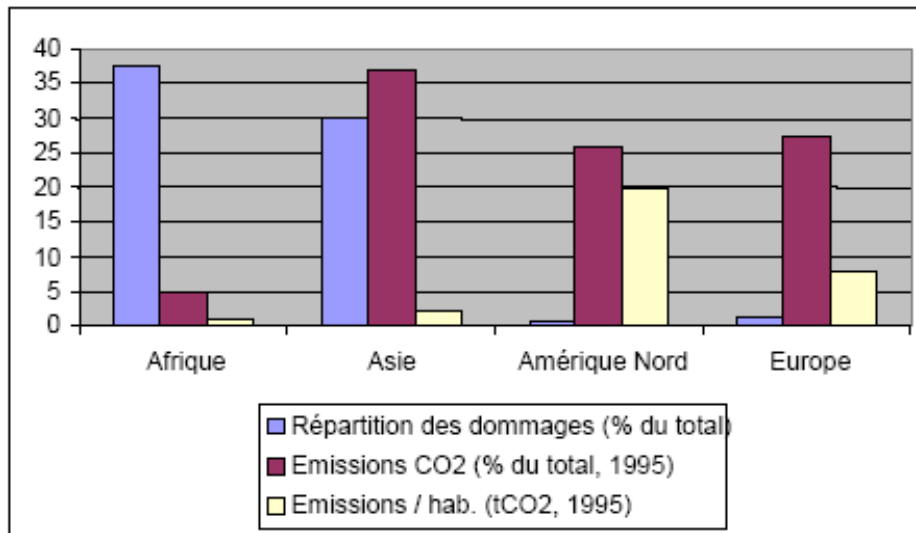
Catastrophe naturelle au Mexique (Photo: CEE)

Entre 1991 et 2000, près de 700 000 personnes sont mortes (dont 83% en Asie) à la suite de catastrophes naturelles : inondations, glissements de terrain, éruptions volcaniques, tempêtes, cyclones, séismes,... (Sacquet 2002) Ces catastrophes ont toujours existé mais leur ampleur a considérablement augmenté. Le graphe ci-dessous montre l'augmentation considérable du coût économique mondial des grandes catastrophes naturelles entre 1950 et 2000.



Coûts des grandes catastrophes naturelles en milliards de dollars entre 1950 et 2000 (Snoy 2005).

Il est important de souligner l'un des problèmes majeurs des changements climatiques : les pays principaux responsables des émissions de gaz à effet de serre (les pays industrialisés en général) ne sont pas les pays qui subiront les principaux dommages liés aux changements climatiques. Le schéma ci-dessous permet de comparer la répartition par continent des dommages dus aux catastrophes naturelles (selon l'étude ExternE) et les niveaux d'émissions de CO<sub>2</sub> (en % du total d'émissions et en émissions par habitant). Ce schéma montre à quel point les pays qui souffriront le plus des changements climatiques sont ceux qui aujourd'hui y contribuent le moins. (CEESE 2001)



Comparaison mondiale entre la répartition des dommages et la répartition des émissions de CO<sub>2</sub> (CEESE 2001)

Le dioxyde de carbone est retenu par l'atmosphère pendant de nombreuses décades. Même si nous réduisons nos émissions polluantes à partir d'aujourd'hui, nous expérimenterons de toute façon les impacts du changement climatique global au cours du 21<sup>ème</sup> siècle et au-delà. Si nous ne prenons pas rapidement des mesures strictes pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, ces effets seront encore plus dramatiques dans les années à venir.

Pour limiter les risques des changements climatiques, il est indispensable de maintenir l'augmentation de la température moyenne terrestre de l'air sous la barre des 2°C par rapport à la température pré-industrielle. Cela signifie que les pays industrialisés doivent réduire leurs émissions de gaz à effet de serre de 30% d'ici 2020 et de 80% d'ici 2050 par rapport à l'année 1990. Il est intéressant de constater qu'une extrapolation des tendances européennes actuelles, sans modification politique importante, prévoit par contre une augmentation de 50% des émissions de CO<sub>2</sub> d'ici 2050. Cette éventualité souligne la nécessité urgente de politiques efficaces de lutte contre les changements climatiques.

Des prises de position politiques fortes ainsi qu'une modification radicale des comportements actuels sont indispensables pour limiter le processus global de changement climatique entamé et réduire ses effets dévastateurs pour la nature et l'homme. Il faut donc à la fois réduire les consommations d'énergie et limiter le recours aux énergies polluantes par le développement des énergies renouvelables.

En plus du processus de réchauffement climatique, les **hauts niveaux actuels de pollution** de l'air, de l'eau et du sol ont des effets néfastes sur la santé humaine. L'importance de la santé est unanimement reconnue en tant que facteur de bien-être individuel et de facteur socio-économique jouant un rôle déterminant pour le développement durable de l'humanité. Signalons que 25000 habitants du Tiers-monde meurent chaque jour à cause de la contamination chimique et bactériologique de l'eau.

Autre enjeu alarmant pour l'environnement naturel de notre planète : **la perte de la biodiversité**. La biodiversité constitue l'ensemble des formes de vie sur Terre : les plantes, les animaux, les champignons, les microorganismes, les gènes qu'ils contiennent et les écosystèmes dont ils font partie. La biodiversité disparaît aujourd'hui à un rythme inquiétant. La Fondation Nicolas Hulot pour la Nature et l'Homme publie de nombreuses constatations alarmantes telles que :

- 80% des forêts primaires sur Terre ont déjà disparu au profit de l'urbanisation, des infrastructures, des activités agricoles et du fait du morcellement des terres. Au cours de ces dix dernières années, 940 000 kilomètres carrés de forêts ont été abattues, ce qui équivaut à trente fois la superficie de la Belgique, alors qu'elles sont indispensables à l'équilibre des climats et des écosystèmes ainsi qu'à la dépollution atmosphérique.
- L'agriculture du 20<sup>ème</sup> siècle a stérilisé 25% des terres cultivables de notre planète. Environ 30% des races d'animaux d'élevage sont menacées d'extinction.
- Depuis 1900, environ 75% de la diversité génétique des plantes cultivées a été perdue.
- Plus de 70% des pêcheries de poissons marins font l'objet d'une surpêche ou d'une pêche à la limite de leurs capacités de renouvellement.
- 20 à 50% des espèces animales et végétales pourraient disparaître avant la fin du 21<sup>ème</sup> siècle : un amphibien sur trois, un oiseau sur huit, un mammifère sur quatre sont menacés d'extinction.

Le manque de respect humain pour la nature (pollution, déchets, surexploitation,...) détruit progressivement les ressources vivantes sur Terre. Cette crise nécessite le développement et la mise en œuvre urgente de stratégies et politiques qui anticipent, préviennent et réduisent les causes de ce déclin.



Conséquence de la pollution produite par l'homme .... (Photo : CEE).

Toutes les formes de vie sur Terre constituent un patrimoine essentiel de l'humanité. Endommager les équilibres écologiques de la flore et de la faune est donc un crime pour les générations futures. La biodiversité nous fournit abri,

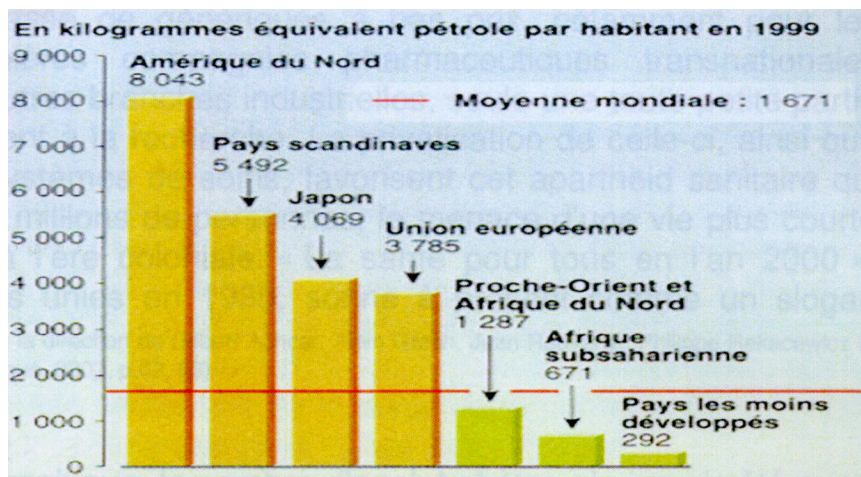
nourriture, eau potable, vêtements et médicaments. Dans sa diversité et sa complexité, elle garantit le bon fonctionnement des écosystèmes qui rendent des services irremplaçables à l'humanité.

Pire que l'élimination des ressources naturelles, l'empreinte des activités humaines a un impact sur la structure et la fonction des écosystèmes terrestres. Il est bien trop tôt pour pouvoir prévoir toutes les implications de ces changements mondiaux extrêmement rapides sur le fonctionnement de notre planète mais rien ne permet de prédire si ces modifications profondes seront favorables à la survie de l'espèce humaine sur Terre.

Enfin, il est bon de rappeler qu'aujourd'hui 82.7% des richesses du monde sont consommées par 20% de sa population et que les 60% les plus pauvres doivent se contenter de 5.6% des ressources de la planète. Cette **disproportion dans la répartition des richesses** met en péril l'avenir de l'humanité. La pauvreté, la faim, la soif sont des terrains fertiles pour de futurs conflits internationaux.

De même, les ressources en énergie sont limitées et mal distribuées, ce qui risque de générer des conflits importants... Or les **conflits armés** apportent la désolation pour les hommes et détruisent la biodiversité et les ressources naturelles locales, accentuant encore la pauvreté de la population.

L'accès à l'énergie est indispensable au développement social, à la lutte contre la pauvreté, à la satisfaction des besoins élémentaires que sont l'alimentation, le chauffage, l'éclairage, l'accès à l'information,... Le graphique ci-dessous présente la grande disparité actuelle quant aux consommations énergétiques moyennes par habitant pour différents pays. L'enjeu du développement durable consiste donc à maîtriser et à répartir plus équitablement les besoins. Les pays industrialisés doivent nécessairement réduire leur consommation pour permettre aux pays en développement d'accroître la leur. Les chiffres donnés ci-dessous correspondent aux consommations de 1999 reprises dans la banque de données en ligne de la banque mondiale.

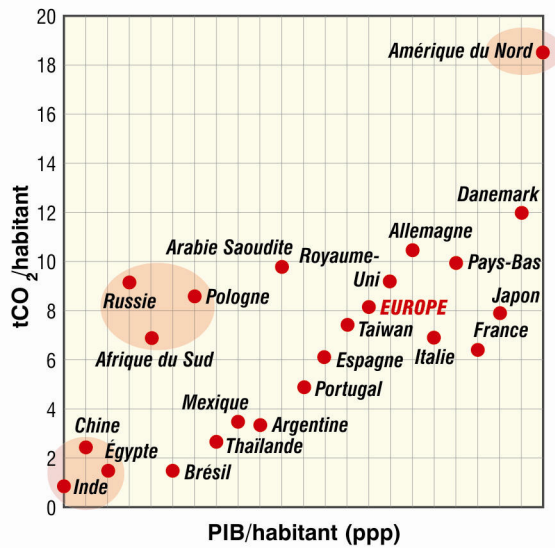


Consommation d'énergie par habitant

(Source : Banque de données en ligne de la Banque mondiale)

Il est toutefois indispensable de spécifier qu'on ne peut pas relier de manière directe la puissance moyennée consommée par habitant et le PIB par habitant. En effet, les Etats-Unis ont une consommation d'énergie annuelle nettement supérieure à celle du Japon, de la Suisse et du Danemark, alors que le PIB par

habitant est de 30 à 40% inférieur aux Etats-Unis par rapport au Japon, à la Suisse ou au Danemark (Gay 2004).



Relation entre les émissions de CO<sub>2</sub> par habitant et le PIB par habitant (Liébard & al 2004)

Réduire nos demandes d'énergie est un véritable challenge pour nos manières de penser et d'agir mais c'est une obligation pour le futur de l'humanité. Il est important de signaler que la Belgique se singularise par la perte d'énergie par bâtiment la plus forte en Europe ! Des actions importantes doivent donc être réalisées pour limiter les consommations énergétiques des bâtiments en Belgique.

L'union européenne tire actuellement près de 80% de son énergie primaire des combustibles fossiles. Il est donc évident que l'Europe manque d'autonomie énergétique vu que le pétrole, le gaz et le charbon sont disponibles sur son territoire mais en quantités très limitées et que les stocks d'uranium y sont virtuellement inexistantes. Ce manque d'autonomie par rapport à l'énergie pourrait dans les années à venir créer des risques de conflits politiques importants ou une élévation du prix de l'énergie difficilement acceptable pour notre économie. Cette dépendance croissante de l'Europe vis-à-vis de ses sources d'énergie externes, principalement des combustibles fossiles, a comme corollaires des effets sur la sécurité d'approvisionnement, sur les équilibres géopolitiques, sur l'économie, sur les prix des combustibles ainsi que sur l'accès équitable à l'énergie. Vu la perspective de l'épuisement de certaines ressources, ces enjeux risquent de devenir de plus en plus sensibles.

Signalons également que 40% de la population mondiale actuelle n'a pas accès à des facilités sanitaires adéquates, 850 millions de personnes ne savent ni lire ni écrire, 70% de la population rurale d'Afrique n'a pas accès à l'électricité, un enfant sur six ne va pas à l'école,... (Morhayim 2004).

La survie de l'espèce humaine nécessite que nous transformions collectivement et consciencieusement nos tendances socio-comportementales afin de tenir compte des besoins des différentes populations humaines, animales et végétales sur notre planète. Les valeurs fondamentales de notre société mondiale doivent passer de l'individualisme, d'un intérêt personnel étroit et de la compétition à une communauté vivante, protégeant l'intérêt mutuel des différentes parties dans une coopération globale. Rappelons cette célèbre phrase de Martin Luther

King : « *Nous devons apprendre à vivre ensemble comme des frères, sinon nous allons mourir tous ensemble comme des idiots* ».

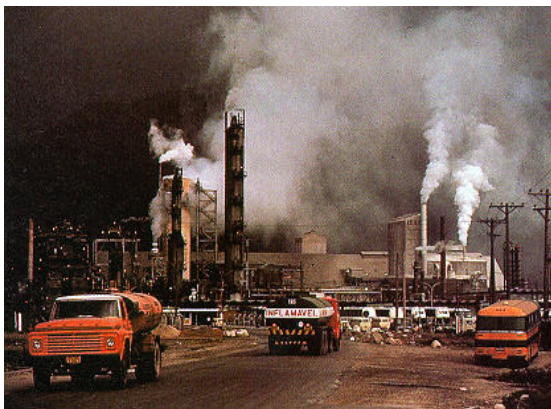
Il semble à l'analyse de cette situation que le développement de la sagesse humaine soit largement en retard sur le développement de son intelligence, essentiellement investie dans une avancée technologique. La mondialisation de l'économie, le mythe d'une croissance infinie et la raréfaction des ressources naturelles nous amènent à une impasse. Transformer cette vision du monde implique d'accepter que les risques liés aux atteintes aux stocks de capitaux humains et environnementaux sont plus élevés que ceux liés aux atteintes au stock de capital économique. Cela signifie qu'aujourd'hui il est essentiel de prendre des mesures de protections sociales et environnementales fortes, même si leur coût économique à court terme peut sembler élevé.

L'avenir de l'humanité et de l'évolution de la vie sur Terre est aujourd'hui entre nos mains à tous.

### **1.1.2.2 Les enjeux urbains**

Alors que le but fondamental de la construction des villes et des bâtiments consiste depuis la nuit des temps à améliorer les conditions de l'habiter humain sur la Terre, aujourd'hui l'évolution de nos urbanisations met en danger les conditions premières de son habitabilité tant pour les humains que pour de nombreuses races animales et végétales. Les enjeux critiques du développement durable de notre civilisation dépendent fortement à l'heure actuelle du développement de nos urbanisations. Signalons les problématiques urbaines suivantes : la pollution intensive, l'étalement territorial, les inégalités sociales, la désymbolisation de notre habiter et la prédominance perpétuelle de la technologie et de la consommation sur la création et le partage.

**Le développement anarchique des villes, la croissance démesurée des transports autoroutiers et la pollution intensive due aux activités humaines sont parmi les causes fondamentales des dérèglements de la nature aujourd'hui. C'est le phénomène urbain dans son ensemble qu'il faut analyser, comprendre et reconsidérer pour enrayer ces processus catastrophiques.** La photo ci-dessous est représentative de la très forte pollution atmosphérique présente dans de nombreux grands centres urbains de notre planète.



Pollution atmosphérique à Cubatao au Brésil (Liébard & De Herde 2005).

La **croissance urbaine** est le phénomène le plus marquant de l'évolution des territoires depuis la révolution industrielle et cette constatation est valable à peu

près partout dans le monde. Sur un siècle, entre 1900 et 2000, le nombre de villes de plus de 10 millions d'habitants est passé de 2 à 50 et le nombre d'habitants dans les villes est passé de 150 millions à 3 milliards, soit 50% de la population mondiale. Les cinq premières villes les plus peuplées sont Tokyo, Mexico, New York, Sao Paulo et Shanghai. Plus de 80% de la surface terrestre se trouve sous influence humaine (infrastructures ou activités agricoles) et il n'existe plus de territoire véritablement vierge.

Cette croissance urbaine est liée à un étalement urbain peu dense. Ce développement urbain au-delà des limites de la ville traditionnelle remet en question la définition de la ville, son mode de fonctionnement, son tissu de relations et ses usages quotidiens. De plus, cette croissance urbaine est rarement un processus constant et homogène. Le territoire urbanisé s'étend en créant un ensemble de vides et de pleins souvent peu organisés.

Cette croissance urbaine contemporaine selon une organisation peu dense et déstructurée génère une consommation importante d'espace et de territoire naturel. C'est ce phénomène qu'on a baptisé sous les noms d'**étalement urbain**, de ville diffuse, d'urbanisation dispersée et de désurbanisation. Les photos ci-dessous (Liébard & al. 2004) montrent deux exemples européens caractéristiques de cet étalement urbain consommateur d'espaces naturels.



Banlieue de Londres (Liébard & al. 2004).



La Défense (Liébard & al. 2004).

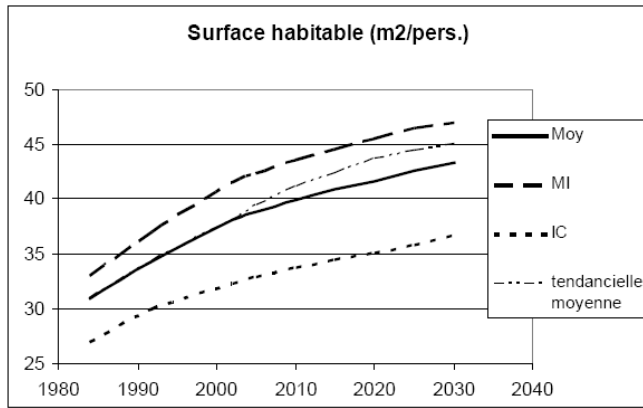
Ainsi, l'extension des villes ne s'est pas faite au même rythme du point de vue du nombre d'habitants et du point de vue de la superficie bâtie en hectares. Par exemple, entre 1970 et 1990, la surface urbanisée autour de Chicago s'est accrue de 46% tandis que sa population n'a augmenté que de 4% (Liébard & al. 2004). De même, les zones urbaines européennes se sont étendues de 20% entre 1980 et 2000 alors que la population vivant dans ces zones n'a augmenté que de 6% (CEE 2004).

En ce début du 21<sup>ème</sup> siècle, les surfaces bâties européennes continuent de croître fortement malgré un ralentissement de la croissance de la population. Cette augmentation des surfaces construites par personne est due à plusieurs facteurs (LET & LTMU 2006) :

- l'augmentation de la part de maisons individuelles dans les logements neufs accompagnée d'une augmentation du pourcentage de maisons isolées (« 4 façades »), qui offrent une surface habitable par personne de 20 à 30% supérieure à celle des logements en immeuble collectif,
- la résorption des conditions de surpeuplement, qui concernaient encore un cinquième des logements en France en 1973 (au sens de l'INSEE- Institut National des Statistiques et des Etudes Economiques).
- la diminution de la taille moyenne des ménages ; en effet, en France, un ménage moyen comprenait 2.7 personnes en 1984, il en compte 2.36 en 2002 et devrait tomber à 2.1 en 2030 selon les prévisions.

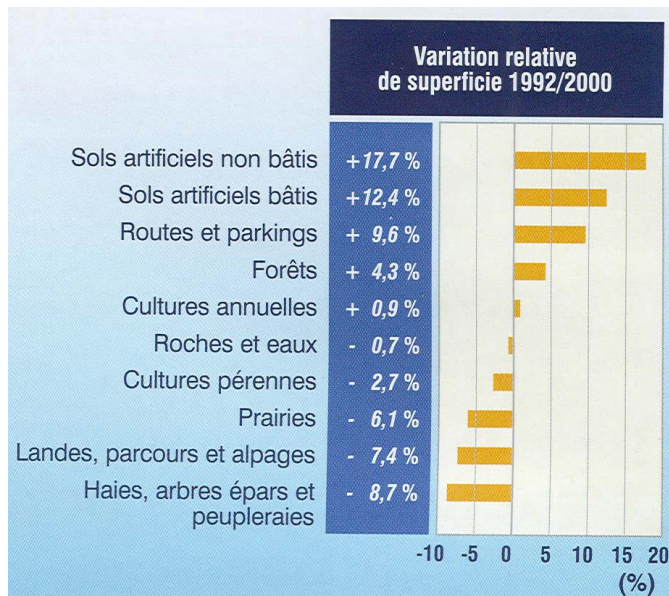


Ces différentes tendances se traduisent par une évolution importante de la surface habitable par personne. En France, on est passé d'une moyenne de 31 m<sup>2</sup>/personne en 1984 à 37 m<sup>2</sup>/personne en 2002 et les projections prédisent qu'on devrait atteindre une moyenne de 43.4 m<sup>2</sup> par personne en 2030. Le graphe ci-dessous présente l'évolution passée et les projections futures des surfaces habitables dans les maisons individuelles et les immeubles collectifs en France. (LET & LTMU 2006)



Evolution et projection des surfaces moyennes habitables par personne en France, en fonction des maisons individuelles (MI), des immeubles collectifs (IC) et de la tendance moyenne. (LET & LTMU 2006)

Toutefois, les surfaces urbanisées augmentent encore plus rapidement que les surfaces bâties. Le tableau ci-dessous montre l'évolution de l'occupation physique du territoire en France métropolitaine entre 1992 et 2000. Ce tableau souligne le fait que les sols artificiels non bâtis (infrastructures routières,...) ont augmenté dans une proportion encore supérieure à celle des surfaces bâties. (Liébard & al. 2004)



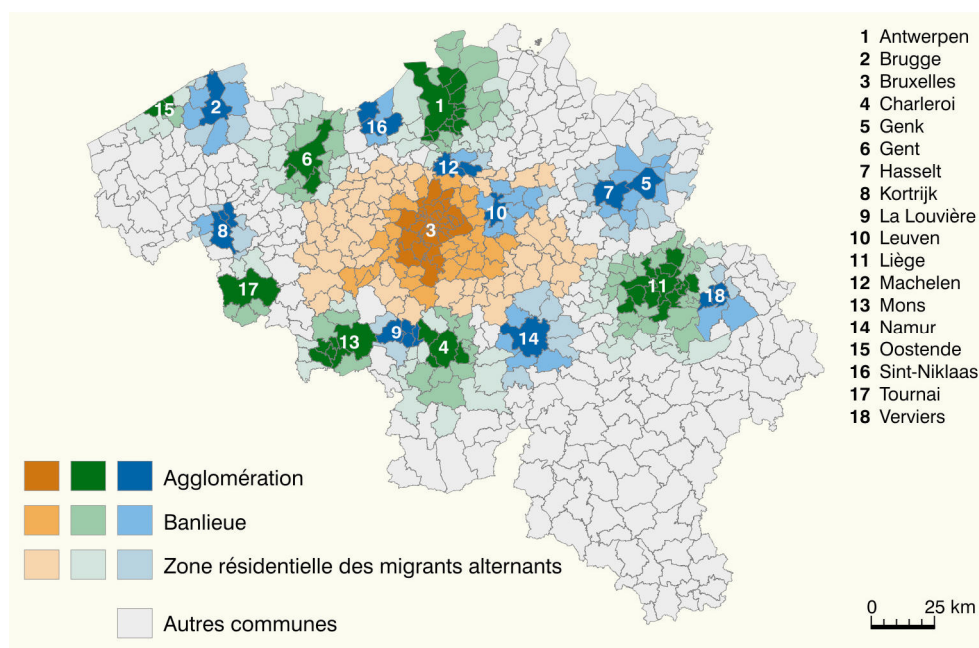
Evolution de l'occupation physique du sol en France métropolitaine (Liébard & al. 2004).

La révolution urbaine du vingtième siècle fut spectaculaire : elle a généré l'éclatement de la ville « traditionnelle » et l'urbanisation généralisée des campagnes. En Europe, cette révolution urbaine est associée à différents problèmes

critiques du point de vue du développement durable des urbanisations : l'étalement du tissu bâti, l'apparition du phénomène de lotissements, le développement du culte de la maison isolée, la multiplication des ruptures d'échelle et des espaces résiduels, l'utilisation sans cesse croissante de l'automobile, ...

La ville dispersée est un problème considérable qui touche tous les domaines de notre développement : social, politique, économique, écologique,... L'étalement territorial accroît les tendances à la ségrégation sociale, augmente les frais de la collectivité par rapport à la construction et à l'entretien des infrastructures et induit une consommation énergétique accrue tant au niveau de l'utilisation des bâtiments qui ne sont pas mitoyens que de l'augmentation des transports automobiles.

La Belgique est un exemple spécialement marqué du phénomène de désurbanisation. On passe progressivement de la notion de « ville » au concept de « région urbaine ».

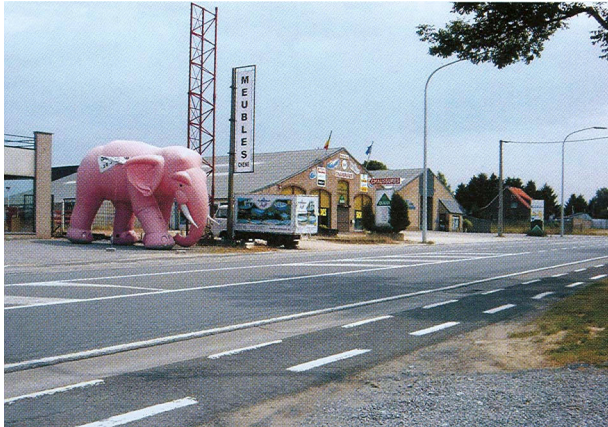


Surfaces des régions urbaines belges (Halleux 2005)

Au niveau de l'aménagement du territoire, la définition même des villes et sa délimitation physique deviennent dès lors une question très complexe. Différents critères peuvent être pris en compte tels que le taux de densité des habitants ou des bâtiments, un territoire important d'activités non agricoles, un bassin de navetteurs drainés par les emplois en ville,... Ainsi la région de Bruxelles-Capitale dans sa définition administrative ne compte pour l'instant que 19 communes et 161 km<sup>2</sup> mais sa véritable définition par l'Institut National de Statistiques recouvre 54 communes et une superficie de 1614 km<sup>2</sup>. Ceci n'est pas une question anodine car la définition du territoire urbain a une importance primordiale sur les politiques ainsi que les dynamiques sociales, économiques et culturelles de cette urbanisation.

Le processus d'étalement urbain génère une dilution du tissu morphologique de la ville mais aussi de son tissu social. Ce phénomène s'accompagne généralement de la récession démographique des centres urbains et d'une certaine paupérisation des populations habitant au cœur des villes.

Du point de vue économique, cette désurbanisation se traduit par des charges croissantes pour les collectivités locales et leurs pouvoirs publics : agrandissement du réseau de voirie, extension et entretien des réseaux d'eau, de gaz et d'électricité, agrandissement de l'éclairage public, ramassage des déchets, épuration des eaux usées,... Les coûts liés à cet étalement urbain seront donc au cœur des préoccupations économiques de nos pays dans les années à venir. La photo ci-dessous montre à quel point cet étalement urbain engendre une consommation d'espace et un accroissement inutile des réseaux de transport et d'énergie (Liébard & al. 2004).



Surconsommation du sol ; exemple de la nationale 4 en Belgique (Liébard & al. 2004).

Les extensions contemporaines de nos urbanisations se font généralement indépendamment de tout centre et selon une densité bâtie faible. Il s'agit d'une accumulation désordonnée de lotissements de maisons « 4 façades », de kilomètres de routes où les commerces se succèdent indifféremment et sans relation les uns aux autres, d'immenses surfaces de parking, ... Cette ville diffuse ne naît d'aucune planification. Il s'agit d'un territoire morcelé issu de milliers d'initiatives isolées (habitants, promoteurs immobiliers, ingénieurs autoroutiers, investisseurs commerciaux,...). Vu que la surface terrestre n'est pas un bien illimité, il est clair que ce processus d'extension d'une ville « à la campagne » détruit les paysages naturels qui sont à la source de ce désir d'étalement. Au niveau environnemental, ses conséquences néfastes sont la disparition du paysage rural, la modification des nappes phréatiques, la production supérieure de gaz à effets de serre par l'utilisation accrue de l'automobile et l'augmentation des déperditions de chauffage car les bâtiments sont rarement mitoyens.

La typologie du logement « 4 façades » s'est fortement répandue ces dernières années. Cette typologie est cependant peu économe en ressources environnementales. Le développement de ces quartiers suburbains résidentiels dévore lentement les surfaces agricoles. La superficie des sols dédiés à l'agriculture est ainsi en continuelle diminution en Belgique alors que la superficie des terrains bâtis ne fait qu'augmenter. Pourtant, la préservation des sols agricoles sont indispensables pour l'empreinte écologique de la Belgique dont la densité de population est déjà importante... En outre, au plus la superficie totale des façades est importantes, au plus la quantité des matériaux de construction est importante, au plus l'urbanisation consomme des sols naturels et au plus les déperditions thermiques des bâtiments augmentent.

De manière générale, c'est l'ensemble de nos bâtiments qui s'inscrivent de moins en moins dans des structures mitoyennes compactes et s'isolent donc spatialement

de plus en plus. Ce changement typologique participe à augmenter fortement l’empreinte écologique globale de nos bâtiments malgré les mesures techniques prises dans le but d’économiser leurs consommations d’énergie. En effet, les mesures techniques adoptées limitent les consommations d’énergie au m<sup>2</sup> bâti (augmentation du niveau réglementaire d’isolation des constructions neuves,...) mais ne permettent pas de diminuer les consommations de ressources imputables par personne. Ainsi, selon l’Institut National Belge de Statistique, la consommation énergétique finale du secteur domestique a augmenté de près de 10% entre 1990 et 2000.

Un autre problème grave de cette modification typologique urbaine est sa **monofonctionnalité**. Le territoire périphérique d’une agglomération actuelle est généralement segmenté en zones d’activités séparées les unes des autres : lotissements, zones commerciales, zones industrielles,...



Exemple de monofonctionnalité du territoire (Halleux 2005)

Ce phénomène existe aussi bien au niveau du territoire qu’à l’échelle de nos villes, nos quartiers, nos villages. Les conséquences de cette monofonctionnalisation du tissu bâti en sont des déplacements de plus en plus fréquents entre zones urbaines différentes et des distances de plus en plus longues à parcourir.

Le processus de désurbanisation allié à la monofonctionnalisation du territoire urbain génère une augmentation croissante de l’utilisation de la voiture et donc l’augmentation des consommations d’énergie et des émissions de CO<sub>2</sub>. L’urbanisme dispersé génère une dépendance par rapport à l’automobile, dont les effets indirects néfastes aux échelles locale, régionale et globale, sont la pollution atmosphérique, les nuisances sonores, la consommation de ressources (espace et énergie), la congestion, les accidents de la route,... Selon l’Institut National Belge de Statistique, les déplacements des personnes ont augmenté de 182% entre 1960 et 2002, cet accroissement provenant principalement de l’augmentation des déplacements en voiture.

Conséquence de l’augmentation du trafic général, les infrastructures routières prennent de plus en plus de place dans l’organisation de nos paysages, aussi bien quantitativement que qualitativement. Entre 1970 et 2000, le réseau routier belge a augmenté de 56%, le réseau de voiries communales participant pour 94% de cette augmentation (phénomène des lotissements,...). Il est donc évident que cet

étalement disproportionné et l'investissement économique qu'il nécessite pour la construction et l'entretien de ce réseau de transport individuel n'aide pas au développement de moyens de transports collectifs.

Le transport est un chaînon indispensable du développement de notre société d'aujourd'hui (participation sociale, dynamisme économique, style de vie, ...). Cependant, les tendances actuelles en matière de transport s'avèrent insoutenables. Le transport et la mobilité sont aujourd'hui une des causes importantes de nombreux effets néfastes indéniables sur le bien-être et la santé de la population, la qualité de l'environnement ainsi que sur le développement économique de nos urbanisations (consommation d'énergie, accidents de la route, dégradation de la nature et des villes, ...). Ainsi, il faudrait analyser comment promouvoir des modes de transport efficaces et rentables qui soient en accord avec les principes du développement durable. Et comme nos modes de transport insoutenables sont fortement connectés avec nos modes d'habiter insoutenables, il est important de considérer également une gestion durable du territoire urbain comme une priorité pour la distribution d'une mobilité durable.

En effet, un transport public efficace est un moyen de transport qui assure une accessibilité et une rapidité convenant à la majorité des utilisateurs potentiels. Un moyen de transport rentable économiquement pour la collectivité implique qu'il soit largement utilisé. Ainsi, pour qu'un système de transport public soit efficace et rentable, il doit être conçu en parallèle avec une gestion du territoire qui favorise une certaine densité construite, la concentration de fonctions diverses et la qualité des espaces publics.

On assiste également à un effet « boule de neige » : l'étalement urbain et la monofonctionnalité du territoire participent activement à l'augmentation du transport routier qui en retour participe au déclin des espaces urbains traditionnels, à la dispersion urbaine, à sa monofonctionnalisation et aux phénomènes de ségrégation sociale qui y sont liés.



Déclin des espaces urbains traditionnels (Halleux 2005)

Il y a aussi un effet pervers au fait que la périurbanisation résidentielle attire une périurbanisation des activités économiques (services, centres de loisirs, médecins, bureaux d'avocats, commerces de luxe, services informatiques,...), traditionnellement localisés en ville, ce qui attire encore davantage de personnes en périphérie. La désurbanisation suscite donc un affaiblissement progressif de l'avantage des quartiers centraux.

Une autre conséquence inquiétante de ce mode d'urbanisation est que les lieux d'activités traditionnels autour desquels s'organisaient les quartiers urbains et les

villages sont délaissés au profit de « non lieux » au bord d'axes autoroutiers ou de routes à grand trafic. La désymbolisation de nos lieux de vie et de rassemblement risque de nous faire perdre les traces de notre Histoire et de nous couper des valeurs humaines fondamentales.

Se positionner par rapport à l'architecture, c'est toujours affirmer une façon d'habiter le monde. Dans une analyse de « La Crise de Bruxelles », M. Peemans signalait l'évolution suivante : *« On est passé de la production de lieux-référents symboliques où l'articulation espace-temps se définit par rapport au regard humain et à un rythme proche de la marche humaine (...) à la production d'espaces-fractions de territoire urbain dont la nature se définit uniquement en termes de fonction (...) et dont l'articulation espace-temps se définit par rapport aux contraintes économiques et techniques régissant l'accomplissement efficace de chaque fonction isolée »*. La question de l'espace édifié est donc devenue une urgence; elle n'est plus politique ou esthétique mais anthropologique.

Ainsi, cette transformation profonde de la morphologie de nos villes génère une consommation d'espace considérable et une perte des valeurs fondamentales qui constituaient nos paysages bâtis.

Le développement durable remet en cause ces pratiques actuelles de construction, gaspilleuses en énergies et en paysages, coûteuses en construction et en maintenance, destructrices de lien social et de significations. L'accessibilité à un habitat soutenable, qui favorise les solidarités, qui soit efficace sur le plan environnemental, économe en ressources et créateur de sens est un défi pour nos sociétés contemporaines.

Les paragraphes ci-dessous donnent rapidement quelques pistes à suivre pour favoriser le développement durable des urbanisations européennes selon les points de vue environnemental, social et économique.

Le contenu de la dimension environnementale du développement durable des urbanisations couvre la préservation et le développement des ressources naturelles à l'intérieur comme à l'extérieur des urbanisations. Voici quelques exemples du type de questions auxquelles il faut répondre pour évaluer nos urbanisations contemporaines du point de vue environnemental et les améliorer :

- Quelle est l'empreinte écologique de nos urbanisations ?
- Comment limiter la tendance actuelle à l'étalement urbain qui réduit les espaces naturels et la biodiversité ?
- Comment concevoir des espaces publics urbains susceptibles de rendre la vie en ville plus attrayante et ainsi de valoriser une renaissance de la fonction résidentielle urbaine ?
- Comment réduire les émissions de gaz à effet de serre par une conception judicieuse de l'aménagement territorial, du transport urbain et de la conception des bâtiments ?
- ....

Le contenu de la dimension humaine et sociale du développement durable couvre la préservation et le développement du bien-être humain, ce dernier étant déterminé par des caractéristiques personnelles (santé, libertés individuelles...) ou collectives (cohésion sociale, équité, ...). Voici par exemple le type de questions auxquelles il faut répondre pour évaluer nos urbanisations contemporaines du point de vue socio-culturel ou les améliorer :

- Les services et les zones de détente sont-ils distribués de manière équitable sur l'ensemble du territoire urbain ?
- Des lieux publics de qualité sont-ils accessibles à l'ensemble des citoyens ?
- Comment favoriser par nos morphologies urbaines le respect de l'ensemble des droits et des libertés fondamentales de tous les êtres humains ?
- Comment assurer un urbanisme sain pour la santé des citoyens ?
- Comment favoriser la convivialité et la cohésion sociale par l'aménagement des espaces publics urbains ?
- Comment éviter la création de ghettos dans nos urbanisations ?
- Comment nos modes d'habiter peuvent-ils assurer la survie et le développement de nos valeurs (démocratie, patrimoine historique, tolérance religieuse, recherche artistique,...) ?
- ...

Le contenu de la dimension économique du développement durable urbain couvre la recherche d'un développement de la rentabilité économique de nos urbanisations en y intégrant les coûts externes que constituent par exemple les dégâts causés à la nature ou à la santé humaine par nos modes d'habiter. Voici par exemple le type de questions auxquelles il faut répondre pour évaluer nos urbanisations contemporaines du point de vue économique ou les améliorer :

- Quelles sont les influences de nos modes d'habiter sur l'économie locale et globale, à court et à long terme ?
- Quelle est l'influence de la morphologie urbaine et de la qualité des espaces publics sur la gestion d'un système de transport public efficace et rentable ?
- Comment prendre en compte les externalités qui participent à la définition d'un bilan économique durable ? Par exemple, l'analyse des externalités dues à un système de transport consiste à prendre en compte le coût à long terme pour la société de la pollution de l'air qu'il engendre, de la pollution sonore qu'il crée, des embouteillages générés,...
- ...

Notre point de vue est que la crise actuelle de notre développement provient d'une survalorisation de la technologie et de la rentabilité financière à court terme dans les choix et les projets de notre société au détriment de leurs dimensions environnementales, sociales, éthiques et même économiques en tenant compte de l'évolution à long terme de notre civilisation. Il est désormais indispensable de trouver des solutions qui revalorisent ces différentes dimensions au sein d'un développement équilibré. Au niveau de nos urbanisations, cela passe par une revalorisation d'une densité construite moyenne, alliée à une requalification des espaces publics urbains et une prise en compte du contexte local dans l'élaboration de tout nouveau projet. Il s'agit donc de retrouver les fondements d'un art de bâtir ancestral tout en y intégrant les avancées des techniques d'aujourd'hui pour réapprendre à vivre ensemble sans cesser d'évoluer.

### **1.1.3 Les principes de la conception durable des espaces publics urbains**

S'interroger sur le développement durable urbain consiste à se questionner sur le rapport entre l'être humain et son milieu ainsi que sur les rapports au monde que nos espaces habités peuvent favoriser. Il s'agit donc de développer des modes d'habiter qui peuvent faire sens pour l'homme d'aujourd'hui et de demain au regard des enjeux globaux et locaux du développement durable.

La conception des espaces extérieurs fait partie intégrante de la mission de l'architecte. Créer un espace public durable est pour nous l'art d'offrir à autrui un monde habitable pour pouvoir vivre ensemble et en harmonie avec notre milieu.

Actuellement, les espaces publics sont trop souvent des parkings omniprésents ou des déserts suburbains sans forme. Le problème de nos urbanisations n'est pas vraiment un manque d'espaces ouverts mais bien le manque de lieux de qualité, capables d'enrichir l'expérience de vivre en ville. Les photos ci-dessous montrent quelques problèmes récurrents des espaces publics urbains actuels : la dissolution de l'espace public, sa privatisation, le manque de respect des projets architecturaux par rapport au contexte local et l'envahissement de l'espace public par les automobiles.



Quelques problèmes récurrents des espaces publics actuels (photos : S. Reiter).

L'urbanisation contemporaine peut être globalement caractérisée par la **perte du lieu**, ce qui a produit des espaces inhabitables. Un lieu se définit à la fois comme espace en soi et comme élément inséré dans un milieu précis lié à son site et son histoire particulière. Il faut réapprendre à donner lieu...

C'est pourquoi nous proposons d'utiliser le concept de lieu dans notre définition d'un espace public durable. L'espace public devrait toujours être un lieu de relation. Ainsi, l'adjectif public nous semble indispensable pour ajouter la connotation de collectivité et d'accessibilité essentielle à tout espace urbain. Le rassemblement de ces deux mots-clés donne l'expression **lieu public**. Nous allons tenter de définir ce qu'est un espace public durable à travers cette nouvelle notion de lieu public. Il est donc nécessaire de clarifier en quoi consiste la perte de lieu des espaces contemporains et ce qu'elle signifie pour l'homme.

Martin Heidegger nous rappelle que l'architecture nous relie à notre condition humaine, en tant qu'être humain incarné sur la Terre : « *Etre homme veut dire être sur terre comme mortel c'est-à-dire habiter* » (Heidegger 1958). On ne peut donc pas poser la question de l'établissement humain sans la relier aux trois niveaux de l'incarnation humaine: sa corporéité, sa sociabilité et sa spiritualité. Tout espace



bâti se positionne par rapport aux trois points de vue incontournables de l'expérience sur Terre:

- la corporéité ou enracinement de l'être,
- le domaine relationnel ou mise en relation de l'être,
- la métaphysique ou recherche de sens et essence de l'être.

Ainsi, le lieu public doit instaurer un rapport fondamental au monde, à autrui et à soi-même. Ce point de vue correspond à la définition d'Edgar Morin : « *Tout développement vraiment humain doit comporter le développement conjoint des autonomes individuelles, des participations communautaires et de la conscience d'appartenir à l'espèce humaine* (Morin 2000). »

Mais c'est justement là que se situe la perte de lieu des espaces contemporains : actuellement, les trois problèmes majeurs de nos espaces publics sont généralement leur absence d'intégration au contexte local, leur impossibilité à nous relier et leur manque de cohérence.

La ville dispersée génère une multitude d'espaces publics laissés pour compte : des espaces de circulation et non de vie ainsi que des grands vides inutiles au milieu des lotissements, des showrooms, des parkings, ... Ces espaces, sans limite ni structure, naissent la plupart du temps de la construction de bâtiments contemporains posés n'importe comment sur leur site sans aucun respect pour l'histoire du lieu et le contexte environnemental, construit et humain préexistant. Cette dilution des espaces publics sans racine, sans lien et sans cohérence est un témoin de l'absence de contextualisation des espaces urbains contemporains, de notre incapacité à générer des espaces de vie commune pour construire ensemble nos villes et de la perte de sens de notre habiter contemporain.

Ces espaces actuels créent donc une coupure inquiétante entre l'être humain et l'univers qu'il perçoit au travers du contexte construit qui l'entoure. Il est dès lors urgent de retrouver dans le partage de l'espace public un enracinement dans le contexte spatio-temporel du lieu (la contextualisation), une éthique de vie en société (la coexistence) et une échelle de valeurs communes (la cohérence).

C'est pourquoi nous proposons d'utiliser les trois concepts suivants pour définir les caractéristiques essentielles que doit présenter un espace public contemporain pour être durable ou, dit autrement, **les qualités fondamentales de tout lieu public** :

- la **contextualité** (ou inscription dans son milieu),
- la **coexistence** (ou mise en présence dense et complexe des différences),
- la **cohérence** (ou identité porteuse de sens).

Les pages qui suivent approfondissent la réflexion sur chacune de ces trois qualités fondamentales du lieu public : la contextualité, la coexistence et la cohérence. La conception d'un lieu public réside dans l'équilibre entre ces trois tendances qui s'affirment en se limitant et en se complétant l'une l'autre. Chacune peut se définir à partir de trois points de vue : quantitatif, qualitatif et dynamique (c'est-à-dire porteur de potentialités, d'évolution).

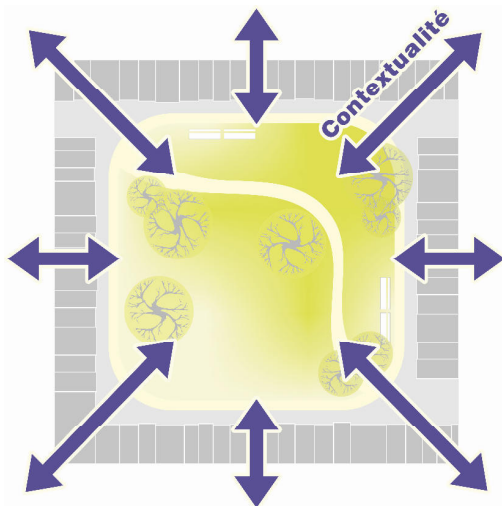
Cette structuration du caractère soutenable des espaces publics à partir de trois principes (déclinés en neuf qualités) est une proposition personnelle qui participe à l'originalité de cette thèse.

## 1.2 Contextualité

La pensée philosophique nous a habitués à voir l'univers comme une totalité, à l'intérieur de laquelle chaque être particulier n'existe que dans son rapport aux autres : tout est solidaire et interdépendant. De même, dans toutes les grandes traditions spirituelles, on nous dit que les êtres sont distincts mais qu'ils ne sont jamais séparés. Il faut aussi entendre la physique nouvelle, issue de la mécanique quantique et de la relativité générale, tenir un langage similaire : on y parle de la non-séparabilité des éléments, formant un seul tissu cosmique. L'univers se manifeste comme une totalité dont toutes les parties sont en interconnexion entre elles et en relation avec le tout. Chaque particule élémentaire apparaît même essentiellement comme un noeud de relations et d'événements.

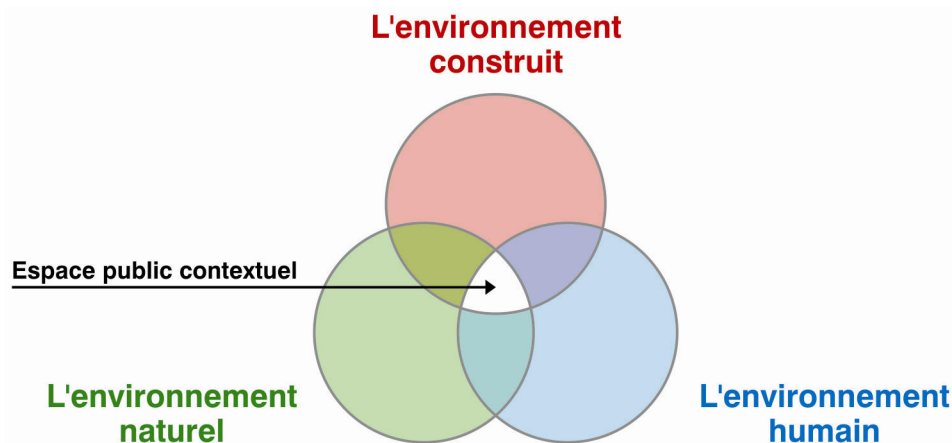
Bref, la physique moderne, la philosophie et les traditions spirituelles semblent être d'accord pour nous dire que, dans l'univers, le jeu de l'interconnexion est fondamental. Tout être fait partie d'un réseau de relations qui définissent sa qualité d'être-au-monde. C'est aussi ce que nous dit Augustin Berque : «*dans un milieu réel, il n'existe d'identités qu'en relation avec d'autres identités* » (Berque 1990). Notre habiter est donc toujours simultanément local et global. Ainsi, pour devenir lieu, un espace public se doit de créer des liens entre son espace spécifique et son milieu, défini comme le contexte global, à la fois physique, construit et humain, dans lequel il s'inscrit.

La première qualité fondamentale d'un lieu public est donc la contextualité, définie comme son **inscription dans son milieu**. Il n'y a pas de lieu sans interactions multiples entre son espace propre et le milieu auquel il appartient. Un espace public devient lieu public par les relations qu'il tisse avec son milieu. Le mot contextualité est choisi parce qu'il renvoie au contexte, cet ensemble du texte qui entoure une phrase ou un mot et dont dépend son sens.



Le milieu regroupe à la fois le contexte naturel, le contexte construit et le contexte humain. Le contexte naturel est défini par la localisation, la topographie, le climat et les différentes ressources naturelles de ce milieu particulier. Le contexte construit est déterminé par la morphologie du bâti (en tant qu'organisation spatiale, organisation de la communication, expression formelle, expression signifiante et héritage historique). Enfin, le contexte humain est à la fois culturel, social, politique et économique: il définit le type d'utilisateurs de l'espace public considéré.

La définition d'un espace public durable nécessite donc la description de ses trois composants de base : l'environnement naturel, l'environnement construit et l'environnement humain ainsi que leurs relations mutuelles. Donnons quelques exemples des relations nécessaires entre ces contextes pour créer un espace public durable... A l'intersection de l'environnement naturel et de l'environnement construit, on trouve les préoccupations suivantes : utilisation rationnelle des ressources naturelles, diminution des consommations d'énergie des bâtiments, limitation de la pollution, cohérence entre les niveaux artificiel et naturel, ... A l'intersection entre l'environnement naturel et l'environnement humain, il est nécessaire de tenir compte de différents éléments tels que le confort à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments (confort visuel, thermique, respiratoire, acoustique, au vent, ...), la capacité de contrôler son environnement, la valorisation des éléments naturels, ... Enfin, à l'intersection de l'environnement construit et de l'environnement humain, il faut étudier la continuité historique, l'utilité et la fonctionnalité (affectations,...), la participation des citoyens, le confort culturel (mixité, sécurité, appropriation,...), le sens du lieu, la symbolique, ...



D'autre part, notons que cette mise en relation de l'homme et de son milieu à travers un espace public est de nature spatio-temporelle car comme le dit Bernard Reichen : « *le milieu est une notion variable, tant géographiquement (toute culture ne propose pas le même mode d'habiter) que temporellement (le mode d'habiter au sein d'une culture évolue dans le temps tout en s'élaborant dans la continuité)* ». Il y a donc deux types d'échelles à prendre en considération :

- l'échelle spatiale: bâtiment > place > quarti erritoire > Monde,
- l'échelle temporelle: instant > journée > saison > année > époque > Histoire.

Il est donc nécessaire de reconnaître cette multi-dimensionnalité de notre milieu et d'étudier un lieu en fonction de ces différentes dimensions. Chaque niveau de questionnement est en interactions permanentes avec toutes les autres dimensions. Dès lors, on ne peut étudier un aspect spécifique d'une urbanisation, comme par exemple le point de vue économique ou le microclimat, sans le replacer dans un contexte plus large et analyser les interactions entre cet aspect spécifique et une compréhension plus globale du milieu urbain.

Norberg-Schulz est sans doute l'auteur qui a le plus contribué à faire émerger l'importance de la contextualité : pour lui, l'architecture est comprise comme la « *concrétisation d'un espace existentiel* », formule qui désigne les relations fondamentales qui lient l'homme à son milieu.

Augustin Berque nous dit qu'« *un milieu se manifeste par des ressources, des contraintes, des risques et des agréments* » (Berque 1990). Tout espace de qualité devrait profiter des ressources du milieu, se protéger de ses contraintes, apporter au milieu des agréments et n'y occasionner aucun risque. Pour s'inscrire dans son milieu, l'espace public doit donc s'y **intégrer** (c.à.d. bénéficier des ressources et se protéger des nuisances du milieu) et y **participer** (c.à.d. produire des avantages pour le milieu et le protéger de tout risque). Il y a donc une double dimension dans la relation d'un lieu au monde: réceptive et active.

Outre cette action réciproque entre le lieu et le milieu, il faut ajouter que le lieu doit aussi pouvoir **s'adapter** aux modifications du milieu.

Les photos ci-dessous permettent de comparer du point de vue architectural et urbanistique un lieu contextuel et un espace mal inséré dans son milieu. En effet, le Mont des Arts, situé à gauche, s'inscrit dans le centre de Bruxelles en créant une connexion entre le haut et le bas de la ville, tout en offrant un espace agréable et ouvert à de multiples appropriations possibles. En revanche, la place Rouppe, présentée à droite, montre à la fois le manque d'intégration architecturale de la tour du midi dans la morphologie urbaine du centre de Bruxelles et l'absence de participation de cette place à la vie du quartier à cause de son aménagement en parking.



Mont des Arts (Reiter 2003)



Place Rouppe (Reiter 2003)

Tout projet urbain se positionne par rapport à la relation de l'homme à son milieu à travers l'espace qu'il propose. Ainsi, cette relation influence la perception que les citoyens ont de leur environnement, ce qui en fait un moyen de responsabilisation des habitants. La contextualité remplace donc la conception urbaine dans son contexte éthique, alors que l'architecture contemporaine a trop souvent tendance à oublier son rôle éthique pour se limiter à celui de bien de consommation. La contextualité est une des caractéristiques fondamentales de tout projet urbain durable. Les paragraphes qui suivent analysent le concept de contextualité à travers les notions d'intégration, de participation et d'adaptation.

### **1.2.1 L'intégration**

Sans ancrage dans son milieu, l'homme est désorienté, il ne sait ni où il est ni qui il est. La contextualité d'un lieu public implique l'intégration de ce lieu dans son milieu. S'intégrer dans son milieu consiste à profiter des opportunités offertes par le milieu et à se protéger des contraintes du milieu, aux différentes échelles. Cette intégration est favorisée par les continuités, le respect de la mémoire des lieux et la création d'espaces de transition entre les différentes échelles. Un lieu public tient compte de la spatialité et des temporalités de l'urbanisation dans laquelle il

s'inscrit. Pour s'épanouir, une place inscrit sa relation au milieu à travers les contextes physique, construit et humain.

Nous constatons toutefois que l'architecture contemporaine tient rarement compte du contexte local: c'est ce qui explique la présence de bâtiments et de quartiers identiques au nord et au sud de l'Europe, sans considération pour les différences de climat et de culture. La prise en compte des conditions locales devrait mieux permettre de tirer parti de la spécificité de chaque région et de chaque ville, de conserver leurs diversités traditionnelles, de lutter contre la tendance générale à l'uniformisation des constructions.

Les photos ci-dessous montrent des immeubles similaires construits dans nos régions et sous les tropiques... Il est temps de changer une conception aussi inadaptée.



Bâtiments similaires sous des climats très différents... (Architecture et Climat 2004).

Au niveau physique, les villes et les espaces publics ont besoin d'un climat, d'une végétation, d'un relief spécifique pour s'enraciner dans un lieu. La photo ci-dessous montre comment La Roche-en-Ardenne s'est développée à l'intérieur de limites naturelles.



Inscription de la ville de La Roche-en-Ardenne dans ses limites naturelles. (Ministère de la Région Wallonne 1985).

Le rôle des conditions naturelles en général, et en particulier du climat, dans la formation du paysage urbain et le fonctionnement de l'espace public est souvent sous-estimé aujourd'hui. Pourtant, la course du soleil et le type de lumière d'un milieu ont toujours été des éléments de base de la conception architecturale et urbanistique des villes et des villages traditionnels.

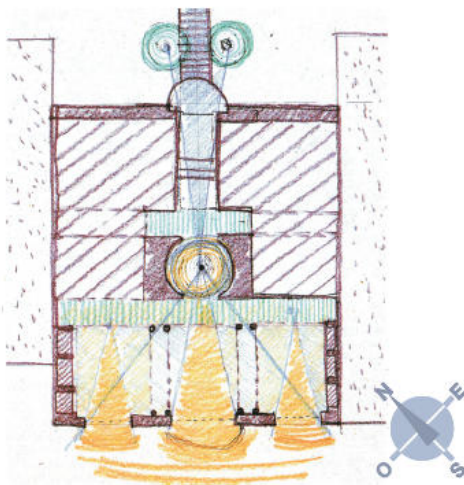
Ci-dessous, la photo de gauche présente l'intégration topographique d'un village et son étagement de manière à capter la lumière naturelle alors que la photo de droite montre que l'utilisation de ressources locales favorise la conservation de son patrimoine et la mise en valeur de ses caractéristiques régionales.



Intégration de la lumière et des ressources locales dans l'architecture traditionnelle. (Photo de gauche : Gilbert Bianchi ; photo de droite : S. Reiter).

Un exemple contemporain de l'intégration des bâtiments dans leur contexte naturel est donné par les stratégies de l'architecture climatique, qui permettent de profiter des ressources du climat local (gains solaires, ventilation naturelle,...) et de se protéger de ses contraintes (isolation des bâtiments, protections solaires,...).

La maison PLEIADE (Passive Low Energy Innovative Architectural Design) est un exemple d'application des principes de l'architecture climatique. Il s'agit d'une maison mitoyenne située à Louvain-la-Neuve en Belgique. Elle a vu le jour grâce à l'action de la cellule de recherche Architecture et Climat (UCL) et du CSTC ainsi qu'au soutien de la Région Wallonne et d'Electrabel.



La maison PLEIADE, conçue selon les principes de l'architecture climatique. (Architecte : P. Jaspard ; photo : Architecture et Climat).

Donnons aussi l'exemple des escaliers monumentaux de la ville de Rome qui participent à la définition d'une ambiance romaine par leur rapport spécifique au sol. La photo ci-dessous montre l'escalier de la Trinité-des-Monts, qui s'élève à partir de la place d'Espagne. Construit au 18<sup>ème</sup> siècle, cet escalier s'harmonise parfaitement avec la forme de la colline.



La Trinité-des-Monts : intégration de la topographie naturelle à un espace public urbain.  
(Photo : S. Reiter).

Introduire la nature en ville dans le but de nous reconnecter à notre environnement ne peut donc pas se limiter à planter quelques arbres sur une place. Il s'agit plutôt de recréer un lien entre l'homme et la nature, ce que Tchekov nous décrit si bien : « *L'homme a besoin, non pas de trois acres de terre, non pas d'une propriété à la campagne, mais de la terre toute entière, de la nature entière ; c'est dans cet espace qu'il pourra révéler sa nature et son individualité* » (Tchékov 1898). Ainsi, la présence de Central Park (1873) en plein centre de New York participe à la contextualité de la ville en révélant son sol naturel.



Central Park : le sol de New York révélé. (Rogers 2000)

Il existe des liens directs entre l'espace perçu, pratiqué et conçu. Jean Rémy et Liliane Voyé insistent sur l'importance de l'intégration d'un projet dans un contexte socio-culturel déterminé : « *nous veillerons à ne pas perdre de vue que les effets d'une même structure spatiale peuvent être différents sinon opposés, selon les modèles culturels et selon la position dans la structure sociale* » (Remy & Voyé 1982). Ainsi, Christian Gilot nous montre comment les rapports sociaux ont

participé à la construction de l'espace bâti de Bruxelles : « *les rapports à Bruxelles entre le Petit Sablon et le Grand Sablon prennent un sens particulier quand ils sont présentés à la lumière des rapports entre le haut et le bas de cette ville: d'un côté les palais et de l'autre les marchands, d'un côté la nature dessinée et de l'autre les espaces du moyen âge, d'un côté l'insolence magnifique d'édifices isolés et de l'autre la puissance d'épaulement des maisons alignées.* » (Gilot 1995)

Christian Norberg-Schulz nous donne aussi un exemple historique de cette intégration de la conception urbaine dans un milieu physique et humain : « *Dans les temps anciens, la survie dépendait d'un « bon » rapport avec le monde, au sens physique et psychique. Dans l'ancienne Egypte, par exemple, la campagne était non seulement cultivée par rapport aux inondations du Nil, mais de plus, la structure du paysage agricole était utilisée comme modèle pour la disposition des édifices « publics », ce qui devait donner à l'homme un sentiment de sécurité parce que cela passait par une symbolisation de l'ordre éternel de notre environnement.* » (Norberg-Schulz 1981)

S'enraciner dans le territoire urbain, c'est aussi s'intégrer dans son contexte construit, c.à.d. tenir compte des caractéristiques du bâti existant (gabarits, matériaux,...) et de son passé historique.

Par exemple, l'aménagement d'une place devrait respecter sa forme géométrique et l'histoire de ce lieu. Ainsi, pour des places irrégulières qui ont gardé des traces de leur organisation médiévale, il faut éviter d'imposer un quadrillage trop strict des éléments alors qu'une place régulière insérée dans un quadrillage de rues orthogonales appelle une disposition géométrique claire des éléments (symétrie, alignements,...).

A Lucca, la Piazza del Anfiteatro témoigne d'un contexte historique ancien : elle fut construite sur les fondements d'un ancien amphithéâtre romain : l'arène s'est transformée en place du marché...



Lucca : la Piazza del Anfiteatro, bâtie sur les fondements d'un amphithéâtre romain. (Kostof 1992).



Il est également nécessaire de se fondre dans l'ambiance générale de la ville ou du paysage construit. Ainsi, Maurice Merleau-Ponty décrit bien les qualités d'ambiance de la ville de Paris. « *Paris n'est pas pour moi un objet à mille facettes, une somme de perceptions, ni d'ailleurs la loi de toutes ces perceptions. Comme un être manifeste la même essence affective dans les gestes de sa main, dans sa démarche et dans le son de sa voix, chaque perception exprime dans mon voyage à travers Paris - les cafés, les visages des gens, les peupliers des quais, les tournants de la Seine - est découpée dans l'être total de Paris, ne fait que confirmer un certain style ou un certain sens de Paris. Et quand j'y suis arrivé pour la première fois, les premières rues que j'ai vues à la sortie de la gare n'ont été, comme les premières paroles d'un inconnu, que les manifestations d'une essence encore ambiguë mais déjà incomparable. Nous ne percevons presque aucun objet, comme nous ne voyons pas les yeux d'un visage familier mais son regard et son expression. Il y a là un sens latent, diffus à travers le paysage ou la ville, que nous retrouvons dans une évidence spécifique sans avoir besoin de le définir.* » (Merleau-Ponty 1945) Les photos ci-dessous soulignent les ambiances spécifiques de trois villes : Venise, Paris et Louvain-la-Neuve.



Ambiances urbaines : Venise, Paris et Louvain-la-Neuve. (Photos : S.Reiter)

Ce que nous soutenons ici n'est pas une sorte de « déterminisme du milieu »; nous disons seulement que tout bâtiment participe à la formation d'un milieu et que le fait de l'oublier conduit à l'aliénation du dit milieu. Les photos ci-dessous témoignent de la rupture contextuelle qu'introduisent de nombreux bâtiments contemporains au niveau de l'échelle des bâtiments, de leur typologie et des matériaux utilisés.



Rupture contextuelle et bâtiments contemporains hors contexte : Bruxelles et Londres. (Photo de gauche : S. Reiter ; photo de droite : A+ n° 179).

De nombreux projets urbains au vingtième siècle ont détérioré le tissu morphologique et social de Bruxelles, donnant naissance au terme « bruxellisation » pour signifier l'action de destruction et déstructuration du tissu urbain par l'implantation d'immeubles et de quartiers monofonctionnels sans âme. Citons l'exemple criant de la jonction de chemin de fer Nord-Midi qui a nécessité la destruction d'un des quartiers les plus anciens de Bruxelles, la construction de la cité administrative de l'état qui a aplani le sol de Bruxelles sur 61000 m<sup>2</sup> ou encore le plan d'aménagement du Quartier Nord en centre d'affaires monofonctionnel.

Cependant, s'inscrire dans le temps signifie aussi créer une architecture de notre temps. Respecter le contexte construit existant ne consiste pas à reproduire des objets et n'empêche nullement de créer une architecture contemporaine mais cela demande de tenir compte de l'ordre commun établi.

Les photos ci-dessous donnent deux exemples réussis d'une conception contemporaine intégrée. Le Carré d'Art, conçu par Foster, trouve sa place en tant que fragment moderne dans le tissu urbain de Nîmes. Son grand auvent assure son alignement par rapport aux bâtiments voisins, bénéficiant ainsi de la structure continue du centre-ville, tout en offrant une bonne protection solaire à sa façade vitrée. La gare de Louvain-la-Neuve se distingue comme un repère et une porte au cœur de la ville grâce à ses immenses arcades, tout en étant totalement intégrée dans le caractère de la ville, ses gabarits, ses matériaux,...



A gauche : le carré d'Art à Nîmes (architecte : L. N. Foster ; photo : S.Reiter) et à droite : la gare de Louvain-la-Neuve (architectes : Y. Lepère et J. Polet ; photo : S.Reiter).

La bonne attitude de conception est donc de considérer le projet urbain ou architectural comme une actualisation d'un état existant par l'inscription d'un fragment contemporain. Pour ce faire, l'articulation et la continuité semblent deux moyens architecturaux particulièrement adaptés.

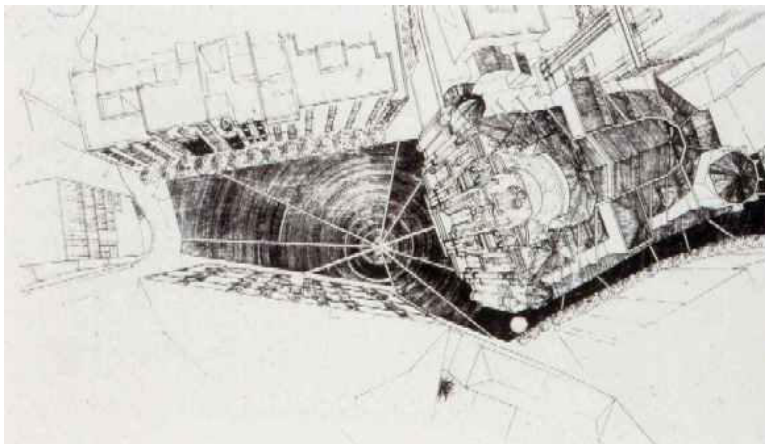
S'intégrer, c'est tenir compte du passé pour comprendre le présent et construire le futur. L'architecture permet, par sa permanence, d'assurer une continuité entre différentes générations. Michel Corajoud précise ces propos : « *Pour faire un projet, vous devez entrer dans son mouvement, dans sa dynamique. Pour anticiper, vous devez d'abord reconnaître les inscriptions antérieures du lieu, ses modes successifs d'occupation, ses inclinaisons. C'est souvent dans la mémoire des lieux que gisent des valeurs sûres à partir desquelles peut se fonder une proposition nouvelle.* »

Nous allons analyser en détail un très bel exemple de l'intégration d'un bâtiment contemporain à un contexte urbain existant : la place Belluga. L'hôtel de ville de Murcia, conçu par R. Moneo, y est un exemple remarquable d'architecture urbaine contextuelle. L'architecture y régénère l'urbain, en valorisant le passé tout en relançant l'avenir...



L'hôtel de ville de Murcia (Architecte : R. Moneo ; photo : El Croquis n°98, 1999).

L'hôtel de ville de Murcia, en Espagne, est situé sur une place trapézoïdale, à l'emplacement d'une maison baroque effondrée. La place Belluga est une très belle place en longueur, bien orientée: le côté face au sud est d'ailleurs bordé de restaurants et de terrasses bien exposées au soleil. Le lieu est fortement marqué par la présence d'une cathédrale baroque ainsi que par le Palais de l'Archevêque Belluga, situé en face des restaurants, où s'inscrit une belle loge à la mode papale. Il faut également insister sur les rayons du pavement de la place qui semblent relier les différents bâtiments.



Pavement reliant les différents bâtiments (El Croquis n°98, 1999)

Bien que le tracé de l'ancienne maison baroque est littéralement conservé sous la forme d'un muret bas, Moneo referme la place en proposant un bâtiment dont la façade est plane. Ainsi, il reconstitue la continuité des limites de cette place, tout en préservant la trace du passé, mais il y instaure un nouvel ordre, en initiant un lien de face-à-face entre la cathédrale et la mairie. Cette mise en présence contemporaine renforce la signification du pavement qui fait de cette place le centre de la ville de Murcia. Le muret qui conserve le souvenir de l'emplacement

de la maison baroque initiale permet aussi d'ouvrir un escalier vers un parvis, en contre-bas de la place Belluga, par lequel on accède à la salle publique. Ainsi, la hauteur de la mairie coïncide avec la hauteur des autres bâtiments du pourtour de la place et l'entrée de la mairie n'est pas en confrontation avec celle de l'église.



(Architecte : R. Moneo ; photo : El Croquis n°98, 1999).

Dans la façade de son projet, Moneo se réapproprie un motif architectural de chacun des deux monuments de la place: la loge de l'archevêque et la verticalité mouvementée de la façade de la cathédrale. La façade de l'extension de la mairie se dresse tel un mur de pierre qui se perce graduellement pour devenir dentelle de pierre à proximité du ciel. Sur la photo de gauche, notez la « loge mayorale » (baie sur deux niveaux permettant à une salle de réception de s'ouvrir largement sur la place) et le jeu mouvementé de piliers de pierre et des dalles de béton qui font écho de manière très contemporaine à la fluidité de la structure baroque de la cathédrale (photo de droite).



Hôtel de ville (architecte: R. Moneo) et cathédrale de Murcia (photos: El Croquis n°98, 1999).

En outre, Moneo crée une galerie, espace interstitiel entre les locaux de la mairie et le pan mural de sa façade. Cet élément renforce le dialogue entre la cathédrale et la mairie, tout en soulignant le superbe travail d'épaisseur de la façade de la cathédrale baroque.



Galerie de l'hôtel de ville de Murcia (Architect : R. Moneo; photo : El Croquis n°98, 1999).

Toutefois, la sobriété et la planéité de ce mur de pierre préserve le rapport de dominance de la cathédrale sur l'ensemble des bâtiments de la place et inscrit la mairie dans un rapport de convivialité avec le palais de l'Archevêque car cette galerie se situe dans un même plan horizontal que le balcon central de la façade du palais Belluga.

Le matériau utilisé pour la construction de la mairie est la pierre, comme tous les autres bâtiments de la place. De plus, la pierre utilisée s'inscrit dans la tonalité des bâtiments de la place.

L'implantation et l'architecture du bâtiment de la mairie s'intègrent donc parfaitement dans ce morceau de ville, en reprenant, en complétant et en actualisant un geste commencé trois siècles plus tôt. Moneo invente un dialogue sublime entre innovation et tradition. Son écriture architecturale est résolument contemporaine, tout en s'inscrivant dans la tradition architecturale, historique et culturelle de la ville de Murcia.

Ainsi, la place Belluga nous prouve qu'il est possible d'intégrer un bâtiment dans son contexte sans pour autant créer une architecture passe-partout basée sur le camouflage et le mimétisme. En revanche, réaliser une œuvre d'art architecturale ne nécessite pas une attitude orgueilleuse ou provocatrice en rupture volontaire avec le voisinage.

Le rôle de l'architecte est celui de décrypter les clés qui permettront une relecture intéressante du site en se basant sur sa sensibilité, son originalité et son enthousiasme, tout en conservant toujours une bonne dose de modestie. Lorsque le projet s'inscrit dans un lieu historique ou un environnement déjà bâti de qualité, l'attention portée à créer un dialogue entre l'ancien et le nouveau est spécialement importante pour conserver un site harmonieux.

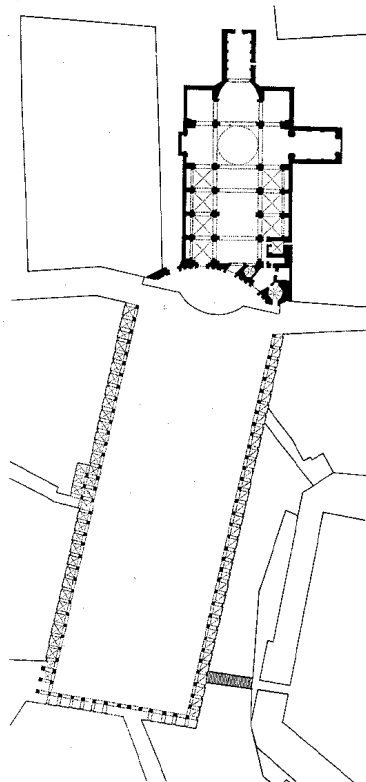
Le développement durable de l'humanité nécessite de mettre en application l'adage *«penser globalement et agir localement »*.

### **1.2.2 La participation**

Chaque aménagement exerce un effet, bon ou mauvais, sur le milieu ambiant. La participation d'un lieu consiste à apporter des bénéfices au milieu dans lequel il s'inscrit et à le protéger de toute nuisance qu'il pourrait induire.

Apporter sa part d'énergie créatrice à une cause commune, tel est en effet la philosophie de la participation. Tout bâtiment, dit Kahn, « doit donner quelque chose à la rue ». Mais l'architecture ne pourra jamais se substituer à l'urbain dans son rôle de contexte construit car « c'est la première fonction du projet urbain que de définir un contexte en amont de l'architecture. » (Gilot 1999)

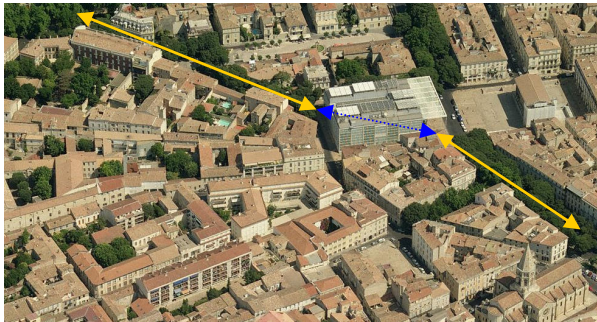
Un exemple splendide de la participation d'un bâtiment à un espace public pour former un milieu cohérent est donné par Pierre von Meiss dans son livre 'De la forme au lieu' : « Lorsque le château de Vigevano est devenu la résidence d'été des Sforza, on lui a taillé une antichambre dans le tissu médiéval cerné sur trois côtés par une colonnade, le quatrième recevant les rampes d'accès d'honneur au château (1492-1494). Presque deux cents ans plus tard (1676-1684), on décide d'ériger la cathédrale Saint-Ambroise sur ce quatrième côté. La géométrie de la parcelle ayant un rapport gauche avec la place, les architectes décident d'accorder à la façade une autonomie en faveur de son rôle urbain. Son rayonnement frontal embrasse la dimension de la place toute entière. Pour y parvenir, la façade empiète même sur un édifice voisin. » (von Meiss 1993). Le plan et la photo ci-dessous illustrent cet exemple remarquable.



La cathédrale Saint-Ambroise à Vigevano (plan et photo : von Meiss 1993).

Il ne s'agit pas, dans cet exemple, de l'intégration de la cathédrale dans une structure spatiale prédéfinie mais bien de sa participation active dans l'élaboration commune de la place. Si la forme de la façade se plie à l'espace public, la cathédrale en tant que monument domine toutefois la place. L'espace public et le bâtiment bénéficient donc l'un et l'autre de cet assemblage.

Un exemple contemporain du principe de participation est le Carré d'Art à Nîmes. Ce bâtiment, conçu par Sir Norman Foster fait face à La Maison Carrée, l'un des fleurons antiques de Nîmes. Le Carré d'art abrite à la fois un musée d'art contemporain et une bibliothèque. La création de ce lieu culturel, devenu incontournable, a permis de renforcer l'activité culturelle de la ville et de revitaliser le centre-ville. De plus, grâce à ses entrées situées en diagonale de part et d'autre du bâtiment, à la conception minimaliste du plan du rez-de-chaussée et à sa transparence (atrium et façades vitrées), le Carré d'Art est traversé par de nombreux citadins qui l'utilisent en raccourcis entre deux axes importants de Nîmes (flèches jaunes). Il s'agit donc d'un bâtiment qui offre en son sein un passage pour piétons (pointillés bleus) assurant une liaison entre ce lieu de référence et deux quartiers de Nîmes.



Carré d'Art (architecte: S. N. Foster) et Maison Carrée à Nîmes.  
(Photo : Microsoft Virtual Earth).

Ci-dessous, les photos d'une bibliothèque municipale de Vienne. Ce bâtiment situé entre deux boulevards offre un bel espace public pour les piétons, regroupant la toiture plate et un escalier monumental. Ainsi, dans un lieu où le piéton pouvait se sentir exclu, ce bâtiment apporte une qualité spatiale et conviviale.



Bibliothèque municipale à Vienne (Photos : K. De Myttenaere)

Tout lieu public doit participer à son milieu à travers ses contextes physique, construit et humain. L'aménagement urbain dépend de cycles longs, qui dépassent de loin l'existence d'une génération humaine. Il pose donc intrinsèquement la question de la justice intergénérationnelle. La participation induit une prise de position éthique. Ce principe implique d'accepter de recevoir la Terre (ses ressources, son climat, ses civilisations, ...) comme un don transmis par les générations précédentes et dont on serait les dépositaires transitoires vis-à-vis des générations futures.

Dans le cadre du développement durable, les stratégies d'intégration au contexte sont nécessaires mais elles ne sont plus suffisantes. Les concepteurs de projets doivent également tenir compte de la manière dont ils peuvent apporter des avantages au milieu et le protéger. Ainsi, les stratégies bioclimatiques qui profitent des avantages du climat local et se protègent de ses contraintes doivent être complétées par des stratégies bénéfiques pour le milieu. Par exemple, le choix de la localisation d'un bâtiment en ville pour limiter les nuisances environnementales et la participation à la formation d'un microclimat urbain de qualité sont des critères indispensables pour une architecture qui se veut durable. D'autre part, tout bâtiment devrait rechercher un avantage maximal pour chaque unité de ressources consommées et de déchets produits, afin de limiter la pollution qu'il génère et ainsi protéger la planète. Notre responsabilité face à l'environnement urbain nécessite de développer des modes de vie, des modes de production et des modes de consommation non polluants.

Il est important d'admettre que l'environnement peut imposer des seuils écologiques à certaines activités humaines et que, parfois, aucun avantage ou profit potentiel ne peut contrebalancer l'épuisement d'une ressource naturelle ou la dégradation de l'environnement. Il est capital, pour le bien-être et la survie de l'humanité, que l'environnement reste capable de fournir des ressources, d'absorber des déchets et de remplir ses fonctions vitales. Si nous sommes privés d'un air suffisamment pur à respirer, d'eau potable en abondance, d'une atmosphère qui nous protège des radiations dangereuses ou d'une bonne terre et d'un climat qui nous permettent de produire des aliments en suffisance, il est peu probable qu'une combinaison quelconque d'autres avantages nous semble capable de compenser une telle perte. Or, de plus en plus d'éléments indiquent que nous sommes en train, ou que nous risquons, de franchir des seuils cruciaux en ce qui concerne la capacité de charge de notre globe (CEE 1996).

L'analyse du cycle de vie d'un matériau mesure l'impact environnemental de la vie d'un produit, depuis sa réalisation jusqu'à sa destruction ou son recyclage. D'un point de vue urbain, les quartiers peuvent être abordés sous l'angle de l'empreinte écologique, qu'il conviendra de minorer, comme cela s'est fait à BedZED. Ceci renvoie aux notions de capacité de charge, de seuils, de capital naturel et de cycle des ressources d'un espace à urbaniser.

Le quartier BedZED dans la banlieue londonienne est un quartier dont l'empreinte écologique est réduite de 50% par rapport à des scénarios types appliquant des ratios moyens liés aux modes de vie et à l'usage des bâtiments. Pour donner un ordre de grandeur, comparativement à des habitations classiques, le chauffage y est réduit de 90%, la consommation totale énergétique de 70% et le volume des déchets de 75%. Pour atteindre cet objectif ambitieux, les concepteurs de BedZED ont réalisé une large analyse de cycle de vie du quartier, de la construction des logements aux différents besoins en ressources énergétiques, en passant par les



transports, les activités professionnelles, la vie sociale et culturelle, la gestion des déchets, la gestion de l'eau...

Les photos ci-dessous montrent des bâtiments et des espaces publics de BedZED, quartier dont l'empreinte écologique a pu être diminuée de moitié par son analyse de cycle de vie.



BedZED (photo : IMBE 2005)



BedZED (photo : IMBE 2005)

Vu que la science ne permet pas toujours d'établir avec précision les seuils écologiques, il est indispensable d'appliquer le principe de précaution. Un tel mode d'action privilégie une approche préventive plutôt que curative. Mieux vaut, par exemple, limiter la production de déchets plutôt que d'augmenter leurs capacités de traitement. Dans la mesure du possible, l'action doit porter sur les causes plutôt que sur les conséquences des problèmes engendrés sur le milieu.

Citons quelques principes de conception indispensables pour limiter l'empreinte écologique de nos urbanisations :

- réduire l'utilisation d'énergie des bâtiments (isolation, stratégies URE, microclimat urbain,...)
- réduire l'utilisation d'énergie du transport en augmentant la densité construite, en améliorant la distribution des transports en commun et en assurant des cheminements confortables pour les piétons et les cyclistes.
- favoriser l'utilisation de l'énergie provenant des sources d'énergie renouvelable.

On voit dès lors que le microclimat urbain est un des paramètres essentiels dans une politique de réduction de l'empreinte écologique de notre pays, puisqu'il influence fortement les consommations énergétiques des bâtiments, l'utilisation de transports écologiques et la possibilité de profiter des énergies renouvelables.

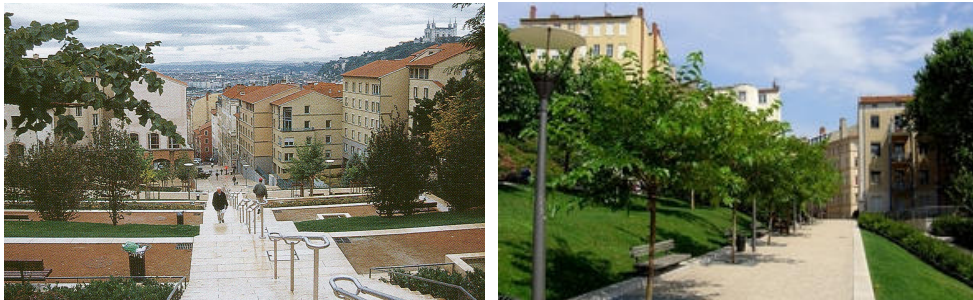
Avec plus de 300 opérations réalisées en moins de 15 ans et une approche globale des problèmes qui concernent les rues et les places du centre urbain, les grandes cités de logement, les centres de village et les sites liés aux infrastructures de transports, Lyon constitue un véritable laboratoire urbain et une référence européenne en matière d'aménagement de l'espace public. La politique d'aménagement des espaces publics mise en place dans le Grand Lyon a eu pour effet de provoquer un certain « retour en ville » dans la zone centrale de Lyon (à l'intérieur du périurbain). Cette évolution est perceptible depuis 1995 alors que les premières opérations datent de 1989. (Gillon 2002)

Les photos ci-dessous montrent la rénovation de la place et de la rue de la République, espaces publics majeurs du centre ancien, réaménagés pour les piétons.



Place et rue de la République à Lyon. (Rénovation : A. Sarfati).  
(Photo de la place : J.-M. Gillon ; photo de la rue : S. Reiter)

La photo ci-dessous montre au sein de la « Montée de la Grande Côte », l'aménagement d'un intérieur d'îlot en jardin public dans un quartier populaire surplombant la ville ancienne. (Gillon 2002)



Jardin de la Montée de la Grande Côte à Lyon.  
(Photo de gauche : J.-M. Gillon ; photo de droite : S. Reiter).

Il faut noter que la politique menée à Lyon en matière d'habitat urbain et de réaffectation des friches industrielles a contribué pour une part non négligeable à ce retour en ville, notamment par le réaménagement des anciennes industries textiles et mécaniques de la banlieue Est. (Gillon 2002)

A l'heure où l'on cherche des alternatives à l'étalement urbain et où l'on ressent la nécessité de redynamiser les fonctions centrales des grandes villes, les **friches industrielles urbaines** constituent souvent une opportunité majeure pour :

- offrir une capacité résidentielle au centre des agglomérations,
- accueillir des activités économiques nouvelles, compatibles avec la densité et la mixité urbaines,
- proposer des projets respectueux de l'homme et de la nature,
- concevoir l'espace public en ville de manière innovante,
- proposer de nouveaux types de moyens de transport,
- assurer la biodiversité grâce à des espaces verts de grande taille pénétrant à l'intérieur des villes,
- tester la possibilité de créer des projets avec la participation des citoyens.

Le projet de « l'île de Nantes » est un exemple impressionnant de renouvellement urbain dont l'objectif est de faire revivre une friche industrielle d'une surface de 350 hectares, née de l'arrêt des chantiers navals à la fin des années 80 en associant étroitement les habitants au débat.

L'île de Nantes est un maillon essentiel pour retisser les relations entre la ville de Nantes, le fleuve et l'estuaire. Recomposer ce territoire hétérogène en un véritable cœur d'agglomération, en préservant les éléments de mémoire du site, représente un véritable enjeu pour les concepteurs Alexandre Chemetoff et Jean-Louis Berthomieu.



L'île de Nantes (Escudero 2004).

Kronsberg est un quartier de 6300 habitants construit sur un ancien site industriel en périphérie de la ville de Hanovre en Allemagne, où l'on ne consommerait annuellement que 55 kWh/m<sup>2</sup> alors que la moyenne locale est de 100 kWh/m<sup>2</sup> pour les immeubles construits en 2000 et de plus de 220 kWh/m<sup>2</sup> pour les autres. Il faut y ajouter les réseaux de co-génération assurant l'alimentation du chauffage urbain et de l'eau chaude ainsi que deux éoliennes produisant respectivement 1.5 et 1.8 Mégawatts. Au final Kronsberg consomme moins d'électricité qu'il n'en produit et rejette un volume de CO<sub>2</sub> inférieur de 55% à celui d'un quartier classique. (IMBE 2005)



Quartier Kronsberg (IMBE 2005)



Quartier Kronsberg (IMBE 2005)

Le Livre vert sur l'environnement urbain nous appelle à la responsabilité : « Assumer la responsabilité des conséquences d'un acte à tous les niveaux – individu, sociétés et pouvoirs publics – est une condition préalable essentielle de l'amélioration de l'environnement. » (CEE 1990). Il faut développer des modes de vie, des modes de production et des modes de consommation non polluants.

Le principe de responsabilité débouche par exemple sur le principe pollueur-payeur qui veut notamment que les responsables des nuisances et pollutions ou des destructions d'écosystèmes soient ceux qui assument les coûts de ces atteintes à l'environnement et non qu'ils soient pris en charge par la collectivité. A un niveau

macro-économique, l'idéal serait de parvenir à internaliser ces coûts, c'est-à-dire à les intégrer dans les prix. Les biens environnementaux sont en effet le plus souvent considérés comme gratuits ; leur coût d'exploitation et le coût de leur destruction ne sont pas pris en compte dans les prix ce qui conduit à une mauvaise allocation des ressources. Les taxes foncières et travaux publics devraient, par exemple, être conçus pour encourager la consolidation des villes plutôt que leur étalement : cela augmenterait la relative compétitivité de la ville compacte et soutiendrait le développement des centres-villes.



Le principe de responsabilité : valorisation et solution pour la ville compacte (Photos : S.Reiter)

Enfin, du point de vue du développement durable, le seul contexte environnemental n'est pas suffisant. Il faut aussi tenir compte en permanence des implications sociales et économiques de chaque décision. Par exemple, l'utilisation de matériaux locaux permet de limiter les consommations d'énergie dues à leur transport mais une réflexion plus large encore peut être menée sur la valorisation de la main d'oeuvre locale, voire sur l'appel à des organismes locaux d'insertion professionnelle...

Le quartier Vauban à Fribourg a été conçu dans un but de développement durable. Le tableau ci-dessous compare pour différents indicateurs du développement durable les performances atteintes dans le quartier Vauban et la valeur de référence théorique pour un quartier de taille identique intégrant le même type d'équipements mais réalisé sans aucune mesure écologique spécifique (IMBE 2005).

Indicateurs de succès	Référence	Vauban	ΣΣ
<b>Dimension économique</b>			
Part d'énergies primaires locales	24%	49%	+ 83%
Part d'énergies primaires renouvelables	7%	45%	+ 503%
Part de matériaux de construction locaux	12%	20%	+ 67%
Part d'entreprises régionales dans la construction du quartier	-	50%	↗
Nombre de véhicules pour 1 000 hab.	960	450	- 53%
<b>Dimension écologique</b>			
Part d'espaces verts dans le quartier (m²/hab)	29	16	- 45%
Infiltration des sols ha/surface totale	27%	27%	0
Recyclage des déchets (hors gravats)	70	Non renseigné	→
Equivalence CO <sub>2</sub> (en tonnes/an)	11.952	9.396	- 21%
Besoin de ressources énergétiques (GJ/an)	180 858	165.040	- 9%
Besoin de ressources en matériaux bruts (t/an)	4 194	2.434	- 42%
Déchets ménagers (kg/hab./an)	303 (1997)	303	0
Consommation d'eau (l/hab./jour)	129 (1998)	115	- 11%
<b>Dimension sociale</b>			
Offre de produits du commerce équitable	Non	Oui	↗
Part des logements sans place de parking	<1%	~ 70%	+ 7 000%
Part des transports en commun dans les personnes.km en %	24%	~50%	+ 100%
Taux d'occupation des places de crèches	100%	100%	→
Constructions adaptées aux handicapés	1%	4%	+ 300%
Nombre d'offre de loisirs et de formation extra-scolaire pour les enfants et jeunes du quartier	Non	Oui	↗
Equipements pour "auto-gestion" (centre citoyen)	Non	1 500 m²	↗
% des rues accueillant les jeux d'enfants	-	55%	↗

Source : Institut d'Écologie Appliquée. Étude "Quartiers durables dans les zones urbaines en reconversion : analyse des flux de matière comme instrument d'évaluation".

Le surcoût des mesures environnementales prises en compte pour la conception du quartier Vauban est évalué entre 3% et 5% maximum.



Quartier Vauban (IMBE 2005)



Quartier Vauban (IMBE 2005)

Prendre en compte les critères sociaux est indispensable pour tout aménagement urbain durable et cela passe notamment par une distribution équitable des services et des zones de détente ainsi qu'un accès à tous les lieux publics offerts à l'ensemble des citoyens. La qualité de l'expérience urbaine offerte est un élément social extrêmement important. De manière plus précise, tenir compte du contexte social, c'est chercher à identifier et à valoriser les préférences, les habitudes, les références culturelles des différents utilisateurs potentiels de l'espace, afin de favoriser les éléments qui vont dans le sens d'une plus grande appropriation de l'espace par les différentes populations habitant notre pays. D'autre part, les activités et lieux offerts devraient être pensés pour favoriser à la fois le bien-être individuel, la possibilité de se rencontrer ou de se réunir entre amis, familles,... ainsi que de se sentir appartenir à une communauté. Pour cela, il faut par exemple offrir des espaces de détente mais aussi des espaces de contact (barbecue, plaines de jeux,...) et des lieux de fête ainsi qu'une plus grande participation des habitants à l'aménagement de leur territoire.

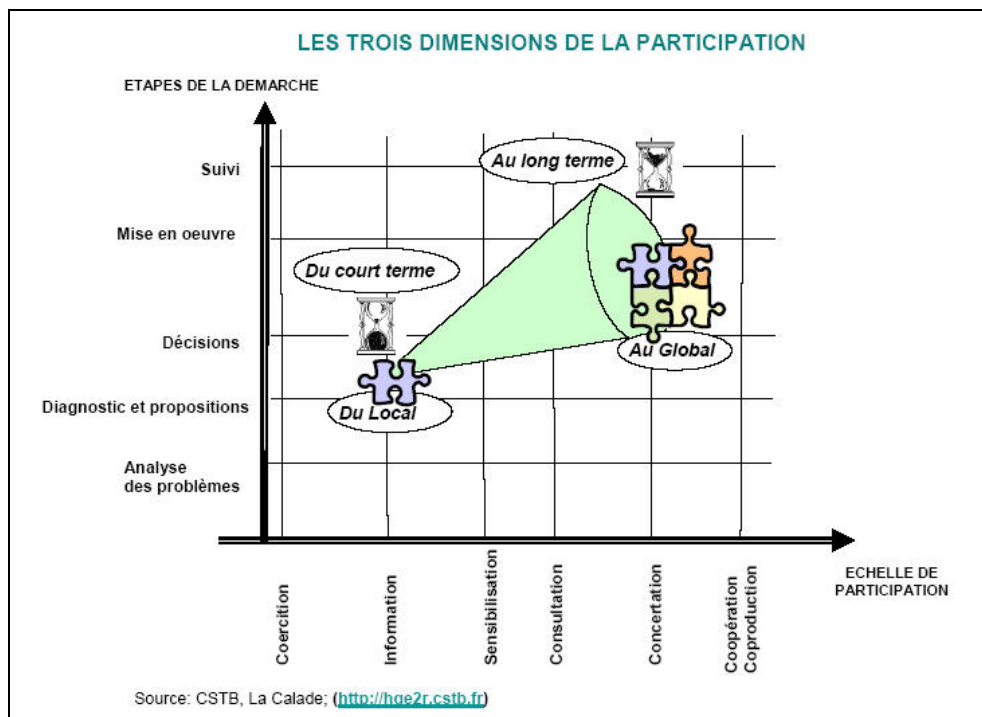
Une des raisons de la faiblesse du dynamisme collectif urbain et du contrôle social se trouve dans la médiocre participation des habitants des villes modernes surtout des grandes villes à la vie publique urbaine. La recherche de la durabilité exige une conscience plus profonde de notre responsabilité collective vis-à-vis de la Terre et des générations futures. Chaque homme est citoyen du monde, habitant d'une même planète et membre de la communauté humaine. Toutes les couches de la société doivent donc avoir leur mot à dire dans les décisions concernant les besoins du développement durable et les mesures à prendre pour l'atteindre.

Les sondages d'opinion indiquent invariablement un intérêt énorme pour les questions de développement durable. Cependant, un fossé aussi immense existe entre l'intérêt exprimé et la volonté d'agir pour changer les choses (CEE 1996). A longue échéance, seule une prise de conscience générale des problèmes et des solutions assurera la pérennité du changement. La sensibilisation suppose que l'on se concentre sur des facteurs qui motivent les gens, et surtout que l'on montre l'importance des enjeux du développement durable pour la vie quotidienne de chacun. La sensibilisation doit aller de pair avec le renforcement de la participation. Si l'on fait naître le désir d'agir, il faut fournir les moyens nécessaires pour l'assouvir. Autrement, le sentiment d'impuissance que beaucoup éprouvent déjà s'accroîtra et le développement durable en souffrira à longue

échéance. L'accès et la diffusion de l'information servent les objectifs démocratiques et doivent être axés sur les usagers.

La participation des citoyens est importante : ils doivent être des acteurs dans la prise de décision afin de localiser les alternatives à l'échelle du milieu, faciliter la prise en compte des particularités locales (aussi bien culturelles, environnementales que politiques et économiques) et permettre l'appropriation des choix devenus collectifs. En effet, la participation des citoyens remplace les décisions urbanistiques dans leur contexte local. Ensuite, les citoyens devenus acteurs du projet urbain ont plus facile à s'approprier les choix collectifs, ce qui les aide à prendre conscience qu'ils sont responsable de leur environnement. La participation citoyenne garantit le fait que tous les points de vue auront été entendus et permet au projet de s'articuler à partir de la pluralité des besoins des acteurs locaux et de la collectivité à une échelle plus importante (ville, pays,...), ce qui fait de l'urbanisme une construction démocratique de notre environnement construit. Ainsi, la participation citoyenne garantit la diversité des solutions et la diversité des points de vue.

Le schéma ci-dessous provient de la méthode HQE2R, qui se définit comme une démarche pour intégrer le développement durable dans les projets d'aménagement et de renouvellement urbains. La méthode HQE2R définit six niveaux de participation citoyenne : coercition, information, sensibilisation, consultation, concertation, coopération-coproduction.



Le point de départ de tout processus de participation est d'élever le niveau de connaissance, de sensibilisation et de conscientisation de la population : informer et éduquer constituent la première étape de toute démarche de participation. Ensuite, la participation s'étend à l'écoute des habitants et des usagers, la prise en compte des besoins et des attentes des habitants et des citoyens. A ce niveau, l'expression de la population doit aider à définir les cibles prioritaires pour un projet d'urbanisme. Une véritable participation commence avec la concertation qui offre aux habitants une réelle possibilité de négociation. Les processus de coopération, les plus participatifs, débouchant sur une coproduction, nécessitent des règles

préalables à la concertation des différents acteurs. La participation des habitants et des usagers devrait idéalement évoluer dans le cadre d'un processus d'apprentissage et d'acquisition des connaissances sur l'architecture, l'espace public et la ville dans leurs points de vue multidisciplinaires.

Pour pouvoir assurer des processus de participation des habitants, il est essentiel que chaque habitant se sente appartenir au quartier où il habite. Ce sentiment peut être renforcé par des politiques d'information et de stimulation de la conscience citoyenne, en particulier en ce qui concerne les enjeux d'un quartier par rapport au développement durable. Il est également important d'informer les habitants sur les limites de leur participation (du point de vue du coût du projet ou des objectifs de la ville) afin d'éviter des réactions de déception. Dans des projets importants, il est recommandé de créer un centre d'information ouvert au public où les personnes peuvent recevoir des informations et poser leurs questions ou créer des structures de communication telles que la diffusion régulière d'informations sur le projet par une chaîne locale de télévision, des brochures distribuées aux habitants, des soirées d'information, ...

L'information et la sensibilisation des différents acteurs sont indispensables pour la réussite d'aménagements urbains durables. Lors de la conception ou de la rénovation de quartiers, il est judicieux de mettre en place des lieux d'échanges et de diffusion de l'information sur différentes thématiques liées au développement durable. Ce type de mesures ont déjà été prises dans différents projets urbanistiques contemporains visant le développement de quartiers durables ; citons : l'agence Kuka et KroKus à Kronsberg, le Forum Vauban à Fribourg, le Centre d'information environnementale GlashusEtt à Hammarby Sjöstad, le Centre pour la rénovation de Vesterbro et le Centre d'information de BedZED. Cette information doit être soignée et destinée au grand public, aux enfants, aux étudiants, aux divers milieux professionnels et associatifs. Les moyens de diffusion sont multiples : plaquettes, dépliants, documents, expositions, outils pédagogiques mais aussi réseau Intranet, télévisions de quartier, sites Internet.

Dans le quartier Kronsberg de la ville d'Hanovre, l'agence Kuka a réalisé des actions assez variées :

- l'édition de publications diverses (prospectus, bulletins d'information avec notamment le magazine de quartier «La vie de Kronsberg», fiches informatives et circulaires),
- l'organisation de débats, discussions, événements, séminaires, ateliers,
- l'élaboration de conseils personnalisés,
- la réalisation de formations et de supports visuels (affiches, expositions, diaporamas et vidéos clips),
- la présentation en ligne sur Internet,
- la mise en place de procédures de concertation publique.

L'information et la formation sont des outils indispensables à une bonne gouvernance. Elles permettent aux populations locales d'intégrer, en qualité d'éco-citoyens et utilisateurs des aménagements réalisés, les principes du développement durable dans leurs comportements et leurs modes de vie. La constitution et l'organisation d'un système global d'information et de communication sur le développement durable nécessitent un financement spécifique qu'il convient d'intégrer dès le démarrage d'une opération d'aménagement et qu'il est indispensable de pérenniser dans le temps. En effet, très souvent, les dispositifs d'information, de constitution des réseaux, de collectes des données sont financés

dans la phase initiale du projet mais leur actualisation et leur animation ne sont pas reconduites dans la durée.

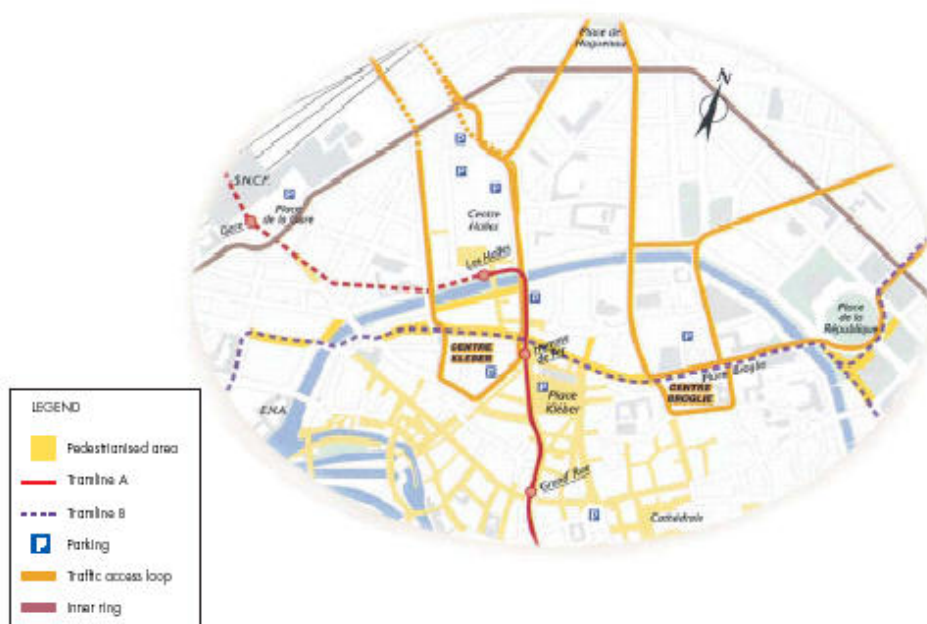
Dans de nombreux exemples de projets urbains de réduction de la voiture en ville, les concepteurs et les politiciens ont rencontré dans un premier temps une opposition forte de la part de la population. Or, dans la plupart des réalisations de ce type, après une première période d'adaptation, la population est généralement très favorable par rapport aux changements effectués. Ces projets ont donc permis de tirer des leçons sur l'importance d'une longue période de consultation et de campagnes de communication extensives. (CEE 2004b)

Début des années 1990, un plan de mobilité a été conçu pour limiter l'utilisation de la voiture privée à Strasbourg et favoriser l'utilisation des transports en commun, du vélo et de la marche à pied. Une grande zone centrale est devenue piétonne et deux lignes de tramway ont été créées.

En 1990, avant l'implantation de ce projet, le nombre de véhicules dans le centre ville était approximativement 240 000 véhicules/jour. En 2000, il ne s'élève plus qu'à 200 000 véhicules / jour, soit une diminution de 16% du trafic automobile. De plus, les modèles d'évaluation et de prédiction du trafic suggèrent que sans cet aménagement urbain il y aurait aujourd'hui plus de 300 000 véhicules par jour dans le centre de Strasbourg, ce qui correspond à une augmentation de 25% du trafic automobile. Ce projet a abouti à un important transfert modal de la voiture vers des modes de transport plus écologiques. En 1989, 72.5 % des voyages étaient réalisés en voitures individuelles et 11% en transports en commun. En 1999, 60% des voyages étaient toujours réalisés en voitures mais 30% étaient réalisés en transport en commun. (CEE 2004b )

Le plan ci-dessous montre l'étendue de la zone piétonne ainsi que le tracé des voies des nouveaux tramways à Strasbourg.

#### STRASBOURG CITY CENTRE



Plan du centre de Strasbourg (CEE 2004b).



La réussite de cette transformation de la mobilité urbaine à Strasbourg est principalement due à la qualité des aménagements réalisés et des espaces publics créés ainsi qu'au processus de sensibilisation des habitants. Les photos ci-dessous montrent la qualité de l'implantation du nouveau tramway à Strasbourg.



Tramway A – Place de l'Homme de Fer, Strasbourg (CEE 2004b)

Toutefois, avant la mise en place des tramways et de la zone piétonne étendue, de nombreuses oppositions de la population et notamment des commerçants ont vu le jour à Strasbourg. C'était la première fois qu'une ville française de cette taille et de cette importance bousculait les habitudes de ses habitants à ce point. Les autorités de la ville ont alors réalisé un processus de consultation étendu et ont lancé une campagne de sensibilisation active en collaboration avec les opérateurs de transport en commun. L'opposition forte à ce projet a progressivement laissé la place à une acceptation positive de cette intervention politique à grande échelle. Par ailleurs, le projet n'a causé aucune diminution de revenus pour les commerçants du centre-ville et certains ont même largement augmenté leurs rentrées. (CEE 2004b )



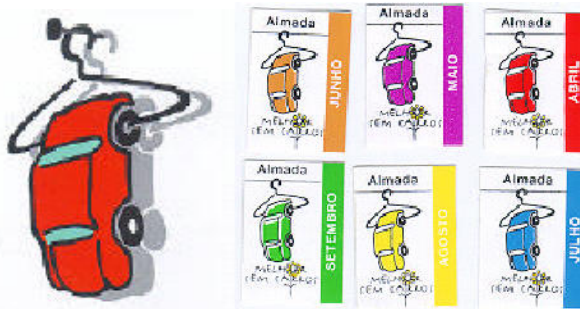
“Bruno”, symbole de la communication active réalisée à Strasbourg. (CEE 2004b )

La réduction du nombre de voitures dans le centre de Strasbourg a permis de redonner des espaces de qualité aux piétons et cyclistes. La place Kébler, par exemple, située dans le centre historique et qui était traversée par 50 000 véhicules par jour, a été rénovée et est devenue un lieu important du centre-ville depuis qu'elle est devenue piétonne. (CEE 2004b )



Place Kébler (CEE 2004b )

La qualité des efforts en termes de communication et d'image peuvent fortement influencer les résultats d'une campagne de sensibilisation. Un bel exemple est celui du projet "Better without my car", coordonné par IDAE (Agence espagnole de l'énergie) de novembre 2000 à décembre 2001. Ce projet avait pour objectif de réduire la consommation d'énergie dans les transports urbains en rationalisant l'utilisation des véhicules individuels et en permettant l'utilisation plus forte des transports publics. L'idée était de montrer aux habitants qu'ils sont une des clés principales du problème, permettant ainsi de renforcer une culture participative. Les supports de communication pour mettre en œuvre cette campagne ont été très variés afin de toucher le plus grand nombre : journaux et publicités, spots TV, posters, brochures, auto-collants pour les voitures participant au projet, matériels de marketing tels que tee-shirts, sacs en tissus, etc. Les schémas ci-dessous montrent le look attractif qui a été choisi. (ADEME 2002)



(ADEME 2002)

Les processus participatifs plus avancés sont basés sur un diagnostic initial qui s'accompagne de la définition d'objectifs, associés à des indicateurs permettant une évaluation continue aux différentes phases de l'aménagement. À Vesterbro, une équipe de consultants (architectes, sociologues, animateurs de quartier, assistants sociaux) de type coopératif a ainsi planifié les axes et les objectifs généraux et formulé une liste de priorités par blocs d'immeubles. À l'issue d'une présentation aux résidents, ces derniers bénéficiaient d'un délai de huit semaines pour faire connaître leurs objections au projet et leurs suggestions. Après cet échange, les concepteurs ont défini des plans d'action par îlots en intégrant les remarques des citoyens. Ce processus de concertation a duré environ un an.

La conception du quartier Vauban à Fribourg a connu une forte participation citoyenne. L'un des éléments les plus intéressants dans la constitution de la vie associative du quartier a été la création du *Forum Vauban*, une association privée et démocratique ouverte à toute la population du Quartier Vauban et qui a compté 250 membres. La participation citoyenne prévue pour le quartier Vauban a dépassé les simples concertations imposées par les réglementations actuelles. Fribourg a organisé une participation citoyenne élargie, qui a été constante pendant cinq années, depuis le concours d'idées jusqu'à l'élaboration du projet et le début des travaux.

Un groupe d'experts pluridisciplinaire (juriste, biologiste, urbaniste, physicien, géographe, économiste, expert bancaire, technicien de l'environnement), financés par la Fondation allemande pour l'environnement, la ville de Fribourg et le programme Life, ont été associés au Forum Vauban afin d'accompagner et d'animer les groupes de travail des habitants, de formuler des conseils et des recommandations techniques aux futurs habitants ainsi que de conseiller le groupe de travail communal chargé de suivre le développement du nouveau quartier. Sa

mission première d'informer les citoyens a conduit le Forum Vauban à éditer un magazine de sensibilisation à la conception et au suivi des actions associées à ce quartier. Ce medium a également servi de support publicitaire pour renforcer l'identité du quartier et attirer de nouveaux habitants.

La ville de Fribourg a privilégié le dialogue, même si parfois il s'est avéré complexe : près de 10 à 15% des décisions sont restées conflictuelles et ont dû être tranchées par la mairie. Par la participation citoyenne élargie, la ville a pris le parti de travailler main dans la main avec les futurs habitants, afin d'établir avec eux un cahier des charges du quartier (urbain et architectural). Les habitants ont ainsi fait valoir leurs convictions et leurs idées. Le projet Vauban a été continuellement adapté aux résultats des concertations, ce qui a permis à la municipalité de Fribourg de faire évoluer le projet et de l'améliorer au fur et à mesure, en partenariat avec le Forum Vauban. Sans cette importante participation citoyenne, le quartier Vauban n'aurait certainement pas vu le jour tel qu'il est actuellement.

Parlons aussi d'une première expérience pilote d'un panel de citoyens dans le Brabant wallon. Soixante deux habitants, tirés au sort, ont travaillé ensemble avec l'aide de spécialistes pour remettre aux autorités politiques leur avis dans le cadre de la future révision des plans de secteur de leur province. Ce sont des hommes et des femmes de 16 à 80 ans, ayant des professions très diverses : employés, ouvriers, sans-emploi, cadres, au foyer, pensionnés, étudiants... 36 heures de rencontres, d'informations et de débats avec une cinquantaine de personnes ressource, d'acteurs sociaux, économiques et environnementaux, et de représentants politiques. Entre février et mai 2001, ils ont échangé et confronté leurs points de vue. Ils ont participé à l'élaboration d'une réflexion commune et ont rédigé un avis commun... (André-Dumont 2002). La réussite de cette expérience concrète a permis de fonder la qualité de cette démarche d'un panel de citoyens. Il s'agit de :

- construire des espaces de dialogue entre les citoyens et le monde politique ;
- remettre un avis qui complète, sans les remplacer, les formes classiques de concertation et de participation ;
- aider la population à mieux s'approprier la décision prise par le politique.

Le travail de participation citoyenne élaboré par l'Atelier de Travail Urbain (ATU) de Grande-Synthe s'est caractérisée à la fois par l'expérimentation de nouvelles formes institutionnelles d'aide à la décision et par la recherche de procédures culturelles permettant aux citoyens de mieux connaître la ville et ses modes de production. Dès sa naissance en 1994, l'ATU affiche deux objectifs :

- formuler un projet urbain qui permette à ce qui n'est encore qu'une « banlieue éclatée en quartiers », d'évoluer vers une forme et un statut de « ville » à travers la restructuration de ses espaces publics.
- faire du projet urbain l'occasion d'approfondir le débat démocratique et la réflexion sur la ville et de rendre permanente la participation des habitants dans la définition du cadre de vie.

D'après les participants, l'ATU devient rapidement un « lieu d'intégration », « un lieu de formation civique », « une école non seulement de la ville mais aussi de la vie ». Il s'est avéré que ce type de participation est une solution d'aide réelle face aux problèmes d'intégration que connaissent les habitants d'origine étrangère ; la réflexion et le débat sur la ville et l'espace public jouent un rôle important dans l'établissement d'un dialogue avec eux. (ATU 1995)

Mais n'oublions pas que l'intégration du processus de participation est un choix qui se développe dans le temps et avec l'expérience : « *la participation est comme la démocratie: elle ne se donne pas, elle se conquiert par un travail quotidien* ». (Schoonbrodt & Marechal 2000)

### **1.2.3 L'adaptation**

Joël de Rosnay nous rappelle que, pour qu'un système complexe puisse durer, il ne suffit pas qu'il soit optimisé par rapport aux circonstances de sa formation, mais il doit aussi « *s'adapter aux modifications de l'environnement et évoluer. Sinon, des agressions extérieures ne tardent pas à le désorganiser et à le détruire.* » (de Rosnay 1975)

S'inscrire dans un milieu s'est aussi être capable d'évoluer en même temps que ce milieu. Cette adaptation est donc un ajustement aux modifications éventuelles du contexte physique, construit ou humain d'un lieu. Par l'adaptation physique, il s'agit notamment de tenir compte des évolutions du site ou du climat. Par l'adaptation du contexte construit, on peut intégrer le vieillissement et le remplacement de certains bâtiments. Par l'adaptation au contexte humain, il s'agit de s'adapter à l'évolution des attentes des habitants. Les tendances sensibles au sein de la société actuelle sont notamment l'augmentation des loisirs, le vieillissement de la population et l'évolution de la taille des ménages qui va en se rétrécissant. Ces éléments sont donc plutôt favorables à un retour de la population en ville.

Ce principe d'adaptation s'applique à toutes les échelles spatiales et temporelles de notre contexte. Par exemple, l'architecte doit tenir compte des variations climatiques saisonnières et locales pour assurer en permanence le confort des habitants. Il doit aussi envisager les modifications profondes du contexte physique telles que le réchauffement climatique global. Ainsi, notons que les circonstances actuelles de pollution urbaine sont très différentes de celles du passé.

L'urbanisme, comme programme d'ensemble, est de conception récente mais depuis toujours la ville se transforme, se régénère, se construit sur elle-même pour s'adapter aux besoins de ses habitants et à la mutation des modes de production.



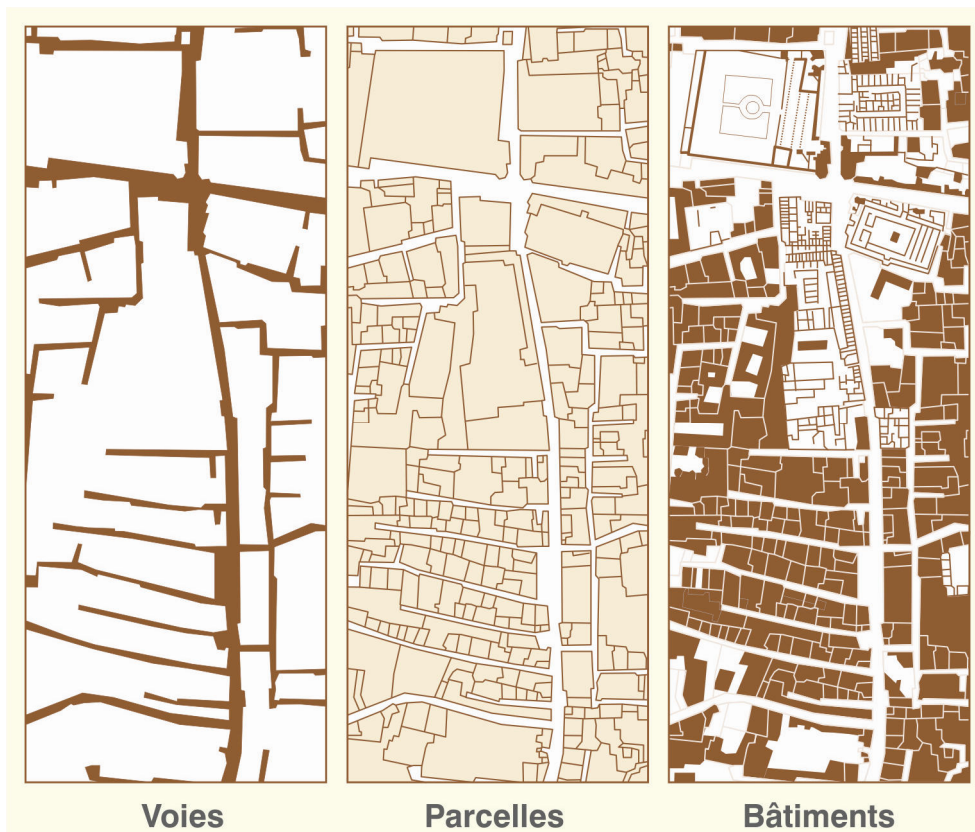
Transformations urbaines. (Photo : S. Reiter).

La pratique du « renouvellement urbain » est une constante de l'histoire des villes : toutes les villes ont connu des changements, des bouleversements, des métamorphoses... L'obsolescence qui peut temporairement toucher certains

territoires urbains est un phénomène naturel. Une société qui est incapable de se reproduire est une société qui meurt.

Les villes sont condamnées à la recherche d'un équilibre toujours à recommencer. Mais il faut le faire en s'inscrivant dans une continuité avec des structures urbaines aussi durables que possible. « *La qualité du tissu ancien qui devrait être la qualité de tout tissu urbain (pourvu qu'on l'y autorise) tient à sa capacité d'assurer simultanément la stabilité et le changement. D'un côté la permanence des tracés, l'existence de monuments, la convention qui régit l'espace public, la persistance des activités et des symboles ; de l'autre, la malléabilité des constructions, le changement des usages, la reconversion des bâtiments, la substitution de certains d'entre eux.* » (Panerai & al. 1999). Rome est par excellence l'exemple d'une ville qui a toujours su se renouveler. N'est-ce pas pour cela qu'on la surnomme la « ville éternelle » ?

La ville traditionnelle se caractérise par un tissu urbain adaptable, issu d'une recherche de contiguïté et d'articulations. Les centres villes européens ont généralement conservé un lien étroit entre le bâti, le système de voiries et le parcellaire. C'est l'imbrication de ces trois composantes de base de la morphologie urbaine qui permet à la ville d'évoluer tout en maintenant la cohésion de l'ensemble et la clarté de la structure (Panerai & al. 1999). Le schéma ci-dessous présente ces trois composantes essentielles du tissu urbain : les voies, les parcelles et les bâtiments. Leur désolidarisation complexifie leurs capacités d'évolution, de diversification et d'appropriation.

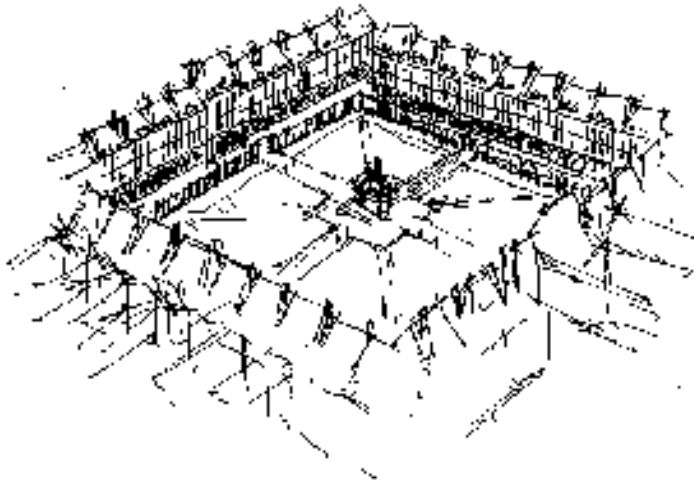


D'autre part, soulignons la qualité de multifonctionnalité intrinsèque à ce tissu urbain traditionnel. C'est une qualité essentielle pour les possibilités d'adaptation d'une ville. Tout quartier devrait offrir une variété de fonctions économiques,

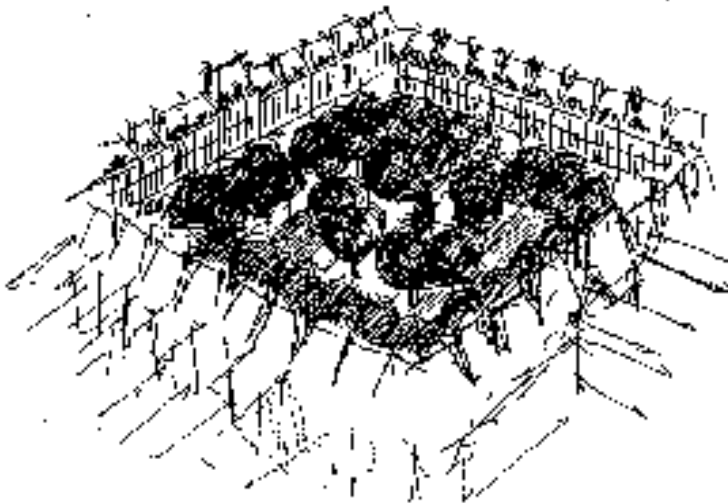
sociales, culturelles et naturelles pour assurer le plus haut degré d'adaptation à long terme.

Les différents courants urbains modernes et post-modernes ont malheureusement participé à la perte du tissu urbain traditionnel et à la formation d'une architecture « objet » sans référence à l'espace public. Citons quelques éléments emblématiques des disfonctionnements des étendues urbanisées contemporaines : le zonage fonctionnel, la séparation des réseaux de mobilité, le rejet de l'alignement et du front de rue, le pastiche du passé,.... Ces processus de développement urbain paralysent les capacités naturelles d'adaptation des villes.

En général, les rôles donnés aux espaces urbains évoluent plus rapidement que la forme construite. La place des Vosges à Paris est un bon exemple de cette capacité d'un lieu public à accueillir des adaptations et des modifications de son usage, tout en continuant d'assurer son rôle dans la structure des espaces publics de la ville. Les deux schémas ci-dessous (Bertrand & Listowski 1984) représentent l'évolution de son aménagement au cours des siècles.



Place des Vosges à l'origine : la place royale (statue équestre et parterres).  
(Dessin : Bertrand & Listowski 1984)



Place des Vosges aujourd'hui : un square du quartier.  
(Dessin : Bertrand & Listowski 1984)

Ce concept d'adaptation signifie également qu'il faut conserver dans la durée grâce à la rénovation des bâtiments, au recyclage de ses composants ou à la transformation de son usage.

Une règle de bonne pratique est de **rénover**, de **réaffecter** ou de **recycler** tout élément construit quand c'est possible. Le viaduc de la Bastille à Paris offre un exemple des avantages sociaux, économiques et environnementaux qui peuvent être générés grâce à la réutilisation de constructions urbaines existantes. Les photos ci-dessous présentent cette superbe rénovation urbaine. La partie supérieure est maintenant aménagée en un parc linéaire surélevé, à travers lequel court une promenade bordée d'arbres. Ce projet, dirigé par l'architecte Patrick Berger, comprend 13 hectares de parc au-dessus du viaduc et la conception de magasins dans les arches du pont au niveau du sol.



Rénovation urbaine du viaduc de la Bastille, à Paris. (Photos : S. Reiter).

A Copenhague, le quartier Vesterbro a été l'objet d'une rénovation urbaine profonde. Proche de la gare centrale, sud-ouest de la ville, il s'étend sur 35 hectares. L'habitat, majoritaire, côtoie des immeubles bureaux et des hôtels.

Construit entre 1850 et 1920, ce quartier autrefois appelé "Inner Vesterbro" alignait des immeubles de 5 ou 6 étages maximum datant, pour 90% d'entre eux, d'avant 1900. 64% des appartements ne possédaient pas de chauffage central ni d'alimentation en eau chaude sanitaire, 71% n'étaient pas équipés de salles de bain, 11% n'avaient pas de WC. Environ 6 100 habitants vivaient alors dans ce quartier très dense : étudiants principalement, mais aussi immigrés, retraités, chômeurs... souvent en grande précarité. Propriété de particuliers ou de la ville, la plupart des appartements étaient en location. Ce quartier devenait progressivement un ghetto favorisant le trafic de drogue, la criminalité et le chômage (20% des habitants, soit

un taux de chômage deux fois supérieur à la moyenne nationale). En 1990, un programme de réhabilitation de ce quartier a été lancé. Le plan ci-dessous montre l'ampleur de la zone rénovée. (IMBE 2005).



Quartier Vesterbro. (IMBE 2005)

Les architectes danois chargés de sa rénovation ont su créer à Vesterbro des blocs d'immeubles harmonieux mêlant des constructions d'architecture très contemporaine avec des bâtiments existants rénovés. Les anciennes cours intérieures des îlots ont été remplacées par des espaces verts équipés d'abris pour les vélos, de containers à déchets, d'étendoirs à linge, ...



Le quartier Vesterbro à Copenhague (IMBE 2005)

Grâce aux cheminements piétonniers, les habitants profitent des efforts engagés en matière de verdissement du quartier. La mixité fonctionnelle de ce dernier leur permet, la plupart du temps, de se rendre à pied au supermarché, chez le médecin, à l'école et au travail.



Le quartier Vesterbro à Copenhague (IMBE 2005)

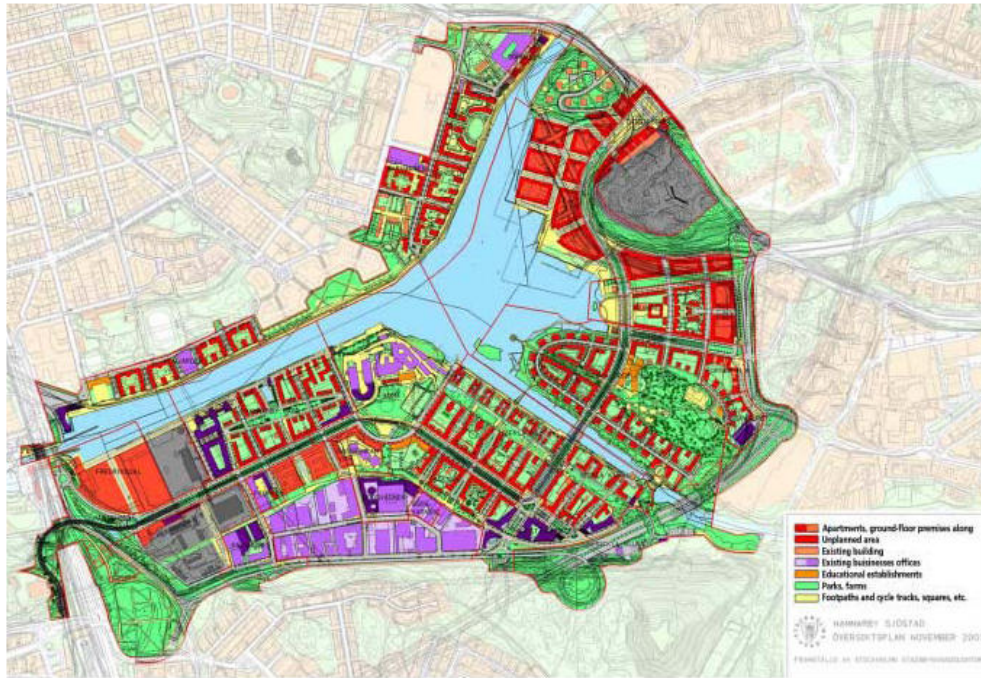


Les solutions techniques retenues ne s'appliquent pas à tous les immeubles rénovés de Vesterbro. Chaque îlot a ses solutions techniques spécifiques, utilisées seules ou de façon intégrée. Citons, à titre d'exemple, celles retenues dans le bloc d'immeubles de Hedebygade, qui a contribué à la mise en oeuvre de solutions écologiques de rénovation des vieux bâtiments: isolation, intégration des technologies de chauffage solaire, cellules photovoltaïques sur les façades exposées au sud et ventilation couplée au système d'énergie solaire avec un pré-chauffage de l'air, réseau de distribution de l'eau à basse température, éclairage naturel, mesures des consommations énergétiques par le biais de compteurs, tri des déchets, purification de l'air à l'aide de plantes vertes, toitures et façades végétalisées, création d'une maison communautaire...

Il faut toutefois souligner que la réhabilitation du parc de logements a entraîné insensiblement un changement de la composition de la population, en attirant des personnes à niveau social plus élevé. En effet, la rénovation urbaine de Vesterbro a produit une augmentation des loyers qui a fait fuir les ménages les plus modestes - obligeant le gouvernement local à leur trouver un nouveau logement- et parallèlement a attiré une couche sociale plus aisée. Il est regrettable que la couche sociale la plus défavorisée n'ait pas pu profiter des bénéfices de cette action de renouvellement urbain et c'est une constatation qu'il faudrait tenter de prendre en compte dans des projets futurs de ce type. Signalons cependant que le quartier présente aujourd'hui une plus grande mixité sociale qu'auparavant.

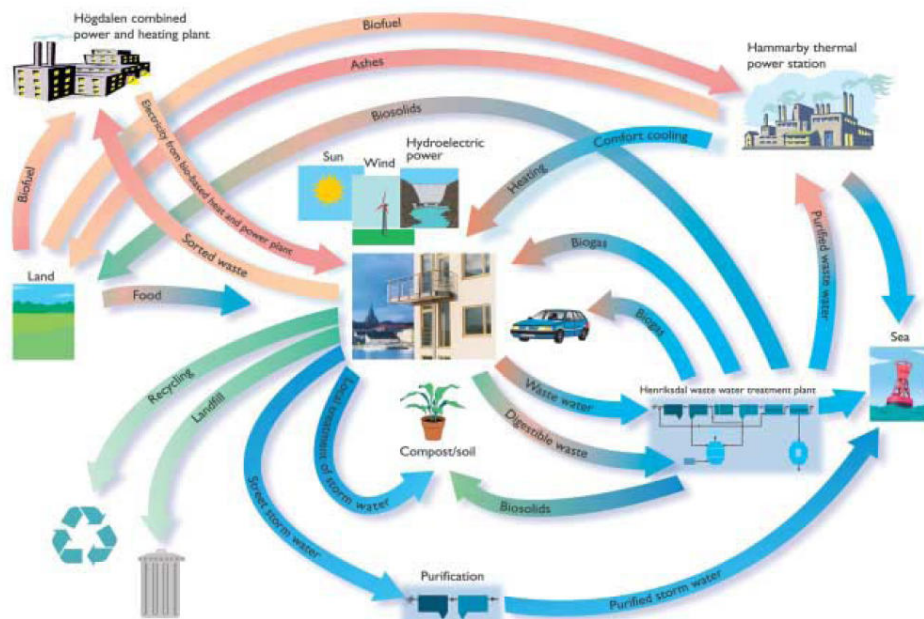
**L'approche écosystémique** urbaine met en évidence le quartier comme un système complexe caractérisé par des processus d'échanges, mais aussi de changements continus. Les éléments tels l'énergie, les ressources naturelles, les déchets, les substances nutritives ou les matériaux sont considérés comme des flux qu'il s'agit d'entretenir, de restaurer, de stimuler et de valoriser au mieux, dans une perspective d'économie en boucle et de recyclage. Chaque quartier peut également être considéré comme un écosystème social qui assimile différentes catégories d'individus, de modes de vie, d'activités ou de cultures. Selon cette notion d'écologie humaine, le quartier doit avant tout être conçu afin d'offrir des services et des infrastructures de base accessibles à tous et doit pouvoir, par ailleurs, s'adapter à des aspirations et à des contraintes sociales en perpétuelle mutation. Le quartier Hammarby Sjöstad en Suède illustre parfaitement cette vision à la fois environnementale et sociale de l'approche écosystémique urbaine.

Hammarby Sjöstad était un quartier sinistré qui est devenu un modèle de quartier durable, après un renouvellement urbain de grande ampleur. Ancien site portuaire et industriel partiellement en friche, d'une superficie d'environ 200 hectares, il se trouve au sud, à proximité immédiate du centre ville de Stockholm et de la réserve naturelle de Nacka. Jusqu'à son renouveau dans les années 90, son paysage était constitué de baraquements, d'entrepôts, de bureaux et de petites industries. Aujourd'hui, ce quartier regroupe des habitations, commerces et bureaux. Au démarrage du projet, les prévisions étaient de 8 000 appartements pour 15 000 habitants et 8 000 emplois créés. L'aménagement doit se terminer en 2010 et ambitionne d'accueillir une population de 30 000 personnes vivant et travaillant dans le quartier. Le schéma ci-dessous donne le plan d'implantation d' Hammarby Sjöstad.



Le quartier Hammarby Sjöstad en Suède (IMBE 2005)

Le modèle “Éco-cycle” utilisé dans la phase de conception de ce projet de renouvellement urbain est un programme environnemental conçu dans l'intention de rendre autonome le quartier tout au long de son cycle de vie. Six objectifs environnementaux le fondent : les transports en commun (tramway, ferry boat, ...), les matériaux de construction sains, l'utilisation des sols déjà construits, le plafonnement du bruit à 45 dB, la décontamination des sols et enfin l'optimisation des services d'énergie, d'eau et de déchets. Les rejets et déchets du quartier ont pu être divisés par deux grâce au recyclage, à la séparation des eaux usées et pluviales ainsi qu'à l'utilisation de nouvelles technologies. (IMBE 2005)



Modèle « éco-cycle » du quartier Hammarby (IMBE 2005)

Les photos ci-dessous montrent la qualité des bâtiments et des espaces publics de cette rénovation urbaine.



Le quartier Hammarby Sjöstad en Suède (IMBE 2005)

Aujourd'hui, Hammarby est en mesure d'offrir un bon nombre des services d'un centre ville. Tout est mis en oeuvre pour le bien-être des habitants, des plus jeunes aux plus âgés, en passant par les plus fragiles. Au coeur des îlots, la vie a repris ses droits depuis que les gens s'approprient les espaces communs.



Le quartier Hammarby Sjöstad en Suède (IMBE 2005)

## 1.3 Coexistence

La pauvreté et les inégalités sociales actuelles sur Terre sont inacceptables. Nous ne pouvons plus continuer de vivre dans la prospérité en niant les besoins fondamentaux de la majorité des êtres humains. Il est temps de coexister sur notre planète et de partager nos ressources pour vivre ensemble dans la paix et le bien-être. Nous pensons qu'il faut concevoir aujourd'hui une éthique pour habiter-ensemble sur Terre, dans le respect de la différence de chacun.

Rappelons le premier principe de la Déclaration des Droits de l'Homme : « *Tous les êtres humains naissent libres et égaux en dignité et en droits. Ils sont doués de raison et de conscience et doivent agir les uns envers les autres dans un esprit de fraternité* ». Toutefois, les niveaux de consommation des ressources par les pays industrialisés ne peuvent satisfaire l'ensemble de la population mondiale actuelle et encore moins les générations futures, sans détruire définitivement le capital naturel. Œuvrer dans le sens du développement durable nécessite de travailler à limiter la pauvreté, assurer la santé publique et la qualité de l'environnement naturel et construit pour protéger durablement la vie humaine ainsi que l'équilibre des écosystèmes et l'épanouissement de la faune et de la flore dont l'humanité reste dépendante. Ainsi, du point de vue du développement durable, le concept de coexistence réaffirme le premier principe de la déclaration des droits de l'homme mais il l'élargit et le prolonge dans ses dimensions spatiales (prise en compte du bien-être de l'ensemble des nations mais aussi des écosystèmes et de toutes les formes de vie sur Terre) et temporelles (les générations passées, présentes et futures).

Afin de parvenir à un développement durable et à une meilleure qualité de vie pour tous les peuples, chaque état devrait réduire et éliminer les modes de production et de consommation non viables et promouvoir des politiques démographiques appropriées. Cependant, conformément à la déclaration de Rio sur l'environnement et le développement ainsi qu'à la Charte des Nations Unies et aux principes du droit international, chaque pays a le droit d'exploiter ses ressources selon sa politique propre pour autant qu'il évite de causer des dommages à d'autres zones terrestres.

Les philosophes grecs de l'Antiquité, notamment Platon et Aristote, de même que les philosophes médiévaux dans leur ensemble, ont soutenu l'idée que l'homme est par nature un animal civique. L'homme n'est et ne devient vraiment lui-même que dans la Cité, c'est-à-dire dans la société civile et politique. Il est donc fait par et pour la vie sociale.

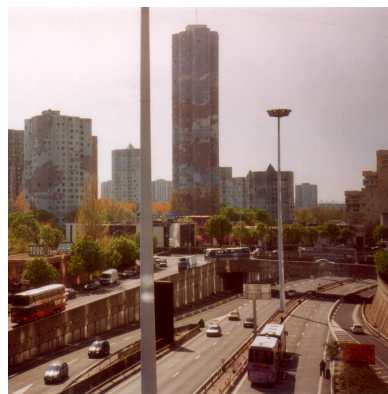
La ville est à la fois un produit social et un bien commun. L'urbain pose fondamentalement la question de l'être ensemble. En tant qu'établissement commun construit par l'homme, la ville est coexistence. Habiter en ville, c'est exprimer un mode de « vivre-ensemble », c'est-à-dire co-habiter. L'espace public est par essence le lieu privilégié de cette cohabitation. Ainsi, la coexistence, qui qualifie un espace de sa **nature collective**, est un des éléments fondateurs de tout lieu public. La question de l'espace public nous interroge sur nos capacités à vivre ensemble dans un monde de plus en plus individualisé. Il s'agit bien de retrouver, dans le partage de l'espace public, une éthique de vie en société : la cohabitation implique la **mise en présence dense et complexe des différences**.



Les photos ci-dessous montrent un exemple et un contre-exemple de la signification du concept de coexistence urbaine. Ainsi, la place de l'Épée offre un lieu de **rassemblement**, situé dans un tissu dense, présentant une grande **diversité** et une **ouverture** à l'altérité. Il s'agit d'un large espace appropriable pour les piétons, mais qui n'exclut pas totalement les voitures qui peuvent longer la place sur trois de ses bords. Cette place urbaine est bien un lieu créateur de coexistence. Par opposition à cet exemple réussi, la photo de droite montre un exemple européen de l'envahissement de l'espace public par les voitures et d'une morphologie urbaine qui nie toute relation ; le piéton est totalement exclu de ce type d'urbanisme, qui nous empêche de vivre ensemble.



Place de l'Épée à Bruxelles. (Reiter 2003)



La défense, Paris. (Reiter 2003)

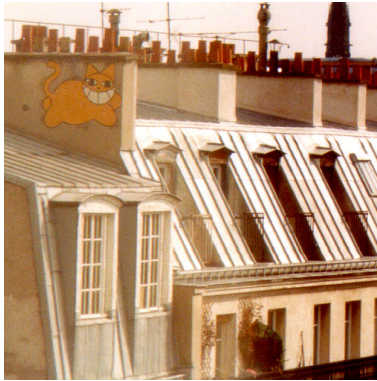
Les paragraphes qui suivent interrogent l'espace public sous cet angle du vivre-ensemble pour arriver à mieux cerner cette notion de coexistence, à travers les concepts de rassemblement, de diversité et d'ouverture.

### **1.3.1 Le rassemblement**

Cette coexistence essentielle de la ville est avant tout un rassemblement. Martin Heidegger nous rappelle que « *le lieu rassemble. Le rassemblement conduit le rassemble à son être et l'y abrite* » ou, dit autrement, « *le lieu est ce qui rassemble en soi l'être d'une chose.* » (Heidegger 1958). Il existe une quantité d'exemples qui illustrent le rôle de centre de rassemblement des espaces publics urbains. Nous pouvons mentionner l'agora grecque et le forum romain, les marchés du Moyen-Age et les places des cathédrales qui unifiaient l'intérieur symbolique de l'édifice à la ville profane.

Malheureusement, peu de places publiques sont encore de véritables lieux : pour qu'un espace public devienne lieu, il doit rassembler. Ce rassemblement se décline selon différentes gammes allant de la coexistence historique des strates ou couches de la ville à la diversité économique en passant par la mixité de la population et des fonctions ou la coexistence symbolique.

Il y a dans l'être-là, dit Heidegger, une tendance essentielle à la proximité; pour créer des connexions entre êtres et choses, il faut d'abord les rapprocher. Et d'après Hannah Arendt, « *il faut que les hommes vivent assez près les uns des autres pour que les possibilités de l'action soient toujours présentes.* » (Arendt 1983). Plutôt que de favoriser la rapidité de la mobilité entre zones éloignées, l'espace urbain se devrait d'offrir des possibilités de trouver des réponses à la majorité des besoins dans la proximité. Le rassemblement demande une proximité, c'est-à-dire un regroupement selon une certaine densité.



Les toits de Paris  
(Photos : Reiter 2003).



La place des Sciences à Louvain-la-Neuve

Seules la concentration des lieux habités et la densité humaine qui caractérisent la ville rendent possible l'anonymat en tant que condition de possibilité pour les libertés réelles. « *Stadtluft macht frei* » : l'air de la ville émancipe (rend libre). Ce dicton célèbre renvoie aux libertés que procurait la ville médiévale par opposition au servage rural mais à l'heure actuelle on peut le réinterpréter au travers du concept philosophique de liberté comme possibilité d'autodétermination humaine. La ville rend toujours libre aujourd'hui : dans beaucoup de pays du monde, la ville facilite une certaine libération de la femme, en lui permettant de contester plus facilement l'autorité de l'homme et de gagner sa vie par elle-même.

Il existe des liens historiques entre la construction de la ville européenne et la construction et la légitimation progressive des principes des droits de l'homme. Ainsi, la genèse urbaine des droits de l'homme est visible dans les luttes historiques aussi anciennes que la lutte des communautés urbaines d'Italie, des Flandres et d'Allemagne (Ansay & Schoonbrodt 1989).

L'automobile, l'informatique et les nouvelles techniques de communication sont souvent présentées comme des atouts pour s'installer hors de la ville et des substituts à la proximité physique et à la communication humaine directe. Les formes spatiales sont révélatrices des valeurs collectives d'une civilisation : cette nouvelle société de l'information définit des espaces abstraits qui nous coupent de notre territoire physique et de notre corps. C'est pourquoi, la facilité de l'information à distance augmente paradoxalement nos besoins de contacts humains personnels (CEE 1990). La place publique en ville reste donc le lieu privilégié de ce face à face sans médiation, indispensable aux vrais contacts humains.

« La ville devrait être le lieu où il est possible de s'unir aux autres sans tomber dans la compulsion de l'intimité. Je ne crois pas qu'il s'agisse d'une vision utopique : après tout, la ville a toujours constitué, jusqu'au siècle dernier, un foyer de vie sociale active, un lieu où pouvaient se révéler et se vivre toutes les possibilités humaines ». (Sennett 1979)

L'urbanité de la ville se mesure à sa capacité de rassembler en aménageant des espaces publics suffisamment nombreux et attractifs pour permettre aux citoyens de se rencontrer, d'échanger, de se réunir, selon l'occasion, l'heure de la journée ou le choix existentiel de chacun. Les nœuds autoroutiers et les grands espaces vides de nos urbanisations dispersées ne sont pas des espaces de frictions qui rendent possible le contact. La ville apparaît comme le seul lieu possible à l'apprentissage de la civilité, premier pas vers une volonté de vivre ensemble démocratique, c.à. d. une manière de concilier l'existence de différences et l'invention d'un commun.



Vivre ensemble. (Photo : S. Reiter).

Pour motiver les passants à s'attarder sur une place publique, il faut leur offrir des possibilités variées d'activités et de repos. On doit par exemple pouvoir s'asseoir à l'ombre et au soleil, en groupe ou à l'écart, en prenant une consommation ou sans avoir d'argent,... Ainsi, une bonne répartition des bancs, murets et autres opportunités pour s'asseoir dans tout l'espace disponible favorise l'utilisation de ceux-ci par les différents types d'individus qui traversent la place (Gillon 2002).

Inviter les citoyens à séjourner sur une place signifie que les possibilités de s'y arrêter et de s'y asseoir doivent être évidentes. La séparation claire entre piétons et voitures est un élément important de l'aménagement de tout espace public. Divers dispositifs peuvent faciliter cette séparation : bordures, bandes de matériaux nobles, usages de revêtements spécifiques pour chaque type d'usager, disposition en lignes d'éléments créant une limite visuelle telles qu'une rangée d'arbres ou du mobilier urbain (lampadaires, bancs, poubelles,...). La photo ci-dessous représente la place Joachim du Bellay à Paris (Gillon 2002).



La place Joachim du Bellay à Paris (Gillon 2002).

Nos places urbaines sont trop souvent envahies par des parkings omniprésents. Ainsi, de nombreux espaces ouverts dans nos villes ont perdu leur caractère de lieu public parce qu'ils sont encombrés par le stationnement automobile. Ces espaces publics ont perdu leur rôle de rassemblement et ne laissent plus la place aux rencontres aléatoires indispensables pour toute ville durable.



Place du Grand Sablon à Bruxelles - Place Rouppe à Bruxelles. (Photos : S.Reiter).

Ce processus peut toutefois être enravé. La place d'armes à Namur est un bel exemple du réaménagement d'une place qui servait de parking en une espace public collectif et vivant (marchés réguliers,...). Un parking a été créé au sous-sol.



La place d'armes à Namur (Photo : S.Reiter).

Les espaces publics de Louvain-la-Neuve sont des lieux conçus pour induire de nombreuses rencontres : ces rues piétonnes et conviviales génèrent un face à face qui incite à la discussion.



Rue piétonne à Louvain-la-neuve (Photo : S.Reiter).



Au niveau urbain, rassembler signifie aussi réunir des significations multiples, articuler le dehors et le dedans, l'ombre et la lumière, le public et le privé, le quotidien et l'exceptionnel, le sacré et le profane... C'est ainsi qu'on pourrait définir l'espace public urbain comme un complexe de formes, de temps, de forces et de significations qui suppose un rassemblement dans la différence.

Le rassemblement que devrait créer l'espace public n'est pas seulement spatial mais aussi temporel. L'espace public est créateur de mémoire. Écoutons Charles Péguy nous parler de la ville: « *Ramassant tout cela, concentrant, fixant tout cela comme un point sur la carte, ramassant, concentrant, fixant le temporel et l'éternel dedans, cerclant tout cela dans leur couronne murale, encerclant, reconcentrant tout cela dans leur front de pierre, matérialisant tout cela dans la pierre de leur corps, dans leur corps de pierre, sous leur front de marbre, faisant du temps même un lieu, faisant de l'histoire une géographie, une topographie, un plan, quelle réussite* ».

Les principes directeurs de l'UNESCO confirment que le patrimoine culturel de l'humanité est indispensable à son équilibre et à son développement dans la mesure où il lui offre un cadre adapté à son mode de vie et lui permet de rester en contact avec le témoignage des civilisations antérieures. Le patrimoine culturel est une ressource très fragile qu'il convient de préserver pour les générations futures.



Patrimoine culturel de l'humanité à Rome (Photo : S.Reiter).

N'oublions toutefois pas que, si les espaces publics de la ville sont des lieux de mémoire, ils devraient toujours être aussi des lieux de projets car nous n'héritons pas seulement notre environnement de nos parents, nous le léguons aussi à nos enfants.



Le Centre Georges Pompidou à Paris  
(Architectes: R. Piano et R. Rogers; photo : S.Reiter).

Juxtaposer anciens et nouveaux bâtiments est une pratique qui a un long passé dans nos villes. Beaucoup de nos villes européennes affichent des contrastes frappants entre différents styles architecturaux du passé. Il existe des compositions sublimes, telles que celle du King's College à Cambridge où la célèbre chapelle gothique, autrefois isolée au milieu d'une prairie, se détache aujourd'hui devant des bâtiments classiques.

On peut donc voir l'espace public comme la coexistence spatiale de plusieurs temps. C'est un des rôles de l'espace public que d'offrir ces possibilités de coexistence harmonieuse entre des édifices de différentes époques.



La Maison Carrée et le Carré d'Art à Nîmes. (Photo : S. Reiter).

Les trois photos ci-dessous donnent un exemple de la différence fondamentale entre l'urbanisation contemporaine dispersée et les paysages belges traditionnels. L'étalement croissant de nos urbanisations cause la perte de notre patrimoine paysager, contrairement aux villages traditionnels qui assuraient un certain regroupement du bâti et présentaient des caractéristiques régionales.



Urbanisation contemporaine dispersée. (Photo : Ministère de la Région Wallonne 1985).



Paysage naturel wallon



Village wallon traditionnel

(Photo de gauche : S. Reiter ; photo de droite: Ministère de la Région Wallonne 1985)

Les liens entre ville et campagne sont d'une importance déterminante pour la viabilité des établissements humains. En outre, dans de nombreuses régions du monde, les agglomérations rurales constituent un enjeu majeur parce qu'elles permettent d'atténuer les pressions qui s'exercent sur le développement urbain. Ainsi, une densité urbaine moyenne associée à des agglomérations rurales de petites dimensions mais de grande qualité permet d'assurer un rassemblement suffisamment dense pour éviter les nuisances environnementales, sociales et économiques générées par l'étalement urbain actuel.

Les incidences sur l'environnement de la construction d'un nouveau lotissement en zone rurale sont généralement négatives à plusieurs niveaux : perte des sols aptes à la culture, risques de pollution domestique affectant une nappe souterraine, diminution de la visibilité du paysage rural, augmentation de l'utilisation de la voiture ... Il est donc essentiel de s'interroger sur les critères de réappropriation des centres urbains et sur les possibilités de densification des noyaux d'habitat existants. A l'heure actuelle, il est inacceptable de continuer de construire des petits lotissements avec maisons quatre façades, loin de toute infrastructure de transport en commun.

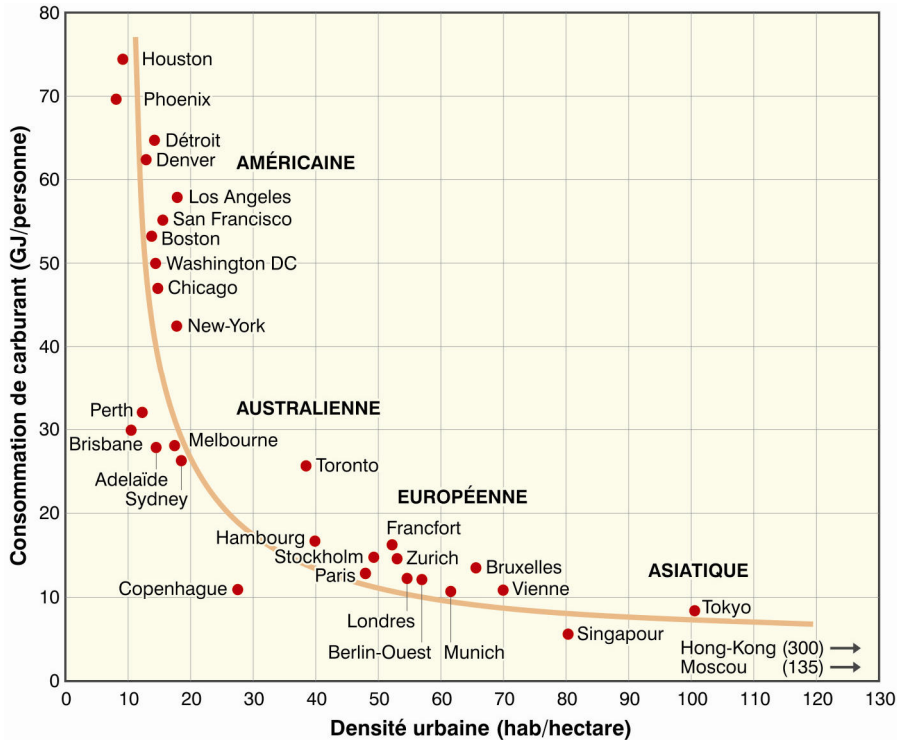
Une certaine densité d'habitat est également nécessaire aux niveaux économique et social. La dispersion des logements s'accompagne d'infrastructures pour permettre l'alimentation en eau, gaz, électricité des nouveaux sites urbanisés, de la création de superstructures telles que les équipements culturels ainsi que d'une augmentation de l'offre des services en matière de distribution postale ou de collecte de déchets. Les coûts ainsi engendrés sont, proportionnellement, nettement supérieurs à ceux qui sont liés à une urbanisation de forte densité. Et au niveau social, le manque de densité crée forcément un manque de possibilités de rencontres et l'absence d'espace public de partage.

Signalons également que la dispersion de l'habitat crée davantage de différenciation démographique et sociale entre zones urbanisées, ce qui induit le développement d'inégalités sociales entre les noyaux denses et les zones périurbaines. Il en résulte un appauvrissement des villes par la baisse de recettes fiscales provenant des habitants du centre, l'augmentation des dépenses sociales, la dégradation des logements et les dépenses nécessaires à la rénovation urbaine... (Martin 2003).

La densité du bâti est au coeur de la définition de la ville dans son acception traditionnelle. Cette recherche d'une densité forte correspond à différents avantages écologiques:

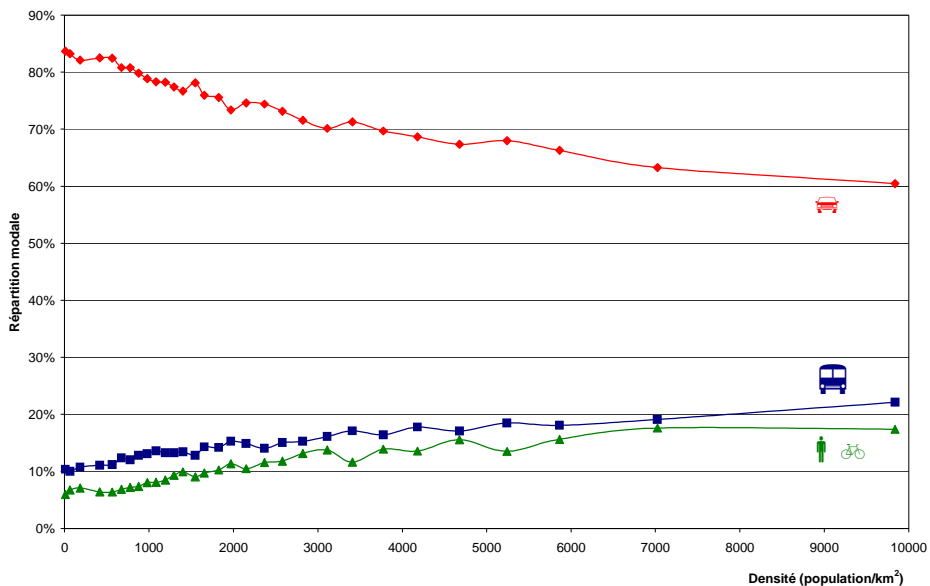
- une plus faible emprise de la ville sur le paysage et donc la préservation de ressources naturelles et de territoires non urbanisés.
- la diminution des déperditions énergétiques des bâtiments grâce à la mitoyenneté, à la compacité des constructions et à l'effet d'îlot de chaleur urbain.
- la limitation des trajets nécessaires et donc des dépenses énergétiques associées. Des études ont montré qu'il existe une corrélation significative entre le couple densité démographique élevée/taille de la ville et la diminution de la longueur moyenne des déplacements ainsi qu'entre une faible densité urbaine et un usage intensif de la voiture (CEE 1996)

Le graphe ci-dessous donne la répartition des consommations de carburant par personne en 1980 en fonction de la densité urbaine en nombre d'habitants par hectare (Newman & Kenworthy 1989). On constate une très forte augmentation moyenne de l'utilisation de la voiture lorsque la densité tombe en-dessous de 30 personnes par hectare.



Répartition des consommations de carburant par personne en fonction du nombre d'habitants par hectare (Newman & Kenworthy 1989)

Cette constatation est confirmée en Belgique par une étude de la région wallonne en 1991. Le graphe ci-dessous montre la répartition modale des déplacements domicile-travail en fonction de la densité (nombre d'habitants/km<sup>2</sup>).



Répartition modale du transport en Région wallonne en fonction de la densité (CPDT 1991).

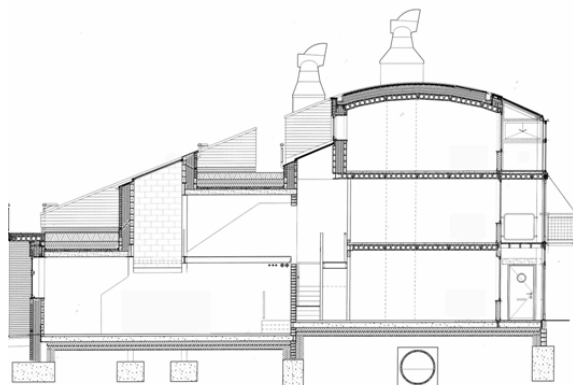
Les études de la CPDT (2002) ont montré quels étaient les paramètres qui affectent le coût d'une désurbanisation latente. Parmi ceux-ci, la consommation d'espace par l'urbanisation peu structurée, la dédensification urbaine et la monofonctionnalité de certaines zones sont clairement pointées comme causes de coûts collectifs importants et d'impacts environnementaux négatifs. 8

Au niveau européen, le projet Propolis (CEE 2004-c), a testé, modèles à l'appui, différentes politiques d'aménagement du territoire et de transport dans sept villes européennes. La conclusion de cette recherche est que les politiques individuelles axées sur la restriction de la voiture, l'utilisation des transports publics ou l'aménagement d'une zone urbaine ne sont pas suffisantes à elles seules pour rencontrer les objectifs d'un développement durable. Pour être vraiment efficaces et assurer la viabilité des villes européennes à long terme, il est indispensable de coordonner ces différentes politiques et de les combiner avec des mesures d'aménagement du territoire et d'urbanisme visant à augmenter la densité urbaine et l'utilisation mixte des sols.

Quand on parle de densifier notre habitat, il s'agit d'aller contre la tendance européenne actuelle à l'étalement des constructions à travers tout notre paysage. Pour combattre le phénomène de désurbanisation et le départ en périphérie non seulement des habitants mais aussi de nombreuses fonctions urbaines, entraînant une paupérisation du cadre bâti et des populations résidentes au cœur des villes, il faut envisager :

- de stabiliser la présence de la fonction résidentielle dans les parties les plus centrales et les plus denses de la ville,
- de densifier l'habitat dans les périphéries les plus proches (parcelles inoccupées, intérieurs d'îlots surdimensionnés,...), les espaces urbains abandonnés (friches urbaines, sites d'activité économique désaffectés, ...) et autour des connections de lignes de transport en commun.
- de concevoir des espaces publics de qualité tant à l'échelle de la ville qu'à celle du quartier.

Le modèle architectural et urbanistique de BedZED (Beddington Zero Energy fossil Development) est un exemple d'une densité fonctionnelle élevée, obtenue grâce à l'intégration architecturale des espaces d'habitation (façades sud des immeubles) et des espaces de travail (façades nord). Chaque logement dispose d'une serre, exposée au sud afin de capter la chaleur et la lumière du soleil. Des espaces réservés aux cyclistes et aux piétons ont été aménagés devant les logements ainsi qu'entre deux corps de bâtiments : les enfants peuvent y jouer en toute sécurité. La mixité fonctionnelle du quartier permet aux résidents travaillant sur place de réduire les déplacements, puisque les bureaux et les différents services (café, garderie, pharmacie, centre médical) sont à proximité des habitations.



De gauche à droite : bureau, habitation, serre. (Coupe : Simos Yannas)



BedZED (Photo : Simos Yannas)



BedZED (IMBE 2005)

Cet exemple est une solution parmi d'autres pour générer une mixité des usages dans un quartier. D'autres solutions de mixité existent à différentes échelles et selon des modalités variées : citons par exemple la mixité fonctionnelle au sein d'un quartier traversé par une rue commerçante, la mixité au sein d'un îlot urbain entre bâtiments voisins, la mixité verticale au sein d'un bâtiment entre un atelier d'artisanat au rez-de-chaussée et des logements aux étages, etc. La coexistence de la ville consiste aussi à rassembler des solutions variées.

Au niveau de la densité construite, il faut signaler que la mégapole, ce milieu technique hors-échelle humaine, rend plus difficile l'appartenance à un milieu commun et l'appropriation de l'espace public par les habitants. Il y a donc un équilibre à trouver entre la sous-densité et la sur-densité. Les centres villes historiques européens sont encore un exemple que cet équilibre est possible.



Marseille (Photo : S.Reiter).

En outre, une densité trop importante des bâtiments exerce une pression sur l'environnement au niveau local. Citons comme exemple d'inconvénient d'une trop forte densité la concentration de pollution atmosphérique et sonore. La photo ci-dessous montre la ville de Mexico, connue pour ses problèmes de pollution atmosphérique.



Mexico (Photo : S.Reiter).

Une forte densité apporte donc des bénéfices environnementaux au niveau planétaire mais crée des contraintes importantes au niveau local et pour la santé des habitants. Plus la densité devient forte, plus les risques d'inconfort pour la population deviennent importants. De même, plus grande est la concentration d'activités humaines, plus vite les seuils de la capacité de charge écologique régionale seront atteints.

On pourrait synthétiser cette problématique en disant que l'habitant d'un centre ville pollue moins que celui d'une urbanisation étalée mais que le premier subit une pollution plus grande que le second. La problématique de la forme urbaine consiste donc à gérer de la manière la plus efficace la densité forte souhaitée afin de la rendre attractive et de réduire ses nuisances au niveau local et humain. Nous suggérons donc de densifier notre habitat dispersé, tout en portant une attention spéciale aux performances énergétiques des bâtiments, à la qualité des places et des parcs ainsi qu'au choix d'une mobilité plus respectueuse de l'environnement. Il faut signaler qu'une conception bioclimatique de la ville (accès au soleil,...) n'implique en aucun cas la suppression de zones urbaines denses. Par contre, il est important de réintroduire des modes d'habitat liés à la nature.



Bruxelles (Photo : S.Reiter).

Un exemple contemporain de valorisation d'une densité urbaine durable accompagnée d'une recherche de mixité des fonctions se trouve dans le quartier Kronsberg à Hanovre en Allemagne. C'est un quartier de 6300 habitants répartis sur 70 ha construits, conçu dans un but de recherche équilibrée entre la densité des volumes construits et des espaces verts. Le coefficient d'occupation des sols (c'est-à-dire le rapport entre la surface totale habitable et la surface au sol de la zone urbaine) de ce quartier est de 1.2.



Quartier Kronsberg à Hanovre. (Photos : IMBE 2005).

La question d'une densité urbaine durable s'appuie sur les notions de ville "courtes distances" ou ville "compacte". En effet, un quartier durable inclut des densités élevées, des mixités d'usages et de fonctions, en lien avec l'accessibilité et la reconnaissance de l'espace public comme élément structurant de la ville et lieu d'agrément. Une conception urbaine durable du point de vue de la densité s'appuie sur la recherche d'un équilibre entre logements, emplois, équipements de services, activités de loisirs et des infrastructures de transport valorisant la mobilité intermodale et les moyens de transport écologiques (marche, vélo, transports publics).

La configuration urbaine optimale ne fait toutefois pas l'unanimité. Le Livre vert sur l'environnement urbain (CEE 1990) explique que la ville compacte est vraisemblablement la forme optimale du point de vue énergétique, sans parler de ses avantages économiques et sociaux. Cette densification suppose cependant que l'on parvienne à inverser la tendance à la contre-urbanisation qui se manifeste aujourd'hui dans tous les pays occidentaux; certains s'inquiètent aussi de la perte d'espaces ouverts qu'entraînerait la « compacité » du tissu urbain.

Parmi les autres structures urbaines que proposent les ouvrages académiques figurent les agglomérats sociaux, la concentration décentralisée et les bandes linéaires (CEE 1996). Ces différentes possibilités ont cependant en commun l'idée d'augmenter la densité urbaine autour des endroits très accessibles, spécialement aux transports publics. Quant à savoir si cette conception implique le maintien d'un centre unique ou l'évolution vers un agencement polynucléaire, il est nécessaire de prendre en compte l'échelle à laquelle la densification s'applique et les particularités du schéma d'implantation local. Il est clair que chaque environnement urbain requiert une solution particulière qui dépend des conditions locales.

Des stratégies de densification de nos urbanisations sont devenues indispensables : il faut réinvestir les lieux désaffectés en ville (les anciennes zones industrielles, les entre-deux,...) et densifier la périphérie proche de la ville. Il est possible de développer des tissus périurbains articulés aux réseaux de chemins de fer. Il faut pour cela qu'ils soient suffisamment denses pour offrir des potentiels d'usagers suffisants. Le périurbain devient alors une situation différente qui n'impose plus la dépendance à la voiture.

Il est important de souligner qu'en Belgique les contraintes imposées aux promoteurs pour un aménagement du territoire durable sont encore trop timides.... Des incitations politiques et financières doivent être adoptées, par exemple pour limiter l'aménagement de terrains vierges. Voici quelques actions à mener d'urgence dans le but de réaliser un aménagement urbain durable:

- afficher et définir une politique forte de développement durable dans les documents d'urbanisme ou à travers des procédures volontaires de type Agenda 21.
- privilégier la reconversion des friches urbaines à la création de quartiers neufs sur des espaces agricoles ou naturels ;
- planifier les infrastructures de transport, d'équipements et de services dès le démarrage du projet.
- mettre en œuvre des mesures fiscales dans le but de récupérer les très nombreuses parcelles inutilisées au cœur même de nos villes.

Il est important de rappeler que les mesures d'amélioration de la « durabilité » de la forme urbaine ne présentent pas la même efficacité selon l'endroit où elles s'appliquent. En effet, certaines mesures efficaces sur le plan énergétique peuvent s'avérer contre-productives sur le plan de la mobilité ou de l'accessibilité sociale.



Encourager la construction de nouveaux logements à haute efficacité énergétique en dehors des centres, par exemple, risque de favoriser la désurbanisation et donc, de générer un accroissement des déplacements en voiture vers les lieux d'emploi réduisant les effets durables attendus. C'est en fonction d'un bilan global intégrant les dimensions économiques, sociales, culturelles et environnementales que l'on doit opter pour tel ou tel ensemble de mesures. Il faut donc distinguer quelles sont les mesures de densification ou de mixité à appliquer sur l'ensemble d'un territoire, celles qui gagneraient à être ciblées sur des zones urbaines ou des agglomérations, celles visant les quartiers centraux ou péri-centraux des villes et des villages, celles enfin qui pourraient toucher plutôt des types d'habitats spécifiques. On identifiera également des mesures qui ne méritent pas, à priori, de spatialisation mais pour lesquelles des priorités spatiales peuvent être dégagées afin de renforcer d'autres mesures. Par exemple, l'isolation des bâtiments et l'amélioration des réseaux de distribution (eau, énergie,...) sont des mesures efficaces en tout lieu mais qui mériteraient d'être appliquées prioritairement dans les zones plus denses pour renforcer les politiques liées à la densité urbaine.

### **1.2.2 La diversité**

La diversité est une fonction essentielle pour nos lieux d'habitation. A l'heure actuelle, l'urbanisation homogénéise les territoires et les paysages par types tels que les systèmes autoroutiers, le lotissement suburbain, le complexe commercial ou le zoning industriel. Or, même pour l'économie, la diversité d'une ville participe à l'attractivité de celle-ci.



Système autoroutier  
(Photo : K. De Myttenaere)



Lotissement suburbain  
(Photo : J.M. Halleux 2005)

L'espace public ne peut pas être le lieu d'une fonction spécifique ni le lieu où se juxtaposent différentes fonctions spécifiques; il doit être le lieu, ou plutôt le *milieu*, qui met diverses potentialités en interrelation à travers le rapport à l'espace. La démesure d'un seul usage de l'espace public est une menace pour les autres. L'équilibre entre fonctions différentes est la loi de conservation de leur coexistence. A l'échelle de la ville, cela implique notamment la recherche d'un équilibre entre le logement, l'emploi et les équipements collectifs. Ainsi, « *Le drame de Bruxelles ne réside pas dans la concentration de nombreuses fonctions centrales mais dans le fait d'en avoir exclu toute vie quotidienne. Maintenir la cohabitation de ces deux sphères de la vie urbaine, protéger la fonction la plus faible: telles auraient dû être les tâches des aménageurs de tous les niveaux. Cet échec de l'urbanisation de Bruxelles est aussi celui de certaines villes de Wallonie, grandes et moyennes: on le mesure à l'exode des habitants de la ville.*» (Schoonbrodt & Marechal 2000)

La photo ci-dessous montre le Ponte Vecchio à Florence qui rassemble de manière magnifique différentes fonctions urbaines : le passage d'un cours d'eau, un ensemble de commerces et un lieu public de qualité.



Le Ponte Vecchio à Florence (Photo : S. Reiter).

Une ville devrait offrir des espaces publics où chaque possibilité d'action existe à chaque instant. Les villes européennes offrent encore une diversité relative. Entretenir cette diversité c'est assurer que notre vie sociale et culturelle ne soit pas uniformisée par la production industrielle. « *La menace pour la ville du 21<sup>ème</sup> siècle est celle d'une équivalence généralisée, basée sur un nouveau « pseudo-universel » et sa transformation en marchandise réglée par le seul impératif de profit, quitte à hypothéquer durablement le sort des générations ultérieures.* » (Ansary & Schoonbrodt 1989).



Diversité d'usages (Photos : S. Reiter).

La nature des activités riveraines a une incidence sur la fréquentation et le contrôle social d'un espace public et donc sur la sécurité et l'accueil des personnes. Il est judicieux d'être attentif à la présence dans chaque quartier de diverses activités ouvertes au public et créatrices d'animation, y compris en soirée. La photo ci-dessous montre la place du marché aux légumes à Namur où commerces, cafés et restaurants assurent l'accueil et le contrôle social de la place (Gillon 2002).



Place du marché aux légumes à Namur (Gillon 2002).

En plus de la multifonctionnalité, la polyvalence de l'espace public est aussi une qualité de coexistence qui permet qu'en certaines occasions, ou périodiquement, un espace public soit par exemple voué totalement à un seul usage. Les « rues-citoyennes » à Ixelles, St Gilles,... sont fermées de temps en temps pour faire la fête ensemble, ce qui permet de se rendre compte que la rue nous appartient à tous. Les marchés qui envahissent régulièrement les places de nos villages et de nos villes sont un autre exemple de la qualité de cette coexistence temporelle entre différents usages. Un même lieu peut donc présenter une pluralité des visages aussi bien spatialement que temporellement. Par exemple, veiller à la mise en lumière nocturne d'un espace public le rend sécurisant et accueillant, ce qui permet de diversifier son usage.



La polyvalence des usages (Photos : S.Reiter).

L'espace public est fondateur de démocratie et d'équité sociale par sa capacité à rassembler dans la diversité. Citons à ce sujet Pierre Ansay et René Schoonbrodt dans leur livre 'Penser la ville': « *La coexistence permet donc à la ville d'être le lieu non de la rencontre des semblables par la famille ou la culture mais par excellence le lieu de la rencontre de la différence dans la liberté et l'égalité, grâce à quoi il est possible, au moins pour partie, de dépasser les contraintes et les limitations de la fortune, de l'appartenance culturelle et même ethnique. (...) C'est pourquoi la ville doit être conçue et vécue comme facteur de croissance de la liberté, de l'égalité et de la fraternité. Cette coexistence, fondement de la ville, est souvent perçue comme dangereuse car la liberté trace la voie à la recherche de l'égalité.* » (Ansay & Schoonbrodt 1989).

Pour construire une urbanité, il est indispensable de développer la coexistence des groupes sociaux, des cultures, des langages, des religions, des âges et des activités. La photo ci-dessous est un exemple typique de nos urbanisations dispersées : il s'agit d'un lotissement du brabant wallon qui visiblement regroupe uniquement des familles de même âge et de même classe sociale. Ce type d'urbanisme crée un isolement social générateur d'incompréhension et d'intolérance.



Uniformité sociale (Photo : S.Reiter).

Cynthia Ghorra-Gobin nous donne un bon exemple : « *L'Etat fédéral aux Etats-Unis, dès la fin des années 70, a rencontré de sérieuses difficultés pour légitimer sa politique sociale à l'égard des quartiers en difficulté. Ces difficultés s'expliquent en grande partie du fait que la grande majorité des électeurs qui s'étaient suburbanisés n'avaient plus de contact physique ou encore ne côtoyaient plus « ces gens » dans la rue et les seules images qu'ils avaient des autres étaient celles de la presse mettant l'accent sur la violence. Tout électeur américain a douté du bon usage des impôts à l'égard des quartiers sensibles.* » (Ghorra-Gobin 2000). A partir de cet exemple, on voit à quel point il est nécessaire de prendre en compte l'espace public urbain et la nécessité des contacts physiques entre individus pour assurer notre démocratie. En privilégiant la politique de l'Etat comme le seul moyen pour assurer l'harmonie sociale, nous avons oublié que les espaces publics aussi contribueraient à l'harmonie sociale en tant que matérialité d'un imaginaire commun. La diversité et la variabilité de l'espace public semblent être une condition d'apparition de certains rôles sociaux.

Il faut signaler que la désurbanisation induit une absence de cohésion sociale. Celle-ci est renforcée par le manque d'intégration de différentes couches de la population. Le niveau d'intégration peut s'évaluer à partir des disparités territoriales de revenus des ménages et de la dépendance économique (proportion de chômeurs, de pensionnés, de gens en âge de travailler, etc.). Il faut éviter que des inégalités importantes perdurent et se renforcent entre quartiers, accentuant un sentiment d'exclusion parmi les ménages défavorisés. C'est ainsi que les taux d'évolution des revenus et des valeurs de vitalité économique sont autant d'indicateurs de ségrégation des zones périurbaines par rapport aux grandes villes qui s'appauvrissent.

Vivre ensemble dans les mêmes espaces publics nous apprend la tolérance, le respect de l'autre, la variété des points de vue et des croyances... Les lieux publics devraient préserver l'anonymat de l'individu tout en lui fournissant un registre de références pour se penser avec les autres.



Trafalgar square : anonymat et présence de l'autre (Photo : S.Reiter).

Un exemple contemporain de mixité des fonctions et des habitants est le quartier BedZED (Beddington Zero Energy fossil Development), un quartier qui a été construit au Royaume-Uni sur des principes de développement durable. Il rassemble une variété de fonctions: 82 logements, 2 500 m<sup>2</sup> de bureaux et commerces mais aussi un espace communautaire, une salle de spectacles, des espaces verts publics et privés, un centre médicosocial, un complexe sportif, une

crèche, un café et un restaurant. Loin d'être réservé à une élite piquée d'écologie, BedZED affiche un patchwork social. Ainsi, plus de la moitié des logements a été réservée à des familles à revenus modestes. La planification du quartier a été lancée en 1999 et les premiers résidents occupent les lieux depuis 2002. (IMBE 2005)

L'espace public se doit aussi d'être un lieu de confrontation et de négociation entre les acteurs sociaux des différentes sphères de la société civile et l'Etat. Les espaces publics jouent ce rôle d'espaces de médiation symbolique entre classes sociales : on manifeste dans la rue pour faire entendre sa voix et négocier dans la sphère politique.



Manifestations (Photo de gauche : S.Reiter ; photo de droite : CEE).

Tout au long de l'histoire, les villes ont été le lieu de la production et de la distribution des inégalités sociales. Cette mise en évidence de la diversité des conditions sociales a largement contribué à faire prendre conscience de la nécessité de politiques sociales en vue de réduire ces inégalités.

Chamboredon et Lemaire affirment toutefois que la proximité spatiale aiguise la distance sociale, particulièrement pour les groupes situés aux extrémités de la hiérarchie. Ainsi, il apparaît que les formes de sociabilité qui se développent dans les grands ensembles expriment les frictions engendrées par la coexistence contrainte de groupes sociaux différents (Remy & Voye, 1981). La ville se doit donc d'offrir la possibilité de quartiers ou d'îlots urbains différenciés mais l'espace public accessible à tous permet de laisser libre cours à des rencontres aléatoires en toute liberté. Entretenir la diversité ne signifie pas juxtaposer des éléments totalement hétérogènes mais plutôt offrir la possibilité de contacts libres entre éléments différents. Des espaces de transition peuvent servir d'articulation grâce à laquelle des extrêmes à première vue incompatibles peuvent se côtoyer. Une mixité sociale relative est toutefois à favoriser dans tous les quartiers.

Du point de vue de la mixité sociale, le projet "Habitat International" du nouveau quartier Kronsberg à Hanovre comprend 20% de logements sociaux dont 17% réservés à des familles immigrées. Ce projet est particulièrement intéressant en ce sens que les aménagements intérieurs de ces appartements ont été conçus en tenant compte des différences culturelles des futurs résidents. Par exemple, les cuisines sont plus vastes et les appartements destinés aux musulmans disposent d'une pièce centrale orientée vers La Mecque. On trouve également dans ce quartier une grande mixité de fonctions. (IMBE 2005)

Au niveau des ambiances urbaines, l'objectivité est toujours intersubjectivité. On ne peut négliger la diversité nécessaire dans les espaces publics afin de permettre cette approche collective. Bien souvent, le désir moyen de diversité des citoyens

amène à un tissu suburbain sans limite fait de maisons quatre façades et de petits jardins. Les concepteurs doivent travailler sur les possibilités multiples des contrastes au niveau du paysage urbain (par les types de sols, l'hydrologie, les matériaux,...). Un lieu public ouvre des opportunités variées ; il propose sans jamais contraindre.



Bruxelles : Mont des Arts (Photos : S.Reiter en 2003).

La diversité recherchée peut être favorisée par une diversité de la forme urbaine : mixité du type de logements proposés (par exemple entre petits collectifs et maisons individuelles accolées), formes architecturales variées (traitement coloré des façades, variété des matériaux utilisés...), ... Ces éléments ont une implication directe sur la mixité des fonctions, l'équilibre emploi-habitat et la mixité sociale et générationnelle des habitants.

Le quartier Vauban, en périphérie de Fribourg, en est un bon exemple. Douze anciennes casernes, situées au centre du nouveau quartier, ont été rénovées et affectées à 220 logements alternatifs et 600 logements d'étudiants, assurant une diversité de la population. Le reste du quartier a été consacré à la construction de 2000 logements ainsi que des bâtiments destinés à accueillir des activités industrielles et artisanales offrant 600 emplois ainsi que des équipements scolaires et des commerces. Le quartier Vauban, qui devrait à terme compter 5 000 habitants, attire beaucoup de jeunes parents, cadres et universitaires pour la plupart, désireux d'accéder à la propriété à des prix raisonnables.



Quartier Vauban : casernes rénovées et nouveaux bâtiments de logement (IMBE 2005)

Très varié dans ses formes comme dans les couleurs des bâtiments, le quartier Vauban est très apprécié par ses habitants. Les anciens immeubles des casernes côtoient divers types de réalisations contemporaines : maisons en bande, maisons jumelées, immeubles collectifs de quatre étages maximum ...



Quartier Vauban : diversité des formes et des couleurs (Photos : IMBE 2005)

Cette mixité du bâti est due à une variété des typologies et des activités ayant lieu dans le quartier. Le plan des rues alterne les parcelles larges et étroites, dans l'idée de créer une variété de bâtis. De plus, les conceptions des maisons d'une même rue ne sont pas confiées au même promoteur afin d'assurer une variété des façades mitoyennes.



Quartier Vauban : diversité typologique (IMBE 2005)

L'espace public comme lieu multifonctionnel nécessite sa réorganisation et son partage. Tous les utilisateurs (piétons, cyclistes, automobilistes, handicapés, personnes utilisant les transports en commun, ...) doivent pouvoir s'y épanouir aussi librement que possible. Partager l'espace public, c'est montrer par des aménagements que les différents utilisateurs de l'espace cohabitent équitablement en donnant une place juste à chacun d'eux.



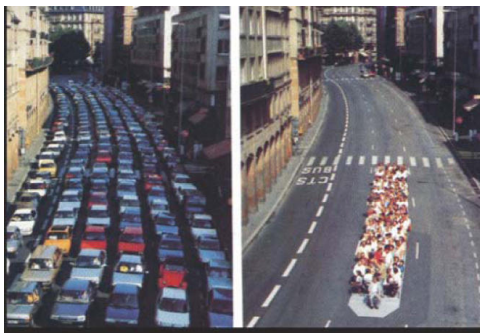
Partage de l'espace public entre différents types d'utilisateurs (Photos : S. Reiter).

Lorsque la voiture envahit les trottoirs, sature les voies de circulation et transforme les espaces de rencontre en parkings, aucun autre moyen de transport ne peut être viable. Il faut insister sur le fait que ce n'est pas la voiture qui est problématique mais l'excès d'automobiles, parce qu'il s'accompagne d'une limitation des autres alternatives de déplacement. Il est donc nécessaire de mieux contrôler l'espace pour en permettre de multiples usages.



Envahissement des espaces publics par la voiture.  
(Photo de gauche : S. Rouche ; photo de droite : S.Reiter).

Chaque mode de transport utilise de l'espace dans la ville quand il circule mais aussi quand il est à l'arrêt. La perte d'espace due au trafic automobile individuel est importante. En 2001, à Strasbourg, 240 personnes se sont mobilisées pendant une heure dans l'espace-rue fermé à la circulation pour une mise en scène comparant la consommation d'espace liée à l'usage de la voiture par rapport à celle du tramway. Les photos ci-dessous ont rendu cet événement inoubliable. On voit qu'un tramway vaut 177 voitures (en prenant en compte un taux d'occupation moyen de 1,38 personnes par voiture, c'est-à-dire 240 personnes) ou 3 autobus. De plus, la voiture individuelle est encore plus consommatrice d'espace puisqu'elle reste généralement parquée la majorité du temps alors que le bus ou le tram transportent des personnes pendant toute la journée.



Comparaison de la consommation d'espace entre l'usage de voitures et d'un tramway.  
(Escudero 2004).

Notons que les avenues créées par Haussmann laissaient environ la moitié de l'espace public pour les piétons et l'autre moitié pour la circulation. Les rétrécissements de trottoirs opérés dans les années soixante nous ont fait perdre le caractère grandiose de ces avenues.



Avenue des Champs-Élysées: début du 20<sup>ème</sup> siècle. (Kostof 1992).



De même, à Bruxelles, l'avenue Louise en 1900 constituait la « promenade » des bruxellois, un lieu de balades, de flâneries, où l'on pouvait circuler à pied, en tram, en automobile (à l'époque des premières autos). C'était un lieu social de rencontres dans la symbolique des gens. Aujourd'hui, l'avenue Louise est un espace de flux, principalement destiné au trafic automobile. Il existe encore un espace réservé au passage du tram et un petit trottoir pour les piétons mais le déséquilibre entre les différents usagers de l'espace urbain est évident.



Avenue Louise en 1900 (Escudero 2004). Avenue Louise en 2003 (Escudero 2004).

La photo ci-dessous, prise dans le centre de Paris, présente un autre problème évident de la voiture : elle génère un sentiment d'insécurité pour les piétons. Sur cette photo, le panneau central indique « Piétons, **attention**, traversez en deux temps », ce qui souligne bien le processus d'exclusion du piéton, induit par la vitesse des voitures.



Exclusion des piétons due à la circulation automobile (Photo : S.Reiter).

La transformation des boulevards urbains arborés en autoroutes urbaines a réduit la fonction de la rue (rencontre, promenade,...) à un simple moyen de déplacement sans prendre en considération ses finalités propres en tant qu'espace public. Le cours des 50 Otages à Nantes est un exemple de la possibilité de redéfinir les autoroutes urbaines de nombreuses villes européennes rééquilibrant l'espace offert aux différents utilisateurs de ces espaces de manière à ce que l'échelle humaine soit revalorisée. Les deux photos ci-dessous montrent

- le cours des 50 Otages en avril 1970 : une autoroute urbaine
- le cours des 50 Otages en septembre 1993, après l'introduction du tramway et la requalification de cet espace-flux en espace-lieu.(Escudero 2004)



Cours des 50 Otages en avril 1970 à gauche et en septembre 1993 à droite (Escudero 2004)

On remarque aussi que si du point de vue fonctionnel, la séparation spatiale du cours des 50 Otages présente un espace pour les piétons et les cyclistes, un espace pour les tramways et un espace pour les voitures et les bus. Par contre, du point de vue de l'usage et de la perception des piétons, la séparation spatiale est divisée en deux zones : un très grand espace pour les piétons, les cyclistes et les tramways et un espace à quatre bandes, bien délimité, pour les voitures et les bus.

Ainsi, le projet du cours des Cinquante-Otages a transformé un espace de coupure et de transition automobile en une longue et large promenade urbaine pour les piétons, sans pour autant y exclure la voiture. Cet espace est aussi un axe vert qui crée une continuité avec toute une série d'espaces verts de la ville de Nantes. L'enjeu du partage de l'espace public et de sa multi-fonctionnalité est une réussite.



Cours des Cinquante-Otages à Nantes. (Reiter 2003)

La place, le quartier, la ville ont besoin des piétons qui jouent un rôle irremplaçable dans l'animation urbaine. La présence des piétons dans une rue attire toujours d'autres piétons. Une rue fréquentée est toujours plus attrayante et plus sécurisante. Parce que, de tous les modes de déplacements, la marche est le plus civique, celui qui coûte le moins cher à la collectivité, que ce soit en consommation d'énergie, en consommation d'espace ou en dépenses imputables aux accidents et à la pollution, investir en faveur des piétons, c'est opter, à long terme, pour une politique de renouveau urbain.

Cependant, à l'heure actuelle, la volonté de rendre la ville aux piétons s'est trop souvent traduite par la création de voies piétonnes commerciales dans les centres historiques, à savoir la création de ghettos piétonniers voués à l'unifonctionnalité. Rendre réellement la ville aux piétons c'est plutôt leur offrir, tout au long de leurs parcours, des cheminements continus et agréables. Signalons par exemple les arcades comme un moyen de conception architectural qui augmente l'espace de la circulation piétonne en l'empruntant au bâti, tout en permettant une certaine densité construite. D'autre part, des passerelles pour piétons et cyclistes peuvent faciliter la traversée d'axes routiers à fort trafic. Mais ces mesures doivent être accompagnées d'une forte diminution de la circulation par une politique cohérente au niveau des entrées de ville et au niveau des transports publics.

Signalons encore que si des mesures drastiques de diminution des voitures étaient réellement appliquées dans nos villes nous pourrions redessiner nos espaces publics totalement différemment. Nos petits trottoirs et nos pistes cyclables en bord de route pourraient retrouver des dimensions convenables.

Dans le quartier Vauban, à Fribourg, les places de parking ou garages privés ne sont possibles que pour 25% des logements, situés à la marge du quartier. Pour les autres logements, deux grands garages collectifs de type « parkings-silos » sont construits aux entrées du quartier (de 50 à 300 m des habitations). Ainsi, la circulation au sein du quartier est fortement limitée (mais pas interdite) et les rues sont des espaces de vie et de jeu pour les enfants.



Quartier Vauban : bâtiment collectif de parking. (IMBE 2005)

En 1997, la ville de Gand en Belgique a implémenté un plan de mobilité dans le centre-ville dans le but de réduire les problèmes de trafic excessif dans les rues et sur les places du centre-ville. 80% des voies empruntées par les trams et les bus dans le centre de Gand sont séparées des voies pour automobilistes, ce qui a rendu les transports publics plus efficaces et a augmenté leur utilisation de 3 à 5% depuis la mise en place de ce plan de mobilité. D'autre part, il y a plus de cyclistes dans la ville qu'auparavant et les accidents de la route ont diminué de 30%. (CEE 2004b)

Les photos ci-dessous montrent deux vues des espaces publics piétons de Gand. Le quai aux herbes, situé au centre de Gand, est un des lieux historiquement important de cette ville au passé marchand. Libéré de la voiture, il a été aménagé en une promenade urbaine qui met en valeur les nombreux monuments remarquables qu'il borde.



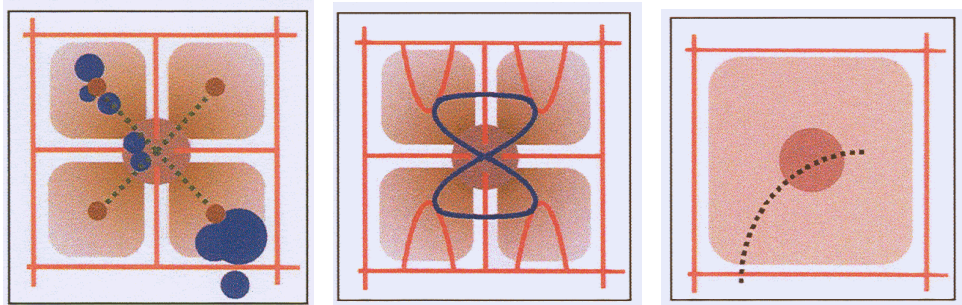
Espace public piéton (CEE 2004b)



Le quai aux herbes (Photo J.M. Gillon)

En Belgique, la ville de Louvain-la-Neuve, sortie de terre dans les années 70 consacre les valeurs de la ville compacte au service du piéton. Le centre piétonnier de Louvain-la-Neuve comporte toutes les fonctions dont se compose un centre urbain vivant : habitat, commerces, services privés et publics, université, lieux

culturels et de culte, restaurants, terrasses de cafés ... Le schéma ci-dessous synthétise le fonctionnement de la circulation dans la ville de Louvain-la-Neuve. On voit le réseau piéton (lignes vertes) qui relie chaque quartier au centre et le réseau automobile (en orange) en périphérie de chaque quartier. Il faut y ajouter le passage d'un TEC en boucle (en bleu sur le second schéma) et la gare qui amène les trains en plein centre-ville (courbe pointillée sur le troisième schéma). Le premier graphe montre également comment les différentes implantations universitaires (taches bleues) ont été réparties dans la ville de façon à créer un maximum d'animation.



Schémas synthétiques de la circulation à Louvain-la-Neuve (Mertens 2002)

La ville de Fribourg en Allemagne a mis en service en 1972 un plan de circulation accordant une large place aux pistes cyclables. Plus de la moitié des déplacements en ville se font à vélo (190 km de pistes cyclables en zone urbaine), en tramway ou sur le réseau ferroviaire régional. Les voitures particulières sont interdites au centre-ville où le réseau de tramway n'a jamais été abandonné et s'est étendu.

Aujourd'hui, face à la pollution, certaines villes dynamiques en Europe ont opté pour le retour du tram dans les centres avec, en corollaire, parkings de dissuasion en périphérie, liaisons avec les bus, accès vélos et piétonniers, c'est-à-dire une vraie politique alternative des déplacements. Ainsi, Strasbourg a vu augmenter de plus de 45 % la fréquentation des transports en commun et diminuer de 20 % le trafic automobile. Le plan et l'explication de ce projet ont été détaillés aux pages 63 et 64 de cette thèse. Certains sont encore plus audacieux et ont combiné les accès pour le tram et pour le train afin d'augmenter encore l'efficacité et la rapidité des transports en commun.

L'exemple de Curitiba laisse rêveur. Cette ville brésilienne compte 1 500 000 habitants, mais ses transports publics accueillent chaque jour 1 800 000 passagers. Suite au renouvellement de son infrastructure des transports en commun, une réduction de 30 % des déplacements automobiles a été observée, ce qui est la preuve de son efficacité. Il s'agit essentiellement de lignes de bus à haute fréquence (5 à 10 minutes en heure pleine et moins de 15 minutes en heure creuse) fonctionnant pour la plupart en site propre.

Soulignons l'importance de créer des réseaux de liaisons qui privilégient les modes de déplacements écologiques (piétons, cyclistes, transports en commun) entre les cœurs des villes et leurs banlieues les plus proches ainsi qu'entre les différents quartiers périphériques d'une même urbanisation.

Des promenades peuvent servir de liens entre lotissements, villages, ou zones urbaines et zones rurales. Ainsi, ces allées vertes peuvent à la fois servir de parcours pour une mobilité écologique et de corridors naturels pour la biodiversité ainsi que de lieux où certains éco-systèmes spécifiques peuvent être implantés.

Les anciennes voies de chemin de fer ou autres infrastructures linéaires qui ne sont plus utilisées peuvent être avantageusement transformées en promenades pour piétons, cyclistes, rollers, cavaliers,... aussi bien en ville qu'en dehors de la ville. Un exemple remarquable est la revalorisation d'une section de la ligne 160(B) qui reliait Bruxelles à Tervuren. Cette zone désaffectée a été réaménagée en promenade verte pour piétons et cyclistes. Elle offre le grand avantage de relier de nombreux services urbains tels qu'un campus universitaire (VUB), des bureaux de la Commission Européenne, un shopping center important, des écoles, restaurants, centres de sport avec une zone urbaine d'habitations denses et plusieurs nœuds d'échange de système de transport (transports en commun et axes pour automobiles). Cette promenade verte passe à côté du parc de Woluwé Saint-Pierre et de nombreux espaces de jardins privés. Les photos ci-dessous montrent une passerelle pour piétons et cyclistes qui assure la continuité de cette promenade de sept kilomètres créée sur le tracé de l'ancien chemin de fer Bruxelles-Tervueren et qui rend ce parcours aisé et agréable autant pour les piétons que les cyclistes.



Passerelle pour piétons et cyclistes assurant la continuité de leurs parcours.  
(Photos : S.Reiter).

Cette promenade du chemin de fer devrait s'intégrer dans une continuité verte de grande envergure : la « promenade verte », qui devrait permettre de faire un tour complet de la Région de Bruxelles-Capitale sans quitter un itinéraire balisé de 63km de long, sûr et agréable pour les piétons et les cyclistes. Des tronçons importants existent mais ils ne sont pas encore reliés les uns aux autres.

Les mesures suivantes sont importantes pour favoriser une politique de valorisation des modes de transport plus écologiques que la voiture individuelle :

- la planification et le développement, très en amont du projet d'urbanisation, des transports publics. Les arrêts devraient être distants de 300 et 700 mètres maximum des commerces et des services.
- la création de sites propres ou de rues réservées aux transports publics.
- la réduction du nombre de places de stationnement pour les voitures.
- la limitation de la vitesse de circulation automobile à l'intérieur des quartiers.
- la création d'axes piétons et de pistes cyclables, agréables et bien éclairés, reliant les différents quartiers et zones urbanisées.
- l'aménagement de nombreux parkings pour vélos.



Valorisation des modes de transport écologiques (Photos : S.Reiter).

Les espaces publics urbains remplissent également différentes fonctions écologiques étroitement liées aux questions de gestion des ressources naturelles, dont la maîtrise des eaux pluviales, l'augmentation de la diversité biologique et la purification de l'air. Ces différentes fonctions devraient être visibles dans les espaces collectifs.

Notre planète se distingue par une grande diversité de vie à la fois visible et invisible. La biodiversité est l'ensemble du vivant, des plantes, des animaux, des organismes microscopiques et de leurs gènes, mais aussi les différents paysages naturels, constitués d'une infinité d'écosystèmes de taille variable allant de la flaque d'eau à la forêt. La diversité des espèces qui peuplent un espace donné reflète l'état de santé de cet écosystème. L'homme, espèce parmi les autres, fait partie de la biodiversité. Nicolas Hulot nous rappelle que: « *Protéger la biodiversité, ce n'est pas seulement protéger les petites bêtes, c'est aussi et surtout sauvegarder les systèmes naturels qui forment le support de la vie humaine* ». Ainsi, assurer la biodiversité dans nos villes est un des enjeux du développement durable.

La biodiversité contribue fortement à notre vie sur terre grâce à :

- l'alimentation qu'elle nous fournit,
- la production d'une base pour la moitié des médicaments que nous utilisons,
- la conservation d'un patrimoine génétique,
- la régulation des climats et de l'effet de serre,
- l'épuration de l'air,
- la production d'eau de source,
- le réapprovisionnement des nappes phréatiques,
- la décomposition et le recyclage des déchets
- la formation des sols arables, la protection des sols contre l'érosion et le maintien de leur fertilité
- le maintien des cycles biogéochimiques (fixation du carbone de l'atmosphère et production de l'oxygène)
- l'équilibre de la biosphère
- la fourniture d'agents de pollinisations et d'agents anti-parasitaires...

Plus un écosystème est diversifié, plus il est productif, plus il est stable et plus vite il se reconstitue après une catastrophe naturelle (tempête, sécheresse,...). Les écosystèmes trop dégradés finissent par ne plus assurer leurs fonctions et les services qu'ils rendent aux sociétés humaines. A l'heure actuelle, l'impact des activités humaines est tel que le rythme d'extinction des espèces s'est fortement accéléré, entraînant un appauvrissement du vivant. N'oublions pas que les destins de l'homme et de la nature sont intimement liés ! Il est donc temps de protéger la biodiversité sur terre, y compris au sein de nos urbanisations.

Pour agir avec efficacité en faveur de la biodiversité, il est important d'établir une planification concernant directement le développement de la biodiversité en milieu urbain mais aussi d'intégrer cette problématique dans les plans de développement de la ville et autres plans d'urbanisme.

A Bruxelles, divers types de plans directement orientés vers le développement de la biodiversité sont produits par l'IBGE (Institut Belge de Gestion de l'Environnement). Des sites naturels classés, tels que le Bois de Laerbeek et la Forêt de Soignes, et des réserves naturelles, comme le Vuilbeek et le

Rouge-Cloître, ont fait l'objet de plans de gestion dans le but d'y développer la biodiversité.

Signalons une initiative spécialement intéressante en Région de Bruxelles-Capitale: la planification de trois réseaux de maillages qui sont le maillage vert social, le maillage vert écologique et le maillage bleu. Le graphe ci-dessous présente une carte de situation de ces maillages vert et bleu de la Région de Bruxelles-Capitale.



Maillage vert et maillage bleu de la Région de Bruxelles-Capitale (IBGE 2002)

Le maillage vert social a pour objectif premier de favoriser l'accès du public à des espaces verts au sein de la ville. Il propose la création de nouveaux parcs publics, la réalisation d'un verdoisement volontariste, la formation d'une promenade verte autour de la ville et la réalisation de continuités vertes rayonnantes et concentriques. Le maillage vert écologique vise à recenser et évaluer l'ensemble des sites d'intérêt pour la biodiversité en ce compris les continuités vertes permettant la pénétration des espèces dans la ville. Le maillage bleu est étroitement lié au maillage vert social auquel il contribue. Son objectif est de reconstituer un réseau hydrographique de qualité en Région de Bruxelles-Capitale. Il vise à valoriser et développer la valeur écologique, paysagère et récréative du réseau hydrographique. Il s'agit par exemple de remettre à ciel ouvert des ruisseaux, ce qui a déjà été réalisé pour la Woluwe, ou de séparer les eaux usées et les eaux de ruissellement. (De Schutter et al. 2000)

Ces maillages visent à augmenter le nombre d'espaces de nature en ville et leurs interconnexions ainsi qu'à rendre un maximum d'espaces verts multifonctionnels et à favoriser la mobilité douce (vélos, piétons) dans la Région de Bruxelles-Capitale. Ces continuités naturelles devraient également préserver le patrimoine biologique et accroître la biodiversité, notamment en permettant la circulation et la conservation des espèces de plantes et d'animaux sauvages présentes dans la ville et en favorisant tant que possible une pénétration et un maintien de la vie sauvage à l'intérieur de la ville, par une protection significative des talus de chemin de fer et des berges de cours d'eau.

### **1.3.3 L'ouverture**

Les espaces publics sont des espaces d'apprentissage de l'altérité. Le philosophe Emmanuel Lévinas parlait de « proximité de l'inconnu » et l'expression traduit bien l'aspiration que nous devrions avoir en concevant nos cités.

*« Les espaces publics ne sont pas des espaces communautaires dans le sens où ce ne sont pas des espaces où se retrouvent uniquement des gens appartenant à la même communauté – même s'ils peuvent offrir la possibilité à des gens d'une même communauté de se retrouver. Ils se caractérisent par leur capacité à éloigner l'individu de sa communauté en lui permettant de se distancier de la communauté pour apprendre à reconnaître les différences mais aussi les ressemblances avec les autres. Cette capacité d'apprentissage de l'autre, de ce qui n'est pas soi, provient de la puissance de l'anonymat que peut offrir l'espace public. C'est justement ce que distingue ou plutôt a distingué pendant des siècles la ville de la campagne, soit la possibilité pour l'individu de s'affranchir de ces liens originels pour s'identifier à une nouvelle communauté, celle de la ville. » (Ghorra-Gobin 2000) Mais pour cela, il faut s'assurer que chacun de nous a les moyens d'y avoir accès, par l'ouverture physique des espaces publics à toutes les types de population.*



Ouverture de l'espace public à tous les usagers (Photos : S.Reiter).

L'espace public est par essence un espace accessible n'importe quand- c'est-à-dire n'ayant ni heure d'ouverture, ni heure de fermeture- et par n'importe qui, sans aucune discrimination, pour des activités qui ne sont pas nécessairement explicitement déterminées, à condition que celles-ci se conforment à un règlement d'usage, établi par l'autorité publique. On se trouve donc dans un espace où l'homme a une liberté totale de circulation et où est possible toute interaction libre et non contrôlée entre individus supposés autonomes.



Accessibilité de l'espace public en permanence (Photo : S.Reiter).



Partager les espaces publics est un acte civique indispensable à une société démocratique. Il existe de nombreuses manières d'exclure le 'non-désiré' (ségrégation sociale, ethnique, confessionnelle, sexuelle, générationnelle,...) par une privatisation de l'espace extérieur mais dans tous les cas cela empêche la société d'assumer ses responsabilités communes. Les villes ne sont pas conçues pour nous séparer les uns des autres mais au contraire devraient être créées pour nous relier.

Les villes américaines tentaculaires, avec leurs ghettos, leurs cités-dortoirs pour la classe moyenne étroitement surveillées par la police, leurs centres commerciaux et parcs d'activités, révèlent très clairement cette tendance à la division et à la privatisation de l'espace public. Citons à ce propos Richard Rogers : « *La situation à Houston est inquiétante. Tout un réseau de rues souterraines – long de 10 kilomètres- a été creusé sous le quartier d'affaires du centre-ville. Ce fastueux dédale, appelé avec une ironie involontaire le « système de connexion » est totalement privé. On ne peut y arriver depuis la rue mais seulement depuis les halls en marbre des banques et des compagnies pétrolières qui dominent la ville. Il en résulte l'apparition d'un autre genre de ghetto urbain. Les rues pleines à craquer de voitures sont laissées aux pauvres et aux sans emplois alors que les travailleurs aisés font leurs courses et règlent leurs affaires en tout sécurité et dans le confort de l'air conditionné.* » (Rogers 2000) La photo ci-dessous montre à quel point les espaces publics à ciel ouvert de la ville d'Houston sont des non-lieux réservés à la voiture. En effet, plus de 70% du sol de ce quartier est couvert par les zones de circulation et de parkings. Ainsi, ces espaces publics délaissés et inhumains sont véritablement l'enjeu d'une grave discrimination sociale.



Espaces publics à Houston. (Kostof 1992).

Bien que les villes européennes n'en soient pas encore là, il est temps de combattre de telles influences. Le processus d'accaparement de l'espace public par des groupes privés est malheureusement un fait de plus en plus régulier. Signalons les shoppings et autres centres commerciaux qui ont remplacés l'espace de la rue dans

son rapport aux petits commerces de quartier ou bien l'usage de barrières surveillées par des agents de sécurité privés pour contrôler les entrées et les sorties des voitures et des personnes dans certaines rues.



« Shopping mall » (Liébard & al. 2004)

Ces éléments fréquents en Europe ne sont que la première étape d'une privatisation de l'espace public qui peut amener à la formation ultérieure des *condominiums* ou des *gated communities*, véritable féodalisation de la ville qui consiste à construire et aménager des quartiers pour une certaine catégorie sociale homogène, où la présence d'un certain nombre d'infrastructures (de transport, de communication, énergétique,...), de services (banques, magasins, restaurants,...) et d'équipements urbains (écoles, parcs, hôpitaux, églises...) permettent le déroulement d'une vie en autarcie à l'intérieur de son quartier, sans plus se déplacer vers l'extérieur, renforçant la ségrégation urbaine. Un exemple de ce type de quartiers est le parc de Maisons-Lafitte en Yvelines (France). On compte actuellement aux Etats-Unis plus de 20 000 gated communities (communautés clôturées), qui abritent environ 8 millions d'américains, ce qui correspond à quelques 3 millions de logements (Ghorra-Gobin 2000 - b) Ces espaces sont des non-lieux dans le sens où ils ne permettent pas la rencontre de l'autre.

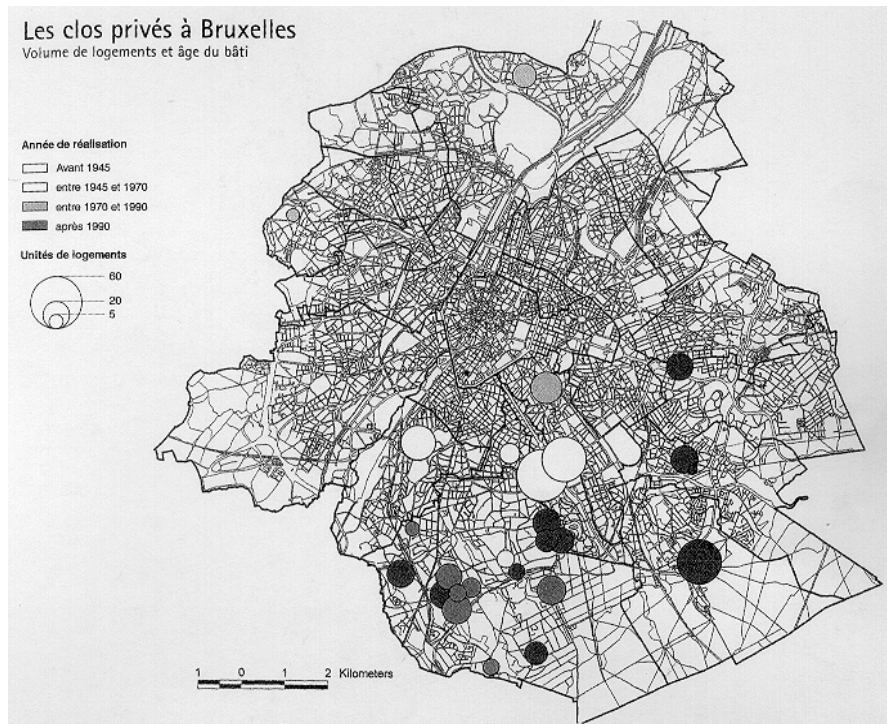
Des espaces résidentiels fermés généralement baptisés du concept de 'clos' existent également en Belgique. Dans la ville, l'espace public tisse des liens avec l'espace privé. Dans les clos et lotissements homogènes, il y a perte réciproque. La vie de l'espace public se compose de surprises et de découvertes ; autrement dit, les rues et les places doivent être des lieux ouverts sur l'étranger.

Les photos ci-dessous ont été prises à Limelette en Wallonie: elles sont révélatrices d'une privatisation assez courante de l'espace public qui engendre l'exclusion de l'altérité et donc l'impossibilité de construire une identité collective. Ce type de phénomènes se retrouve partout en Belgique.



Privatisation de l'espace public (Photos : S.Reiter).

Le graphe ci-dessous représente un recensement des clos dans la région de Bruxelles-capitale, en fonction de la date de leur construction. N'ont été recensés dans cette étude de Jean-Michel Decroly et d'Yves Rouyet que les clos et rues dont le statut est privé et qui se caractérisent par la présence de barrières ou grilles barrant la voirie d'accès principale, de clôtures entourant l'espace résidentiel, de gardiens à l'entrée ou au moins d'une signalisation ou d'un aménagement dissuasif. Il est vrai que leur nombre reste modeste mais il augmente de manière significative depuis une décennie. A l'exception des réalisations les plus anciennes, les clos se localisent très majoritairement dans la seconde couronne urbaine, en particulier dans le quadrant sud-est de la Région. (Decroly & Rouyet 2002)



Répartition des clos privés en région de Bruxelles-Capitale (Decroly & Rouyet 2002)

La crise de la territorialité que nous traversons se traduit par des appropriations excessives de certaines zones et inexistantes dans d'autres. En effet, dans les nouvelles « villes privées », les lotissements surveillés et les rues commerçantes fermées la nuit, on assiste à une appropriation excessive d'un espace par un groupe social au point d'aboutir à un phénomène d'exclusion des autres individus. A l'inverse, de nombreux territoires non rentables, mal desservis et sous équipés sont délaissés et non appropriés. Les tags et graffitis qui envahissent de nombreux sites urbains déshumanisés montrent une tentative désespérée de s'approprier les éléments d'un territoire et d'y introduire une marque humaine.



Le square des Ursulines à Bruxelles : un lieu que ce sont appropriés les jeunes du quartier. (Photos : S.Reiter)

Ainsi, le processus contemporain d'appropriation des espaces publics, oscillant entre fermeture et abandon, interroge notre capacité à « faire société » et à donner un sens à l'espace public comme lieu de démocratie, d'équité sociale et d'ouverture à la rencontre de l'autre.

Créer de la coexistence, c'est aussi assurer une convivialité qui assure une structure de communication et la possibilité d'appropriation pour une vie individuelle et collective. L'appropriation rassemble l'ensemble des conduites, des actes, des modes d'usage et de transformation, introduits par les habitants, de manière spontanée et par leurs propres moyens pour adapter leur quartier, leur habitation et leur environnement à leur mode de vie idéal.

En termes purement théoriques, il existe deux types d'appropriation : l'appropriation réelle et l'appropriation symbolique. Chacune présente différents degrés de profondeur et diverses façons de s'exprimer dans l'espace. Par appropriation réelle, il faut sous-entendre le développement d'activités et les comportements d'utilisation du milieu. Par appropriation symbolique, il faut considérer les 'symboles' et les 'signes' qui visent à montrer l'identité, les idées et les valeurs des occupants du milieu. Tout aménagement devrait rester ouvert à l'appropriation.



Différents types d'appropriation de l'espace public (Photos : S.Reiter).

Une caractéristique qui manque souvent dans les espaces urbains dessinés par des architectes modernes, c'est la possibilité du choix et de l'improvisation : les gens devraient pouvoir utiliser les mêmes espaces de plusieurs manières différentes, y compris selon des usages pour lesquels ces espaces n'ont pas été explicitement dessinés. Soit par la forme, soit par l'échelle, un lieu permet l'improvisation et la variété des utilisations : il se révèle être à la disposition des habitants.



Ouverture à l'improvisation (Photo : S.Reiter).

Ainsi, tout élément qui permet des interprétations multiples est à valoriser. Les chaises de Bryant Park à New York sont l'unique mobilier urbain de cette "pièce dans la ville". Simples objets fonctionnels, les chaises induisent une multitude de possibilités d'appropriation adaptées à chaque situation : utilisation individuelle, rassemblement de petits groupes, célébration publique, ...



Les chaises de Bryant Park à New York. (Reiter 2003).

Un autre exemple d'aménagement ouvert à l'interprétation est une intervention plastique et ludique installée autour du complexe des logements sociaux des Brigittines à Bruxelles. Il s'agit d'une structure de 140m de long couverte de bois peint en rose et formant des dessins et fonctions diverses. Ainsi, cette bande colorée souligne le site, devient chaise, banc, table ou parfois simple ligne de couleur pour égayer l'espace public, offrant ainsi des possibilités d'appropriation multiples.



Possibilités d'appropriation multiples (Photo : [www. recyclart. be](http://www.recyclart.be)).

L'ouverture est aussi une caractéristique intrinsèque de l'espace public, du fait qu'il n'est pas prédéfini une fois pour toutes mais qu'il est au contraire l'objet d'une construction sociale et qu'il est donc toujours en cours de production. Achever une réalisation n'est devenu une obligation qu'au siècle dernier. Le lieu,

soumis aux continuelles modifications de l'existence, ne doit pas forcément proposer un aspect achevé. Selon Claudel, « *Il y a dans tout rassemblement humain, dans toute société, ce que l'écriture appelle une ville, dans toute conjuration d'âmes, d'efforts et de traditions, un germe de destruction qui est précisément celui de son développement.* »

La complexité, les incertitudes, les ambiguïtés, les paradoxes, les vocations secondaires, les contradictions, les chevauchements, les connexions partielles par un enchevêtrement permanent de milieux tampons, tout cela est nécessaire pour enrichir nos espaces publics et offrir des opportunités d'adaptation et d'appropriation. Ainsi, les « squares » de Manhattan formés par les intersections de la diagonale unique de Broadway – par exemple Madison, Union, Herald et Times Squares – sont devenus des lieux particuliers chacun avec son caractère individuel, ce qui ajoute vitalité et tension à la grille qui recouvre la ville. La diagonale contradictoire par rapport au plan quadrillé typique des villes américaines apporte vitalité et mouvement. Venturi nous rappelle que « *L'ambiguïté favorise la richesse de signification au dépens de la clarté de la signification.* » (Venturi 1999)

Une certaine souplesse est requise pour permettre les évolutions et les changements majeurs, comme pour faciliter les adaptations quotidiennes. Il est judicieux de prévoir des possibilités d'adaptation multiples.

Il est également important de prévoir des espaces propices à des mouvements libres dont la flânerie est un aspect. La place d'armes de Namur présente une grande étendue libre de tout mobilier. Elle offre ainsi la possibilité réelle d'y accueillir de très nombreuses activités à caractère culturel, commercial ou festif, telles qu'une fête foraine, le Festival du film de Namur, le marché de Noël,... Le bois y constitue un revêtement de sol chaleureux qui délimite la place et invite les citadins à se l'approprier et à y improviser.



La place d'Armes à Namur (Photos : S.Reiter).

Rappelons la nécessité de petits espaces sans affectation particulière, offerts à l'inattendu. Si l'espace est totalement prédéterminé, cela risque d'engendrer l'ennui et de limiter les opportunités de créer des événements particuliers.

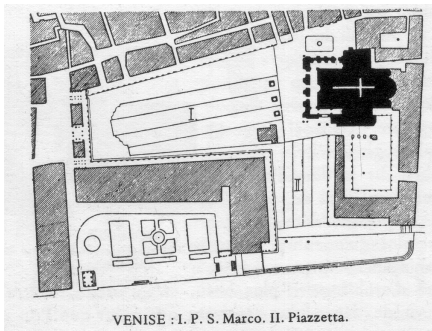
La photo ci-dessous donne l'exemple d'un événement urbain temporaire : un tapis de fleurs couvre le centre de la Grand Place à Bruxelles. L'ouverture des espaces publics est donc aussi cette capacité à laisser advenir des moments particuliers. Cependant, certains lieux nécessitent une plus grande structuration que d'autres et il est indispensable que des points forts soient présents en permanence dans le tissu d'une ville.



La Grand Place de Bruxelles : ouverture à un événement temporaire (Photo : S. Reiter).

Ajoutons que notre époque a fait foisonner un nombre important de normes qui laissent peu de place à l'innovation et à l'ouverture. Si ces normalisations ont l'avantage de fournir des repères, elles se concentrent généralement davantage sur les moyens techniques utilisés que sur le résultat final obtenu. Signalons par exemple toutes les normes urbanistiques qui déterminent des gabarits et des types de matériaux à utiliser, freinant la créativité architecturale sans assurer réellement la création d'un milieu construit unifié et appropriable. Elles sont généralement assez figées et valorisent surtout l'apparence au détriment de l'essence. Ainsi, au niveau du développement durable, ce type de normalisations risque de créer des architectures basées sur une image durable alors qu'il s'agit au contraire de s'ouvrir aux particularités de chaque situation locale et aux évolutions de son milieu.

Enfin, tout lieu implique un dépassement vers « ailleurs ». Cette ouverture indispensable aux espaces publics dépasse notre cadre physique. De nombreux lieux rendent accessibles certaines réalités sans que notre corps y soit nécessairement engagé. L'accès immédiat, corporel et direct, se double d'un accès à distance et indirect. Une solution splendide du problème de coexistence à travers une ouverture est offerte par la Place Saint-Marc à Venise qui ouvre véritablement la place sur le grand canal et la lagune, éléments du paysage qui ne sont pas visibles depuis la place (Gilot 1995).



Place Saint-Marc à Venise : ouverture sur le paysage environnant (Plan : Sitte 1996).

L'ouverture d'un espace public exige des interactions entre ce lieu et d'autres espaces ou lieux de son milieu. Toute place doit s'insérer dans le tissu urbain et dans un réseau de places. Un des problèmes de Bruxelles se situe à ce niveau : les connexions entre lieux sont mauvaises. La liaison entre le sablon et la Grand Place par exemple fait totalement défaut. Le Mont des Arts crée toutefois une liaison intéressante entre le haut et le bas de la ville.



Mont des Arts, Bruxelles. (Photo : S.Reiter)

A Rome, l'urbanisme de Sixte Quint a introduit un réseau de lieux interconnectés dont les obélisques sont les nœuds. Ainsi, l'obélisque situé devant l'église de la Trinité-des-Monts ouvre une perspective et nous inscrit avec finesse au centre de ce réseau de lieux. La position oblique de cet obélisque par rapport à la façade de l'église nous rappelle que son rôle premier est celui de créer des liens dans le tissu urbain : son orientation n'est donc pas soumise à la morphologie locale mais bien à la direction urbaine qu'elle souligne. Ailleurs et ici se rejoignent en un même lieu.



L'église de la Trinité-des-Monts (Photos : S. Reiter).



Les obélisques reliant les espaces publics de Rome. (Photos : S.Reiter).



En Allemagne, Fribourg est une ville fluviale construite au bord du Dreisan, qui coule à la limite du centre historique. Le plan ci-dessous nous montre le centre de la ville de Fribourg où nous pouvons apprécier les « Bäckle » (en bleu marine), un système de petits canaux d'eau qui se répètent dans l'espace public de Fribourg. Les espaces urbains du centre-ville sont reliés architecturalement à travers cette réinterprétation de l'ancien système de petits canaux d'approvisionnement en eau et d'égouttage qui traversait Fribourg. Les petits canaux actuels ont une largeur de 20 à 50 cm et une profondeur de 5 à 10 cm. La grande quantité de canaux qui parcourent la ville la transforme en un merveilleux terrain de jeux pour les enfants... Les deux photos ci-dessous montrent comment ces petits canaux créent un lien continu qui invite les piétons à se promener dans le centre.



Les « Bäckle », Fribourg. (Plan et photos : Reiter 2003).

Tout quartier interagit avec les zones qui le jouxtent ainsi qu'avec les autres échelles du territoire urbanisé (ville, région, pays, planète). Il est important que ces liens soient perceptibles afin que chaque citoyen se sente à la fois habitant d'un quartier, d'une ville ainsi que de la planète pour qu'il n'existe pas de terrain exclu du processus de développement. Pour garantir des échanges de ressources et d'informations entre quartiers, villes et territoires, il est important que ces systèmes soient ouverts et perméables.

Le développement durable de nos urbanisations nécessite de prendre en compte le contexte global de mondialisation dans lequel nous nous inscrivons. Il est toutefois important de ne pas confondre mondialisation et globalisation. La mondialisation est un phénomène qui s'enracine dans l'histoire de l'humanité et qui s'accélère depuis le 15<sup>ème</sup> siècle, c'est-à-dire depuis la découverte de l'étendue des territoires terrestres grâce aux grandes explorations. La mondialisation est à l'heure actuelle un processus inévitable qui fait partie du développement de l'humanité terrestre. La mondialisation peut très bien se vivre de manière équilibrée si nous lui donnons le temps de se développer et d'intégrer la richesse des diversités naturelles et culturelles. La globalisation est une évolution accélérée et nuisible de la mondialisation. Le processus de globalisation recouvre l'ensemble des pratiques qui accélèrent la mondialisation en annihilant les différences naturelles et culturelles locales. Si la globalisation doit être évitée à tout prix, en urbanisme et en architecture comme dans toutes les disciplines humaines, la mondialisation offre par contre, si son rythme est naturel, une ouverture à l'autre dans la diversité, ce qui est indispensable au développement durable de notre humanité sur Terre.

## 1.4 Cohérence

Aujourd'hui, notre civilisation est centrée sur la résolution des problèmes quantitatifs (croissance économique, technologie, ...) en niant les aspects qualitatifs du développement de l'humanité (évolution sociale et culturelle, éthique de société,...) Il est donc temps de proposer des solutions de progrès humain. Nous ne voulons pas dévaloriser les aspects techniques et quantitatifs inhérents aux problèmes d'urbanisme actuels mais nous désirons les réintroduire dans une hiérarchie cohérente où les aspects humains sont reconnus à leur juste place.

Après avoir développé en quoi tout espace public doit être coexistence, il est indispensable de compléter notre propos par le fait que pour être identifié comme lieu cet espace public doit être perçu comme un ensemble harmonieux.

L'espace public est par essence un parti cohérent gagné contre des résistances. La cohérence de notre habiter est une **identité porteuse de sens** qui trouve son expression dans l'unité de ses intentions.



Écoutons Venturi, qui n'arrête pas de nous dire que l'architecture et la ville sont complexes et contradictoires, nous rappeler l'importance d'un ordre cohérent susceptible de créer une unité à travers cette complexité : « *Mais il est un impératif absolu auquel une architecture fondée sur la complexité et la contradiction est spécialement tenue d'obéir : on doit la considérer comme un tout. L'unité qu'elle doit incarner est celle qui tient compte de tout, même si c'est difficile, plutôt que celle qui exclut, bien que ce soit plus facile* » (Venturi 1999). Ainsi, la cohérence n'est pas une uniformisation simpliste mais bien l'unité complexe générée par l'interpénétration des échelles de l'habiter et de la subjectivité humaine.

Un lieu peut présenter de violentes contradictions d'échelle, de rythmes, de matériaux, de styles,... pourvu qu'il sache les intégrer en un ensemble cohérent. Par contre, la soi-disant unité des petites maisons quatre façades de nos lotissements suburbains est incapable de fonder une cohérence réelle basée sur des interactions multiples. Les espaces publics des zones suburbaines sont pratiquement toujours des déserts informes et inappropriables.

Aujourd'hui, repenser nos urbanisations dispersées implique d'y réintroduire de la cohérence : nous devons structurer nos espaces publics pour leur offrir l'**identité**, le **sens** et la **naturalité** dont nous avons tous besoin. C'est le manque de relations des espaces contemporains qui rend impossible l'existence d'un sentiment d'appartenance aux lieux collectifs. Les photos ci-dessous permettent de comparer la richesse de la véritable cohérence d'une place urbaine complexe et la pauvreté de la fausse cohérence des zones d'habitat dispersé.



Place cohérente (Paris)  
(Photos : Reiter 2003).



Fausse cohérence (brabant wallon)

Les paragraphes qui suivent analysent ce concept de cohérence, qui qualifie un lieu de sa nature singulière, à travers les notions d'identité, de sens et de naturalité.

### **1.4.1 L'identité**

Pour créer un lieu, il ne suffit pas qu'un espace public produise des avantages collectifs modifiant les possibilités réciproques des intervenants ; il ne devient réellement lieu que dans la mesure où s'induit à son propos un processus d'identification collective. Le lieu est alors perçu comme une unité sociale spécifique, dotée d'une singularité qui la distingue de tout autre lieu (Remy & Voye 1981).



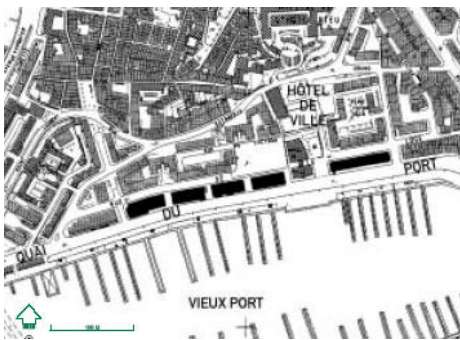
La place Saint-Pierre à Rome (Photo : S.Reiter).

L'homme a un profond besoin de se situer en affirmant son identité. L'architecture et l'urbanisme se révèlent être support d'identité par l'intermédiaire de la création de lieux d'appartenance auxquels l'être humain peut s'identifier. Bien sûr, l'environnement construit n'est qu'un des éléments qui participent à la construction de cette identité mais son influence ne doit pas être négligée. Le lieu doit posséder une identité qui à la fois le délimite, le structure et le caractérise.

Bâtir, c'est d'abord définir une portion de territoire distincte du reste de l'univers. La limite fait naître l'intérieur et l'extérieur. Rappelons la définition qu'Heidegger donne de la limite : « *La limite n'est pas ce où quelque chose cesse, mais bien, comme les Grecs l'avaient observé, ce à partir de quoi quelque chose commence à être.* » (Heidegger 1958). Les espaces qui n'ont pas de limites nettes ont beaucoup de mal à devenir des lieux. Un exemple typique est celui de la majorité des espaces publics des lotissements suburbains qui se diluent sans frontière et nous empêchent ainsi de les percevoir comme des lieux dignes d'appropriation.

Les immeubles du quai du port à Marseille, conçus par Fernand Pouillon, forment un ensemble architectural qui associe un travail de fond sur l'identité architecturale

ainsi que sur l'identité urbaine. Cet ensemble d'édifices offre une « façade » au vieux port de Marseille en y dessinant une limite claire. Ce projet est constitué de longs bâtiments distincts mais unifiés par un langage architectural commun, alignés pour redonner un front au quai. Le matériau utilisé est la pierre blonde du Pont du Gard qui souligne l'identité locale des bâtiments et l'importance historique du site sur lequel ils s'implantent. Cette magistrale séquence urbaine qui encadre l'hôtel de ville est renforcée par une longue galerie commerciale à arcades au niveau du rez-de-chaussée. La rigueur de cette composition scandée d'axes verticaux lui donne un caractère intemporel et participe à l'affirmation de son identité structurée. Ainsi, Pouillon prouve dans ce projet son aptitude à associer construction, architecture et forme urbaine. Il en résulte un ensemble d'une cohérence remarquable et d'une cohésion incontestable, qui admet toutefois des appropriations diverses au sein de sa structure. Le plan ci-dessous montre les immeubles du quai du port en noir et les photos qui l'accompagnent illustrent les diverses qualités architecturales et urbaines de cet ensemble cohérent.



Plan d'implantation des immeubles du quai du port à Marseille – architecte : F. Pouillon.



Cohérence à l'échelle de la ville (Photo : S.Reiter).



Cohérence à l'échelle du quartier et de l'espace public (Photos : S.Reiter).



Cohérence à l'échelle de l'architecture (Photos : K. de Myttenaere).

La place est d'abord identifiée par sa forme urbaine mais ses limites peuvent être plus ou moins explicites. Un mur ou un ensemble de bâtiments constituent des frontières continues. Ainsi, la place des Vosges à Paris, espace carré totalement construit sur toute la longueur de ses côtés, offre d'emblée une identité cohérente. Mais une limite peut aussi être établie à partir d'éléments qui suggèrent plutôt qu'ils ne marquent cette différenciation entre intérieur et extérieur. Pour Alberti, « *les colonnades ne sont rien d'autre qu'un mur ajouré* ».



Limites définies par des colonnades. (Photos : S.Reiter).

Les bâtiments qui entourent une place ne peuvent être considérés indépendamment les uns des autres car chacun d'eux joue un rôle important dans la définition de l'espace collectif. Le parcellaire, par la rythmique qu'il engendre, et la mitoyenneté par sa fonction de limite continue sont des éléments très importants de cohésion de l'espace public. Retrouver des lieux dans nos urbanisations dispersées passe par une nécessaire réunification des bâtiments. Lorsqu'une continuité ordonnée des constructions est impossible, on peut utiliser la végétation et la continuité des sols pour recréer des limites. Le logis Floréal est un bon exemple d'un tissu urbain peu dense où l'identité de l'espace public est assurée à la fois par la continuité des constructions et par le jeu de la végétation.



Le logis Floréal à Bruxelles : limite végétale. (Photo : S.Reiter).

Ainsi des colonnes, un alignement précis, une rangée d'arbres ou un travail du sol peuvent être conçus comme le franchissement d'un seuil. Délimiter une place dépend donc moins de la proportion des parois pleines et vides que de la nature de ces parois et de leurs relations avec les autres éléments du paysage.

A l'heure actuelle, la ville diffuse n'a plus de limites. Réintroduire des « effets de portes » à la périphérie des villes permettrait non seulement de mieux définir où la

ville commence et où elle s'arrête, mais aussi d'apporter un caractère symbolique important à l'identification des citoyens, renforçant leur sentiment d'appartenance à leur ville.

Malgré les désastres habituels de la périurbanisation, dans les zonings industriels comme dans les lotissements résidentiels, il y a lieu de repenser les lignes de force de l'urbanisme, en recréant autant que possible des alignements cohérents, un rythme dans les vides et dans les pleins, une axialité et une hiérarchie qui donnent force et attraction à la chaussée et ses trottoirs.

Un projet contemporain de requalification cohérente à l'échelle de l'urbanisme, est le réaménagement du village Monte Carasso (2300 habitants) qui se trouve à proximité de la ville de Bellinzone dans le canton du Tessin. En 1978, la Commune de Monte Carasso fit appel à l'architecte Luigi Snozzi afin d'étudier l'emplacement de la nouvelle école primaire dans l'ex-couvent au centre du village, en alternative à l'emplacement prévu en périphérie à proximité de l'autoroute. Appelé pour un travail apparaissant dans un premier temps comme une simple intervention de restauration et de réutilisation de la principale structure significative et monumentale du village, Snozzi en profite pour développer une proposition globale de requalification de la zone. Le but de son intervention est de démarquer le village de Monte Carasso de l'agglomération débordante de Bellinzone et de le structurer pour lui redonner une cohérence malgré les constructions désordonnées de ces dernières décennies.

Ce nouveau plan fixe les principes de la redéfinition par étapes du cœur du village, espace public par excellence. Une telle proposition est fondée surtout sur le principe d'une délimitation claire du centre monumental, délimitation mise en évidence physiquement aussi bien par la création de vides, par le réaligement de routes et voiries, que par l'édification de bâtiments précis et significatifs, aptes à valoriser ce nouveau centre requalifié. Ainsi, autour du centre historique, se construit progressivement une ceinture intérieure de bâtiments. Parallèlement, le principe de l'extension future du village est conçu sous forme d'une densification forte du tissu historique existant pour éviter la dissémination de nouveaux bâtiments sur le territoire.

Aujourd'hui, la commune a révisé son plan d'aménagement qui offre désormais d'excellentes conditions pour une densification et un développement d'espaces publics de grande qualité. Grâce au souci de cohérence de son travail à toutes les échelles, l'architecte Luigi Snozzi, en collaboration avec d'autres architectes de la région comme Mario Botta, a réorganisé l'urbanisme de cette commune suisse de façon profonde et réfléchie.



Vues de la cour rénovée du couvent des Augustines à Monte Carasso  
(Photos : Philippe Peyrefitte)

Donner une identité implique de créer un ordre selon lequel les éléments sont distribués dans des rapports de coexistence. Il existe différentes manières de structurer le bâti. La hiérarchie, par exemple, est un art qui agit sur la dépendance entre les éléments en vue d'établir une cohérence. Le rythme est aussi un principe de composition architecturale et urbanistique bien connu pour créer de la cohérence. Enfin, l'identité d'un lieu peut également naître d'associations multiples entre éléments constituant l'ensemble, comme par exemple les jeux de proportions. Selon Pierre von Meiss, « *l'appartenance est renforcée par la répétition, la ressemblance, la proximité, la clôture commune, la symétrie et l'orientation des parties* » (von Meiss 1993).

Notons que les bords sont des éléments essentiels en architecture: la base instaure notre contact au sol, les angles créent des interactions entre surfaces et enfin corniche et toiture marquent notre liaison au ciel. Ces différentes bordures présentent donc un enjeu important dans la définition de l'identité d'un espace.

Enfin la cohérence formelle est un élément à prendre en compte. L'unité des matériaux et des textures est un exemple de caractéristiques partielles qui renforcent la tendance à la cohérence malgré la singularité de chaque construction. Une homogénéité du mobilier urbain est aussi à conseiller. Toutefois, nous sommes d'accord avec P. von Meiss pour dire qu' : « *il faut signaler que l'unité sémantique peut parfois remplacer la cohérence formelle.* » (von Meiss 1993). Ainsi, la construction d'une place commencée dans un style et poursuivie dans un autre style peut apparaître unitaire, malgré ses disparités stylistiques, si c'est la forme de la place et l'idée même de la place comme totalité de sens que l'on perçoit en priorité.

Les exemples ci-dessous représentent des moyens de créer une identité de place publique. Malgré la circulation locale présente sur trois de ses côtés, la place des Célestins à Lyon offre un espace intime et chaleureux en plein cœur de la ville, face au théâtre des Célestins (Gillon 2002). La place Saint-Lambert à Liège est marquée par le choix chromatique du pavement en pierres naturelles qui est en harmonie avec la tonalité générale du Palais des Princes-Evêques.



La place des Célestins (Gillon 2002)



La place Saint-Lambert (Photo : S.Reiter)

A l'échelle de la ville, on peut prendre l'exemple de Louvain-la-Neuve pour la création d'une cohérence urbaine. A Louvain-la-neuve, de nombreux éléments urbanistiques ont été introduits dès le début du projet afin de renforcer la cohérence de la nouvelle ville. L'implantation de la ville dans une vallée et le schéma de structure de Louvain-la-Neuve ont permis à la ville de se développer tout en offrant une visibilité des différents quartiers vers le cœur de la ville. La continuité du bâti et la création d'espaces publics de qualité accentuent la perception que la ville définit réellement une communauté d'êtres humains. Toutefois, la typologie et le vocabulaire architectural de Louvain-la-Neuve sont souvent trop uniformes, ce qui

fige un peu la ville dans un caractère artificiel. L'idéal est de trouver une cohérence urbaine globale qui ne limite pas l'expression individuelle.



La cohérence du bâti de Louvain-la-Neuve. (Photos : S.Reiter).

La notion d'échelle est importante dans la question de l'équilibre à trouver entre ordre et désordre. L'appropriation introduit un degré de désordre qui n'est acceptable que si l'échelle supérieure de l'espace en question permet de retrouver un certain niveau de cohérence, nécessaire à l'appropriation de cette échelle supérieure. Par exemple, la diversité des façades des maisons représente une appropriation à inscrire dans une cohérence à l'échelle supérieure telle que la structure d'une place. Ci-dessous, le « désordre » engendré par l'appropriation de l'espace des Ramblas à Barcelone pendant le marché est rendu possible par la cohérence de son cadre bâti.



Les Ramblas à Barcelone (Photo : S.Reiter).

Le discours de Pierre von Meiss est encore une fois intéressant à ce sujet : « *Une fois quelques principes de cohérence bien établis, on découvre qu'il y a place pour d'énormes variations particulières. Ces observations montrent l'extrême fragilité théorique des règlements d'urbanisme qui prétendent de plus en plus préserver la ville et les villages de l'arbitraire de certaines architectures contemporaines. L'effort peut être louable mais les moyens utilisés beaucoup trop primitifs: alignements stricts, couleur et matière de façade, hauteur d'étage et de corniche, genre de tuile.* » Aucune architecture vraiment contemporaine ne peut naître de telles contraintes. Nous affirmons qu'il est indispensable de recréer des espaces publics cohérents mais que cela n'implique pas forcément une similitude de tous les éléments formels.

Le parcellaire de nombreuses rues des centres-villes européens traditionnels est un bon exemple de ce qui peut rassembler et créer un sentiment d'unité tout en respectant le besoin d'individualité. Ce parcellaire unit par sa mesure et individualise au travers de la palette de façades toutes différentes l'une de l'autre qui s'y insèrent. Chaque ville ou quartier possède ainsi son mode d'articulation



entre l'individu et le collectif qui permet à leurs identités respectives de se définir dans le respect du caractère unique de chaque être et la reconnaissance de son appartenance à une échelle collective qui l'aide à exister en tant qu'individu. Le respect de ces typologies quand elles existent ou l'instauration d'un ordre nouveau quand elles sont absentes est nécessaire à l'établissement d'espaces publics cohérents favorisant l'existence humaine dans ses dimensions d'individu et d'appartenance à une collectivité.

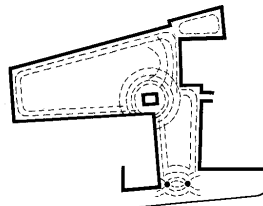
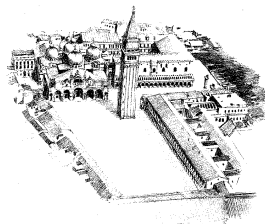
La Casa Battlo, à Barcelone, est un exemple typique d'une architecture qui semble formellement très différente des bâtiments voisins mais qui participe à la création d'un espace public cohérent grâce au respect des gabarits, à la mitoyenneté et à la structuration de la façade par des fenêtres verticales.



La Casa Battlo à Barcelone (Photo : S.Reiter).

La cohérence d'un espace public peut être générée par la relation entre les différents éléments qui le délimitent et l'occupent : bâtiments, colonnes, statue, arbres, pavements,... Un exemple extraordinaire de cohérence spatiale est celui de la place Saint-Marc à Venise, qui offre une interaction complexe réussie entre la spatialité de différents édifices de styles très différents et des contraintes géométriques importantes. Trois procédés architecturaux utilisés dans ce lieu public y assurent une cohérence spatiale de grande qualité : une articulation, une limite poreuse et une avancée architecturale. Les schémas ci-dessous permettent de comprendre comment ce lieu aux formes incongrues a donné naissance à un ensemble urbain magnifique, grâce à la disposition judicieuse de trois éléments spécifiques (von Meiss 1993):

1. le Campanile, qui sert d'articulation entre les deux bras de la place.
2. les deux colonnes placées en front de lagune qui donnent une limite à la place elle-même tout en conservant l'ouverture sur la lagune.
3. l'avancement de l'église Saint-Marc, qui crée une séparation entre les deux espaces urbains, tout en mettant en valeur grâce au parvis de l'église, l'espace qui correspond à l'intersection des deux bras du 'L'. De plus, cette translation de l'église crée une petite place au nord qui résout le problème de ce coin.



(Plans : von Meiss 1993).

### 1.4.2 Le sens

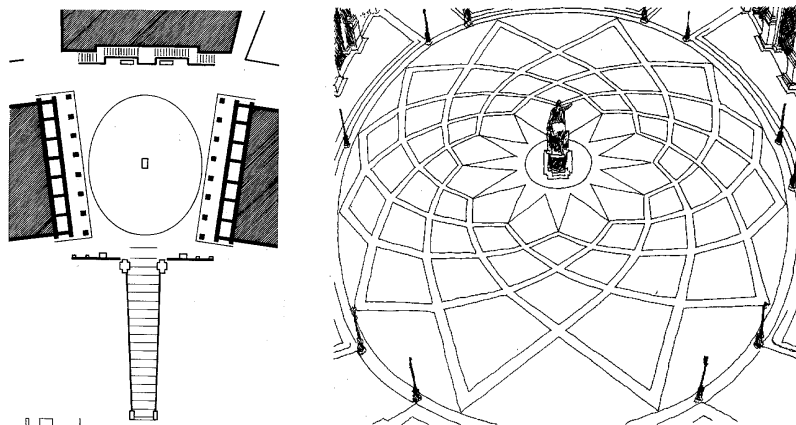
Le sens est un besoin fondamental de l'homme. L'architecture se doit d'aider l'homme à expérimenter son environnement en tant que source de significations, autrement dit de l'aider à habiter. Nous pouvons dire avec Norberg-Schulz que, « *les formes ne « suivent » pas les fonctions, mais constituent plutôt un système qui permet aux fonctions, c'est-à-dire aux actions, d'avoir lieu. Dans ce sens, le langage de l'architecture est un moyen. Nous comprenons aussi qu'il n'est jamais intégralement réinventé ; il s'enracine dans le monde même – lequel englobe l' « être-au-monde » de l'homme.* » (Norberg-Schulz 1988)

Quel qu'il soit, un espace construit est toujours l'expression d'un mode d'habiter. C'est la valeur de ce qu'il exprime qui définit en grande partie sa dimension qualitative. Créer un espace est une manière de créer du sens.

Donnons un exemple d'un lieu urbain qui fait sens grâce à son architecture. La place du Capitole à Rome, réalisée par Michel-Ange au 16<sup>ème</sup> siècle, est un lieu dont la conception architecturale annonce le rôle particulier du Capitole dans le tissu urbain, à travers un double procédé de mise en valeur architecturale et de détournement du parcours humain individuel (von Meiss 1993). Un axe de symétrie marqué et renforcé par la forme trapézoïdale de la place du Capitole relie l'escalier monumental qui permet d'accéder à la place, la statue centrale de Marc Aurèle et l'entrée du Capitole. Le Capitole est mis en évidence par l'axe de symétrie qui le relie à la ville tout en soulignant son rôle essentiel par sa position en fin de perspective. En revanche, différents éléments font dévier le piéton de cet axe de symétrie dès qu'il atteint la place :

- les quatre angles de la place sont ouverts.
- la porte principale du Capitole se trouve au centre de sa façade mais pour y accéder il faut monter par des escaliers qui prennent naissance aux angles de la façade
- le centre de la place est occupé par la statue de Marc Aurèle.
- le pavement de la place génère à partir de la statue un rayonnement centrifuge qui attire le piéton vers les bords de l'espace.

Ainsi, l'architecture de cette place exprime la suprématie de l'ordre généré par le Capitole sur le parcours humain individuel. Les deux schémas ci-dessous montrent le plan de la place du Capitole et le dessin raffiné de son pavement



(Plans : von Meiss 1993).

L'espace public est fondamentalement un des lieux qui nourrit l'univers familier d'un être. Des enquêtes menées dans divers pays ont montré que la zone de vie d'une personne s'agrandit lorsque son niveau socio-professionnel s'accroît. Un cadre d'entreprise ou un professeur d'université vit son environnement géographique d'une manière plus large qu'un simple employé ou une personne âgée sans ressources (Gillon 2002). On voit donc qu'il est spécialement important de valoriser l'espace public de proximité pour toutes les personnes dont le territoire familier est réduit : personnes âgées, enfants, personnes à mobilité réduite, immigrés appartenant à un couche sociale peu élevée, ... S'attacher à rendre des espaces publics porteurs de sens pour les habitants du quartier est donc un enjeu important d'une politique d'équité sociale respectueuse de tous.

Avec la disparition de la structure urbaine traditionnelle, le paysage a perdu son sens d'espace communautaire. Augustin Berque nous en fait part à sa manière : *« l'architecture moderne a déchiqueté les formes symboliques de la concitoyenneté, que la ville traditionnelle faisait aller ensemble : fin de l'alignement et fin de la continuité du bâti, donc fin de la rue ; fin de l'harmonie des hauteurs et fin des gabarits, donc fin des toits de la ville ; fin de la modulation concertée des façades et fin de la parenté des matériaux, donc fin de l'ambiance communautaire ; et pour tout dire, fin de la condition terrestre : grâce au verre et à la structure portante, nous voici planant dans l'Air et la Lumière. »* (Berque 2000) Les deux photos ci-dessous opposent deux manières de bâtir : la ville traditionnelle, créatrice d'un sens commun, et la ville moderne, où l'individu a tant de mal à définir le sens de sa vie et sa place dans l'univers.



Le sens communautaire de la ville traditionnelle  
(Photos : S.Reiter).



L'individualisme de la ville moderne

La transformation des lieux collectifs en ville, symboles du sens d'habiter-ensemble, en espaces de flux, symboles de la circulation automobile et de l'individualisation, est caractéristique de l'espace-temps de nos urbanisations contemporaines où la vitesse est survalorisée. Si nous désirons retrouver un équilibre entre espace et temps, il nous faut ralentir...

Il est toutefois important de noter que la signification d'un espace public ne doit pas être pensée comme un message que l'espace veut transmettre mais plutôt comme un ensemble, toujours intersubjectif, de lectures qui peuvent être produites par cet espace dans un contexte culturel précis. Le sens n'est ni une caractéristique totalement objectivable des choses ni pure subjectivité. La signification naît d'une circulation entre l'esprit et la matière et de leur rencontre contextualisée. Ainsi, les

lieux sont toujours actuels, même s'ils portent l'héritage du passé, puisque c'est uniquement dans le moment présent que nous pouvons y lire un sens. Il n'y a de sens que dans l'évolution permanente de ce sens.

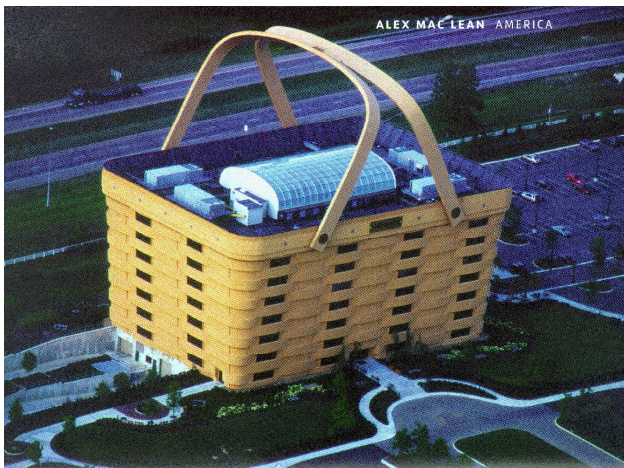
L'architecture et l'urbanisme doivent laisser la signification des lieux se présenter en elle-même. Comme le dit Aldo van Eyck, « *définir PAR la forme une signification latente au lieu de la laisser endormie DANS la forme, c'est trahir l'art, faire violence à la signification, empêcher qu'elle ne repose ni ne dure. C'est tuer la signification et bloquer la sensibilité... Il n'y a poésie que si reste ouvert l'espace d'une polysémie latente et indéfinie* » (Van Eyck 1972).



Pavement de la place Saint-Lambert à Liège (Gillon 2002)

Le non sens de beaucoup de nos espaces contemporains ne provient pas tant d'un manque de signifié mais au contraire d'une détermination trop précise du sens, de son enfermement dans un signe, ce qui correspond à une dévalorisation équivalente à celle du passage de la parole humaine au langage des machines. Ainsi, le problème contemporain du non sens de nos espaces édifiés n'est pas que l'architecture supprime toute connexion à un sens mais plutôt que notre monde est saturé d'un sens unique, qui s'impose donc de manière totalitaire : la croissance économique et technologique d'une civilisation basée sur la consommation matérielle.

La photo ci-dessous montre l'exemple d'un bâtiment qui devient signe pour affirmer son rôle actuel dans notre société de consommation, oubliant qu'un des rôles fondamentaux de l'architecture est de générer du sens.



Bâtiment-objet (Photo : Mutations- Actar 2000).

Réintroduire le sens en architecture, c'est d'abord être conscient de notre responsabilité en tant que bâtisseurs face à la société et à la Terre. Dans un monde où le progrès de la rationalité technique semble ne pas avoir de limites, il est temps de se reposer des questions d'ordre éthique ou spirituel. La logique économique et technologique actuelle a survalorisé l'importance de « l'image » et d'une soi-disant « objectivité scientifique », au détriment du sens et de l'éthique. La véritable quête du sens consiste à refuser de se laisser prendre aux apparences des images et de l'objectivité scientifique qui se limitent au seul monde visible et rationnel, à chercher au-delà de leur concrétude, une réalité toujours inaccessible, un sens qui s'ouvre à tous les possibles, une compréhension qui mène vers un ailleurs, une conscience de l'Autre.

Aujourd'hui, l'architecture a un devoir de résistance contre la dictature de l'image qui est omniprésente. Mais elle a aussi une mission d'éveil de la conscience humaine. Elle devrait nous aider à trouver une nouvelle spiritualité, afin de proposer une alternative aux discours religieux actuels, lesquels sont de plus en plus monolithiques, voire intégristes. L'architecture sert à faire évoluer l'humanité, à la confronter à ses racines profondes tout en lui ouvrant de nouveaux horizons.

L'architecture peut révéler un sens déjà présent dans un contexte précis. Par exemple, lorsque le sens de l'architecture se tisse par sa participation à la tradition locale, il s'agit d'un sens qui se dévoile, un sens construit avec les autres. Il y a aussi un sens qui naît de la création d'une ouverture vers l'absolu, l'universel, le « tout autre », l'Autre, le divin, ... Le sens de la conception architecturale et urbaine oscille ainsi entre dévoilement et création. A nos yeux, le développement durable de notre espace habité passe par la conception de lieux unifiant ces deux manières de générer du sens. Ainsi, les concepteurs de projets urbains devraient toujours rendre leurs projets signifiants grâce à une cohérence entre dévoilement et création, le choix d'un risque pris *avec l'autre* pour générer un espace *ouvert à l'Autre*. Ainsi, toute architecture signifiante est à la fois locale et universelle. Elle vise toujours à élever la conscience de l'humanité sur Terre.

Un lieu public idéal est celui dont rêvait Antoine de Saint-Exupéry, «*où chaque pas à un sens* ». Dans un cours intitulé *What the City should be*, donné en 1974, Kahn disait que la ville devrait être telle qu'un petit garçon puisse ressentir, en marchant dans les rues, ce qu'il voudra être un jour (Kahn 1996). L'essence singulière qui fait l'unité, l'individualité d'un espace public a un caractère affectif parce que nous la saisissons non pas par une réflexion abstraite mais bien par notre expérience physique. Le sens d'un espace provient toujours de l'expérience indissociable de sentir, éprouver et comprendre.



Les quais de la Seine à Paris. (Photo : S.Reiter).

L'esthétique n'est pas seulement la mise en valeur d'une image individuelle. Au sens étymologique, l'esthétique a un rapport avec le sens. L'émerveillement face à la beauté nous fait pénétrer dans le monde subtil des valeurs et des significations. Rendre un espace esthétique, c'est donc aussi le rendre signifiant.

Je tiens à mettre à l'honneur la recherche de la beauté. Rappelons une célèbre phrase de Le Corbusier qui montre bien à quel point beauté et architecture sont indissociables : « *On met en œuvre de la pierre, du bois, du ciment ; on en fait des maisons, des palais ; c'est de la construction. L'ingéniosité travaille. Mais tout à coup vous me prenez au cœur, vous me faites du bien, je suis heureux, je dis : c'est beau. Voilà l'architecture.* »

Mais que signifie la beauté architecturale ? Une réponse nous est donnée par Saint-Augustin : « *La beauté est l'éclat de la vérité* » (Saint-Augustin 1997). Ainsi, la beauté est une expression visible de la signification, une manifestation tangible du sens : elle unit l'étant à l'être, l'existence à l'essence, le particulier à l'universel. L'esthétique architecturale serait donc l'expression spatiale de l'être de l'habiter. Pour Louis I. Kahn, « *La beauté est un sens de l'harmonie totale, qui engendre l'émerveillement ; la révélation en découle.* » (Kahn 1996) La recherche d'une communion avec la beauté ouvre une porte vers la connaissance et le respect. Enfin, écoutons un poète en parler : « *Contempler, c'est communier, c'est faire advenir. La beauté, n'est pas cette forme seulement extérieure, fixée une fois pour toutes, qu'on peut à sa guise poser sur une étagère comme une statuette. La vraie beauté est élan même vers la beauté, fontaine à la fois visible et invisible, qui jaillit à chaque instant depuis la profondeur des êtres en présence. Puisque la beauté est rencontre, toujours inattendue, toujours inespérée, seul le regard attentif peut lui conférer étonnement, émerveillement, émotion, jamais identiques.* » (Cheng 2002)



Pavillon de L. Mies van der Rohe. (Photo : S.Reiter).

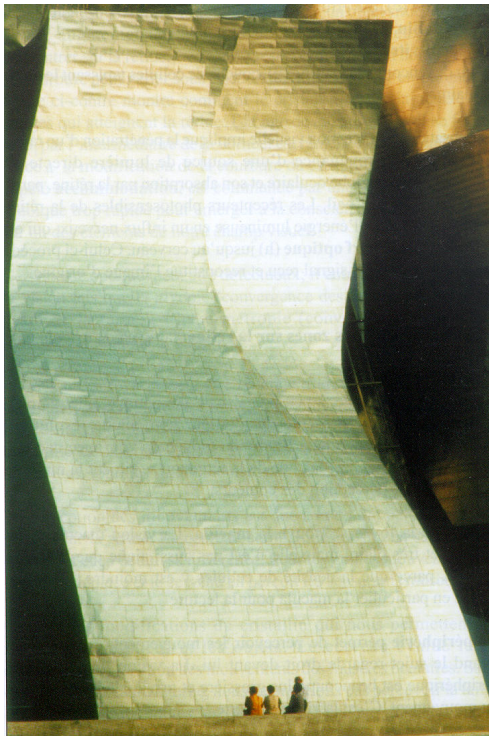
Ouvrir un espace public à des potentialités d'interprétations signifiantes, c'est aussi valoriser sa capacité à susciter des émotions et à enrichir notre imaginaire. Le grand poète Hölderlin écrivait que « *c'est poétiquement que l'homme habite* ». Nul mieux que Marcel Proust n'a décrit la connexion profonde qui existe entre la signification d'un lieu (qui prend déjà naissance dans son nom) et l'imaginaire : « *Le nom de Parme, une des villes où je désirais le plus aller depuis que j'avais lu La Chartreuse, m'apparaissant compact, lisse, mauve et doux, si on me parlait d'une maison quelconque de Parme dans laquelle je serais reçu, on me causait le*

*plaisir de penser que j'habiterais une demeure lisse, compacte, mauve et douce, qui n'avait de rapport avec les demeures d'aucune ville d'Italie, puisque je l'imaginai seulement à partir de cette syllabe lourde du nom de Parme, où ne circule aucun air, et de tout ce que je lui avais fait absorber de douceur stendhalienne et du reflet des violettes.* » (Proust 1954). Parme est évidemment un personnage imaginaire pour Proust. Mais en fait tout lieu véritable devrait être porteur d'imaginaire. Le philosophe Jean Ladrière renchérit sur ce sujet en disant que les villes «*qui ne se laissent pas reconstruire dans l'imaginaire sont des villes inhabitables* » (Ladrière 1973).

Citons quelques éléments susceptibles d'accroître les dimensions émotionnelles et symboliques de tout lieu public :

- tous les éléments particuliers ou symboliques tels que des fontaines, kiosques, statues ou œuvres d'art qui constituent des points d'appel chargés d'émotions.
- la mise en évidence du microclimat du lieu ainsi que de la végétation qui rappellent le rythme cyclique des saisons.
- la mise en lumière nocturne des lieux extérieurs collectifs et des bâtiments importants. Toute place devrait être aussi attrayante en soirée qu'en journée.
- ...

Les éléments naturels (le rayonnement solaire, le vent, les cours d'eau, le relief,...) renvoient symboliquement aux quatre éléments : le feu, l'air, l'eau, la terre. Ces quatre éléments font partie des plus grands symboles religieux et participent donc largement au processus de symbolisation des lieux de par leurs références cosmologiques et archétypales. Ainsi, le microclimat d'un lieu est un « bien-commun » dont la valeur est non seulement économique, écologique et sociale mais épouse également des préoccupations anthropologiques et existentielles, grâce à son potentiel symbolique.



Musée Guggenheim à Bilbao (Photo : S.Reiter).

A une époque où le discours scientifique et technocratique domine de manière écrasante, l'architecture a un rôle à jouer, grâce à sa capacité à toucher l'imaginaire, pour aider la société à sortir du dogmatisme scientifique et des langages univoques.

Jung nous explique que l'être humain a un besoin impérieux de symboles et d'archétypes: seul le symbole permet d'atteindre l'inconscient ; c'est pourquoi l'individuation ne pourra jamais se passer de symboles. On peut affirmer que quelque chose est un symbole lorsque, par son être même, il est le signe d'autre chose. Mais le symbole n'est pas un signe conventionnel car c'est en affirmant son sens premier, c'est-à-dire en étant intégralement et naturellement elle-même, qu'une chose peut renvoyer à un sens second ou figuré. Par exemple, le vent peut évoquer, par ses caractéristiques d'invisibilité et de mouvement permanent, la subtilité de l'esprit ou l'évolution incessante de toute vie. L'étant d'une chose doit donc exprimer son être pour renvoyer à une dimension encore plus profonde et plus universelle.

Le symbole est d'une part l'expression primitive de l'inconscient et d'autre part l'idée qui correspond à la plus haute réalité pressentie par la conscience. Selon Mircea Eliade, « *le symbole révèle certains aspects de la réalité - les plus profonds - qui défient tout moyen de connaissance* » et pour Ricoeur, « *le symbole signifie le lien entre l'Être de l'homme et l'Être total.* » En ce sens, le symbole est la coïncidence d'un fragment du monde avec l'univers lui-même ou, dans un sens plus mystique, la révélation du divin à travers un être particulier. C'est que toute chose est interreliée dans l'univers et que chaque étant peut donc traduire en symboles un aspect de l'univers et ouvrir sur la transcendance.

La spiritualité, cette quête éternelle du sens consiste à jeter des ponts sur le gouffre du non-sens vers un Autre qui dépasse notre entendement mais nous appelle à créer à partir du lieu de notre manque à être. Le sens ne peut donc pas être réduit uniquement à son caractère imaginaire. Au contraire, un lieu signifiant déloge le sujet de l'enfermement dans l'imaginaire comme de son enfermement dans le matérialisme pour recréer un dialogue riche et puissant entre matière et conscience. Conscientiser la matière et matérialiser la conscience, tel est aussi l'enjeu de l'aventure spirituelle de l'humanité, aujourd'hui comme hier.



Square du Petit Sablon (Photo : S.Reiter).



Beaucoup de personnes croient que des développements techniques résoudront les problèmes que la technologie actuelle pose à l'humanité. L'illusion est grande. Aux problèmes du progrès technologique, il faut proposer d'abord des solutions de progrès humain. Ainsi, à la crise de la croissance (de l'ordre de la quantité), on devrait répondre par le développement (de l'ordre de la qualité). Le but ultime du développement de l'humanité consiste à offrir à tous les êtres humains la possibilité de vivre en communion avec l'univers.

L'hégémonie des sciences et de la technologie nous a fait perdre une part significative de notre ouverture au monde symbolique. Cependant, Jung nous montre que ce soi-disant progrès scientifique n'est qu'un leurre puisque l'homme moderne est toujours en grande partie gouverné par son inconscient. « *Dans la mesure où la distinction entre le sujet et l'objet n'est pas consciente, il règne une unité inconsciente. L'inconscient en effet est projeté dans l'objet, et l'objet introjecté dans le sujet, c'est-à-dire rendu psychologique. Alors les plantes et les animaux se comportent comme des humains, et les humains sont à la fois eux-mêmes et des animaux, et tout est animé par des esprits et des dieux. L'homme civilisé se croit naturellement bien au-dessus de tout cela. Mais à la place, il est bien souvent identifié toute sa vie à ses parents ; il est identique à ses affects et à ses préjugés et il taxe effrontément les autres de ce qu'il ne veut pas voir en lui-même. En fait, il possède encore un reste d'inconscience primitive, c'est-à-dire d'absence de différenciation entre le sujet et l'objet. A cause de cette inconscience, il est influencé sans réserve par des humains, des objets et des circonstances innombrables ; son esprit est rempli d'éléments parasites presque au même degré que celui du primitif, et c'est pourquoi il a tout autant besoin de magie. Il n'utilise plus les sachets de médecine, les amulettes et les sacrifices mais les sédatifs, le « progrès », le culte de la volonté et ainsi de suite.* » (Jung 1994)



L'emprise de la technologie en urbanisme et en architecture. (Photos : S.Reiter).

Augustin Berque rejoint Jung pour dire que la modernité, bien que niant les symboles, ne cesse de produire de nouveaux appareils symboliques, dont la seule spécificité est d'être fonctionnels plutôt que cosmogoniques (Berque 1996). Ainsi, la publicité est un exemple type d'outil contemporain produisant en permanence un langage symbolique mais dont le but est de nous faire consommer davantage plutôt que de nous relier à notre âme et à l'univers.

Comme le fait très bien remarquer le philosophe Jean Proulx, « *placer son centre dans l'avoir, c'est s'engager dans les processus d'objectivation, c'est réduire son être profond à l'état d'objet. La société dite d'abondance et de consommation, fondée sur la propriété privée, la course au profit, la concurrence, la publicité, la mode et le crédit, est à proprement parler une civilisation de l'avoir, dont les symboles par excellence sont, au plan de la nation, celui du P.N.B., et au plan de l'individu, celui du niveau de vie. L'un des grands déséquilibres de cette civilisation réside dans son inversion de l'être et de l'avoir, ou plutôt, dans sa dégradation de l'être en avoir, de l'épanouissement en croissance, du bonheur en consommation, de la qualité de la vie en niveau de vie et du "mieux" en "plus".* » (Proulx 1974 ). Face à la tyrannie d'une civilisation de la consommation, l'architecture se doit de montrer que l'activité humaine peut être régie par d'autres valeurs.



La publicité et l'automobile : deux symboles de notre société de consommation. (Photo : S.Reiter)

Qui ne rêve pas d'habiter un lieu qui, par sa présence même, rassemble le ciel et la terre, souligne les quatre orientations, resymbolise la nature et nous laisse entrevoir le récit de la création du monde ? C'est pourtant là que se trouve le fondement même de l'acte de bâtir.

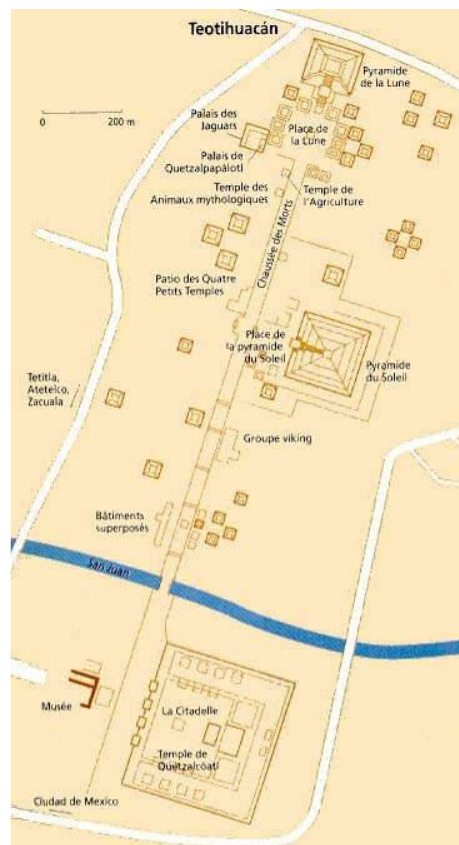


La place Navona à Rome (Photo : S.Reiter).

La forme métamytique présente au sein des textes instaurateurs de la théorie d'urbanisme vient nous rappeler la gravité de l'acte d'édification ancestralement accompli sous la double tutelle des dieux et de la communauté sociale. (Choay 1980)

L'urbanité naît aussi de la capacité du citoyen de se reconnaître symboliquement dans sa ville. « *La plupart des civilisations passées ont vu s'édifier des villes à l'image de leur cosmologie. L'aménagement de l'espace, sa symbolique et ses usages, étaient largement déterminés par le sacré. La mythologie plus que l'économie ou la politique nous renseigne sur le pourquoi de la ville et de ses rapports à la campagne.* » (Paquot 1990)

Ci-dessous, une photo et un plan des ruines de la ville Teotihuacán, au Mexique, dont le nom signifie « *lieu où les dieux sont nés* ». Le site est organisé autour d'une longue allée, qui relie le temple du Serpent à plumes (qui deviendra Quetzacoatl pour les Toltèques) à la pyramide de la Lune, en longeant la pyramide du Soleil. La photo est prise depuis la pyramide de la Lune.



Les ruines de Teotihuacan. (Photo : S.Reiter).

Nous rejoignons ainsi la vision d'Heidegger : « *Le rapport de l'homme à des lieux et, par des lieux, à des espaces réside dans l'habitation. La relation de l'homme et de l'espace n'est rien d'autre que l'habitation pensée dans son être.(...) Le lieu fait entrer dans une place la simplicité de la terre et du ciel, des divins et des mortels, en même temps qu'il aménage cette place en espaces.* » (Heidegger 1958)

La technologie réduit trop souvent le sens de la technique à sa seule fonctionnalité. C'est avec humour et poésie qu'Antoine de Saint-Exupéry nous décrit cette problématique de la perte de sens de la technologie moderne (de Saint-Exupéry 1946) : « *C'était un marchand de pilules perfectionnées qui apaisent la soif. On en avale une par semaine et l'on n'éprouve plus le besoin de boire.*

- *Pourquoi vends-tu ça ? dit le Petit Prince.*
- *C'est une grosse économie de temps, dit le marchand. Les experts ont fait des calculs. On épargne cinquante-trois minutes par semaine.*
- *Et que fait-on de ces cinquante-trois minutes ?*
- *On en fait ce que l'on veut...*

*Moi, se dit le Petit Prince, si j'avais cinquante-trois minutes à dépenser, je marcherais tout doucement vers une fontaine... »*

Prenons l'exemple du traitement de l'eau en milieu urbain. Assurément, il faut s'occuper de la gestion et de la qualité de l'eau, comme de la propriété et du partage des eaux, car l'eau est un bien précieux pour les collectivités humaines. Mais la symbolique de l'eau nous renvoie aussi à «l'être» de l'eau. C'est pourquoi, une étude de l'eau par ses aspects politique, économique ou technique ne devrait jamais négliger l'importance également fondamentale de sa dimension symbolique. Ainsi, dans la gestion et l'aménagement des eaux, il faut rendre l'eau visible et accessible par des fontaines, des rivières, des canalisations à ciel ouvert,... avec le souci de préserver leur capacité à devenir des eaux signifiantes car la fonction symbolique est nécessaire à tout être humain, y compris et peut-être surtout à l'habitant des grandes villes...



La symbolique de l'eau (Photo de gauche : V. Mahaut ; photo de droite : S.Reiter).

Donc, si un même choix technique peut être traduit de différentes manières dont l'une d'elle permet une appropriation symbolique, c'est cette solution signifiante qui devrait toujours être choisie.

Un bel exemple est l'aménagement d'un bassin d'orage à Matrigues sur un espace qui était devenu un large parking sauvage. Les aménagements ont été conçus pour lutter contre le ruissellement des eaux de pluie et pour favoriser l'infiltration des eaux dans le sous-sol. Un grand espace creusé et couvert de gazon sert à la fois de bassin d'orage de 4000 m<sup>3</sup> et d'aire de loisirs. Le creux de cette terrasse engazonnée est franchissable par deux passerelles de bois légèrement surélevées. La digue de fermeture de ce bassin d'orage propose une promenade plantée sur laquelle on trouve quelques bâtiments d'intérêt collectif (restaurants, commerces). L'espace engazonné se remplit d'eau les jours d'orage, période pendant laquelle cet espace serait de toute façon peu utilisé. En revanche, la pelouse est sèche et accessible pendant les jours ensoleillés. Par conséquent, les deux usages de la

pelouse se complètent tout au long de l'année. Et si la pelouse reste humide plusieurs heures ou même quelques jours après de fortes averses, les passerelles en bois permettent aux piétons de traverser cet espace et de rejoindre les commerces sans être mouillés. (Mahaut 2005)



Aménagement d'un bassin d'orage à Matrigues (Mahaut 2005).

Cet exemple montre qu'il est possible de profiter d'une contrainte technique pour générer du sens dans les lieux collectifs. Dans ce projet, l'usage du sol est diversifié en fonction des circonstances météorologiques, rappelant ainsi à l'être humain que la Terre ne lui appartient pas et qu'il doit respecter les cycles naturels. Ainsi, cet espace collectif de qualité accomplit une réunification de la culture et de la nature en accueillant les êtres humains tout en respectant les cycles naturels.

Il ne s'agit évidemment pas de rejeter la technologie et le monde de la matérialité mais bien de les réintroduire dans une hiérarchie où l'avoir et la technique sont au service de l'être et du sens. Il faut donc opérer une révolution de l'ordre de l'éthique et de la symbolique pour replacer la technique à sa juste place.

*« La technique est initialement un savoir-faire pratique ; cela va du travail de l'artisan à la fabrication d'objets qui prolongent la main de l'homme, augmentant ses capacités. Or, la technique contemporaine manifeste par rapport aux techniques pré-industrielles une rupture quantitative et qualitative. »* (Ansary & Schoonbrodt 1989).

La photo ci-dessous montre comment Gaudi utilise chaque élément technique (bouche de ventilation, cage d'ascenseur,...) pour créer une architecture ouverte à des interprétations multiples.



La casa Mila à Barcelone (Photo : S.Reiter).

Signalons aussi qu'utiliser un matériau selon ses caractéristiques propres permet de revenir à des solutions plus simples pour instaurer une cohérence entre les dimensions symbolique et technique, une continuité entre la technologie et sa signification.

Nous avons la certitude que la question du développement durable de l'humanité que nous sommes en train de questionner est un pas vers une transformation plus profonde : c'est vers une transmutation de l'être humain et de sa relation au monde que se porteront les recherches de demain. Ainsi, le développement durable serait une marche, un palier entre croissance et transmutation.

### **1.4.3 La naturalité**

Enfin, la cohérence d'un lieu dépend de sa naturalité. On est toujours lié à la nature, pris dans un ordre naturel dont on fait partie, par la force de la vie, par la réalité de notre corps. C'est dans ce lien premier, indestructible, que l'on peut trouver le fondement éthique de notre rapport à la nature.

Le mot 'nature' provient du latin *natura*, dérivé de *natus*, né, participe passé du verbe *nasci*, naître. *Natura* signifie « l'action de faire naître » et « le fait de naître ». Dans la philosophie grecque antique, la nature est considérée comme une puissance en genèse dont l'homme participe : elle ne relève pas du fini et ne peut être comprise dans le domaine des choses extérieures à l'homme. Dans sa « Physique », Aristote définit la spécificité des êtres naturels comme possédant en eux-mêmes le principe de leur devenir, de leur mouvement et de leur repos.



La naturalité. (Photo de gauche : S. Reiter ; photo de droite : B. Deprez).

Actuellement, la question de la naturalité des espaces publics est surtout prise en compte dans le sens d'une prise de conscience écologique, qui est bien sûr indispensable. Cependant, la qualité de naturalité d'un espace public urbain ne se limite pas à son point de vue écologique. Nous définissons la naturalité d'un lieu comme la capacité d'émergence et d'intégration des différentes échelles de son être. Elle correspond à la définition de la totalité donnée par Jean Ladrière : « *Le tout n'est pas une addition de parties mais il est manifestation progressive de soi* ». (Ladrière 1973) En ce sens, la naturalité est l'expression dynamique de la cohérence d'un espace. La naturalité nous relie à l'essence de la chose dans l'infinité des perspectives qu'elle autorise.

La physique contemporaine, et notamment les structures dissipatives d'Ilya Prigogine, montre qu'une cohérence dynamique peut apparaître loin des états

d'équilibre. Ces phénomènes rythmiques, dans un mouvement temporel, ont selon Prigogine un rôle constructif. La stabilité ne naît plus de certitudes immobiles mais est créée à partir de probabilités dynamiques.

Tout être naturel, à commencer par les êtres humains, possède une capacité d'auto-évolution, appelée aussi processus d'individuation. Pour Jung, « *le fond de l'âme est nature et la nature est vie créatrice. La nature, il est vrai, abat ce qu'elle a construit, mais c'est pour le reconstruire.* » La découverte la plus originale de l'œuvre de Jung est sans doute l'existence dans l'inconscient humain d'un dynamisme de transformation. Les archétypes ou organisateurs inconscients correspondent au niveau psychique au code génétique sur le plan physique et constituent des facteurs d'auto-guérison, des forces de transformation présentes dans l'inconscient visant à nous faire advenir à nous-mêmes. Ce processus d'individuation est une quête intérieure qui revêt un aspect religieux, au sens étymologique du terme : religere, être relié à nous-mêmes.

Il importe de respecter l'être essentiel de chaque chose. Mais cette essence est aussi pure potentialité, non encore réalisée. L'être essentiel est bien le visage authentique d'un être, mais non matérialisé. Révéler la naturalité d'une chose, c'est donc faire émerger son être à travers la matière.

Partant de l'interrogation : « *Que veut être un bâtiment ?* », Louis I. Kahn formule une réponse déjà implicitement contenue dans l'affirmation : « *Une rose veut être une rose* ». En d'autres termes, il affirme que toute chose doit exprimer sa naturalité propre. Concevoir un espace en respectant sa naturalité, c'est révéler ce qu'est une place, ce qu'est une rue, ce qu'est un jardin. Ainsi, ce que l'architecture exprime n'est pas distinct de ce qui la constitue.



Square du Petit Sablon à Bruxelles (Photos : S.Reiter).

Cette reconnaissance de la naturalité d'un lieu peut nous guider dans le choix d'un espace public. Considérons l'influence de l'organisation spatiale sur la naturalité d'une place. Soit, une place bordée de bâtiments continus : le style et le matériau des façades et même la forme de l'espace central peuvent être changés sans modifier la nature même de place. Par contre, en alignant les maisons en deux rangées face à face, un lieu fondamentalement différent en résulte et en les dispersant de manière aléatoire on supprime l'impression de lieu. En effet, « *chaque forme contient des champs de force cachés* » (von Meiss 1993). Ainsi,

pour choisir une forme architecturale adaptée à la nature d'un lieu, il faut tenir compte de leurs propriétés intrinsèques respectives.



Place du Plebiscite à Naples (Photo : S.Reiter).

Il nous faut reconnecter les dimensions physiques, relationnelles et signifiantes de toute chose. Chaque échelle de l'être peut exister ou ne pas exister à ces trois niveaux de son incarnation. Par exemple, l'échelle de la concitoyenneté peut exister physiquement par l'inscription spatiale d'une continuité de constructions et l'implantation d'espaces de rassemblement. Mais l'échelle de la coexistence n'est pas réellement réalisée dans son être si ces espaces ne sont pas investis et appropriés ou si ce voisinage n'est pas perçu symboliquement comme l'expression d'une concitoyenneté.

La naturalité d'un lieu naît dans la cohérence des différentes échelles de son être. Le dessin du sol des rues de Pompéi où de gros blocs de pierre créent une continuité des trottoirs et permettaient de traverser ses rues à sec les jours d'inondation tout en laissant des interstices pour le passage des charrettes est un exemple remarquable de l'intégration des différentes échelles de la conception urbaine (échelles du paysage, du quartier, de l'homme et de la technique) faisant émerger un lieu dans sa naturalité. A l'opposé, les dessins gratuits des sols de nos espaces publics contemporains ont souvent pour effet inverse de banaliser et dénaturer les spécificités d'une ville ou d'un lieu. Tout espace public se doit de rechercher cette cohérence d'échelles en son sein.



Les ruines de Pompéi (Kostof 1992).



Contrairement à la proportion, qui relève d'un système abstrait, l'échelle ramène au concret. C'est ce qu'exprime Augustin Berque : « *L'échelle, c'est en effet ce qui rapporte la grandeur de l'édifice non seulement à la taille humaine, mais aux réalités du monde sensible.* » (Berque 2000). Ainsi, la gravité, par exemple, est une réalité dont l'architecture ne peut s'abstraire.



La défense (Photo : S.Reiter).

La naturalité d'un lieu correspond à ce qu'Alberti appelle la « *convenance* ». Il entend par là une manière de traiter les formes et les espaces qui respecte la destination objective d'un lieu et l'attribution subjective de ce lieu. En effet, la naturalité d'un lieu public est indissociable du point de vue subjectif, et donc en partie symbolique, des habitants qui vont y séjourner. C'est pourquoi Augustin Berque nous incite à « *aller vers une civilisation plus humaine parce que plus naturelle, plus naturelle parce que plus cultivée* ». Ainsi, la naturalité des choses englobe la question du sens et la repositionne dans la perspective d'une émergence commune.

Mais insistons sur la dimension physique de la naturalité. L'être humain prend place comme élément du système naturel. Resituer tout projet par rapport à la corporéité humaine nous semble indispensable pour éviter de créer des villes sans échelle. De plus, l'échelle humaine permet de revenir à des solutions plus justes car plus maîtrisables et plus adaptables.



Louvain-la-Neuve (Photos : S.Reiter).

Le concept d'écosystème a modifié fondamentalement notre vision de la nature. La relation de l'homme à la nature ne peut plus être une relation de domination mais doit être reconsidérée dans un rapport de solidarité. Ainsi, humaniser la ville, c'est aussi retrouver l'échelle de la nature plutôt que celle de la machine. La nature, dans son sens biologique, nous rappelle la dimension corporelle de notre être. Introduire des éléments naturels, tels que la végétation mais aussi le soleil, le vent, la pluie, les cours d'eau, le relief, à travers les échelles d'un espace public, sert aussi à nous reconnecter à notre corps.



Les étangs d'Ixelles à Bruxelles (Photo : S.Reiter).

Le mode de vie actuel coupe l'individu de la nature. Le patrimoine naturel urbain doit être préservé pour les multiples qualités qu'il présente :

- préservation de la diversité biologique,
- régulation de l'écosystème urbain (purification de l'atmosphère, rétention des eaux,...),
- structuration du paysage urbain,
- richesse scientifique,
- support d'activités sociales et de détente,
- participation à l'équilibre psychique des individus (rôle antistress,...),
- rôle sur la santé des citoyens,
- accroissement de la valeur du patrimoine bâti,
- ...

Il est extrêmement important de valoriser la nature en ville. Il s'agit de rendre accessible des lieux naturels à un maximum de citoyens. Cependant, il faut faire attention à ce que cette mise en évidence ne mette pas en danger le faible capital de biodiversité disponible en ville. D'autre part, il est essentiel de favoriser la naturalité de ce contact entre nature et ville en favorisant la nature spontanée et en évitant les mises en scènes à caractère touristique...

Dans la conception du quartier Bo01 à Malmö, les différents jardins et espaces verts ont tous des caractéristiques différentes, notamment quant au choix des espèces animales et végétales retenues, permettant une grande biodiversité sur le quartier. De plus, des espaces protégés pour les habitats des grenouilles en hiver et la reproduction des mésanges ont même été prévus. Un système de collecte des eaux de pluie sert à alimenter les nombreuses mares créées afin d'attirer certaines espèces spécifiques d'animaux dans les différents espaces verts de ce quartier respectueux de la naturalité.



Espaces publics favorisant la biodiversité dans le quartier Bo01 à Malmö (IMBE 2005).

La végétation intervient dans l'espace public de différentes manières. Elle peut constituer un simple élément décoratif ou un élément d'amélioration de l'espace public (rue, avenue, place). Dans le cas des parcs, jardins et squares, elle devient le plus souvent l'argument central de l'aménagement. La diversité des espèces végétales utilisées et la diversité de leurs exigences offrent de multiples possibilités de combinaison et d'usage.

Diverses études menées tant en Belgique qu'à l'étranger prouvent que la végétation présente de nombreuses aménités réelles et perçues dans les espaces extérieurs urbains. Il est important de souligner l'importance de la végétation en ville pour le développement durable d'un quartier. La végétation dans les espaces publics assure de nombreux rôles quelles que soient le type de plantation (gazon, parterres, buissons, arbustes ou arbres) :

- amélioration de la biodiversité, en servant d'abri et de nourriture pour les animaux et plantes ainsi que par la création de corridors écologiques.
- amélioration de la qualité de vie, grâce à sa régulation bioclimatique, à l'embellissement des lieux qu'elle génère, au rappel du cycle des saisons et à une légère atténuation du bruit.
- amélioration du cycle de l'eau en absorbant l'eau de pluie, ce qui limite les eaux de ruissellement.
- limitation de la pollution de l'air, par son rôle de filtre à poussière et son absorption de CO<sub>2</sub>.
- amélioration des fonctions sociales et récréatives.
- participation aux éléments structurants des projets urbains.
- ...

Les cités-jardins du Logis et de Floréal à Watermael-Boitsfort (Bruxelles) sont un superbe exemple de l'utilisation de la végétation comme outil d'urbanisme. Elles ont été construites pour y accueillir des logements sociaux dépendant de deux entités sociales différentes. Grâce à un environnement attrayant basé sur un esprit communautaire et l'usage abondant de la végétation, ces cités-jardins favorisent un sentiment d'appartenance et de compréhension réciproque entre les différents types de population qui y habitent. Signalons l'homogénéité du style architectural, l'organisation spatiale autour d'un espace central de même que l'existence de venelles piétonnes reliant les jardins publics et privés entre eux et à l'espace public de la rue. On perçoit aisément la cohérence de ce quartier qui se traduit par une grande simplicité architecturale et par la naturalité de l'aménagement des espaces extérieurs :

- de nombreux intérieurs d'îlots sont constitués d'un grand jardin public entouré de petits jardins privatifs, séparés par des haies accueillant une faune variée.
- de larges bandes plantées d'arbres et d'arbustes ainsi que des différences de niveaux créent des espaces de rencontres pour piétons, lieux de transition entre la chaussée destinée à la circulation et l'habitat privé.
- les espaces publics présentent un travail remarquable de la mise en valeur de chaque échelle dans l'ensemble. et de l'intégration des différentes fonctions et des différents types d'utilisateurs.
- ces espaces publics végétalisés sont aussi un lien entre la Forêt de Soignes et les grands parcs urbains qui bordent ces cités.



La naturalité des cités-jardins Le Logis et Floréal. (Photos : S. Reiter).

Bruxelles est une capitale particulièrement « verte » par rapport aux autres grandes villes européennes. Elle présente une surface naturelle à peu près équivalente à la surface bâtie. Le tableau ci-dessous présente la proportion de types d'espaces verts en Région de Bruxelles-Capitale, permettant d'analyser les opportunités sociales et écologiques de ces « espaces verts ». (De Schutter et al. 2000)

Types d'espaces verts présents en Région de Bruxelles-Capitale	Proportion des différentes catégories d'espaces verts (%)
Jardins privés	32 %
Forêts	20 %
Parcs et jardins publics	12 %
Grands domaines privés	10 %
Zones agricoles	7 %
Friches	7 %
Zones de récréation en plein air	4 %
Espaces verts le long des routes	3 %
Talus de chemins de fer	3 %
Cimetières	2 %

L'analyse de ce tableau nous montre qu'en Région de Bruxelles-Capitale :

- 42% des espaces verts sont interdits d'accès au public
- seulement 39% (forêt, parcs publics et friches) peuvent faire l'objet d'une planification pour le développement de la biodiversité. La partie bruxelloise de la Forêt de Soignes constitue l'essentiel des 20% de forêt.
- Les friches (7% de la surface totale des espaces verts) sont les seuls sites à présenter une nature « spontanée » dont la structure et l'aspect ne sont pas contrôlés de manière stricte par l'homme. Une attention particulière doit donc être portée vers ces lieux de régénération naturelle qui sont les plus menacés à l'heure actuelle.
- La proportion d'espaces verts privés est particulièrement grande à Bruxelles. Les grands domaines privés (comme le Domaine royal de

Laeken) et dans une moindre mesure les intérieurs d'îlots ont donc un rôle important à jouer pour conserver la biodiversité dans la ville. Cependant, leur impact social est réduit.

Les bords des voies de transport qui entrent en ville, et plus particulièrement les talus de chemin de fer, ont un intérêt stratégique pour le développement de la biodiversité parce qu'ils constituent des voies de pénétration dans la ville pour certaines espèces. Il est donc important de maintenir leur fonction de corridor écologique en assurant leur caractère végétal (mais pas forcément arboré). A Bruxelles, les talus de chemins de fer aux taillis denses et diversifiés sont les seuls véritables corridors verts qui pénètrent au cœur même du tissu urbain. En connectant les espaces verts qu'ils traversent ou qu'ils longent, ils forment de réels liens écologiques. Citons le bel exemple des prairies fleuries venues coloniser les sables calcaires qui longent les voies à Neerpede et à Haren. Par ailleurs, les friches ferroviaires, comme la gare Josaphat, sont particulièrement riches sur le plan biologique.

Les friches sont souvent d'anciennes zones agricoles laissées à l'abandon et où la nature s'est développée de manière spontanée. Ce sont donc les seuls espaces verts où la structuration du paysage est essentiellement l'œuvre de la nature. En effet, les espaces publics, les parcs et même les morceaux de forêt situés en ville sont généralement planifiés, structurés, et gérés par l'homme. De plus, les friches sont les sites naturels qui offrent la plus grande biodiversité en ville. Aujourd'hui, les friches citadines sont souvent devenues plus riches en terme de biodiversité que nos campagnes remembrées. En tant qu'environnement naturel non organisé par des êtres humains, les friches urbaines sont donc un patrimoine paysager, récréatif et écologique à conserver. Ce sont malheureusement aussi les espaces verts les plus menacés, en particulier par les pressions urbanistiques. Il est donc urgent d'établir une politique de préservation de ces friches pour l'avenir de la relation entre le citadin et la nature. (De Schutter et al. 2000)

Le site de Tour et Taxis à Bruxelles est une grande friche industrielle, située à l'emplacement d'une ancienne gare de marchandises, où la biodiversité s'est développée librement durant toutes ces années d'abandon. Des plantes et des insectes rares ou inexistant dans la Région y sont apparus. Aujourd'hui, le site va être reconverti. Le projet rassemble différents aménagements de zones vertes ainsi que la préservation de couloirs écologiques. Espérons que la vocation sociale de ces lieux n'en détruise pas sa valeur du point de vue de la biodiversité...

Enfin, signalons que puisque 42% des espaces verts bruxellois ne sont pas accessibles au public, il est indispensable que les citoyens s'investissent dans la verdurisation de leur ville. Jardins privés, balcons, terrasses sont autant de lieux laissés ouverts à l'initiative privée. Des espaces semi-publics comme certains intérieurs d'îlots sont également des lieux de convivialité et de naturalité à préserver et à enrichir...

Les intérieurs d'îlots sont, le plus souvent, composés d'un ensemble de jardins privés. Masqués par les constructions, ils ne profitent guère qu'aux « riverains ». Ils constituent cependant une précieuse réserve d'espaces verts. Cependant, ces jardins d'îlots peuvent aussi devenir en partie ou totalement publics ou semi-publics. Ainsi, la Fondation Roi Baudouin a aménagé il y a 20 ans un îlot à Schaerbeek, rue de la Poste, qui est devenu aujourd'hui un jardin ouvert au public. De même, la Région bruxelloise a protégé un îlot non encore bâti, situé rue des Mèlèzes à Ixelles. Les solutions s'improvisent selon les circonstances. Parfois, il

s'agit simplement de préserver l'îlot tel quel, contre l'ambition de certains promoteurs. Parfois, il est possible d'en faire un lieu ouvert aux habitants du quartier. Outre leur valeur écologique, les jardins d'îlot sont au coeur de la structuration urbaine de bien des quartiers bruxellois. Ils offrent un agréable cadre de vie et, parfois, des possibilités inattendues de rencontres, de jeux, de promenades ou de repos. Signalons quelques exemples d'intérieurs d'îlots convertis en espaces publics : le quartier « Les Venelles » à Woluwé Saint-Pierre, le jardin Hap à Etterbeek et le parc Tenbosch à Ixelles. Les intérieurs d'îlots peuvent donc être alternativement des passages intérieurs piétons, des jardins privés, des parcs publics, des terrasses de café ou de restaurant, des plaines de jeux, des places d'exposition temporaire extérieure,....

La configuration ouverte des îlots construits des Venelles a permis de conserver une grande superficie (4 ha) d'espaces publics protégés de la circulation automobile, regroupant diverses fonctions : plaines de jeux, pelouses arborées, potager,... Les photos ci-dessous montrent l'articulation entre les petits jardins privés, qui jouxtent les habitations, et les espaces verts collectifs en centre d'îlots.



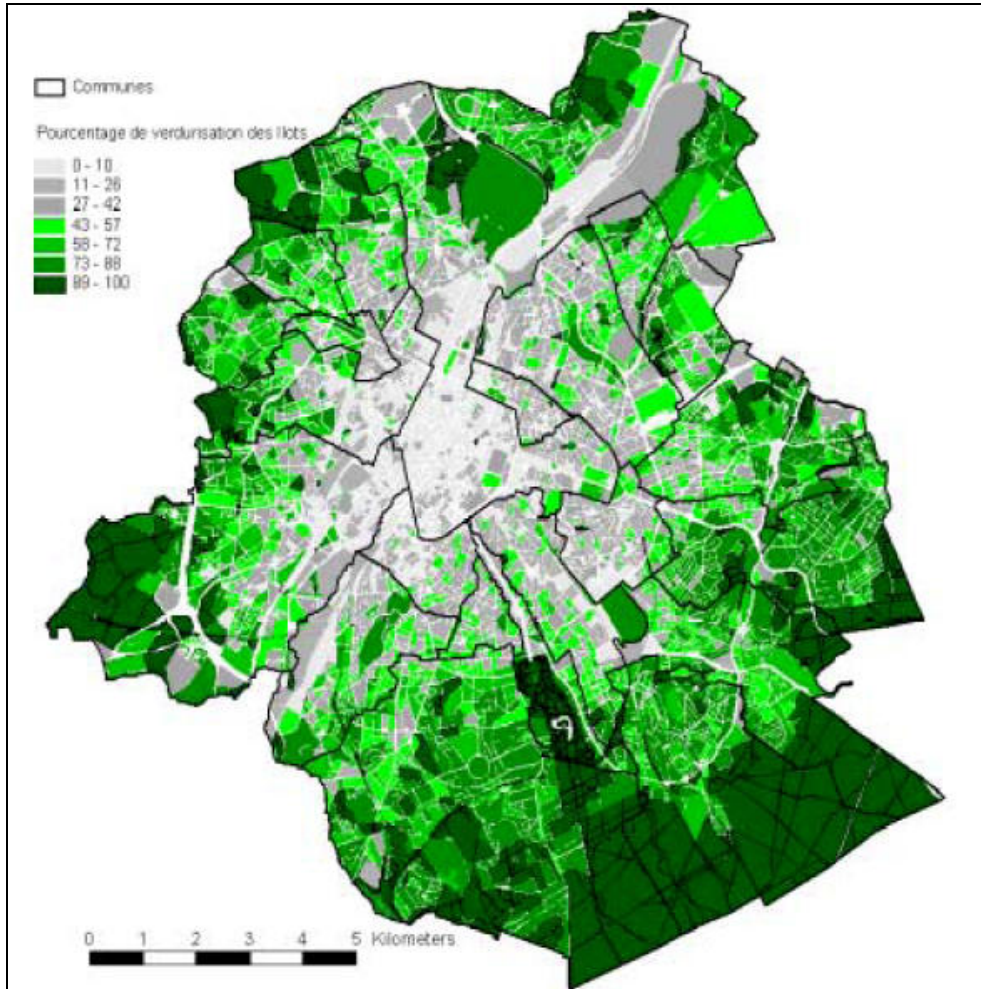
Jardins privés et publics en intérieur d'îlot dans le quartier « Les Venelles » à Bruxelles.  
(Photos : S.Reiter).

Pour ce qui est de la conception de nouveaux quartiers ou villes, des typologies diverses d'îlots urbains plus ou moins ouverts peuvent être envisagés. Le but est de créer des liens entre l'intérieur de l'îlot et les rues qui l'entourent : des îlots ouverts offrent l'avantage de pouvoir créer des espaces publics au centre des îlots. De plus, ces ouvertures peuvent être placées de manière à améliorer l'accès au soleil et à la lumière naturelle dans les bâtiments, l'espace central de l'îlot et même les rues avoisinantes. Même lorsque l'intérieur d'îlot est privé ou semi-public (réservé aux habitants de l'îlot), offrir des vues sur l'intérieur de l'îlot depuis la rue permet d'améliorer la naturalité des espaces publics urbains. La pollution atmosphérique et sonore générée dans les rues se propage toutefois à l'intérieur de l'îlot d'autant plus fort que les ouvertures sont importantes. Des îlots trop ouverts génèrent également une densité urbaine faible.

Une bonne connaissance des apports de la végétation et de la biodiversité en ville nécessite de mener des analyses sous plusieurs aspects : quantité, qualité et répartition. En effet, il est assez constant dans la plupart des villes des pays de l'Europe septentrionale que les quartiers favorisés présentent une meilleure qualité d'espaces publics que les quartiers défavorisés. D'autre part, signalons que la création de boulevards urbains plantés et la formation de coulées vertes dans les villes sont des possibilités pour ménager une continuité dans les habitats naturels.

La Région de Bruxelles-Capitale présente un pourcentage d'espaces verts qui augmente du centre vers la périphérie : 10% de la superficie des îlots est verdurisée

dans le Pentagone, 30% en première couronne et 71% en seconde couronne. Le plan ci-dessous montre la répartition des espaces verts en Région de Bruxelles-Capitale (IBGE 2002). Ainsi, la préservation des zones vertes existant au centre de Bruxelles et l'aménagement de continuités vertes dans le Pentagone et en première couronne sont des nécessités pour le développement durable de Bruxelles.



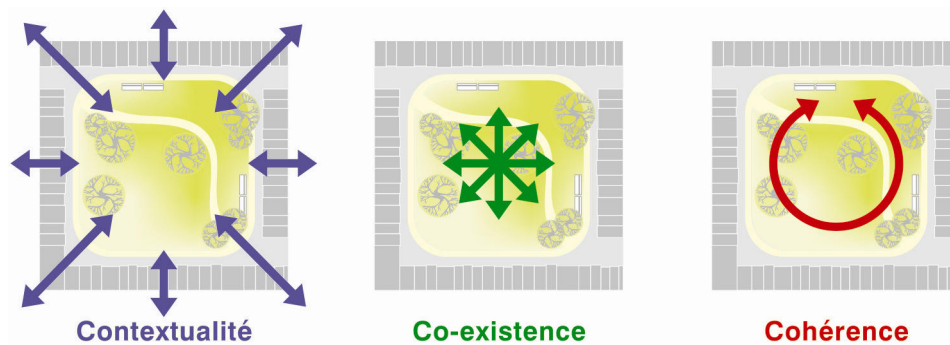
Répartition des degrés de verdisation en Région de Bruxelles-Capitale (IBGE 2002).

Notons aussi que la sensibilisation des citoyens à la nature et à la biodiversité est un investissement important qui sera très bénéfique à long terme. Nous défendons le projet d'une ville où l'élément naturel constitue une des composantes essentielles de son développement.

## 1.5 Stratégie de conception et de rénovation d'un espace public durable

Nous avons introduit un nouveau concept pour définir un espace public durable : le **lieu public**. Notre réflexion se propose de considérer le lieu public comme **identité à la fois singulière, collective et inscrite dans un milieu**. Ses principes fondateurs sont :

- **la contextualité** (ou inscription dans son milieu),
- **la coexistence** (ou mise en présence dense et complexe des différences),
- **la cohérence** (ou identité porteuse de sens).



Chacune de ces trois caractéristiques se développe dans un lieu public selon trois points de vue: quantitatif, qualitatif et dynamique (c'est-à-dire porteur d'une capacité d'évolution).

### La contextualité

La contextualité est la mise en relation d'un espace spécifique à son milieu englobant, constitué par un contexte physique, un contexte construit et un contexte humain. **La contextualité d'un espace public, ou son inscription dans un milieu, nécessite :**

- son **intégration** grâce aux continuités, au respect de la mémoire des lieux, à la création d'espaces de transition entre les différentes échelles, ... Pour s'intégrer dans son milieu, l'espace public doit profiter des opportunités offertes par le milieu et se protéger des contraintes du milieu, aux différentes échelles de l'habiter.
- sa **participation**. Un lieu public apporte des bénéfices au milieu dans lequel il s'inscrit et le protège de toute nuisance qu'il pourrait induire, aux différentes échelles de l'habiter. Cette participation induit donc une éthique, qui vise à établir une justice intergénérationnelle en poussant les habitants à prendre conscience de leur responsabilité face au Monde et à l'Histoire. « J'ai droit à la ville » se transforme en « je suis responsable de la ville ».
- son **adaptabilité**. S'inscrire dans un milieu c'est aussi être capable d'évoluer en même temps que ce milieu.

Henri Lefèbvre, qui nous dit à quel point l'espace public est devenu un enjeu de notre société, a défini le concept de 'droit à la ville' : « *Le droit à la ville ne peut se concevoir comme un simple droit de visite ou de retour vers les villes traditionnelles. Il ne peut se formuler que comme un droit à la vie urbaine, transformée, renouvelée. Ceci suppose une nouvelle théorie intégrale de la ville et*



*de la société urbaine, utilisant les ressources de la science et de l'art.* » (Lefèbvre 1972). Ce « droit à la ville » est cependant complémentaire d'une responsabilité en tant qu'être humain face à notre milieu, dans ces trois composantes naturelle, construite et humaine. Cette responsabilité fait partie intégrante de notre définition du lieu public par l'intermédiaire du concept de participation nécessaire pour une bonne contextualité de l'espace public dans son milieu.

### **La coexistence**

Par la rencontre de l'altérité, le lieu public devient le lieu privilégié de la mise en présence dense et complexe des différences, accès indispensable au vivre ensemble. **La coexistence, qui définit le lieu public comme identité collective, est créée à partir de trois qualités complémentaires :**

- le **rassemblement** qui nécessite une proximité et une certaine densité. Les espaces collectifs sont des lieux où les hommes sont réunis pour vivre ensemble.
- la **diversité** : variété de lieux, mixité des fonctions, hétérogénéité du bâti, simultanéité ou succession des activités,... La multiplicité sous toutes ses formes est nécessaire.
- l'**ouverture**, comme disponibilité à la transformation et à l'appropriation, tolérance de l'autre, libre accès, possibilité de laisser advenir... La complexité, l'hétérogénéité, les paradoxes, les incertitudes, les ambiguïtés sont des caractéristiques qui ouvrent à la liberté, à la possibilité de choisir et d'agir. L'ouverture est indispensable pour assurer une équité intragénérationnelle.

### **La cohérence**

L'espace public ne crée un lieu public que dans la mesure où s'induit à son propos un processus d'identification collective. Un lieu public est alors perçu comme une unité spécifique, dotée d'une singularité qui la distingue de tout autre espace public.

**Le lieu public est une totalité hautement complexe. Sa cohérence, qualité qui le définit comme identité singulière, se fonde sur :**

- son **identité**, c'est à dire une unité ordonnée qui assemble ses parties de telle sorte que les tensions s'équilibrent (unité basée sur une hiérarchie, des limites, une orientation, une durée,...).
- son **sens**, qui révèle des valeurs, des symboles, une esthétique spécifique.
- sa **naturalité**, comme capacité d'émergence et d'intégration des différentes échelles de son être.

### **La stratégie globale**

Selon notre définition du lieu public, pour être durable un espace public doit donc s'inscrire dans son milieu, doit offrir la possibilité de coexister dans la différence et doit créer un lieu cohérent qui implique du sens. Ces trois principes et les caractéristiques qui les définissent peuvent dès lors servir de grille d'analyse pour des espaces publics existants ou de stratégie de conception pour les projets futurs.

L'espace public contemporain est le lieu de multiples enjeux urbains: intégrer la ville diffuse à la ville dense, limiter les nuisances causées à l'environnement naturel, s'adapter aux changements de la société, densifier, assurer une mixité des usages, favoriser l'équité sociale, créer des continuités, requalifier, introduire des

éléments naturels,... Chacun de ces enjeux et bien d'autres ont pu être expliqués à travers l'élaboration de ces trois principes fondamentaux du développement durable des espaces publics.

Ainsi, tout projet urbain, même en périphérie, peut être construit à partir de trois questions fondamentales:

- quelles sont les spécificités du lieu considéré ? comment inscrire le projet dans ce contexte précis ?
- comment y créer des lieux de coexistence ?
- comment y apporter de la cohérence ?

**Nous estimons que ces trois principes du développement durable des espaces publics que sont la contextualité, la coexistence et la cohérence forment la base d'une nouvelle éthique pour l'aménagement du territoire, l'urbanisme, la conception urbaine et l'architecture.**



Cette définition des principes de la durabilité d'un espace public nous permet donc d'élaborer une **stratégie de conception et de rénovation d'un espace public durable**.

Pour être durable, tout espace public doit **créer un lieu public**, c.à.d.

- **S'INSCRIRE DANS SON MILIEU**, ce qui nécessite de
  - S'intégrer.
  - Participer.
  - S'adapter.
- **CREER DES COEXISTENCES** qui rendent disponible des potentialités pour vivre ensemble, par trois types d'actions :
  - Rassembler.
  - Offrir de la diversité.
  - Ouvrir à l'altérité.
- **CREER UN LIEU COHERENT**, par l'intermédiaire des trois concepts suivants :
  - Révéler une identité.
  - Donner sens.
  - Favoriser la naturalité.

La création d'un lieu public réside dans l'équilibre entre ces neuf principes de conception, qui s'affirment en se limitant et en se complétant l'un l'autre.

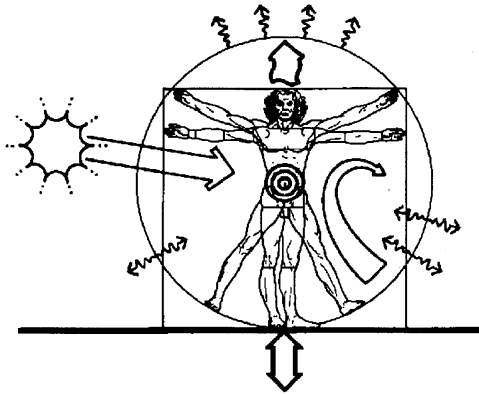
## 2. Elaboration d'une nouvelle méthode d'évaluation du confort à l'extérieur

*«Les climats, les saisons, les sons, les couleurs, l'obscurité, la lumière, les éléments, les aliments, le bruit, le silence, le mouvement, le repos, tout agit sur notre mécanique, et sur notre âme.» Jean-Jacques Rousseau.*

Cette seconde partie aborde l'étude du confort des piétons dans les espaces publics. Cette analyse est basée sur une approche innovante du confort à l'extérieur qui consiste à regrouper les points de vue physiologiques et psychologiques. Dans un premier temps, nous expliquons l'importance de l'adaptation en milieu extérieur et nous étudions les différents critères qualitatifs des espaces publics qui participent à donner aux piétons une sensation de confort. Ensuite, nous donnons les limites purement physiologiques du confort des personnes à l'extérieur en fonction des différents types de confort (thermique, au vent, respiratoire, acoustique, visuel et face aux intempéries). La conclusion de ce chapitre résume notre méthode d'évaluation du confort à l'extérieur.

### 2.1 Confort des piétons

L'homme est au centre de l'interaction entre une ville et son environnement. Etudier les ambiances urbaines a notamment pour but de répondre aux exigences de confort des piétons à l'extérieur des bâtiments.



(CEE 1992b)

Comment ne pas remarquer que les premiers mots échangés par les gens, qu'ils se connaissent ou non, ont très souvent trait au temps qu'il fait! C'est une expérience universelle de trouver que certains jours les conditions atmosphériques stimulent et vivifient nos activités alors qu'à d'autres moments elles limitent notre énergie physique et mentale. Le mode d'utilisation d'un espace public dépend en partie des propriétés physiques microclimatiques qui peuvent accroître, limiter, modifier ou diriger son usage. Une étude réalisée en Norvège a montré que la période de confort pendant laquelle les norvégiens sortent beaucoup à l'extérieur peut être prolongée de six semaines, au printemps et en automne, par une conception microclimatique urbaine appropriée (Culjat & Erskine 1998).

Une expérience spécialement intéressante est celle que Nikolopoulou a réalisé sur 1431 personnes. Elle porte sur la question de savoir si les conditions de confort thermique affectent l'utilisation d'un espace par ses usagers. Cette étude réalisée sur des places publiques en Angleterre prouve que l'utilisation des espaces urbains varie en fonction des conditions climatiques (Nikolopoulou et al. 1998, 2001). Cette étude a démontré que les conditions de confort affectent l'utilisation de l'espace extérieur urbain par les individus. Les réponses des personnes au microclimat sont souvent inconscientes mais le nombre d'utilisateurs de l'espace public dépend des conditions microclimatiques. Ainsi, limiter l'inconfort des piétons à l'extérieur est un des éléments essentiels pour tenter d'augmenter l'occupation des places urbaines et donc de motiver leur appropriation par les habitants.

Par l'adoption de stratégies de conception adaptées, le climat urbain peut effectivement être optimisé. Ainsi, par exemple, dans une région froide, une combinaison particulière de vent et de température de l'air ou de l'obstruction du rayonnement solaire peut décourager des personnes de rester à l'extérieur alors qu'une place exposée au soleil mais à l'abri du vent encourage les activités extérieures. Lorsque la texture urbaine est existante, des altérations sont possibles pour améliorer le microclimat à l'échelle de l'îlot. Les propriétaires de commerces sont en général les premiers à comprendre l'intérêt d'un microclimat agréable pour favoriser l'utilisation de l'espace public.

La qualité d'ambiance d'un lieu se traduit pour l'occupant en termes de sensations de confort. Cette influence positive du confort dans les espaces publics commence à être reconnue dans certaines villes ; citons deux exemples : Barcelone où la priorité donnée à l'aménagement des places est un choix politique qui a permis une revalorisation de la ville au niveau international et San Francisco où une législation impose aux nouveaux bâtiments qu'ils soient construits de telle manière qu'ils ne créent pas d'ombres gênantes pour l'espace public et que le vent soit limité à 5m/s au niveau du sol, pendant 90% des heures du jour, dans les zones extérieures publiques de détente (Bosselmann & al. 1988).

En outre, le contrôle des sources d'inconfort à l'extérieur favorise la marche, le vélo et les moyens de transport en commun. Ainsi, une politique de valorisation de modes de transport plus écologiques que la voiture passe par la requalification de l'espace public pour le piéton et le cycliste, ce qui implique d'étudier la problématique du confort dans les espaces extérieurs.

Créer des ambiances urbaines de qualité assurant le confort des citoyens est donc un des enjeux fondamentaux du développement durable des villes.



Photo : K. De Myttenaere

Merleau-Ponty, dans la *Phénoménologie de la perception*, entend faire apparaître dans toute son ampleur cette vérité : « *le monde est non pas ce que je pense, mais ce que je vis* ». Merleau-Ponty montre que le monde et la conscience, le dehors et le dedans, sont interdépendants l'un de l'autre. Le corps apparaît alors comme la matrice de l'existence. Dès l'instant où le corps n'est plus posé comme le réceptacle passif des actions d'un monde des choses sur une conscience se possédant elle-même, il joue le rôle médiateur par excellence de ma présence au monde. En fait, c'est par mon être corporel que je me découvre dans la dimension ontologique qui est la mienne: celle d'un « être-au-monde ».

Notre quotidien se déroule dans un monde de choses et d'événements. Du fait que nous cohabitons avec ces choses bien avant d'adopter avec elles une position analytique, l'expérience naturelle n'est ni objective ni subjective : elle ignore toute différenciation entre corps et conscience (Norberg-Schulz, 1997). Le corps se définit alors comme « *l'axe de notre insertion dans le monde* » (Le Goff 1994) et le confort comme une recherche d'harmonie entre l'homme et son environnement.

Vouloir intégrer la complexité du vécu humain dans l'étude du confort extérieur, c'est tenir compte de tous les éléments qui vont influencer l'expérience humaine à travers sa sensibilité (liée aux sens) et sa conscience (qui donne sens) qu'ils soient mesurables ou non. La quantification des paramètres qui influencent le confort des piétons ne peut pas s'opérer aisément à cause de leur nature, leur nombre et leur interdépendance. Cela ne signifie toutefois pas que les paramètres essentiels du confort ne peuvent pas être étudiés, ni que leur influence est accessoire. C'est ici que l'architecte et l'urbaniste doivent utiliser leur capacité à analyser le vécu quotidien d'un espace urbain et à intégrer celui-ci dans leur processus créatif.

En pratique, à côté de l'approche physiologique, il y a de nombreux facteurs psychologiques qui doivent être pris en considération dans la définition du confort. Malgré la difficulté due à la subjectivité du point de vue psychologique, il est possible de considérer certains critères de conception qui auraient un impact considérable sur le confort.

Ainsi, ces dernières années, l'importance de l'adaptation dans le processus du confort a largement été identifiée (Baker 2000, de Dear et al. 1997, Nikolopoulou & Steemers 2003). Le terme adaptation est souvent défini comme une diminution graduelle de la réponse de l'organisme à une stimulation environnementale répétée. L'opportunité d'adaptation est la liberté réelle et perçue de pouvoir modifier son environnement local ou son propre ressenti. Cette opportunité d'adaptation diminue les exigences de confort du sujet même lorsque l'action possible n'est en fait pas réalisée. Il y a donc un aspect psychologique et pas seulement physique dans ce comportement d'adaptation. Dans nos vies confortables, il est facile d'oublier le rôle vital de l'adaptation pour la survie d'une espèce. Cependant, le succès de cette capacité d'adaptation est remarquable.

Nous commencerons par étudier la problématique du confort à l'extérieur par son aspect qualitatif. Ensuite, nous approfondirons les limites quantitatives du confort extérieur. Nous analyserons successivement les critères physiologiques du confort thermique, du confort par rapport au vent, du confort respiratoire, du confort acoustique, du confort visuel et du confort face aux intempéries.

### **2.1.1 Les différences entre le confort intérieur et extérieur**

La majorité des études réalisées sur le confort portent uniquement sur les conditions intérieures et les quelques recherches qui ont été abordées pour étendre ces critères de confort intérieur à l'extérieur sont des approches purement physiologiques et stationnaires.

Il est toutefois évident qu'on ne peut pas aborder de manière identique le confort à l'intérieur et à l'extérieur d'un bâtiment. Tout d'abord, les deux paramètres climatiques principaux à l'extérieur sont le vent et le rayonnement solaire direct, tous deux exclus des études réalisées à l'intérieur. La pluie et la neige peuvent également influencer fortement le confort à l'extérieur alors qu'elles n'entrent pas en compte pour l'étude du confort intérieur des bâtiments. En outre, les échanges de rayonnement de grande longueur d'onde sont également très différents dans l'un et l'autre contexte. Les surfaces intérieures d'un bâtiment ont peu de différences de température et donc échangent peu de rayonnement entre elles. Par contre, à l'extérieur, les surfaces (ombragées, ensoleillées, voûte céleste,...) offrent des températures variées. Les échanges de rayonnement de grande longueur d'onde ne peuvent donc pas être négligés à l'extérieur.

D'autre part, les personnes situées à l'extérieur portent généralement des habits différents en fonction de la saison, adaptés aux conditions climatiques du moment. D'autres éléments, tels que le type d'activité effectuée, peuvent aussi marquer une différence physiologique importante du point de vue du confort.

Notons également que les conditions climatiques sont généralement très stables à l'intérieur des bâtiments alors qu'elles sont naturellement nettement plus variables dans les espaces ouverts. Par exemple, les températures de surface du mobilier vont peu changer pendant une journée alors que la température des surfaces extérieures exposées au rayonnement solaire direct peut varier très rapidement. Comme les gens passent la plupart de leur temps à l'intérieur dans un environnement aux conditions climatiques stables, les modèles stationnaires sont utiles pour analyser le confort thermique à l'intérieur. En revanche, ces modèles ont tendance à surestimer l'inconfort à l'extérieur. La différence est encore plus grande pour les conditions extérieures froides que pour les climats chauds. En effet, pour une personne sortant d'une pièce confortable vers un espace extérieur froid en hiver, l'état stable ne sera atteint qu'après plusieurs heures, alors que dans un environnement extérieur chaud, il sera atteint en moins de 30 minutes (Höppe 2002).

Enfin, le comportement subjectif des personnes face aux conditions environnantes est très différent à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments. A partir d'interviews de piétons à l'extérieur, différentes études ont montré qu'à l'extérieur les personnes acceptent des conditions climatiques nettement plus éloignées de l'équilibre qu'à l'intérieur (Nikolopoulou et al. 1998, 2001, Höppe 2002). Les citoyens acceptent globalement les conditions climatiques extérieures auxquelles ils sont acclimatés et adaptent donc leurs exigences de confort en fonction de la saison et des moyennes climatiques habituelles de leur lieu de résidence. L'habitude d'un certain type de climat crée non seulement une adaptation vestimentaire ou un choix d'activité mais augmente également la tolérance corporelle à un certain type de conditions considérées ailleurs comme inconfortables. En outre, l'importance des facteurs psychologiques sur le confort des personnes à l'extérieur est fondamentale car l'adaptation psychologique est beaucoup plus marquée à l'extérieur qu'à l'intérieur. Ce facteur d'adaptation est pourtant généralement oublié.

## **2.1.2 Le processus d'adaptation**



(Photos : S.Reiter).

La définition de la qualité des espaces publics du point de vue de la perception et du comportement des citoyens part de l'hypothèse que la qualité des espaces publics ne peut jamais induire les comportements espérés par un lien direct de cause à effet mais qu'en revanche elle peut favoriser ou limiter certains comportements et certains types d'usage et ainsi aider les citoyens à s'approprier l'espace public urbain, grâce à la prise en compte des paramètres humains de perception et de participation.

La physique quantique nous a permis de comprendre qu'il n'est pas possible de représenter le réel mais seulement la réalité, c'est-à-dire une certaine relation au réel. La sensation de confort est l'expression du bien-être d'un individu en rapport avec son environnement. L'espace perçu est toujours une réduction de l'espace réel. Le système de perception humaine fait intervenir des filtres lors de l'analyse d'un espace: seuls certains éléments sont perçus, dont quelques-uns sont enregistrés en mémoire. Ainsi, l'homme ne garde qu'une image simplifiée et subjective du réel. Pour un même environnement urbain, le confort peut varier selon les personnes en fonction d'une combinaison de facteurs physiques, physiologiques, psychologiques, sociologiques et culturels (CERMA 2002).

Dans le contexte du confort thermique, le bilan thermique est une des composantes qui influence la sensation de confort thermique d'une personne à l'extérieur. Il a toutefois été prouvé que cette approche n'est absolument pas suffisante pour définir des critères de confort thermique extérieur (Nikolopoulou et al. 2001, Höppe 2002). L'adaptation psychologique semble être un élément tout aussi essentiel (Nikolopoulou & Steemers 2000). Dès lors les critères influençant l'adaptabilité psychologique des personnes doivent être intégrés dans toute méthode d'évaluation du confort thermique à l'extérieur.

L'adaptation thermique peut couvrir tous les processus que les personnes peuvent initier pour faire coïncider leurs besoins thermiques avec les conditions environnementales. Analysons ce processus d'adaptation en profondeur. L'adaptation thermique humaine se fait à l'aide de trois processus distincts: l'adaptation comportementale (ou physique), l'adaptation physiologique et l'adaptation psychologique (Baker 2000, de Dear et al. 1997, Nikolopoulou et al. 2001). Ces trois catégories d'adaptation sont définies ci-dessous.

L'adaptation comportementale comprend toutes les modifications qu'une personne peut réaliser consciemment ou inconsciemment pour modifier son équilibre thermique corporel. On peut citer un ajustement personnel (habillement, activité, posture, nourriture, boisson, changement de localisation), un ajustement environnemental (modification de l'environnement lui-même comme par exemple l'ouverture d'un parasol) et l'ajustement culturel (codes vestimentaires, activités dictées par la société comme faire la sieste). L'effet des adaptations physiques peut en général être évalué quantitativement.

L'adaptation physiologique est une réponse physiologique du corps qui tend à diminuer le stress lié à une exposition inconfortable. Dans le contexte de l'environnement thermique, il s'agit d'acclimatation physiologique. Ce genre de mécanismes est crucial dans des environnements extrêmes ou des situations d'inconfort prolongé amenant à des risques importants pour la santé. Dans le cadre de notre étude sur le confort des piétons dans les espaces publics, je n'ai pas trouvé de résultats de recherche permettant d'évaluer cette adaptation physiologique. Des études devraient être réalisées dans ce domaine pour pouvoir en tirer des conclusions précises.

L'adaptation psychologique est une modification de la perception d'une information sensorielle. Ce type d'adaptation est souvent relié à la notion d'« habitude » en psychophysique qui correspond à la diminution de l'intensité de la sensation liée à l'exposition répétée au même stress environnemental. Cependant, l'adaptation psychologique couvre un domaine nettement plus large que la prise en compte de l'expérience par rapport à des expositions passées : elle dépend de tous les aspects subjectifs et contextuels de notre perception. L'adaptation psychologique est très difficile à quantifier mais nous essayerons dans la suite de ce chapitre d'en définir les critères qualitatifs.

Du point de vue du confort thermique intérieur, des études récentes montrent que le confort des personnes à l'intérieur des bâtiments ventilés naturellement suit un modèle « adaptatif » pour lequel la zone de confort est plus large que celle habituellement utilisée dans la norme ISO 7730. Ainsi, en tenant compte de l'adaptation des occupants, la température opérative idéale dans les bâtiments ventilés naturellement ne suit pas le modèle de Fanger mais dépend plutôt de la température extérieure (de Dear & Brager 2002) :

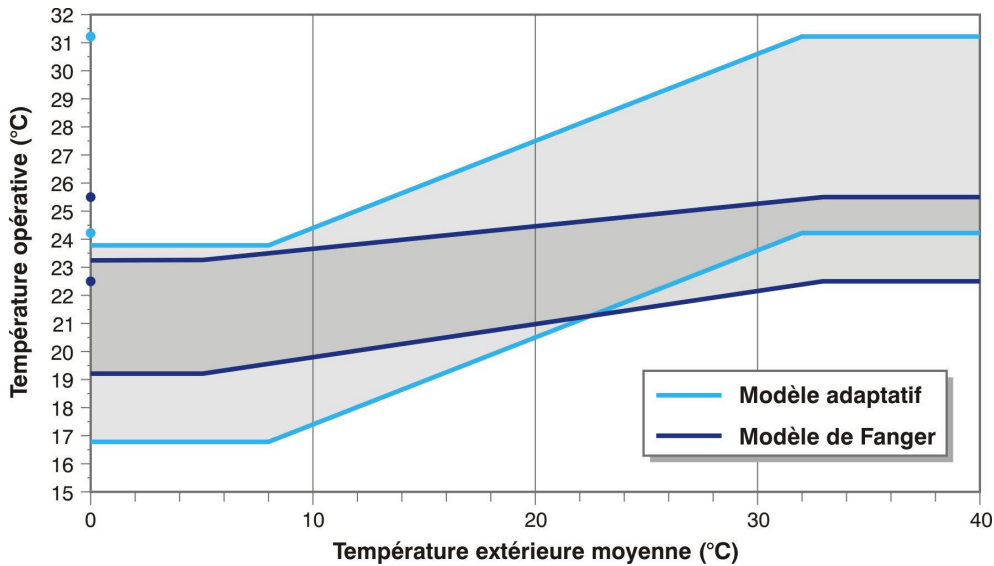
$$Top = 17.8 + 0.31 Te$$

où Top est la température opérative idéale et Te la température extérieure en moyenne mensuelle. La bande de confort acceptable a été déterminée à partir de la méthode classique PMV-PPD de Fanger. L'intervalle d'acceptation pour 90% des occupants est de  $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ . Il s'élève à  $\pm 3.5^{\circ}\text{C}$  pour assurer le confort de 80% des personnes.

Ce modèle adaptatif a été introduit dans la norme ASHRAE 55 pour les bâtiments ventilés naturellement dans lesquels les occupants ont un contrôle réel sur l'ouverture des fenêtres. Cette nouvelle norme a été établie à partir de l'analyse de 21000 données compilées à partir de l'étude de 160 bâtiments localisés sur quatre continents et appartenant à des climats très variés. Comme le montre la figure ci-dessous, les prédictions de la norme ISO 7730 sont différentes de celles du modèle adaptatif, même si on tient compte des variations saisonnières de l'habillement (1clo en hiver et 0.5 clo en été). Cette différence provient de ce que les occupants des bâtiments ventilés naturellement ont souvent un certain contrôle sur leur environnement et qu'ils ont davantage l'habitude de se trouver dans des espaces dont l'ambiance thermique fluctue, ce qui augmente leur capacité d'adaptation.



D'autre part, la température de confort du modèle adaptatif est intimement liée à la température extérieure, ce qui explique l'importance de l'histoire thermique des occupants et de leurs attentes dans le processus d'adaptation.



Comparaison du modèle de confort adaptatif de Dear et Brager (2002) et celui de Fanger repris dans la norme ISO 7730 pour une activité de bureau (1.2 met) et un confort de 80% des personnes.

La zone de confort dépend à la fois de la température atteinte et des possibilités d'adaptation offertes aux personnes. Dans les situations où les personnes ne peuvent adapter ni leur vêtement, ni leur activité, ni leurs conditions environnementales, la zone de confort est très étroite autour de la température optimale de confort. Mais pour des situations où des opportunités d'adaptation réelles existent, la largeur de la zone s'agrandit fortement (Nicol & Humphreys 2002). Il est évident que si le comportement d'adaptation des personnes varie si fortement entre un bâtiment ventilé naturellement et un bâtiment refroidi par air conditionné, la différence est également importante entre l'extérieur et l'intérieur d'un édifice...

Dans le contexte du confort acoustique, il est reconnu depuis longtemps qu'on ne peut pas traiter le bruit de manière purement objective, parce que s'il est facile de mesurer la puissance physique des sons, il est plus difficile d'évaluer la façon dont ils sont perçus. Il est évident que des limites quantitatives sont indispensables pour déterminer les niveaux sonores à ne pas dépasser mais il est également intéressant d'étudier les phénomènes qualitatifs qui interviennent dans notre appréciation d'une ambiance sonore.

Une étude réalisée sur 9200 personnes interviewées sur une année complète (entre l'été 2001 et le printemps 2002) sur 14 espaces publics répartis en Europe, suggère que l'évaluation subjective du niveau sonore correspond généralement bien avec le niveau  $L_{eq}$  moyen mesuré, tant que le niveau sonore reste en-dessous d'environ 73 dBA. Cependant, des différences considérables sont obtenues entre l'évaluation subjective du niveau sonore et l'appréciation du confort acoustique dans chacun de ces espaces, ce qui nécessite donc une étude des paramètres qui influencent l'évaluation positive du confort acoustique au-delà du niveau sonore présent dans le lieu (Yang & Kang 2005).

Enfin du point de vue visuel, l'œil est un organe sensoriel qui possède des capacités d'adaptation extraordinaire. Le contrôle de la quantité de lumière admise sur la rétine est possible grâce à la pupille, ce diaphragme d'ouverture variable. La réaction de l'œil face au flux de lumière se manifeste également par une lente adaptation de la sensibilité de la rétine. Notre vision est également influencée par des facteurs d'ordre psychologique.

La grande majorité des auteurs affirment l'importance du point de vue subjectif dans l'évaluation du confort mais cet aspect reste en général une simple remarque à côté de longs développements pour l'établissement de méthodes quantitatives (tableaux, graphes ou formules). Récemment, certains auteurs se sont centrés sur la partie psychologique du confort mais ces auteurs mettent de côté son évaluation quantitative. **Notre approche consiste à affirmer qu'il est important d'évaluer quantitativement l'équilibre physiologique des piétons et qualitativement les critères qui influencent leur adaptabilité psychologique et de tirer les conclusions les plus judicieuses de cet ensemble de paramètres pour améliorer les possibilités de confort dans les espaces publics extérieurs.**

## 2.2 Critères qualitatifs du confort extérieur

L'adaptation psychologique est un des éléments essentiels de la définition du confort à l'extérieur. Les facteurs qui influencent cette adaptation psychologique ne sont toutefois pas totalement subjectifs. **Nous avons relevé dix paramètres qui influencent de manière significative l'évaluation qualitative du confort des personnes à l'extérieur, au-delà des composantes culturelles et individuelles.** Il s'agit de:

- l'identification d'une ambiance,
- la relation au contexte,
- la continuité des conditions environnementales,
- la diversité des ambiances,
- la perception du contrôle possible,
- la capacité de s'adapter,
- la naturalité du lieu,
- la variabilité des conditions environnementales,
- le caractère signifiant du lieu,
- la globalité de la sensation de confort.



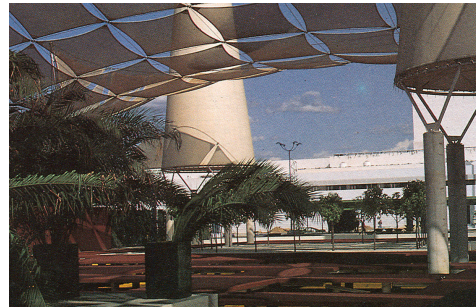
(Photo : S.Reiter).

### 2.2.1 L'identification d'une ambiance

Il est important de concevoir et d'aménager des espaces publics clairement identifiables et offrant des **ambiances spécifiques**. En fait, tout élément climatique, visuel ou acoustique qui permet au piéton de se situer est généralement perçu comme un facteur positif.

La perception d'un espace reste relativement constante, tant que l'ambiance générale n'est pas modifiée. Donnons un exemple visuel, si le niveau d'éclairément passe objectivement du simple au décuple et plus mais de manière homogène, l'espace perçu reste le même. Cela est vrai au-delà des possibilités d'adaptation de l'œil. A l'intérieur de certaines limites, l'espace sera plus clair ou plus sombre mais pas fondamentalement différent. La perception d'un même espace et donc le confort ressenti changera, en revanche, lorsqu'on fera varier la luminance ou l'éclairément de certaines surfaces tout en conservant les autres. Dans le langage courant, on parle de « changement d'ambiance », ce qui dénote bien une mutation qualitative dans laquelle la quantité de lumière n'est qu'un facteur parmi d'autres. Les couleurs et les matériaux choisis ont également une influence considérable sur notre perception visuelle de l'espace et l'identification d'une ambiance visuelle spécifique.

L'identification d'une ambiance est un critère qui favorise le confort des personnes. Les espaces publics de l'expo'92 à Séville ont fait l'objet de recherches scientifiques pour favoriser le confort des piétons. Les stratégies de contrôle du microclimat utilisées comprennent: la végétation, l'ombrage, la ventilation naturelle, l'évaporation de l'eau, l'inertie thermique du sol et des aménagements paysagers. La réussite des technologies microclimatiques de l'expo de Séville provient également de la spécificité des solutions proposées sur chaque lieu de rencontre, permettant aux piétons de reconnaître facilement les espaces qu'ils traversent. Ainsi, par exemple, l'avenue de l'eau est une allée qui assure le confort thermique des visiteurs par la présence de bassins et de fontaines associés avec une couverture végétale alors que l'avenue de l'Europe est marquée par la présence de toiles tendues créant un ombrage léger et de tours à vent qui apportent de l'air frais.



Espaces publics de l'expo '92 à Séville : avenue de l'eau et avenue de l'Europe.  
(Photos : Grupo de termotecnia 1994)

Une étude de terrain réalisée sur trois villes espagnoles (Carles & al. 1999) montre que la perception d'une identité acoustique améliore l'évaluation subjective du lieu. Dans une autre étude, un orchestre jouait de la musique dans un espace public pendant environ 35% du temps de l'enquête, ce qui faisait passer le niveau Leq de 59.7 à 61.1 dBA, ce qui est bien sûr négligeable. Cette étude a permis de constater que les utilisateurs de l'espace évaluaient de manière subjective le niveau sonore de l'espace comme nettement plus élevé pendant que la musique jouait mais qu'ils y associaient un niveau de confort acoustique accru (Yang & Kang 2005). Cette

étude montre donc que le fait d'identifier clairement un type de son, ici la musique, augmente la perception du niveau sonore engendré mais que par contre elle améliore la sensation de confort acoustique.

D'autre part, pour un même niveau sonore, les personnes préfèrent un lieu dont le niveau du bruit de fond est moins élevé (Yang & Kang 2005). Cela signifie qu'il est important pour les usagers d'un espace d'identifier les sons qui les entourent et de percevoir le lien entre cette ambiance sonore et le lieu traversé.

Une étude réalisée par Catherine Sémidor à Bordeaux montre qu'en l'absence de trafic automobile, les ambiances sonores semblent fortement liées aux typologies urbaines rencontrées. Ainsi, pour un tissu semi-ouvert, nous remarquons une différence de perception de l'image acoustique obtenue par les deux oreilles. L'oreille située du côté de l'espace vide reçoit en effet plus d'énergie sonore que celle qui se trouve du côté des bâtiments. Par contre, pour des rues bordées de bâtiments des deux côtés, le champ acoustique est plus diffus et les deux images sont plus proches l'une de l'autre ce qui dénote l'existence de multiples réflexions entre les façades. Cette identification sonore de la nature « ouverte » ou « fermée » du tissu urbain contribue notamment à une plus grande appréciation des qualités urbaines du site. La circulation en ville couvre malheureusement souvent ces différences sonores et cache ainsi l'influence de la morphologie urbaine sur l'identité des paysages sonores (Sémidor 2002).

D'autre part, la **cohérence** entre l'ambiance sonore et l'ambiance visuelle d'un espace est un élément important pour le confort des utilisateurs. Lorsque les sons ne sont pas appropriés au lieu dans lequel ils sont perçus, ils sont ressentis négativement. Des incohérences entre sons et images diminuent clairement les valeurs de confort, indiquant qu'il est important de conserver la singularité d'un paysage particulier (Carles & al. 1999). Notons aussi que les paysages sonores qui sont reliés aux activités exercées dans un espace public spécifique sont considérés comme favorisant le confort des personnes (Kang & al. 2004).

La photo ci-dessous donne l'exemple d'une ambiance cohérente permettant de se situer. Le carillonnement des cloches est un élément caractéristique de l'ambiance sonore du centre de Bruxelles. La présence visuelle de l'horloge et la mise en évidence de la cloche assurent une identification cohérente du lieu.



Le Mont des Arts à Bruxelles (Photo : S.Reiter).

Enfin, il est extrêmement important de créer des **repères perceptifs** (visuels, sonores,...) à travers le tissu urbain pour aider les usagers à se situer. On appelle repère perceptif un élément visuel, sonore, olfactif,... qui attire particulièrement

l'attention des visiteurs d'un espace. Les repères sont des éléments qui génèrent un contraste par rapport à leur environnement, que ce soit par leurs dimensions, leur géométrie, leur position, leur couleur, leur intensité, ... Les repères sont de véritables points de référence dans la ville.

Par exemple, la présence d'une vue spécifique, telle qu'une ouverture sur le paysage environnant, renforce la sensation de confort en participant à une définition de l'identité d'un lieu. Les vues sont généralement constituées d'une direction spécifique et d'un élément de terminaison. La direction a pour but de guider l'attention de l'observateur vers l'élément de terminaison. La direction peut être marquée par une rue droite, un alignement d'arbres, un pont, une percée dans une limite continue, ... L'élément de terminaison est le point focal vers lequel le regard est attiré. Il s'agit en général d'un monument, d'un objet attirant (œuvre d'art, fontaine,...) ou d'un morceau de paysage (naturel ou urbain) soit exceptionnel soit typique du contexte local. Les vues ont toujours été utilisées pour améliorer l'organisation urbaine et l'identification des lieux importants. Un exemple contemporain est celui de La Défense à Paris qui a été conçue pour continuer un axe historique majeur de Paris, offrant de nombreuses vues sur des courtes et des longues distances.

Les douze tours réfrigérantes de l'avenue de l'Europe à l'expo '92 à Séville sont un exemple d'éléments microclimatiques servant également de repère et de porte à l'espace public. De forme conique, ces tours de 30m de haut sont habillées d'un textile blanc réfléchissant le rayonnement solaire. Le jardin est entouré d'une enceinte de 2.5m de haut dont les 12 tours marquent les 12 portes. L'air entre au sommet, se rafraîchit par l'évaporation de l'eau brumisée à l'intérieur des tours et coule dans l'espace public dont l'air est ainsi refroidi.



Tours de refroidissement naturel à l'expo'92 de Séville.  
(Photos : Grupo de termotecnia 1994)

La qualité d'un paysage sonore peut être substantiellement améliorée en incorporant des repères sonores favorables (Kang & al. 2004). Les repères sonores sont de deux types : actifs et passifs. Les "repères sonores actifs" sont liés aux sons générés par des activités dont le but est sonore, comme par exemple un petit orchestre installé dans un kiosque ou sur le coin d'une place, la cloche d'une

église,... Ce type d'éléments et d'activités sonores peut ajouter un caractère spectaculaire au paysage sonore. Il est important de fournir des lieux spécifiques pour de telles activités/occasions et de considérer l'aménagement acoustique de ces espaces. Par repère sonore passif, on parle d'éléments typiques du paysage sonore d'un espace mais dont le but premier n'est pas sonore, comme par exemple les sons de l'eau produits par une fontaine.

**Il faut donc introduire une piste de recherche concernant les ambiances urbaines : essayer par la conception urbaine de conserver des ambiances visuelles, sonores et climatiques qui traduisent le vécu sensible d'un lieu et participent à la perception de leur cohérence et à la formation de repères perceptifs afin de favoriser l'identification du lieu.**

### **2.2.2 La relation au contexte**

Oseland a prouvé que le confort thermique dépend du contexte. Il a montré que, pour des mêmes conditions physiologiques, le même groupe de personnes éprouvait une sensation de confort différente dans trois contextes différents : une chambre climatique, leur lieu de travail et leur habitation, en devenant de plus en plus tolérants. Ainsi, ils acceptaient une température de confort de 3K inférieure dans leur maison que dans la chambre climatique (Oseland 1994). Il est évident que les personnes deviennent encore plus tolérantes lorsqu'elles sortent à l'extérieur.

Il y a deux grandes écoles de pensées sur le confort thermique à l'intérieur: ceux qui estiment que le confort thermique est le mieux exprimé par une ambiance neutre provenant d'un état équilibré stable et ceux qui assurent que le confort peut être atteint à l'intérieur d'une gamme de sensations thermiques. La première école défend le modèle statique, qui couvre des études aussi connues que le modèle PMV de Fanger, ASHRAE Standard 55 et International Standard 7730 (ISO). Elle utilise des études en chambre climatique pour assurer sa théorie. Ces études tiennent toutefois compte de l'adaptation comportementale liée aux vêtements et aux activités des personnes. La deuxième école, incarnée par Auliciems et Nicol, soutient la méthode adaptative (Auliciems 1989, Nicol 1993, de Dear & Brager 2002). L'approche adaptative consiste à définir la température intérieure comme plus fortement reliée à l'environnement extérieur et aux capacités de contrôle de l'occupant. Pour justifier leur point de vue, l'école adaptative réalise des expériences dans des bâtiments réels.

Une étude scientifique basée sur un très grand nombre de bâtiments dans le monde (de Dear et.al. 1997) montre que s'il y a deux méthodes de confort thermique intérieur, c'est parce qu'il y a deux contextes d'études différents. De plus, elle prouve que dans les bâtiments HVAC, le modèle de confort de Fanger (PMV) est remarquable pour prédire le confort mais que, pour les bâtiments ventilés naturellement, il est préférable d'utiliser une méthode de prévision du confort adaptative. Comme la méthode de prévision de Fanger permet d'intégrer les adaptations comportementales (habits et activités) et que les adaptations physiologiques peuvent être négligées à l'intérieur des édifices, la différence de réaction constatée au sein des deux types de bâtiments provient de l'adaptation psychologique prise en compte dans l'approche adaptative. Il est donc évident que le contexte influence fortement l'opportunité d'adaptation psychologique d'une personne.

Par ailleurs, du point de vue acoustique, Gustavino a montré que le sujet humain, contrairement à un instrument de mesure, est capable de traiter de différentes manières un même événement auditif suivant le contexte d'écoute (Gustavino 2001). On sait aussi qu'en période diurne, les niveaux sonores élevés sont généralement mieux tolérés qu'en soirée et pendant la nuit (Blasco 2001).

Puisque le confort est fortement contextuel, la solution à un problème de confort par rapport au climat d'un espace public dépend de son insertion par rapport au milieu. La résolution du problème se trouve dans l'étude des différents contextes (environnemental, construit et humain), selon la localisation, le moment de l'année, les activités prévues,...

Pour favoriser l'appropriation des espaces publics, il est indispensable de comprendre et de tenir compte des éléments fondateurs de la communauté sociale dans laquelle s'inscrit cet espace.

Un élément fondamental à prendre en compte dès le début du processus de conception d'un espace extérieur est le profil saisonnier de l'usage de cet espace urbain. Aucune décision par rapport au microclimat ne peut être prise sans tenir compte du lieu, de ses temporalités et de ses utilisations. A chaque saison correspond une appropriation différente des espaces publics. Ainsi, il est par exemple judicieux de concevoir des possibilités d'adaptation différentes selon les saisons. Les photos ci-dessous montrent la place des Sciences à Louvain-la-Neuve, à la Noël (pendant la période de blocus pour les étudiants) et au printemps.



La place des Sciences à Louvain-la-Neuve, au fil des saisons. (Photos : S.Reiter).

Il faut créer des espaces en intégrant les activités les plus probables, le temps que la majorité des gens vont y passer et le type de conditions climatiques espérées comme des entrées essentielles du problème de conception. Il est par exemple judicieux de placer des terrasses de restaurants du côté ensoleillé d'une place.



(Photo : S.Reiter).

Inversement, il est possible de susciter des activités adaptées aux caractéristiques du lieu. Si un espace public est fort bruyant, il sera vraisemblablement difficile d'y créer un espace de méditation efficace mais il pourra aisément servir de terrain pour des pistes de skateboard ou une plaine de jeux.



Square des Ursulines, à Bruxelles, en 2006. (Photos : S.Reiter).

Il est donc toujours important de réfléchir à quand et comment un espace va être utilisé par les citoyens avant de choisir quel type d'action réaliser sur l'environnement. Cette leçon fondamentale aurait d'ailleurs pu être tirée de l'architecture et de l'urbanisme climatique du passé: **aucune solution n'est valable dans toutes les situations. Chaque projet doit d'abord s'inscrire dans son contexte.**

### **2.2.3 La continuité des conditions environnementales**

**Il faut assurer une relative continuité des conditions environnementales, c'est-à-dire éviter les contrastes trop fort, spatialement et temporellement. Un changement abrupt dans l'environnement est toujours difficile à accepter.**

Commençons par étudier les contrastes spatiaux. Au niveau thermique, la tendance à l'équilibre des températures des parois est favorable à un accroissement du niveau de confort des occupants. La présence de deux niveaux de luminance très différents, adjacents dans le champ visuel, est une source d'inconfort et diminue l'acuité visuelle (Reiter & De Herde 2001). Au niveau acoustique, l'apparition de bruits dérangeants est moins bien tolérée dans un environnement calme qu'en présence d'un bruit de fond plus élevé (Blasco 2001). Notons enfin que l'être humain supporte nettement mieux des vitesses de vent élevées lorsque la poussée du vent se fait de manière continue et homogène alors que les variations de vitesses du vent créées par les turbulences engendrent rapidement des niveaux d'inconfort inacceptables (Melbourne & Joubert 1971, Bottema 2000).

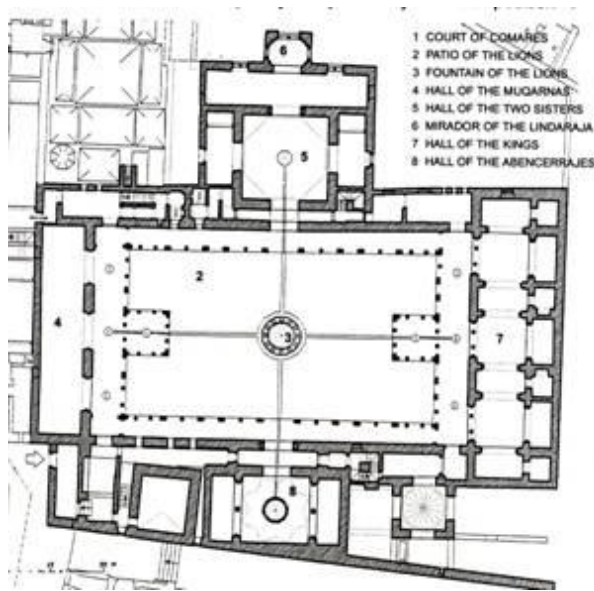
D'autre part, du point de vue temporel, Fanger a étudié l'impact des changements de température sur le confort thermique en chambre climatique. Son étude démontre que la vitesse d'adaptation à un nouvel environnement est différente selon que le changement va dans la direction d'un environnement plus neutre ou plus extrême. Pour un changement qui s'éloigne de la condition de confort (neutralité), un long temps d'adaptation (au moins 20 minutes) est nécessaire pour arriver à une condition d'équilibre. Par contre, un changement allant vers le confort offre un degré d'acceptabilité atteint en cinq minutes. Notons en outre que le corps humain s'adapte plus facilement à un environnement trop chaud que trop froid. La sensibilité humaine est donc plus grande au froid qu'à la chaleur (Nikolopoulou & Lykoudis 2005).



De même, le phénomène d'adaptation de l'œil dépend des luminances de départ et d'arrivée et de tout changement de brillance. L'adaptation à l'obscurité prend plus de temps qu'à la lumière. L'œil nécessite environ 30 minutes pour s'adapter aux conditions extérieures d'obscurité en sortant d'une ambiance lumineuse alors qu'il ne nécessite que quelques secondes pour s'adapter à la lumière en quittant un environnement obscur (Reiter & De Herde 2001).

Ainsi, pour faire passer une personne d'un environnement confortable à un environnement plus éloigné de la neutralité, il est conseillé de créer des zones de transition pour que le passage se fasse insensiblement. Par contre, pour aller d'une zone inconfortable vers une zone plus confortable, une modification brusque semble acceptable.

Etudions le superbe exemple d'architecture bioclimatique qu'offre le patio aux lions dans le palais Nasrides de l'Alhambra de Grenade. Le patio consiste en une cour intérieure dont le centre est occupé par une fontaine à partir de laquelle des rigoles d'eau coulent vers les quatre corps du bâtiment. Ce patio est entouré d'une colonnade marquée par deux portiques.



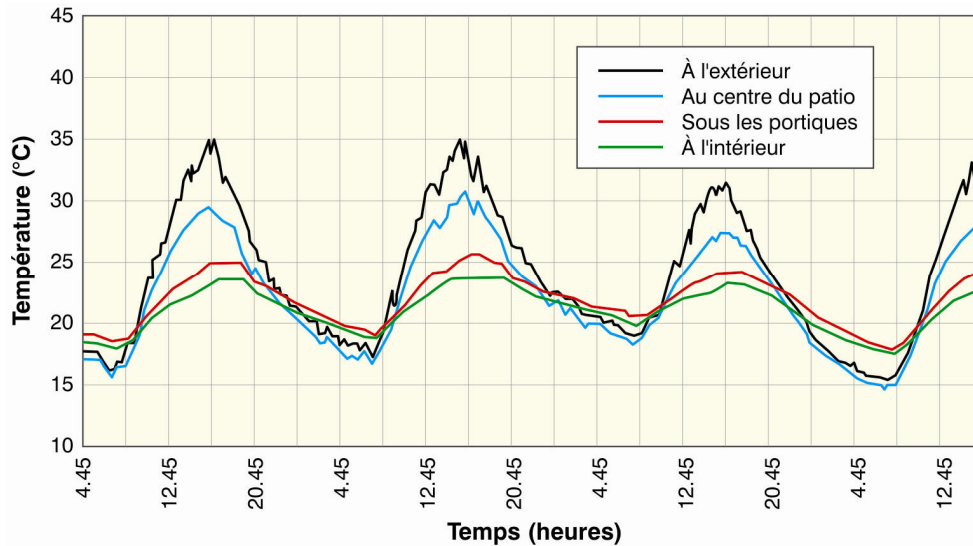
Plan du palais Nasrides à Grenade (Jimenez 2002).

Les photos ci-dessous montrent les colonnades et les portiques du patio aux lions qui servent d'espaces de transition entre l'intérieur et l'extérieur du point de vue lumineux, du point de vue de l'ouverture visuelle et du point de vue thermique.



Transitions visuelles et thermiques du patio aux lions à Grenade (Photos : S.Reiter).

Le graphe ci-dessous montre l'évolution des températures de l'air à l'extérieur du palais, dans le patio et sous les portiques (Jimenez 2002). On voit comment le confinement d'un espace associé à une fontaine et des petits canaux d'eau permet de limiter les pics de température de l'air dans le patio par rapport à l'extérieur du palais et donc de conserver une ambiance de relative fraîcheur constante au cours de la journée. De plus, les températures de l'air sous les portiques sont encore plus faibles que dans le patio. Ainsi, la colonnade qui entoure le patio crée un espace de transition thermique entre les pièces fermées du palais et le patio ouvert au ciel.



(Jimenez 2002).

Les possibilités de créer des espaces de transition sont infinies; elles dépendent du climat et de la forme du bâti.



Espace de transition à Londres  
(Photo : S.Reiter)



Espace de transition à Séville  
(Photo : Grupo de termotecnia 1994)

## **2.2.4 La diversité des ambiances**

Un parcours piéton ou une place sont d'autant plus attractifs qu'ils présentent de la variété à différents niveaux. Ainsi, analyser les paysages séquentiels qui s'offrent aux piétons quand ils circulent et y introduire une dynamique et une richesse basée sur la diversité des ambiances est un atout pour attirer les piétons. Il est important de limiter le sentiment de monotonie.

Les espaces qui offrent des zones à l'ombre et au soleil sont utilisés sur une plus longue durée d'occupation que ceux qui ne présentent qu'un seul type d'ambiance (Nikolopoulou & Steemers 2000). En fonction du climat local et de la saison, quelqu'un peut préférer être assis au soleil ou à l'ombre, être frôlé par une brise ou être protégé du vent, être en contact avec le ciel ou profiter de la couverture d'une arcade. Les villes ont été et peuvent être conçues pour fournir ces choix.

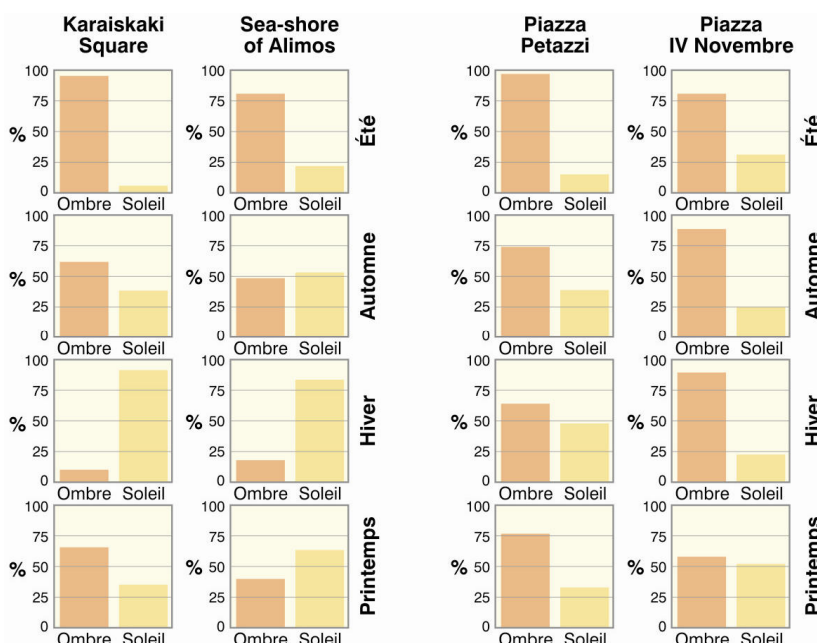
Ainsi, des lieux présentant aux utilisateurs des choix d'ambiances différentes vont créer un sentiment de confort accru. Notons que certaines zones seront évidemment préférées à certaines saisons ou moments de la journée.

La variation des zones ensoleillées et des zones d'ombre dans un espace public est une source importante de diversité et de variabilité pour cet espace. Une règle générale à appliquer dans tous les espaces publics pour assurer cette variété de conditions environnementales est la suivante : la proportion ensoleillée de l'espace ouvert doit couvrir entre 20% et 80% de la surface du site. Ce critère de diversité par rapport à l'ensoleillement est un critère qualitatif du confort qui correspond à des données quantitatives au niveau thermique (Nikolopoulou & al. 2004) et au niveau visuel (Compagnon & Goyette-Pernot 2004).



Zones ensoleillées et ombragées (Photos : S. Reiter)

Les graphes ci-dessous montrent les résultats d'interviews sur terrain concernant le confort thermique au soleil et à l'ombre à Athènes (37.5°N) et Milan (45°N).



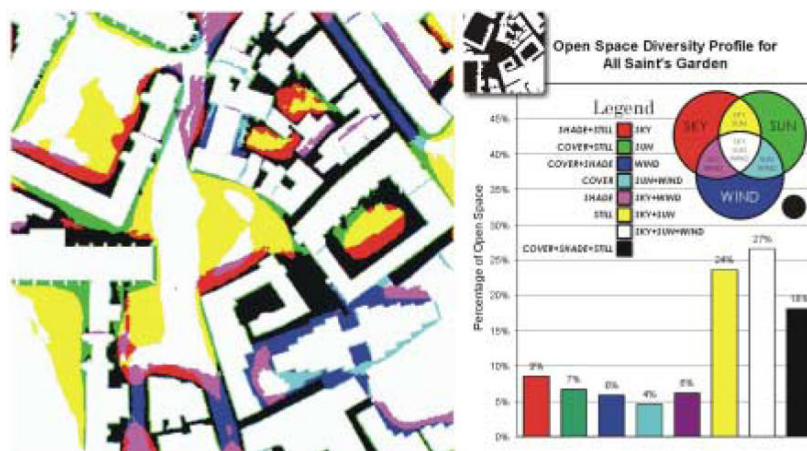
Variation saisonnière du nombre de personnes situées à l'ombre et au soleil sur deux places d'Athènes, à gauche, et deux places de Milan, à droite (Nikolopoulou & al. 2004).

On voit bien que même dans un climat chaud comme celui d'Athènes en été, 10 à 20% des personnes choisissent de s'installer au soleil. Cette conclusion souligne l'importance de la diversité des conditions environnementales pour le confort des piétons. De même, en hiver à Athènes, 10 à 20% des personnes s'installent à l'ombre alors qu'une majorité de la population recherche le soleil. Les différences de pourcentages entre les personnes qui s'asseyent à l'ombre et au soleil sont nettement moins marquées au printemps et en automne qu'en été ou en hiver. En outre, les résultats donnés pour Milan montrent des choix moins tranchés qu'à Athènes car le climat de Milan est plus tempéré. Ainsi, par exemple, selon la saison et la localisation, l'ensoleillement des places peut être souhaitée majoritairement, à égalité ou minoritairement par rapport à des zones d'ombre. Dans le premier cas, il est tout de même judicieux d'assurer 20% d'ombrage et dans le troisième cas d'assurer 20% d'ensoleillement de la place. En moyenne saison ou pour des lieux où les préférences climatiques ne semblent pas évidentes, il est bon de créer une variété plus équilibrée d'ambiances ensoleillées et ombragées.

Le confort visuel est amélioré quand le champ visuel offre suffisamment de diversité sur un plan horizontal, là où les activités humaines ont lieu. Cette importance de la variété dans le champ visuel est soutenue par plusieurs recherches (Lozano 1974, Compagnon & Goyette-Pernot 2004). Ce critère de diversité du point de vue visuel est également amélioré si la proportion ensoleillée de l'espace ouvert couvre de 20% à 80% de la surface du site (Goyette-Pernot 2004).

Il est judicieux de favoriser les conditions climatiques les plus adaptées pour chaque saison en un lieu déterminé, tout en assurant la possibilité de trouver des conditions microclimatiques différentes sur certaines zones plus réduites de l'espace public.

Steemers & al. propose d'étudier le microclimat d'un espace public à partir de cartes représentant la diversité des conditions microclimatiques présentes dans cet espace. Le but principal de ce type de carte est d'indiquer le degré relatif de diversité environnementale en fonction de la forme urbaine. Le graphique ci-dessous montre un exemple de ce type de carte de diversité environnementale pour le All Saint's Garden à Cambridge. L'image de gauche montre la superposition des cartes de seuils de facteurs de vue du ciel, d'ombrage solaire et d'obstruction du vent. Le graphique à droite montre la distribution des différentes combinaisons environnementales présentes sur ce site (Steemers & al. 2004).



(Steemers & al. 2004).

Ce graphique de la répartition des différents profils environnementaux montre que le site dispose d'une prédominance de conditions 'calme-ensoleillé' et 'ensoleillé-

venteux' assez bien adaptées au climat anglais tout en offrant aussi quelques lieux 'calme-ombragé'. Pour un climat tempéré, l'absence presque totale de lieux 'venteux-ombragé' dans les espaces extérieurs n'a pas grande importance (Steemers & al. 2004).

Pour affiner l'analyse, un classement de différentes combinaisons environnementales peut être produit en fonction de la zone climatique considérée à partir d'une méthodologie proposée par Brown et de Kay (Brown & de Kay 2001). Dans ce livre, un ensemble de valeurs ont été identifiées par climat et par saison. afin d'attribuer des points aux différentes combinaisons entre soleil / ombrage et calme / venteux. On peut adapter ce tableau pour ajouter l'ouverture vers le ciel ou la couverture (protection par rapport aux intempéries). Le tableau ci-dessous présente les valeurs que j'ai choisies pour la Belgique. L'échelle d'évaluation varie entre 1 pour les conditions les moins désirées en Belgique et 5 pour les conditions préférées en Belgique.

Conditions environnementales	Hiver	Printemps et automne	Été
Ombre, calme et ciel	1	2	2
Soleil, calme et couverture	5	4	2
Ombre, vent et couverture	2	1	4
Soleil, vent et couverture	4	3	3
Ombre, vent et ciel	1	1	3
Soleil, calme et ciel	4	4	1
Soleil, vent et ciel	3	3	2
Ombre, calme et couverture	3	2	3

Cependant, comme on l'a expliqué, la diversité des conditions offertes garde toute son importance. Il est peu important de vouloir définir ou de chercher à atteindre des conditions de confort physiologique optimal en milieu urbain. Par contre, l'évaluation du succès d'un environnement urbain en terme de diversité est plus pertinente. Ainsi, le but consiste à maximiser une diversité adéquate afin d'augmenter les possibilités de choix en relation avec le climat, les activités et les préférences des usagers.

Lors de la conception d'espaces urbains ouverts, il est important de se rappeler qu'il est préférable de créer une variété de conditions environnementales car c'est la façon naturelle dont les choses se présentent dans les espaces extérieurs. L'interaction entre les différents paramètres de la morphologie urbaine crée un profil de diversité unique sur chaque site. La diversité des ambiances peut être introduite par une différence d'orientation, une différence de morphologie du bâti, une différence de fermeture de l'espace ou encore la présence d'éléments d'aménagement (végétation, fontaines).

**Notre objectif est donc de créer un environnement urbain riche et varié, offrant aux piétons des possibilités de choix multiples. Il est conseillé d'introduire de la diversité au niveau des ambiances proposées dans un même lieu ainsi qu'entre différents espaces de rencontre situés à proximité les uns des autres.**

### **2.2.5 La variabilité des conditions environnementales**

Les variations de climat sont non seulement souvent tolérées mais même désirées par les êtres humains. Un environnement variable est souvent préféré à un environnement statique. Le besoin de variabilité de l'environnement est spécialement nécessaire aux personnes qui passent une grande partie de leur journée à l'intérieur d'un local monotone (Baker 2001).

L'éclairage naturel est préféré à l'éclairage artificiel grâce à sa variabilité et à ses nuances. La variabilité de la lumière naturelle a un impact positif sur l'être humain. Elle nous relie au monde naturel et nous permet de nous situer spatialement et temporellement. Son caractère cyclique est un facteur important pour notre équilibre psychique (Reiter & De Herde 2001).

Les conditions confortables sont souvent regardées théoriquement comme celles où les personnes se trouvent dans un état neutre thermiquement. Cependant, la stimulation environnementale est un des buts pour lesquels les gens vont à l'extérieur (Nikolopoulou & Steemers 2003).



(Photo : S.Reiter).

Les choix des vacanciers en terme d'activités extérieures les exposent fréquemment à des niveaux d'inconfort élevés; citons par exemple bronzer sous un soleil brûlant, skier, escalader une montagne, nager. Comment concilier cette constatation avec notre définition du confort thermique? Ces environnements extrêmes nous apportent un contraste salutaire par rapport à nos environnements construits, constants et artificiels. Les êtres humains ont un réel besoin de variabilité et de stimulation environnementale (Baker 2000).

Une ville sans bruit serait une ville morte, une ville sans hommes. Le bruit est une composante inévitable de la vie. Fort heureusement, l'univers sonore d'une ville ne comprend pas que des bruits désagréables. Un grand nombre de sons servent d'horloge sociale du quotidien : par exemple, le calme des dimanches contraste avec l'agitation des jours de semaine, la présence du marché est un repère dans la vie du quartier, etc. Beaucoup d'éléments sonores sont des stimuli positifs qui introduisent de la variété dans notre environnement. Il faut s'efforcer de les préserver parce qu'ils sont indispensables à l'homme.

Notons par exemple que les sons émis par une fontaine sont attrayants pour la plupart des gens mais que si le niveau sonore reste constant en permanence, les

personnes s'en désintéressent au bout d'un petit moment. Pour que le bruit de l'eau reste attrayant, il est recommandé de faire varier le débit de l'écoulement d'eau des fontaines (Kang & al. 2004). Il est donc fortement suggéré que le taux d'écoulement des fontaines qui servent de repère ou d'agrément sonore ne soit pas constant. Ainsi, l'intérêt de la variabilité environnementale est encore une fois démontré.

En survalorisant la technologie, notre société délaisse souvent la qualité intrinsèque des variations naturelles (lumière, chaleur, niveau sonore, ...). **Il est donc indispensable de créer des opportunités d'ouverture aux changements dans nos environnements trop rigides.** Les arbres à feuilles caduques, par exemple, induisent une variabilité naturelle: en fonction de leur feuillage, ils laissent largement passer la lumière en hiver tandis qu'ils créent un ombrage bienvenu pendant l'été. La photo de droite ci-dessous montre l'exemple d'un élément d'aménagement de l'espace public amovible : il s'agit de protections solaires mobiles qui ombragent cet espace extérieur à Séville pendant les mois d'été mais qui sont retirées de l'automne au printemps pour bénéficier du rayonnement solaire quand il n'est pas trop fort.



Élément d'aménagement variant naturellement (à gauche) ou amovible (à droite).  
(Photo : S. Reiter) (Littlefair et al. 2000)

Un même élément d'aménagement peut présenter des utilités diverses en fonction de la variabilité du milieu dans lequel il est plongé. Les photos ci-dessous montrent par exemple qu'un auvent peut servir d'ombrage sous le soleil en été et de protection contre la pluie en hiver. Vu les variations journalières et saisonnières des données météorologiques, il est utile de trouver des solutions qui s'adaptent à ces cycles en proposant des fonctionnalités différentes selon le moment du jour ou de l'année.



Auvent à usages multiples à Louvain-la-Neuve (Photos : S.Reiter).

D'autre part, l'occupation des espaces publics est rythmée selon de nombreux cycles : quotidien, hebdomadaire, mensuel, saisonnier, annuel, ... Ces rythmes se concrétisent généralement par une certaine polyvalence d'occupation des espaces publics. Les perceptions et usages des citoyens dépendent du caractère polyvalent des espaces publics.

Ainsi, il est essentiel de valoriser les caractéristiques de variabilité d'un espace public de manière à ce que cet espace s'adapte naturellement aux variations cycliques de ce lieu (climat, usages,...). Il y a différentes échelles temporelles et différentes échelles spatiales possibles pour créer cette variabilité.

### **2.2.6 La perception du contrôle environnemental possible**



(Photo : S.Reiter).

La perception du contrôle environnemental possible est un des éléments les plus essentiels du confort thermique. Paciuk affirme que les stimuli désagréables sont moins irritants lorsqu'ils sont perçus par des sujets capables de les contrôler (Paciuk 1990).

L'adaptation interactive n'est pas courante dans les zones extérieures. Cependant, des éléments mobiles, tels que des parasols ou des auvents, peuvent fournir des variations spatiales et temporelles pour adapter le microclimat d'un lieu. Ces éléments offrant une opportunité de contrôle direct sur l'environnement sont généralement très appréciés des utilisateurs d'un espace.

L'ensemble du mobilier urbain (bancs, abribus, poubelles, panneaux indicateurs,...) pourraient être travaillés pour être adaptables à l'occasion. De même, les surfaces ou cloisons de séparation entre différentes parties de l'espace public peuvent servir à y instaurer un certain contrôle environnemental local.

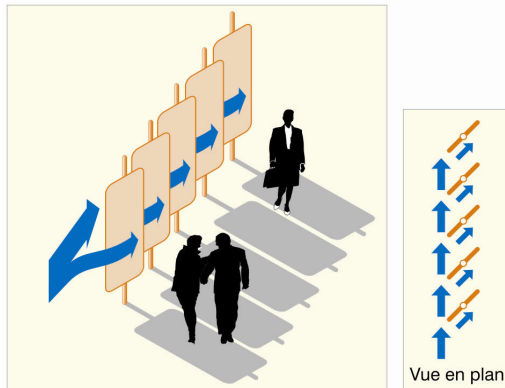
D'autre part, certains éléments d'aménagement pourraient ne fonctionner que sous l'influence humaine afin de favoriser la participation des personnes à l'ambiance urbaine. Par exemple, une fontaine ou un éclairage artificiel d'ambiance pourrait être actionné régulièrement de manière automatique, tout en offrant l'opportunité aux passants de le faire fonctionner en dehors de son horaire habituel par un appel manuel.



Les deux images ci-dessous présentent des exemples d'éléments de mobiliers urbains permettant aux usagers de l'espace de contrôler les conditions microclimatiques auxquelles ils sont soumis. En haut, un ensemble de parasols sur la place du marché à Thionville. En-dessous, des brise-vents mobiles qui peuvent être employés comme coupe-vent pour créer un barrage de l'air froid en hiver, tout en canalisant le vent en été et en offrant la possibilité de créer un ombrage adaptable.



Place du marché à Thionville



Brise-vent adaptable.

Les photos ci-dessous donnent l'exemple d'une réalisation par l'asbl Recyclart d'éléments modulaires pour la pratique du skateboard dans les espaces publics.



Éléments modulaires pour la pratique du skateboard (Photos : [www.recyclart.be](http://www.recyclart.be)).

**Favoriser les possibilités d'adaptation des éléments d'aménagement d'un espace public permet d'offrir aux utilisateurs de l'espace un certain contrôle qui accroît leur sensation de confort.**

## 2.2.7 La capacité de s'adapter

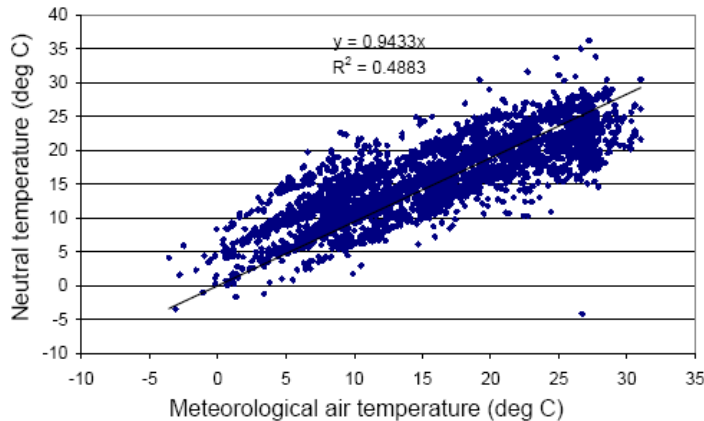
Le confort ressenti dans un espace public extérieur dépend également de la capacité (réelle ou perçue) des utilisateurs à s'adapter à leur environnement. Par capacité d'adaptation réelle, nous pouvons signaler, la possibilité de mettre un manteau quand on a froid, de prendre une boisson rafraîchissante s'il fait trop chaud, d'ouvrir un parapluie s'il pleut, ... Mais il existe aussi de nombreux éléments qui influencent la perception humaine de ses capacités d'adaptation. Nous citons l'influence des prévisions des piétons, leur motivation à se trouver dans ce lieu, une durée courte d'exposition et leur sentiment d'être en sécurité. La possibilité de se déplacer vers un autre type d'ambiance est aussi perçue comme une capacité à s'adapter à notre environnement.



(Photo : S.Reiter).

Les perceptions thermiques sont directement liées aux expériences passées et aux prévisions des utilisateurs d'un espace. La mémoire récente du sujet et les prévisions des piétons ont une double importance: elles influencent leur choix vestimentaire et elles les préparent psychologiquement. *'Je m'attends au temps qu'il fait en cet endroit et donc je m'y habitue'*. Cela correspond souvent aux réponses données dans les interviews sur le confort thermique extérieur: *'C'est OK pour cette période de l'année'* ou *'en été, il pourrait faire plus chaud!'*. (Nikolopoulou & Steemers 2000). L'expérience passée n'est pas tellement liée au site puisqu'elle dépend de l'histoire de chaque personne, mais on peut tout de même influencer l'expérience à court terme.

Dans le contexte du projet européen RUROS, les conditions de confort thermique extérieur ont été évaluées à travers des enquêtes sur terrain (près de 10 000 interviews) dans 14 centres-villes européens (Nikolopoulou & al 2004). Cette étude montre que la neutralité thermique moyenne, c'est-à-dire la sensation thermique pour laquelle les personnes ne ressentent ni le chaud ni le froid, est très proche de la température météorologique de l'air (°C), pour tous les questionnaires effectués en Europe. De manière plus précise, on relève que les variations de la température désirée en fonction de la température expérimentée restent en général dans un intervalle de -5°C à +5°C, sauf aux températures les plus basses (-5 à 10°C) où la température neutre peut aller jusqu'à 10°C au-dessus de la température réelle et aux températures les plus élevées (25 à 35 °C) où la température neutre peut varier entre -10°C et +5°C. Ce phénomène provient de l'influence de l'expérience récente de piétons et de leurs prévisions sur leur capacité à s'y adapter. Le graphe ci-dessous montre la corrélation entre la neutralité thermique et la température moyenne pour l'ensemble des 28 espaces publics européens testés.



(Nikolopoulou & al 2004).

Les expériences acoustiques antérieures jouent également un rôle dans l'évaluation qualitative d'un paysage sonore. Ainsi, les personnes qui viennent d'un environnement intérieur bruyant tendent à mieux s'adapter aux espaces publics urbains bruyants (Kang & al. 2004).

L'étude de Yang et Kang montre aussi que l'évaluation subjective du niveau sonore d'un espace pour un même niveau sonore mesuré était plus élevée dans le cas d'une place où le niveau de bruit moyen journalier est plus élevé que dans le cas d'une place habituellement plus calme, ces deux espaces étant situés dans la même ville (Yang & Kang 2005). Cet exemple montre bien l'importance des expériences passées et des ambiances habituelles dans la perception des niveaux sonores dans un espaces public extérieur.

Ainsi, du point de vue acoustique, le niveau sonore du bruit de fond est spécialement important : un bruit de fond plus faible améliore le confort acoustique des personnes dans un lieu, même pendant les heures où se bruit de fond est largement dépassé (Yang & Kang 2005).

Notons également que la durée d'exposition influence également la capacité d'adaptation des utilisateurs. L'exposition à un inconfort n'est pas vue négativement si les individus anticipent que sa durée est courte, comme sortir d'une voiture pour rejoindre un bâtiment en hiver (Nikolopoulou & Steemers 2000). C'est un phénomène similaire qui fait que les personnes qui attendent un moyen de transport en commun sont nettement plus calmes et ressentent moins l'inconfort quand elles connaissent la durée de leur attente, par exemple grâce à un affichage du nombre de minutes qui sépare une rame de métro de la suivante. Par contre, tout inconfort de longue durée est un aspect critique pour l'utilisation d'espaces urbains de récréation ou de repos car les gens modifient le temps qu'ils y passent en fonction de leurs besoins de confort.

La motivation d'une personne à être en un lieu peut aussi influencer sa capacité d'adaptation. Les personnes assises sur des places publiques, par des conditions physiologiquement inconfortables, éprouvent une satisfaction nettement plus élevée lorsqu'elles sont à un endroit de par leur propre choix que lorsqu'elles attendent quelqu'un d'autre (Nikolopoulou & Steemers 2000). De même, pour des niveaux équivalents d'inconfort, les personnes se plaignent davantage si elles sont là pour travailler ou pour promener leur chien que si elles sont là par choix personnel. (Nikolopoulou & Lykoudis 2005).

Dans les études réalisées in situ, il y a pratiquement toujours l'un ou l'autre cas de personnes qui choisissent des situations réellement inconfortables uniquement parce qu'elles retirent un bénéfice d'un autre ordre. Citons par exemple le cas de jeunes jouant au basketball à Athènes sous le soleil de midi, alors que la température extérieure était de 35.5°C. Habituellement, ces conditions thermiques représentent un cas idéal où toute activité physique est limitée à son minimum et où les zones ombragées sont recherchées. Dans ce cas, l'envie de jouer ensemble au basketball permet de dépasser une situation d'inconfort évident (Nikolopoulou & Lykoudis 2005). Dans la base de données du projet européen RUROS, au sein duquel les conditions de confort thermique extérieur ont été évaluées à travers près de 10 000 interviews dans 14 centres-villes européens, toutes les personnes qui se trouvaient dans des situations thermiquement inconfortables mais estimaient être dans une situation confortable y étaient pour une des trois motivations suivantes : pour pratiquer une activité de loisir (sports,...), pour « faire une pause » dans leur journée de travail ou d'étude ou bien pour des raisons strictement personnelles. Par contre, les personnes qui travaillent à l'extérieur et celles qui se contentent de traverser l'espace sont spécialement sensibles à un environnement inconfortable. (Nikolopoulou & Lykoudis 2005)

Le sentiment d'être en sécurité est également essentiel pour ressentir un espace extérieur comme confortable. Il est donc judicieux de tenir compte de différents éléments qui influencent cette sensation d'être en sécurité. Tout d'abord, un espace public est rassurant quand il n'est pas trop ouvert (perte de repère) ni trop étroit (sentiment d'être piégé). Le tableau ci-dessous présente le rapport entre distance et perception (Nasar & al. 1993).

Distance (m)	Perception humaine liée à cette distance
0-0.5	Odeurs et perception du rayonnement thermique
0.5-1.25	Distance maximale pour toucher quelqu'un
2.1-3.6	Distance pour converser
9	Distance maximale de contact individuel
12	Distance maximale pour percevoir les expressions d'un visage
24	Distance maximale pour reconnaître un visage
135	Distance maximale pour voir le mouvement d'un corps humain
1200	Distance maximale pour voir une silhouette humaine
4000	Distance de l'horizon pour une personne dont les yeux se trouvent à 1.65 m du sol.

Il est judicieux de choisir des dimensions spatiales qui offrent des perceptions humaines adéquates par rapport au type de lieu souhaité. Rappelons que les places médiévales en Europe ont généralement des dimensions inférieures ou égales à 60\*140 mètres (Sitte 1996). Rappelons également qu'un piéton parcourt facilement la distance de 150m mais dépasse rarement un parcours de 300m sans une forte motivation.

Un bon entretien et surtout un bon éclairage des espaces publics le soir est le premier critère pour se sentir en sécurité. Le sentiment de sécurité peut être aussi favorisé en offrant la possibilité d'utiliser un chemin assez dégagé car les zones sombres ou encombrées offrent des repères pour les agresseurs éventuels. De même, le sentiment individuel de sécurité est influencé par la vue de sorties accessibles. Ces « sorties » peuvent être des voies de fuite ou des lieux où le piéton pourrait se réfugier, tels que les magasins, cafés, restaurants,... Selon des enquêtes sociales réalisées in situ, ces éléments influencent non seulement le sentiment

subjectif de sécurité mais limitent aussi les causes réelles d'insécurité dans les zones à risques (Nasar & al. 1993).

Signalons que les piétons sont très vulnérables. Il faut donc faire attention à limiter les causes d'accidents avec les automobiles mais aussi à tenir compte des personnes âgées, des enfants et des personnes à mobilité réduite.

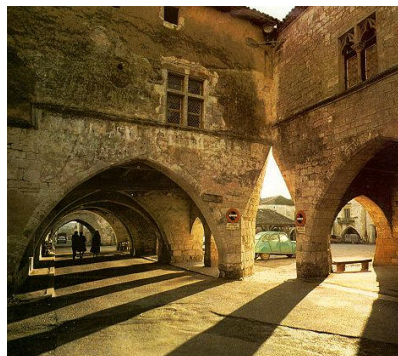
Enfin, insistons sur le fait que créer des conditions environnementales variées dans un même espace ou entre des lieux rapprochés offre aux citoyens le choix de s'adapter en se déplaçant vers une zone plus confortable. Ainsi, la présence d'une distribution de zones ensoleillées et ombragées sur une même place permet aux utilisateurs de l'espace de choisir les conditions qui lui correspondent. De même, si un même lieu peut être atteint par deux itinéraires, dont les conditions environnementales sont différentes (soleil/ombre, animation sonore/calme, ...), les piétons ont la possibilité de choisir le parcours qui leur convient.



(Photo : S.Reiter)

**Des conditions environnementales non-neutres associées à une opportunité d'adaptation apportent une plus grande satisfaction aux piétons.** Ainsi, il ne faudrait pas voir le manque de neutralité physiologique comme une perte de confort mais bien comme la liberté retrouvée de pouvoir s'adapter à son environnement. Il s'agit d'abandonner l'idée d'un confort immuable pour celle d'un confort changeant, dynamique, adapté.

### **2.2.8 La naturalité du lieu**



(Photo : K. de Myttenaere). (Photo : B. Deprez).

De nombreuses études ont montré que les éléments naturels sont bénéfiques pour l'être humain. Ainsi, la lumière naturelle est mieux adaptée à l'œil humain que la lumière artificielle. L'adaptation complète de l'œil passant de la lumière du soleil à des luminances intérieures cent fois plus faibles fournies par l'éclairage artificiel demande environ 15 minutes. Mais si l'espace intérieur est éclairé naturellement, l'adaptation est deux fois plus rapide, ce qui met en évidence l'adéquation

harmonieuse entre la lumière du jour et le système visuel (Reiter & De Herde 2001).

Ulrich a découvert que des malades retrouvaient plus rapidement la santé lorsqu'ils étaient capables de voir un paysage naturel à une distance moyenne à la place de voir un mur blanc (Ulrich 1984). Une étude en Norvège compare deux groupes de personnes travaillant dans des bureaux, l'un agrémenté de belles plantes et l'autre sans végétation. Fatigue, mal de tête et problèmes de concentration étaient diminués de 23% dans le cas du bureau qui présentait une végétation agréable (Fjeld 1998). Ces études prouvent que la végétation est un élément essentiel pour le confort des êtres humains.

De nombreuses études du phénomène « sick building syndrome » (SBS) montrent une relation statistique significative prouvant que les bâtiments équipés d'un système à air conditionné, avec ou sans humidificateur, sont associés à une augmentation de 30 à 200% des symptômes de SBS par rapport aux bâtiments ventilés naturellement (de Dear & Brager 2002).

De plus, les êtres humains préfèrent les éléments naturels aux éléments artificiels. A partir d'études sur le terrain à travers toute l'Europe, Compagnon et Goyette-Pernot arrivent à la conclusion que, du point de vue de l'appréciation du champ lumineux par les usagers, les personnes qui utilisent les espaces ouverts apprécient toujours plus de lumière naturelle et particulièrement celle du soleil. De plus, la sensation de "confort visuel" est accrue dans les zones où le ciel occupe une plus grande partie du champ visuel que les bâtiments environnants (Compagnon & Goyette-Pernot 2004).

De même, du point de vue acoustique, les sons naturels sont préférés aux sons artificiels (Carles & al. 1999 ; Kang & al. 2004). Les gens partagent généralement une opinion commune en préférant des sons naturels et culturels plutôt que des sons artificiels. Les sons provenant des véhicules et de la construction sont considérés comme très impopulaires, tandis que les sons générés par des activités humaines (parole, jeux d'enfants,...) sont normalement estimés comme plaisants ou neutres selon les cas. Signalons que la musique "live" est toujours très appréciée, quelle que soit le type de musique (classique, populaire,...) car les passants sont généralement plus intéressés par l'activité des musiciens que par le type de musique. Cependant, lorsqu'une musique est diffusée par des haut-parleurs, le type de musique et le niveau sonore doivent être soigneusement considérés pour correspondre aux désirs des utilisateurs de l'espace (Kang & al. 2004). De même, le bruit engendré par le trafic autoroutier est perçu comme inconfortable alors qu'un même niveau sonore est agréable lorsqu'il s'agit de l'ambiance sonore créée par la présence d'une fontaine. L'utilisation de fontaines est donc un moyen intéressant de créer un masque sonore par rapport à d'autres bruits urbains moins appréciés. La photo ci-dessous montre les fontaines de Trafalgar square à Londres qui masquent le bruit des autobus et des voitures longeant la place.



Le son naturel des fontaines à Trafalgar square (Photo : S.Reiter).

Une étude de Yang et Kang a porté sur la comparaison de la perception subjective du niveau sonore engendré par trois sources de bruits différentes, situées dans un même lieu public et pour un même niveau sonore mesuré (Yang & Kang 2005). Les sources de bruit comparées étaient : la démolition d'un immeuble, une fontaine à débits importants et le mélange du bruit de la démolition et de la fontaine. Les sons de démolition étaient perçus comme les plus forts, puis le mélange des sons et enfin le bruit de fontaine était sous évalué. Par ailleurs, cette étude a permis de constater que :

- dans le cas de la démolition de l'immeuble, l'inconfort est croissant avec le niveau sonore.
- dans le cas de la fontaine toute seule, une augmentation du niveau sonore n'a pratiquement aucun impact sur l'évaluation du confort acoustique, ce qui souligne encore une fois l'importance de la naturalité des éléments utilisés dans les ambiances urbaines.
- dans le cas des deux bruits superposés, le confort semble davantage lié à la perception de la fontaine quand le niveau sonore général reste en-dessous de 70 dBA mais devient fort influencé par la démolition au-dessus de cette valeur limite. Ce comportement est vraisemblablement lié à l'effet de masque acoustique généré par la fontaine jusqu'à un niveau sonore de 70 dBA. Ainsi, cette étude montre que l'utilisation de masques sonores en milieu urbain est une technique efficace pour améliorer le confort acoustique et que le niveau sonore de ce masque peut aller jusqu'à 70dBA.

D'autre part, dans les espaces où les changements climatiques apparaissent naturellement, des modifications importantes de l'environnement physique sont mieux tolérées (Nikolopoulou & Steemers 2003).

Enfin, dans les enquêtes du projet européen RUROS, une grande partie des personnes qui éprouvent une sensation de confort dans un environnement inconfortable sont juste là pour « faire une pause » dans leur travail. Cet exemple montre bien que de nombreuses personnes sortent dans des conditions d'inconfort uniquement pour profiter d'un environnement naturel. Le bénéfice qu'ils tirent d'une expérience de naturalité (par rapport aux ambiances artificielles intérieures) est donc supérieur au désagrément lié à l'inconfort thermique (Nikolopoulou & Lykoudis 2005).

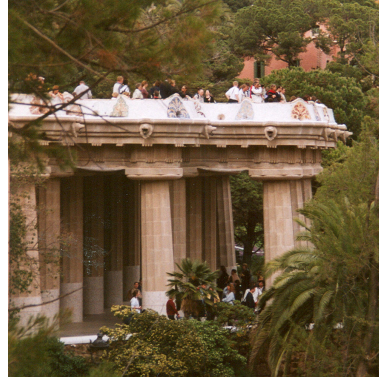
Il y a différents types d'éléments naturels qui s'insèrent facilement dans un milieu urbain ; citons: les éléments climatiques, la végétation, les surfaces d'eau, ... La mise en valeur d'un rayon de soleil ou de mouvements d'air peut être attirante pour les citoyens trop habitués à des environnements artificiels.



Éléments d'aménagement naturels (Photos : S.Reiter).

Il est également important de créer des espaces qui nous relient indirectement au monde naturel. Signalons qu'une caractéristique essentielle de la nature est son

caractère cyclique. Les formes arrondies et sinueuses rappellent aussi les évolutions naturelles. Les photos ci-dessous montrent le bord ondulé en céramique qui fait le tour de la terrasse centrale du parc Güell à Barcelone dont la naturalité de la forme est valorisée par ses fonctions multiples : sculpture décorative, ensemble de bancs pour se reposer et balustrade au bord du vide.



Terrasse du parc Güell à Barcelone (Photos : S. Reiter).

En conclusion, **la naturalité d'un lieu est un caractère essentiel pour le confort des personnes.** La vie moderne nous isole de plus en plus du monde naturel et ces questions devraient devenir critiques vu la croissance de l'urbanisation. Il y a deux corollaires à cette assertion:

- nous devrions augmenter les éléments naturels dans nos villes ;
- nous devons concevoir des espaces qui offrent des caractéristiques similaires à celles que le monde naturel peut nous offrir.

### **2.2.9 Le caractère signifiant du lieu**

En tant qu'êtres humains incarnés dans le monde, notre expérience sur Terre est en permanence une synthèse entre notre perception du monde à travers la matérialité, par notre corps, et à travers l'esprit, par la symbolique, le langage, l'imaginaire.



Cloître à Rome (Photo : S.Reiter).

Tout élément perçu est porteur de sens, qu'on le veuille ou non. A tout moment, un espace et ses constituants émettent des messages (beauté, signal d'avertissement,...). **Le caractère signifiant d'un lieu influence le confort des personnes qui s'y trouvent.**



Il faut signaler qu'une recherche esthétique s'inscrit fondamentalement dans la conception signifiante d'un espace. Or, la qualité des vues offertes aux piétons est un élément important du confort visuel. Une expérience visuelle positive peut être générée par des vues dégagées vers le paysage ou les bâtiments environnants, une belle végétation, des façades spectaculaires, un mobilier urbain de qualité (Reiter & De Herde 2001, Compagnon & Goyette-Pernot 2004). Ces facteurs qui sont source « d'agrément visuel » relèvent de l'esthétique et correspondent au caractère signifiant du lieu.

Dans les espaces ouverts et totalement dégagés, la direction du regard est le plus souvent tournée vers les zones d'activité humaine intense (par exemple des enfants qui jouent) ou vers le « noyau » du site, c'est-à-dire la surface pour laquelle le ciel occupe une plus grande partie du champ visuel que les bâtiments environnants (Compagnon & Goyette-Pernot 2004). De manière simplifiée, on peut estimer le « noyau » d'un espace public comme la surface dont tous les points sont situés à une distance des bâtiments supérieure à deux fois leur hauteur. Ces zones devraient donc être spécialement étudiées pour être attrayantes du point de vue visuel.



Zones d'activités humaines. (Photos : S.Reiter).

D'autre part, signalons qu'il est important qu'un espace soit conçu pour être « lisible » pour ses différents utilisateurs. Mais saturer un espace de signes en facilite rarement son usage... Les publicités et les panneaux de signalisation routiers ont souvent tendance à envahir l'espace public au point d'en faire perdre tout caractère signifiant !



Surcharge de panneaux et signaux à Longueuil. (Photo : Jacques Bourdon).

Les piétons se déplacent lentement ; la vitesse de marche moyenne est de 1.3 m/s pour un adulte et 17% des piétons ont une vitesse inférieure à 1m/s. Circuler à pied est idéal pour une distance de 0 à 2km. Les bicyclettes, plus rapides, conviennent parfaitement à des distances allant jusqu'à 5km. Ces deux moyens de transport écologiques sont donc idéaux pour couvrir les distances moyennes que font les personnes en une journée à savoir environ 6km. Il est donc essentiel de créer des espaces publics qui tiennent compte de leur perception et qui auront à leur yeux un caractère signifiant.

Vu leur lente progression, les piétons ont une vision optimale de leur environnement. Le champ visuel binoculaire d'un piéton est de 230° latéralement et de 150° verticalement. Ce champ est encore augmenté par la possibilité de bouger les yeux et de tourner la tête tout en marchant. Donc, les piétons peuvent facilement observer l'entièreté de leur environnement. En revanche, les automobilistes se concentrent sur une petite partie centrale de leur champ visuel. Leur champ de vision se réduit d'autant plus que la vitesse de l'automobile augmente.

A ce sujet, synthétisons quelques limites qui concernent la perception visuelle:

- pour percevoir entièrement la façade d'un bâtiment, les usagers doivent la voir sous un angle inférieur ou égal à 27° au-dessus du plan horizontal passant au niveau des yeux. Cette condition est réalisée pour des personnes se tenant à une distance plus grande ou égale à deux fois la hauteur de la façade (Compagnon & Goyette-Pernot 2004). Pour mettre en évidence un bâtiment historique signifiant, il est important de tenir compte de cette règle.
- la distance maximale entre usagers permettant encore de reconnaître un visage est de 24 mètres (Compagnon & Goyette-Pernot 2004). La taille d'un espace public va donc influencer le type d'activités sociales qui peuvent s'y produire.
- le confort est accru dans les zones ensoleillées ainsi que celles où le ciel occupe une plus grande partie du champ visuel que les bâtiments environnants ( $H/W < 0.5$ ). Le ciel et le rayonnement solaire direct favorisent le confort des piétons grâce à leur naturalité et leur symbolique.

La gêne qu'une personne éprouve par rapport à un bruit dépend notamment de la possibilité d'identifier le son ou de le comprendre (Blasco 2001). D'autre part, les personnes apprécient spécialement les éléments qui apportent du sens à un espace sonore. L'analyse de différents types de sons individuels et de leur répercussion sur le confort acoustique des piétons montre que l'évaluation du confort acoustique est fortement influencée par le type de source sonore. Introduire un son signifiant dans un espace public peut donc considérablement améliorer le confort acoustique (Yang & Kang 2005).

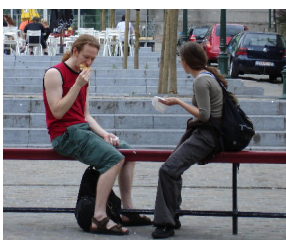
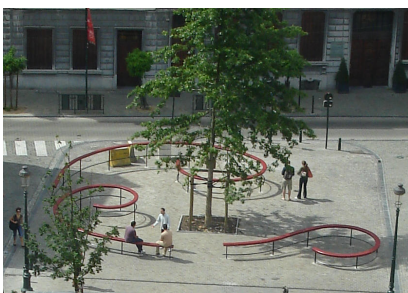
La musique est en général un élément sonore très apprécié, à condition de ne pas dépasser un niveau fort élevé. Quand il y a de la musique dans un espace public ouvert, l'augmentation de son niveau sonore a peu d'influence sur le confort acoustique des personnes qui reste globalement constant. Par contre, le changement d'un type de musique à un autre modifie fortement l'évaluation du confort acoustique. Les discours et la musique live sont généralement préférés par rapport à d'autres types de diffusion sonore. Enfin, les performances des musiciens ou le cadre de l'activité dans lequel ils s'inscrivent a également son importance dans la perception acoustique de l'espace par ses utilisateurs (Yang & Kang 2005).

La fonction symbolique est nécessaire à tout être humain. Les possibilités d'une symbolisation de l'espace public sont multiples. Citons la mise en évidence du relief naturel, de l'eau et des éléments microclimatiques (notamment le vent et la lumière), comme moyens de liaison aux quatre éléments : la terre, l'eau, l'air et le feu. Ces quatre éléments participent au processus de symbolisation des lieux de par leurs références archétypales. Rendre ces éléments visibles, perceptibles ou accessibles par des aménagements appropriés des espaces publics favorise l'émergence de lieux signifiants.



(Photo : S. Reiter).

Si un même choix technique peut être traduit de différentes manières dont l'une d'elle permet une appropriation symbolique, c'est cette solution signifiante qui devrait toujours être choisie. Prendre en compte les facteurs historiques, culturels et esthétiques d'un lieu est essentiel pour donner sens à un espace public. L'artiste Jozef Legrand a conçu « l'arbre à palabre » sur la place Breughel à Bruxelles. Lors de sa première visite du lieu, l'artiste a rencontré des jeunes assis sur les bancs qui lui ont expliqué le rôle de journal collectif des habitants que constituaient pour eux ces bancs : *"On inscrit dessus nos amours et nos amitiés"*. Son souci dès lors a été que son oeuvre d'art urbaine puisse participer à cette dynamique. Son intervention comprend la plantation d'un grand arbre en dessous duquel est placée une structure en bois et en métal suivant les lignes d'une arabesque. La structure peut servir de banc ou d'accoudoir et peut accueillir des gravures, écritures, peintures, stickers ou autres témoignages de la vie sociale du quartier. Ce projet est donc signifiant à deux niveaux : celui d'oeuvre d'art pour tout passant et celui de la prise en compte de la vie sociale de ce quartier spécifique pour ses habitants.



« L'arbre à palabres », sur la place Breughel à Bruxelles. (Photos : S. Reiter).

**Nous « préférons » un élément signifiant à d'autres informations du champ visuel, même lorsque celles-ci sont formellement plus prégnantes ou qu'on ne perçoit qu'un fragment de l'élément signifiant. Il est donc toujours important de mettre en valeur les éléments signifiants d'un site : traces historiques, architecture de qualité, éléments naturels spécifiques, ...**

### **2.2.10 La globalité de la sensation de confort**

Selon les paroles de Michel Serres, dont la pertinence est évidente: « ... *aucun corps n'a jamais senti et seulement senti l'odeur unique d'une rose. (...) Le corps sent une rose et mille odeurs alentour en même temps qu'il touche de la laine, voit un paysage multiple et frémit sous les vagues du son, en même temps qu'il refuse tout ce bariolage sensible pour imaginer à son aise, se recueillir abstraitement ou tomber en extase, travailler activement ou interpréter de dix manières son état sans cesser de l'éprouver.* » (Serres 1985) Ainsi, il est toujours délicat d'étudier un aspect spécifique du confort alors que l'être humain perçoit, ressent et se représente son environnement par intégration de l'ensemble des informations qu'il a appréhendées au moyen de ses cinq sens simultanément.

Le confort est une sensation provenant d'une perception globale de notre environnement. L'ambiance ressentie en découvrant un espace provoque généralement chez l'individu une réaction immédiate pouvant aller de l'attraction à la répulsion. Cette impression générale provient d'une synthèse d'éléments objectifs et subjectifs. Par exemple, signalons qu'une place qui correspond parfaitement aux critères de confort thermique, visuel, acoustique et respiratoire peut toutefois être un espace malsain pour les piétons si elle présente une caractéristique d'insécurité...

Cette constatation que les humains ressentent le confort de manière globale implique qu'ils mettent beaucoup de temps à percevoir la cause de leur insatisfaction. Cependant, les personnes sont très sensibles à des situations qu'elles perçoivent comme inconfortables.

Généralement, les personnes ne recherchent pas les emplacements qui procurent l'équilibre physiologique optimal mais elles fuient les situations ressenties comme inconfortables. De plus, lorsqu'on atteint certaines conditions de climat extrême (canicules,...), le microclimat devient l'élément primordial pour l'utilisation d'un espace (Nikolopoulou & Steemers 2000).

Il est important ici de rappeler que les différents critères qualitatifs du confort extérieur développés dans ce chapitre interagissent bien entendu les uns avec les autres. Ainsi, par exemple, l'influence positive de la naturalité fait qu'en général un brise-vent végétal est mieux perçu qu'un système de brise-vent artificiel. Cependant, une étude acoustique de Louwers a montré que cette conclusion devient erronée lorsque le niveau sonore est très élevé. Il semble donc que l'influence des attentes positives créées par la vision végétale rend encore plus pénible le niveau sonore très élevé (Louwers 2001). Cette expérience renvoie à un des critères qualitatifs précédents : l'importance de l'identification d'une ambiance et donc de la cohérence entre les stimuli sonores et visuels. Dans ce cas, la trop grande incohérence entre la coupure végétale et le niveau sonore l'emporte sur l'appréciation de la naturalité du brise-vent.

De même, ce critère de naturalité est à associer avec le désir de rencontrer une diversité d'ambiances à proximité. Ainsi, dans des quartiers très denses, l'introduction d'éléments naturels apporte des bienfaits considérables. Par contre, cela n'implique pas qu'il soit judicieux de planter des arbres à tort et à travers dans la ville mais plutôt de répartir harmonieusement les zones végétales à travers l'ensemble de l'urbanisation. Prenons l'exemple du Sablon à Bruxelles ; il est évident que le square du petit Sablon offre une qualité de confort qui est en partie alimentée par la naturalité du lieu : ses arbres, ses parterres, sa fontaine. Par contre, un réaménagement de la place du grand Sablon en square serait dommage vu la proximité du square du petit Sablon et du parc de Bruxelles ; il serait plus judicieux dans ce cas d'offrir une ambiance très différente et correspondant mieux au contexte de la place.

D'autres critères qualitatifs vont se renforcer l'un l'autre. Par exemple, offrir des espaces publics qui ont un facteur de vue du ciel élevé correspond à différents critères qualitatifs du confort humain :

- Le rayonnement solaire permet aux utilisateurs de l'espace de se situer spatialement et temporellement.
- Les conditions microclimatiques dans des espaces fortement ouverts présentent naturellement une grande variabilité en fonction des données météorologiques.
- La présence étendue du ciel au-dessus d'un espace public y introduit un caractère de naturalité, même sans présence de végétation.
- Le ciel et le soleil sont des éléments signifiants pour la majorité des personnes. Ils font partie depuis toujours des religions, des symboles et des archétypes de l'humanité.

Une étude européenne réalisée sur de nombreux espaces publics montre une préférence ostensible des piétons pour les conditions d'ensoleillement des espaces publics. Cependant, cette préférence pour des espaces ensoleillés est plus forte aux latitudes nordiques alors qu'aux latitudes méridionales elle diminue et devient proche de la neutralité (Compagnon & Goyette-Pernot 2004). Vu l'importance de l'ensoleillement sur le confort thermique, dans les pays chauds, le plaisir induit par la présence du soleil est progressivement contrebalancé par le besoin de fraîcheur. Il est donc important de prendre en compte l'influence de certains paramètres quantitatifs sur les choix psychologiques des personnes par rapport au confort ainsi qu'inversement l'influence de certains éléments psychologiques sur l'évaluation quantitative de leur confort.

Donnons encore quelques exemples d'éléments utiles du point de vue microclimatique qui peuvent être appropriés au niveau architectural pour bénéficier de certaines qualités supplémentaires :

- Les galeries utilisées pour protéger les zones piétonnes du vent, de la pluie ou du rayonnement solaire direct peuvent aussi créer un lien continu entre bâtiments et renforcer la cohérence d'un lieu (moyen intéressant si les façades ne sont pas alignées par exemple).
- Des tours de ventilation dans le tissu urbain peuvent servir à ventiler des zones polluées ou à refroidir les espaces publics en périodes de surchauffes tout en assurant un repère visuel dans la ville.
- Un toit planté améliore le microclimat local tout en réduisant les consommations d'énergie du bâtiment et peut servir à s'inscrire de manière harmonieuse dans un environnement naturel ou d'augmenter la naturalité d'un lieu urbain.
- ...

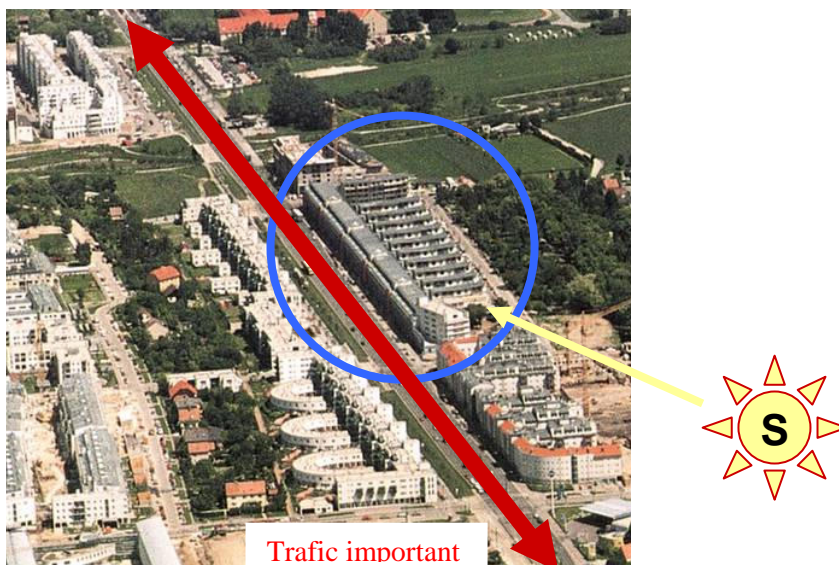
Une étude européenne réalisée sur des places réparties dans toute l'Europe a tenté de relier l'évaluation quantitative des principaux paramètres d'ambiances (température, ensoleillement, luminosité, vent, niveau sonore et humidité) avec l'évaluation globale du confort des personnes à l'extérieur. L'ensemble de ces facteurs ne couvrait que 55% de l'évaluation du confort extérieur (Yang & Kang 2005), ce qui prouve bien la grande complexité de l'étude du confort dans les espaces extérieurs et la nécessité de prendre en compte des éléments socio-culturels tel que la sécurité, les éléments signifiants ou naturels d'un lieu,....

**La globalité de la sensation de confort est un élément primordial. Il y a lieu de tenir compte de l'ensemble des critères quantitatifs et qualitatifs du confort extérieur ainsi que leurs interactions pour assurer la situation la plus profitable pour les utilisateurs de l'espace.**



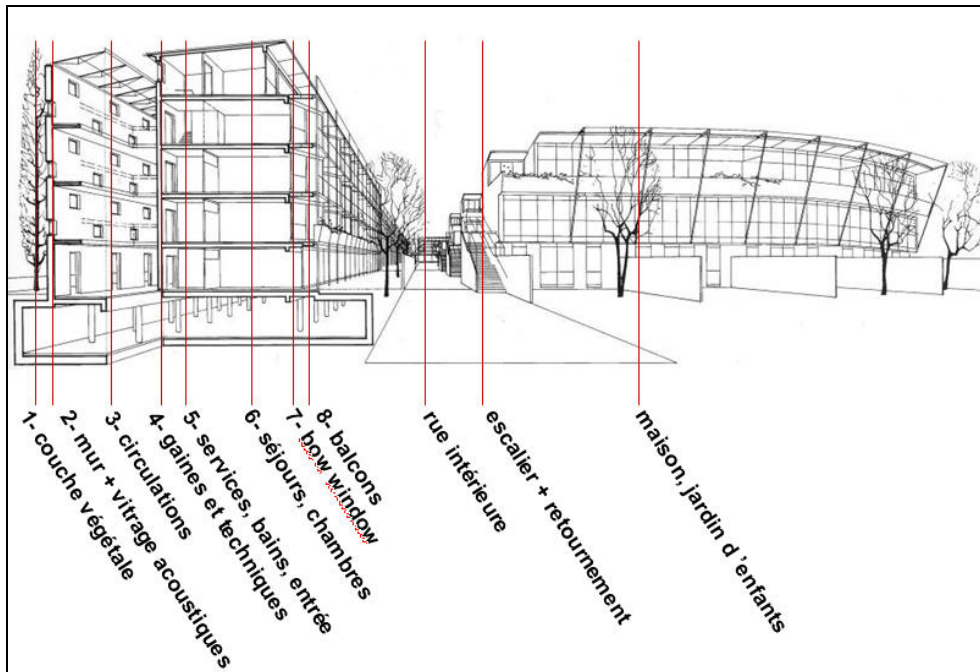
(Photo : S. Reiter).

Prenons un exemple concret. Le projet ci-dessous est un bon exemple d'un projet qui arrive à se protéger des contraintes acoustiques locales, tout en s'ouvrant aux opportunités climatiques. Il s'agit de logements sociaux mixtes construits à Vienne en 1996 et dont les architectes sont Martin Treberspurg, Georg Reinberg et Eric Raith. Sur la photo ci-dessous, nous avons encerclé le projet en question, indiqué l'orientation du soleil et souligné la présence d'une route à fort trafic sur un de ses côtés. On voit donc que le projet se protège des hauts niveaux sonores de la route par une barrière construite continue pour pouvoir s'ouvrir à l'arrière sur des espaces publics confortables.



Logements (Brünnerstrasse,21- Wohnungen), à Vienne (Photo : de Myttenaere 2006)

Un long bâtiment est conçu pour border l'artère à l'ouest du site. La coupe ci-dessous montre comment l'organisation interne de ce bâtiment permet à tous les habitants de profiter d'une qualité de vie générée par le plan masse du projet : ouverture des appartements vers la rue intérieure grâce à des terrasses individualisées et des baies vitrées orientées vers le sud-est, ... tout en se protégeant de l'autoroute urbaine qui le jouxte par une succession de couches de protection: couche végétale devant la façade, murs et vitrages acoustiques donnant sur la route, répartition intérieure des fonctions de telle manière que les circulations et les locaux techniques servent de premier tampon et les services, les salles de bains et les entrées de second tampon entre la route et les locaux de vie.



(Architectes : M. Treberspurg, G. Reinberg & E. Raith; coupe: de Myttenaere 2006).

A l'est, une voirie piétonne longe le bâtiment et dessert une série de chemins sur lesquels s'ouvrent au sud plusieurs rangées de maisons mitoyennes passives.



(Photos : K. de Myttenaere)

L'intérêt de ce projet est de montrer que les décisions des architectes ont été prises par rapport aux enjeux qui ont pu être considérés comme majeurs : le bruit et le danger générés par cette autoroute urbaine. Ainsi, plutôt que de rendre ce terrain invivable mais parfaitement orienté par rapport aux éléments microclimatiques, les architectes proposent de prendre en considération les conséquences que ce boulevard pourra avoir sur la vie des habitants au quotidien. Cet ensemble d'édifices proposent également la formation d'un espace public intéressant : une

rue intérieure à l'écart du boulevard qui ménage ainsi un espace piéton à son échelle et instaure un lieu de rencontre pour les habitants. La réussite de ce projet ne réside pas tant dans les performances particulières par rapport à un enjeu spécifique mais bien dans le fait qu'il intègre les différentes composantes du confort humain : acoustique, microclimatique et psychologique. Une telle approche oblige inévitablement l'architecte à pondérer les enjeux, les avantages et les risques majeurs d'un projet précis en fonction de son contexte naturel, construit et humain.

### **2.2.11 Les composantes culturelles et individuelles**

Dans le processus d'appréhension du milieu, la question de la perception apparaît comme un facteur clé, qui modifie la relation entre l'homme et les structures physiques qui l'entourent. La lecture du milieu par les êtres humains est médiatisée par des filtres : images personnelles, culturelles, affectives qui impliquent aussi leurs valeurs. Ces images offrent une représentation personnalisée de l'environnement réel. Le milieu perçu par l'utilisateur d'un espace est celui qui finalement lui fournit des indices pour le comportement à adopter, selon la lecture que chacun ou chaque groupe fait de l'environnement où il vit.

Non seulement chaque sens (vue, ouïe,...) constitue un système complexe (ainsi il existe douze modes d'appréhension visuelle de la profondeur), mais chacun d'entre eux est également modelé et structuré par la culture. On ne peut donc pas échapper au fait que des individus élevés au sein de cultures différentes vivent également dans des mondes sensoriels différents (Hall 1971).

A un niveau plus personnel, souvenons-nous de la madelaine de Proust ... « *Machinalement, accablé par la morne journée et la perspective d'un triste lendemain, je portai à mes lèvres une cuillerée du thé où j'avais laissé s'amollir un morceau de madeleine. Mais à l'instant même où la gorgée mêlée des miettes du gâteau toucha mon palais, je tressaillis, attentif à ce qui se passait d'extraordinaire en moi. Un plaisir délicieux m'avait envahi, isolé, sans la notion de sa cause. Il m'avait aussitôt rendu les vicissitudes de la vie indifférentes, ses désastres inoffensifs, sa brièveté illusoire, de la même façon qu'opère l'amour, en me remplissant d'une essence précieuse : ou plutôt l'essence n'était pas en moi, elle était moi. J'avais cessé de me sentir médiocre, contingent, mortel. D'où avait pu me venir cette puissante joie ? Je sentais qu'elle était liée au goût du thé et du gâteau, mais qu'elle le dépassait infiniment, ne devait pas être de même nature. D'où venait-elle ? Que signifiait-elle ? Où l'appréhender ?* » (Proust 1954). Ainsi, une seule sensation physique peut donner sens à tout un paysage. Les sensations corporelles sont donc aussi des moyens de toucher quelqu'un émotionnellement.

Deux personnes qui décrivent une même place n'en font pas une description identique. Elles ne portent pas leur attention ni ne font le point sur les mêmes éléments ; elles n'interprètent pas les choses vues de la même manière, et cela bien souvent sans qu'elles puissent donner des raisons conscientes de leurs choix. Ces variations émotionnelles relèvent de raisons culturelles mais aussi de fondements individuels. En effet, les individus voient la réalité différemment selon leur culture, leur personnalité, leur état d'âme, leur âge, leurs expériences passées, ... Ainsi, une même place apparaît différente à un belge et à un indien, à un enfant et à un vieillard, lors d'un mariage ou d'un enterrement,...

Ainsi, le confort visuel dépend notamment du sentiment et de l'émotion particulière que peut susciter un certain environnement visuel. Par exemple, la



présence d'un rayon de soleil au cours d'une froide journée d'hiver dans un pays nordique ajoute une sensation de vitalité et d'éclat à l'espace. Dans ce cas, l'effet du rayonnement solaire direct ne se limite pas à son aspect thermique ni au niveau d'éclairement de l'espace mais participe aussi à l'élaboration d'un plaisir spécifique lié à la liaison affective que les nordiques entretiennent avec la lumière solaire. D'autre part, notre vision est évidemment influencée par des facteurs d'ordre subjectif. Citons un phénomène : les muscles de la pupille réagissent à la lumière mais aussi aux images émotionnelles. La pupille se dilate face à un spectacle agréable et se contracte devant ce qui nous gêne ou nous déplaît (Reiter & De Herde 2001).

La notion de **gêne** contient un jugement de valeur, qui peut varier considérablement suivant les individus. L'inconfort suscité par un bruit identique peut varier suivant la sensibilité propre des personnes, leur état de santé individuel, leur état affectif et émotionnel en relation avec le bruit et sa source, ou encore leur profil socio-économique et culturel (IBGE 1998). Un citoyen habitué aux bruits de la ville peut, par exemple, trouver désagréable le chant d'un oiseau à la campagne au lever du jour : on sait que c'est l'un des principaux motifs de la disparition des coqs de basse-cour dans les villages contemporains. Des personnes qui se plaignent du bruit dans leur lieu de travail se retrouvent volontairement, le soir, dans des salles de danse où les sons atteignent des niveaux dangereux pour l'appareil auditif; la télévision familiale ne gêne personne, si ce n'est la famille voisine, etc.

Au niveau acoustique, une étude sur un grand nombre d'individus répartis sur 14 sites en Europe a permis de tirer les conclusions suivantes (Yang & Kang 2005):

- Il n'y a pas de différence significative dans l'évaluation subjective du niveau sonore par les différents groupes d'âges différents.
- Il y a de fortes différences du point de vue de l'évaluation du confort acoustique selon les différents groupes d'âge. Les jeunes sont généralement moins satisfaits que les adultes et les personnes âgées le sont davantage. Mais leurs préférences par rapport aux ambiances sonores analysées étaient aussi différentes : les jeunes préfèrent les ambiances animées alors que les personnes âgées ont une préférence pour les sons naturels et culturels. Ceci souligne le rôle important des préférences qualitatives des différents groupes de population sur l'évaluation du confort acoustique extérieur par rapport au niveau sonore moyen utilisé en général.

Aucune différence d'évaluation par rapport au confort acoustique n'a été décelée entre les hommes et les femmes. (Yang & Kang 2005)

Par ailleurs, dans cette étude de Yang et Kang sur 14 sites répartis en Europe, l'évaluation subjective des niveaux sonores était légèrement différente en fonction des différentes villes dans lesquelles ces interviews ont été réalisées. Cette différence s'explique par les habitudes culturelles différentes et notamment par la différence entre l'environnement sonore moyen d'une habitation dans ces différents villes. (Yang & Kang 2005)

Enfin, les études sur le confort humain se basent en général sur des interviews de personnes qui n'ont pas toutes forcément le même vocabulaire. Il est important de signaler les difficultés de termes que présentent les connotations liées aux mots « froid » et « chaud » : dans les climats froids, les gens décrivent leur état de préférence comme chaud parce que pour eux le mot froid implique la sensation désagréable qu'ils veulent à tout prix éviter ; par contre, dans les climats chauds, la fraîcheur est l'état désiré (Baker 2000).

Cet ensemble de réflexions permet d'affirmer que **les réponses de personnes interviewées dans des enquêtes publiques sur le confort comprennent toujours une part subjective non négligeable.**

### **2.2.12 Similitudes entre les concepts fondateurs d'un espace public durable et les critères qualitatifs du confort des piétons**

L'étude théorique des paramètres qui influencent la qualité des espaces publics nous a amené à définir trois principes fondateurs du lieu public :

- **la contextualité** (ou inscription dans son milieu),
- **la coexistence** (ou mise en présence dense et complexe des différences),
- **la cohérence** (ou identité porteuse de sens).

La contextualité est la mise en relation d'un espace spécifique à son milieu englobant. La contextualité d'un espace public, ou son inscription dans un milieu, nécessite :

- son **intégration** grâce aux continuités, au respect de la mémoire des lieux, à la création d'espaces de transition entre les différentes échelles, ... Pour s'intégrer dans son milieu, l'espace public doit profiter des opportunités offertes par le milieu et se protéger des contraintes du milieu, aux différentes échelles de l'habiter.
- sa **participation**. Un lieu public apporte des bénéfices au milieu dans lequel il s'inscrit et le protège de toute nuisance qu'il pourrait induire, aux différentes échelles de l'habiter. Cette participation induit donc une éthique, qui vise à établir une justice intergénérationnelle en poussant les habitants à prendre conscience de leur responsabilité face au Monde et à l'Histoire. « J'ai droit à la ville » se transforme en « je suis responsable de la ville ».
- son **adaptabilité**. S'inscrire dans un milieu c'est aussi être capable d'évoluer en même temps que ce milieu.

Par la rencontre de l'altérité, le lieu public devient le lieu privilégié de la mise en présence dense et complexe des différences. La coexistence, qui définit le lieu public comme identité collective, est créée à partir de trois qualités complémentaires :

- le **rassemblement** qui nécessite de la proximité et une certaine densité. Les espaces collectifs sont des lieux où les hommes sont réunis pour vivre ensemble.
- la **diversité** : variété de lieux, mixité des fonctions, hétérogénéité du bâti, simultanéité ou succession des activités,... La multiplicité sous toutes ses formes est nécessaire.
- l'**ouverture**, comme disponibilité à la transformation et à l'appropriation, tolérance de l'autre, libre accès, possibilité de laisser advenir... La complexité, l'hétérogénéité, les paradoxes, les incertitudes, les ambiguïtés sont des caractéristiques qui ouvrent à la liberté, à la possibilité de choisir et d'agir.

Le lieu public est une totalité hautement complexe. Sa cohérence, qualité qui le définit comme identité singulière, se fonde sur :

- son **identité**, c'est à dire une unité ordonnée qui assemble ses parties de telle sorte que les tensions s'équilibrent.
- son **sens**, qui révèle des valeurs, des symboles, une esthétique spécifique.
- sa **naturalité**, comme capacité d'émergence et d'intégration des différentes échelles de son être.

Par ailleurs, nous avons développé une nouvelle approche du confort dans les espaces publics urbains qui consiste à réunir des approches quantitatives et qualitatives, afin de favoriser une utilisation optimale des éléments environnementaux. Ainsi, différents critères psychologiques du confort humain à l'extérieur ont pu être mis à jour dans cette étude. Nous avons relevé dix paramètres qui influencent de manière significative **l'évaluation qualitative du confort** des personnes à l'extérieur, au-delà des composantes culturelles et individuelles. Il s'agit de:

- **l'identification d'une ambiance,**
- **la relation au contexte,**
- **la continuité des conditions environnementales,**
- **la diversité des ambiances,** (qui comprend la nécessité de créer une variété d'ambiances à proximité ainsi que plusieurs choix d'ambiances sur une même place),
- **la variabilité des conditions environnementales,**
- **la perception du contrôle possible,**
- **la capacité de s'adapter,**
- **la naturalité du lieu,**
- **le caractère signifiant du lieu,**
- **la globalité de la sensation de confort.**

La comparaison entre les critères de conception d'espaces publics durables et les critères qualitatifs du confort des piétons à l'extérieur est stupéfiante : **il existe des similitudes frappantes entre les critères qualitatifs du confort humain et les qualités globales de conception des places publiques.** Nous pouvons ainsi créer un tableau de correspondances.

Stratégie	Lieu public	Environnement confortable
Contextualité	Intégration	Relation au contexte et continuité des conditions environnementales.
	Participation	Perception du contrôle environnemental possible
	Adaptation	Capacité de s'adapter
Coexistence	Rassemblement	Plusieurs choix d'ambiances microclimatiques sur une même place
	Diversité	Diversité des ambiances situées à proximité
	Ouverture à l'altérité	Variabilité des conditions environnementales
Cohérence	Identité	Identification d'une ambiance et globalité de la sensation de confort
	Sens	Caractère signifiant du lieu
	Naturalité	Naturalité du lieu

**Ces similitudes soulignent le fait que la question du confort dans les espaces publics extérieurs est une question autant architecturale que technique. On peut donc y répondre par une méthode de conception adaptée, basée sur les trois principes que sont la contextualité, la coexistence et la cohérence.**

D'autre part, la découverte de ces similitudes nous permet d'affirmer que **notre stratégie de développement durable des espaces publics est aussi un outil qui favorise le confort des piétons en ville.** Ainsi, cette stratégie de conception et de rénovation durable des espaces publics nous permet d'appréhender ensemble l'être et son environnement, le local et le global, le point de vue humain et la multi-dimensionnalité de notre milieu, c'est-à-dire la véritable complexité des conditions du comportement humain.

Enfin, au-delà des travaux présentés ici, cette conclusion permet de souligner l'intérêt colossal d'une démarche qui consiste à confronter les résultats issus de disciplines très variées et à tisser des liens entre différentes tentatives de compréhension de l'univers. Le développement durable de l'humanité nécessite une vision holistique et une grande interdisciplinarité. Il est donc important d'essayer de comprendre les lois qui nous gouvernent par une approche plus globale que celle à laquelle la recherche scientifique nous a habitués, de manière à mieux saisir la complexité du monde et les multiples interactions qui relient l'homme à l'univers, pour favoriser l'évolution de l'humanité sur Terre.

## [2.3 Critères quantitatifs du confort extérieur](#)

Deux règles fondamentales sont d'application au niveau de la conception des espaces publics pour assurer le confort des piétons: profiter des paramètres positifs de l'environnement et se protéger de ses contraintes négatives.

Au cours de cette recherche, nous avons constaté que les critères physiologiques du confort des piétons doivent être quantifiés séparément en fonction des différents types de confort: confort thermique, confort mécanique lié au vent, confort respiratoire, confort acoustique, confort visuel et confort par rapport aux intempéries. Ces différents types de confort sont analysés en détail dans les paragraphes suivants.



Square des Ursulines à Bruxelles (Photo : S. Reiter).

### **2.3.1 Les critères quantitatifs du confort thermique extérieur**

De nombreuses études réalisées in situ à travers toute l'Europe ont prouvé l'influence de la conception urbanistique sur les conditions du confort thermique en ville. Par exemple, le quartier de Santa Cruz à Séville est construit selon une architecture traditionnelle de rues étroites et de petites places avec des matériaux massifs peints en blanc ainsi que la présence de nombreux arbres et fontaines. Lors des jours très chauds, la température de l'air dans le quartier de Santa Cruz est de 6 à 8°C inférieure à la température de l'air mesurée à l'aéroport de Séville (Littlefair & al. 2000). Ce phénomène va à l'encontre de l'effet d'îlot de chaleur qui se produit habituellement en milieu urbain. Cet exemple montre qu'une conception urbaine adaptée au microclimat local peut réellement transformer les conditions environnementales afin de favoriser le confort thermique des piétons.

Il est impossible d'exprimer la réponse thermique du corps humain face à son environnement en fonction d'un seul paramètre tel que la température. Une température de 20°C peut par exemple être perçue comme trop chaude lorsque l'humidité est très élevée, le rayonnement solaire direct important et qu'il n'y a pas de vent alors que la même température de 20°C peut sembler trop froide un jour venteux avec ciel couvert. Les interactions entre les différents paramètres climatiques sont essentielles pour déterminer le confort thermique extérieur.

Les réponses physiologiques et sensorielles des personnes par rapport aux conditions thermiques dépendent donc d'une combinaison de différents facteurs environnementaux. Traditionnellement, il y a six paramètres à prendre en considération lors de l'évaluation du confort thermique physiologique d'un être humain (Givoni 1969, Fanger 1970) :

- quatre paramètres climatiques : la température de l'air, le rayonnement, la vitesse de l'air et l'humidité relative.
- deux paramètres humains : son activité et ses vêtements.

Ces six paramètres permettent de quantifier le bilan thermique d'une personne.

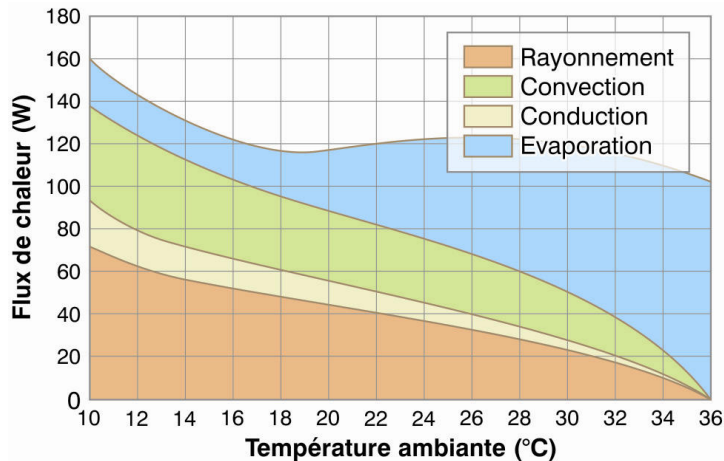


(Photo : S.Reiter).

Bien que ce bilan thermique ne soit pas suffisant pour déterminer le niveau de confort thermique d'une personne car il néglige notamment les aspects psychologiques et culturels, il y participe pour une bonne part et doit donc être pris en compte parmi les critères d'évaluation du confort de cette personne.

Le corps humain est homéotherme : il tend à maintenir une température constante. Or, notre métabolisme produit en permanence de la chaleur, de manière plus ou moins importante en fonction de son activité. Cette chaleur est éliminée par le

corps humain au travers de la peau et par la respiration. Cette élimination se fait, directement ou au travers des habits, par convection et conduction vers l'air ambiant, par rayonnement vers les surfaces voisines et par évapotranspiration dans l'air. La figure ci-dessous représente la répartition des échanges de chaleur d'une personne assise dans une ambiance dont la température est homogène, sans vent et sans rayonnement solaire direct. On notera que, dans la zone confortable, les échanges par rayonnement, évaporation et convection-conduction se répartissent en trois parts approximativement égales. Pour des températures basses, la part de rayonnement devient prépondérante. Pour les températures élevées, c'est l'évapotranspiration qui domine. Pour une personne exposée au vent, la part de convection augmenterait évidemment de manière significative.



(Roulet 2002).

La plupart des indices de confort thermique utilisés habituellement ont été élaborés pour des conditions intérieures et ne sont pas valables à l'extérieur. Les méthodes classifiées ci-dessous sont des méthodes qui ont été élaborées ou adaptées pour l'environnement extérieur, même si l'approche proposée reste souvent similaire à celle utilisée dans un environnement intérieur en y ajoutant seulement l'influence du rayonnement solaire direct.

Les méthodes quantitatives existant actuellement pour évaluer le confort thermique extérieur peuvent être classifiées en cinq groupes :

1. les méthodes résolvant l'équation de bilan thermique basée sur un modèle complexe du corps humain et sur l'évaluation des paramètres climatiques. Ces méthodes couplent généralement une équation de bilan de chaleur avec un modèle simplifié d'évaluation de la température radiante moyenne. Ces modèles ont été élaborés pour évaluer différents scénarios climatiques pour des activités et un habillement standard. Les indices les plus fréquents sont : Physiological Equivalent Temperature PET (Höppe 1999), New Effective Temperature ET new (Gagge et al. 1971), Standard Effective Temperature SET et OUT\_SET intégrés à un modèle de température rayonnante extérieure OUT\_MRT ( J. Pickup, R. de Dear, 2000).
2. les méthodes résolvant l'équation de bilan énergétique basée sur un modèle simplifié du corps humain : perceived Temperature (PT), un modèle qui correspond au modèle de Fanger associé à un modèle d'évaluation du rayonnement extérieur mais qui ne tient pas compte du vent (Vinet, Jendrintzky), COMfort Formula - COMFA (Brown et Gillespie) : un modèle simplifié intégrant l'ensemble des paramètres climatiques et urbains bien qu'il ait été initialement développé à partir d'interviews dans des paysages ruraux.

3. des modèles graphiques très simplifiés mais d'usage très rapide regroupant les différents paramètres climatiques. Citons la charte bioclimatique d'Olgyay.
4. les indices climatiques empiriques qui créent des corrélations entre quelques paramètres climatiques spécifiques. Ils sont généralement élaborés pour certains climats particuliers. Citons par exemple le Wind-chill index ou le Discomfort Index (Sacré).
5. les indices psycho-socio-climatiques, élaborés à partir d'interviews réalisées dans des espaces publics urbains. Ils créent une corrélation entre une perception subjective et des variables microclimatiques (Actual Sensation Vote, satisfaction indexes,...) ou un indice de confort (Nikolopoulou, SAGAcité).

Il est important de souligner que beaucoup de ces méthodes négligent le fait que les zones de confort à l'extérieur ne peuvent pas être aussi étroites qu'à l'intérieur, ce qui a déjà été démontré précédemment dans cette thèse. De plus, beaucoup d'entre elles ne tiennent pas compte de l'influence du vent au-delà d'une vitesse d'1m/s, composante pourtant essentielle en milieu extérieur.

Les méthodes de la première catégorie font intervenir des calculs complexes et très précis pour déterminer le confort thermique physiologique. Ces indices de confort perfectionnés nécessitent l'utilisation de simulations informatiques spécifiques, ce qui fait qu'elles ne sont généralement pas utilisées par les urbanistes qui les perçoivent comme des techniques compliquées et trop longues à apprendre. Notre point de vue est qu'une détermination très précise du bilan thermique des personnes n'est pas nécessaire à cause de l'importance des ajustements psychologiques qui modifient largement les sensations de confort à l'extérieur. Il est toutefois utile de développer des modèles simples et facilement utilisables pour prédire les conditions physiologiques de confort thermique à associer ensuite avec les critères de confort qualitatif.

Les méthodes de la seconde catégorie présentent l'intérêt d'offrir un calcul relativement détaillé du confort thermique physiologique sans nécessiter l'utilisation de logiciels informatiques spécifiques. Elles nécessitent toutefois la résolution d'un ensemble d'équations mais celles-ci peuvent assez aisément être programmées dans un tableur du type Excel pour en réduire le temps de calcul. Nous détaillons ci-dessous la méthode COMfort Formula (Brown & Gillespie 1995) qui a été élaborée à partir d'études in situ et qui prend en compte l'influence du vent.

Les méthodes graphiques offrent l'avantage inestimable d'être spécialement rapides et très faciles d'utilisation pour des architectes et des urbanistes. Il s'agit toutefois de méthodes très simplifiées qui doivent donc être utilisées uniquement au stade de l'esquisse. Nous expliquons ci-dessous la charte bioclimatique d'Olgyay.

Les indices climatiques empiriques n'ont de sens que dans certains climats extrêmes. Ainsi, le Wind-chill index quantifie l'influence thermique du vent dans des conditions de très grand froid. Ces méthodes ne sont pas détaillées dans cette thèse de doctorat car nous nous centrons sur l'étude des climats tempérés.

Enfin, la dernière catégorie de méthodes lance un pont entre la mesure quantitative et l'évaluation qualitative du confort thermique extérieur en tentant d'intégrer la perception subjective des personnes interrogées. Il s'agit toutefois de méthodes quantitatives très simplifiées qui doivent donc être utilisées uniquement au stade de

l'esquisse. D'autre part, le point de vue qualitatif est limité dans ces modèles à une appréciation globale des personnes, sans entrer dans l'évaluation de critères qualitatifs précis comme nous le proposons dans cette thèse. Nous analysons dans ce chapitre la méthode Actual Sensation Vote (Nikolopoulou & al. 2004).

Ainsi, nous allons analyser en détail trois méthodes simplifiées, qui ont été élaborées à partir d'études réalisées à l'extérieur et non en chambre climatique. Nous commencerons par la méthode la plus rudimentaire pour nous diriger vers la méthode la plus complexe, dans l'ordre suivant :

- Actual Sensation Vote (Nikolopoulou & al. 2004),
- Olgyay's Bioclimatic Chart (Olgyay 1963),
- COMfort Formula (Brown & Gillespie 1995).

Ces trois méthodes sont faciles d'utilisation pour les architectes, les concepteurs urbains et les décideurs politiques. Les résultats de la méthode Actual Sensation Vote ne sont pas assez précis à nos yeux mais leur analyse nous permet de tirer quelques conclusions intéressantes. Nous recommandons la charte bioclimatique d'Olgyay pour une compréhension de l'interaction entre les différents paramètres climatiques, pour l'analyse du climat dans lequel un site se situe ainsi que pour une première approximation rapide et très simplifiée du confort des piétons afin d'orienter les stratégies de conception les plus importantes. Enfin, la méthode COMfort Formula nous semble allier les avantages d'une méthode simplifiée tout en offrant l'opportunité de faire intervenir les paramètres climatiques, les paramètres humains (habillement, activité) et les paramètres urbains (facteur de vue du ciel, albedo des matériaux,...). Nous avons complété et adapté les équations de la méthode COMFA afin d'en optimiser la rapidité et la précision.

Ces trois méthodes ne tiennent pas compte de l'évolution temporelle des valeurs climatiques sur la sensation de confort car l'étude du régime instationnaire est un processus très complexe et encore en sujet de recherche. De toute façon, vu l'importance du point de vue de l'adaptation psychologique dans la totalité de la sensation de confort, il ne nous semble pas judicieux de tant complexifier le calcul du bilan quantitatif.

Commençons par analyser la méthode Actual Sensation Vote. Dans le contexte du projet européen RUROS, les conditions de confort thermique extérieur ont été évaluées à travers des enquêtes sur terrain dans 14 villes européennes afin d'élaborer une nouvelle méthode simplifiée pour l'évaluation du confort thermique extérieur. Cet indice de confort thermique extérieur est basé sur près de 10 000 interviews réalisées dans les espaces publics de centres urbains. (Nikolopoulou & al 2004)

La sensation thermique effective d'un individu  $y$  est considérée égale à son choix sur une échelle de cinq niveaux allant de « très froid » à « très chaud ». L'échelle ASV (Actual Sensation Vote) utilisée comporte les cinq niveaux suivants:

- 2 = très froid,
- 1 = froid,
- 0 = neutre,
- 1 = chaud,
- 2 = très chaud.

Les paramètres microclimatiques mesurés pendant les interviews et utilisés dans l'élaboration d'un indice de confort sont : la température de l'air ( $T_{air}, ^\circ C$ ), le rayonnement solaire global ( $S_{ol}, W/m^2$ ), la vitesse du vent ( $V, m/s$ ) et l'humidité



relative (RH, %). Différents modèles ont été établis pour déterminer les valeurs de l'ASV à partir de ces paramètres microclimatiques, pour différentes villes correspondant à différentes zones climatiques.

Ces modèles spécifiques sont donnés ci-dessous pour sept villes différentes:

- Athènes (Grèce):  

$$ASV = 0.034 T_{air} + 0.0001 Sol - 0.086 V - 0.001 RH - 0.412 \quad (r = 0.27)$$
- Thessalonique (Grèce):  

$$ASV = 0.036 T_{air} + 0.0013 Sol - 0.038 V + 0.011 RH - 2.197 \quad (r = 0.51)$$
- Milan (Italie):  

$$ASV = 0.049 T_{air} - 0.0002 Sol + 0.006 V + 0.002 RH - 0.920 \quad (r = 0.44)$$
- Fribourg (Suisse):  

$$ASV = 0.068 T_{air} + 0.0006 Sol - 0.107 V - 0.002 RH - 0.69 \quad (r = 0.68)$$
- Kassel (Allemagne)  

$$ASV = 0.043 T_{air} + 0.0005 Sol - 0.077 V + 0.001 RH - 0.876 \quad (r = 0.48)$$
- Cambridge (Grande Bretagne):  

$$ASV = 0.113 T_{air} + 0.0001 Sol - 0.05 V - 0.003 RH - 1.74 \quad (r = 0.57)$$
- Sheffield (Grande Bretagne):  

$$ASV = 0.07 T_{air} + 0.0012 Sol - 0.057 V - 0.003 RH - 0.855 \quad (r = 0.58)$$

La disparité des formules obtenues pour des villes situées dans un même région climatique montre bien que la sensation thermique effective (ASV) dépend d'autres facteurs que la seule position géographique. En outre, les très faibles valeurs de corrélation des résultats obtenus pour chacune de ces villes suppriment tout intérêt à utiliser ces résultats spécifiques.

Donnons quelques valeurs typiques de conditions climatiques habituelles. Les valeurs de rayonnement solaire sont de 100 W/m<sup>2</sup> pour un faible niveau d'insolation (ex. ciel couvert ou fin d'après midi ensoleillée), 400 W/m<sup>2</sup> pour des valeurs moyennes d'insolation (ex. ciel partiellement couvert ou ciel d'hiver dégagé) et 800 W/m<sup>2</sup> pour des conditions de forte luminosité (ex. ciel estival dégagé). Les valeurs d'humidité relative sont de 20% pour des conditions très sèches, de 40% pour des conditions d'humidité moyenne et de 80% pour des conditions humides. Enfin, les vitesses de vent sont de 0.1 m/s dans un environnement calme, de 1 m/s pour une légère brise, 3 m/s pour des conditions venteuses et 5 m/s pour un vent très fort mais permettant encore le confort des piétons. Au-delà de 5m/s, les effets mécaniques du vent deviennent prépondérants.

La carte ci-dessous permet de situer ces différentes villes Européennes.



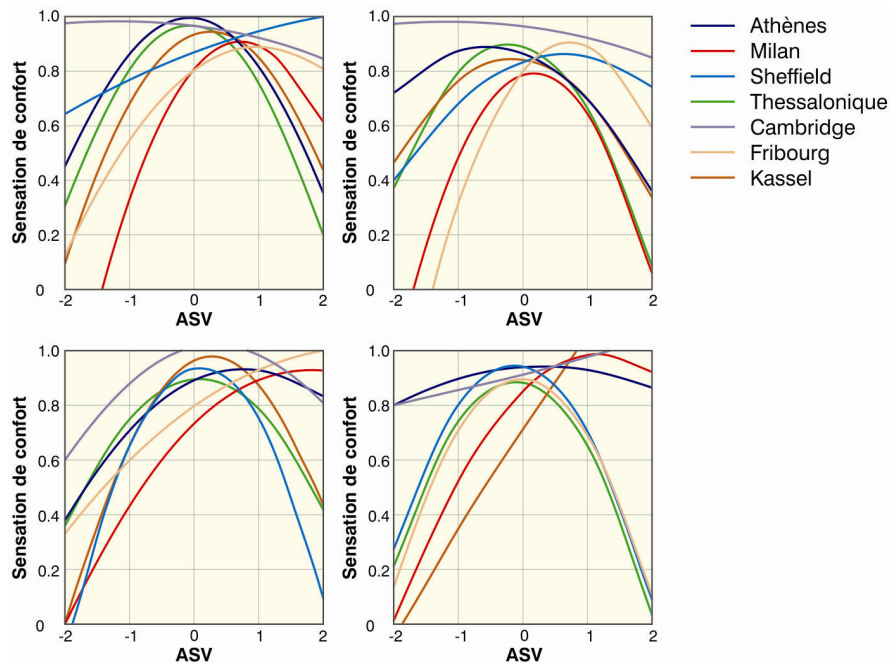
Cette étude a abouti à l'élaboration d'un modèle de calcul général pour les espaces publics européens reprenant l'ensemble de leurs données :

$$\text{ASV} = 0.049 \text{ Tair} + 0.001 \text{ Sol} - 0.051 \text{ V} + 0.014 \text{ RH} - 2.079 \quad (r=0.78).$$

Cette formule a été développée dans le but d'être utilisée au premier stade de conception pour identifier les zones de problèmes potentiels dans une gamme de températures allant de 5°C à 35°C (Nikolopoulou & al 2004). Ce résultat est toutefois très contestable. En effet, pour une situation sous ciel couvert (Sol = 100W/m<sup>2</sup>) et sans vent (V=0.1 m/s), la sensation neutre ne peut être atteinte que pour une température d'environ 40° quelle que soit l'humidité relative ... Le fait que cette formule n'est pas correcte est renforcé par la faible corrélation statistique entre la formule et les résultats des interviews. Il ne nous semble donc pas possible d'évaluer la sensation thermique effective d'un individu à partir des seuls paramètres climatiques repris dans cette étude.

Cette recherche a cependant le mérite d'avoir tenté de déterminer la sensation de confort effective des personnes grâce à une formule facilement utilisable regroupant toutes les caractéristiques météorologiques d'un site et en se basant sur l'évaluation des personnes quelques soient leurs activités et leurs vêtements.

Les résultats de cette recherche présentent également une impossibilité à interpréter les valeurs moyennes de l'ASV en termes de confort/inconfort. Dans ce projet, les chercheurs ont établis des courbes pour obtenir le pourcentage de personnes se sentant dans une situation confortable en fonction de cette échelle ASV pour chacune des villes étudiées et pour chaque saison. Ces courbes sont reproduites ci-dessous. Elles montrent malheureusement une absence totale de logique pour évaluer des liens entre l'ASV et la sensation de confort en fonction du moment de l'année et de la position géographique du site. En toute logique, les courbes établies pour Athènes devraient être similaires à celles de Thessalonique et celles de Cambridge similaires à celles de Sheffield... à vous de juger ! Les graphes ci-dessous donnent le pourcentage d'usagers de l'espace qui éprouvent une sensation de confort en fonction des valeurs ASV, dans sept villes différentes selon la saison.

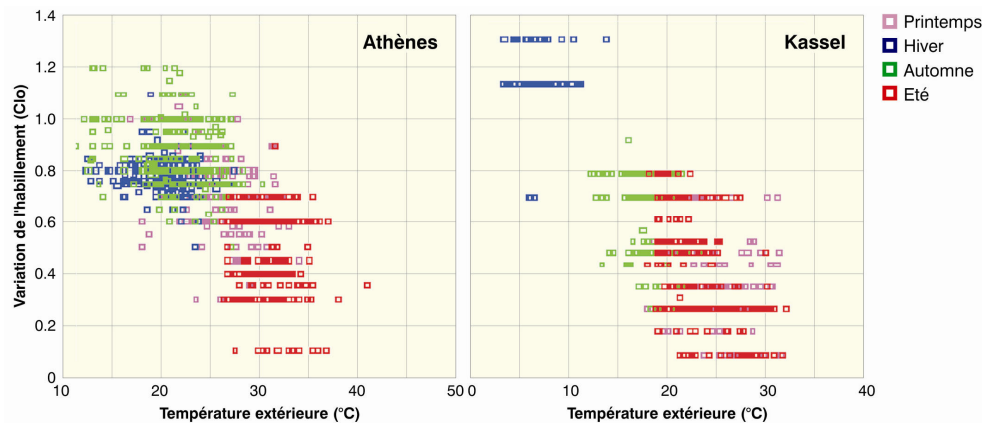


Proportion de personnes éprouvant du confort en fonction de l'ASV. (Nikolopoulou & al 2004)

Cette méthode ASV est basée sur l'hypothèse que toutes les caractéristiques d'adaptation des personnes sont prises en compte si on les interroge dans les espaces publics qu'ils fréquentent habituellement et selon leurs modes de vie. D'après les auteurs du modèle Actual Sensation Vote, cet indice tient compte des effets psychologiques de l'adaptation des personnes puisqu'il est basé sur des interviews in situ avec des personnes qui sont là par leur propre choix, qui peuvent modifier leur habillement comme elles le souhaitent, rester ou quitter le lieu,...

Bien que les auteurs de la méthode Actual Sensation Vote prétendent que les effets de l'adaptation physique et psychologique sont intrinsèques dans le modèle qu'ils ont développé, nous estimons en revanche qu'ils ont fait une erreur évidente : leur modèle n'évalue quantitativement que les paramètres climatiques et ne permet donc pas de faire varier les paramètres humains physiques (habillement, activité) et psychologiques, pour lesquels des variables supplémentaires auraient été nécessaires.

Les graphes ci-dessous représentent la variation saisonnière de l'habillement (en Clo) en fonction de la température (en °C) à Athènes pour le graphe de gauche et à Kassel pour le graphe de droite (Nikolopoulou & al 2004).



Types d'habillement en fonction de la température et de la saison à Athènes et à Kassel. (Nikolopoulou & al 2004).

Ces graphes montrent que les personnes ont des comportements vestimentaires très différents d'une zone climatique à une autre pour une même saison (ce qui est normal vu la différence de climat) mais aussi pour une même température de l'air. En effet, pour une température de l'air de 20°C, les personnes portent des habits de 0.6 à 1.2 Clo à Athènes mais seulement de 0.1 à 0.8 Clo à Kassel. En effet, l'adaptation des personnes à leur climat les fait réagir différemment dans le choix de leurs habits, leurs attentes climatiques et donc leurs sensations thermiques. Il est donc important de tenir compte du choix moyen d'habillement des personnes en fonction des données microclimatiques prévues mais aussi de la localisation du site analysé.

Le fait de ne pas avoir tenu compte des paramètres d'adaptation des personnes par leurs vêtements et leurs activités est à nos yeux une erreur importante de ce modèle « Actual Sensation Vote » qui rend ses résultats beaucoup trop imprécis.

Par ailleurs, le projet RUROS a abouti à l'élaboration d'un modèle pour le calcul de l'ASV, associé à des graphes pour obtenir le rapport confort/inconfort pour une ville donnée à une saison donnée. Cependant, les courbes établies pour chaque ville tiennent uniquement compte des interviews réalisées sur deux places de cette

urbanisation. Ainsi, les corrélations obtenues pour chaque saison pour une ville sont en fait très représentatives de deux lieux urbains et non de toute la ville. Remarquons que des villes situées dans un même pays, donc dans des zones climatiques relativement semblables, présentent parfois des courbes très différentes alors que des villes situées dans des zones climatiques éloignées présentent davantage de similitudes. On peut donc conclure que les caractéristiques qualitatives du confort expérimenté sur ces lieux sont des paramètres qui ne peuvent pas être négligés dans l'évaluation globale du confort.

Ce modèle ASV prouve donc que l'étude des données météorologiques à l'échelle microclimatique n'est pas suffisante pour déterminer la sensation de confort thermique des personnes à l'extérieur. Elle vient donc soutenir notre hypothèse de travail qui consiste à affirmer qu'il y a des critères qualitatifs, intrinsèques à la conception du site, qui participent à l'évaluation du confort des personnes à l'extérieur. Il est donc nécessaire de mettre à jour ces critères qualitatifs de conception des espaces ouverts pour favoriser l'utilisation des espaces publics urbains.

Nous comprenons que le fait de quantifier l'adaptation psychologique est un processus difficile et qu'ajouter une évaluation physiologique et une évaluation psychologique peut sembler étrange. C'est la raison pour laquelle, nous avons choisi de ne pas quantifier les critères qualitatifs mais de les ajouter comme des paramètres supplémentaires dont il faut tenir compte pour influencer le confort des personnes.

A nos yeux, il est important de prendre en compte les paramètres d'adaptation physiologiques et psychologiques des personnes : leurs activités, leur habillement, leur perception des caractéristiques du lieu (naturalité, signifiante,...), leur perception des conditions environnementales présentes (contextualité saisonnière, diversité des ambiances, cohérence entre les différents stimuli, ...) et de l'évolution de ces caractéristiques environnementales (variabilité, contrastes,...).

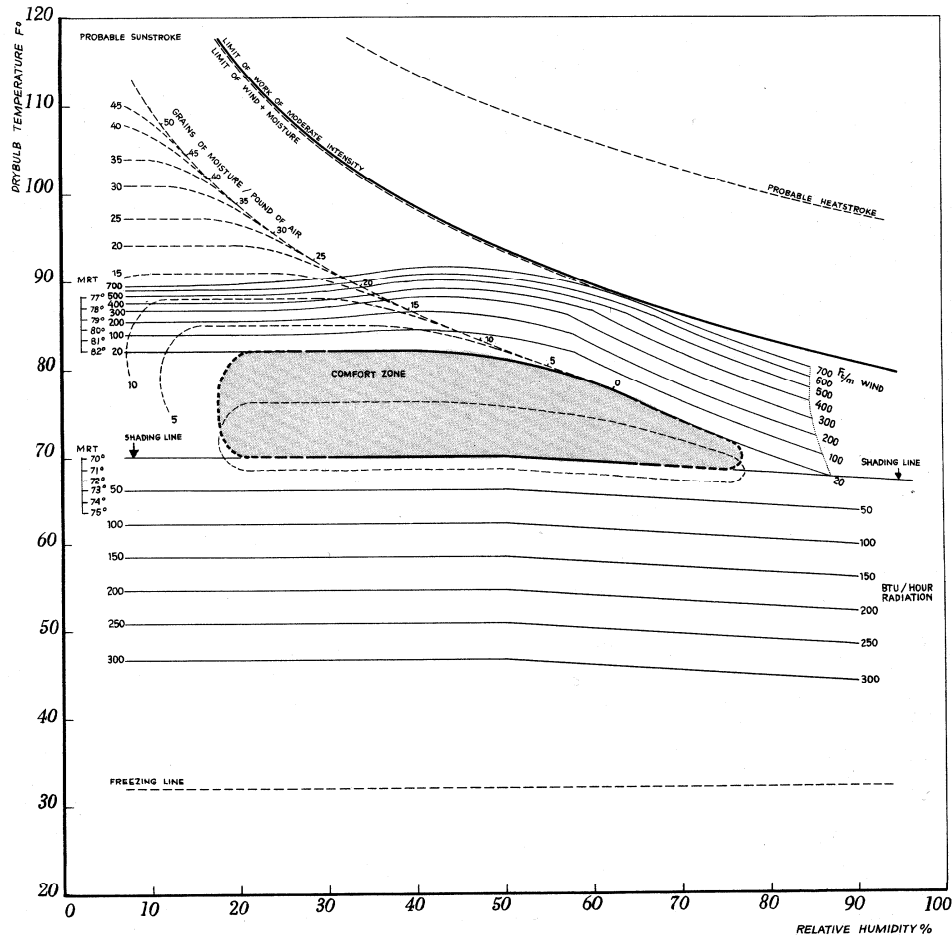
Maintenant, étudions une seconde méthode quantitative du confort thermique à l'extérieur : la charte bioclimatique d'Olgay (Olgay, 1963). C'est une méthode d'évaluation intéressante et très rapide du confort thermique extérieur basée sur une approche graphique. Elle a été élaborée à partir d'études réalisées à l'extérieur et non à l'intérieur des bâtiments.

Olgay a été le premier à relier le confort et le climat d'un point de vue graphique. Par après, la charte psychométrique a été diffusée comme un des outils de base pour les études du confort à l'intérieur des bâtiments.

La charte bioclimatique d'Olgay couvre une large bande de températures, d'humidités, de vitesses de vent et de rayonnement solaire. La zone de confort d'été (en gris) se divise en une zone de confort désirable (= le centre) et une zone de confort acceptable en pratique (= pointillés de part et d'autre). La zone de confort d'hiver se trouve légèrement en dessous. Il faut noter qu'Olgay propose un diagramme bioclimatique portant une zone de confort estivale et une zone hivernale, ce qui montre qu'il tient en partie compte des adaptations différentes des personnes en fonction de ces saisons.

Les zones de confort dessinées sur le graphe correspondent à une situation sans vent et sans rayonnement solaire direct (c'est-à-dire à l'ombre). Pour évaluer une situation venteuse ou au soleil, il faut faire glisser la zone de confort en fonction

des indications de vent et de rayonnement solaire présentées au-dessus et en dessous de la zone de confort. Il est aussi possible d'adapter la zone de confort en fonction de la masse d'eau dans l'air (grammes d'eau / kg d'air). La charte originale d'Olgay est présentée ci-dessous.



45. Bioclimatic Chart, for U.S. moderate zone inhabitants.

La charte bioclimatique d'Olgay. (Olgay, 1963)

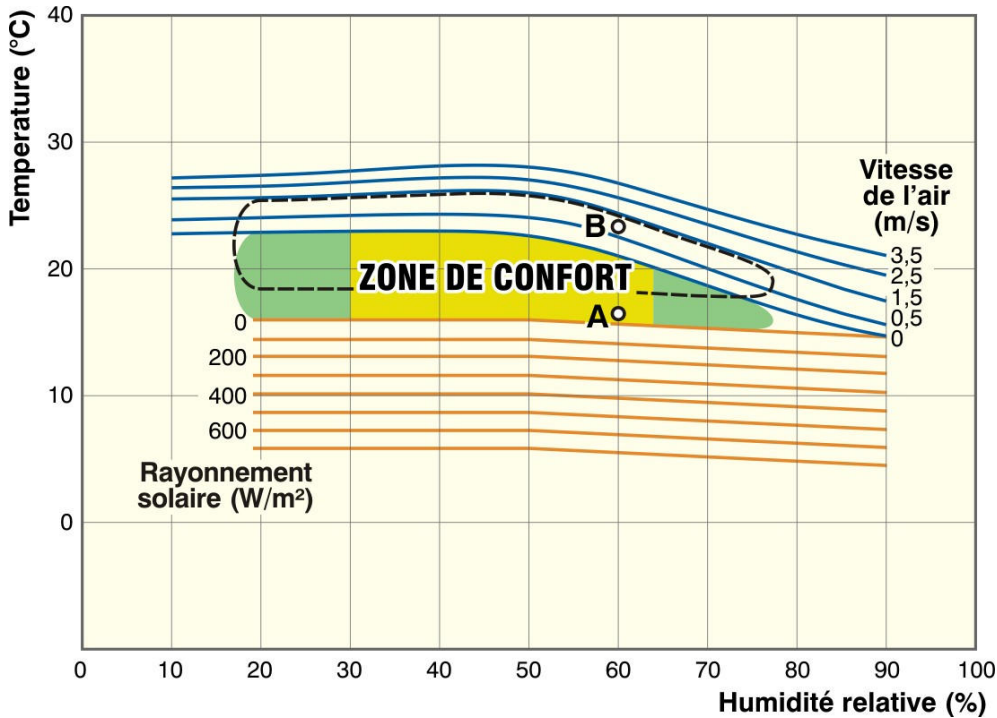
L'utilisation de cette charte est directement applicable, à l'extérieur, aux habitants des Etats-Unis, habillés de vêtements d'intérieur et engagés dans une activité sédentaire ou un travail très léger, à une altitude ne dépassant pas 1000 ft (=305m) au-dessus du niveau de la mer et pour une latitude de 40°. La zone de confort doit être adaptée si on change un de ces paramètres. Par exemple, augmenter l'habillement de 1 Clo correspond à un abaissement de la zone de confort de 7.8 °C.

L'intérêt de cette approche physiologique réside dans la combinaison d'un outil analytique et diagnostique. De plus, on peut en avoir un usage dynamique facile. Cette charte montre qu'un paramètre gênant incontrôlable peut souvent être compensé par une variation contrôlée d'un ou plusieurs autres paramètres.

Toutefois, cet outil est très simplifié: il donne la zone de confort thermique pour un type d'habillement, une activité et une altitude du soleil fixée à 45°. S'il permet de voir les paramètres microclimatiques à améliorer pour atteindre le confort physiologique, il ne quantifie pas son inconfort et ne permet pas de relier directement ces paramètres climatiques avec les caractéristiques de

l'environnement construit. De plus, il ne tient pas compte du caractère instationnaire du climat à l'extérieur.

La charte que je donne ci-dessous a été simplifiée et adaptée pour un climat européen modéré. La zone de confort colorée dans laquelle se trouve le point A est la zone de confort d'hiver; le contour en pointillé dans lequel se situe le point B définit la zone de confort d'été.



La charte d'Olgay est utile pour évaluer rapidement les périodes pendant lesquelles le confort physiologique peut être atteint dans un contexte particulier en différents points du lieu étudié.

Par exemple, en été, une personne située à l'ombre sous une température de 27°C, une humidité de 60% et un vent nul, se trouve en dehors de la zone de confort (supérieure). Un rafraîchissement d'environ 3°C devrait assurer le confort mais une ventilation de l'espace peut aussi être utilisée pour retrouver la zone de confort, grâce à une vitesse de l'air d'1.5 m/s.

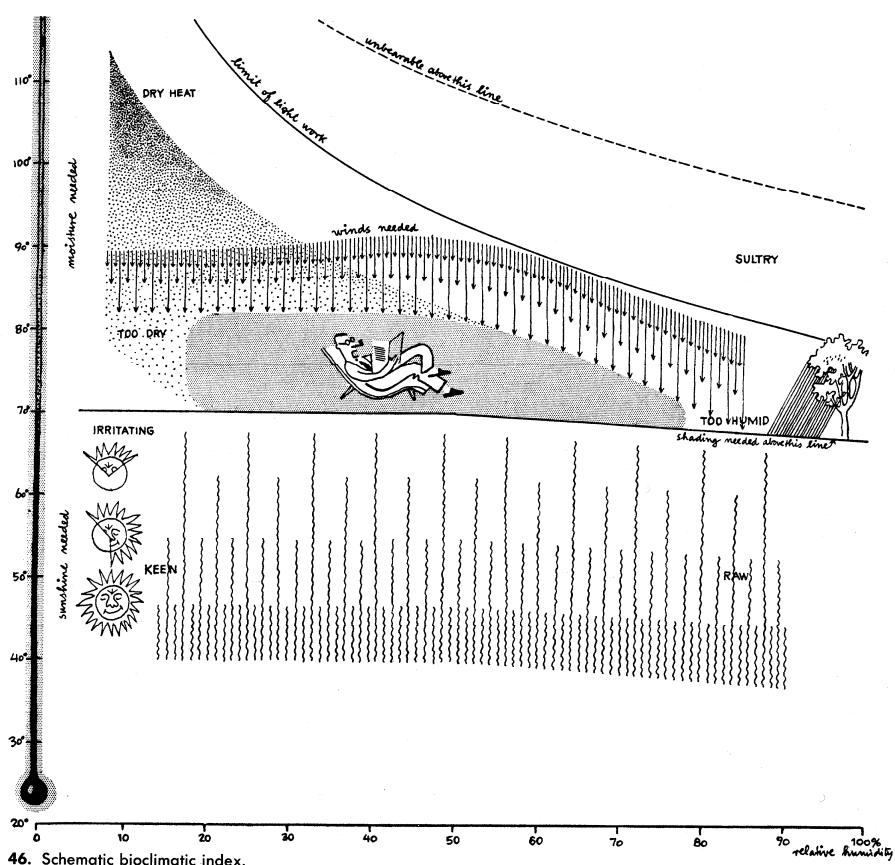
Autre exemple, si la température vaut 17°C en hiver et que l'humidité relative est de 40%, un piéton est hors de la zone de confort. Mais si cette même personne reçoit en plus un rayonnement solaire direct de 100 W/m², alors l'ensemble de la zone de confort doit être baissée jusqu'à cette ligne et le piéton se trouve maintenant dans un environnement confortable.

Il faut toutefois souligner que les données de la station météorologique ne représentent pas correctement les conditions microclimatiques d'un site précis. Ainsi, le diagramme d'Olgay devrait utiliser les valeurs microclimatiques locales et non les valeurs météorologiques si il est utilisé pour orienter la conception d'un espace déterminé. Pour faciliter encore l'utilisation de la charte bioclimatique d'Olgay lors d'une première phase de conception, nous recommandons cependant de modifier les valeurs météorologiques moyennes à partir de quelques constats microclimatiques de base tels que la disposition de la végétation, une très grande

hauteur des bâtiments générant de forts courants d'air au niveau piéton, ... Par exemple, le rayonnement solaire est réduit de 20 à 60% sur une place arborée par rapport à une même place dégagée lorsque le ciel est clair en été. Ce type d'évaluations microclimatiques sont détaillées dans la troisième partie de ce doctorat.

Les résultats quantitatifs du confort thermique extérieur tirés de la charte d'Olgay devraient alors être évalués en liaison avec les critères qualitatifs du confort extérieur pour voir quels sont les éléments climatiques utiles à modifier pour assurer le confort thermique de la majorité des utilisateurs de l'espace pendant le plus longtemps possible, en fonction des activités les plus fréquentes.

La figure ci-dessous donne l'interprétation d'Olgay de sa charte pour expliquer comment les différents paramètres microclimatiques peuvent être utilisés pour étendre la zone de confort. Ce dessin a l'avantage d'être très expressif pour les architectes.



(Olgay, 1963)

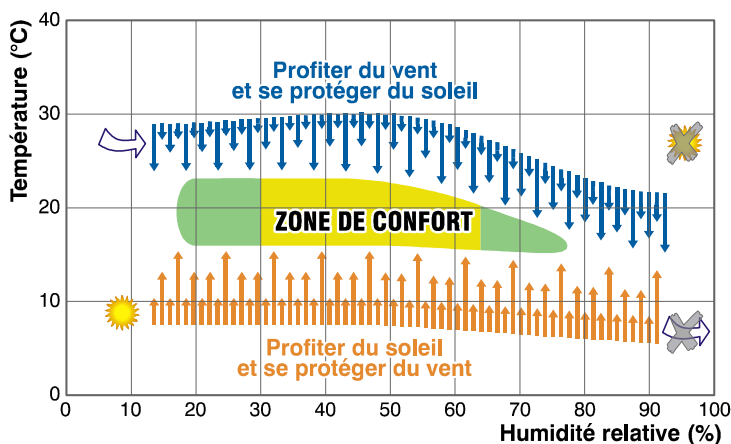
Cette représentation, dessinée par Olgay, indique les manières de bénéficier du climat : il invite à profiter du rayonnement solaire dans les zones froides et de la ventilation dans les zones trop chaudes. On peut aussi en déduire que, pour les zones où la température et le taux d'humidité sont trop élevés, il faut profiter du vent, alors que l'évaporation est utile lorsque les températures sont élevées mais sèches. C'est ainsi que les fontaines et la végétation participent largement à la création d'un microclimat confortable lorsque le climat global est chaud et sec.

Il est toutefois indispensable de rappeler que pour créer des zones climatiques confortables pour l'être humain, il faut utiliser les deux règles suivantes : bénéficier des aspects positifs du climat et se protéger de ses aspects négatifs. Or, ce dessin ne montre pas qu'il est important de se protéger des éléments négatifs du climat. Cependant, dans des situations inconfortables, la première action à poser est toujours de supprimer la cause directe de l'inconfort lorsque c'est possible. Donc, nous ne devons pas oublier de nous protéger du vent dans les zones trop froides et de nous protéger du rayonnement solaire direct dans les zones chaudes.

Concernant les paramètres microclimatiques, une attention particulière doit être portée au rayonnement solaire et à la vitesse du vent. Ces deux variables possèdent de fortes variations spatio-temporelles causant, par exemple, des conditions de confort différentes sur une même place au même instant. La température de l'air et l'humidité relative, bien qu'intervenant dans l'évaluation du confort, sont plus homogènes et dépendent davantage de la zone climatique. Il est également important de préciser que sur les quatre éléments microclimatiques importants qui affectent le bilan énergétique d'une personne, le rayonnement solaire et le vent sont les éléments les plus facilement modifiables et les plus dépendants d'une conception judicieuse de la morphologie urbaine (Brown & Gillespie 1995). En outre, ce sont les éléments microclimatiques les plus significatifs dans l'évaluation du confort thermique en climat tempéré froid, ce qui correspond au climat belge. C'est pourquoi, le rayonnement solaire et le vent sont les paramètres météorologiques les plus étudiés dans la troisième partie de ce doctorat.

Le schéma ci-dessous synthétise les deux démarches principales de conception de la morphologie urbaine en fonction des conditions microclimatiques pour assurer l'équilibre thermique physiologique des piétons sous un climat tempéré froid:

- profiter du vent et se protéger du soleil, pour pouvoir monter la zone de confort à des températures plus hautes
- profiter du soleil et se protéger du vent, pour pouvoir abaisser la zone de confort à des températures plus faibles.



Il est intéressant de se rappeler qu'en première approximation, l'effet de compensation de la vitesse du vent et du rayonnement solaire dans les espaces extérieurs peut être estimé à partir de l'outil de base classique qu'est la charte d'Olgay. Grâce à cette charte bioclimatique (pour des vêtements donnés et pour une activité donnée et une altitude du soleil fixée), on peut par exemple déterminer l'intensité du rayonnement solaire nécessaire pour compenser une température trop basse. En effet, l'échelle de rayonnement horizontale (en  $W/m^2$ ) donnée dans la charte bioclimatique montre qu'un rayonnement de  $70 W/m^2$  est égal en effet à une



augmentation de la température de l'air de 1°C. Ceci est bien sûr une approximation mais elle peut être facilement utilisée pour relier les données météorologiques d'ensoleillement avec une sensation thermique.

Enfin signalons que le diagramme d'Olgay permet de visualiser facilement les avantages et les risques d'un climat particulier ainsi que les stratégies qui seront les plus utiles pour assurer le confort dans les espaces publics sous ce climat spécifique. Il suffit de dessiner sur la charte bioclimatique l'évolution journalière des conditions météorologiques mensuelles. Si on rassemble en un point la température maximale avec l'humidité minimale pour ces valeurs mensuelles et qu'on le relie à un point rassemblant la température minimale et l'humidité maximale, cette ligne montre approximativement l'écart de température et d'humidité auxquels seront confrontés les piétons sous ce climat pendant le mois examiné. Beaucoup d'informations peuvent être tirées des douze lignes qui peuvent ainsi être tracées à partir des données météorologiques moyennes par mois, notamment les stratégies bioclimatiques les plus adaptées à ce contexte.

Prenons l'exemple de la Belgique. Le tableau ci-dessous donne les valeurs minimales et maximales de la température et de l'humidité relative moyennes horaires par mois en Belgique.

Mois	Température min. (°C)	Température max. (°C)	Humidité min. (%)	Humidité max. (%)
Janvier	-9.2	14.4	83	89
Février	-5.5	10.2	76	89
Mars	-6.7	14.2	71	87
Avril	1.1	22.9	60	87
Mai	1.8	22	59	85
Juin	5.8	28.7	61	86
Juillet	6.9	25.4	63	88
Août	7.1	30	65	90
Septembre	4.9	25.6	69	91
Octobre	4.2	20	73	91
Novembre	0.6	14.7	81	90
Décembre	-6	13.3	84	90

Le graphe de la page suivante permet de voir comment ces données moyennes se placent sur le diagramme d'Olgay. Les douze lignes rouges correspondent aux conditions météorologiques moyennes mensuelles. La ligne dotée du chiffre 1 correspond au mois de janvier, la ligne 2 au mois de février et ainsi de suite.

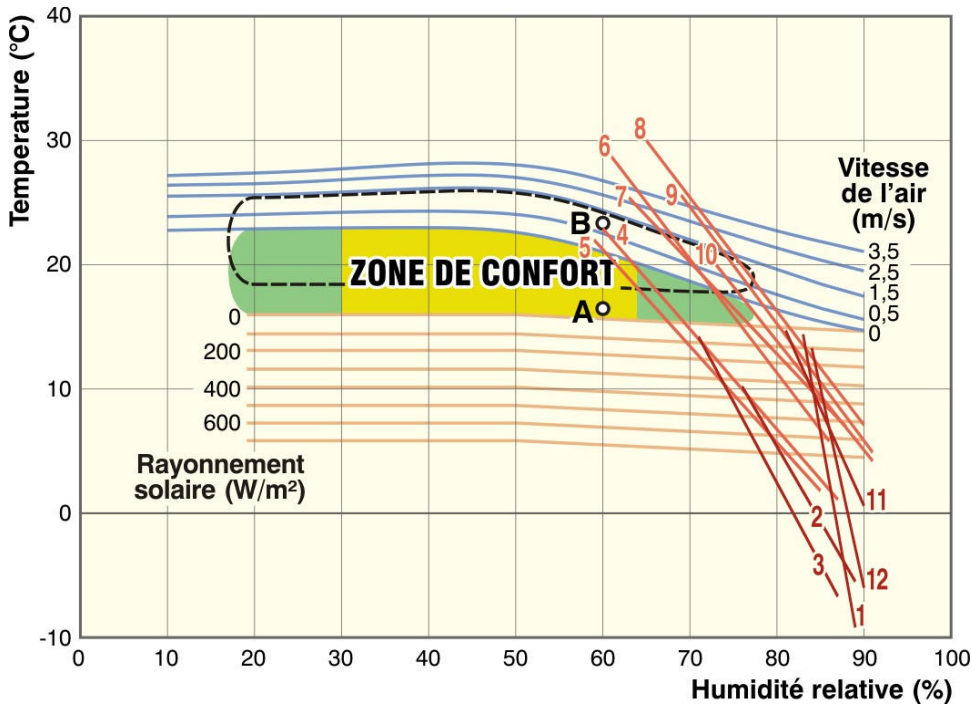
Les températures maximales des mois de novembre à mars et les températures minimales de tous les mois restent inférieures à la zone de confort pour une situation à l'ombre. Il est donc extrêmement important de valoriser le rayonnement solaire direct dans les espaces publics belges.

Les températures maximales des mois de juin à septembre dépassent la zone de confort d'été pour une situation ombragée mais sans vent. Il est donc utile de favoriser la ventilation naturelle des espaces publics pendant l'été.

L'ensemble du climat belge se situe du côté droit de la charte bioclimatique, ce qui indique une forte humidité. Le refroidissement de l'air par évaporation pour les

périodes de canicule n'est donc pas efficace en Belgique à cause de la trop grande humidité de l'air. Toutefois, il faut signaler que les surfaces d'eau, comme la végétation, gardent des températures de surfaces faibles, ce qui peut contribuer au confort thermique en limitant le rayonnement qu'elles émettent vers les personnes. Par ailleurs, les fontaines et bassins sont des éléments d'aménagement agréables psychologiquement quand il fait chaud.

Vu les très faibles températures mensuelles minimales pour les mois de novembre à mars en Belgique, le rayonnement solaire peut réduire la situation d'inconfort thermique lorsque les températures sont si basses mais il ne permet pas d'atteindre la zone de confort d'hiver pour une activité sédentaire au soleil.



Représentation des conditions météorologiques moyennes de température et d'humidité de la Belgique sur le diagramme d'Olgyay.

Les stratégies bioclimatiques les plus utiles pour la Belgique selon le diagramme d'Olgyay sont donc:

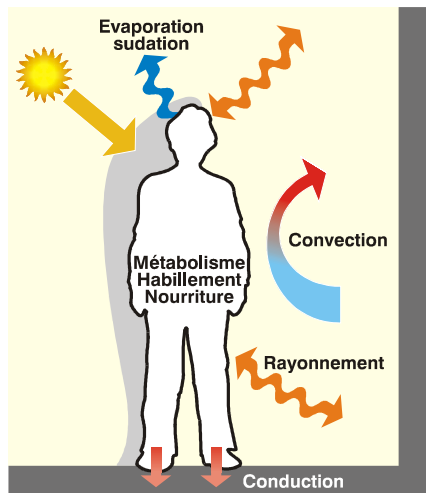
- une ouverture maximale à l'ensoleillement pour les mois de janvier, février, mars, novembre et décembre.
- une ouverture à l'ensoleillement et une possibilité d'ombrage pour les mois d'avril, mai et octobre.
- une ouverture à l'ensoleillement ainsi que des zones ombragées et exposées à une ventilation naturelle (de 0 à 4.5 m/s) pour les mois de juin, juillet, août et septembre.

Signalons également vu la très grande pluviosité belge que les aménagements qui permettent de se déplacer au sec quand il pleut sont très utiles toute l'année. C'est un élément essentiel du confort des piétons qui est très souvent négligé. Nous l'analysons plus loin dans la partie sur le confort par rapport aux précipitations.

La troisième méthode d'évaluation du confort thermique extérieure que nous allons étudier est le **modèle de calcul COMFA (COMfort FormuLA)** décrit par Brown

et Gillespie. C'est une méthode simplifiée, mais nettement plus détaillée que la charte bioclimatique d'Olgay, qui consiste à calculer approximativement le bilan d'énergie complet d'une personne à l'extérieur pour évaluer quantitativement son niveau de confort thermique en fonction d'un index établi à partir d'interviews réalisées dans des paysages extérieurs (Brown & Gillespie 1995).

Nous recommandons la méthode COMFA parce qu'elle présente le grand avantage d'un calcul rapide du bilan thermique d'une personne à l'extérieur, tout en prenant en compte l'ensemble des paramètres climatiques, humains et urbains qui influencent ce bilan énergétique. Le graphe ci-dessous représente les différents paramètres qui interagissent dans l'équilibre thermique du corps humain.



Les concepteurs de projets urbains peuvent jouer à différents niveaux sur le microclimat local : par la morphologie des bâtiments, les matériaux utilisés, le mobilier urbain, ... Ils peuvent améliorer les espaces ouverts en fournissant une protection par rapport aux aspects négatifs du climat et une exposition à ses aspects positifs. La méthode COMFA permet d'évaluer quantitativement l'influence des différentes stratégies bioclimatiques sur le bilan thermique des personnes. Dans son calcul du confort thermique physiologique, elle offre la possibilité d'intégrer les éléments urbains correspondant aux principales stratégies bioclimatiques : l'ombrage ou l'ouverture au rayonnement solaire direct, la ventilation naturelle de l'espace ou la protection contre les vents, le choix de matériaux appropriés (albedo, ...) et leur exposition, l'introduction d'aménagements adaptés pour le refroidissement par évaporation (bassins d'eau,...).

Le bilan d'énergie d'une personne peut s'écrire :

$$\text{Bilan} = M + \text{Rabs} - \text{Cond} - \text{Conv} - \text{Evap} - \text{Re}$$

où M est l'énergie métabolique du corps humain

Rabs est le rayonnement (solaire et terrestre) absorbé

Cond est la perte (ou le gain) de chaleur par conduction

Conv est la perte (ou le gain) de chaleur par convection

Evap est la perte de chaleur par évaporation

Re est le rayonnement terrestre émis par le corps humain

Lorsque ce bilan est proche de zéro, une personne se sentira probablement dans sa zone de confort thermique. Si ce bilan est nettement positif, la personne ressent vraisemblablement une impression de chaleur exagérée, tandis que si le bilan est largement négatif, la personne a sans doute trop froid.

Nous avons déjà discuté la difficulté d'établir un index de confort par rapport à des valeurs quantitatives précises. Toutefois, l'index proposé par Brown et Gillespie dans leur « COMfort Formula » semble intéressant parce qu'il a été établi à partir d'expériences sur un grand nombre de personnes en site extérieur. Il faut cependant ajouter, que les sites d'étude ont toujours été des paysages naturels et non des sites urbains. Cette étude a donné le tableau de correspondance suivant entre le bilan énergétique d'un piéton en  $W/m^2$  et sa sensation thermique. Nous proposons d'adopter ce tableau de correspondances comme référence pour notre évaluation quantitative du confort thermique physiologique.

Bilan énergétique : B ( $W/m^2$ )	Sensation thermique
$B < -150$	Très froid
$-150 < B < -50$	froid
$-50 < B < 50$	confortable
$50 < B < 150$	Chaud
$150 < B$	Très chaud

(Brown & Gillespie 1995).

Brown et Gillespie ont proposé un ensemble d'équations simplifiées pour quantifier le bilan énergétique d'une personne de manière à pouvoir ensuite évaluer grâce au tableau ci-dessus la sensation thermique des personnes à l'extérieur des bâtiments. **Nous avons adapté certaines de ces équations afin d'optimiser le calcul du bilan énergétique du corps humain mais la stratégie globale proposée ci-dessous est celle établie par la méthode COMFA. Pour faciliter la résolution des équations dans un cas urbain précis, nous avons ajouté des explications théoriques et des estimations des valeurs typiques pour chaque paramètre du calcul.**

Pour simplifier le calcul du bilan énergétique d'une personne debout, la surface du corps humain est remplacée par un cylindre vertical de  $1.8 m^2$ .

Les échanges de chaleur par conduction avec le sol s'avèrent très faibles et ils sont dès lors négligés. La formule du bilan énergétique se réécrit donc :

$$\mathbf{Bilan = M + Rabs - Conv - Evap - Re.}$$

Reprenons chacun des cinq paramètres de ce bilan énergétique et définissons-le précisément.

#### **1/ M : Energie métabolique du corps humain.**

Le métabolisme représente la production de chaleur interne du corps humain nécessaire pour le maintenir à la température constante de  $36.8^{\circ}C$  lorsqu'il est au repos. La température du corps humain étant généralement supérieure à celle de l'ambiance, il doit donc compenser les pertes de chaleur vers celle-ci.

M est l'énergie métabolique totale que produit le corps humain pour effectuer une activité rapportée à l'unité de surface du corps de l'individu. Le métabolisme M s'exprime en  $W/m^2$ . Le métabolisme de base est celui d'un individu normalement constitué et au repos. Il est évalué à environ  $45 W/m^2$ . Le métabolisme d'une personne effectuant un travail augmente afin de compenser le travail effectué par l'individu par une production de chaleur supplémentaire. Différentes valeurs du métabolisme sont indiquées ci-après pour diverses activités. Les valeurs sont également exprimées en met, qui est l'unité d'énergie métabolique. 1 met vaut  $58 W/m^2$ . Le tableau ci-dessous donne les valeurs adéquates pour le métabolisme humain en fonction de l'activité de la personne (CEE 1992, Ashrae 2001).

Activité	W/m <sup>2</sup>	met
<b>Repos</b>		
dormir	45	0.8
Assis (calme)	58	1
Debout (calme)	70	1.2
<b>Marcher</b>		
0.89 m/s	115	2
1.34 m/s	150	2.6
1.79 m/s	220	3.8
<b>Activités de bureau</b>		
Lire, assis	55	1
écrire	60	1
taper	65	1.1
<b>Rouler</b>		
voiture	60-115	1 - 2
<b>Activités quotidiennes</b>		
Cuisiner	90-115	1.6 - 2
Nettoyer la maison	115-200	2 – 3.4
Danser (social)	140-255	2.4 – 4.4
Tennis	210 - 270	3.6 - 4
Basketball	290 - 440	5 – 7.6

(CEE 1992, Ashrae 2001).

## 2/ Rabs : Rayonnement solaire et terrestre absorbé

Le rayonnement est le mode de transfert d'énergie par émission d'ondes électromagnétiques d'un corps chaud vers un corps plus froid. Tout corps soumis à un rayonnement électromagnétique en absorbe une partie et en réfléchit le reste. La partie absorbée est transformée en énergie thermique.

Le rayonnement total reçu par une personne dans un environnement quelconque est la somme de deux composantes :

- RSabs : le rayonnement solaire total absorbé, comprenant le rayonnement solaire direct et le rayonnement solaire diffus.
- RTabs : le rayonnement terrestre absorbé, dit de grande longueur d'onde ou rayonnement thermique, émis par tous les corps terrestres.

Le rayonnement absorbé peut donc être évalué à partir de la formule suivante :

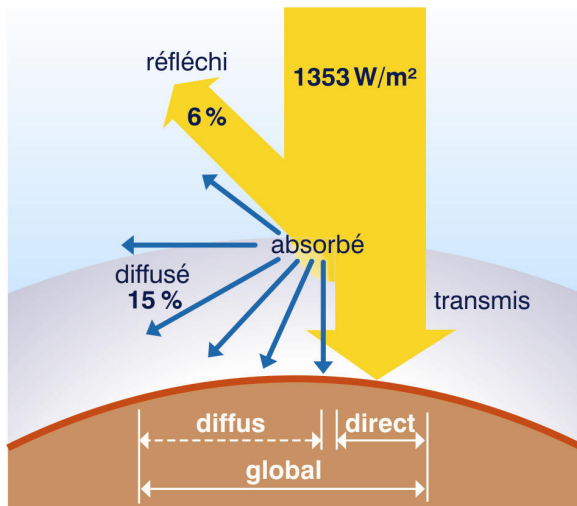
$$\mathbf{Rabs = RSabs + RTabs}$$

Nous détaillons ci-dessous le calcul de ces deux composantes du rayonnement absorbé.

### 2.1/ RSabs : Rayonnement solaire absorbé

Avec sa température d'émission de 5 500°C, le **soleil** rayonne la plus grande partie de son énergie dans les hautes fréquences (courtes longueurs d'onde). La lumière visible représente 46 % de l'énergie totale émise par le soleil. 49 % du rayonnement énergétique émis par le soleil se situe au-delà du rouge visible, dans l'infrarouge. C'est ce rayonnement que nous ressentons comme une onde de chaleur. Le reste du rayonnement solaire, l'ultraviolet, représente l'ensemble des radiations de longueur d'onde inférieure à celle de l'extrémité violette du spectre visible. La Terre, dont les dimensions sont très petites en comparaison du soleil, intercepte une part si faible de l'énergie radiante du soleil que les rayons solaires qui l'atteignent paraissent constituer un faisceau parallèle.

Le rayonnement solaire atteint l'extérieur de l'atmosphère selon une valeur constante de  $1\,354\text{ W/m}^2$ . Cette valeur est connue sous le nom de constante solaire. Au moins 35 % du rayonnement solaire intercepté par la terre et son atmosphère sont réfléchis vers l'espace. Le rayonnement solaire incident à la limite de l'atmosphère se décompose, lors de sa traversée, en une composante directe qui atteint directement la surface terrestre et une composante diffuse qui atteint la surface après absorption et réflexion dans l'atmosphère. La quantité totale d'énergie interceptée par une surface terrestre totalement dégagée comprend donc une composante directe et une composante diffuse. La somme du rayonnement solaire direct et du rayonnement solaire diffus constitue le rayonnement solaire global. Le schéma ci-dessous montre cette répartition de l'énergie solaire traversant l'atmosphère.



En milieu urbain, le rayonnement solaire reçu par une personne dépend non seulement du rayonnement solaire direct et du rayonnement solaire diffusé par l'atmosphère mais aussi des réflexions du rayonnement solaire sur le sol et les obstacles environnants.

Soumis au rayonnement solaire, la surface d'un corps solide quelconque réfléchit une partie de ce rayonnement incident: la proportion correspondante est désignée sous le terme d'albédo. Le rayonnement solaire absorbé par une personne correspond à la fraction du rayonnement solaire reçu qui n'a pas été réfléchi à la surface de son corps. La fraction du rayonnement incident absorbée est appelée absorptance.

$$RS_{abs} = (1-A) \times (RS_{dir} + RS_{dif} + RSo + RSs)$$

Où  $RS_{abs}$  : le rayonnement solaire total absorbé par la personne

$A$  est l'albédo de la personne

$RS_{dir}$  est le rayonnement solaire direct reçu par la personne

$RS_{dif}$  est le rayonnement solaire diffus provenant du ciel

$RSo$  est le rayonnement solaire réfléchi par les obstacles verticaux

$RSs$  est le rayonnement solaire réfléchi par le sol

L'albédo est la mesure de la capacité d'une surface à réfléchir le rayonnement solaire. L'albédo est quantifié par un chiffre entre 0 et 1 qui exprime la portion du rayonnement solaire réfléchi par rapport à la quantité reçue. Un corps, qui réfléchit la totalité du rayonnement solaire, a un albédo de 1 alors qu'un corps qui l'absorbe à 100% a un albédo de 0. L'albédo moyen d'une personne-type habillée en extérieur vaut 0.37.

$$RS_{dir} = [(R - R_d) \times T \times \tan(\alpha)] / \pi$$

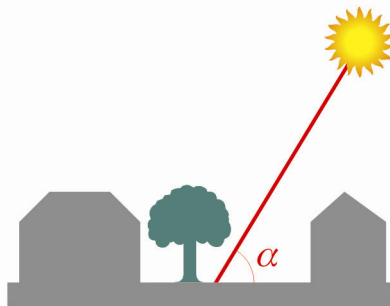
Où R est le rayonnement solaire total mesuré sur un plan horizontal

R<sub>d</sub> est le rayonnement solaire diffus mesuré sur un plan horizontal

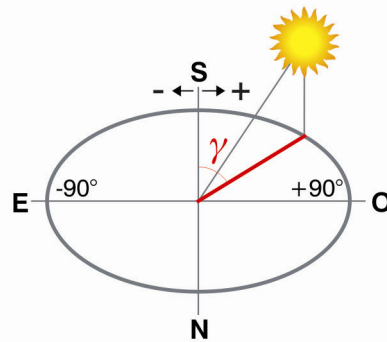
T est la transmissivité solaire des éléments situés entre la personne et le soleil

α est la hauteur du soleil

A un instant donné, la hauteur (α) et l'azimut (γ) du soleil déterminent la position du soleil dans le ciel. La hauteur du soleil est l'angle formé entre la direction du soleil et sa projection sur le plan horizontal. α se compte de 0° à 90° à partir de l'horizon vers la voûte céleste. L'azimut du soleil est l'angle créé entre le plan vertical passant à la fois par le soleil et par le lieu considéré, et le plan vertical N-S. γ vaut 0° au sud et est conventionnellement positif vers l'ouest et négatif vers l'est.

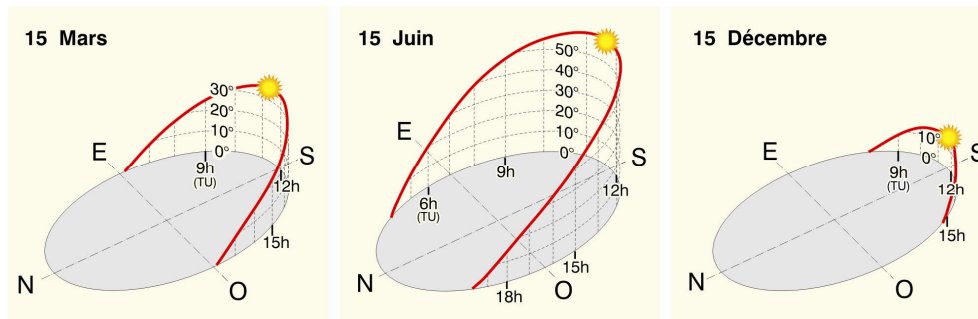


Hauteur du soleil



Azimut du soleil

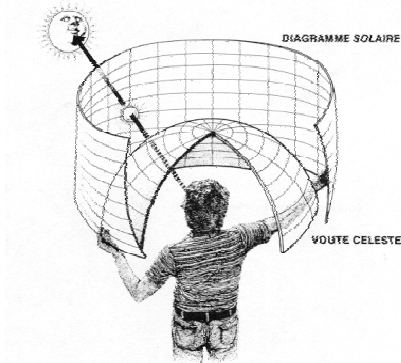
Les graphes ci-dessous montrent la course du soleil à Uccle (Bruxelles), pour les mois de mars/septembre, juin et décembre.



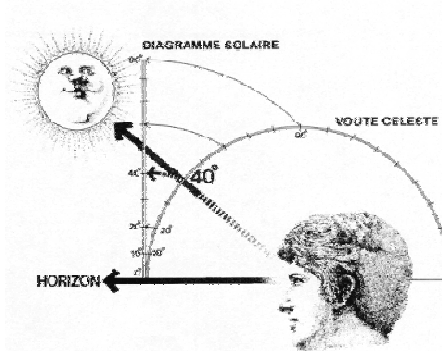
Il est donc évident que l'expression "le soleil se lève à l'est et se couche à l'ouest" n'est pas exacte. En effet, en Belgique, en décembre, il se lève au sud-est pour se coucher au sud-ouest, tandis qu'en juin, il se lève pratiquement au nord-est pour se coucher au nord-ouest. Ceci donne 7 heures d'ensoleillement maximum en décembre et plus de 16 heures en juin: ce sont les deux époques des solstices de l'année. Ce n'est qu'aux équinoxes de printemps et d'automne que la durée du jour est égale à celle de la nuit.

La journée solaire est la plus longue au solstice d'été, lorsque le soleil atteint sa hauteur la plus élevée et balaie le secteur azimutal le plus large, de part et d'autre du Sud. Au voisinage du solstice d'hiver, le soleil est au contraire beaucoup plus bas dans le ciel : il reste visible moins longtemps et balaie le secteur azimutal le plus faible.

Les diagrammes ou projections solaires représentent la course du soleil. Ils sont extrêmement utiles car, pour bien comprendre et tirer parti du rayonnement solaire disponible sur un site, il faut bien sûr connaître à tout instant la position du soleil dans le ciel. Cette information est indispensable pour le calcul du bilan thermique d'une personne à l'extérieur.

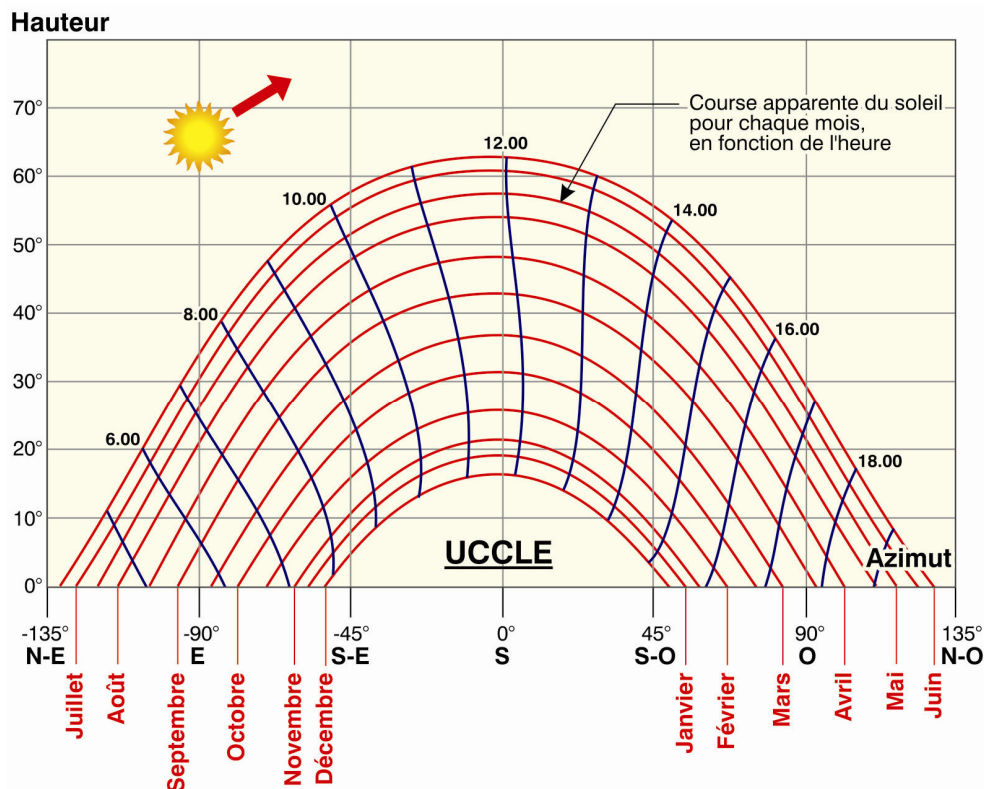


(Reiter & De Herde 2001).



(Reiter & De Herde 2001).

Le graphique ci-dessous donne le diagramme solaire en coordonnées rectangulaire d'Uccle (Bruxelles).



(Reiter & De Herde 2001).

Le tableau ci-dessous présente les valeurs précises de la hauteur du soleil ( $\alpha$ ) à Uccle (Bruxelles, Belgique), en fonction du temps universel, pour les mois de mars, juin, septembre et décembre. En Belgique, la hauteur du soleil atteint un maximum de  $62^\circ$  le 21 juin à 12h.univ., alors que le 21 décembre à 12h.univ. elle ne dépasse pas  $16^\circ$ .



Heure	Hauteur du soleil (°) en mars	Hauteur du soleil (°) en juin	Hauteur du soleil (°) en septembre	Hauteur du soleil (°) en décembre
4	/	3,1	/	/
5	/	11,4	/	/
6	/	20,4	6,0	/
7	8,7	29,9	15,4	/
8	17,5	39,3	24,3	1,9
9	25,3	48,3	32,1	8,3
10	31,6	56,0	38,3	12,9
11	35,5	61,2	41,9	15,5
12	36,7	62,3	42,3	15,8
13	34,7	58,7	39,6	13,8
14	30,1	51,8	34,0	9,6
15	23,4	43,2	26,6	3,6
16	15,2	33,9	17,9	/
17	6,2	24,4	8,6	/
18	/	15,2	/	/
19	/	6,5	/	/

La quantité d'énergie solaire reçue en un lieu varie suivant le jour et l'heure considérés, les conditions météorologiques et le niveau de pollution de l'air. Les conditions météorologiques sont traduites par l'insolation directe relative: c'est le rapport de l'insolation effective (S) à l'insolation maximale théorique possible (S<sub>o</sub>). Par exemple, une insolation directe relative de 34% au mois de mars à Uccle indique qu'en moyenne seulement 34% du temps est ensoleillé entre le lever et le coucher du soleil.

C'est l'insolation directe relative qui détermine les différents types de ciel:

- un ciel est considéré comme **clair** ou **serein** lorsque l'insolation directe relative S/S<sub>o</sub> est comprise entre 80 et 100%,
- un ciel est considéré comme **moyen** lorsque l'insolation directe relative S/S<sub>o</sub> est comprise entre 20 et 80%,
- un ciel est considéré comme **couvert** lorsque l'insolation directe relative S/S<sub>o</sub> est comprise entre 0 et 20%.

Les valeurs moyennes horaires de R et de R<sub>d</sub> peuvent être trouvées dans les fichiers météorologiques.

En première approximation, on peut estimer R<sub>d</sub> à partir des formules suivantes :

- R<sub>d</sub> = 10% R pour un ciel clair et une hauteur du soleil de 60° ;
- R<sub>d</sub> = 30% R pour un ciel clair et une hauteur du soleil de 30° ;
- R<sub>d</sub> = 50% R pour un ciel clair et une hauteur du soleil de 10° ;
- R<sub>d</sub> = 100% R pour un ciel clair et une hauteur du soleil en dessous de 2° ;
- R<sub>d</sub> = 55% R pour un ciel moyen ;
- R<sub>d</sub> = 100% R pour un ciel couvert.

Il est recommandé de multiplier cette valeur de R<sub>d</sub> par 1.05 en milieu urbain et par 1.3 dans un contexte très pollué.

Le tableau ci-dessous donne le rayonnement solaire global pour un ciel serein, un ciel moyen et un ciel couvert, à Uccle (Bruxelles), le 15 des mois de mars, juin, septembre et décembre, pour une surface horizontale.

Jour	Heure	Eclairement énergétique global en W/m <sup>2</sup> sur une surface horizontale : R		
		Ciel serein	Ciel moyen	Ciel couvert
15 mars	7	92	54	30
	9	352	197	89
	11	536	387	161
	13	522	350	143
	15	317	172	70
	17	66	32	12
15 juin	5	126	85	52
	7	428	273	145
	9	718	463	228
	11	853	597	282
	13	831	576	265
	15	648	427	194
	17	331	235	108
	19	69	9	8
15 septembre	7	180	131	73
	9	468	298	149
	11	630	455	208
	13	593	421	188
	15	368	254	117
	17	90	71	32
15 décembre	9	88	42	19
	11	187	130	44
	13	160	114	37
	15	46	3	2

Le tableau ci-dessous donne le pourcentage de temps pendant lequel le ciel est couvert, moyen ou serein pour chaque mois de l'année en fonction des données météorologiques d'Uccle (Bruxelles, Belgique).

Type de ciel	Mois de l'année											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Couvert</b>	65	54	45	40	30	28	32	29	29	43	61	70
<b>Moyen</b>	23	33	39	44	47	53	52	55	47	37	28	20
<b>Serein</b>	12	13	16	16	13	19	16	16	24	20	11	10

Au 15 juin, on constate que la fréquence de ciel clair n'est que de 19% contre 53 % pour un ciel moyen et 28% pour un ciel couvert. Dans ces conditions, il n'est pas surprenant de constater qu'en Belgique, le rayonnement solaire est transmis à concurrence de 57% par la composante solaire diffuse. Cela signifie qu'en Belgique, plus de la moitié de l'énergie solaire reçue provient du rayonnement solaire diffus.

La transmissivité solaire d'un obstacle vaut :

- $T = 1$  s'il n'y a pas d'obstruction;
- $T = 0$  si l'obstacle est un bâtiment ou une paroi opaque;

- $0 < T < 1$  si l'obstacle est végétal. En général, on considère qu'un arbre à feuilles caduques transmet 15 à 30 % du rayonnement solaire direct en été et 55 à 70% en hiver, en fonction de la densité de ses branches et de son feuillage.

$$RS_{dif} = R_d \times SVF$$

Où  $R_d$  est le rayonnement solaire diffus mesuré sur un plan horizontal

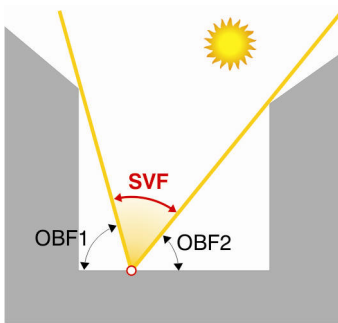
$SVF$  est le facteur de vue du ciel (« sky view factor »)

Le facteur de vue du ciel est l'angle solide de vue du ciel depuis un espace urbain, c'est-à-dire une mesure de l'ouverture vers le ciel d'un espace public urbain. Le facteur de vue du ciel maximum possible entre une personne et le ciel est de 1. Ce cas n'existe que s'il n'y a aucun obstacle vertical au-dessus de l'horizon. Par contre, le  $SVF$  peut être pratiquement nul si une personne se trouve en-dessous d'un ensemble d'arbres denses ou l'auvent d'un immeuble.

$$SVF = 1 - OBF$$

Où  $OBF$  est le facteur d'obstruction du ciel, c'est-à-dire la somme des facteurs d'obstruction de chaque obstacle, calculé suivant la formule :

$$OBF = \sum_{i=0}^n [(\text{angle d'obstruction}_{(i)} \text{ horizontal} / 360^\circ) \times (\text{angle d'obstruction}_{(i)} \text{ vertical} / 90^\circ)]$$



$$RS_o = \sum_{i=0}^n OBF_{(i)} \times [((R_v - R_d) \times T) + (R_d \times SVF)] \times A_{0(i)}$$

où  $OBF_{(i)}$  est le facteur d'obstruction de l'obstacle  $i$

$R_v$  est le rayonnement solaire global reçu par un obstacle vertical  $i$  (en fonction de son orientation)

$T$  est la transmissivité solaire entre le soleil et l'obstacle vertical analysé

$A_{0(i)}$  est l'albedo de l'obstacle  $i$  entre la personne et le ciel

$$OBF_{(i)} = [(\text{angle d'obstruction}_{(i)} \text{ horizontal} / 360^\circ) \times (\text{angle d'obstruction}_{(i)} \text{ vertical} / 90^\circ)]$$

$T$  se calcule comme précédemment :  $T = 1$  s'il n'y a pas d'obstruction;  $T = 0$  si l'obstacle est un bâtiment ou une paroi opaque;  $T = 0.15$  à  $0.3$  si l'obstacle est un arbre à feuilles caduques en été ou un arbre à feuilles persistantes toute l'année ;  $T = 0.55$  à  $0.7$  si l'obstacle est un arbre à feuilles caduques en hiver.

Les valeurs moyennes horaires de  $R_v$  peuvent être trouvées dans les fichiers météorologiques.

Les tableaux ci-dessous donnent le rayonnement solaire global reçu par un obstacle vertical pour un ciel serein, un ciel moyen et un ciel couvert, à Uccle (Bruxelles), le

15 des mois de mars, juin, septembre et décembre, en fonction de l'orientation de l'obstacle étudié.

Mois	Heure	<b>Rv par ciel serein - éclairage énergétique global W/m<sup>2</sup></b>			
		Verticale sud	Verticale nord	Verticale est	Verticale ouest
mars	7	25	355	109	23
	9	38	517	446	37
	11	47	248	688	55
	13	46	53	677	279
	15	37	36	418	524
	17	24	22	86	311
juin	5	190	406	26	25
	7	70	690	57	41
	9	62	590	313	54
	11	57	229	467	66
	13	58	62	446	326
	15	62	52	254	646
	17	125	37	47	654
19	164	22	22	291	
septembre	7	32	504	145	28
	9	45	540	471	44
	11	51	212	671	63
	13	50	56	633	337
	15	41	39	371	580
	17	28	23	65	383
décembre	9	22	225	293	23
	11	28	118	535	34
	13	27	29	486	185
	15	20	20	155	157

Mois	Heure	<b>Rv par ciel moyen - éclairage énergétique global W/m<sup>2</sup></b>			
		Verticale sud	Verticale nord	Verticale est	Verticale ouest
mars	7	76	52	228	52
	9	268	116	352	116
	11	525	181	330	181
	13	475	157	157	216
	15	236	85	85	239
	17	49	15	15	125
juin	5	41	103	154	39
	7	117	146	356	103
	9	249	162	419	152
	11	381	185	319	187
	13	370	177	180	262
	15	233	135	131	347
	17	84	92	76	298
	19	4	6	4	10
septembre	7	86	67	196	60
	9	249	115	313	113
	11	445	148	280	156
	13	403	135	144	227
	15	213	90	89	248
	17	48	28	26	127
décembre	9	135	38	125	38
	11	356	78	151	78
	13	312	64	64	115
	15	6	3	3	5

Mois	Heure	<b>Rv par ciel couvert - éclairage énergétique global W/m<sup>2</sup></b>			
		Verticale sud	Verticale nord	Verticale est	Verticale ouest
mars	7	38	32	83	32
	9	115	72	142	72
	11	210	111	150	111
	13	187	95	95	110
	15	92	51	51	93
	17	16	8	8	36
juin	5	25	35	44	25
	7	69	72	94	68
	9	114	106	130	105
	11	146	128	140	128
	13	138	120	121	128
	15	98	88	88	109
	17	49	50	48	76
	19	3	9	3	16
septembre	7	38	35	55	35
	9	84	70	91	70
	11	121	95	107	95
	13	111	86	86	94
	15	69	53	53	74
	17	19	14	13	40
décembre	9	39	20	37	20
	11	89	40	51	40
	13	76	33	33	40
	15	3	2	2	3

Le tableau ci-dessous donne quelques valeurs pour l'albédo de matériaux typiques de façades et du mobilier urbain.

<b>Matériaux de façade ou de mobilier urbain</b>	<b>Albedo</b>
Ardoise	0.11
Arbre à feuilles caduques	0.2 à 0.3
Double vitrage	0.13 à 0.22
Béton	0.2 à 0.45
Bois	0.15 à 0.4
Briques ordinaires rouges	0.23 à 0.32
Calcaire	0.5 à 0.65
Ciment (vieux de 1an)	0.29
Grès	0.27 à 0.46
Marbre	0.44 à 0.66
Granit (rougeâtre)	0.45
Métaux	0.08 à 0.85
Peintures ou matériaux non mentionnés : en fonction de la couleur	0.05 à 0.8
blanc	0.6 à 0.8
gris moyen	0.5 à 0.6
vert, rouge, brun moyen	0.3 à 0.5
brun, bleu foncé	0.2 à 0.3
noir	0.05 à 0.2

$$RSs = [(R-Rd) \times T] + (Rd \times SVF)] \times As$$

où  $A_s$  est l'albédo du sol

Le tableau ci-dessous donne quelques valeurs de l'albédo de revêtements de sol typiques.

Matériaux de sol	Albédo
Surface d'eau	0.03 à 0.1
Tas de feuilles et herbes coupées	0.05
Asphalte	0.07
Bois foncé (chêne,...)	0.05 à 0.1
Bois clair (pin,...)	0.1 à 0.2
Prairie	0.12 à 0.3
Sol sableux	0.15 à 0.4
Terre nue	0.2 à 0.25
Brique pourpre	0.23
Béton	0.3
Gazon	0.26 à 0.33
Neige	0.75 à 0.95

## 2.2/ RTab : Rayonnement terrestre absorbé

Le rayonnement terrestre est émis naturellement par tous les corps de notre planète, y compris l'atmosphère. C'est un rayonnement infrarouge, de grande longueur d'onde. La puissance rayonnée par un corps est fournie par la formule de Stefan-Boltzmann :  $RT = E \times \sigma (Ts + 273.15)^4$

où  $\sigma$  est la constante universelle de rayonnement ( $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} [W/m^2K^4]$ ),  $E$  est l'émissivité de ce corps et  $Ts$  est la température de surface du corps en °C.

L'émissivité  $E$  du corps traduit sa capacité à émettre un rayonnement énergétique. Pour une même température, le coefficient d'absorption et le coefficient d'émission d'un corps sont égaux. L'émissivité d'un corps est en grande partie dictée par la nature et l'état de sa surface. Elle tend vers l'unité pour les surfaces humides ou dont les irrégularités microscopiques facilitent l'émission; par contre, les matériaux finement polis ne présentant pas d'irrégularités de surface, comme par exemple les métaux, ont une émissivité faible.

Toute personne reçoit et absorbe le rayonnement terrestre provenant de tous les corps environnants. La surface du corps humain émet elle-même un rayonnement terrestre qui est fonction de sa température et de son émissivité.

Le flux de grande longueur d'onde provenant de l'atmosphère et des obstacles environnants (sol, murs, arbres,...) qui atteint une personne est supposé provenir à 50% de l'hémisphère supérieur (ciel et obstacles verticaux) et à 50% du sol.

$$RTabs = \{ [0.5 \times (RTc + RTo)] + (0.5 \times RTs) \} \times E$$

Où  $RTc$  est le rayonnement terrestre en provenance du ciel reçu par la personne

$RTo$  est le rayonnement terrestre en provenance des objets (bâtiments, arbres,...) entre la personne et le ciel

$RTs$  est le rayonnement terrestre de la surface du sol

$E$  est l'émissivité d'une personne par rapport au rayonnement terrestre

L'émissivité d'une personne par rapport au rayonnement terrestre est égale à 0.98.

**RTc = Rc x SVF**

Où RTc est le rayonnement terrestre en provenance du ciel reçu par la personne

Rc est le rayonnement terrestre émis par la totalité du ciel

SVF est le facteur de vue du ciel

$$Rc = 0.5 \times N \times [(0.2 \times 1354) + (0.9 \text{ Es } \sigma (Ts + 273.15)^4)]$$

$$= 0.5 \times N \times [270.8 + (0.9 \text{ Es } \sigma (Ts + 273.15)^4)]$$

Où Ts est la température de surface du sol en °C

Es est l'émissivité du sol

$\sigma$  est la constante universelle de rayonnement ( $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ )

N est un facteur prenant en compte la nébulosité du ciel

Le rapport entre l'émissivité d'un ciel nuageux et l'émissivité d'un ciel serein peut être calculé à partir de l'expression suivante (Santamouris 2001) :

$$N = 1 + 0.0224n - 0.0035 n^2 + 0.00028 n^3$$

où n est la quantité totale de nuages opaques : n= 0 pour un ciel clair et n= 1 pour un ciel totalement couvert.

Nous proposons de simplifier l'évaluation de N en utilisant les valeurs suivantes :

N=1 pour un ciel clair,

N=1.01 pour un ciel moyen,

N=1.02 pour un ciel couvert.

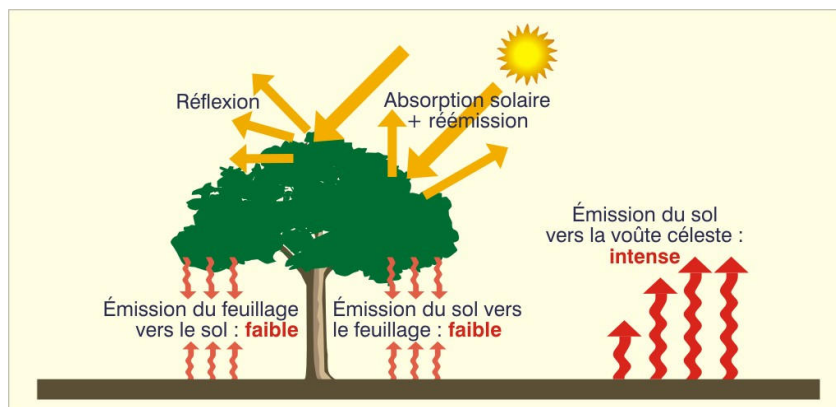
Il est toutefois important de spécifier que l'équation Rc ci-dessus n'est valable que si la personne se trouve directement sous le ciel. Lorsqu'une protection solaire, une galerie, un arbre ou tout autre élément d'aménagement urbain se trouve entre la personne et le ciel, c'est cette surface qui doit être prise en compte dans l'évaluation du rayonnement terrestre émis par le « ciel ». Dans ce cas, il faut résoudre l'équation suivante :

$$Rc = [E_{sc} \times (5.67 \times 10^{-8}) \times (T_{sc} + 273.15)^4]$$

Où Tsc est la température de surface (en °C) du matériau qui surplombe directement la personne

Esc est l'émissivité de la surface qui surplombe directement la personne

La végétation à feuilles caduques, dont la température du feuillage reste basse grâce au processus d'évapotranspiration, sert donc d'ombrage efficace en été car elle réduit fortement le rayonnement solaire direct tout en émettant peu de rayonnement de grande longueur d'onde, contrairement aux auvents en toiles qui deviennent rapidement surchauffés. De plus, elle laisse le rayonnement solaire passer en hiver. Le schéma ci-dessous explique se comportement spécifique de la végétation par rapport au rayonnement solaire et terrestre.



$$RT_o = \sum_{i=0}^n [E_{o(i)} \times (5.67 \times 10^{-8}) \times (T_{o(i)} + 273.15)^4] \times OBF_{(i)}$$

Où  $RT_o$  est le rayonnement terrestre en provenance des obstacles (bâtiments, arbres,...) entre la personne et le ciel

$T_{o(i)}$  est la température de surface d'un obstacle  $i$  en °C

$E_{o(i)}$  est l'émissivité de l'obstacle  $i$

OBF est le facteur d'obstruction de l'obstacle  $i$

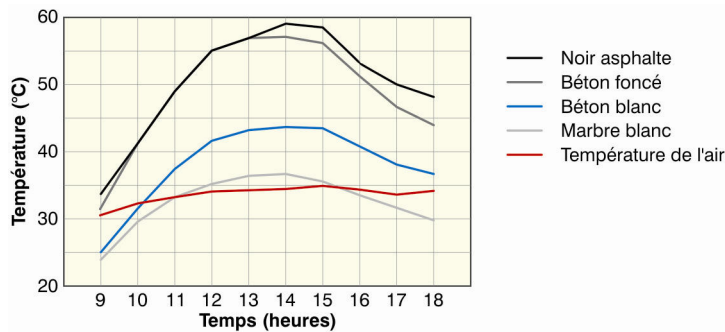
$$RT_s = [E_s \times (5.67 \times 10^{-8}) \times (T_s + 273.15)^4]$$

Où  $T_s$  est la température de surface du sol en °C

$E_s$  est l'émissivité du sol

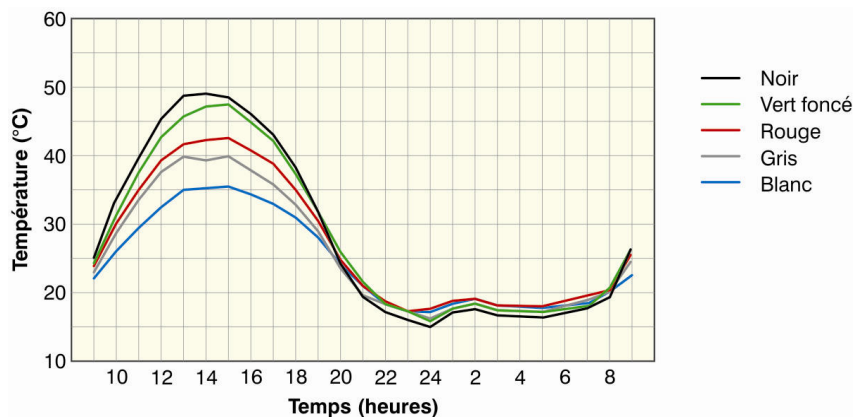
La couleur et la nature des matériaux utilisés pour l'enveloppe extérieure des bâtiments ont un rôle important par rapport à leur équilibre thermique. Les couleurs claires associées à un albédo élevé diminuent le rayonnement solaire stocké et donc la température de surface d'une paroi tandis qu'une émissivité élevée augmente les pertes par rayonnement infrarouge vers le ciel. L'impact des caractéristiques des matériaux sur leurs températures de surface est élevé.

Le graphe ci-dessous montre la distribution des températures de surface de différents matériaux en fonction de mesures expérimentales réalisées à Athènes durant le mois d'août 2001 (Doulos & al. 2004). On voit que l'albédo des matériaux influence fortement leur température de surface, qui évolue tout au long de la journée et dépasse très largement la température de l'air en milieu de journée.



(Doulos & al. 2004).

Le graphe suivant représente la distribution horaire des températures de surfaces pour des matériaux de couleurs différentes selon une étude expérimentale réalisée à Athènes en août 2001 (Doulos & al. 2004).



(Doulos & al. 2004).



Il est important de constater que de fortes différences sont perceptibles pendant la journée avec un maximum vers 14h alors que les différences de températures de surface deviennent assez faibles durant la nuit. Cette différence entre le jour et la nuit provient du fait que l'émissivité des matériaux (assez constante pour l'ensemble des matériaux de construction) influence leur équilibre thermique pendant la nuit en affectant son émissivité alors que la couleur des surfaces détermine davantage l'équilibre thermique journalier en affectant son albédo. L'émissivité d'un corps est indépendante de sa couleur dans les conditions ambiantes habituelles.

Quelques soient les écarts de température de surface d'un matériau pendant la journée, la température des surfaces pendant la nuit est généralement quasiment constante. Notons également que l'influence de l'albédo des matériaux sur leur température de surface est faible par ciel couvert ou lorsque la surface est ombragée.

Dans la majorité des cas, le coefficient d'émissivité des matériaux de construction est supérieur à 0.8. Les métaux sont les seuls matériaux de construction qui ont une émissivité faible. Voici quelques exemples du facteur d'émissivité de différents matériaux dans les conditions ambiantes habituelles.

<b>Matériaux</b>	<b>Emissivité</b>
Corps humain	0.98
glace	0.97
eau	0.96
neige fraîche	0.95
Verre	0.94
Brique	0.93
Béton	0.92
Sable	0.9
Acier	0.2 à 0.3
Aluminium	0.09

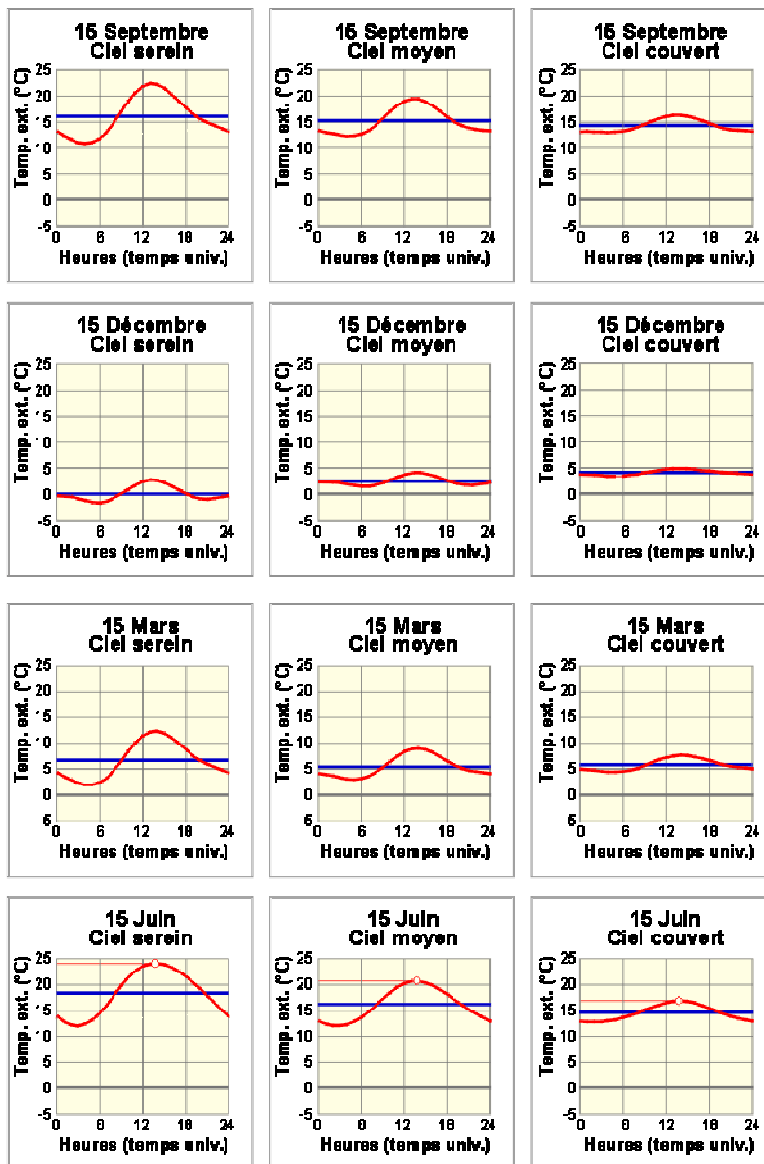
A partir de ces constats et des études réalisées dans le cadre du projet RUROS sur la température moyenne radiante (Scudo & al. 2004), nous proposons d'utiliser la simplification suivante en première approximation pour déterminer les températures de surface des matériaux dans les espaces publics urbains en Belgique :

- Pour une vitesse du vent inférieure à 2 m/s, la température de surface de matériaux de construction pendant la soirée et la nuit et leur température de jour lorsque ces surfaces sont ombragées tout au long de la journée vaut  **$T_s = T_a - 6$  [°C]**
- Pour une vitesse du vent inférieure à 2 m/s et des surfaces exposées au soleil, la température de surface d'un matériau de construction dépend de l'albédo de ce matériau :  
 **$T_s = T_a + 7$  [°C] si  $A = 0.8$**   
 **$T_s = T_a + 12$  [°C] si  $A = 0.2$**   
 **$T_s = T_a + 17$  [°C] si  $A = 0.07$**
- Pour toute surface exposée à un ciel couvert mais sous un vent inférieur à 2m/s,  **$T_s = T_a$**
- Pour toute surface, ensoleillée ou non, exposée à un vent supérieur ou égal à 2 m/s,  **$T_s = T_a$**
- Pour toute surface végétale (arbres, haies,...) et pour les surfaces d'eau (bassins, fontaines, ...),  **$T_s = T_a$**

Où  $T_a$  est la température ambiante de l'air.

Pour le rayonnement thermique asymétrique, le confort des personnes semble affecté par la présence d'une différence de températures de surfaces de rayonnement de plus de 20°C. Ce détail peut par exemple être perçu en extérieur en pays chaud sous une protection solaire formée par une toile simple... (Ashrae 2001).

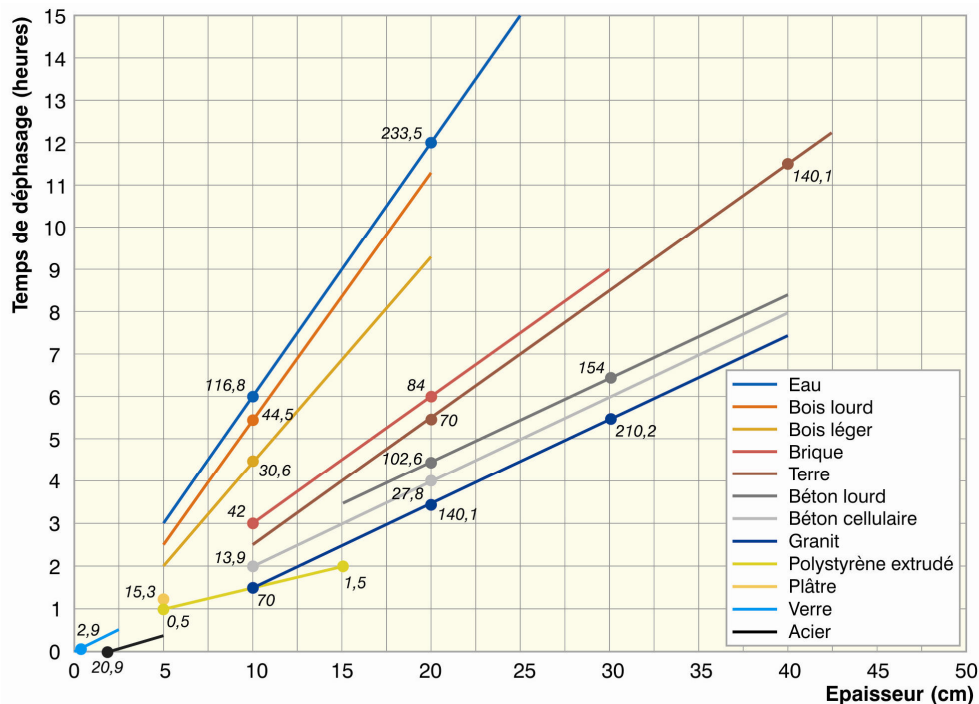
Pour évaluer précisément la température ambiante, nous donnons dans la suite de cette thèse un algorithme pour approcher approximativement la température de l'air en milieu urbain en fonction de différents paramètres tels que la densité urbaine, la saison et le moment de la journée, la végétation,... En première approximation, on peut toutefois estimer que la température ambiante est celle donnée par la station météorologique. Le régime des températures extérieures est variable : son évolution est assimilable à une sinusoïde dont l'axe représente la température moyenne journalière. Les graphes ci-dessous donnent l'évolution de la température extérieure moyenne par ciel serein, par ciel moyen et par ciel couvert, le 15 des mois de mars, juin, septembre et décembre, à la station météorologique de Uccle (Bruxelles).



Bien entendu pour un calcul très détaillé d'une température de surface à un moment précis, il serait nécessaire de tenir compte de la dynamique thermique des matériaux. Il serait alors nécessaire d'évaluer cette température de surface en fonction non seulement de son albédo et des conditions météorologiques d'ensoleillement et de vent au moment considéré mais aussi en fonction de son inertie thermique. Nous n'entrerons pas dans le détail de ces calculs trop sophistiqués pour évaluer globalement le confort thermique d'une personne à l'extérieur. Nous nous contenterons de donner quelques pistes de réflexion par rapport au choix des matériaux.

L'inertie des matériaux influence la température de surface des parois en améliorant ou en entravant le stockage de la chaleur. L'inertie thermique est une notion qui recouvre à la fois l'accumulation de chaleur et la restitution de celle-ci avec un déphasage temporel.

L'énergie solaire est par essence variable dans le temps. La présence d'une grande inertie thermique permet d'amortir l'impact de ces fluctuations solaires, de «lisser» la courbe des températures. De plus, une grande inertie thermique permet la récupération de la chaleur du jour afin de la restituer la nuit. L'idéal est dans ce cas une inertie thermique dont le temps de déphasage est de 12 heures. Ceci est particulièrement intéressant dans les climats où la différence de température diurne et nocturne est importante. Le graphe ci-dessous indique le temps de déphasage de l'inertie thermique de quelques matériaux pour des épaisseurs usuelles d'utilisation. Ces résultats proviennent de simulations réalisées sous climat chaud pour une paroi orientée au sud.



Outre le choix de l'épaisseur du matériau pour déterminer le temps de déphasage de l'inertie thermique, il est important de tenir compte du choix du matériau qui détermine l'amplitude de son inertie.

Un matériau est considéré comme ayant une grande inertie thermique s'il a une capacité thermique élevée. La capacité thermique des matériaux est la caractéristique qui influence la quantité d'énergie thermique qui peut être stockée dans le matériau. Elle est surtout liée à la masse du matériau : une masse volumique élevée indique un matériau à forte capacité thermique. Ainsi, les matériaux lourds, comme le béton par exemple, accumulent globalement plus de chaleur que les matériaux légers. Le tableau ci-dessous donne la capacité thermique d'une paroi homogène de 20cm en fonction du type de matériau choisi.

<b>Matériau</b>	<b>Capacité thermique (MJ/m<sup>2</sup>)</b>
Acier	7.4
Pierre bleue	4.5
Bassin d'eau	3.5
Béton lourd	3.2
Verre	2.1
Terre cuite	1.8
Béton léger	0.8
Bois massif	0.7
Air immobile	0.001

Une autre caractéristique importante des matériaux pour le confort des personnes est son effusivité thermique, c'est-à-dire la quantité de chaleur qu'il faut fournir au matériau pour élever sa température. Cette caractéristique est aussi connue sous le nom de coefficient de contact car elle est aussi responsable de la sensation chaude ou froide au toucher, ce qui est essentiel pour les matériaux utilisés dans l'aménagement d'un espace public de repos. Le bois est par exemple réputé pour conserver une sensation de chaleur agréable quelques soient les conditions de température et de rayonnement alors que le béton et encore davantage l'acier dont la capacité thermique est plus élevée sont nettement plus froids ou nettement plus chauds en fonction des conditions météorologiques auxquelles ils ont été soumis.

<b>Matériau</b>	<b>Effusivité thermique (J/m<sup>3</sup>Ks<sup>0.5</sup>)</b>
Acier	11700
Pierre bleue	2803
Béton lourd	1691
Bassin d'eau	1556
Verre	1369
Terre cuite	831
Béton léger	383
Bois massif	350
Air immobile	5

La comparaison de la capacité thermique et de l'effusivité thermique des mêmes matériaux montre que globalement un matériau qui a une capacité thermique élevée a aussi une effusivité haute alors qu'un matériau dont la capacité thermique est faible a une effusivité basse.

Pour une première évaluation du comportement thermique des matériaux, l'albédo et la capacité thermique sont donc les caractéristiques essentielles. Les matériaux dont la température de surface reste fraîche sous un rayonnement solaire direct sont ceux qui possèdent une couleur claire et une forte capacité thermique, tandis que les matériaux dont la température de surface s'accroît rapidement quand ils sont exposés au soleil sont ceux qui possèdent une couleur sombre et une capacité thermique faible.

Pour limiter les surchauffes en été, il vaut mieux favoriser des matériaux dont la capacité thermique est forte et l'albédo élevé là où le soleil frappe directement c'est-à-dire essentiellement les façades sud et le sol. Ainsi, dans les pays chauds, nous recommandons l'utilisation de la pierre, du béton ou de tout autre matériau présentant une masse volumique importante, peint en blanc ou de couleur claire.



(Littlefair & al. 2000).

Par contre, si on désire qu'une surface se réchauffe rapidement dès qu'elle est ensoleillée et qu'elle conserve une sensation de chaleur au toucher même lorsque les températures sont basses, une capacité thermique et un albédo faibles sont à privilégier. C'est la raison pour laquelle en Belgique l'utilisation du bois dans les espaces publics de détente favorise le confort des personnes. Les photos ci-dessous représentent la place des Sciences à Louvain-la-Neuve, où le choix du bois comme matériau non seulement pour les bancs mais aussi pour le sol de la place invite les utilisateurs de l'espace à s'asseoir par terre et à s'appropriier l'espace comme ils le désirent, dès que le ciel est serein.



(Photos : S. Reiter)



### 3/ Conv : perte ou gain de chaleur par convection

La convection est le mode de transfert d'énergie entre une surface et un fluide (généralement l'air) par mise en mouvement de ce fluide. Les mouvements d'air peuvent être générés par une différence de températures entre l'air et la surface ou par des différences de pression (vent, courant d'air créé par le trafic, ...).

Expérimentalement, il est impossible de maintenir l'air parfaitement immobile au contact d'une surface à température différente. Il se crée, au voisinage de la surface, des petits mouvements d'air générant la convection naturelle. En l'absence de toute ventilation, les échanges énergétiques par convection d'une surface avec l'air dépendent de la position (verticale ou horizontale) de cette surface et de la différence de température entre celle-ci et l'air ambiant.

S'il s'agit d'une convection forcée, c'est-à-dire que le renouvellement de l'air au contact de la surface est provoqué par une force extérieure (le vent ou le trafic automobile par exemple), le paramètre déterminant devient la vitesse de l'air. Les échanges convectifs sont fortement accrus lorsqu'on passe de la convection naturelle à la convection forcée.

La puissance échangée par convection est égale à  $hc \times (T_s - T_a)$ , où  $hc$  est le coefficient de convection,  $T_s$  la température de la surface et  $T_a$  la température ambiante de l'air.

Cependant, dans l'évaluation de la convection autour d'une personne, il faut tenir compte du fait que l'habillement représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface du corps humain et l'air. L'influence de la convection sur le bilan thermique du corps humain à l'extérieur s'écrit donc :

$$\text{Conv} = hc \times (T_c - T_a) / R$$

Où  $hc$  est le coefficient de convection

$T_c$  est la température du corps humain (°C)

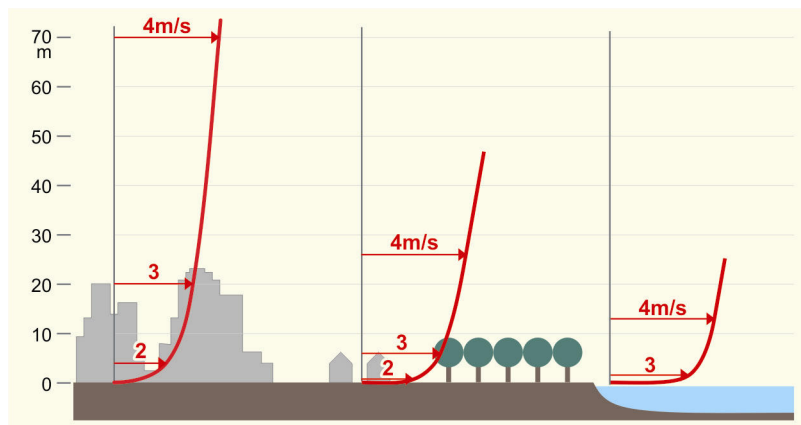
$T_a$  est la température de l'air (°C)

$R$  est la résistance thermique entre le corps et l'air.

Le coefficient de convection à utiliser dépend de la vitesse de l'air en fonction des formules suivantes établies pour une personne debout (ASHRAE 2001) :

- Pour une vitesse de l'air comprise entre 0 et 0.15 m/s,  $hc = 4$
  - Pour une vitesse de l'air supérieure à 0.15 m/s,  $hc = 14.8 V^{0.69}$
- Où  $V$  est la vitesse de l'air en m/s.

De manière générale, le vent étant freiné par les obstacles, lorsque la densité et la taille de ceux-ci sont importantes, ce qui est le cas en ville, la vitesse du vent est moindre qu'en site dégagé. Notons également que la vitesse du vent, nulle au niveau du sol, augmente avec la hauteur : c'est ce qui explique que les vitesses du vent au sommet d'un immeuble tour sont nettement plus élevées qu'au niveau du toit d'une maison qui ne comporte qu'un étage. Le graphe ci-dessous montre schématiquement l'évolution du profil du vent en fonction de la nature du sol.



La vitesse de l'air doit être prise dans l'espace public considéré au niveau des piétons (par exemple à 1.5m de haut), alors que les données météorologiques donnent les vitesses de l'air à 10 m de haut dans un environnement totalement dégagé. L'évaluation précise de la vitesse de l'air en milieu urbain au niveau des piétons peut être réalisée à l'aide des outils graphiques développés dans ce doctorat dans les chapitres ultérieurs.

D'après nos calculs dans Excel à partir de l'année météorologique type établie pour Uccle (Bruxelles), nous avons déterminé le tableau suivant donnant les fréquences et les vitesses moyennes du vent (à la station météorologique à 10m de haut) en fonction des 12 secteurs d'orientation du vent.

Orientation	Angle	fréquence (%)	Vitesse (m/s)
NNE	15-44	3,5	3,29
NEE	45-74	8,7	4,06
E	75-104	2,4	2,62
EES	105-134	2,1	2,78
ESS	135-164	7,5	3,61
S	165-194	8,5	3,67
SSO	195-224	14	4,13
SOO	225-254	28	4,02
O	255-284	8,7	3,74
OON	285-314	4,2	4,61
ONN	315-344	7,7	3,58
N	345-14	4,7	3,33
<b>Moyenne totale</b>			<b>3.83</b>

On voit donc que les vents allant du SSO au SOO, c'est-à-dire ayant un angle compris entre 195° et 254° par rapport au Nord, soufflent à une fréquence de 42% du temps. Il s'agit bien du vent dominant en Belgique.

Une règle approximative pour évaluer les vitesses du vent est décrite ci-dessous. Cette formule et ce tableau permettent de déterminer la vitesse du vent (U) en fonction du type de terrain (paramètres K et a) et de sa hauteur d'évaluation (Z) ainsi que de la vitesse du vent à la station météorologique la plus proche (U<sub>10,météo</sub>).

$$U = K z^a U_{10m,météo}$$

Terrain	K	$\alpha$	Z <sub>0</sub>	d
Mer	0.7	0.14	0.005	0
Station météo ; terrain totalement dégagé	0.68	0.17	0.03	0
Campagne avec brise-vents	0.52	0.2	0.1	0.7h
Tissu suburbain	0.4	0.235	0.5	0.8h
<b>Tissu urbain (bâti continu)</b>	<b>0.35</b>	<b>0.25</b>	<b>1</b>	<b>0.8h</b>
Centre-ville très dense avec bâtiments très irréguliers	0.21	0.33	2.5	0.8h

$$T_c = 36.5 + (0.0043 \times M)$$

Où M est l'énergie métabolique (W/m<sup>2</sup>)

$$R = (R_t + 0.155 R_a + 0.155 R_v)$$

Où R<sub>t</sub> = résistance de la peau au transfert de chaleur = 65 - 0.1 M

Où M est l'énergie métabolique (W/m<sup>2</sup>)

R<sub>a</sub> = résistance de la couche d'air autour du corps en Clo

R<sub>v</sub> = résistance des vêtements en Clo

L'unité de mesure Clo mesure l'isolation thermique selon la formule :

$$1\text{Clo} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ K/ W}$$

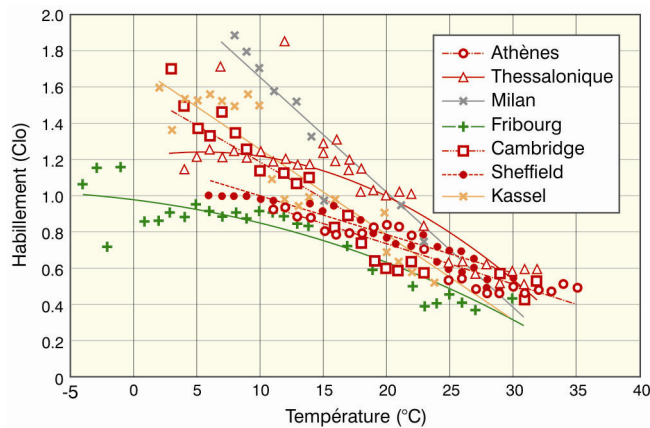
La valeur de Ra peut être évaluée à partir de la vitesse de l'air V (m/s). L'isolation de la couche d'air extérieure en unité de Clo dépend de la vitesse de l'air selon le tableau ci-dessous (Geiger 1980)

V (m/sec)	0.15	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5	3	5
Ra (Clo)	0.85	0.7	0.54	0.455	0.35	0.31	0.28	0.26	0.2

Le tableau ci-dessous permet d'avoir une correspondance établie à partir de la norme ISO 1993 entre différents types d'habillement et leur résistance thermique (Rv) en Clo.

Tenue vestimentaire	Clo
Nu, debout	0
Maillot de bain	0.1
Tenue tropicale : slip, chemise courte à col ouvert, shorts, chaussettes légères et sandales	0.3
Tenue d'été : slip, chemise courte à col ouvert, pantalon long léger ou jupe, chaussettes légères et chaussures	0.5
Tenue de travail légère : sous-vêtements légers, chemise courte à col ouvert, pantalon long, chaussettes légères et chaussures	0.7
Tenue d'intérieur pour l'hiver : sous-vêtements, chemise à manches longues, pantalon long ou robe, chaussettes et chaussures	1
Tenue d'extérieur pour l'hiver : sous-vêtements à manches et jambes longues, chemise à manches longues, pantalon et gilet ou robe chaude, veste, chaussettes épaisses et chaussures	1.5
Tenue d'hiver pour grand froid en fourrure	3

La valeur Rv moyenne des piétons dépend du climat. Le graphe ci-dessous donne la variation moyenne de l'habillement en Clo en fonction de la température moyenne de l'air dans différentes villes européennes (Nikolopoulou & Lykoudis 2006).



(Nikolopoulou & Lykoudis 2005).

Pour la Belgique, en milieu urbain, nous proposons d'utiliser les critères suivants :

- si Tair entre -5 et 12°C, Rv = 1.5 Clo,
- si Tair entre 12 et 18°C, Rv = 1 Clo,
- si Tair entre 18 et 24°C, Rv = 0.75 Clo
- si Tair entre 24 et 36°C, Rv = 0.5 Clo.



Il faut toutefois noter que les valeurs d'isolation thermique des vêtements varient en réalité avec la vitesse de l'air et avec le mouvement des personnes. Les valeurs données ci-dessus sont des valeurs pour des personnes immobiles et une vitesse de l'air inférieure à 0.2m/s (Havenith & al. 2002). Elles devraient suffire pour une évaluation approximative du bilan thermique d'une personne.

**Evap : perte de chaleur par évaporation**

En ambiance chaude, les échanges thermiques du corps avec son environnement ont lieu principalement par évaporation à la surface de la peau. Vu que l'air ne peut absorber qu'une quantité limitée de vapeur d'eau, une ambiance chaude et sèche est plus facile à supporter pour le corps qu'une ambiance chaude et humide. Cependant, l'humidité a peu d'impact sur la sensation de confort d'un individu lorsqu'elle est comprise dans la gamme des valeurs entre 30 et 70%, quelque soit la température de l'air. Ainsi, un individu peut difficilement ressentir s'il fait 40 % ou 60 % d'humidité relative dans un espace ouvert ou fermé.

L'humidité est un facteur déterminant dans les climats à haute température. Dans nos régions, la température peu élevée rend l'homme relativement insensible à l'humidité pour autant qu'elle n'atteigne pas la saturation (humidité relative = 100%).

La formule ci-dessous est une formule simplifiée pour ne pas tenir compte de la résistance des vêtements au transfert de chaleur par évaporation et de la vitesse de sudation du corps humain, qui sont des paramètres difficiles à évaluer et qui alourdiraient trop notre calcul. Il ne nous semble pas indispensable dans le cadre d'un climat tempéré froid d'entrer dans une telle précision par rapport aux pertes par évaporation.

**Evap= he (Pc – Pa)**

Où he est le coefficient d'évaporation, qui dépend de la vitesse du vent et donc de hc (le coefficient de convection).

Pc est la pression de vapeur d'eau sur la peau humaine en kPa

Pa est la pression de vapeur d'eau de l'air en kPa

$h_e = 15 h_c [W m^{-2} kPa^{-1}]$

Le tableau ci-dessous donne la pression de vapeur saturée d'une ambiance à une température donnée. La pression de vapeur de l'air vaut sa pression de vapeur saturée multipliée par son humidité relative. Si T = 21°C et HR = 70%, la pression de vapeur saturée vaut 2.487 Pa et la pression de vapeur de l'air vaut 0,7 \* 2.487 = 1.741 Pa. La pression de vapeur d'eau sur la peau humaine est la pression de vapeur d'eau pour une ambiance qui serait à la température du corps humain (Tc) et dont l'humidité relative serait égale à celle de l'air ambiant.

T [°C]	p <sub>vs</sub> [Pa]	T [°C]	p <sub>vs</sub> [Pa]	T [°C]	p <sub>vs</sub> [Pa]
0	611	10	1 228	20	2 340
1	657	11	1 313	21	2 487
2	705	12	1 403	22	2 645
3	759	13	1 498	23	2 810
4	813	14	1 599	24	2 985
5	872	15	1 706	25	3 169

6	935	16	1 818	26	3 362
7	1 002	17	1 938	27	3 565
8	1 073	18	2 065	28	3 781
9	1 148	19	2 197	29	4 006

Table des pressions de vapeur maximales  $p_{vs}$

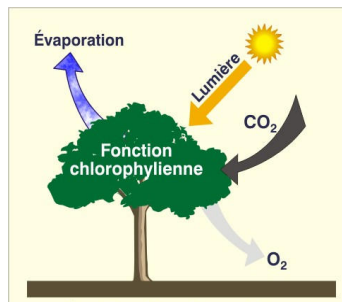
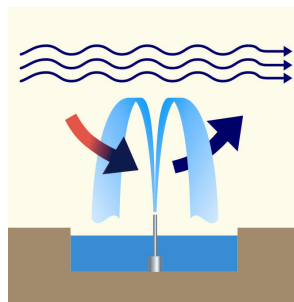
L'humidité relative, à une température quelconque, est le rapport entre l'humidité absolue de l'air divisée par la capacité maximale en humidité de l'air à cette température. Du point de vue physiologique, la pression de vapeur de l'air est la manière la plus appropriée de définir les conditions d'humidité parce que la vitesse d'évaporation du corps est proportionnelle à la différence de pression de vapeur entre la surface de la peau et l'air ambiant. Par contre, l'humidité relative affecte le comportement de beaucoup de matériaux de construction et leur vitesse de détérioration. (Geiger 1980)

L'humidité relative de l'air est élevée en Belgique et varie en moyenne de 59% à 91% tout au long de l'année. Le tableau ci-après donne pour Uccle, pour différentes heures de la journée, les moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air (De Herde 1994).

Heure	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	87	86	82	81	81	82	84	86	86	88	88	89
3	88	88	84	84	85	86	87	89	89	89	89	89
6	89	89	87	87	84	85	88	90	91	91	90	90
9	89	87	81	76	71	72	75	78	80	85	88	89
12	84	80	71	65	61	63	66	67	69	75	81	84
15	83	76	67	60	59	61	63	65	66	73	81	85
18	86	82	75	66	64	65	69	71	77	84	86	88
21	87	84	79	74	74	75	79	81	83	87	88	89

Vu que ce calcul des pertes par évaporation est assez limité dans notre méthode, ajoutons les règles de conception suivantes :

- dans les pays chauds et humides, il faut favoriser la ventilation naturelle des espaces publics.
- dans les pays chauds et secs, il est utile d'humidifier l'air (fontaines, végétation,...)



- dans les pays à fortes précipitations, toutes les protections contre la pluie sont à valoriser : auvents, galeries,... Ainsi, en Belgique, les auvents et galeries sont toujours bienvenus pour nous protéger des intempéries.



(Photo : S. Reiter).

**TRe : rayonnement terrestre émis**

$$TRe = E \times 5.67 \times 10^{-8} \times (Ts + 273.15)^4$$

E est l'émissivité de la personne (en général 0.98)

Ts est la température de surface de la personne.

$$Ts = Ta + [ Ra \times (Tc - Ta) / R]$$

Où R est la résistance thermique totale entre le corps et l'air.

Ra est résistance de la couche d'air autour du corps en Clo

Tc est la température du corps =  $36.5 + (0.0043 \times M)$

Où M est l'énergie métabolique (W/m<sup>2</sup>)

Ta est la température ambiante

Les formules et valeurs suivantes ont déjà été développées lors de l'évaluation de la convection mais sont données en rappel.

$$R = (Rt + 0.155 Ra + 0.155 Rv)$$

Où Rt = résistance de la peau au transfert de chaleur =  $65 - 0.1 M$

Où M est l'énergie métabolique (W/m<sup>2</sup>)

Ra est résistance de la couche d'air autour du corps en Clo

Rv = résistance des vêtements en Clo

Le tableau ci-dessous donne la valeur de Ra en fonction de la vitesse du vent (Geiger 1980) :

V (m/sec)	0.15	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5	3	5
Ra (Clo)	0.85	0.7	0.54	0.455	0.35	0.31	0.28	0.26	0.2

Pour la Belgique, les valeurs de Rv choisies dépendent de la température de l'air :

- si Tair entre -5 et 12°C, Rv = 1.5 Clo,
- si Tair entre 12 et 18°C, Rv = 1 Clo,
- si Tair entre 18 et 24°C, Rv = 0.75 Clo
- si Tair entre 24 et 36°C, Rv = 0.5 Clo.

Ainsi, le bilan d'énergie d'une personne peut être finalement calculé en additionnant les différentes composantes analysées en détail dans les pages précédentes.

$$\text{Bilan} = M + \text{Rabs} - \text{Cond} - \text{Conv} - \text{Evap} - \text{Re}$$

où M est l'énergie métabolique du corps humain

Rabs est le rayonnement (solaire et terrestre) absorbé

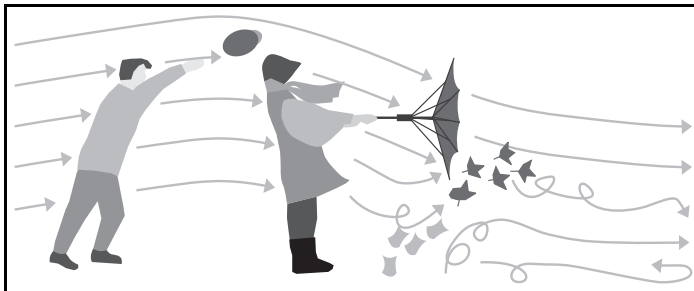
Cond est la perte (ou le gain) de chaleur par conduction

Conv est la perte (ou le gain) de chaleur par convection  
 Evap est la perte de chaleur par évaporation  
 Re est le rayonnement terrestre émis par le corps humain

Cette valeur quantitative du bilan thermique d'une personne à l'extérieur peut alors être évaluée en terme de confort en la comparant aux limites définies dans la méthode COMFA (Brown & Gillespie 1995).

Cette méthode bien qu'elle soit basée sur des approximations nous semble suffisamment précise. Elle est d'autant plus intéressante qu'elle permet d'évaluer l'influence des interactions entre paramètres climatiques sur le confort thermique humain. Par exemple, au cours d'une journée ensoleillée et peu venteuse en hiver, le rayonnement terrestre moyen a la même importance que la température et son importance est encore supérieure en été. Par contre, pour un environnement venteux, la température de l'air a nettement plus d'importance que le rayonnement terrestre parce que les échanges par convection dominent lorsque le vent souffle. Cette méthode de calcul pourrait aussi être programmée dans Excel pour offrir une évaluation du confort quantitatif à l'extérieur permettant de jouer sur les différents paramètres urbanistiques ainsi que sur les données météorologiques d'entrée. Le calcul séparé de chacune des valeurs intervenant dans le bilan énergétique permet de trouver aisément quel est le point crucial à améliorer s'il y a lieu.

### **2.3.2 Les critères quantitatifs du confort par rapport au vent**



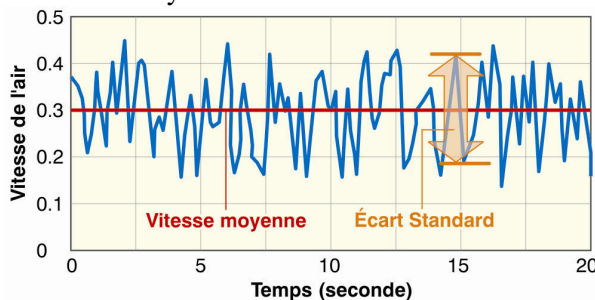
Le vent est le mouvement horizontal de l'air qui tend à équilibrer les zones de pression différente dans l'atmosphère. A faible hauteur (dans les 500 premiers mètres), il présente une turbulence importante. Ainsi, en un point donné, la vitesse du vent va fluctuer en grandeur et en direction.

La vitesse instantanée du vent à la hauteur  $z$  peut s'exprimer sous la forme de la somme de deux termes:

$$V_z(t) = V_z + V_z'(t)$$

Où  $V_z$  est la vitesse moyenne sur une période  $T$

$V_z'(t)$  est la fluctuation de la vitesse au temps  $t$  par rapport à la vitesse moyenne. Cette valeur est variable avec le temps.



(Roulet 2002).

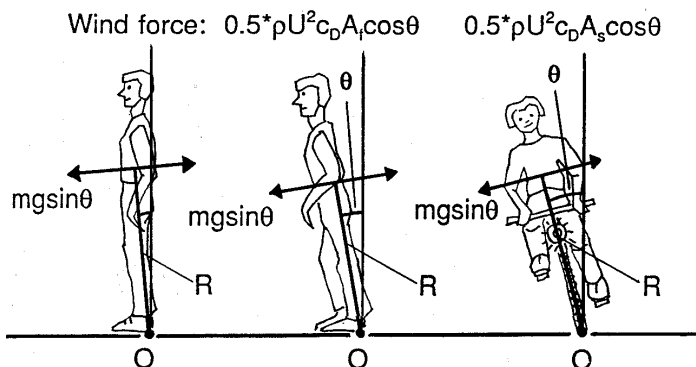
Le confort des piétons est affecté par la vitesse du vent et par sa variabilité dans le temps et dans l'espace. Les échanges thermiques entre l'homme et son environnement sont aussi affectés par le vent. Enfin, le vent exerce une influence indirecte sur le confort des piétons par la dispersion des polluants.

Ce chapitre étudie les effets mécaniques du vent sur les piétons. Les problèmes de confort thermique lié au vent sont traités dans la section sur le confort thermique en zone extérieure (2.3.1). L'influence du vent sur le confort respiratoire est traitée au point suivant (2.3.3).

Les effets observables de **la vitesse moyenne du vent** ont été classifiés par l'Amiral Sir Francis Beaufort, en 1806, pour fournir un moyen d'estimer les conditions de vent en mer. Cette échelle de la force du vent est toujours d'usage à l'heure actuelle. Penwarden a converti cette échelle pour évaluer le vent sur terre au niveau piéton (Penwarden 1973). Le tableau ci-dessous reprend cette « échelle de Beaufort » adaptée par Penwarden qui permet de classifier les types de vent en fonction de leur vitesse à 10m du sol. Nous y avons ajouté les vitesses du vent correspondant à une hauteur de 1.5m, car c'est la hauteur idéale pour mesurer l'effet mécanique du vent sur les piétons.

Type de vent	Nombre de Beaufort	V à 10m (m/s)	V à 1.5 m (m/s)	Effets mécaniques du vent au niveau des piétons
Calme	0	0 à 0.3	0 - 0.28	Calme
Air léger	1	0.4 à 1.5	0.28 à 1.11	La direction du vent est perçue par inclinaison de la fumée
Brise légère	2	1.6 à 3.3	1.11 à 2.5	Le vent est ressenti sur le visage. Les feuilles bruissent.
Brise douce	3	3.4 à 5.4	2.5 à 4.2	Les feuilles sont en mouvement permanent. Le vent étend des drapeaux légers, les cheveux sont dérangés, les vêtements amples claquent au vent.
Brise modérée	4	5.5 à 7.9	4.2 à 6.1	La poussière et les papiers perdus se soulèvent ; les cheveux sont décoiffés, les branches des arbres bougent.
Brise fraîche	5	8.0 à 10.7	6.1 à 8.3	La force du vent est ressentie par le corps. C'est la limite de la possibilité de trouver le vent agréable : marche légèrement perturbée, neige qui s'envole, petits arbres qui plient,...
Brise forte	6	10.8 à 13.8	8.3 à 10.6	Il est difficile de marcher droit, les parapluies sont utilisés avec difficulté, les cheveux volent tout droit, le bruit du vent est désagréable aux oreilles, la neige est emportée au-dessus des têtes (=blizzard), les grandes branches des arbres sont en mouvement.
Vent modéré	7	13.9-17.1	10.6-13.3	Marcher est inconfortable. Tous les arbres plient.
Vent fort	8	17.2-20.7	13.3-16.1	Augmentation générale des causes d'inconfort. Progression pédestre difficile et dangereuse ; difficulté de garder l'équilibre sous les rafales. Les branches des arbres se cassent.
Tempête	9	20.8-24.4	16.1-18.9	Risque réel d'être violemment projeté à terre sous l'effet des rafales de vent

Le schéma ci-dessous montre la force exercée par le vent sur un piéton et un cycliste. Il est utile de retenir que la force exercée sur un piéton ou un cycliste s'accroît avec le carré de la vitesse du vent. Donc, lorsque la vitesse du vent est doublée, la force exercée sur une personne est quadruplée, tripler la vitesse du vent augmente sa force par neuf, etc.



(Bottema 1993)

Pour les cyclistes, des vents de tête de 5 m/s limitent la progression; les vélos ne peuvent plus continuer à rouler lorsque le vent dépasse 10m/s. (Bottema 1993)

Cette introduction sur les effets mécaniques du vent suggère que l'inconfort commence à une vitesse moyenne de 5m/s, avec le soulèvement de la poussière, les papiers qui s'envolent, les vêtements et les cheveux qui claquent. Les vitesses de vent de 8 à 10m/s exercent une force importante sur le corps humain et sont à éviter. Enfin des vitesses de 15 à 20 m/s ou plus présentent de réels risques de danger.

Pour les places et les espaces publics de rencontre, il est donc conseillé que la vitesse du vent reste la plupart du temps inférieure à 5m/s. Cette limite de la vitesse du vent dans les espaces publics a été reconnue par la ville de San Francisco, où une législation impose aux nouveaux bâtiments qu'ils soient construits de telle manière que le vent soit limité à 5m/s au niveau du sol, pendant 90% des heures du jour, dans les zones extérieures publiques de détente (Bosselmann et al. 1988).

En Belgique, les moyennes annuelles de la vitesse du vent mesurées à environ 10m de hauteur sont comprises entre 7m/s dans la zone maritime proche du littoral, 3.8 m/s à Uccle (Bruxelles) et 3m/s dans certaines parties de la Campine limbourgeoise et de la Gaume ainsi que dans la vallée de la Meuse en aval de Liège (Malet 1989). A la Côte, la vitesse du vent est donc nettement plus élevée que dans le reste du pays.

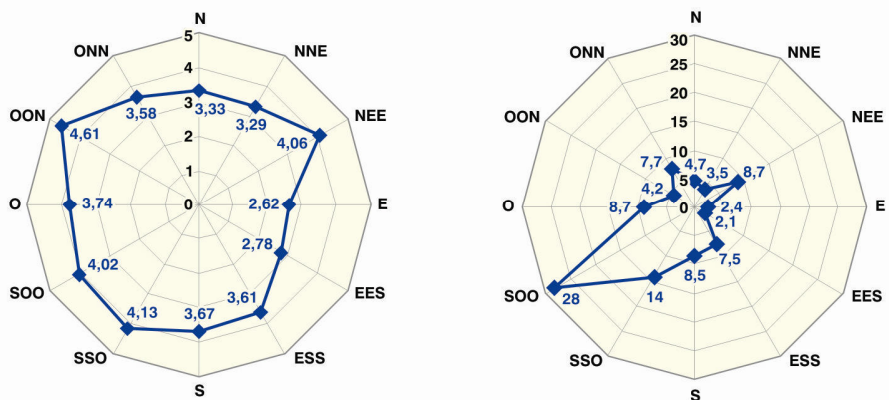
Le tableau ci-dessous donne les fréquences du vent correspondant à six intervalles de vitesses de l'air pour chaque mois, toutes directions confondues à Uccle (Bodeux 1977).

V (m/s)	Fréquence du vent (%)											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0 à 2.5	27.7	30.7	30.5	31.3	40.8	45.0	49.9	46.4	50.3	43.8	36.8	29.7
2.51 à 5.5	33.3	34.1	36	38.1	41.1	41	37.9	38.4	37.6	35.2	34.7	32.5
5.51 à 8	24	20.9	20.1	21.8	14.9	11.5	10.2	12.2	10.2	11.5	18.6	22.8
8.01 à 11	10	9.5	0.9	6.7	2.8	2.1	1.7	2.5	1.4	4.1	6.7	10.2
11.01 à 14	3.6	3.4	3.3	1.8	0.4	0.4	0.2	0.4	0.3	1.2	2.6	3.6
>14	1.3	1.3	1.1	0.2	0	0	0	0	0	0	0.4	1.2

Les fréquences de vents dont la vitesse est supérieure à 5m/s représentent donc un pourcentage relativement élevé du temps en hiver. Pour les mois de décembre, janvier et février réunis, les vents dont la vitesse est supérieure à 5m/s soufflent pendant 37.3% du temps. Ils sont d'une fréquence de 24.7% en mars-avril-mai, de 19% en septembre-octobre-novembre et de 13.7 % en juin-juillet-août.

Par ailleurs, les vitesses de vent inférieures à 2.5 m/s à 10m de haut sont également fort présentes puisqu'elles ont une fréquence minimale de 27.7% en janvier et une fréquence maximale de 50.3% en septembre. Ces vitesses de vent auront une influence très faible sur la dispersion des polluants, ce qui doit être pris en compte du point de vue du confort respiratoire.

Les schémas ci-dessous présentent des roses des vents à Uccle (Bruxelles) pour une année météorologique type. La rose des vents de gauche montre uniquement la vitesse moyenne du vent selon les 12 orientations. On voit que cette vitesse est fort constante et varie entre 2.62 m/s et 4.61 m/s. La moyenne totale de la vitesse du vent à Uccle pour l'année type météorologique est de 3.83 m/s. La rose des vents de droite donne uniquement la répartition en fréquence des 12 orientations du vent (% de temps).



On voit que les vents dominants sont les vents provenant du Sud-ouest (comprenant les vents du SSO et du SOO), c'est-à-dire ayant un angle compris entre 195° et 254° par rapport au Nord, et qu'ils soufflent à une fréquence de 42% du temps.

**La turbulence du vent** est la dispersion de sa vitesse instantanée autour de sa vitesse moyenne ; elle est caractérisée (sur la période T) par l'écart-type  $\sigma$ . L'écart-type est la racine carrée de la moyenne sur la période T du carré des fluctuations de vitesse :  $\sigma = \sqrt{U'^2}$ . La pointe de la vitesse du vent de moyenne V sur la période T peut être évaluée à partir de la formule :  $U_{max} = U + 3,5 \sigma$ .

La variabilité de la vitesse du vent dans le temps et dans l'espace influence fortement le confort des piétons parce qu'elle nécessite une adaptabilité quasi instantanée de l'individu.

Les effets négatifs de rafales de vent à haute vitesse ont été analysés par Melbourne et Joubert en 1971. Melbourne et Joubert ont mesuré la vitesse du vent près d'un bâtiment très élevé en Australie lorsque les piétons luttèrent contre des vents violents. Ils ont observé que des vitesses de rafales de l'ordre de 22 à 28 m/s, associées à une moyenne des vitesses de l'ordre de 12 à 15 m/s, sont suffisantes pour jeter quelqu'un par terre. (Melbourne & Joubert 1971)

La photo ci-dessous montre l'inconfort au vent au pied d'une tour située à la porte de Namur à Bruxelles. Au passage du coin, il est parfois nécessaire de se plier en deux pour avancer malgré le vent...



(Photo : S. Reiter).

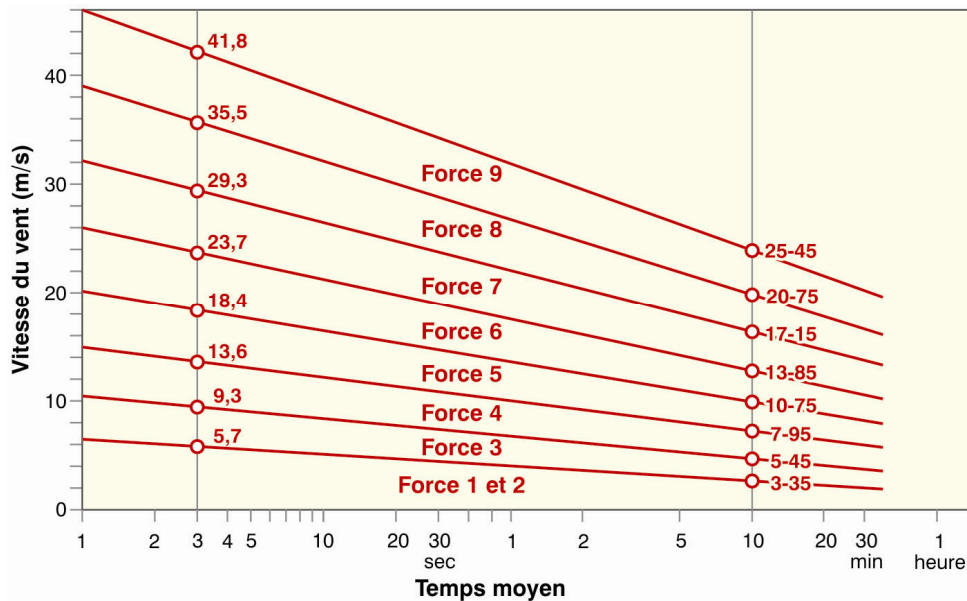
Différents auteurs ont relevé des cas de mort suite à des vents violents en ville, en dessous de bâtiments élevés (plus de 15 étages). Lors de la mort d'une femme en Angleterre, la vitesse moyenne du vent local a été évaluée à environ 15 à 24 m/s au niveau piéton, avec des rafales allant jusqu'à 30m/s près du coin de la tour contre lequel s'est écrasée la malheureuse. La valeur exacte d'insécurité due au vent dépend de l'âge, de la taille et du poids, de l'habillement et de la condition physique de la personne exposée (Murakami et al. 1980). Il faut signaler que même lorsque ces incidents climatologiques ne sont que désagréables pour des personnes d'âge moyen et en bonne santé, elles peuvent être critiques pour des personnes dont l'équilibre est plus difficile; citons notamment les vieilles personnes et les cyclistes.

Toutefois, lorsqu'un vent souffle régulièrement en rafales allant jusqu'à 20m/s, tout le monde semble avoir de fortes difficultés à garder l'équilibre, particulièrement lorsque le vent frappe latéralement. Melbourne et Joubert affirment qu'il est beaucoup moins difficile de se tenir debout sous une vitesse de vent stable élevée que pour un vent de même vitesse moyenne, dont la vitesse de flux habituelle est plus faible mais qui présente des piques de vitesses turbulentes plus élevées: c'est la nature aléatoire de la turbulence qui renverse le plus souvent les piétons (Melbourne & Joubert 1971). D'autres études ont confirmé par la suite cette conclusion (Bottema 2000). On peut donc affirmer que les personnes sont plus affectées par des vents spatialement non uniformes et par les turbulences temporaires du vent que par des vents uniformes même s'ils sont plus forts. Bottema affirme que les effets d'un vent non uniforme correspondent environ aux effets d'un vent uniforme dont la vitesse serait égale à la vitesse maximale du vent non uniforme multipliée par un facteur 1.5, c'est-à-dire  $U=1.5*U_{max}$  (Bottema 1993).

L'aménagement du territoire et la présence de bâtiments changent non seulement la vitesse du vent mais aussi sa turbulence, de telle sorte qu'on peut dépasser un nombre de Beaufort soit par une vitesse de vent moyenne élevée soit par une forte turbulence. Notons qu'à Uccle, le rapport de la pointe maximale du vent à sa vitesse moyenne bihoraire vaut en moyenne 1,9 et qu'en outre la durée d'un coup de vent  $t_g$  est de l'ordre de 2 secondes (Sneyers 1980).



L'approche utilisée par le "Département of Aeronautical Engineering" de l'université de Bristol, décrite par Lawson, associe des niveaux de turbulence à la classification de la force du vent par Beaufort. Pour un vent de chaque classe de Beaufort, supposé avoir la même structure qu'en rase campagne, le diagramme ci-dessous donne les vitesses maximales de vent, variant en fonction du temps pendant lequel les mesures sont moyennées. Par exemple, un vent de force Beaufort 4 correspond non seulement à un vent de vitesse moyenne de 5.45 à 7.95 m/s pour une moyenne effectuée sur 10 minutes mais aussi des pointes maximales de vitesse de 9.3 à 13.6 m/s pour des rafales de vent dont la moyenne est réalisée sur 3 secondes (Lawson 1973).



Variation des limites de l'échelle de Beaufort en fonction de la vitesse du vent et de son temps d'évaluation (Lawson 1973).

La correspondance entre  $\sigma$  et la vitesse moyenne de référence s'exprime par la formule suivante :  $\sigma = I U_{ref}$

Où  $\sigma$  est l'écart-type de la vitesse instantanée (m/s)

$I = \sigma / U$  est l'intensité de turbulence.

$U_{ref}$  est la vitesse moyenne de référence (m/s).

Le tableau ci-dessous donne des valeurs typiques de l'intensité de turbulence en fonction de l'aménagement du sol. Par exemple, l'intensité de turbulence vaut 0.4 au centre de Bruxelles, 0.3 pour la commune de Woluwé (en périphérie de Bruxelles) et 0.25 dans les lotissements du Brabant wallon (ville diffuse).

Terrain	Mer, lac,...	Rase campagne	Bocage, Banlieue peu dense	Tissu suburbain	Zone urbaine	Centre ville
Intensité de turbulence	0.17	0.2	0.22	0.25	0.3	0.4

(Gandemer & Guyot 1981 ; Folcher 1990)

Dans de nombreuses études, l'intensité de turbulence était considérée comme constante. Or, par sa définition, l'intensité de turbulence  $I$  dépend de la vitesse

moyenne  $V$  du vent, qui varie fort en fonction du type de terrain et de la présence d'obstacles. Elle ne peut donc en aucun cas être considérée constante.

Les données de turbulence sont rares dans la littérature. Des mesures précises de l'intensité de turbulence d'un flux d'air nécessitent l'utilisation d'un Laser Doppler dès que l'intensité de turbulence risque de dépasser les 30%. Les mesures de Bottema par Laser Doppler montrent que les variations de la turbulence ( $\sigma_u$ ) autour d'un obstacle sont nettement plus faibles que les variations de vitesse moyenne du vent. Donc, pour une toute première approximation, on peut prendre  $\sigma_u$  constante. En estimant que le  $\sigma_u$  local est égal à celui mesuré à la station météo, l'erreur relative sur l'intensité de turbulence est d'environ 15% (Bottema 1993) Cette comparaison n'est toutefois valable que pour des climats semblables à ceux de Amsterdam, ce qui est le cas de la Belgique.

Dans de très nombreuses publications, une **vitesse du vent effective** est utilisée pour prendre en compte cet effet de turbulence sur le confort des personnes:  $U_e = U + k \sigma_u$

où  $U$  est la moyenne des vitesses du vent,

$k$  un facteur de pointe constant,

$\sigma$  est la déviation standard des fluctuations de la vitesse du vent.

Le grand problème dans la conversion des vitesses de rafales en vitesses de vent équivalentes est l'estimation du facteur de pointe  $k$ . Lorsque la durée de turbulence  $t_g$ , la moyenne de temps total  $T_{av}$  et la fonction de probabilité de la densité de la vitesse du vent sont connus, on peut déterminer  $k$ . Malheureusement, aucune expression universelle valide de cette probabilité n'est connue. Ainsi, le facteur de pique  $k$  varie considérablement entre 0 et 4 selon les auteurs.

### Les critères de confort

Un critère de confort est la combinaison d'une limite d'inconfort et de sa probabilité maximale acceptable. La limite d'inconfort définit la limite à partir de laquelle le vent commence à devenir déplaisant pour une activité déterminée; la limite de danger définit la limite à partir de laquelle le vent devient dangereux. Il existe de très nombreux critères de confort dans la littérature.

On peut répartir les multiples limites d'inconfort rencontrées dans la littérature en trois groupes, en fonction de leur caractérisation du vent à l'aide des trois paramètres suivants :

- la vitesse moyenne du vent  $\bar{U}$  ,
- la vitesse de rafale ou turbulence de pointe  $\hat{U}$  ,
- la vitesse effective :  $U_e = U + k \sigma$  (avec  $k$  compris entre 1 et 4)

Le tableau ci-dessous donne un aperçu des principaux critères d'inconfort au vent, classés en fonction de leur domaine d'application. (Gandemer 1976, Isyumov & Davenport 1975, Lawson 1978, Visser 1980, Beranek 1984, Melbourne 1978, Murakami et al. 1986, Lawson & Penwarden 1975, Bottema 2000). Il ressort de ce tableau que le critère de confort pour les activités courantes et le critère de sécurité (destiné à supprimer les risques de danger) sont deux critères qui doivent être choisis séparément.

Domaine d'application	Limites d'inconfort	Probabilité maximale acceptable	Auteur
Rester debout/assis pendant une longue durée	$U + \sigma_u > 6 \text{ m/s}$	2%	Gandemer
	$U > 3$ Beaufort	0.14%	Isyumov & Davenport
	$U > 3$ Beaufort	4%	Lawson
	$U > 5 \text{ m/s}$	0.03%	Visser
	$\hat{U}_3 > 10 \text{ m/s}$	1 heure par an	Beranek
	$U + 3.5 \sigma_u > 10 \text{ m/s}$	1 heure par an	Melbourne
Rester debout ou assis pendant une courte durée	$U + \sigma_u > 6 \text{ m/s}$	10%	Gandemer
	$U > 4$ Beaufort	0.14%	Isyumov & Davenport
	$U > 4$ Beaufort	4%	Lawson
	$U > 5 \text{ m/s}$	1.37%	Visser
	$\hat{U}_3 > 15 \text{ m/s}$	1 heure par an	Beranek
	$U + 3.5 \sigma_u > 13 \text{ m/s}$	1 heure par an	Melbourne
	$\hat{U}_3 > 9 \text{ m/s}$	10%	Murakami et al.
Se promener, flâner, patiner	$U + \sigma_u > 6 \text{ m/s}$	15%	Gandemer
	$U > 5$ Beaufort	0.14%	Isyumov & Davenport
	$U > 5$ Beaufort	2%	Lawson
	$U > 5 \text{ m/s}$	9.6%	Visser
	$\hat{U}_3 > 20 \text{ m/s}$	1 heure par an	Beranek
	$U + 3.5 \sigma_u > 16 \text{ m/s}$	1 heure par an	Melbourne
	$\hat{U}_3 > 13.5 \text{ m/s}$	3.6%	Murakami et al.
	$U > 5 \text{ m/s} (*)$	15%	Lawson & Penwarden
Marcher rapidement	$U + \sigma_u > 6 \text{ m/s}$	22 à 26%	Bottema
	$U > 6$ Beaufort	0.14%	Isyumov & Davenport
	$U > 6$ Beaufort	2%	Lawson
	$U > 5 \text{ m/s}$	20.5%	Visser
	$\hat{U}_3 > 25 \text{ m/s}$	1 heure par an	Beranek
	$\hat{U}_3 > 13.5 \text{ m/s}$	7%	Murakami et al.
Risque de danger	$U > 7$ Beaufort	0.14%	Isyumov & Davenport
	$U + 3.5 \sigma_u > 23 \text{ m/s}$	1 heure par an	Melbourne
	$U + 3\sigma_u > 20 \text{ m/s}$	0.18 à 0.044% (= 4h/an)	Bottema

(\*) = Limite à laquelle les commerçants commencent à utiliser des remèdes pour réduire le vent aux abords de leurs magasins.

Il faut encore signaler une méthode un peu plus complexe : la moyenne équivalente (processus GEM : gust equivalent mean). Cette méthode a déjà été appliquée par Lawson (Lawson 1990), par Durgin (Durgin 1997) et Soligo (Soligo et al. 1998). En résumé, ce critère tient compte à la fois de la moyenne des vitesses du vent et plusieurs valeurs de turbulence. Chacune de ces valeurs étant pondérée, la valeur la plus élevée est alors prise en considération pour évaluer le niveau de confort. Ces différents auteurs ne choisissent toutefois pas les mêmes valeurs de pondération pour la sélection des critères. Leur conclusion est que lorsque des vents sont très turbulents, il s'agit de la valeur de rafale qui est la plus importante alors que pour des vents moins turbulents, c'est la valeur moyenne du vent qui prédomine.

Ces réflexions nous poussent à conclure qu'il peut être judicieux de choisir un couple de deux critères dont l'un est adapté aux rafales ou vitesses de pointe du vent et concerne davantage le danger des personnes alors que l'autre évalue les situations quotidiennes et correspond donc plutôt à un critère de confort pour effectuer différentes activités.

Il est très difficile de comparer les critères de ces multiples références pour plusieurs raisons :

- parce qu'il n'est pas toujours clair de savoir à quelle hauteur ces critères sont déterminés (entre 1.5 et 2m de haut). Notons d'ailleurs que de nombreux auteurs ont choisi 2m, ce qui se trouve au-dessus de la tête de la majorité des personnes. Nous recommandons d'évaluer le confort au vent à 1.5 m de haut, ce qui correspond davantage au vent que l'on reçoit directement contre soi.
- parce que les limites d'inconfort trouvées dépendent fort du type d'activité. Notons que, dans la liste des critères de confort donnés, deux limites d'inconfort sont valables pour toutes les activités humaines mais selon des probabilités maximales différentes en fonction de l'activité:
  - $U + \sigma_u > 6\text{m/s}$  (critère de Gandemer + Bottema)
  - $U > 5\text{m/s}$  (critère de Visser + Lawson & Penwarden)
- parce qu'un seuil de gêne ne représente rien en soi si on ne lui associe pas une fréquence d'inconfort, à savoir le paramétrage du temps pendant lequel le seuil est atteint ou dépassé et que les probabilités d'occurrence des vents sont un peu incertaines.

Les données de Murakami (observations réalisées sur 2000 personnes) montrent qu'en-dessous de 20% d'intensité de turbulence, les personnes ne perçoivent pas la turbulence (Murakami et al. 1986). Durgin, lui, a trouvé que lorsque l'intensité de turbulence est inférieure à 20% en un point, la vitesse moyenne du vent est un paramètre suffisant pour caractériser le confort des piétons mais que pour les zones où la turbulence est supérieure à 20%, il est important de tenir compte des valeurs de turbulence (Durgin 1997).

D'autre part, en zone urbaine, l'augmentation de la turbulence induite par les constructions pose des problèmes sérieux. Ainsi, considérant l'importance que peuvent avoir les paramètres de la vitesse moyenne du vent ( $U$ ) et de sa turbulence, il nous semble logique d'exprimer la gêne due au vent sous la forme d'un paramètre qui prenne ces deux éléments en compte. Le choix de la vitesse effective nous semble le paramètre le plus approprié: lorsque la turbulence est faible (<20%) la vitesse effective est très proche de la vitesse moyenne du vent alors que pour des valeurs supérieures de turbulence la vitesse effective intègre réellement l'influence de la turbulence. Notre choix se porte donc sur le paramètre de sélection suivant :  $U_e = U + k \sigma$ . Pour ce critère de confort, plusieurs opinions différentes existent sur la valeur la plus appropriée de  $k$ , dans l'intervalle de 1 à 4. Le choix de  $3 < k < 4$  implique que l'élément le plus important pour le confort est la turbulence de pointe occasionnelle. Les valeurs plus faibles de  $k$  indiquent que le confort dépend surtout des conditions habituelles de vent.

De ce qui a déjà été présenté ci-dessus, on peut déduire qu'il n'est pas judicieux de prendre une même valeur de  $k$  pour déterminer la limite de confort des piétons en situations habituelles et la limite de sécurité qui dépend évidemment de cas extrêmes. De manière intuitive, la limite de confort des piétons nécessite une valeur de  $k$  faible puisqu'il s'agit surtout de l'importance de la vitesse du vent et des

turbulences habituelles. Par contre, puisque ce sont les rafales de vent aléatoires qui renversent le plus souvent les personnes, le facteur  $k$  devrait être plus élevé pour le critère de sécurité afin de tenir réellement compte de la pointe de vent occasionnelle.

Jackson a effectué des enquêtes dans une rue venteuse de Wellington en Nouvelle Zélande. Sur 6 jours pendant lesquels la vitesse moyenne du vent varie entre 2 et 6m/s et l'intensité de turbulence ( $I$ ) entre 17 et 55%. Septante passants ont été questionnés sur leur sensation de confort et sur les conditions météorologiques extérieures (Jackson 1978). Cette étude nous semble spécialement importante parce qu'elle se base sur des cas réels et pas sur des études en tunnel à vent. Jackson a ensuite mêlé ses résultats avec des résultats de Hunt réalisés en tunnel à vent. Cependant, une régression effectuée par Bottema sur les résultats de Jackson (séparés de ceux de Hunt) donne un facteur  $k$  entre 0.9 et 1.3 (Bottema 2000). Les données de Hunt réalisées en tunnel à vent ont été écartées parce qu'elles ont été réalisées pour des intensités de turbulence de 0 à 12%, ce qui est trop faible pour évaluer le vent dans un environnement construit réel. Si on pondère ces résultats en tenant compte de la valeur habituelle de la turbulence atmosphérique (20 à 30 %), le  $k$  provenant des études de Hunt vaudrait environ 1. Il nous semble donc justifié de prendre pour  $k$  la valeur de 1, ce qui donne l'expression  $U + \sigma_u$  comme limite d'inconfort.

D'autre part, en introduisant comme seuil de l'inconfort les valeurs communément admises suivantes:

- $U \leq 5$ m/s, début des manifestations déplaisantes (soulèvement de poussières, cheveux décoiffés,...), limite à laquelle les commerçants commencent à utiliser des remèdes pour réduire le vent aux abords de leurs magasins (Lawson & Penwarden 1975) et limite choisie dans la législation de San Francisco (Bosselmann et al. 1988),

et

- $\sigma = 1$ m/s correspondant à la turbulence qui règne au niveau du sol en rase campagne (intensité de turbulence 20%) pour une vitesse moyenne de 5m/s,

la condition de confort à respecter s'écrit:  $U + \sigma \leq 6$ m/s (ce qui correspond au critère trouvé par Gandemer et choisi par Bottema) .

Inévitablement, le choix d'une **limite de confort** est quelque peu subjectif, un choix raisonnable est en tous cas celui-ci :  $U + \sigma_u \leq 6$ m/s.

En première approximation, nous avons vu que nous pouvons considérer que  $\sigma_u$  est constant et égale au  $\sigma_u$  de la station météo. Nous validons donc la limite de confort suivante **pour une évaluation rapide du confort au vent :  $U \leq 5$ m/s**. Cette formule est légèrement moins précise que la précédente mais présente l'avantage d'une grande simplicité, ce qui peut être vraiment intéressant lors de la phase d'évaluation d'un avant projet. Ce critère a déjà été très largement utilisé dans la littérature (Visser + Lawson, Penwarden, Wise,...)

Il y a relativement peu de données et de limites fixées pour la sécurité des personnes vu la difficulté de réaliser ce genre d'études.

La limite de danger de Melbourne,  $U + 3.5\sigma_u > 23$ m/s (Melbourne 1978), est souvent citée mais elle ne s'applique qu'à des personnes jeunes et en forme. Les personnes âgées ont un moins bon équilibre et pour elles il faut donc un critère plus sévère.

De plus, ces personnes ont plus de risque d'être blessées si elles tombent par terre. Ajoutons également que les cyclistes font également partie des personnes qui ont un moins bon équilibre et pour qui ce critère n'est pas assez fort.

Il a été montré que des rafales d'une durée  $t_g$  de 0.5 à 10 s sont les plus critiques. Les premiers effets (cheveux décoiffés,...) notés par le vent apparaissent pour des vitesses de rafales  $U_g$  d'environ 5m/s. Plus la vitesse de vent augmente, plus les effets du vent sur l'équilibre de la marche augmentent, causant du danger pour les personnes âgées pour  $U_g > 15\text{m/s}$  et pour les personnes d'âge moyen pour  $U_g > 20\text{m/s}$ .

L'article de Jackson déjà cité permet de retirer différentes valeurs des effets du vent sur les personnes. De grandes difficultés d'équilibre pour des personnes d'âge moyen et en bonne santé commencent lorsque les rafales de vent dépassent 20m/s avec une durée type de la rafale d'environ 3secondes. En simulant une répartition de turbulence de Gauss, on obtient pour une durée d'une heure: un facteur  $k$  légèrement supérieur à 3. Notre choix se porte donc sur le critère de danger de Bottema :  $U + 3\sigma_u > 20\text{m/s}$ , plus sévère que celui de Melbourne. Pour une intensité de turbulence de 20%, ce critère est en accord avec le fait de limiter la vitesse du vent en-dessous de 8 Beaufort. Il faut rappeler qu'à partir de 8 Beaufort, on a des grandes difficultés d'équilibre et à partir de 9 Beaufort les personnes sont jetées à terre. Notons aussi qu'à partir de 9 Beaufort, les pertes d'équilibre ne sont plus le seul danger: des tuiles tombent des toits, de grosses branches d'arbre sont emportées par le vent,...

**Notre choix des limites de confort et de sécurité des piétons se portent donc sur les deux équations suivantes :**

- **confort :  $U + \sigma_u \leq 6\text{m/s}$  ou en première approximation  $U \leq 5\text{m/s}$**
- **sécurité :  $U + 3 \sigma_u \leq 20\text{m/s}$**

Toutefois, un critère d'inconfort complet doit être défini en fonction d'une probabilité maximale permise. Les probabilités de l'inconfort et du danger sont définies comme le pourcentage de temps pendant lequel les critères d'inconfort et de danger sont dépassés. Le choix de la probabilité maximale de temps d'inconfort permis est probablement la partie la plus délicate de cette étude.

Gandemer donne les valeurs limites suivantes comme fréquence admissible pour le dépassement des vitesses de vent confortables (Gandemer 1982).

Activités	Fréquence d'inconfort admissible
Station immobile prolongée (place, terrasse de café,...)	5%
Station immobile courte (aire de jeux, rue commerçante, galerie,...)	10%
Marche normale (promenade pédestre, passage piétonnier, entrée d'immeuble,...)	15%
Marche rapide (Parkings, trottoirs,...)	25%

Penwarden et Wise assurent que les zones commerciales où la fréquence d'une vitesse de vent inconfortable dépasse 20% du temps correspondent de manière générale aux lieux où des aménagements coûteux ont été réalisés par les commerçants pour améliorer la situation. Lorsque les vitesses de vent dépassent la

limite de confort de 10 à 20% du temps, les plaintes sur l'environnement au niveau du vent peuvent survenir après la construction. En dessous d'à peu près 10% de temps de dépassement de la limite de confort, il ne risque plus d'y avoir de plainte. Ces pourcentages ont été étudiés pour des zones commerciales extérieures mais peuvent être étendus à toute zone extérieure de flâneries avec des moments d'arrêt occasionnels, ce qui correspond bien à la limite choisie par Gandemer comme fréquence de confort pour une station immobile courte.

Dans le cas de situations dangereuses, la résolution est plus simple : il est habituel de considérer qu'aucune turbulence ou vitesse de vent équivalente ne doit dépasser la limite de danger pendant une heure par an.

**Notre choix se porte sur les deux critères de confort suivants :**

- **inconfort :  $P(U + \sigma_u > 6\text{m/s}) < P_{\text{max}}$  , avec  $U$  vitesse moyenne horaire à 1.5 m du sol et  $U + \sigma_u$  est la vitesse de vent effective.  $P_{\text{max}}$  est une probabilité maximale de 5% pour un long séjour immobile, de 10% pour un court séjour immobile et de 15% pour flâner.**
- **danger :  $P(U + 3\sigma_u > 20\text{m/s}) < P_{\text{max}}$ , où  $P_{\text{max}} = 1 \text{ heure/an} = 0.01 \%$ . Le terme  $U + 3\sigma_u$  correspond à vitesse effective pour une turbulence maximale mesurée en une heure par moyennes de 3 secondes de mesures.**

L'évaluation de probabilités implique que les statistiques de vent à long terme sont connues. Il est donc nécessaire de relier la moyenne des vitesses de vent locales et les conditions locales de turbulence d'un site aux mesures statistiques de la station météorologique la plus proche.

En général, le dépassement d'une certaine vitesse de vent peut être évalué à partir de la distribution de Weibull, définie par :

$$P(U > U_0) = \exp[-(U_0/U_r)^k]$$

où  $P(U > U_0)$  est la probabilité que  $U$  dépasse  $U_0$ ,

$U$  est la vitesse du vent,

$U_0$  est la vitesse du vent limite,

$U_r$  est l'échelle de la vitesse de vent de Weibull qui peut être remplacée par la vitesse moyenne du vent

$k$  est un facteur de forme qui tourne autour de 2 (Melbourne 1978).

Cependant, une distribution simple de Weibull ne couvre généralement pas les données réelles du vent sur toute la gamme des probabilités. Donc, en pratique, le calcul est souvent réalisé à partir des statistiques de vent de la station météorologique locale.

Nous avons analysé les données statistiques du vent en Belgique à partir d'une année météorologique type élaborée par l'IRM sur base des données météorologiques d'Uccle (Bruxelles). Nous en avons tiré le tableau et les graphes ci-dessous.

Pour réaliser un calcul précis, nous donnons ci-dessous le tableau de valeurs de la fréquence de dépassement (%) de la vitesse du vent à Uccle en fonction de son orientation. Les schémas qui suivent représentent de manière graphique ces fréquences de dépassement des vitesses de vent à Uccle (Bruxelles).

**Fréquence de dépassement (%) de la vitesse du vent Umétéo, max en fonction de son orientation pour Uccle ( Bruxelles)**

Vent (m/s)	Orientation du vent											
	N	NNE	NEE	E	EES	ESS	S	SSO	SOO	O	OON	ONN
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0,1	99,8	100	100	100	100	100	99,9	100	100	100	100	100
0,2	99,5	100	100	100	100	100	99,7	100	100	100	100	100
0,3	99,5	100	99,9	100	100	100	99,7	100	100	99,9	99,4	100
0,4	99,5	100	99,9	100	100	100	99,6	100	100	99,9	99,4	100
0,5	98,3	100	99,9	100	100	99,4	99,5	100	99,9	99,3	99,4	99,8
0,6	97,8	99	99,5	99	100	97,3	99,2	99,5	99,8	98,4	98,9	98,8
0,7	97,1	97,4	99,5	98,1	99,4	96,2	98,5	99,3	99,5	97,1	98,6	97,6
0,8	97,1	95,8	99,5	98,1	98,3	95,4	98,2	99	99,3	96,8	98,6	96,7
0,9	96,6	95,8	99,2	97,1	98,3	95,1	97,6	98,9	99,1	96,7	98,6	96,1
1	96,6	95,4	98,7	95,2	96,7	93,9	97	98,2	98,2	95,5	97,3	93,9
1,1	95,9	93,5	98,15	91,4	93,9	93,3	96,8	97,5	97,1	93,4	95,9	92,6
1,2	95,9	93,2	97,6	90,5	93,9	93,3	96,5	97,5	97	93,3	95,9	92,4
1,3	95,4	91,2	96,3	88,1	91,7	92,9	95,4	96,4	96,3	92,2	95,6	91
1,4	94,2	88,6	95,5	86,7	91,1	91,2	94,4	95,7	95,2	91,2	93,7	88,7
1,5	94	88,6	95,2	86,7	91,1	90,7	93,8	95,6	95	91,2	93,2	88,7
1,6	92,5	87	93,4	84,8	89,4	89,7	91,6	94,5	93,9	89,7	92,7	87,7
1,7	91,3	85,7	91,9	81,4	86,1	88,6	89	92,6	92	88,6	91,3	86,1
1,8	89,6	83,8	90,6	77,6	84,4	86,9	87	90,8	90,6	86,7	90,7	84,2
1,9	88,9	82,5	90	76,2	82,8	85,9	85,7	89,1	89,8	86,3	90,5	83,6
2	87	79,9	88,5	75,2	80	83,6	84,2	88,5	88,8	85,4	89,7	82,8
2,1	84,3	72,7	86,7	72,4	73,9	80,7	80,8	86,4	86,5	82,9	88,6	81,2
2,2	81,1	72,7	84	67,1	68,9	76,7	75,2	83,9	81,5	79,2	84,8	80,2
2,3	80,9	72,7	84	66,2	68,3	76,4	75	83,8	81,3	79,1	84,5	79,9
2,4	77,5	70,1	81	61,9	60,5	72,5	71,7	80,7	77,9	75,7	81,8	76,9
2,5	74,15	64,9	78,2	59,5	57,2	68,5	68,1	78,8	75,3	72,7	80,7	75
2,6	74,15	64,9	78,1	58,6	57,2	68,2	68,1	78,4	74,7	72,7	80,7	74,7
2,7	69,3	60,7	73,9	53,8	53,3	64,9	66,5	76,4	71	69,1	78,8	70,8
2,8	66,4	56,2	70,6	46,2	42,8	61,5	63	73,4	66,7	66,5	75,2	67,9
2,9	65,2	55,5	70,3	46,2	41,7	61,2	62,5	72,8	66	66,4	75	67,4
3	60,4	51,3	66,5	38,1	37,8	59	59,3	70	63,5	63,1	73,9	64,2
3,1	57,2	47,7	62,9	33,3	32,8	57,1	55,9	67,4	60,8	59,3	71,1	60,7
3,2	51	43,5	59,9	23,8	28,3	54,7	52,5	64,5	58	56,5	69,3	55,3
3,3	47,3	40,3	57,8	18,1	25,5	51,5	49,1	62,7	55,5	52,3	67,7	53,4
3,4	47,1	40,3	57,4	17,1	24,4	50,6	48,7	61,8	54,9	52,2	67,1	52,8
3,5	43,5	36	55,3	11,4	22,8	48	45,1	58,6	52,2	49,8	64,1	49,5
3,6	39,8	34,4	52,1	9	20	45,9	42,6	55,8	49,8	47,1	63	45,6
3,7	39,8	34,3	52	9	19,4	45,9	42,6	55	49,5	47	63	45,3
3,8	35,7	30,5	49,3	7,6	16,7	43,5	39,1	52,3	47,4	44,4	59,8	42,3
3,9	31,1	27,3	47	4,3	13,3	40,6	36,8	49,7	44,9	40,7	58,1	39,8
4	29,9	26,9	46,83	3,8	13,3	40,1	36,5	49,1	44,6	40,3	56,8	38,6
4,1	25,8	25,6	44,8	1,4	10,5	38,4	34,5	47	42,2	37,7	54,9	36,1
4,2	22,2	23,7	43,1	0,95	6,7	35,7	32,3	44,9	39,5	34,7	52,2	32,8
4,3	19,08	21,7	40	0,95	5	32,8	30	42,2	36,9	32,7	50,5	29,7
4,4	13,5	19,48	35,9	0,5	4,4	30,1	28,2	39,7	34,2	30	48,6	26,6
4,5	13,3	19,48	34,6	0,5	3,9	29,33	28	38,6	33,6	29	48,4	25,4
4,6	11,1	18,2	34,3	0	3,9	27,5	25,6	35,4	31,1	26,7	46,5	22,8



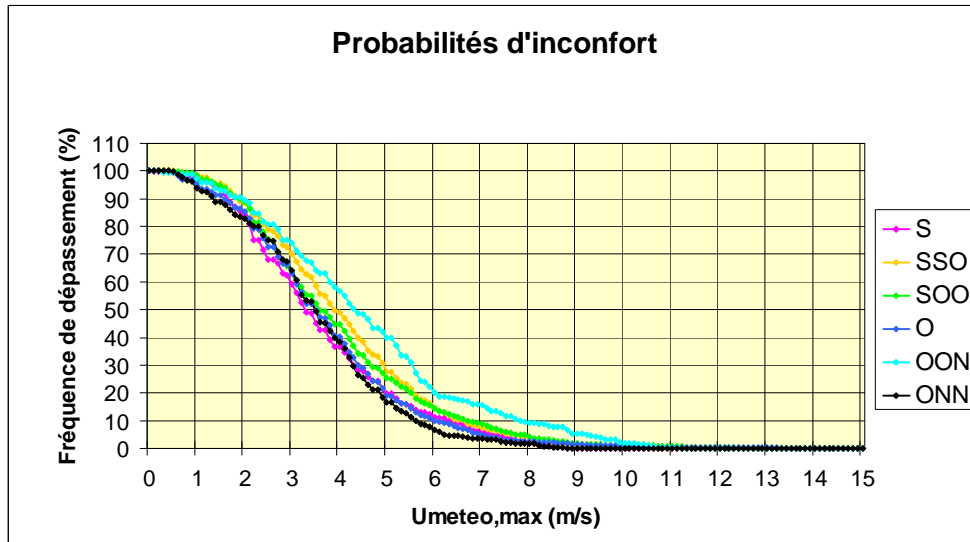
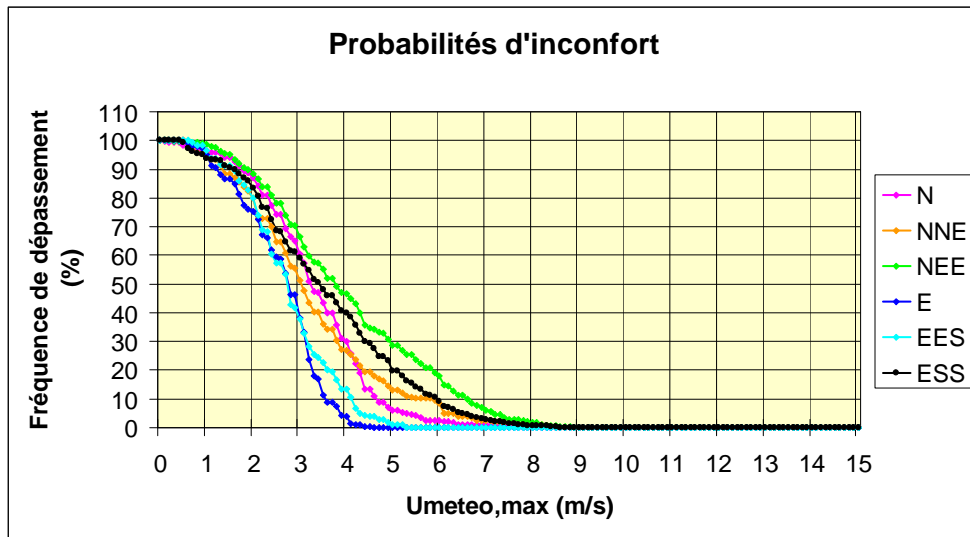
Conception des ambiances urbaines

4,7	8,9	16,9	33,1	0	2,8	24,9	24,2	33,7	29,3	24,4	43,2	21
4,8	8,9	16,2	33	0	2,8	24,6	24,2	33	29	24	43,2	21
4,9	7	14,6	30,9	0	1,7	23,5	21,5	30,6	27,1	21,4	41,8	18,2
5	6	13	28,6	0	1,1	19,9	19,7	27,6	25,5	19	39,7	16,7
5,1	6	13	28,6	0	1,1	19,9	19,7	27,4	25,2	18,8	39,7	16,6
5,2	5,3	12	26,8	0	1,1	18,2	18,1	25,4	23,6	17,1	36,9	14,6
5,3	4,8	11	25,5	0	0	16,1	16,33	23,7	22,1	16,3	33,4	13,3
5,4	4,6	10,7	25,3	0	0	15,6	16	23,1	21,5	15,8	33,1	12,7
5,5	4,3	10,4	23,6	0	0	14,1	15,1	21,6	20,2	14,4	31	11,4
5,6	3,6	10,4	22,2	0	0	13,4	13,8	19,2	18,1	13,1	27,2	9,9
5,7	2,6	10,1	20,7	0	0	11,7	13,2	17,6	16,9	11,9	24,2	8,9
5,8	2,6	10,1	20,7	0	0	11,4	13,1	17,1	16,2	11,8	23,9	8,3
5,9	2,6	9,4	19,1	0	0	10,6	12,3	16,3	15,5	10,8	22,3	7,7
6	2,6	8,4	18,1	0	0	9,1	11,4	14,5	14,6	10	20,1	6,8
6,1	2,2	4,9	14,8	0	0	7,4	11,1	13,4	13,4	9,5	18,75	5,9
6,2	2,2	4,9	14,5	0	0	7	10,8	13	13,2	9,3	18,75	5
6,3	1,7	4,9	12,8	0	0	6,2	9,8	12,1	12,2	8,7	18,2	4,7
6,4	1,2	3,9	11,3	0	0	5,3	9,4	10,7	11,5	8	17,9	4,7
6,5	1,2	3,9	11,2	0	0	5	9	10,3	11,2	7,5	17,7	4,6
6,6	1,2	3,9	9,8	0	0	4,5	8,3	10,1	10,5	7	17,4	4,4
6,7	1,2	3,6	8,6	0	0	3,9	7,6	8,9	10	6,6	16,8	4
6,8	1,2	2,6	7,8	0	0	3,6	6,7	8,4	9,4	5,5	16	3,4
6,9	1,2	2,6	7	0	0	3,3	6,4	8,2	9,2	5,4	16	3,4
7	1	2,3	5,9	0	0	2,7	5,9	7,5	8,9	5,1	15,5	3,4
7,1	0,7	2,3	5,5	0	0	2,4	5,2	7	8,1	4,2	14,4	3,2
7,2	0,7	1,9	4,5	0	0	2,1	5,1	6,6	7,3	3,8	13,3	3,2
7,3	0,7	1,9	4,5	0	0	2	4,9	6,5	7,2	3,8	13,3	3
7,4	0,7	1,6	3,6	0	0	1,7	4,5	6	6,5	3,3	12,8	2,4
7,5	0,5	1,3	3	0	0	1,5	3,9	5,4	5,9	2,8	11,7	2,2
7,6	0,5	1,3	3	0	0	1,4	3,7	5,4	5,8	2,8	11,7	2,2
7,7	0,5	1,3	2,9	0	0	0,9	2,9	4,6	5,1	2,8	10,6	1,9
7,8	0,5	1	2,4	0	0	0,9	2,7	4,4	5	2,5	9,8	1,8
7,9	0,5	1	2,2	0	0	0,8	2,1	4,2	4,8	2,5	9,5	1,8
8	0,2	1	1,8	0	0	0,8	1,9	3,7	4,2	2,4	9,2	1,6
8,1	0,2	1	1,6	0	0	0,6	1,6	3,3	3,7	2,4	9	1,6
8,2	0	1	1,2	0	0	0,6	1,2	2,8	3,4	2,2	8,7	1
8,3	0	0,6	0,8	0	0	0,6	1,1	2,3	3,1	2,2	8,7	0,7
8,4	0	0,3	0,8	0	0	0,4	0,9	2,2	3	2,1	8,1	0,6
8,5	0	0	0,8	0	0	0,4	0,9	1,9	2,7	2	7,6	0,3
8,6	0	0	0,3	0	0	0,1	0,7	1,5	2,4	1,8	7,6	0,3
8,7	0	0	0,3	0	0	0,1	0,5	1,4	2,3	1,8	7,6	0,3
8,8	0	0	0,3	0	0	0	0,5	1,2	2,1	1,8	6,8	0,1
8,9	0	0	0,1	0	0	0	0,1	0,9	1,9	1,4	5,4	0
9	0	0	0,1	0	0	0	0,1	0,9	1,7	1,4	5,4	0
9,1	0	0	0,1	0	0	0	0,1	0,8	1,5	1,4	5,2	0
9,2	0	0	0,1	0	0	0	0,1	0,8	1,5	1,2	4,9	0
9,3	0	0	0	0	0	0	0,1	0,8	1,4	1	4,6	0
9,4	0	0	0	0	0	0	0	0,7	1,4	1	4,1	0
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0,6	1,3	1	3,8	0
9,6	0	0	0	0	0	0	0	0,4	1,2	1	3	0
9,7	0	0	0	0	0	0	0	0,4	1,2	0,9	3	0
9,8	0	0	0	0	0	0	0	0,4	1,2	0,9	3	0
9,9	0	0	0	0	0	0	0	0,4	1,1	0,6	2,2	0

Conception des ambiances urbaines

10	0	0	0	0	0	0	0	0,3	1,1	0,6	1,6	0
10,1	0	0	0	0	0	0	0	0,3	1,1	0,6	1,6	0
10,2	0	0	0	0	0	0	0	0,2	1	0,6	1,6	0
10,3	0	0	0	0	0	0	0	0,2	1	0,6	1,3	0
10,4	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,9	0,6	1,3	0
10,5	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,9	0,6	1,1	0
10,6	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,9	0,5	0,8	0
10,7	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,8	0,5	0,5	0
10,8	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,8	0,5	0,5	0
10,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0,5	0,5	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,5	0,3	0
11,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,5	0,3	0
11,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,5	0	0
11,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0
11,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0
11,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0
11,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0
11,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,5	0	0
11,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,5	0	0
11,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,5	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,4	0	0
12,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,4	0	0
12,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,4	0	0
12,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,4	0	0
12,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,4	0	0
12,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,4	0	0
12,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0
12,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0
12,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0
12,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0
13,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0
13,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0
13,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0
13,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0
13,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0
13,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0
13,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Les schémas qui suivent représentent de manière graphique ces fréquences de dépassement des vitesses de vent à Uccle (Bruxelles).



La vitesse maximale admissible de la vitesse du vent à la station météorologique doit être calculée, pour chaque secteur de vent, en fonction de la formule suivante :

$$U_{\text{météo, max}} = U_{\text{site, max}} / (K z^\alpha (U/U_0))$$

où K et  $\alpha$  sont repris dans le tableau ci-dessous en fonction du type de terrain

Terrain	K	$\alpha$
Mer	0.7	0.14
Station météo, terrain totalement dégagé	0.68	0.17
Campagne avec brise-vents	0.52	0.2
Tissu suburbain	0.4	0.235
Tissu urbain (bâti continu)	0.35	0.25
Centre-ville très dense avec bâtiments très irréguliers.	0.21	0.33

z correspond à la hauteur à laquelle la vitesse du vent est mesurée sur le site (en général 1.5 m).

U est la vitesse du vent sur le site réel

U<sub>0</sub> serait la vitesse du vent sur le site sans obstacle (aucun bâtiment,...).

Le rapport  $U/U_0$  peut être évalué à partir des outils graphiques quantitatifs qui sont élaborés dans la suite de cette thèse pour une hauteur de mesure de 1.5m et un profil de vent urbain.

Si on étudie un site urbain au niveau des piétons ( $z=1.5m$ ), on obtient la formule suivante :  $U_{meteo, max} = U_{site, max} / (0.387 (U/U_0))$

où  $U_{meteo, max}$  est la vitesse de vent maximale permise à 10m de haut à la station météorologique pour assurer le confort des piétons sur le site.

$U/U_0$  dépend de la morphologie construite du site et peut être choisi en fonction des graphes donnés plus loin dans cette thèse de doctorat.

$U_{site, max}$  correspond au critère choisi pour le confort des piétons. Selon notre critère de confort,  $U_{site, max} = 5m/s$ .

Prenons un exemple d'effet de trou sous immeuble pour lequel le rapport  $U/U_0$  serait égal à 1.5. Pour assurer le confort des piétons, on aura

$$U_{meteo, max} = U_{site, max} / (0.387 * 1.5) = 5 / 0.5805 = 8.61m/s$$

Il suffit alors de trouver quelle est la probabilité, en Belgique, que les vitesses du vent dépassent 8.61 m/s pour l'orientation du vent générant l'effet de trou sous immeuble. D'après les tableaux donnés plus haut, la fréquence de dépassement d'un vent de vitesse 8.61 m/s dans la direction SOO (la plus fréquente: 28% du temps) est de 2.4%. Si toutes les autres orientations étaient protégées ne créant pas d'inconfort au vent, on aurait une situation du confort.

Le même calcul doit alors être réalisé pour les différentes orientations du vent, qui génèrent parfois des types d'effets critiques différents. La somme de ces différentes probabilités de dépassement de la valeur  $U_{meteo, max}$  pondérées pour chacune des orientations donne enfin la probabilité générale d'inconfort au vent pour ce site et pour le critère d'inconfort choisi.

A l'inverse, connaissant un critère de confort au vent, on peut déterminer quel serait le rapport  $U/U_0$  maximal d'un ensemble construit pour chaque orientation du vent afin qu'il soit confortable pour les piétons.

Par exemple, pour un site en milieu urbain, une limite de la fréquence d'inconfort de 5% et une orientation du vent du SOO à Uccle, on trouve dans les tableaux ci-dessus :  $U_{meteo, max} \leq 7.8m/s$ , ce qui implique qu'une situation confortable ne peut être assurée que pour un rapport  $U/U_0 \leq U_{site, max} / (7.8 * 0.387) = 5/3.02 = 1.66$ . Pour la même orientation SOO mais avec une limite de la fréquence d'inconfort de 10%, on aurait une vitesse  $U_{meteo, max}$  de 6.7 m/s et un rapport  $U/U_0 \leq 1.93$ . Prenons maintenant l'orientation OON, pour laquelle les vitesses du vent sont maximales en Belgique. Pour l'orientation OON et une probabilité de dépassement de la limite de confort de 5%, la vitesse  $U_{meteo, max}$  vaut 9.2 m/s, ce qui correspond à un rapport  $U/U_0 \leq 1.4$  et pour une probabilité de dépassement du critère d'inconfort de 10%,  $U_{meteo, max}$  vaut 7.8 m/s et  $U/U_0 \leq 1.65$ .

De l'exemple précédent, on peut conclure qu'une place urbaine ne créant qu'un effet critique du vent dans une seule direction particulière peut être considérée comme confortable en Belgique si le rapport  $U/U_0$  généré dans cette orientation reste inférieur ou égal à 1.4. Cette valeur correspond à l'hypothèse que, dans les espaces publics de détente, la fréquence maximale de dépassement de la limite de confort vaut 5%.

Dans tous les cas où les effets critiques sont générés par plusieurs orientations du vent, leurs risques mutuels doivent être pondérés en fonction de la probabilité d'occurrence du vent dans chaque orientation puis additionnés les uns aux autres.

La pondération des différentes probabilités déterminées pour chaque secteur angulaire est donnée par la fréquence du vent de chacune de ces orientations suivant le tableau ci-dessous.

Orientations	Angle	Fréquence (%)
NNE	15-44	3,5
NEE	45-74	8,7
E	75-104	2,4
EES	105-134	2,1
ESS	135-164	7,5
S	165-194	8,5
SSO	195-224	14
SOO	225-254	28
O	255-284	8,7
OON	285-314	4,2
ONN	315-344	7,7
N	345-14	4,7

**Le pourcentage d'inconfort total vaut alors  $\Sigma [(C(\theta) * k(\theta)) / 100]$  [en %]**

Où C (θ) est le pourcentage de dépassement de la vitesse du vent  $U_{météo}$ , max en fonction de l'orientation du vent (θ)

k (θ) est le pourcentage d'occurrence du vent d'orientation θ

Quand la vitesse du vent horaire à la station météorologique n'est pas connue et qu'on possède uniquement la vitesse moyenne annuelle du vent à cette station météorologique, la vitesse moyenne horaire peut être estimée approximativement à partir du tableau ci-dessous (ASHRAE 2001). Les valeurs de ce tableau sont basées sur les données de 24 stations météorologiques largement distribuées en Amérique du Nord. Dans les stations météorologiques prises en compte pour réaliser ce tableau, les vitesses du vent moyennes annuelles varient entre 3.1 et 6.3 m/s. Les valeurs du rapport  $U_{horaire}/U_{annuel}$  sont accompagnées d'une évaluation de l'erreur qui correspond à la déviation standard des rapports de vitesse du vent.

Pourcentage de valeurs moyennes horaires qui dépassent $U_{horaire}$	Rapport de vitesse du vent : $U_{horaire}/U_{annuel}$
90%	$0.2 \pm 0.1$
75%	$0.5 \pm 0.1$
50%	$0.8 \pm 0.1$
25%	$1.2 \pm 0.15$
10%	$1.6 \pm 0.2$
5%	$1.9 \pm 0.3$
1%	$2.5 \pm 0.4$

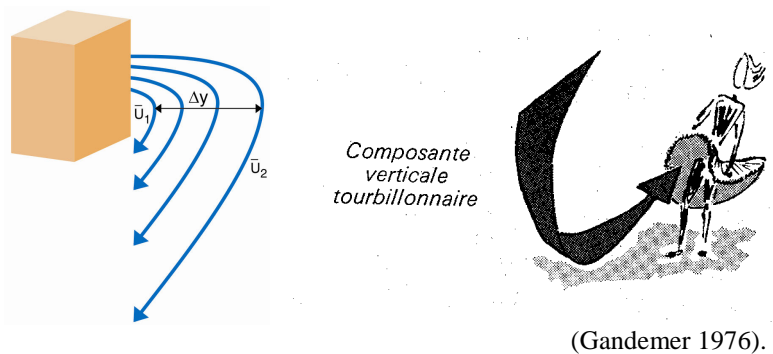
(ASHRAE 2001).

Ainsi, prenons un exemple. On cherche la vitesse du vent horaire qui est dépassée 1% du temps, en sachant que  $U_{annuel}$  vaut 4m/s dans cette région. A partir du tableau ci-dessus, pour un dépassement de 1% du temps, on trouve le rapport  $U_{horaire}/U_{annuel} = 2.5 \pm 0.4$ . Donc,  $U_{horaire} = (2.5 \pm 0.4) * 4m/s = 10 m/s \pm 1.6 m/s$ . Ainsi la vitesse recherchée est comprise entre 8.4 m/s et 11.6 m/s.

### Deux phénomènes particuliers d'inconfort au vent

Il faut encore signaler deux phénomènes particuliers d'inconfort au vent (Gandemer 1976) :

- les zones où on observe de forts gradients de vitesse sur une distance limitée. Il suffit de se déplacer au sein d'un ensemble de tours pour se rendre compte que peuvent coexister des zones très calmes et des zones à écoulements rapides ou encore fortement tourbillonnaires, ce qui peut susciter de forts gradients horizontaux de vitesse caractérisés par le rapport  $(U_2-U_1)/\Delta y$ . Plus ce rapport est élevé, plus le piéton doit s'adapter rapidement et plus la gêne augmente. Les forts gradients horizontaux de vitesse prennent un rôle aigu pour la gêne du piéton, essentiellement si ce dernier se déplace.
- Les turbulences créant un flux de vent ascendant.



### 2.3.3 Les critères quantitatifs du confort respiratoire à l'extérieur

La pollution atmosphérique constitue l'une des préoccupations majeures de ce début de siècle. Elle n'a cependant pas les mêmes effets sur l'homme et sur l'environnement selon qu'elle est locale, régionale ou mondiale.

1/ L'échelle locale caractérise les problèmes de pollution que l'on rencontre au voisinage des sources de rejets : sites industriels, axes de circulations... Ces sources sont à l'origine de pollutions primaires présentant des risques pour la santé humaine, voire des nuisances olfactives. Parmi ces polluants primaires on peut citer: le monoxyde de carbone, les hydrocarbures imbrûlés, les oxydes d'azote, les particules en suspension, le dioxyde de soufre...

2/ La pollution régionale est due à la dispersion des polluants à plusieurs centaines de kilomètres des sources d'émission. Leur action dépend des conditions météorologiques (pluies, vents, ensoleillement).

3/ La pollution mondiale ou pollution globale est à l'origine de problèmes planétaires tels que la destruction de la couche d'ozone à haute altitude ou l'accroissement de l'effet de serre, susceptible d'occasionner un réchauffement de la Terre, accompagné d'effets climatiques indésirables.

La qualité de l'air est importante pour le confort et la santé des citoyens. Les polluants globaux, tels que les émissions de gaz à effet de serre ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $O_3$ ), inquiètent par leurs conséquences néfastes sur l'équilibre climatique de la planète. Les pollutions régionales et locales ( $SO_2$ ,  $NO_2$ , PM) constituent des menaces

directes sur la santé et le bien-être, en particulier dans les grandes agglomérations. Pour diminuer la pollution atmosphérique, il faut limiter les consommations d'énergie et réduire les sources de pollution en ville.

Une partie de la pollution atmosphérique est créée au niveau des toits: elle correspond aux émissions des cheminées des bâtiments (habitations + industrie). Ces émissions ont fortement diminué dans les pays occidentaux depuis 1950. A l'heure actuelle, dans beaucoup de villes européennes, le premier problème de pollution de l'air est créé par les automobiles. En revanche dans les pays en voie de développement, la pollution urbaine est surtout générée par le chauffage des bâtiments et le fonctionnement de leurs industries (Limb 1999).

Les nouvelles normes européennes qui doivent être appliquées en 2005-2010 donnent les limites suivantes de concentration des polluants dans l'air. Ces limites ont été établies sur base de l'impact des polluants sur la santé humaine (IBGE 2002).

<b>Polluant</b>	<b>Type de concentration</b>	<b>Valeur de la norme</b>
SO <sub>2</sub>	Horaire	350 µg/m <sup>3</sup>
	Journalière	125 µg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	Horaire	200 µg/m <sup>3</sup>
	Annuelle	40 µg/m <sup>3</sup>
PM10	Journalière	50 µg/m <sup>3</sup>
	Annuelle	20 µg/m <sup>3</sup>
Pb	Annuelle	0.5 µg/m <sup>3</sup>
O <sub>3</sub>	8h-max	120 µg/m <sup>3</sup>
CO	8h	10 µg/m <sup>3</sup>
Benzène	Annuelle	5 µg/m <sup>3</sup>

Presque tous les citoyens européens (97%) sont exposés à des niveaux de pollution de l'air non conformes aux objectifs de qualité de l'Union Européenne pour les particules, 44% à des niveaux d'ozone atmosphérique excessifs, 14% à de trop fortes concentrations de NO<sub>2</sub>. La circulation automobile est une des principales sources de ces polluants atmosphériques. (CEE 2004) A Bruxelles, le transport automobile est le responsable principal de l'état de la qualité de l'air urbain (IBGE 1999).

Les pointes de pollution dépendent de l'influence du climat : en général, les maxima se produisent lors d'épisodes anticycloniques froids et sans vent. Les conditions météorologiques ont un impact majeur sur la qualité de l'air : les vents emportent et dispersent les polluants atmosphériques, les pluies les diluent, les inversions thermiques les bloquent. Les émissions de polluants varient, selon les sources, en fonction des saisons. Les émissions dues au trafic routier ont lieu toute l'année, contrairement à celles dues au chauffage, évidemment beaucoup plus marquées en hiver. C'est en hiver également que le risque d'inversion thermique des couches d'air dans l'atmosphère, qui bloquent la dispersion des polluants, est le plus élevé. En été par contre, en raison de l'accroissement de la durée d'ensoleillement, c'est l'ozone (lié au trafic automobile) qui devient le polluant le plus préoccupant.

Une étude effectuée sur la dispersion du monoxyde de carbone produit par des voitures dans des rues donne la conclusion suivante : si l'accumulation des polluants dépend de la géométrie de la rue, la vitesse du vent est le facteur prédominant pour sa dispersion. Pour obtenir une bonne ventilation, il est donc

nécessaire d'avoir des mouvements d'air d'au moins 2m/s à la hauteur des toits. (Mc Cormick 1971)

D'autres études de De Pauh, Shieh, Nakamura, Oke, Yamartino et Wiegand qui ont tous travaillé avec une morphologie urbaine de rues dont le rapport hauteur/largeur variait entre 1 et 1.5, obtiennent des valeurs proches de **2m/s** comme limite de la vitesse du vent au-dessus des toits pour créer une circulation d'air à l'intérieur de la rue qui dépende du flux du vent, quelque soit l'orientation de la rue. Pour des vitesses de vent inférieures, les effets thermiques et mécaniques deviennent prépondérants. (Santamouris & al. 2001)

On peut donc en conclure qu'une vitesse de vent de 2m/s au-dessus des toits serait le minimum nécessaire pour assurer une bonne ventilation des rues.

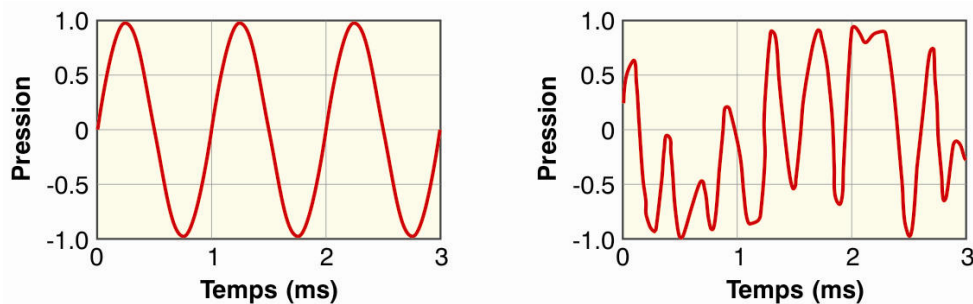
Des vents de 2 à 5 m/s pourraient donc allier les deux nécessités urbaines que sont le confort pour les piétons et la dispersion de la pollution automobile. Cette conclusion n'entre donc pas en conflit avec les valeurs fixées pour le confort des piétons mais elle rend la gamme des vitesses de vent acceptables plus réduite dans le cas de rues qui présentent un risque de pollution atmosphérique important (à cause d'une circulation importante).

### **2.3.4 Les critères quantitatifs du confort acoustique à l'extérieur**

Le confort acoustique est influencé par le niveau sonore et la qualité des ambiances sonores. L'environnement acoustique nous procure une sensation de confort quand nous pouvons entendre les sons de l'environnement qui nous entoure, nettement et sans fatigue, dans une ambiance sonore agréable.

Du point de vue quantitatif de la gêne sonore en ville, nous allons analyser les seuils conventionnels fixant la limite entre le bruit acceptable et le bruit insupportable. Ces valeurs quantitatives sont choisies pour les bruits habituels de la ville et non pour des bruits exceptionnels ou momentanés (fêtes, chantiers, cortèges,...).

Le son est une sensation auditive produite par une variation rapide de la pression de l'air. L'origine de cette variation est engendrée par la vibration d'un corps qui met en vibration l'air environnant. Ainsi est créée une succession de zones de pression et de dépression qui constituent l'onde acoustique. Un son pur est la sensation auditive produite par une variation sinusoïdale de la pression de l'air (figure ci-dessous à gauche). Un bruit est le résultat d'une variation aléatoire de la pression (figure ci-dessous à droite).



(Roulet 2002)



La fréquence est le nombre de cycles complets qu'un phénomène vibratoire effectue en une seconde. Elle s'exprime en périodes par seconde ou Hertz (Hz). La fréquence des sons audibles va de 16 à 16000 Hz. Un son aigu a une haute fréquence et un son grave une basse fréquence. Le spectre d'un son (amplitude de la variation de pression en fonction de la fréquence de la variation) est formé d'une seule raie, à la fréquence du son. Le bruit est un mélange de sons, toutes les fréquences sont représentées.

La puissance physique des sons, exprimée en unités de pression sur le tympan, varie de 0 à plusieurs milliards. Ces valeurs de pression ne correspondent pas à nos sensations subjectives, beaucoup moins contrastées. C'est pourquoi les acousticiens ont créé le **décibel (dB)**, qui traduit la puissance des sons selon une **échelle logarithmique**. Un décibel est le logarithme du rapport entre la puissance d'un son émis et celle d'un son de référence. La formule est :  $L=10 \log (P/P_0)^2$  (en dB) avec  $P_0 = 2.10^{-5}$  Pa (pression de référence).

Commode pour les techniciens, cette unité est malheureusement très étrangère au sens commun. Quand on cite des chiffres de niveaux sonores, il ne faut jamais oublier que l'on ne manipule pas des valeurs arithmétiques se prêtant aux opérations simples (addition, division, etc.), mais des valeurs logarithmiques ! Ainsi, une augmentation de 3 décibels correspond au doublement de la puissance d'un bruit. Cette mise en garde est d'autant plus nécessaire que les sonomètres, qui sont les instruments de mesure utilisés pour évaluer les niveaux sonores, convertissent automatiquement la puissance des sons en décibels, sans qu'apparaisse la nature logarithmique des chiffres obtenus.

Malgré sa complexité liée à son échelle logarithmique, le décibel est le seul instrument d'objectivation accepté de manière générale en acoustique; il faut donc s'en contenter.

Si nous avons n sources sonores qui ne sont pas corrélées, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de phénomènes d'interférence entre les différents signaux, nous obtenons le niveau sonore global suivant :

$$L_p = 10 \log 10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \quad \text{pour n sources}$$

En pratique, cependant, il suffit de retenir que lorsque l'intensité acoustique double, le niveau sonore augmente de 3 dB ( $10 \log 2 = 3$ ), ce qui correspond à la limite de perception de l'oreille humaine ; le niveau sonore acoustique augmente de 7 dB si elle quintuple ( $10 \log 5 = 7$ ) et de 10 dB si elle décuple ( $10 \log 10 = 10$ ), cette dernière situation étant vécue comme un bruit deux fois plus fort.

D'autre part, lorsque la différence arithmétique entre deux niveaux sonores est égale ou supérieur à 10 dB, le niveau total est pratiquement (à moins de 0.5 dB près) égal au niveau le plus élevé. Concrètement, cela signifie que, le bruit le plus faible est masqué par le bruit le plus élevé. Cela n'est vrai auditivement que si les deux bruits sont de même contenu fréquentiel ; par contre, un sifflement à haute fréquence restera audible en présence d'un bruit de basses fréquences beaucoup plus élevé, du fait de la discrimination fréquentielle de l'oreille. L'oreille humaine est en effet moins sensible aux basses fréquences qu'aux hautes fréquences.

Ainsi, deux sources (sans liaison harmonique) de 50 dB produisent un niveau sonore résultant de 53 dB, alors qu'une seule source de 40 dB et une autre de 50 dB donnent un niveau de pression sonore résultant d'environ 50 dB.

Le bruit de fond est le bruit résultant du mélange des différents bruits présents de manière continue sur le lieu étudié. C'est donc une caractéristique essentielle de l'ambiance sonore de ce lieu.

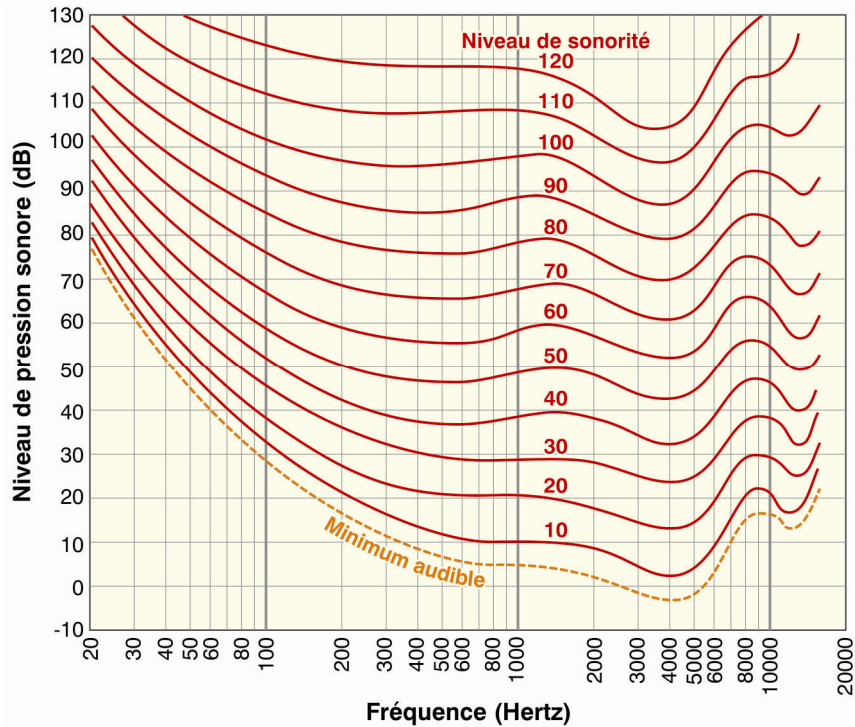
Un son est entendu dans un lieu quelconque quand deux conditions sont réunies : son niveau sonore doit être supérieur au seuil d'audibilité et avoir un niveau égal ou supérieur au niveau de bruit de fond. Certains sons de niveau légèrement inférieur au bruit de fond peuvent être perçus.

Voici quelques exemples de **niveaux sonores caractéristiques**.

Niveau	Impression	Effets	Exemples
130 dBA	Très douloureux	Lésions irréversibles du système auditif	Banc d'essai de réacteur
120 dBA	douloureux		Avion sur l'aire d'envol
110 dBA	insupportable	Perte d'audition après une brève exposition	Atelier de tôlerie
100 dBA	Difficilement supportable		Atelier de presses, discothèque
90 dBA	Très bruyant	Perte d'audition après une longue exposition	Poids lourd à 3 m
80 dBA	bruyant		Réfectoire scolaire, aspirateur
70 dBA	acceptable	Gamme de bruits et sons parfaitement supportables	Forte conversation
60 dBA	Bruit courant		Rue bruyante
50 dBA			Bureau
40 dBA	faible		Radio à faible niveau
30 dBA	calme		Zone résidentielle calme, bruissement des feuilles
20 dBA	Très calme		Pièce très protégée : studio de radio
10 dBA	silence		L'observateur entend le bruit de son propre organisme
0 dBA	Silence absolu		

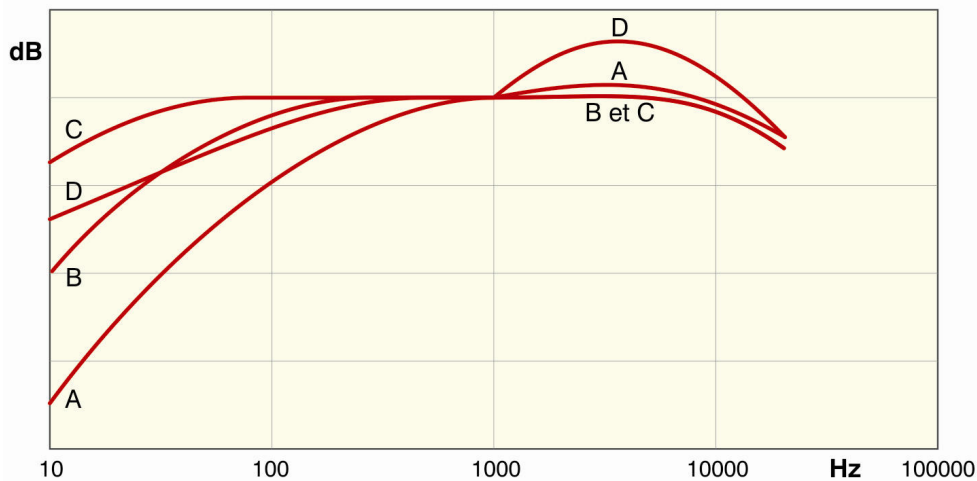
Il y a une différence entre la puissance physique d'un son et notre perception du même son. La puissance sonore est la mesure physique exprimée en dB. En exprimant les niveaux sonores en décibels, on admet que la sensation auditive varie comme le logarithme de la puissance des sons. C'est une hypothèse très imparfaite. Notamment le tympan n'est pas affecté de la même façon par les sons graves et les sons aigus. On appelle sonie la perception de la puissance sonore. La perception de l'oreille est extrêmement complexe car elle dépend de façon non linéaire aussi bien de la fréquence que du niveau sonore.

Fletcher et Munson ont établi un graphe qui représente la perception des sons par l'oreille humaine. Le diagramme de Fletcher-Munson, donné ci-dessous, provient d'une étude réalisée dans les années 30 sur un grand nombre de personnes humaines âgées de 18 à 25 ans. Ce graphique représente notre sensibilité aux différentes fréquences. Lorsque les fréquences diminuent, les courbes d'égale sonie se rapprochent de plus en plus. Cela veut dire que les basses fréquences ne sont perçues que pour des niveaux sonores plus élevés mais que l'oreille humaine est plus sensible à des variations de sons au niveau des basses fréquences qu'au niveau des hautes fréquences.



Graphes de Fletcher et Munson (Blasco 2002).

Des courbes de correction s’approchant aussi bien que possible des caractéristiques de l’ouïe ont été établies pour que les instruments de mesure (sonomètres) quantifient le plus objectivement possible le bruit perçu par l’oreille humaine : ce sont les courbes de pondération en fréquences qui sont désignées par les lettres A, B, C et normalisées. Ces courbes correctrices sont représentées ci-dessous.

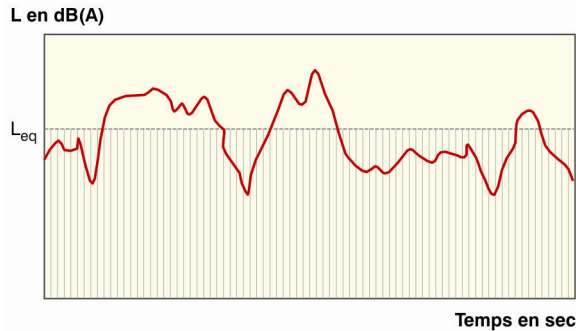


(Blasco 2002).

A l’origine, chacune de ces pondérations avait son domaine d’application plus ou moins bien défini : le filtre A pour les bruits faibles et les filtres B et C pour les niveaux plus élevés. A l’heure actuelle, seule la courbe A est utilisée pour la mesure des nuisances sonores. Le niveau sonore mesuré avec la courbe de pondération en fréquence A s’appelle le niveau sonore pondéré A. Il est noté  $L_A$  ou  $L$  et son unité est le dBA.

En milieu urbain, le niveau sonore varie généralement dans le temps. Lorsque le niveau sonore fluctue en fonction du temps, on remplace ce niveau variable par un niveau moyen de même contenu énergétique que le niveau variable pendant une durée de mesure T : le niveau équivalent de pression sonore (exprimé en dB(A)).

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad \text{en dB(A)}$$



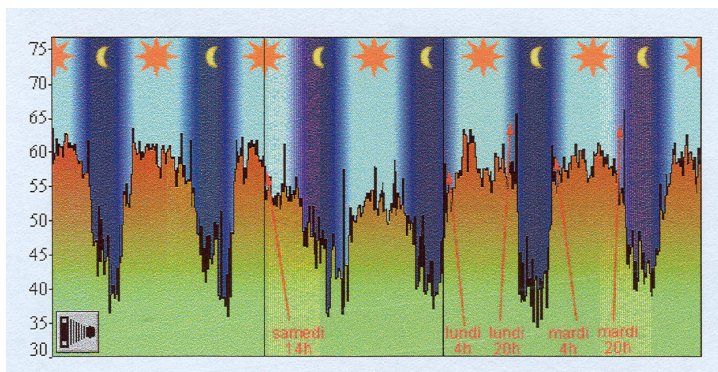
(Sémidor 2005).

Les niveaux statistiques de pression sonore ( $L_{Ax,T}$ ) sont les niveaux sonores qui sont dépassés pendant x % de la période T; ces niveaux statistiques sont généralement calculés pour 5%, 10%, 50% et 90%. Le bruit de fond est la moyenne des mesures effectuées pendant 90% du temps d'observation ( $L_{A90}$ ).

Pour être représentative, la mesure du  $L_{eq}$  doit être faite sur une période de temps suffisamment longue :

- 6h à 22h et 22h à 6h pour respecter la réglementation actuelle,
- 1h si le bruit varie peu dans la journée ou dans la nuit,
- 1 s pour les phénomènes particulièrement stables dans le temps.

La mesure du bruit de fond est une information complémentaire indispensable : il traduit le seuil en dessous duquel le niveau de bruit ne peut pas descendre (silence relatif). Dans la situation présentée ci-dessous, on voit par exemple que le bruit de fond nocturne est de 35 dB(A) alors que le bruit de fond diurne est de 50 dB(A).

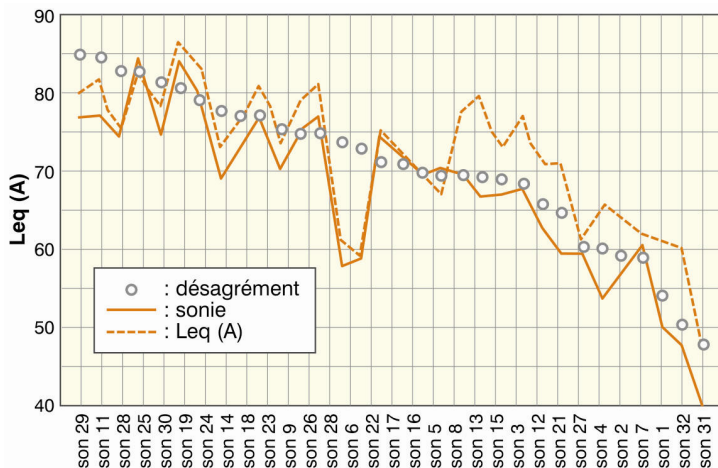


(Sémidor 2005).

Le paramètre perceptif qui intervient principalement dans la gêne sonore est la sonie. On peut définir la sonie comme l'intensité d'un son telle qu'on la perçoit, on parle souvent d'intensité subjective. Bien évidemment, la sonie dépend principalement du niveau sonore. Mais elle dépend aussi de la fréquence du son, de sa durée et de phénomènes de masquages fréquentiels et temporels. C'est pour cela que le décibel ne suffit pas à la décrire... La sonie se mesure en phones ou sones.

Le phone correspond au niveau d'un son pur de 1 kHz qui aurait la même sonie que le son qu'on analyse. Un sone est la sonie d'un son pur de 1 kHz à 40 dB.

Le graphe ci-dessous est le résultat d'une expérience qui compare le désagrément, la sonie et le niveau équivalent des sons de l'environnement (Meunier 2001). On voit que la sonie est légèrement plus proche de la courbe de désagrément que le niveau équivalent en dB(A) mais que celui-ci reste une bonne approximation de l'impression de gêne produite par l'environnement sonore.



(Meunier 2001).

Les principales **limites acoustiques** généralement admises sont :

- le seuil de la douleur situé à **120 dBA** ;
- le seuil de graves dommages auditifs pour une exposition à un bruit permanent pendant une durée prolongée (8h/jour) : vers **90 dBA**
- le seuil de danger pour l'appareil auditif exposé à un bruit permanent pendant une durée prolongée : vers **75 dBA** ;
- le seuil de la "conversation paisible" : vers **50 dBA**
- le seuil de perturbation du sommeil : vers **40 dBA**
- le seuil du "silence" : vers **20 dBA** (le silence absolu est une situation totalement artificielle).

Par ailleurs, si une personne est soumise à un niveau de bruit élevé, un certain nombre de problèmes de santé peuvent apparaître : stress, énervement, trouble du sommeil, diminution des performances intellectuelles ou de la concentration, et parfois même risque d'infarctus. Bien qu'il soit difficile d'établir une corrélation directe et univoque entre le niveau de bruit et les perturbations de santé ou encore la qualité de vie, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommande, dans une optique idéale de protection des populations et de leur habitation, les niveaux sonores suivants.

Recommandations OMS	Jour Intérieur (repos)	Jour Extérieur	Nuit Intérieur	Nuit Extérieur
Valeur guide - $L_{Aeq, 8h}$	30 dB(A)	50 dB(A)	30 dB(A)	45 dB(A)
Valeur à ne pas dépasser $L_{Aeq, 8h}$		55 dB(A)		
Valeur maximale $L_{A, max}$			45 dB(A)	

Ces valeurs représentent un idéal. Néanmoins, elles ne sont pas applicables à l'heure actuelle en ville.

Le tableau ci-dessous donne les seuils de gêne couramment employés à Bruxelles (IBGE 1998).

Trafic routier	Période du jour (08-20h) $L_{Aeq,t} < 60$ peu gênant $60 < L_{Aeq,t} < 65$ gênant $65 < L_{Aeq,t}$ très gênant	Période nuit (20h- 8h) $L_{Aeq,t} < 57$ peu gênant $57 < L_{Aeq,t} < 60$ gênant $60 < L_{Aeq,t}$ très gênant
Tafic ferroviaire	Jour ( 8h- 20h) $L_{Aeq,t} = 60$ Eveil et soir (6-7h + 19-22h) : $L_{Aeq,t} = 55$	Nuit (22h-6h) : $L_{Aeq,t} = 50$

La Région de Bruxelles-Capitale a déterminé des seuils limites à partir desquels une intervention est nécessaire pour protéger les populations résidentielles (IBGE 1998).

Valeurs choisies par la Région de Bruxelles-Capitale	Jour $L_{Aeq,8h}$	Jour $L_{Aeq,8h}$	Nuit $L_{Aeq,8h}$	Nuit $L_{Aeq,8h}$
	Intérieur (repos)	Extérieur	Intérieur	Extérieur
<b>Seuil d'intervention</b>	45 dB(A)	<b>65 dB(A)</b>	40 dB(A)	<b>60 dB(A)</b>

Ce sont ces valeurs de niveaux sonores équivalents que nous prenons comme limite du point de vue quantitatif de la gêne sonore en ville. Le bruit doit donc être limité dans les espaces publics à une valeur de 65 dB(A) en journée et à une valeur de 60 dB(A) la nuit. D'autres études valident ce choix plus réaliste d'une limite maximale de 65 dB(A) dans les espaces publics urbains (Kang & al 2004).

A Bruxelles, près de 28% de la population est soumise à un niveau de bruit du trafic routier supérieur à 65 dB(A). Les raisons sont multiples : charge de trafic importante, vitesses des véhicules excessives, mauvais état de certaines routes,... Les espaces verts et les places publiques, qui devraient être des zones calmes et protégées, sont en fait très exposés aux nuisances sonores générées par le trafic dans les rues et les boulevards qui les longent. Des mesures réalisées pendant la journée européenne « en ville sans ma voiture » traduisent une diminution moyenne pour l'ensemble des espaces publics tant de la gêne que du bruit de fond de 5 décibels, ce qui est distinctement perceptible par l'oreille humaine, lorsque le trafic est fortement limité en ville.

A Bruxelles, comme dans la majorité des villes européennes, la circulation routière apparaît nettement comme la première source de bruit en zone urbaine. L'analyse des résultats révèle également comme nuisance importante, le bruit des avions ainsi que le trafic ferroviaire. Il est à souligner que ces sources de bruit sont étroitement liées à d'importantes préoccupations urbaines : la mobilité, la sécurité et la pollution atmosphérique.



Circulation à Rome. (Photo : S. Reiter).

### 2.3.5 Les critères quantitatifs du confort visuel à l'extérieur

Le confort visuel est influencé par la quantité, la distribution et la qualité de la lumière. L'environnement visuel nous procure une sensation de confort quand nous pouvons voir les choses et les êtres qui nous entourent, nettement et sans fatigue, dans une ambiance colorée agréable. Un bon éclairage doit garantir à l'habitant qu'il puisse exercer ses activités le plus efficacement possible, en assurant son bien-être et en lui apportant un certain agrément visuel.

La lumière constitue un élément essentiel, générateur de vie sur terre. Elle représente une partie indéniable de notre vécu quotidien et nous influence du point de vue physiologique et psychologique. Elle est au cœur même de la définition du geste créateur: exprimer, c'est-à-dire mettre en lumière, extraire de l'ombre. La lumière révèle des sensations qui nous permettent de qualifier l'espace que nous traversons. La composante psychologique de la lumière s'avère un facteur prépondérant de notre impression de bien-être. L'utilisation de la lumière n'est jamais neutre car elle engendre toujours l'un ou l'autre type d'ambiance, même lorsque ce n'est pas volontaire. Dès lors, il est indispensable de tenir compte des implications sensorielles, symboliques et psychologiques de la lumière.

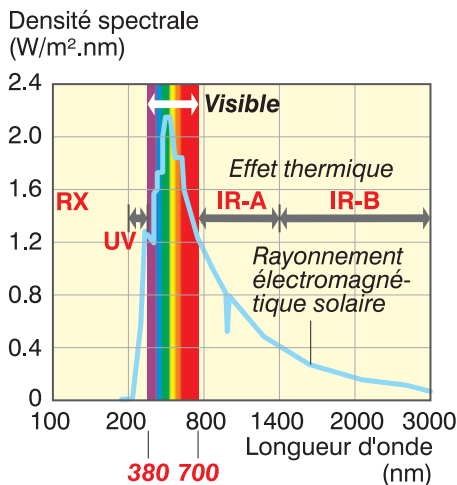


(Reiter & De Herde 2001)

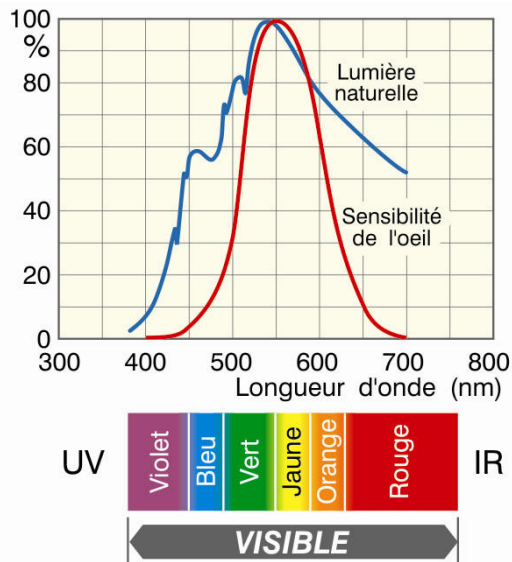


(Photo : S. Reiter)

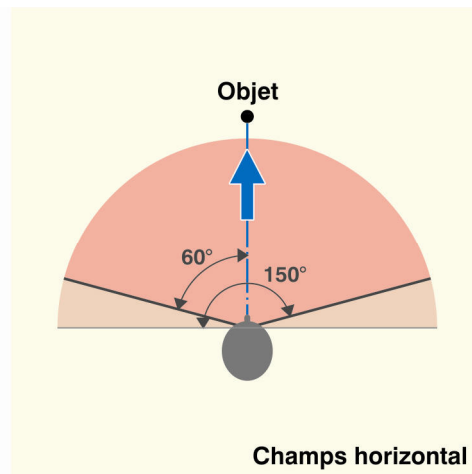
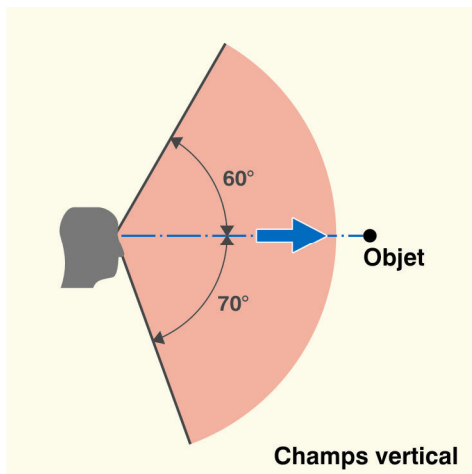
La lumière est une des formes du rayonnement électromagnétique. La figure ci-dessous montre la densité spectrale du rayonnement électromagnétique solaire, c'est-à-dire la puissance du rayonnement par rapport à sa longueur d'onde. Le spectre des longueurs d'onde visibles de la lumière occupe une étroite bande du spectre électromagnétique total. Compris entre 380 et 700 nm, le domaine visible recouvre les longueurs d'onde où l'énergie est la plus intense.



L'éclairage naturel est préféré à l'éclairage artificiel grâce à sa variabilité et à ses nuances. La lumière naturelle est un élément indispensable pour une bonne perception de l'instant et du lieu où nous évoluons. Son caractère cyclique est un facteur important pour notre équilibre psychique. De plus, la qualité spectrale de la lumière naturelle assure la meilleure vision possible des objets et des couleurs. La zone visible s'allonge des ondes violettes ( $\lambda \cong 380$  nm), en passant par les ondes bleues, vertes, jaunes et orangées, jusqu'aux ondes rouges ( $\lambda \cong 700$  nm). Si on compare la répartition spectrale de la lumière naturelle à la courbe de sensibilité de l'oeil, il apparaît que l'oeil humain est naturellement adapté à la lumière naturelle.



La capacité de l'oeil à saisir une information visuelle dépend de sa position relative dans le champ visuel. Le champ visuel est l'espace délimité par la perception spatiale de l'oeil, sans bouger la tête. Bien que le champ visuel soit légèrement différent pour chaque individu, la portée verticale des yeux couvre un angle d'environ  $130^\circ$ ; elle est limitée vers le haut par les arcades sourcilières et vers le bas par les joues. Le champ horizontal total des yeux est d'environ  $180^\circ$  lorsqu'ils sont dirigés vers un objet fixe. Chaque oeil a un angle de vision d'environ  $150^\circ$ . A l'endroit où les champs visuels se recouvrent, l'homme a une vision binoculaire; ils se superposent dans la zone médiane, où un même objet est vu simultanément par les deux yeux mais sous un angle différent. C'est grâce au cerveau qui compare les images provenant de nos deux yeux que nous avons l'impression de relief.

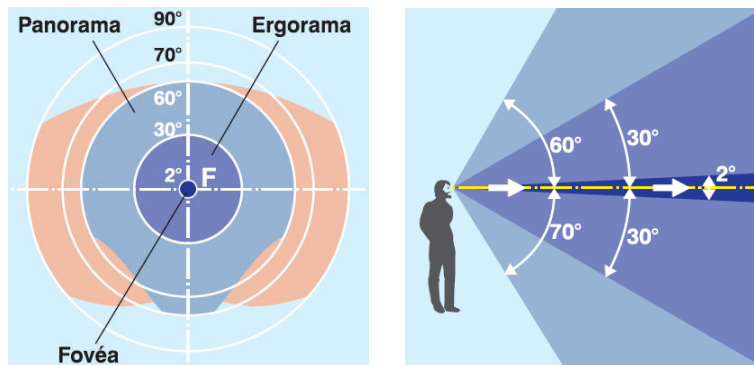




Le champ visuel binoculaire se divise en trois zones:

- le champ central de la fovéa, domaine d'1° à 2° d'ouverture centré
- l'ergonoma, domaine de 2 x 30° d'ouverture,
- le panorama, champ dont l'angle horizontal d'ouverture est de 2 x 60° et l'angle vertical respectivement de 60° vers le haut et de 70° vers le bas sur l'axe de la vision.

Les très fins détails ne peuvent être perçus que dans le champ central de la fovéa. L'ergonoma permet de voir les formes. Seuls les mouvements sont perceptibles dans le panorama. Le graphe ci-contre montre en bleu le champ visuel perçu simultanément par les deux yeux et en rose clair le domaine vu par chaque oeil séparément. Les cercles concentriques délimitent la fovéa, l'ergonoma et le panorama.



Le cerveau joue un rôle important dans notre appréhension de l'espace. Ainsi, pour apprécier les distances, notre cerveau opère une analyse instantanée des différents éléments situés dans notre champ visuel et la confronte à sa perception du relief. Il compare les dimensions des objets; schématiquement, une colonne vue comme plus grosse qu'une autre est immédiatement interprétée comme plus proche. Le cerveau se réfère aussi à des dimensions mises en mémoire par l'expérience, comme la taille 'attendue' d'une personne ou d'une chaise. Il intègre enfin des détails significatifs tels que la situation d'un objet par rapport à ceux qui le jouxtent, sa vision en totalité ou partiellement masquée, sa luminosité, les ombres projetées, la présence de brume,... Grâce à la synthèse immédiate de toutes ces informations, nous situons en permanence l'éloignement des objets qui nous entourent, ou plutôt nous croyons les situer. En effet, le cerveau peut se tromper s'il est mis en présence de caractéristiques inhabituelles de dimensions ou de perspectives. La modification de certains paramètres, dont l'éclairage, peut également l'induire en erreur. Ainsi, dans un environnement obscur, un objet vivement éclairé paraît plus proche. Ces procédés sont bien connus en architecture.

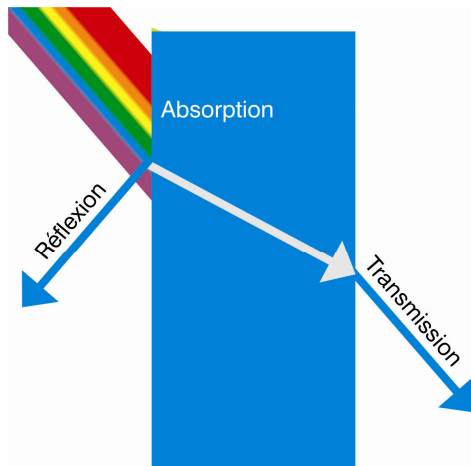


(Reiter & De Herde 2001)



(Reiter & De Herde 2001)

Quelle que soit la couleur de la lumière émise, les objets ne font que l'absorber, la réfléchir ou la transmettre sélectivement. Les effets produits par chacun de ces phénomènes dépendent de la longueur d'onde de la lumière et peuvent donc être à l'origine de la couleur de certains objets.



Ainsi, les arcs-en-ciel proviennent de la décomposition de la lumière blanche en ses différentes composantes colorées au travers des gouttes d'eau car l'angle de réfraction (angle de déviation du rayon lumineux dans un milieu transparent) est d'autant plus grand que la longueur d'onde est plus petite. Ainsi, la lumière bleue est plus déviée que la lumière rouge. S'il n'y avait ni poussières ni gaz dans l'atmosphère, le ciel apparaîtrait noir, comme à environ 16km de la surface de la Terre. La diffusion de la lumière solaire par les molécules d'air est d'autant plus grande que la longueur d'onde de la lumière est courte. Lorsque le soleil est au zénith, le ciel est d'autant plus bleu que l'air est pur ; lorsque le soleil est à l'horizon, les rayons doivent traverser une couche atmosphérique plus grande, la diffusion est alors plus intense et le ciel prend une couleur transmise orangée, complémentaire de la lumière diffusée bleue.



(Reiter & De Herde 2001)



(Reiter & De Herde 2001)

Le **confort visuel** dépend d'une combinaison de paramètres physiques: l'éclairciment, la luminance, le contraste et l'éblouissement, auxquels s'ajoutent des caractéristiques propres à l'environnement et à la tâche visuelle à accomplir, comme la taille des éléments à observer, le temps disponible pour la vision, la mise en valeur du relief et du modelé des objets. Le confort visuel relève, en outre, de facteurs physiologiques et psychologiques liés à l'individu tels que son acuité visuelle ou son état d'esprit.

Les objets à percevoir doivent avoir une dimension minimale. Sous les mêmes conditions d'éclairage, un texte peut être parfaitement lisible s'il est suffisamment grand alors qu'un texte écrit en petits caractères deviendra plus difficile à lire. L'oeil humain a besoin d'un minimum de temps pour percevoir un objet présenté. Un objet qui se déplace trop vite est invisible. Ainsi, il est impossible de suivre la trajectoire d'une balle de revolver, son mouvement étant trop rapide.

Jusqu'à un certain point, l'acuité visuelle est favorisée par une augmentation de la luminosité de la tâche visuelle. Une luminance minimale est nécessaire pour une bonne vision des éléments de petite dimension. Des objets qui peuvent être reconnus facilement et dont on peut distinguer aisément les détails peuvent devenir indistincts et même imperceptibles lorsqu'il fait plus sombre ou obscur. Sur la photo ci-dessous, la frise du bâtiment est bien visible lorsqu'elle est exposée au soleil mais disparaît du côté ombragé du bâtiment.



(Reiter & De Herde 2001)

**L'éclairement (E)** d'une surface est le rapport du flux lumineux reçu à l'aire de cette surface. Son unité est le lux, équivalent à 1 lm/m<sup>2</sup>.

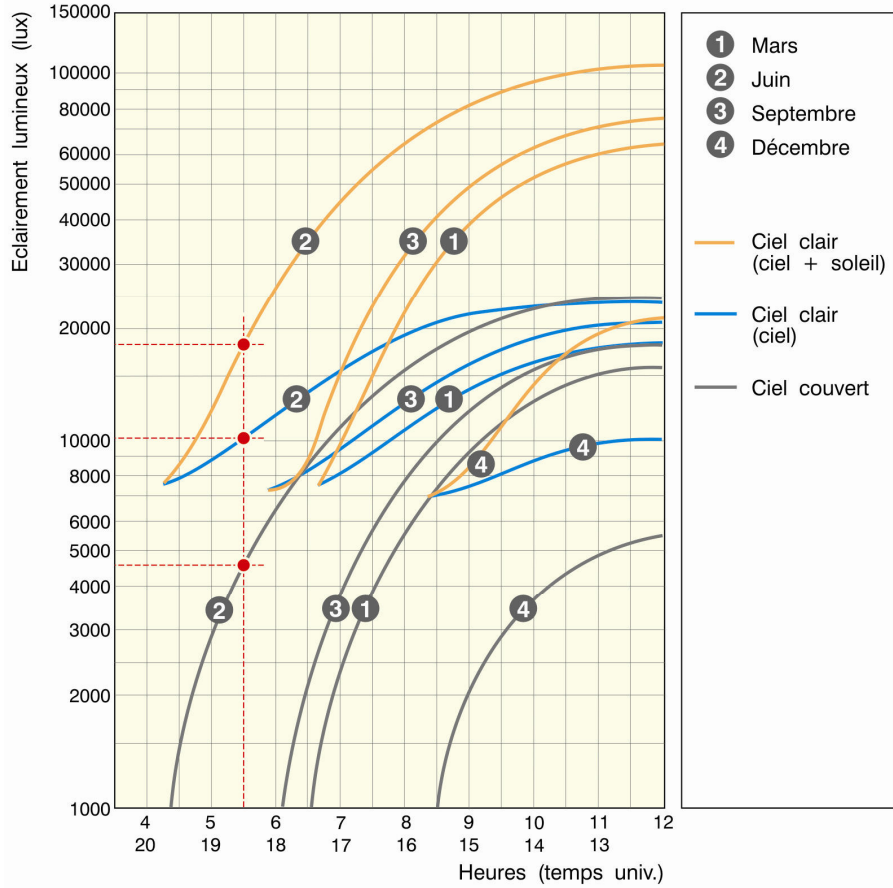
$$E = \Phi / S \text{ (lx)}$$

L'éclairement caractérise donc la quantité de lumière reçue par une surface. Cependant, cette grandeur est très difficilement perceptible par l'oeil humain. De par ses facultés d'adaptation, celui-ci évalue en réalité des différences d'éclairement dans l'espace ou dans le temps. L'échelle des niveaux d'éclairement disponibles naturellement est très étendue: elle varie de 0.2 à 100 000 lx.

Le tableau et le dessin ci-dessous donnent quelques valeurs d'éclairement d'une surface horizontale extérieure. (Reiter & De Herde 2001)

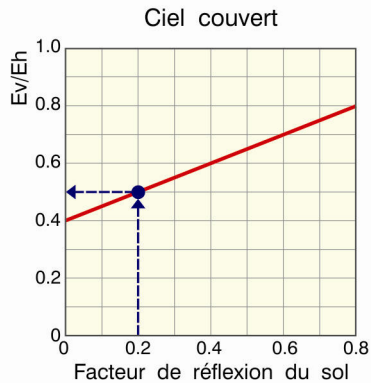
Source lumineuse	Eclairement (lx)	0,2 lux	5 000 - 20 000 lux	100 000 lux
Pleine lune	0.2			
Ciel couvert	5 000 à 20 000			
Ciel clair (sans soleil)	7 000 à 24 000			
Plein soleil d'été	100 000			

La figure ci-dessous donne l'évolution moyenne horaire de l'éclairage lumineux observé en Belgique sur une surface horizontale, par ciel serein, par ciel clair sans soleil et par ciel couvert, pour quatre mois de l'année.



Ce graphe est construit sur une échelle verticale logarithmique représentant l'éclairage en lux. L'axe horizontal représente différentes heures du jour. On peut vérifier qu'au petit matin, en juin, l'éclairage correspond à environ 4 500 lux par ciel couvert (courbe 2 grise), 10 000 lux par ciel clair sans soleil (courbe 2 bleue) et 18 000 lux par ciel clair avec soleil (courbe 2 orange). Les courbes bleues sont utiles pour les calculs de l'éclairage dû au ciel seul.

L'éclairage lumineux d'une surface verticale dépend de la réflexion lumineuse sur le sol environnant. Le rapport entre l'éclairage lumineux d'une surface verticale ( $E_v$ ) et d'une surface horizontale ( $E_h$ ) est donné dans le graphe ci-dessous en fonction du facteur de réflexion du sol, pour un ciel couvert.

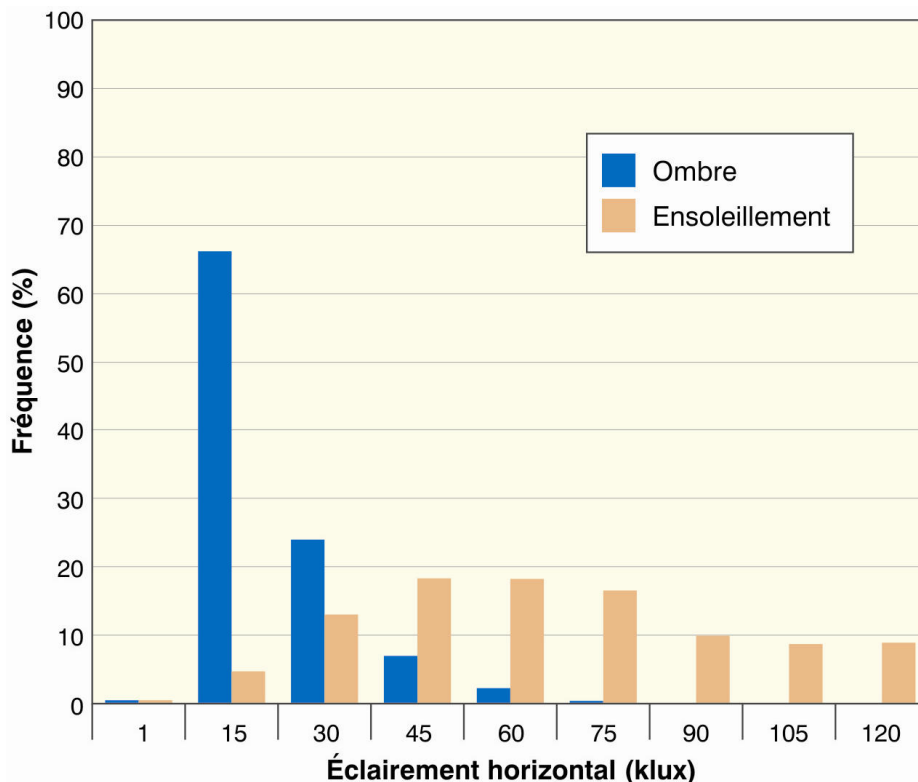


Par exemple, dans un environnement de pelouse dont le facteur de réflexion est 0.2, sous ciel couvert, le rapport  $E_v/E_h$  vaut 0.5. En se référant au graphe de l'éclairage lumineux d'une surface horizontale, nous voyons, par exemple, qu'en Belgique au mois de septembre à 8h30univ.,  $E_h = 10.000$  lx et qu'au mois de juin à 13h univ.,  $E_h = 24.000$  lx. Nous pouvons, dès lors, déduire l'éclairage sur une surface verticale placée sur cette pelouse, par ciel couvert :

- en septembre à 8h30univ.,  $E_v = 10.000 \times 0.5 = 5.000$  lx.
- en juin à 13 h univ.,  $E_v = 24.000 \times 0.5 = 12.000$  lx.

Qu'en est-il des niveaux d'éclairage à assurer dans les espaces publics extérieurs ? Il est communément admis que pour des tâches visuelles usuelles, les niveaux d'éclairage requis pour une perception visuelle confortable vont de 100 à 1000 lux selon la taille des détails géométriques qui doivent être perçus, avec des niveaux d'éclairage nécessaires plus élevés pour des détails plus fins.

Le schéma ci-dessous représente la distribution des niveaux d'éclairage diurnes observés sur deux espaces ouverts situés à Fribourg (Suisse). Ces mesures ont été prises sur deux semaines de chaque saison. Les bornes supérieures des intervalles de niveaux d'éclairage figurent sur l'axe horizontal. Des distributions semblables ont été observées dans d'autres lieux en Europe. Ce schéma montre clairement que les niveaux diurnes d'éclairage horizontal enregistrés sur des espaces ouverts dépassent presque toujours 1000 lux, même à l'ombre (Compagnon & Goyette-Pernot 2004).



(Compagnon & Goyette-Pernot 2004).

Ainsi, toutes les tâches visuelles courantes peuvent être généralement accomplies avec aisances dans les espaces publics urbains. Les niveaux d'éclairage des espaces ouverts peuvent toutefois devenir insuffisants à l'aurore, au crépuscule ou sur quelques zones spécifiques (canyon très profond, auvent de grande taille,...).

La photo ci-dessous montre un exemple de galerie étudiée du point de vue de la lumière naturelle afin d'apporter un éclairage suffisant tout au long de son parcours. Les puits de lumière créés dans le toit de la galerie apportent un complément d'éclairage naturel par rapport à la lumière qui vient de la rue. De plus, ce complément d'éclairage naturel limite les contrastes de luminance trop importants entre les surfaces de cette galerie et les surfaces adjacentes exposées au soleil direct.



Galerie éclairée naturellement par des puits de lumière. (Photo : S. Reiter).

Les usagers des espaces ouverts apprécient spécialement les zones où le ciel occupe une plus grande partie du champ visuel que les bâtiments environnants. De telles zones peuvent être considérées comme formant le « noyau » d'un espace ouvert. Le « noyau » est très sensible à la hauteur des bâtiments environnants. Par exemple, dès que le rapport hauteur/largeur d'un canyon urbain dépasse la valeur de 0.5, son noyau disparaît entièrement. (Compagnon & Goyette-Pernot 2004).

Il est également important de souligner que la proportion idéale d'ensoleillement d'un espace ouvert est de 20% à 80% de la surface du site (Compagnon & Goyette-Pernot 2004).



Zones ensoleillées et ombragées (Photo : S. Reiter).

Evidemment, **l'éclairage artificiel** des espaces publics en soirée et pendant la nuit est réellement un paramètre important du confort visuel des piétons. Les plans lumière sont donc effectivement un moteur de revitalisation de l'urbain. L'éclairage artificiel des espaces publics est un des domaines qui ouvre à la possibilité de créer des ambiances urbaines de qualité. Il est important de prendre en compte les implications de l'éclairage artificiel des espaces publics sur ses

consommations d'énergie, le confort des piétons en soirée ainsi que le sentiment de sécurité qui est conféré à ces lieux.

Pour ce qui a trait à la conception de la « mise en lumière » nocturne de nos villes, il s'agit d'un domaine qui s'écarte un peu de mon sujet d'étude ; le contexte de ce doctorat ne permet pas d'entrer en détail dans cette problématique complexe mais il serait extrêmement intéressant de pouvoir étudier ce domaine en profondeur dans une recherche ultérieure. Je me contenterai ici de citer deux exemples de réalisations remarquables :

- la ville de Lyon dont le premier plan lumière constitue une œuvre pionnière de grande qualité et qui renouvelle aujourd'hui son plan lumière pour l'intégrer dans le concept de développement durable.



(Photo : S. Reiter)



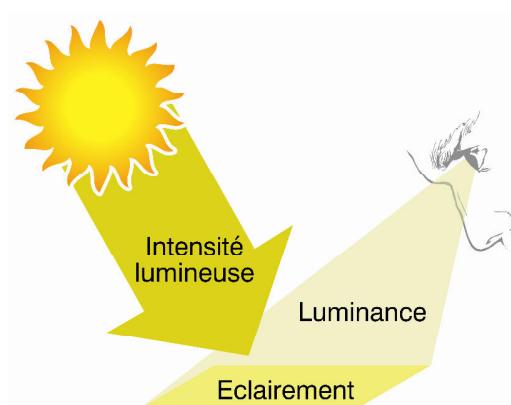
(Photo : S. Reiter)

- La ville de Mons, première commune wallonne à bénéficier d'un plan lumière. Son auteur, l'architecte-urbaniste Jean-Pierre Majot avait pris le parti de diminuer le niveau d'éclairage malgré les reproches des riverains qui exprimaient un sentiment d'insécurité. Réalisé grâce à une réflexion globale sur la ville, sur le patrimoine et les cheminements, le plan lumière de Mons a finalement rencontré la satisfaction de tous. Et depuis lors, les problèmes de vandalisme et d'agression ont disparu à Mons.

Pour plus de détail sur cette problématique essentielle, je vous recommande l'ouvrage de Roger Narboni sur ce sujet : « La lumière urbaine ». (Narboni 1995)

La **luminance** (L) d'une source est le rapport entre l'intensité lumineuse émise dans une direction et la surface apparente de la source lumineuse dans la direction considérée. La luminance s'exprime en candélas par mètre carré (cd/m<sup>2</sup>).

$$L = I / S_{\text{apparente}} \text{ (cd/ m}^2\text{)}$$



La luminance caractérise donc le flux lumineux quittant une surface vers l'œil de l'observateur. Elle s'exprime en candélas par m<sup>2</sup>. La luminance est la grandeur photométrique qui correspond le mieux à la sensation visuelle de luminosité d'une

surface. L'œil humain perçoit des niveaux de luminance allant de 0.001 cd/m<sup>2</sup> (vision nocturne où la perception des couleurs est impossible) à 100 000 cd/m<sup>2</sup>. Par contre, l'œil n'est pas sensible à des variations de luminances inférieures à 20 % : il ne peut que comparer et non mesurer des sensations lumineuses. Le tableau ci-dessous donne des ordres de grandeur de luminances de différents environnements. (Reiter & De Herde 2001)

Environnement	Luminance (cd/m <sup>2</sup> )
Paysage nocturne (limite de la visibilité)	0.001
Paysage par pleine lune	0.01 à 0.1
Surface noire mate éclairée par 100 lux	1.5
Parois intérieures éclairées	25 à 250
Surface blanche mate éclairée par 100 lux	30
Paysage par ciel couvert	300 à 5 000
Paysage par ciel clair	500 à 25 000
Lune	2500
Surface blanche au soleil	25 000
Soleil	1,5.10 <sup>9</sup>

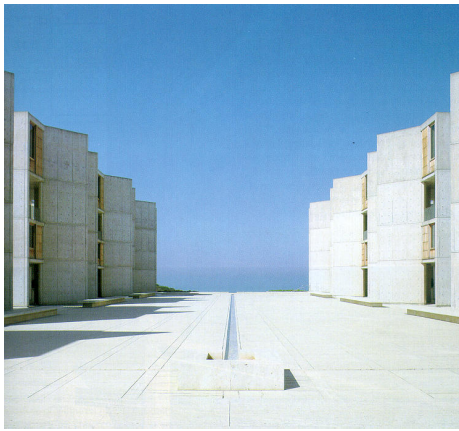
La luminance d'une surface dépend de l'éclairement de cette surface, de son coefficient de réflexion et de sa brillance. Dans le cas d'une surface parfaitement diffusante, éclairée de façon uniforme, la luminance est proportionnelle au facteur de réflexion de cette surface ( $\rho$ ) et à l'éclairement qu'elle reçoit. Par exemple, un papier blanc mat offre une luminance 20 fois plus importante que celle d'un papier noir mat recevant le même éclairement, parce que le facteur de réflexion du papier blanc est 20 fois plus important que celui du papier noir.

Le **facteur de réflexion** ( $\rho$ ) d'une surface est la quantité d'énergie lumineuse qu'elle réfléchit par rapport à celle qu'elle reçoit. Une surface dont le facteur de réflexion est élevé réfléchit beaucoup la lumière et apparaît claire. Une surface dont le facteur de réflexion est faible réfléchit peu la lumière et apparaît sombre. Les tableaux ci-dessous donnent les valeurs du facteur de réflexion de quelques revêtements de sol et de différents matériaux de construction. (Reiter & De Herde 2001)

Revêtements de sol		Matériaux de construction	
Type	Facteur de réflexion	Type	Facteur de réflexion
Pelouse	0.18 à 0.23	Vitrage	0.08 à 0.4
Herbe sèche	0.28 à 0.32	Brique rouge	0.05 à 0.2
Sable	0.09 à 0.55	Béton neuf	0.4 à 0.5
Plan d'eau ( $h_{\text{soleil}} = 40$ à $10^\circ$ )	0.1 à 0.47	Béton vieux	0.005 à 0.15
		Ciment	0.2 à 0.4
Prairie	0.14 à 0.18	Ardoises	0.1 à 0.15
Arbre feuillu	0.15	Aluminium	0.55 à 0.75
Conifère	0.05	Tôles de zinc	0.08 à 0.2
Terre	0.26	Asphalte	0.08 à 0.12
Macadam	0.18	Nickel	0.48 à 0.63
Gravier	0.15 à 0.35	Cuivre	0.48 à 0.5
Neige	0.8 à 0.9	Chrome	0.52 à 0.7



Les photos ci-dessous présentent deux exemples d'architecture contemporaine dont les coefficients de réflexion du sol et des façades dans le premier cas et les coefficients de réflexion du sol et des auvents dans le second cas sont élevés mettant en valeur la lumière naturelle.

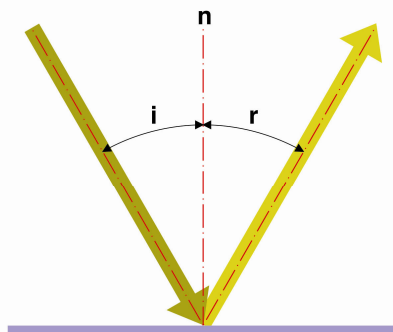


Architecte: Louis I. Kahn.  
(Photo: L. Korkmaz)

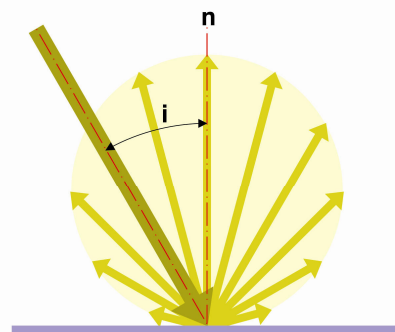


Architecte: Mies van der Rohe.  
(Photo: S. Reiter).

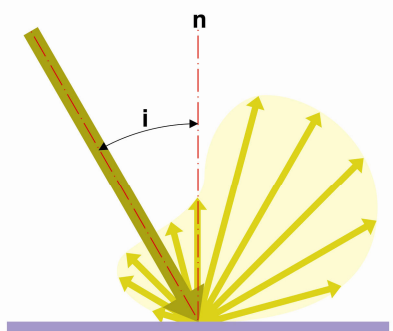
Il existe quatre modes de réflexion de la lumière sur une surface : la réflexion spéculaire où l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence du rayon lumineux, la réflexion diffuse parfaite où la lumière réfléchie est distribuée dans toutes les directions, la réflexion diffuse quelconque où la lumière se répartit de manière aléatoire, la réflexion mixte : la lumière est réfléchie de manière diffuse mais privilégie quand même une direction précise.



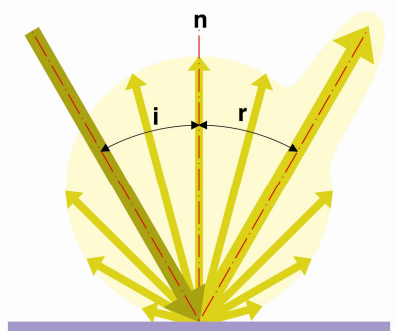
Réflexion spéculaire



Réflexion diffuse parfaite



Réflexion diffuse quelconque



Réflexion mixte

Le mode de réflexion de la lumière sur une surface dépend de sa **brillance**. Une surface spéculaire (miroir ou métal poli) est lisse et parfaitement réfléchissante. La réflexion d'un objet sur une surface spéculaire reproduira l'image inversée de celui-ci. Une surface brillante est lisse et partiellement réfléchissante. Un objet réfléchi sur une surface brillante y dessine sa silhouette. Une surface mate est parfaitement diffusante. Aucun objet ne peut être perçu par sa réflexion sur une surface mate. Le comportement d'une surface satinée correspond à celui d'une surface brillante ou mate selon l'angle d'incidence du rayon lumineux. Si le rayon est rasant, la surface satinée réagit comme une surface brillante. Lorsque l'angle d'incidence diminue, elle se rapproche d'une surface mate.



Surface spéculaire



Surface brillante



Surface mate  
(Photos : Reiter & De Herde 2001)



Surface satinée

Il est important de choisir attentivement les facteurs de réflexion et la brillance des matériaux utilisés dans les espaces publics. Par exemple, les pavés blancs de Louvain-la-Neuve ont été choisis pour accroître la luminosité des espaces publics du centre.



La Grand Place de Louvain-la-Neuve. (Photos : S. Reiter).

La photo de gauche ci-dessous montre les réflexions indésirables générées sur les vitrines des magasins (sans filtre polariseur). Notons aussi que la couleur d'une surface brillante est plus intense que celle d'une surface mate.



(Reiter & De Herde 2001)



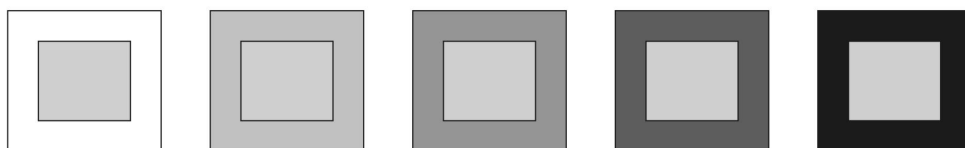
(Reiter & De Herde 2001)

L'architecte peut aussi influencer la couleur apparente de la lumière naturelle par le choix des matériaux et des couleurs des éléments qui vont transmettre et réfléchir la lumière.



(Reiter & De Herde 2001)

Le facteur dominant dans la distinction d'un objet est le contraste de luminances ou de couleurs entre cet objet et son entourage immédiat. Il est plus facile de lire un texte imprimé en noir sur fond blanc qu'en noir sur fond gris. Le contraste des luminances est dans ce cas égal au rapport des coefficients de réflexion de l'encre noir et du support, soit 20/1 dans le premier cas, et de 10/1 à 2/1 dans le second, en fonction du gris utilisé. Par effet de contraste, le rectangle intérieur de la figure ci-dessous paraît plus clair à l'extrême droite qu'à l'extrême gauche, alors qu'ils présentent tous la même couleur en réalité.



Pour voir clairement un objet, il faut un minimum de contraste de luminance ou de couleur entre l'objet et son environnement proche. Ainsi, la structure de la photo ci-dessous est mise en évidence par la clarté du ciel alors qu'elle disparaît devant la masse sombre des arbres.



(Reiter & De Herde 2001)

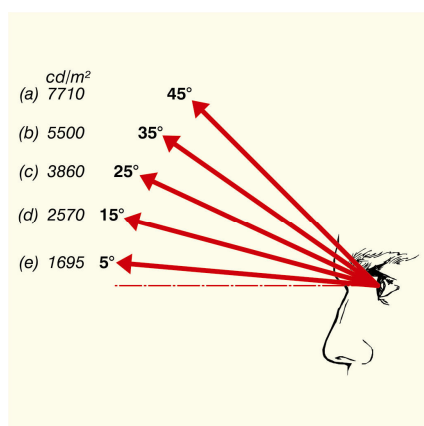
L'**éblouissement** résulte de conditions de vision dans lesquelles l'individu est moins apte à percevoir les objets, suite à des luminances ou à des contrastes de luminance excessifs dans l'espace et dans le temps.

Nous distinguons l'éblouissement direct et l'éblouissement indirect:

- l'éblouissement direct est causé par la présence d'une source lumineuse intense au centre du champ de vision.
- l'éblouissement indirect provient d'une réflexion perturbatrice des sources lumineuses sur des surfaces spéculaires ou brillantes.

L'éblouissement est dû à une luminosité trop intense de surfaces placées dans la direction de la vision ou à un contraste lumineux trop important entre surfaces contiguës. Il place l'individu dans des situations de grand inconfort visuel.

La limite supérieure généralement admise pour la valeur de la luminance absolue d'une surface est de  $1500 \text{ cd/m}^2$ . Les valeurs de luminances maximales admissibles sont données dans la figure ci-dessous en fonction de l'angle de vision: plus l'angle formé par l'horizontale et la droite qui relie l'oeil à la source lumineuse augmente, plus la valeur de luminance admissible croît, qu'il s'agisse d'éblouissement direct ou indirect. (Reiter & De Herde 2001)

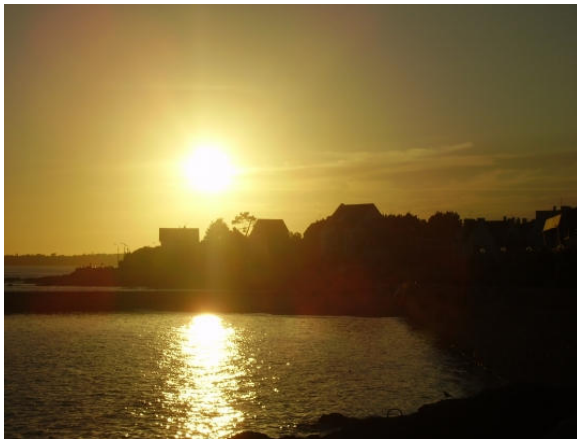


Lorsqu'il y a de grandes différences de luminance dans le champ visuel, l'oeil doit s'adapter lorsque la direction du regard change. Pendant son adaptation, l'acuité visuelle est diminuée. Pour éviter de telles fatigues inutiles, il convient de ne pas dépasser certaines valeurs de contraste entre les différentes zones du champ visuel. Les valeurs maximales recommandées pour les rapports de luminance sont les suivantes:

Zones du champ visuel	Rapport de luminance maximal
Arrière-fond de la tâche visuelle / entourage	3/1
Arrière fond de la tâche visuelle / champ périphérique	10/1
Source lumineuses / surfaces contiguës	20/1
Ensemble de l'espace	40/1

Les sources d'éblouissement dans un espace public urbain sont:

- la vision directe du soleil,
- la réflexion du soleil sur des surfaces spéculaires ou brillantes,
- un contraste de luminance excessif entre des surfaces adjacentes.



(Photo : T. Dugenetay).

Dans les espaces extérieurs, les problèmes d'éblouissement les plus courants proviennent de surfaces très réfléchissantes, le plus souvent orientées au sud. Nous devons donc faire attention à l'orientation des surfaces à réflexion spéculaire (vitrages réfléchissants, ...). Les surfaces vitrées verticales avec un vitrage clair ne causent un problème d'éblouissement que lorsque le soleil est très bas (lever et coucher du soleil). Par contre, lorsque la façade est inclinée, des problèmes peuvent se produire même lorsque le soleil est haut dans le ciel.



(Reiter & De Herde 2001)



(Reiter & De Herde 2001)

La photo ci-dessous montre une galerie conçue par Louis I. Kahn de manière à éviter les contrastes de luminance trop importants entre les surfaces ombragées de la galerie et la luminosité du ciel. Une zone intermédiaire entre l'extérieur et la partie la plus sombre de la galerie assure la transition visuelle et limite les risques d'éblouissement.



(Photo : V. Mahaut)

A intensité égale, la sensation d'éblouissement produite par une source lumineuse soudaine se révèle plus forte et plus prolongée lorsque la luminosité ambiante est faible. Ainsi, la nuit, nous sommes plus aveuglés par les phares d'une voiture en rase campagne qu'au centre d'une ville.

Notre **perception du relief et du modelé des surfaces** qui nous entourent dépend de la direction selon laquelle la lumière les éclaire et du type d'ombre qu'elles créent. La direction de la lumière et la profondeur des ombres sont déterminées par la distribution spatiale des sources lumineuses et l'orientation des objets par rapport au soleil. Les ombres sont très importantes pour déterminer la position d'un objet dans l'espace lorsqu'il n'y a pas d'autre référence. Il est frappant de constater à quel point les ombres portées des photos ci-dessous rendent perceptible les avancées des tours et la distance qui sépare la statue du mur qui la jouxte.



(Photo : S. Reiter)



(Photo : S. Reiter)

Pour certaines tâches visuelles, des effets d'ombres apportés par un éclairage spécifique peuvent être recherchés pour accentuer le relief ou la texture de certains éléments. Sous la lumière solaire dirigée, le relief et le modelé sont tous deux accentués. La lumière diffuse d'un ciel couvert induit en général une sensation de monotonie et atténue le relief des éléments qu'elle éclaire.



(Photo : S. Reiter)

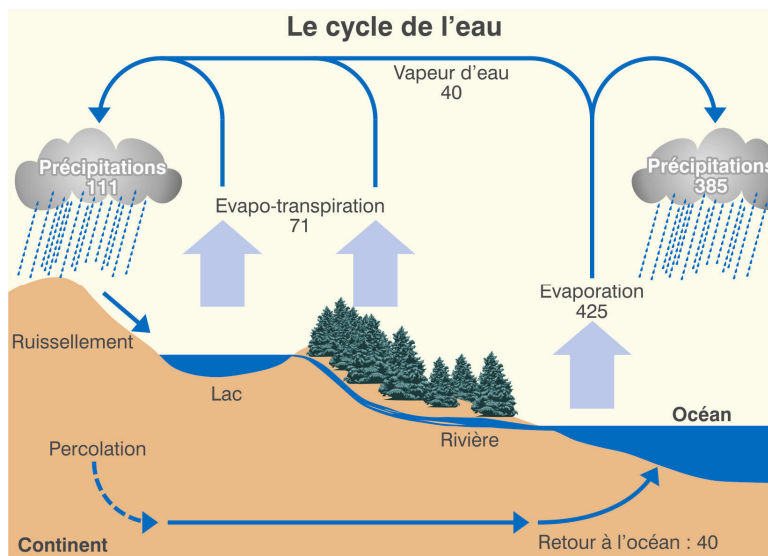


(Photo : S. Reiter)

### 2.3.6 Les critères quantitatifs du confort par rapport aux intempéries

Le régime des **précipitations** constitue un élément clé d'un climat et d'un lieu. Les précipitations recouvrent une réalité multiple : pluie, grêle, neige sont les manifestations d'un même processus fondamental, le cycle de l'eau. La terre compte quelque 1 460 millions de km<sup>3</sup> d'eau, mais qui se trouvent à plus de 97 % dans les océans. Une fraction minimale (2,59 %) se situe sur les continents sous forme de neige, de glace ou d'eaux souterraines. Enfin, seule une infime proportion (0,014 %) est accessible aux organismes vivants.

La figure ci-dessous illustre le cycle hydrologique. Les chiffres présentés en milliers de km<sup>3</sup> sont difficiles à estimer mais ils permettent de se faire une première idée du bilan hydrologique global.



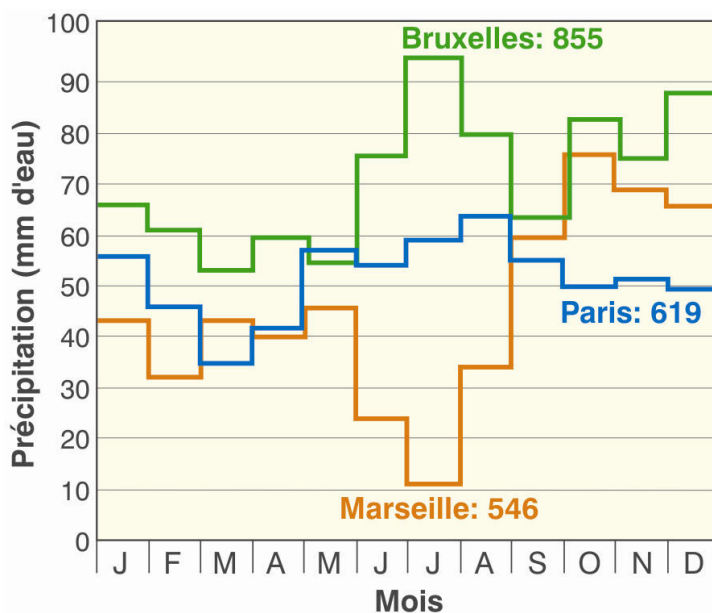
Les lacs, les ruisseaux, les rivières et les fleuves sont continuellement alimentés en eau douce par la vapeur d'eau atmosphérique, lorsqu'elle précipite sous forme de pluie ou de neige. Il tombe en moyenne 1 mètre d'eau par an sur toute la surface de la Terre. Au niveau des océans, sous les climats tropicaux, près de 425 000 km<sup>3</sup> d'eau s'évaporent (soit environ 117 cm) et 385 000 km<sup>3</sup> précipitent chaque année. Les continents reçoivent 111 000 km<sup>3</sup> d'eau par an ( $\pm$  74 cm), dont 40 000 proviennent des océans et 71 000 de l'évaporation des eaux continentales et de la transpiration des végétaux.

Pour fermer le cycle, on estime que 40 000 km<sup>3</sup> d'eau retournent chaque année de la terre à la mer. Sur cette quantité, l'homme ponctionne environ 9 000 km<sup>3</sup>, ce qui devrait suffire à assurer largement la subsistance de 20 milliards d'êtres humains mais ces ressources en eau ne sont pas uniformément réparties. En Islande, les précipitations assurent près de 65 000 m<sup>3</sup> d'eau par an et par habitant, alors que ce chiffre est quasiment nul pour les habitants du golfe Persique.

De nos jours, plus de 1,2 milliard d'hommes ne disposent pas du minimum élémentaire de 20 litres d'eau potable par jour. Dans les pays en développement, trois personnes sur cinq n'ont pas encore accès à l'eau potable. L'eau est donc une richesse à conserver et protéger. Pour le développement durable des villes, il est important de promouvoir des aménagements urbains qui préservent et valorisent l'eau.

**Cependant, les intempéries sont souvent une cause d'inconfort pour les piétons. Dès qu'il pleut ou qu'il neige, la situation devient rapidement inconfortable.** Il est donc judicieux d'évaluer l'intensité et la distribution des intempéries dans le climat considéré.

La figure ci-dessous permet de comparer les valeurs des précipitations mensuelles et annuelles à Bruxelles (855 mm/an), Paris (619 mm/an) et Marseille (546 mm/an). En plus des valeurs quantitatives, il est intéressant de comparer le calendrier des précipitations : été pluvieux à Bruxelles, été très sec à Marseille, averses réparties sur toute l'année à Paris.





Le tableau ci-dessous donne précisément la moyenne mensuelle des précipitations à Bruxelles.

Précipitations à Bruxelles												
Total /an [mm]	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
855	66	61	53	60	55	76	95	80	63	83	75	88

Le confort par rapport aux précipitations est un élément essentiel du confort des piétons. C'est malheureusement un paramètre qui est toujours négligé. Nous n'avons pu trouver aucune référence donnant des limites quantitatives par rapport à la quantité d'eau tombant par mois au-delà de laquelle des protections contre les intempéries dans les espaces publics deviennent indispensables pour un bon confort des piétons.

Nous proposons deux valeurs de manière intuitive mais il serait nécessaire de les tester sur des cas concrets. Il nous semble qu'au-delà de 50mm d'eau en moyenne par mois, la protection contre les intempéries devient un paramètre non négligeable du confort des piétons dans les espaces publics urbains et qu'au-delà de 100 mm par mois, cela devient un élément réellement critique.

Ainsi, on voit que ni Paris, ni Bruxelles, ni Marseille ne nécessitent des protections contre les intempéries dans tous leurs espaces publics, puisque la pluviosité y est toujours inférieure à 100 mm d'eau par mois. Par contre, le fait de pouvoir se protéger de la pluie est un élément non négligeable dans l'évaluation du confort pendant toute l'année à Bruxelles, pendant 6 mois par an à Paris et pendant 4 mois par an à Marseille. On peut en déduire que l'utilisation de protections contre les intempéries à Bruxelles est un élément qui favorise le confort des piétons tout au long de l'année. C'est donc, parmi ces trois villes, celle où il sera le plus utile de prévoir des zones piétonnes protégées de la pluie, telles que des galeries, des auvents, ...

Ainsi, en Belgique, les protections contre les intempéries dans les espaces publics extérieurs sont toujours bienvenues car elles favorisent leur utilisation lorsqu'il pleut. Les deux photos ci-dessous montrent bien que, par temps de pluie, les personnes se déplacent aisément avec un parapluie mais qu'elles ne s'arrêtent dans un espace public que si elles peuvent être à l'abri de la pluie.



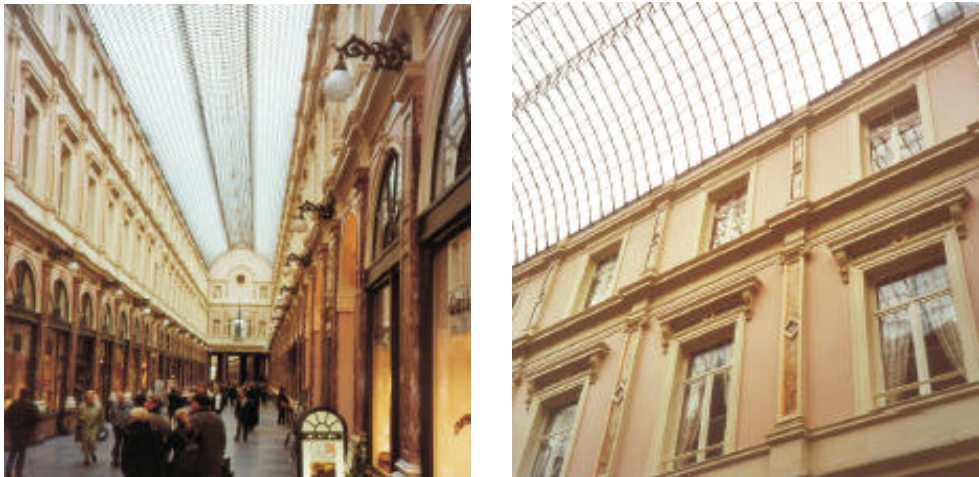
Protections contre les intempéries. (Photos : S. Reiter).

D'autre part, les aménagements qui permettent de se déplacer au sec quand il pleut sont très utiles toute l'année pour motiver les personnes à marcher plutôt qu'à prendre une voiture. Grâce à ses longues galeries ouvertes sur l'espace de la rue, la ville de Louvain-La-Neuve offre un très bel exemple d'un réseau d'espaces publics assurant le confort par rapport aux intempéries. Il est donc très agréable d'y cheminer quelque soient les conditions météorologiques.



Protections contre les intempéries à Louvain-la-Neuve. (Photos : S. Reiter)

A Bruxelles, l'architecte J.-P. Cluysenaer a contribué à donner à la typologie de la galerie couverte une dimension monumentale et une fonction de structuration urbaine. Les Galeries royales Saint-Hubert, édifiées à Bruxelles en 1847 et conservées pratiquement intactes, sont toujours un exemple remarquable de lieu public protégé des intempéries. Ces magnifiques galeries mêlent des fonctions publiques (commerces, cafés et lieux culturels) et des fonctions privées (appartements). Elles comportent trois espaces publics différenciés (la Galerie du Roi, la Galerie de la Reine et le Passage du Prince) qui s'inscrivent dans les rues du centre ville par trois portiques. Lieu de rencontres et de loisirs, les galeries contribuent depuis leur récente restauration à la revitalisation du centre de la capitale. Elles sont un des lieux les plus prisés des Bruxellois et des touristes.



Galeries Saint-Hubert à Bruxelles. (Photos : S. Reiter).

Notons que la protection par rapport aux intempéries devient un élément réellement critique de la conception des espaces publics dans les climats froids (chutes de neige,...) ou très pluvieux (moussons,...). Dans les climats à fortes précipitations, les galeries couvertes et autres protections contre les intempéries sont des éléments indispensables pour la conception d'espaces publics confortables et la valorisation de cheminements privilégiés.

Il est important de protéger les édifices et les lieux de détente de la neige. Dans les climats froids, une architecture spécifique est créée pour tenir compte de ces besoins de protection par rapport aux précipitations. Le principe de base est que la neige se dépose et s'accumule là où il y a une bonne protection au vent.



(Photos : S. Reiter).

## 2.4 Nouvelle méthode d'évaluation du confort à l'extérieur

Les espaces extérieurs présentent peu de contraintes. Les personnes qui s'y arrêtent y sont par leurs propres choix. Cependant, cette thèse montre clairement que le microclimat est un des facteurs qui influencent l'utilisation des espaces publics. Le confort climatique n'est pas suffisant pour rendre une place agréable mais il participe à l'évaluation ou à la dépréciation des caractéristiques physiques du site.

Ainsi, la perception du confort possible détermine le fait de sortir à l'extérieur et l'impression de confort ressentie motive à s'arrêter dans un espace plutôt que de le traverser. Cependant, lorsque quelqu'un a décidé de sortir et de s'asseoir dehors, il s'est préparé à s'accommoder aux conditions extérieures. C'est là que l'adaptation psychologique prend toute son importance. En fait, les êtres humains évitent l'inconfort mais ne recherchent pas spécialement un confort optimal.

La notion de confort est vécue comme une sensation globale de bien-être ou d'inconfort, ce qui engendre une difficulté à percevoir d'où vient la cause d'une insatisfaction. Le confort est aussi bien influencé par des éléments objectifs que subjectifs. Une approche uniquement quantitative est donc insuffisante pour décrire les conditions de confort à l'extérieur. Toute étude prenant en compte la qualité des espaces publics urbains se doit d'intégrer deux démarches: artistique et scientifique, qualitative et quantitative, dès l'esquisse d'un projet, ce qui est rarement réalisé.

Notre nouvelle approche du confort dans les espaces publics urbains consiste à réunir les approches physiologiques et psychologiques, quantitatives et qualitatives, afin de favoriser une utilisation optimale des éléments climatiques dans les espaces publics. Ce point de vue est une innovation. Cette stratégie de conception, basée sur le rassemblement des critères à la fois quantitatifs et qualitatifs, ne vise pas à limiter les solutions possibles mais bien à enrichir le processus de conception et les futures réalisations urbanistiques. Les concepteurs peuvent jouer sur tous ces facteurs pour améliorer concrètement la qualité des espaces publics urbains.

Il ne faut pas limiter le confort à une seule solution possible: la neutralité physiologique. Grâce à notre capacité à nous adapter à notre environnement, nous pouvons envisager une gamme de sensations physiologiques acceptables associée à la liberté de pouvoir nous adapter à notre environnement. Ainsi les aspects physiologiques et psychologiques du confort sont complémentaires et non pas contradictoires.

Une conception prudente et étudiée des ambiances urbaines peut fournir une protection contre les aspects négatifs et une exposition aux aspects positifs de l'environnement climatique et sonore en milieu urbain, pour la majorité des utilisateurs pendant la plus grande partie du temps. Ce doctorat permet d'affirmer que la conception d'un projet urbain de qualité du point de vue des ambiances urbaines doit intégrer la question du confort humain à travers une évaluation quantitative de l'équilibre thermique des piétons, de l'effet mécanique du vent, de la qualité de l'air, du niveau sonore, de la luminance des surfaces et de l'intensité des intempéries ainsi qu'une évaluation qualitative des critères qui influencent l'adaptabilité psychologique des piétons, afin de tirer les conclusions les plus judicieuses de cet ensemble de critères pour améliorer les possibilités de confort des piétons dans les espaces publics.

Les paramètres physiologiques du confort thermique sont la température et la vitesse de l'air, le rayonnement, l'humidité relative, l'habillement des citoyens et leurs activités. Le problème de tous les indices de confort thermique est de fixer des limites quantitatives trop strictes. Il est en effet justifié de donner des valeurs quantitatives de l'inconfort thermique à l'extérieur mais aucun système n'existe actuellement pour préciser ces valeurs de manière exacte. Notre point de vue est qu'une détermination trop complexe du confort thermique quantitatif à l'extérieur est inutile à cause de l'importance des processus d'adaptation psychologique qui modifient largement la sensation de confort perçue. Deux méthodes intéressantes doivent être signalées : celle d'Olgay parce qu'elle est très expressive de par sa présentation graphique et que son évaluation est très rapide et surtout celle de Brown et Gillespie, que nous avons adaptée pour offrir un calcul simplifié mais détaillé du bilan thermique d'une personne, qui fait intervenir les paramètres urbanistiques (facteur de vue du ciel, albedo des surfaces,...). Ces deux méthodes permettent de déterminer rapidement les paramètres à modifier pour améliorer une situation spécifique.

Pour l'inconfort lié à l'effet mécanique du vent, nous avons opéré un choix de critères de confort et d'insécurité parmi un très grand nombre de critères présentés dans la littérature. La règle la plus importante à retenir est la suivante : la vitesse moyenne de l'air doit être inférieure à 5m/s sur l'ensemble de l'espace public pendant la plus grande majorité du temps ( $U \leq 5\text{m/s}$ ).

Pour une étude plus précise, notre choix se porte sur les deux critères scientifiques suivants :

- limite du confort :  $P(U + \sigma_u > 6\text{m/s}) < P_{\text{max}}$ , avec  $U$  vitesse moyenne horaire à 1.5 m du sol et  $U + \sigma_u$  est la vitesse de vent effective.  $P_{\text{max}}$  est une probabilité maximale de 5% pour un long séjour immobile, de 10% pour un court séjour immobile et de 15% pour flâner.
- limite de danger :  $P(U + 3 \sigma_u > 20\text{m/s}) < P_{\text{max}}$ , où  $P_{\text{max}} = 1 \text{ heure/an} = 0.01\%$ . Le terme  $U + 3 \sigma_u$  correspond à la vitesse de vent effective pour une turbulence maximale mesurée en une heure par moyennes de 3 secondes de mesures.

Il faut toutefois garder à l'esprit que si le confort des piétons lié à l'effet mécanique du vent nécessite que les vitesses de vent ne soient pas trop fortes ( $U \leq 5 \text{ m/s}$ ), une bonne ventilation des rues pour assurer la qualité de l'air et leur confort respiratoire demande une vitesse de vent minimale de 2m/s au-dessus des toits.

Par ailleurs, la pollution atmosphérique ne devrait pas dépasser les seuils suivants afin de respecter le confort respiratoire des citoyens.

Polluant	Type de concentration	Valeur de la norme
SO <sub>2</sub>	Horaire	350 µg/m <sup>3</sup>
	Journalière	125 µg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	Horaire	200 µg/m <sup>3</sup>
	Annuelle	40 µg/m <sup>3</sup>
PM10	Journalière	50 µg/m <sup>3</sup>
	Annuelle	20 µg/m <sup>3</sup>
Pb	Annuelle	0.5 µg/m <sup>3</sup>
O <sub>3</sub>	8h-max	120 µg/m <sup>3</sup>
CO	8h	10 µg/m <sup>3</sup>
Benzène	Annuelle	5 µg/m <sup>3</sup>

Du point de vue quantitatif de la gêne sonore en ville, les niveaux sonores équivalents ( $L_{Aeq,8h}$ ) doivent être strictement limités dans les espaces publics à une valeur de 65 dB(A) en journée et à une valeur de 60 dB(A) la nuit.

Il y a quatre conclusions importantes pour le confort visuel quantitatif des piétons :

- à l'exception de rues très étroites et profondes ou de certaines arcades, la lumière naturelle est toujours suffisante dans les espaces urbains du point de vue du confort visuel.
- il faut favoriser les zones où le ciel occupe une plus grande partie du champ visuel que les bâtiments environnants. En première approximation, ces zones correspondent aux parties de l'espace pour lesquelles le rapport entre la hauteur des bâtiments et la largeur de l'espace reste inférieur à 1/2 (c'est-à-dire  $H/W < 0.5$ ).
- pour correspondre aux préférences des utilisateurs de ces espaces, le potentiel d'ensevelissement direct d'un espace public devrait couvrir entre 20% et 80% de sa surface totale quelle que soit l'heure ou la saison.
- Les problèmes majeurs rencontrés à l'extérieur du point de vue quantitatif du confort visuel sont de deux types :
  - en journée, les risques d'éblouissement qui sont le plus souvent générés par les réflexions spéculaires du rayonnement solaire direct sur des surfaces très réfléchissantes.
  - après le coucher du soleil, le mauvais éclairage artificiel des espaces publics.

Un élément important du confort physiologique constitue le fait de pouvoir être à l'abri des intempéries (pluie, neige,...). Dans les pays à fortes précipitations, toutes les protections contre les intempéries sont à valoriser : auvents, galeries,...

Différents critères psychologiques du confort humain à l'extérieur ont pu être mis à jour dans cette étude. Nous devons être conscients des implications significatives de ces éléments psychologiques sur le confort. Les concepteurs de l'espace urbain devraient tenir compte de ces paramètres pour améliorer la qualité de nos villes.

Nous avons relevé dix paramètres qui influencent de manière significative l'évaluation qualitative du confort à l'extérieur. Il s'agit de:

- la globalité de la sensation de confort,
- l'identification d'une ambiance,
- la relation au contexte,
- la continuité des conditions environnementales,
- la diversité des ambiances (qui comprend la nécessité de créer une variété d'ambiances à proximité ainsi que plusieurs choix d'ambiances sur une même place),
- la perception du contrôle possible,
- la capacité de s'adapter,
- la naturalité du lieu (qui est aussi marquée par le besoin de stimulations environnementales en milieu urbain),
- la variabilité des conditions environnementales,
- le caractère signifiant du lieu.

Notre étude a permis de constater que les critères physiologiques du confort des piétons doivent être définis séparément en fonction des différents types de confort: confort thermique, confort mécanique lié au vent, confort respiratoire, confort acoustique, confort visuel et confort par rapport aux intempéries. En revanche, les aspects qualitatifs du confort humain sont identiques pour ces différents types de confort physique.

Nous conseillons donc, dans un premier temps, d'évaluer un projet quantitativement suivant les moments les plus importants de l'année et de la journée pour pouvoir établir le pourcentage de temps pendant lequel l'espace conçu est confortable. A partir de ces données, il est possible d'évaluer les critères qualitatifs du confort, tels que la diversité des ambiances, la naturalité du lieu,... Ces critères devraient être évalués séparément et dans leur globalité pour voir quels sont les éléments environnementaux qu'il est nécessaire de modifier pour assurer, le plus souvent possible, le confort global (quantitatif et qualitatif) des personnes, en fonction des caractéristiques du contexte environnemental, construit et humain.

Malgré la complexité des interrelations ci-dessus, il est possible de considérer **quelques pistes de conception** qui vont influencer le confort des piétons en site urbain. Ainsi, il est déjà possible de modifier les conditions de confort d'une place par plusieurs moyens:

- en modifiant le microclimat d'un lieu par l'adaptation d'un de ses paramètres physiques, en général le rayonnement solaire ou le vent.
- en contrôlant le niveau sonore d'un espace.
- en valorisant les spécificités d'un lieu.
- en stimulant des activités adaptées au lieu.
- en créant des lieux de transition entre zones différentes (intérieur/extérieur, etc.) pour atténuer les contrastes par rapport à l'expérience passée récente et améliorer la continuité des conditions climatiques et sonores.
- en créant une ambiance différente de celle des places situées à proximité.
- en augmentant le contrôle perçu (par exemple par des dispositifs mobiles).
- en proposant plusieurs possibilités d'ambiances dans un même lieu: de l'ombre et du soleil, du vent et un abri, de l'animation et du calme, ...
- en augmentant la naturalité du lieu par de la végétation ou la possibilité d'une stimulation environnementale.
- en jouant sur la qualité signifiante des éléments environnementaux.

Le graphe ci-dessous synthétise la nouvelle méthode d'évaluation du confort extérieur qui a été développée dans le cadre de ce doctorat :

