

**CENTRE UNIVERSITAIRE D'ETUDE  
DES PROBLEMES DE L'**



# **ÉNERGIE ET CLIMAT URBAIN**

**Actes de la Journée du CUEPE 1995**

**Bernard LACHAL, Franco ROMERIO,  
Jacques ROYER et Willi WEBER**



UNIVERSITE DE GENEVE

SERIE DE PUBLICATIONS DU CUEPE N° 62

Edition revue et complétée

Actes de la Journée du CUEPE 1995

# **ENERGIE ET CLIMAT URBAIN**

sous le patronnage de l'Office fédéral de l'énergie

Edités par

Bernard LACHAL, Franco ROMERIO,  
Jacques ROYER et Willi WEBER

Avril 1996

Edition revue et complétée

Adresse: Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (CUEPE)  
Case postale 81, CH-1231 Conches-Genève



## TABLE DES MATIERES

<b>Avant propos</b>	i
Fabrizio Carlevaro, CUEPE, Université de Genève	
<b>Conférenciers invités</b>	
Les particularités du climat urbain	1
Gisèle Escourrou, Université de Paris-Sorbonne	
Energie et écotoxicologie humaine	9
Michel Guillemin, Institut universitaire romand de Santé au Travail	
Complément au texte de M. Guillemin: Epidémiologie des affections bronchiques et rôle de la pollution atmosphérique	13
Philippe Leuenberger, Division de pneumologie, Département de médecine interne, CHUV	
Morphologie urbaine et climat urbain	19
Jean-Pierre Peneau, Ecole d'Architecture de Nantes	
Economic instruments as part of a long-term, integrated strategy to reduce urban pollution problems	31
H. Wuester, Commission économique pour l'Europe des Nations Unies, Genève	
<b>Session 1: cas suisses et internationaux, présentation et discussion des contributions</b>	
Espèce, espace, énergie	39
Jacques Vicari, Centre universitaire d'écologie humaine, Université de Genève	
Human thermal discomfort conditions and heat island effect over Athens, Greece	43
I. Livada-Tselepidaki, M. Santamouris, N. Dris, University of Athens	
Microclimatic patterns in the city of Athens	49
Michael Petrakis, National Observatory of Athens, Institute of Meteorology and Physics of the Atmospheric Environment	
Costing the traffic barrier effect: A Contingent Valuation Survey. Running head : Costing the Traffic Barrier Effect	55
Nils Soguel, IDHEAP - University of Lausanne	

Aide à la décision pour la planification énergétique d'un quartier Olivier Ouzilou, Amstein & Walthert S.A., Genève	63
Energie et environnement: le rôle des villes Nicola De Michelis, OCDE, Division des Affaires Urbains	71
Aménagement et structuration urbaine à Bafoussam (Cameroun): analyse et impact Valentin Mouafo, Cercle international pour la promotion de la création, Bafoussam	77
Can simplified urban parameters indicate environmental performance? N.V. Baker, K. Steemers, D. Crowther, M. Nikolopolou The Martin Centre for Architectural and Urban Studies, University of Cambridge	85
A network flow approach to sustainable urban development Ausilio Bauen and Nigel Lucas, Centre for Environmental Technology, Imperial College, London	91
<b>Session 2: le cas de Genève, présentation et discussion des contributions</b>	
Aspects de climatologie des villes suisses. Cas de Bienne et des villes du bassin lémanique J. A. Hertig, LASSEN-EPFL.	97
Genève: morphologie urbaine et typologies caractéristiques Pierre Baertschi, Conservateur cantonal, Direction du patrimoine et des sites - DTPE Genève	115
Mise en évidence du réchauffement de la zone de l'aéroport de Genève-Cointrin. François Calame, Station fédérale de recherches agronomiques de Changins, Nyon	121
Evolution du micro-climat genevois Georges Krebs, Professeur à l'EIG	125
Quelques aspects du climat urbain de Genève et ses conséquences sur l'environnement Bernard Lachal, CUEPE, Université de Genève	129
Quelques effets des aérosols à Genève Benoît Molineaux, P. Ineichen, B. Lachal, CUEPE et GAP, Université de Genève	135

Qualité de l'air à Genève: réseau de surveillance et plan de mesures J.-Cl. Landry, F. Cupelin, Service de l'Ecotoxicologue cantonal, Genève	145
Stratégies anti-pollution et comportement privé Danielle Bütschi, Département de Science Politique, Université de Genève	151
Le mouvement "cyclo-écologiste" et d'opposition aux abus de l'automobile Benoît Lambert, Faculté de Droit, Université de Genève	157
Urbanisme du Quai Wilson: entre patrimoine, utopie et réalité. Que choisir? Marc Lambelin, Secrétaire général 95 de la Jeune Chambre Economique de Genève (JCEG)	163
<b>En guise de conclusion</b>	
Quelques points saillants des discussions. B. Lachal, Jacques Royer, CUEPE, Université de Genève	167
<b>Exposition</b>	
Végétalisation du milieu construit, pourquoi ? Convive, Genève	169
<b>Programme</b>	175
<b>Liste des participants</b>	177



## AVANT PROPOS

Cette cinquième journée du CUEPE se propose de traiter des liens entre les effets climatiques locaux et régionaux dans les villes et les système énergétiques. Les mesures correctives et les stratégies de développement qu'on peut envisager à cet égard ont une importance fondamentale, si on pense aux problèmes socio-économiques et environnementaux auxquels sont confrontées les populations vivant dans les villes aussi bien dans les pays du Nord que du Sud. Les problèmes climatiques des villes concernent en effet la majorité de la population mondiale du 21ème siècle, du simple fait que 2.4 milliards d'hommes y vivent actuellement, et que le taux d'urbanisation atteint déjà 73% dans les pays industrialisés et ne fait que croître dans les pays du sud. De plus, la taille des villes, surtout dans ces derniers, ne cesse d'augmenter; on compte déjà plus de 300 villes d'un million d'habitants, et des dizaines de mégapoles.

Le thème «Energie et Climat urbain» devrait se prêter, lors de cette journée, à une *approche pluri-disciplinaire* qu'on se propose de développer en trois points:

- climatologie urbaine, relevant principalement de la physique et des sciences de l'environnement;
- aménagement du territoire, urbanisme et morphologie urbaine, intéressant les responsables politiques, les urbanistes et les architectes;
- mesures correctives et stratégies de développement à long terme de la ville, relevant des sciences économiques et sociales, mais aussi de toutes les disciplines déjà citées.

### 1. Climatologie urbaine

Le premier point abordé concerne l'étude du microclimat urbain, dont les composantes sont une température plus forte, un taux de pollution de l'air élevé, un air plus stagnant, ainsi que la formation de dômes d'air pollué et surchauffé, englobant centre urbain et banlieue, où l'air est brassé mais non renouvelé. Nous voudrions approfondir tout particulièrement les causes et les effets de ces phénomènes. Parmi les causes, on cite d'une part l'urbanisation qui bloque les vents, modifie en l'accéléralant l'écoulement des eaux de surface, piège la chaleur solaire; d'autre part, le dégagement de chaleur et les émissions polluantes consécutifs à la production et aux divers usages de l'énergie en ville. Concernant les effets, peut-on mesurer les atteintes à la santé entraînées par les interactions entre ces phénomènes de pollution ? Ces agressions, jointes à d'autres nuisances dont souffrent les centres des villes (bruit, congestion du trafic) sont vraisemblablement à l'origine de l'exode d'un nombre grandissant d'habitants vers des quartiers ou banlieues moins polluées. Les inégalités sociales ne s'en trouvent-elles pas renforcées, puisque ceux qui n'ont pas les moyens de la fuir n'ont d'autres choix que de subir la pollution ?

### 2. Aménagement du territoire, urbanisme et morphologie urbaine

Le deuxième point abordé concerne la dynamique du changement au niveau de la ville. On peut d'abord s'interroger sur les tendances lourdes qu'on a pu observer lors des décennies de forte croissance économique dans les pays industrialisés. A-t-on gardé la maîtrise du développement de la ville, par exemple à l'aide de schémas directeurs, aux différents niveaux où on pouvait le tenter: aménagement du territoire, urbanisme proprement dit ou morphologie du tissu urbain ? A ce propos, on relève dans de nombreuses villes que le bas prix de l'énergie et la diffusion de l'automobile liée à l'augmentation du revenu ont concouru, avec les nuisances des centres-villes, à l'extension de quartiers résidentiels périphériques à faible densité, ainsi qu'à la



dispersion vers la périphérie de certains services, comme de grandes surfaces commerciales. A son tour, la nouvelle configuration d'occupation des sols a entraîné un accroissement des besoins de transport et donc d'émissions polluantes. Il y a donc, étalé dans le temps, un cercle vicieux que dénoncent les urbanistes, mais qui n'est sans doute pas le seul. Ainsi, la faible densité d'occupation des sols a pu entraîner aussi des choix de technologies de chauffage individuels peu économes. Il serait donc utile de repérer les dynamiques amplifiant le gaspillage d'énergie et la pollution dans les horizons de moyen-long terme.

### **3. Mesures correctives et stratégies de développement à long terme**

Enfin, le troisième point abordé permettra d'effectuer un bilan critique des mesures correctives applicables aux évolutions du climat urbain et de discuter les stratégies de développement à long terme de la ville.

Du point de vue économique, on peut distinguer les mesures correctives visant à «internaliser» les coûts des dommages à l'environnement: taxes sur les carburants, taxes sur les véhicules, ou innovations telles que l'organisation d'un marché de «droits à polluer» etc. Beaucoup de ces mesures sont déjà en vigueur, la nouveauté consistant à les moduler en fonction de tel ou tel objectif de pollution. Quel bilan peut-on proposer de l'efficacité de ce type de mesures ? Est-il possible de rendre compatibles entre eux des objectifs différents, et n'est-il pas illusoire de vouloir évaluer les dommages causés dans certains cas ?

Du point de vue technique, il faut citer d'une part les mesures réglementaires (contrôle des émissions, réglage des chaudières, isolation des bâtiments etc), et d'autre part les développements technologiques qu'on peut attendre dans un horizon de quelques décennies. Quel est "l'état de l'art" en ces domaines ?

En ce qui concerne l'occupation des sols, il serait utile d'examiner si les plans directeurs traditionnels visant à encourager une séparation rigoureuse des activités suivant les zones (résidence, industrie, etc.), ne sont pas peu à peu abandonnés au profit de zones d'activités mixtes. Où en est-on dans le pilotage des activités industrielles et de service vers des technologies moins polluantes ?

En matière de schémas de circulation également, ne tourne-t-on pas le dos dans bien des villes aux orientations passées qui tendaient à assurer la mobilité maximale ? Enfin, que fait-on pour l'éducation des jeunes générations à des styles de vie moins énergétivores, voire leur sensibilisation à une «philosophie» nouvelle de la vie en ville, et ne peut-on faire jouer à l'information un rôle capital à cet égard.

Le programme proprement dit de la Journée a été conçu en trois parties:

- des spécialistes reconnus ont été invités et feront le tour de la question ;
- deux sessions plus techniques permettront d'aborder l'ensemble de la problématique, la seconde session étant réservée spécifiquement au cas de la ville de Genève,
- finalement, en guise de conclusion, nous essaierons de tirer les leçons de la journée.

Près de cent inscrits, une vingtaine de présentations spontanées : les chiffres montrent l'intérêt qu'a suscité ce thème, abordé de façon réellement interdisciplinaire.

Nos remerciements vont particulièrement à Madame Cheryl Dotti, pour son aide efficace aussi bien à l'organisation de cette journée qu'à l'élaboration de ces actes. Ils vont également à ceux qui, d'une façon ou d'une autre, ont permis la réalisation de ce rendez-vous scientifique.

Les organisateurs

**CONFERENCIERS  
INVITES**

## LES PARTICULARITES DU CLIMAT URBAIN

Gisèle Escourrou  
Université de Paris-Sorbonne

### Résumé

L'urbanisation transforme le climat local en provoquant l'augmentation des températures du centre vers la périphérie de façon assez uniforme pendant la nuit, beaucoup plus irrégulière pendant la journée. Ce phénomène a des conséquences nombreuses: diminution des brouillards, création de vents thermiques, régionaux ou locaux, qui interviennent dans la formation des pointes de pollution, accroissement de l'intensité des orages ou des averses et augmentation du risque des crues.

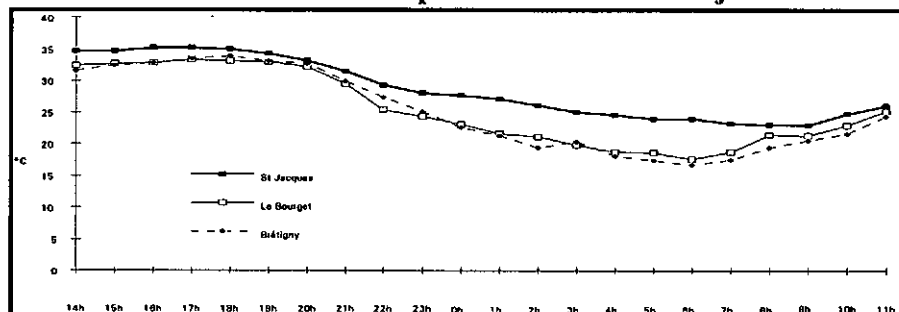
### 1. Introduction

L'urbanisation transforme les facteurs énergétiques locaux et engendre une modification du climat local et même, pour une grande agglomération, du climat régional. La formation d'un îlot de chaleur, l'accroissement de l'instabilité des masses d'air, la constitution de flux énergétiques liés aux différences d'échauffement sont les principaux agents de cette transformation.

### 2. La constitution d'un îlot de chaleur

L'urbanisation provoque un réchauffement qui s'accroît vers le centre de l'agglomération. Ce phénomène est différent la nuit et le jour. L'îlot de chaleur nocturne est bien marqué dans la plupart des villes; il augmente assez régulièrement de la périphérie vers le centre et est très dépendant de la densité de la population. Il résulte de l'apport d'énergie anthropique (chauffage, éclairage, activités humaines...) et du stockage de la chaleur dans les appartements, dans les rues étroites, chaleur qui est progressivement restituée à l'air ambiant. Ce noyau est plus important par temps anticyclonique, à vent faible. A Paris, par exemple, il est plus important en hiver (importance de l'énergie anthropique) et en été (fort stockage). La figure ci-dessous nous montre la comparaison entre St Jacques à l'intérieur de Paris, Le Bourget dans la proche banlieue et Brétigny en grande banlieue.

Evolution diurne des températures les 12 et 13 juillet 1994



L'îlot de chaleur est très marqué entre 22h (20h.T.U) et 7 h. (5h.T.U). Ce jour là, l'écart le plus fréquent entre le centre et la périphérie est de 7°. L'écart maximum atteint 10°. Ceci est un phénomène que l'on trouve dans les villes des climats tempérés. Il n'est pas rare de noter une différence pouvant dépasser cette valeur (14° à Paris). Il est moindre dans les climats méditerranéens ou tropicaux.

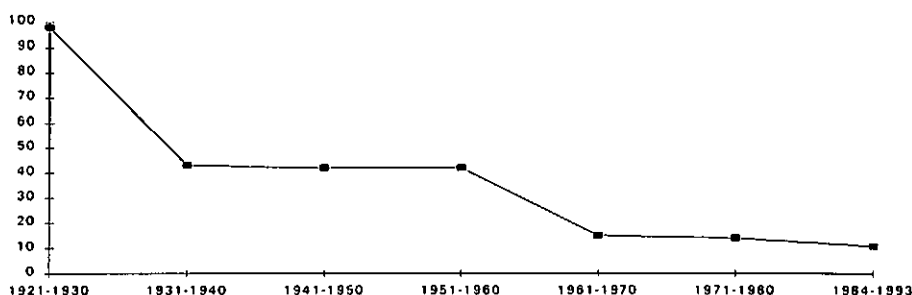
L'îlot de chaleur diurne est beaucoup plus irrégulier. Il est influencé également par l'énergie anthropique mais aussi par le rayonnement solaire. Celui-ci a une intensité légèrement plus faible dans le centre ville à cause de l'augmentation du trouble atmosphérique (pollution, poussières). Ce qui est important, c'est la différence de comportement entre la ville et la périphérie:

- l'albédo est généralement différent. Il est dans l'ensemble plus faible dans la zone urbanisée (16% en général). Il est plus fort dans une ville à l'architecture méditerranéenne typique où les maisons sont recouvertes de toits en terrasse blancs.
- la capacité d'échauffement et de diffusion du substratum est très variable: les bâtiments, les rues s'échauffent plus que la terre cultivée.
- l'évaporation est réduite. La surface imperméabilisée qui recouvre les villes permet un écoulement immédiat des eaux de pluie vers les égouts. L'évaporation est très faible par rapport à la campagne. A Paris, un jour ensoleillé d'été, après des pluies non négligeables la différence atteignait 4° (au lieu de 1°) entre la station de la Tour-St-Jacques et le Parc Montsouris à Paris: dans le premier cas, l'évaporation était insignifiante, dans le second, elle était importante car l'eau imbibait bien les sols. Le refroidissement lié à la consommation d'énergie latente due à l'évaporation était important. Dans le centre ville imperméabilisé, l'énergie sert exclusivement à réchauffer le substratum et l'air. Nous avons là une des causes importantes de la formation de l'îlot de chaleur urbain.

L'homme par son type d'aménagement intervient fortement sur l'intensité de l'îlot de chaleur urbain. La ville méditerranéenne classique avec ses murs peints en blancs, ses rues étroites, parfois couvertes, parfois ombragées, ses fontaines, ses murs épais qui retardent l'échauffement des espaces intérieurs constitue un îlot de fraîcheur par rapport à la campagne environnante où la végétation est souvent assez rare ou par rapport aux quartiers modernes. Ceci explique pourquoi, dans la journée, les différences de température d'un endroit à l'autre varient. L'intensité de l'îlot de chaleur dépend donc du type de climat, de l'aménagement, de l'environnement de la ville. Sauf dans les îlots d'habitat méditerranéen, les températures diurnes se traduisent en général par un excédent de chaleur qui en été peut être néfaste dans la mesure où il favorise la production d'ozone et de dérivés azotés à partir des oxydes d'azote et lors des pointes de chaleur peut causer un surcroît de mortalité. La cas d'Athènes est particulièrement représentatif de ces excès.

Les conséquences de cette création d'un îlot de chaleur sur les autres éléments climatiques sont nombreuses: le nombre de jours de gel décroît; la neige reste moins longtemps sur le sol, l'humidité relative qui est dépendante de la chaleur décroît; le nombre de jours de brouillard est réduit. Le cas est très spectaculaire à Paris où le nombre de jours de brouillard a atteint son maximum dans la période 1921- 1930. Ce phénomène se manifeste également en banlieue; le début de cette décroissance est d'autant plus tardive que l'on s'éloigne de la périphérie.

Evolution des brouillards à Montsouris



Cette diminution spectaculaire dans des villes comme Paris ou Tokyo se marque de façon plus ou moins prononcée dans toutes les villes françaises.

L'îlot de chaleur urbain entraîne la création de vents thermiques allant des parties froides vers les parties chaudes et agit sur l'importance des précipitations.

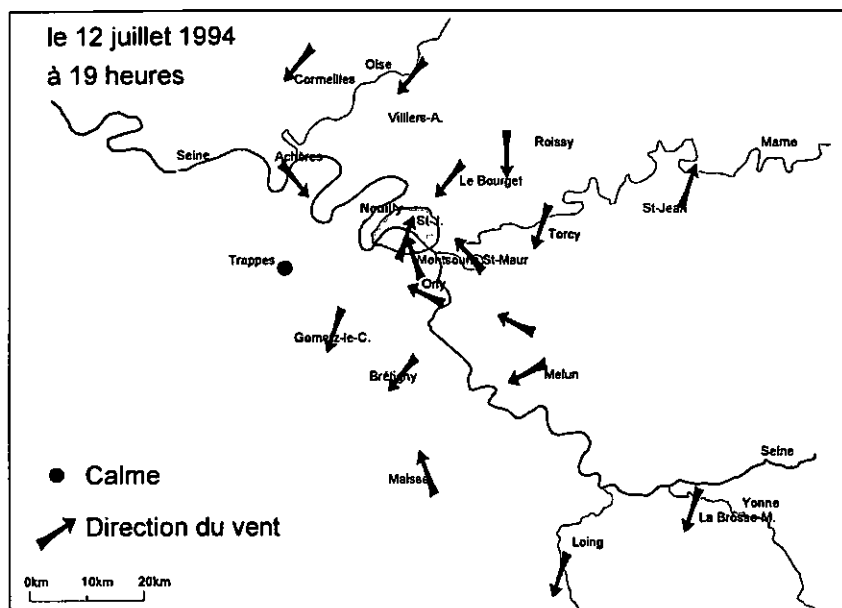
### 3 L'influence de l'urbanisation sur les vents

L'augmentation de la rugosité dans une ville tend à diminuer la vitesse des vents, modifie la direction par la canalisation de l'air dans les rues, crée à l'échelle locale des turbulences sur lesquelles nous n'insisterons pas ici. Deux points paraissent essentiels: la diversité des températures entre le centre et la périphérie ou d'un quartier à un autre engendre des vents thermiques et d'autre part, les vents polluants sont rarement les vents dominants mais les vents faibles.

La diminution de la vitesse des vents dans les villes est générale sauf dans certains cas. La chaleur d'une ville située à proximité de la côte accentue le gradient de température entre la côte et la mer et par suite, la vitesse de la brise de mer augmente comme à Rome. D'autre part, lorsque les vents sont faibles, les différences de température sont accusées et des brises naissent, soufflant des parties froides vers les parties chaudes. Ces phénomènes ont été appelés brise de campagne par les anglo-saxons. Nous avons étudié avec minutie le système des brises à Paris, ville où le relief ne perturbe guère l'influence de l'urbanisation.

Les brises apparaissent lorsque les vents sont faibles et les écarts de température importants. Elles peuvent souffler à l'échelle régionale: dans ce cas, tous les vents dans un périmètre d'une vingtaine de kilomètres convergent vers la partie la plus chaude de l'agglomération; en hiver, c'est le plus souvent le quart nord-ouest de Paris. Dans les autres saisons, la convergence se fait dans un coin quelconque de la ville. Le lieu de la convergence est en partie lié au vent synoptique du jour; c'est généralement le quart de Paris sous le vent. Ces brises sont peu épaisses, elles correspondent à des masses d'air stables et accroissent pour cette raison, l'intensité des pointes de pollution. Elles sont plus fréquentes en fin de nuit et le matin. Elles sont plus rares en fin de matinée et au début de l'après-midi. La carte suivante montre un exemple précis de cette convergence des vents à 19 heures (17 h.T.U.). Il est dommage que stations de mesure de vents soient assez peu nombreuses, surtout dans la partie densément construite. Cette attraction des vents semble se faire sentir dans un périmètre de 15 à 25 km autour du centre de Paris selon les directions. Ce périmètre est variable. Une station comme Montsouris compte quatre fois plus de cas de brise qu'Orly.

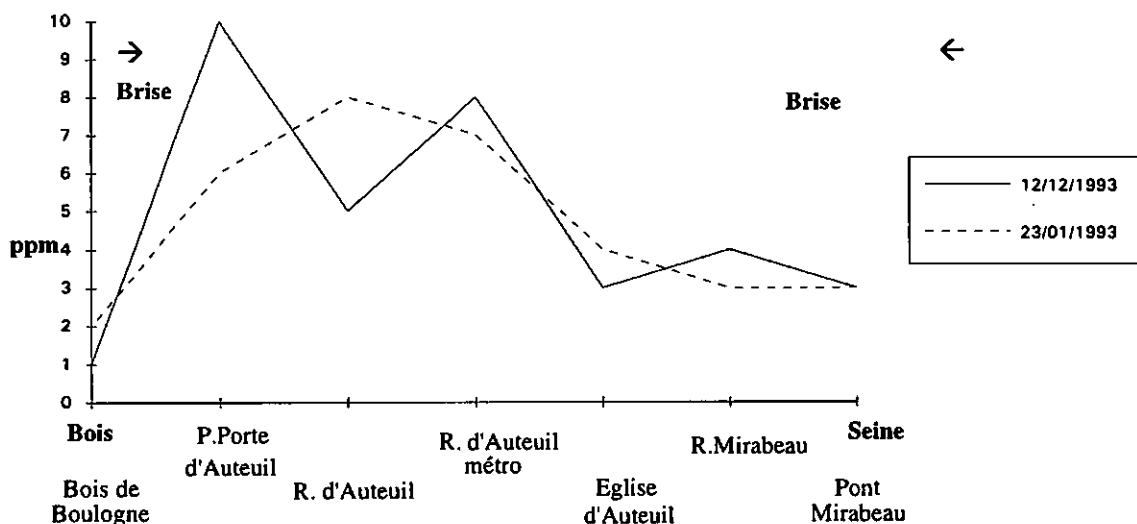
### Vent lié à de fortes valeurs de polluants



Dans l'exemple ci-dessus, on signale une pointe d'ozone à Paris, il a fait très chaud cet après midi-là. Dans la journée, la pointe était située au niveau de la Tour Eiffel, puis, la convergence des vents s'est déplacée légèrement vers l'ouest et la pointe de pollution la plus importante a été relevée à Neuilly à 19 heures.

Des vents thermiques plus localisés existent entre les parties fraîches comme les bois ou une rivière et les parties plus chaudes.

### Coupe des teneurs en CO à travers le XVI<sup>ème</sup> arrondissement

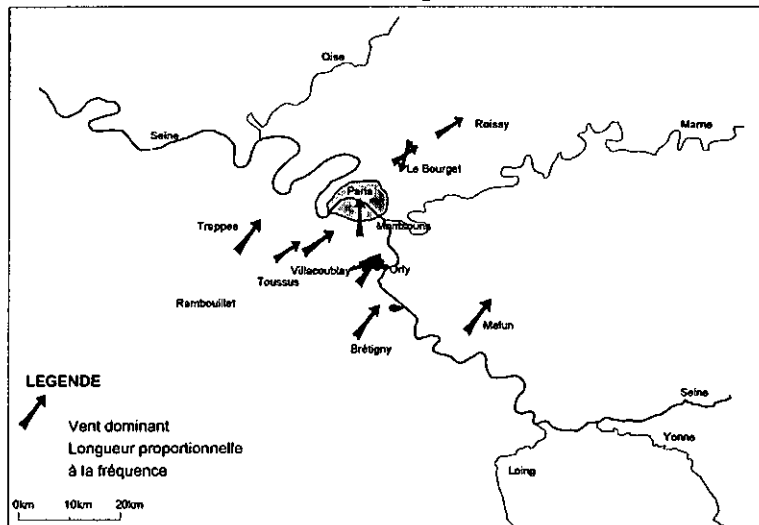


Cette exemple montre comment le système de brise souffle du bois et de la Seine vers le centre du XVI<sup>ème</sup> arrondissement plus chaud et maintient les polluants sur cet arrondissement, l'un des plus pollués de Paris. Ces petites brises sont des vents de 1 à 2 m/s et d'une épaisseur d'une quarantaine de mètres au maximum.

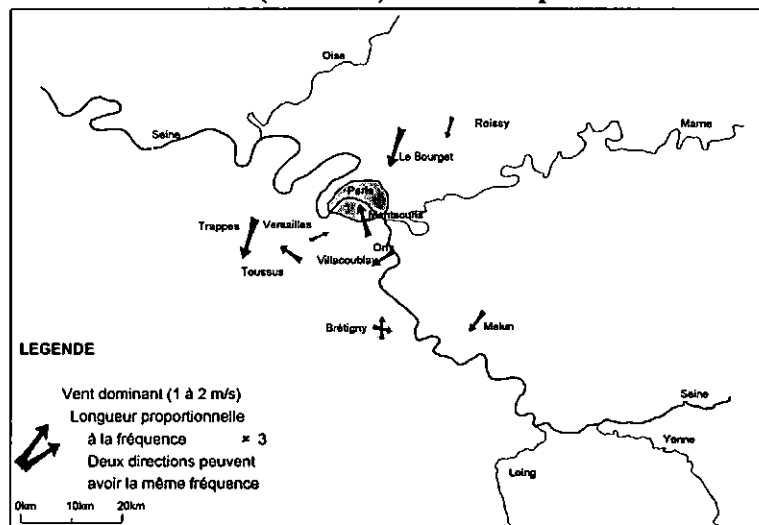
Ces vents thermiques sont souvent difficiles à analyser. Ils sont parfois masqués par des vents puissants. Nous citerons l'exemple du Touquet station balnéaire sur les bords de la Manche. Malgré un vent fort (6m/s), parallèle à la côte, nous avons pu constater, en juin, un renversement de brises perpendiculaires à cette direction, invisible si l'on ne mesurait que le vent, mais qui se traduisait sur toute la bordure côtière de la petite station balnéaire du Touquet par une baisse de température de 0°5 à 1°5 selon les jours, vers 10 heures et demie. Le matin, une brise chaude soufflait de la ville vers la mer. Vers 10 heures et demie, la brise de mer fraîche se mettait à souffler. Le vent parallèle, très fort, empêchait de voir ce phénomène de brises qui existaient pourtant et se traduisait par une variation de température. Nous avons pu constater à Caen un phénomène analogue qui expliquait des pointes de pollution incompréhensibles si l'on se référait à la direction des vents de la station météorologique.

Un deuxième élément à souligner, c'est que le vent dominant n'est pas obligatoirement le vent polluant. Si l'on reprend l'exemple de Paris, le vent dominant vient de sud-ouest sur l'ensemble de l'Île-de-France comme le montre la carte suivante.

### Vents dominants pour l'année



### Vents faibles (1 à 2 m/s) dominants pour l'année



Mais une étude des directions de vent liés à des mauvaises qualités de l'air, telles qu'elles sont définies par Airparif, montre que les pointes de pollution sont liées à des vents venant de nord à est et même sud-est selon les stations. Ce sont des calmes mais surtout des vents faibles de 1 à 2 m/s. La direction dominante de ces vents faibles ne correspond pas du tout à la carte des vents dominants comme nous pouvons le constater.

Les vents faibles sont de secteur nord-est à la périphérie de l'agglomération. Au centre leur direction est fortement influencée par les brises. Dans les stations centrales, les vents convergent sur Paris.

Cette transformation des vents faibles par l'urbanisation est un phénomène important pour bien comprendre les phénomènes de pollution.

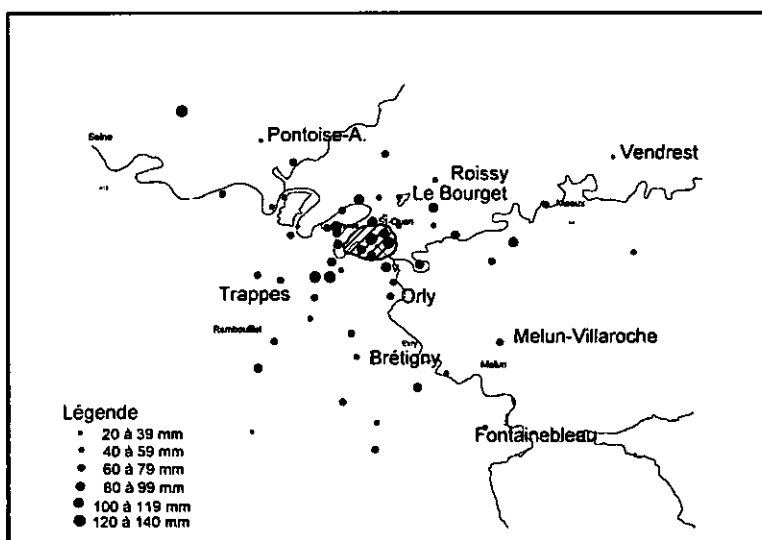
#### 4. L'influence de l'urbanisation sur les précipitations

L'augmentation de la rugosité liée à la construction d'immeubles ou de tours accroît les précipitations. La construction du quartier de la Défense à Paris a entraîné une augmentation des précipitations de l'ordre de 10% environ qui apparaît pendant la saison froide.

A cela s'ajoute l'influence de l'urbanisation. Celle-ci est complexe. L'îlot de chaleur urbain qui diminue l'humidité relative, le nombre et l'épaisseur des brouillards, joue un rôle différent selon la stabilité d'une masse d'air. Lorsqu'une masse d'air est stable, les pluies fines sont diminuées. Dans une agglomération comme Paris l'îlot de chaleur se comporte avec une masse d'air stable comme une sorte de microanticyclone et on voit les échos-radar qui correspondent au passage d'une perturbation diminuer d'intensité ou disparaître au-dessus de Paris. L'urbanisation dans les pays tropicaux agit moins sur les pluies d'alizé que sur les moussons.

Par masse d'air instable, le passage sur l'agglomération accroît l'instabilité des masses d'air. L'intensité des orages augmente sur la ville et la banlieue proche. En juillet 1994 les précipitations ont été 6 fois plus élevées à Paris que dans la campagne. Des perturbations peuvent être revivifiées. Dans les cas extrêmes, la pluie peut être nulle à la périphérie ou dans la banlieue au vent et atteindre une chute de 100 mm sur les collines parisiennes.

#### La hauteur des précipitations en juillet 1994





Non seulement l'intensité des fortes précipitations est renforcée mais les conséquences sont aggravées à cause de l'imperméabilisation des sols. L'eau rejoint la rivière très rapidement, l'infiltration est nulle, l'évaporation est faible, le flux qui atteint la rivière est plus important. Le risque d'inondation augmente et les conséquences liées à ces forts orage sont plus graves: toits effondrés, voies souterraines et caves inondées, circulation de surface perturbée...

### **Conclusion**

L'urbanisation en accroissant la rugosité, en transformant les échanges énergétiques, modifie les conditions climatiques régionales. Les conséquences ne sont pas toujours favorables: accentuation des pointes de pollution ( action possible sur la santé), augmentation de l'intensité des fortes pluies et par suite des risques d'inondation, pointes de chaleur souvent néfastes à l'homme. Un aménagement qui intègre les réalités climatiques du moment et leur développement potentiel peut limiter ces problèmes.

### **Bibliographie**

- Nous renvoyons à la bibliographie de notre ouvrage: Le climat et la ville, Nathan, 191p., 1991,
- G. ESCOURROU, Climat et microclimat urbains Pollutions atmosphériques et nuisances météorologiques localisées, IAURIF,168p., 1995.



# ENERGIE ET ECOTOXICOLOGIE HUMAINE

Michel Guillemin

Institut universitaire romand de Santé au Travail, Lausanne

## 1. Introduction

La production croissante d'énergie, son transport et sa consommation posent un grand nombre de problèmes, parmi lesquels les atteintes à l'environnement occupent une place importante. L'écotoxicologie étudie, dans un contexte global, les effets toxiques, produits par des polluants naturels ou synthétiques, sur les constituants des écosystèmes, de l'homme aux micro-organismes, en passant par le règne animal et végétal. C'est donc cette science qui cherche à appréhender, dans le cas des polluants engendrés par l'énergie, les impacts éventuels sur l'environnement. Les pollutions de nature physique, liées à l'énergie, ne doivent pas être oubliées, mais n'entrent pas dans le cadre de l'écotoxicologie.

Les aspects traités dans le contexte du thème "énergie et climat urbain" se limiteront à la pollution de l'air dans les villes et à ses effets possibles sur la santé humaine.

Cet exposé a pour objectif de faire comprendre la démarche de l'analyse et de la gestion du risque en présentant quelques éléments-clés liés au thème choisi.

## 2. Les outils de la gestion du risque

Le risque se définit par la conjonction de deux éléments :

- la probabilité qu'un événement non désiré se produise,
- la gravité de cet événement.

Le risque aigu est souvent lié à la notion d'accident et, d'un point de vue global (région, pays), on peut le mesurer, s'il s'agit d'accidents fréquents (route, par exemple), par les statistiques d'accidents (probabilité) et par leurs conséquences, c'est-à-dire leur gravité (blessures, mort). S'il s'agit d'accidents très peu fréquents, mais très graves (accidents majeurs), d'autres méthodes d'analyse de risque doivent être utilisées. Dans le cas du risque chronique (apparition lente d'une maladie suite à des expositions répétées à de petites doses de polluants, par exemple) l'analyse du risque s'établit avec les méthodes de la toxicologie et de l'épidémiologie (étude de la fréquence, de la distribution ou de l'évolution d'une maladie en fonction de facteurs de risque). Le but à atteindre dans ce cas est la relation existant entre la probabilité qu'une maladie se déclare et la dose de polluant reçue (relation dose-réponse). Si cette relation est facilement trouvée expérimentalement sur des animaux, il n'en va pas de même sur l'homme, l'apparition d'une maladie étant très souvent liée à de multiples facteurs. Il devient alors extrêmement difficile, voire impossible, d'isoler, parmi tous ces facteurs, celui qui est éventuellement lié à la pollution de l'air, par exemple.

Lorsque le risque a été évalué (analysé), il s'agit de savoir s'il est acceptable ou non. Les valeurs limites admissibles reposent sur la réflexion de l'acceptabilité du risque. Dans le cas de la pollution de l'air dans les villes, on considère que si l'on est en-dessous des limites (fixées en Suisse par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage), les risques pour la population (et parfois aussi la végétation) sont tolérables. Ces limites sont donc un outil précieux de la gestion du risque puisqu'elles permettent de prendre des décisions sur une

base relativement objective. A noter qu'il n'existe des limites tolérables que pour un nombre très limité de polluants.

Si l'analyse du risque a abouti à la conclusion que celui-ci est intolérable, il faut alors mettre en place des mesures correctives pour le ramener à un niveau acceptable. On appelle gestion du risque l'ensemble des réflexions et procédures qui vont de son identification, à sa maîtrise, en passant par son évaluation.

### **3. La pollution de l'air et la santé**

En ville, les sources de pollution de l'air se répartissent inégalement entre le trafic, le chauffage, les industries et sont toutes très liées à l'énergie. De plus, en été, le soleil engendre des réactions photochimiques qui conduisent à l'apparition de polluants réactifs et agressifs pour les yeux et les voies respiratoires.

La pollution de l'air est évaluée au moyen de quelques polluants typiques (monoxyde de carbone, oxydes d'azote et de soufre, ozone, poussières) dont on a trop souvent tendance à oublier qu'ils ne sont que des indices grossiers d'une pollution très complexe. En d'autres termes, on pourrait très bien imaginer deux situations urbaines où les indices de pollution seraient similaires, mais où les effets sur la santé seraient différents.

A côté de ces polluants-indices "classiques", certains autres connus pour leurs propriétés cancérogènes, sont parfois mesurés. Citons, à titre d'exemple, les fumées Diesel, l'amiante, l'arsenic, la dioxine, le cadmium, les hydrocarbures polycycliques, le chloroforme, etc...

Finalement, il y a aussi les polluants "nouveaux venus", tels certains additifs de l'essence, dont l'impact sur l'environnement et la santé est inconnu.

Évaluer les effets sur la santé de la pollution de l'air est donc une tâche extrêmement difficile. On peut classer les données à disposition à ce sujet en trois groupes :

1. Les données épidémiologiques réelles  
(épisodes aigus des pollutions ou études à long terme).
2. Les extrapolations à partir de données obtenues sur des travailleurs fortement exposés.
3. Les extrapolations à partir de données expérimentales.

Si, pour les indices "classiques" de pollution, on commence à accumuler des connaissances utiles pour la gestion du risque, il n'en va pas du tout de même pour tous les autres polluants cités plus haut. Nos lacunes dans ce domaine sont énormes, ce qui rend problématique l'analyse et la gestion du risque. La pollution de l'air est un mélange complexe de substances chimiques et biologiques sous forme gazeuse, solide ou liquide. Les interactions de ces substances entre elles et au niveau de l'organisme humain sont presque totalement inconnues; leur évolution dans le temps et dans l'espace n'est pas maîtrisée. Lorsqu'on tente d'étudier l'effet de la pollution de l'air sur une population, on choisit de préférence une population sensible (enfants, asthmatiques, personnes âgées) et on se heurte très vite à de nombreuses difficultés telles l'influence de la pollution "indoor" (maison, lieux publics, écoles, intérieur de véhicules, travail), généralement plus intense que celle extérieure, le mode de vie (fumage actif et passif, sport, alimentation), l'état de santé initial (allergie, médicaments, stress) et la susceptibilité individuelle (facteurs génétiques) sur la santé. De plus, la mesure ou l'évaluation de l'exposition de ces populations ne peut se faire au mieux que sur un ou deux polluants classiques, ce qui ne renseigne pas vraiment sur l'exposition réelle au "cocktail" de substances absorbées par les sujets étudiés.

#### 4. Conclusion

Ces quelques éléments de réflexion sur l'approche de la gestion du risque pour la santé dans le domaine de la pollution de l'air urbain avaient pour but de démontrer que, même si la stratégie est connue, elle est actuellement difficilement applicable, faute d'éléments objectifs de connaissance indispensables. Dans ce domaine, on ne réalise pas suffisamment l'importance de la Santé au Travail dans la Santé Publique en général. L'adulte passe une très grande partie de sa vie dans un environnement professionnel très souvent beaucoup plus pollué que l'air des villes. On n'a pas encore suffisamment exploité l'étude de l'environnement professionnel pour combler les lacunes de nos connaissances sur l'environnement général et la pollution de l'air en particulier.

Une réflexion écologique au sujet de l'énergie doit se faire dans un contexte global et prendre en considération tous les aspects de cette dernière, en commençant par sa production, puis son transport, son utilisation et ses éventuels déchets.

Les défis à relever pour l'avenir sont immenses et l'ennemi le plus sournois et le plus dangereux de la gestion du risque est le fatalisme.



## Complément au texte de M. Guillemin

# EPIDEMIOLOGIE DES AFFECTIONS BRONCHIQUES ET ROLE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE<sup>1</sup>

Philippe Leuenberger

Division de pneumologie, Département de médecine interne, CHUV, Lausanne

### Introduction

Les maladies respiratoires sont parmi les causes de morbidité et de mortalité les plus répandues. Le cancer bronchique joue un rôle particulièrement important parmi les causes générales de mortalité, tandis que l'asthme et les bronchopneumopathies chroniques obstructives représentent les causes les plus fréquentes de morbidité respiratoire dans la population générale.

Parmi les divers critères habituellement utilisés en épidémiologie, l'importance d'une maladie au plan de la santé publique peut être jugée par sa fréquence et son taux de mortalité. On cherche à établir dans un échantillon représentatif sa prévalence, la morbidité qu'elle entraîne et son taux de mortalité. Dans un échantillon représentatif de la population générale, la prévalence de l'asthme varie entre 2 et 20% selon les études (1). La dépendance de la maladie vis-à-vis de l'âge et du sexe, bien que souvent étudiée, reste encore à préciser. L'incertitude persistante portant sur la fréquence de la maladie tient vraisemblablement à des biais de sélection des populations étudiées et surtout aux difficultés à définir l'asthme dans une enquête épidémiologique. En effet, si l'on établit le diagnostic d'asthme en se fondant sur un questionnaire, il faut alors admettre une définition de travail basée sur des réponses affirmatives à un certain nombre de questions réputées être sensibles et spécifiques, ce qui s'avère particulièrement délicat. Dans d'autres études, le diagnostic d'asthme repose également sur des paramètres spirométriques ou sur une mesure de la réactivité bronchique, rendant extrêmement difficile la comparaison entre les diverses statistiques.

En Suisse, la *prévalence* de l'asthme est de l'ordre de 4% (3,6% à Zurich en 1958, 4,4% en 1986 dans un collectif de plus de 2500 personnes) (2, 3). Chez l'enfant, la prévalence d'une hypersensibilité humorale est de 20 à 30%, celle de manifestations atopiques d'environ 15%. Dans une étude anglaise portant sur une population d'enfants et couvrant la période de 1970 à 1985, il a été observé une augmentation au cours des années de la fréquence des hospitalisations et de la sévérité des crises. Les auteurs de ce travail précisent que des changements dans la définition de l'asthme et le recours à des techniques de dépistage plus sensibles n'expliquent pas cette tendance à l'aggravation (4).

Le taux de *mortalité* par asthme est surveillé de façon prospective dans la plupart des pays développés. En Nouvelle-Zélande, une augmentation significative de la mortalité par asthme a été observée, sujet de nombreuses interprétations controversées. En Suisse, les

---

<sup>1</sup> Cet article, paru dans la Revue Médicale de la Suisse Romande (112, 885-888, 1992) a été proposé par le Professeur Guillemin, comme complément à sa contribution "Energie et écotoxicologie humaine". Nous remercions le Professeur Leuenberger ainsi que la Revue Médicale de la Suisse Romande de nous avoir donné l'autorisation de le publier.

chiffres de mortalité moyenne au cours des dix dernières années présentent des variations annuelles qui ne sont pas significatives. Cette observation relativement rassurante doit toutefois être tempérée par la notion que le taux de mortalité ne diminue pas malgré les nouveautés apparues dans les programmes de traitement de l'asthme (nouveaux principes actifs, nouvelles formes galéniques, nouvelles stratégies).

Pour ce qui est de la bronchite chronique, les chiffres de *prévalence* varient grandement d'un pays à l'autre. En France, la prévalence de la bronchite chronique chez les fumeurs et les non-fumeurs est respectivement de 20 à 25% et de 5 à 16%, selon la région. En Angleterre, la prévalence de la bronchite chronique dépasse celle de tous ses pays voisins (5).

En Suisse, il n'existe pas de chiffre précis de prévalence déterminé sur un large échantillon de population générale. Pour ce qui est de la *mortalité*, elle est, pour 10000, de 10,6 pour les femmes et 32,7 chez les hommes respectivement, alors qu'en Angleterre et en Allemagne, les chiffres sont très proches et sont de l'ordre de 55/100'000 pour les hommes et 22/100'000 pour les femmes. Ces chiffres sont significativement plus bas aux Etats-Unis mais il faut remarquer que les chiffres de mortalité dépendent des critères de définition de la maladie qui divergent fréquemment d'un office de la statistique à l'autre. *L'évolution clinique* de la bronchite chronique est la mieux définie par la surveillance prospective des débits expiratoires forcés, en particulier du volume expiré maximum la première seconde. Quant aux *facteurs d'aggravation* principaux, il faut relever la poursuite de l'exposition à un environnement pollué ou à la fumée de tabac, la présence d'une hypersécrétion ou d'une hyperréactivité bronchique. Tout porte à croire qu'un environnement pollué a une action délétère sur la santé respiratoire; la preuve en est toutefois souvent difficile à apporter à cause du rôle confondant du tabagisme actif et passif.

## **Relations entre polluants atmosphériques et santé respiratoire (6)**

L'étude des relations entre les polluants de l'environnement et la santé respiratoire repose principalement sur les enseignements apportés par trois types d'études: expérimentales, épidémiologiques et cliniques. Les *études expérimentales* tendent à déterminer l'action d'un polluant sur un groupe de sujets sélectionné selon des critères précis et dans des conditions clairement définies. Elles visent à identifier le mode d'action du polluant et à déterminer l'organe ou le système touché. Les *études épidémiologiques* visent à définir les conséquences pour la population dans son ensemble de l'exposition à des polluants, en distinguant entre une augmentation passagère des concentrations et une situation de pollution durable. Les *études cliniques* considèrent une affection prise isolément et tentent de définir, parmi les diverses étiologies, la part de responsabilité que portent les polluants atmosphériques dans ces manifestations.

Les émissions de *dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)* résultent principalement de la combustion de produits fossiles contenant du soufre. Le passage du charbon au pétrole, à l'électricité et au gaz, la réduction de la concentration de soufre dans l'huile de chauffage et du carburant diesel ainsi que l'assainissement des grandes installations polluantes a permis, depuis environ dix ans, de réduire de près de la moitié les émissions de ce polluant atmosphérique. Des études épidémiologiques ont montré que l'exposition de plusieurs années à des concentrations supérieures à 0.1 mg/m<sup>3</sup> était associée à une augmentation de la prévalence de la bronchite chronique et à une dégradation de la fonction respiratoire. Du fait de la forte diminution en Europe et en Amérique du Nord des taux de SO<sub>2</sub>, dans l'atmosphère, il est difficile de comparer les données actuelles à celles plus anciennes. Le SO<sub>2</sub>, reste toutefois un paramètre qui est surveillé dans l'atmosphère car son dosage est fiable; il sert donc de marqueur de



mélanges de polluants, aisé à suivre au cours du temps. Expérimentalement, le  $\text{SO}_2$  probablement par un mécanisme réflexe, entraîne une bronchoconstriction à l'effort chez les asthmatiques (6).

La présence d'oxyde de soufre et d'azote dans des atmosphères où le taux d'humidité est élevé favorise la formation de radicaux acides ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ). L'effet délétère des *aérosols acides* ("pluies acides") a déjà été reconnu dans les forêts et les lacs. Il existe de plus en plus de preuves épidémiologiques suggérant des effets indésirables des aérosols acides chez l'homme. Expérimentalement, la nébulisation de solutions acides a un effet bronchoconstricteur qui dépend du type d'acide considéré, de l'acidité de la solution et de la quantité totale d'ions H inhalés, impliquant donc que les individus à l'exercice physique sont à plus haut risque que ceux au repos. En outre, l'inhalation de solutions acides entraîne un ralentissement du transport muco-ciliaire, particulièrement chez les asthmatiques. L'identification de l'effet des aérosols acides par une approche épidémiologique est extrêmement difficile en raison de la quasi-impossibilité d'identifier l'effet isolé de l'acide dans une atmosphère qui contient également des oxydes d'azote, de l'ozone, des particules en suspension, de l'ammoniac ou d'autres polluants (6).

Les *oxydes d'azote* ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ) sont produits par les phénomènes de combustion à haute température tels qu'ils interviennent dans les véhicules à moteur. Les études expérimentales semblent indiquer que le dioxyde d'azote ne joue qu'un rôle adjuvant car ces travaux n'ont pas permis d'établir de relation prévisible entre dose et réponse. En outre, contrairement à l'ozone, le  $\text{NO}_2$  semble incapable de déclencher et d'entretenir une réaction inflammatoire dans l'épithélium respiratoire. Lors de taux élevés de dioxyde d'azote, il paraît bien établi que la fréquence des accès de toux augmente, de même que le nombre d'hospitalisations pour causes respiratoires (6).

L'*ozone* ( $\text{O}_3$ ) est une substance extrêmement réactive produite secondairement à partir des oxydes d'azote et des hydrocarbures sous l'action de l'énergie lumineuse. C'est le polluant photochimique principal. En Suisse, les immissions d'ozone au cours de ces dernières années étaient stables. A maints endroits, on a relevé de nombreux dépassements de la moyenne horaire maximale fixée à  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , avec des valeurs maximales prolongées à  $200\text{-}300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  génératrices de fréquentes réactions d'irritation des yeux et des voies respiratoires, en particulier à l'effort. Les études expérimentales ont démontré qu'une exposition de deux heures à  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  entraînait une augmentation de la perméabilité de la membrane basale de l'épithélium respiratoire. Des volontaires sains exposés à  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pendant six heures et demie présentaient les indices d'une réaction inflammatoire dans le liquide de lavage broncho-alvéolaire, confirmant ainsi les études animales démontrant la capacité qu'a l'ozone de déclencher et d'entretenir une réaction inflammatoire dans la muqueuse respiratoire. Au plan clinique, une étude parisienne portant sur 642 sujets a montré une augmentation significative de la fréquence des crises d'asthme lorsque les teneurs d'atmosphère en ozone étaient élevées. Elle démontrait également que le risque était augmenté pour les habitants du rez-de-chaussée et du 1er étage (facteurs de risque respectifs de 1,8 et 2,3). Une autre étude portant sur 7 malades souffrant d'asthme saisonnier a démontré que l'exposition à des concentrations de l'ordre de  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  d'ozone pendant une heure augmentait de façon significative le niveau de réactivité bronchique après inhalation d'un allergène spécifique. En dehors de ces études permettant d'identifier un effet à court terme de l'ozone, les effets à long terme sont difficiles à identifier. De grandes études prospectives sont encore nécessaires pour confirmer la suspicion d'un effet délétère sur les fonctions pulmonaires et l'effet aggravant sur les manifestations

cliniques de la bronchite chronique. Quant à un effet carcinogénétique, aucune preuve n'a jamais été apportée chez l'homme.

### **Relations entre polluants de l'air intérieur et santé respiratoire (7)**

En complément de l'exposition à la pollution atmosphérique, l'être humain est soumis aux risques potentiels liés à l'inhalation de l'air contenu à l'intérieur de son logis ou de son lieu d'activité.

*Le tabagisme* est de loin la forme la plus répandue de pollution «intérieure». Les conséquences néfastes de l'inhalation active de fumée de tabac pour le système respiratoire sont bien documentées: bronchite chronique, emphysème pulmonaire et carcinome bronchique. L'inhalation involontaire de tabac en combustion (*tabagisme passif*) est associée à une augmentation des risques de développement d'affections malignes et non malignes. Les premiers effets reconnus du tabagisme passif ont été une augmentation du risque d'infections respiratoires (8) et de symptômes respiratoires chez les enfants de parents fumeurs (9). De plus, les enfants exposés ont des volumes pulmonaires plus petits et qui croissent plus lentement que ceux d'enfants non exposés (10). L'augmentation du risque de développer un cancer bronchique chez les sujets exposés au tabagisme passif est un sujet controversé. Récemment, deux études ont néanmoins prouvé que les époux non fumeurs de fumeurs étaient à risque augmenté de développer un cancer bronchique. Ce risque a d'ailleurs été reconnu officiellement par les instances sanitaires officielles des Etats-Unis (11). Cette prise de position est fondée sur la notion bien documentée que le risque oncogénique en rapport avec l'inhalation de fumée de tabac ne connaît pas de seuil et qu'ainsi toute exposition est associée à un niveau de risque supérieur à celui d'un sujet non exposé. Cependant, l'évaluation exacte du risque est quasi impossible puisque l'intensité elle-même de l'exposition ne peut pas être mesurée de façon précise, rendant ainsi impossible l'étude de la relation dose/effet.

Dans les pays en développement, l'usage d'un feu de bois à l'intérieur des logis est encore une pratique répandue pour la cuisine et le chauffage. Or, la fumée de bois est un mélange complexe de gaz et de particules potentiellement nocives pour la muqueuse respiratoire. L'exposition à la fumée de bois augmente le nombre d'épisodes d'infections respiratoires aiguës chez l'enfant, tandis que chez l'adulte la fréquence des maladies respiratoires chroniques augmente en cas d'exposition prolongée à un environnement chroniquement enfumé (7).

*La formaldéhyde* est utilisée dans de nombreux matériaux utilisés dans la construction et le mobilier. Il s'agit d'un gaz volatil et hydrosoluble doué d'un effet irritant sur les muqueuses oculaires et respiratoires (7).

Bien qu'actuellement bannies des matériaux de construction moderne, les *fibres d'amiante* peuvent encore être mises en suspension dans l'air ambiant lors de travaux de démolition ou d'entretien de matériaux isolants. L'exposition à l'amiante est connue pour entraîner une pathologie pulmonaire et pleurale de nature inflammatoire et fibrosante. L'exposition à l'amiante favorise en outre l'éclosion d'un mésothéliome ou d'un cancer bronchique, en particulier chez les fumeurs de tabac (7).

*Le radon* est un gaz naturel radio-actif très répandu dans l'environnement domestique. Il dégage des particules alpha qui augmentent le risque de développement d'un cancer bronchique, effet déjà reconnu depuis plus de cent ans parmi les mineurs de sous-sols. Dans certains immeubles, le dégagement de radon peut parfois atteindre des taux s'approchant de ceux retrouvés dans les mines d'uranium. L'évaluation du risque lié au radon domestique se heurte toutefois à des difficultés méthodologiques majeures en raison de la faible-

augmentation du risque qui lui est lié, de la longue durée d'exposition nécessaire et de la latence prolongée entre exposition et phase symptomatique de la maladie (7).

En conclusion, les maladies inflammatoires des bronches les plus répandues, asthme et bronchite chronique, ne montrent aucune tendance à la régression malgré les progrès récents de la pharmacotechnique et la mise à disposition des malades de moyens thérapeutiques nouveaux. Parallèlement, les maladies atopiques semblent augmenter de fréquence et de gravité. Les causes exactes de ces tendances ne sont pas connues avec certitude. L'industrialisation des pays développés et le développement de zones urbaines gigantesques dans les pays en voie de développement sont associés à une atteinte grave à la qualité de notre environnement. Il est probable que les altérations de la qualité de l'air que nous respirons soient en rapport avec la dégradation de l'état de santé respiratoire de la population générale. Les mesures de protection de l'environnement qui commencent à être mises en place sont trop récentes pour déjà porter des fruits dont les effets soient mesurables. Des études à large échelle sont donc nécessaires pour préciser les conditions actuelles et surveiller l'évolution, de façon à garantir à long terme le maintien d'un air compatible avec la survie de notre espèce.

### Bibliographie

1. Barbee R.A., Dodge R., Lebowitz M.L., Burrows B.: The epidemiology of asthma. *Chest*, 87: 21s-25s, 1985.
2. Batschelet E., Klunker W., Schnyder U.W., Storck H.: Die Häufigkeit atopischer Erkrankungen in Zürich. Ergebnisse einer Population - Statistik. *Schweiz. med. Wschr.*, 40: 1109-1113, 1960.
3. Wüthrich B., Schnyder U.W., Henauer S.A., Heller A.: Häufigkeit der Pollinosis in der Schweiz. Ergebnisse einer repräsentativen demoskopischen Umfrage unter Berücksichtigung anderer allergischen Erkrankungen. *Schweiz. med. Wschr.*, 116: 909-917, 1986.
4. Anderson H.R.: Increase in hospital admissions for childhood asthma: trends in referral, severity and readmissions from 1970 to 1985 in a health region of the United Kingdom. *Thorax*, 44: 614-619, 1989.
5. Higgins H.W.: Epidemiology of COPD; State of the Art. *Chest*, 85/6: 3s-8s, 1984.
6. Stern A.C., Bonbel R.W., Turner D.B., Fox D.L.: Fundamentals of air pollution. Academic Press, Inc., 1984.
7. Samet J.M., Marbury M.C., Spengler J.D.: Health effects and sources of indoor air pollution. Parts I and II. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 136: 1486-1508, 137: 221-242, 1987.
8. Pedreira F.A., Guandolo U.L., Feroli E.F., Mella G.W., Wwiaa I.P.: Involuntary smoking and incidence of respiratory illness during the first year of life. *Pediatrics*, 75: 594-597, 1985.
9. Chariton A.: Children's cough related to parenteral smoking. *Br. Med. J.*, 288: 1647-1649, 1984.
10. Tager I.B., Weiss S.T., Munoz A., Rosner B., Speizer F.E.: Longitudinal study of the effects of maternal smoking on pulmonary function in children. *N. Engl. J. Med.*, 309: 699-703, 1983.
11. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Office on Smoking and Health: The health consequences of involuntary smoking. A report of the Surgeon General Washington D.C.: US Government Printing office, 1986.



# MORPHOLOGIE URBAINE ET CLIMAT URBAIN

Jean Pierre Peneau  
Laboratoire CERMA, Ecole d'Architecture de Nantes

## Résumé

Cette contribution apporte des éléments d'information sur une expérience de collaboration inter-disciplinaire en matière de simulation des écoulements aérodynamiques. Elle donne également un éclairage sur des outils de simulation numérique des phénomènes solaires et radiatifs en milieu urbain, ainsi que sur les tentatives qui sont faites - à l'aide de ces instruments - pour étudier systématiquement les rapports entre formes urbaines et climat.

## 1 Introduction

Modifier les habitudes, les conventions, le système de valeurs des concepteurs, infléchir leurs modes opératoires de mise en forme des projets, les conduire à mieux prendre en compte les enjeux du développement durable, nécessite un déploiement d'efforts et d'actions dont les volets pédagogiques et scientifiques représentent une part majeure. Face à un milieu généralement mal informé et peu formé en matière de contrôle des ambiances et de maîtrise des énergies, il convient de trouver la bonne incidence pour dépasser les seules approches formelles et pour enrichir l'espace de conception d'éléments de connaissances réellement opératoires, intéressant :

- les choix énergétiques,
- l'ajustement aux contraintes du climat,
- la sauvegarde de l'environnement .

Un rapide état de l'art, révèle cependant l'ampleur de la tâche restant à faire, tant en ce qui concerne la connaissance scientifique des phénomènes, que la transmission et l'adaptation de celle-ci aux attentes du milieu des praticiens. La présente contribution voudrait plaider pour cette double démarche, étant entendu que d'un point de vue institutionnel, la structure que je représente ici doit intervenir à ces deux niveaux :

- celui de la participation à l'effort scientifique inter-disciplinaire en matière de climatologie urbaine ;
- celui de la transposition des résultats, pour répondre à la demande des opérateurs engagés directement dans la conception et la gestion de l'espace urbain.

Mais pour éviter les considérations trop générales sur le sujet , je prendrai appui sur l'expérience concrète qui est nôtre, en articulant mon propos sur les présentations successives :

- des recherches communes auxquelles nous sommes associés en matière de simulation numérique ;
- des outils de simulation spécifiques que nous avons développés ;
- des essais de systématisation entrepris sur les rapports de la forme urbaine et du climat.

## 2 L'amélioration des méthodes numériques de simulation

### *Les limites actuelles de la simulation numérique des écoulements*

En matière de simulation des écoulements, les moyens de calcul actuels ne permettent pas d'obtenir un maillage suffisamment dense, pour simuler explicitement les écoulements aux échelles des ensembles urbains. On sait pourtant que la nature et la distribution des masses bâties, des espaces dégagés, des aires de plantation, influencent fortement la structure aérodynamique et thermodynamique des basses couches de l'atmosphère. Il est nécessaire dans ces conditions de remplacer la morphologie réelle-celle du sol urbain et de la canopée correspondant aux superstructures des immeubles-par des sols représentatifs, traduisant une distribution globale des obstacles et rendant compte en particulier de la forte hétérogénéité des zones urbaines. Pour réussir une telle substitution, on est amené à définir des relations paramétriques permettant d'exprimer les conditions aux limites inférieures du domaine de calcul. C'est ce que les spécialistes de l'aérodynamique appellent les « lois de parois » pour le calcul des écoulements et les « modèles de sol » pour la thermodynamique. Ces relations expriment des flux de quantité de mouvement, de chaleur latente ou de chaleur sensible en fonction des caractéristiques de la surface urbaine ou péri-urbaine considérée .

### *Modélisation de la rugosité aérodynamique urbaine*

Cette présentation très schématique du problème, montre bien qu'entre la reprise impossible du détail de la morphologie de la ville et l'utilisation d'une hypothèse totalement réductrice d'homogénéité horizontale, il n'y a pas d'autre choix que celui de l'approche intermédiaire, consistant à établir des relations paramétriques entre la rugosité dynamique des différents quartiers et la structure des éléments bâtis et non bâtis. En effet, l'étude attentive des données expérimentales disponibles, que ce soit celles provenant de mesures en vraie grandeur ou celles résultant de simulation en soufflerie, révèle un manque de fiabilité notoire<sup>1</sup>. Actuellement, à l'aide des unes ou des autres, on ne peut définir les relations entre la longueur de rugosité et la géométrie des obstacles (dans le cas notamment des mesures en vraie grandeur, la description du site en amont est insuffisante). En conséquence, des modèles ont été construits de manière semi-analytique par l'Equipe de Dynamique de l'Atmosphère Habitée du Laboratoire de Mécanique des Fluides de l'Ecole Centrale de Nantes.

Ces modèles de rugosité nécessitent la connaissance d'indicateurs (hauteur, longueur, espacements,...) qui peuvent être relativement aisés à définir pour des zones aux constructions régulièrement implantées. Or, il est clair que ces dispositions relèvent du cas d'école, ou de l'univers concentrationnaire. Dans la réalité courante, le tissu urbain est marqué par une variété qui en fait un véritable « patchwork » où les indicateurs précédents s'avèrent presque impossibles à évaluer. Les aérodynamiciens font alors appel à des formulations plus globales. Ils vont envisager le volume des bâtiments, la surface occupée par ces derniers, la surface totale du quartier. Les paramètres de rugosité s'expriment alors dans des termes voisins de ceux d'un indicateur habituel de l'analyse urbaine : la densité. Ce passage des densités aux rugosités permet d'amorcer une transposition du domaine de la morphologie à celui de la physique et de la climatologie de la ville. Au prix de simulations numériques systématiques, on va pouvoir définir les lois de paroi pour certains types de tissus, mais il faut

---

<sup>1</sup> BOTTEMA M. "Aerodynamic roughness parameters for homogeneous building groups" 2 rapports multigraphiés Equipe D.A.H. Laboratoire de Mécanique des Fluides E.C.N.(1995) 38 p. et 79 p.

également formuler celles-ci pour des zones plus étendues, pour des écoulements se développant sur des secteurs complexes associant des aires urbaines aux morphologies contrastées. La caractérisation des lois de paroi, dans ce dernier cas, nécessite la réalisation de cartes de rugosités. Ces cartes sont composées de secteurs aérodynamiques homogènes, délimités à partir des calculs des paramètres structurels propres à chaque type de tissu.

La fabrication des cartes de rugosité doit-être effectuée au moyen d'un outil informatique interactif, permettant l'extraction des informations nécessaires à partir des bases de données urbaines ou géographiques disponibles (comme TRAPU, BD Carto, BD Topo ou CORINE ). L'élaboration de cet outil s'inscrit dans une recherche menée dans le cadre du Pôle « Physique et Images de la Ville » du programme PIR-VILLES du CNRS. Cette recherche inter-disciplinaire associe à l'Equipe de Dynamique de l'Atmosphère Habitée de l'Ecole Centrale de Nantes précédemment citée, une équipe d'informaticiens de L'Institut de Recherche en Informatique de Nantes et un groupe du laboratoire CERMA de l'Ecole d'Architecture de Nantes <sup>2</sup>.

Le prototype actuellement réalisé du logiciel explore une double démarche : Il peut partir de la description détaillée des faces de l'ensemble des bâtiments à partir d'une base de type TRAPU. Il effectue dans ce cas les calculs spécifiques à partir des paramètres de rugosité les mieux adaptés, puis affecte les valeurs selon un découpage systématique en « rugoxels ». Le rugoxel est un rectangle dont la taille est fixée pour chaque étude, il représente la surface élémentaire de rugosité, sachant que le calcul est effectué indépendamment pour chaque rugoxel. La « rugozone » est une association de rugoxels connexes. C'est une zone homogène en terme de rugosité. De manière inverse, on peut retenir un découpage pré-établi : celui, par exemple, des zones homogènes des bases BD Carto ou CORINE. Ce découpage a-priori est ensuite affiné ou remis en cause de manière interactive, en ayant recours aux informations détaillées données par les fichiers de TRAPU. Les essais ont porté jusqu'alors sur la ville de Strasbourg, (Fig.1) les fichiers de Nantes sont actuellement en cours d'exploitation.



Fig.1 Carte de rugosité de Strasbourg obtenue avec une formule semi-analytique simplifiée.

<sup>2</sup> PENEAU J.P. "Des densités aux rugosités, modalités instrumentales d'une transposition", Annales de la Recherche Urbaine n°67 (1995) (p.128-135)

### *Typologie morphologique, aérodynamique et thermodynamique des quartiers*

Dans le domaine thermique, le programme de recherche du Pôle « Physique et Images de la Ville » prévoit d'exploiter les images satellitales IR et radar pour dresser des cartes des albédos efficaces des quartiers. Ces cartes doivent être établies en conjuguant trois modes d'analyse :

- la simulation numérique détaillée des bilans radiatifs et thermiques aux échelles internes à la canopée;
- la cartographie morphologique des quartiers à partir des bases de données TRAPU;
- l'interprétation des images SPOT.

De manière à mieux apprécier la variabilité temporelle de ce coefficient, il est envisagé de réitérer la méthode pour établir des comparaisons portant sur une année ainsi que sur des années successives, ceci afin d'apprécier ce qu'on pourrait désigner par la cinématique de l'albédo. En un second temps, aux termes d'un projet plus ambitieux, mais qui n'a pu encore rassembler les ressources nécessaires à son lancement, il est prévu de conforter les résultats potentiels précédents par des opérations de calibration aéroportée.

On l'aura compris, l'ensemble de ces travaux est régi par la volonté d'enrichir la seule approche morphologique et fonctionnelle de la typologie urbaine. Il convient de comparer les classifications habituelles de l'analyse des tissus à celles obtenues par des simulations dynamiques et thermiques systématiques. A ce prix, on pourra apprécier la concordance des différentes classes mises au jour pour chacun des facteurs retenus et aboutir ainsi à une caractérisation climatique mieux assurée des formes urbaines et péri-urbaines. Ce genre de connaissance peut être d'un intérêt notoire pour les études urbaines et pour la définition de politiques d'aménagement orientées vers la protection de l'environnement et la gestion convenable des ressources énergétiques; elles sont, en revanche, moins directement exploitables dans les phases de conception des projets. Dans ce dernier registre, une instrumentation spécifique doit correspondre à ces nouveaux enjeux.

### **3 Instrumentation de l'ajustement climatique du projet urbain**

Le volet que l'on vient d'examiner, s'inscrit dans le droit fil des approches scientifiques relevant des méthodes de modélisation et de simulation des phénomènes physiques. Elles appellent des procédures de recalage et de validation qui permettront d'attester de leur efficacité pour l'examen de situations présentes, aussi bien que le diagnostic de situations futures. Parmi ces dernières, les séquences de conception du projet représentent l'exemple même de l'évaluation d'une réalité virtuelle. A leur propos, il est cependant clair que les seules contraintes objectives ne sont pas seules en cause. Des entités beaucoup moins formalisables entrent en jeu. Elles relèvent du champ de l'esthétique, des représentations individuelles ou collectives, des usages convenus ou de leurs détournements. Cet ensemble mouvant et complexe renvoie à des dimensions symboliques qui doivent être articulées aux fonctions objectives de la ville et notamment, pour ce qui nous intéresse ici, aux exigences de confort, de salubrité, de protection des ressources naturelles.

En effet, le projet urbain ne peut, dans ces domaines, se limiter à une optimisation économique, énergétique, ou écologique. Il doit manifester haut et fort l'exigence d'une artialisation des éléments afférents, d'une scénographie de leur combinaison. L'hybridation de ces deux approches et la composition de leurs contraintes respectives est vraisemblablement la



clé de la réussite en la matière, tout autant que le défi permanent lancé aux équipes de conception.

On avancera que parmi les moyens permettant de vaincre les obstacles à ce rapprochement, les outils numériques, liés aux progrès de l'informatique et de l'imagerie de synthèse, apportent des perspectives prometteuses. L'espace numérique permet tout à la fois, la figuration d'un aménagement urbain et le calcul des simulations renseignant sur les sollicitations climatiques et physiques, dans un contexte qui a lui même été modélisé.

Sans tomber dans un prophétisme béat, on peut admettre que cette dualité ouvre les voies du développement d'un outillage très évolué, permettant un contrôle de plus en plus étroit des conséquences des choix d'aménagement urbain. Un tel dispositif instrumental pourra opérer sur les registres habituels de la restitution de l'apparence, mais simultanément traduire les effets des sollicitations relevant d'autres phénomènes.<sup>3</sup>

Les questions de représentation des informations correspondantes posent des problèmes tout à fait stimulants. Si les ambiances sonores peuvent-être simulées de manière analogique, d'autres paramètres de l'environnement urbain, les paramètres climatiques en particulier, appellent un système symbolique qui reste pour l'essentiel à forger. Comment, sur l'image d'un fragment urbain, figurer la chaleur humide, le blizzard, les surventes ?

Nous avons développé des instruments qui, aussi éloignés soient-ils des projections toutes théoriques qui précédaient, n'en constituent pas moins un premier pas dans la construction de cet appareillage évolué. Ainsi le laboratoire a, pour l'instant :

- mis au point des outils de simulation solaire et énergétique,
- adapté pour le cadre urbain des logiciels de simulation aérodynamique,
- commencé à effectuer des essais de traitements croisés des phénomènes aérodynamiques et solaires .

Sans trop alourdir le propos, on peut rapidement en donner les caractéristiques :

- SOLENE, permet de réaliser des simulations solaires à l'aide d'une représentation numérique de la morphologie du site ( volumes bâtis et sol ) sous forme de facettes polygonales. Deux techniques sont employées pour simuler les conditions d'ensoleillement au cours de l'année :
  - la technique « Héliodon » qui repose sur une méthode géométrique pour déterminer les parties ensoleillées des bâtiments et du sol. A partir d'une vue axonométrique, correspondant à un temps donné, les polygones des facettes ensoleillées sont numériquement extraits pour construire un modèle géométrique des parties du site au soleil, à l'instant de la simulation. Les résultats de chaque simulation pour différents temps du jour et de l'année sont superposés, ils constituent alors une base géométrique caractérisant le site.
  - la technique « Masque » utilise une approche inverse. La simulation est faite pour un point de l'espace. Sur une vue appropriée du site en projection sphérique pour ce point, une analyse numérique permet d'obtenir les périodes d'ensoleillement ( ce sont les parties non masquées des trajectoires solaires ). Pour mener l'observation sur l'ensemble du site, un maillage en triangles ou quadrangles est appliqué sur les facettes de la modélisation géométrique (sol, façade, toiture).

La même simulation est successivement appliquée au centre de gravité de chaque élément du maillage (Fig.2).

---

<sup>3</sup> PENEAU J.P. "La simulation des ambiances urbaines" Courrier du CNRS N°81 été 1994 p.137-139

Après cette courte étape de simulation, le concepteur peut travailler, sur un mode interactif, avec cette base de données solaire à la fois spatiale et temporelle. Il peut répondre à divers types d'interrogations. Le logiciel offre des facilités de visualisation pour représenter les données ainsi générées et rendre compte de leur distribution dans l'espace urbain simulé.

- N3S contrairement au logiciel précédent n'a pas été développé par le laboratoire, nous utilisons dans le cadre d'un accord cet instrument puissant, mis au point par le Laboratoire National d'Hydraulique de L'Electricité de France pour modéliser les écoulements turbulents.

L'écoulement du vent est supposé tridimensionnel, incompressible, turbulent et permanent, donc gouverné par les équations de Navier-Stokes et celles de continuité. Le modèle de turbulence k-epsilon à deux équations est utilisé pour calculer les tenseurs de Reynolds. Le code de calcul résout cet ensemble d'équations en utilisant une méthode de discrétisation aux éléments finis, ceci pour prendre en compte les géométries complexes.

Trois étapes sont nécessaires pour réaliser une simulation :

- une phase de pré-traitement pour construire le maillage volumique en tétraèdres de l'espace et définir le domaine de calcul ;
- une phase de résolution des équations avec les conditions de vent imposées ;
- un post-traitement pour analyser les flux d'air et le champ de vitesses (Fig.3) .

Cet outil de simulation demeure encore difficile à utiliser et nécessite une configuration informatique puissante. Il constitue pourtant une avancée significative dans le champ des simulations micro-climatiques et ouvre des perspectives d'utilisation et de développement tout à fait intéressantes, en particulier en matière de couplage avec les phénomènes thermiques et hygrométriques.

- SIMULA est un logiciel de simulation thermique en régime variable qui a été développé par le laboratoire. Il permet une approche multi-zones et réalise, suivant le statut de température de chaque ambiance, le calcul des températures et des puissances de chauffage ou de refroidissement. La méthode utilisée est la méthode harmonique qui traite de manière très précise les problèmes d'inertie. Le calcul du flux solaire entrant est réalisé à partir de vues héliodons simplifiées.

Au titre des applications de cet ensemble, on peut signaler la complémentarité des outils et leur emploi simultané pour résoudre certains problèmes comme ceux relevant de l'analyse thermo-aérodynamique d'une rue couverte<sup>4</sup> On peut également faire état, dans ce registre, de développements en cours dans la voie de la modélisation déclarative ou simulation inverse des contraintes d'ensoleillement.

---

<sup>4</sup> GROLEAU D., LEFEUVRE M., MARENNE C., "Simulation des écoulements dans des espaces vitrés ensoleillés ; Le cas d'une rue couverte" Actes " European Conference on energy performance and indoor climate in buildings" Lyon 1994

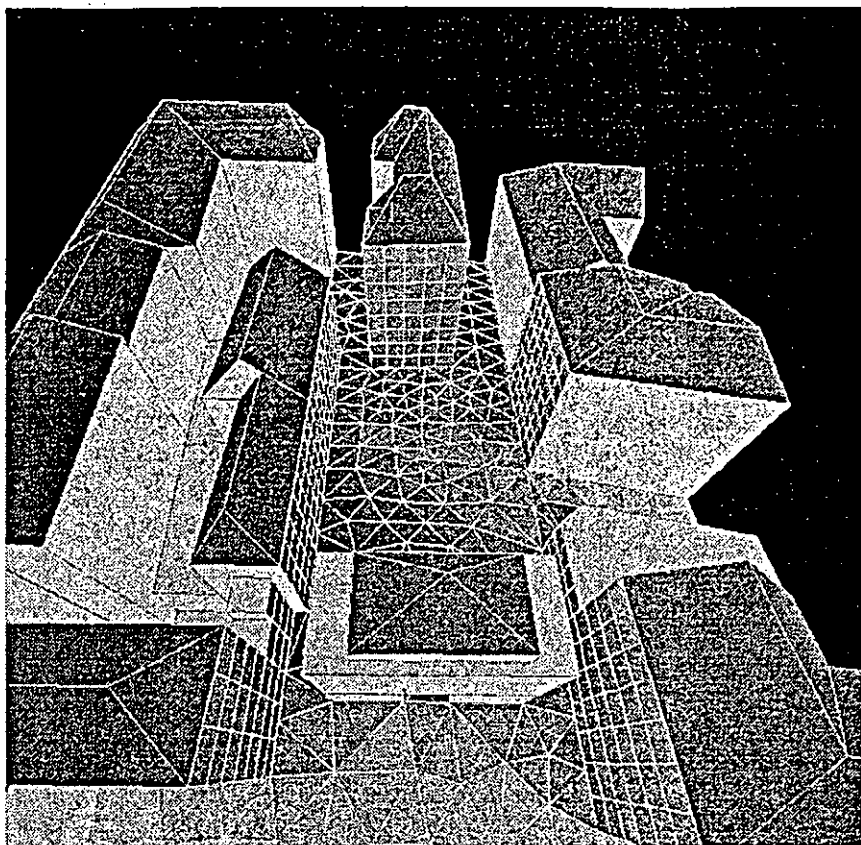


Fig. 2 - Application de SOLENE à l'évaluation du bilan d'ensoleillement d'un fragment urbain du centre de Nantes

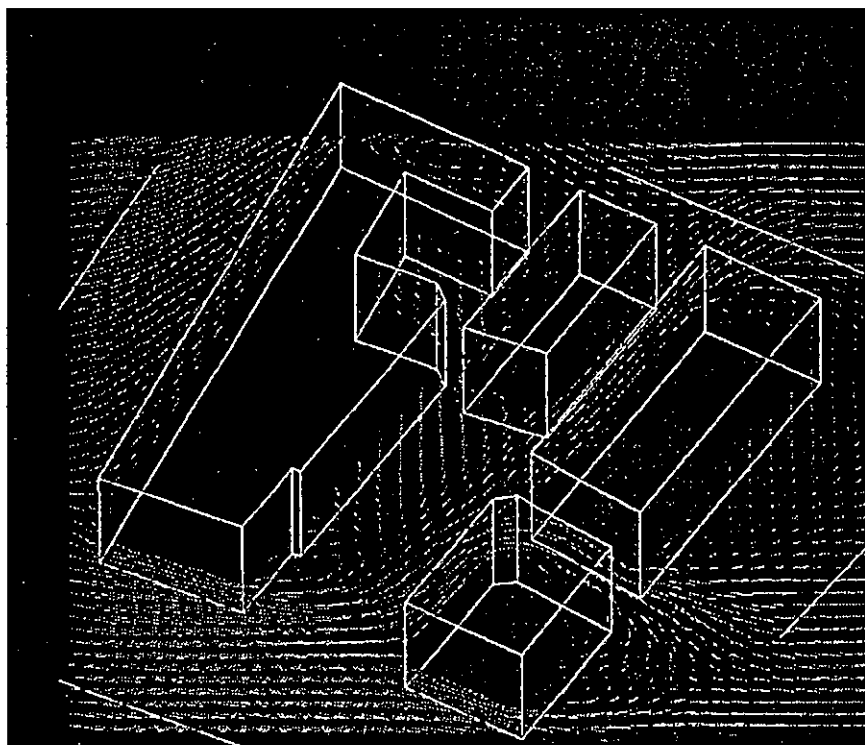


Fig.3 - Simulation des écoulements aérodynamiques dans un espace urbain au moyen du code de calcul N3S

#### 4 Etude des rapports entre formes urbaines et climat

Il est manifeste que les formes urbaines inter-agissent fortement avec les éléments climatiques et qu'au prix d'un ajustement soigneux et raisonné, le confort des espaces urbains pourrait-être notablement amélioré de la même manière que la consommation énergétique des constructions qui délimitent ces espaces serait sérieusement réduite. L'évidence de ce type de discours n'a d'égale que l'incapacité où se trouvent les protagonistes de la conception urbaine à mettre en oeuvre les méthodes efficaces de contrôle climatique et énergétique qui auraient les effets bénéfiques évoqués. On peut expliquer cette carence par l'absence de demande sociale, ou par le manque d'intérêt de la maîtrise d'ouvrage, mais à ces raisons peuvent s'ajouter une difficulté qui concerne davantage notre sphère et notre impossibilité à identifier clairement les relations qui s'établissent entre une disposition urbaine donnée et une situation micro-climatique. Certes, la complexité des phénomènes et la variabilité extrême des morphologies des sites et des situations, peuvent constituer des motifs recevables ; il n'empêche que, progrès des connaissances micro-climatiques et des techniques de simulation aidant, on se doit de travailler à cette clarification.

Pour notre part, nous avons procédé à plusieurs types d'approches, consistant tour à tour :

- à évaluer des sites particuliers au moyen des outils numériques précédemment présentés ;
- à apprécier sur un corpus déterminé la réponse de la forme urbaine à un paramètre climatique donné ;
- à mettre en évidence, sur un nombre réduit d'exemples contrastés, des variations significatives des indicateurs micro-climatiques ;
- à procéder à des investigations rétrospectives sur l'histoire de l'ajustement climatique des formes urbaines.

##### *Evaluation de sites urbains particuliers*

Ce type de travail monographique sur une série de fragments urbains, met en oeuvre les instruments de simulation du laboratoire. A ce titre, il a actuellement pour fonction essentielle d'en tester les fonctionnalités et de faire évoluer celles-ci. Le faible nombre de sites analysés ne permet évidemment pas de donner, dans l'immédiat, une réponse générale au problème de l'interaction « forme urbaine - climat ». Pourtant, à terme, si l'ensemble des monographies atteint un nombre suffisant, on peut envisager de construire un cadre d'interprétation systématique, permettant de mettre en évidence des régularités, des récurrences, des effets micro-climatiques, voire nano-climatiques susceptibles d'être répertoriés en regard de configurations spatiales données. Il va sans dire que l'établissement de cette collection monographique et son exploitation pourraient faire l'objet d'un travail collectif tout à fait stimulant. On peut imaginer que celui-ci porte sur des espaces urbains significatifs de diverses cités européennes, et qu'il permette d'associer à l'étude micro-climatique, des éléments complémentaires sur l'esthétique urbaine et sur les pratiques sociales afférentes. Nous ne manquons pas cette occasion de renouveler l'appel à collaboration.

##### *Etudes statistiques sur des corpus de tracés urbains*

Pour ces études, le propos consistait à s'interroger sur la manière dont une disposition caractéristique d'un tracé urbain, pouvait traduire une réponse délibérée à une contrainte climatique jugée prépondérante. Il était nécessaire, dans ce cas, de rassembler un ensemble de données portant sur un corpus de villes présentant un poids statistique satisfaisant.

Deux recherches ont été conduites avec un succès mitigé sur l'ajustement aérodynamique de la trame des villes de fondation. La première portait sur les villes grecques de l'antiquité, elle a échoué sur les difficultés de recueil de l'information topographique nécessaire au recalage des informations météorologiques des stations. La reconstitution précise du régime des vents dominants sur les sites urbains retenus se faisait à l'aide de modèles qui n'ont pu être utilisés que pour des villes antiques de Sicile ( les cartes italiennes fournissant l'altimétrie ).

Pour pallier à ces impossibilités le deuxième corpus retenu était français ; il s'agissait de l'ensemble des villes nouvelles construites au moyen-âge dans le sud-ouest et désignées par l'appellation générique de « bastides ». Les bastides du sud-ouest de la France représentent un ensemble emblématique des implantations urbaines en site vierge. L'historiographie de l'urbanisme, en généralisant quelque peu les traits morphologiques des plus réguliers, en fait un modèle de planification urbaine.

Nous avons mené une investigation systématique sur la base d'un corpus de 516 agglomérations. Après avoir effectué un recueil systématique des données sur les sites, nous avons entrepris l'analyse statistique des corrélations entre la direction des vents dominants et les tracés. Le résultat peut-être considéré comme décevant dans la mesure où il n'a pas été possible de montrer des traces du moindre souci d'ajustement climatique au moment de l'implantation de la ville. En revanche, des analyses plus ponctuelles, sur la situation aérodynamique des places centrales rectangulaires ou carrées dont la présence est fréquente dans ces villes, ont donné de meilleurs résultats.

#### *Caractérisation climatique de tissus urbains*

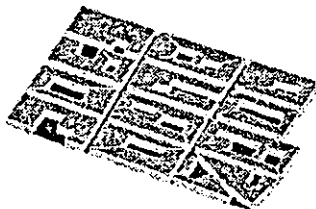
Ce volet de notre travail porte sur la manière dont des formes urbaines à la morphologie très accusée définissent une situation micro-climatique particulière.<sup>5</sup> A l'opposé de l'approche statistique précédente, il prend comme point de départ un nombre réduit de dispositions urbaines types, pour s'assurer que le contraste morphologique a bien pour corollaire une différenciation marquée des indicateurs micro-climatiques et environnementaux.

Dans le cas présenté ici, il s'agit de trois secteurs correspondant respectivement :

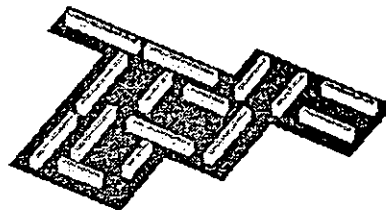
- à une « bastide » choisie parmi les plus caractéristiques du genre : Sainte Foy la Grande
- à un quartier dense ancien du centre de Nantes : le Bouffay
- enfin, à un exemple assez caricatural des grands ensembles des années soixante : le Château de Rezé, ville de la périphérie nantaise qui, on le sait, a accueilli un édifice plus illustre (Fig.4).



Quartier du Bouffay (Nantes)



Bastide Sainte FOY



Chateau de Rezé

<sup>5</sup> GROLEAU D., MARENNE C. "Environmental specificities of the urban built form" Actes "The Rebuild European Conference" Corfu Greece (1995)

Pour l'instant l'analyse a intéressé uniquement l'étude de l'ensoleillement à l'aide du logiciel SOLENE. Elle a porté, tour à tour, sur des évaluations de l'ensoleillement des espaces au sol et de celui des façades ; les bilans d'ensoleillement et d'apport énergétique étant établi sur un maillage triangulaire pour le sol et rectangulaire pour les façades. Les pourcentages ont été obtenus pour chaque élément du maillage puis cumulés de manière à obtenir une valeur globale pour le fragment urbain considéré (dans le cas présent, pour trois périodes caractéristiques de l'année). Il faut, bien sûr, signaler que pour rendre la comparaison significative, la même latitude fictive de 47 degrés a été retenue pour les trois sites.

Les résultats sont traduits par un indicateur de réduction soit de l'effet d'ombrage soit de l'apport énergétique. Le premier correspond au rapport de la durée d'insolation effective calculée à la durée d'insolation maximale théorique, le second repose sur le même principe pour l'énergie directe reçue.

Pour les espaces libres au sol les résultats sont consignés dans le tableau ci-après :

Facteur de réduction	STE FOY		BOUFFAY		REZE	
	en %	durée	énergie	durée	énergie	durée
Décembre	92	91	86	85	48	43
Mars	85	83	84	81	45	37
Juin	59	50	68	61	26	18

densité	0.62	0.72	0.15
---------	------	------	------

Le tableau révèle la bonne corrélation des deux facteurs. Il montre en outre qu'une densité forte induit un facteur de décroissance important, que la forme et les dimensions des espaces extérieurs induisent des bilans solaires différents, enfin que l'orientation des rues joue un rôle non négligeable. La même opération effectuée pour les façades, donne des résultats reportés sur le tableau suivant.

Facteur de réduction	STE FOY		BOUFFAY		REZE	
	en %	durée	énergie	durée	énergie	durée
Décembre	55	56	64	70	9	8
Mars	40	42	40	47	9	7
Juin	17	19	26	34	3	4

densité	0.62	0.72	0.15
---------	------	------	------

Le principe du calcul du facteur de réduction a, de la même manière, été mis en oeuvre. En regard des espaces libres au sol, les façades présentent la particularité évidente de voir leur ensoleillement dépendre de leurs orientations. Les valeurs de référence étaient d'une demi-journée pour la durée d'insolation et de 1000, 2000, 2200 W/m<sup>2</sup> pour respectivement décembre, mars et juin. On constate que les facteurs de réduction sont plus faibles que pour le sol. On remarque aussi que les facteurs de réduction varient comme la densité, mais avec une gamme de valeurs plus grande. Enfin, comme pour les sols, les deux facteurs sont nettement corrélés.

## *L'histoire de l'ajustement climatique des formes urbaines*

L'histoire de l'ajustement climatique des formes urbaines révèle l'antériorité et la permanence de la question au fil des siècles. Si les cadres interprétatifs du rapport de la ville au climat évoluent, il est important de saisir les modalités de cette variation et, le cas échéant, de s'attacher à retrouver quelques éléments éventuels de stabilité permettant d'éclairer nos propres questionnements. Pour ce faire, il est nécessaire de mettre en correspondance - à l'aide des méthodes de l'histoire des sciences et des techniques ainsi que des outils de l'analyse urbaine - ces deux ensembles mouvants que représentent les connaissances sur le climat et les dispositions des villes. L'étude attentive des unes et des autres révèle des décalages dans les évolutions. Les dernières nommées paraissent moins changeantes que les précédentes. Ainsi les formes de la rue, de la place, de l'ilôt, du forum connaissent une robuste pérennité que n'a pas la climatologie aristotélicienne ; même si la réfutation de celle-ci s'avère, somme toute, historiquement bien proche de notre fin de millénaire.

Pour mettre au jour des connaissances sur ces sentiers peu fréquentés, nous avons - après un panoramique chronologique d'ensemble - entrepris d'étudier de manière approfondie la période du XVIII<sup>e</sup> siècle<sup>6</sup>. En effet, à l'aube de l'ère industrielle, la rencontre de plusieurs facteurs stimule des évolutions sensibles dans le domaine : les théories urbaines font une place privilégiée aux questions de salubrité, la météorologie systématique connaît ses premiers développements conséquents, les progrès de la physique et de la chimie gagent quelques avancées en matière de climatologie. Il y a là matière à de nombreuses analyses et l'opportunité, grâce à la superposition de leurs résultats, d'éclairer des mécanismes qui ne sont peut-être pas tous frappés de péremption. C'est, à tout le moins, une opinion que nous aimerions faire partager.

## **5 Conclusion**

Au terme de cette contribution, j'espère avoir, au delà de la seule présentation de nos travaux, fait passer quelques messages d'une portée plus large :

- la nécessité de la coopération entre les disciplines en matière de climatologie urbaine,
- l'importance du développement d'un appareillage adapté aux particularités de l'exécution des projets,
- l'utilité de la constitution de bases de connaissances sur l'information micro-climatique d'espaces urbains de référence,
- l'impératif de fabrication des outils numériques et des méthodes d'évaluation, permettant de systématiser l'analyse micro-climatique et énergétique des tissus et fragments urbains.

Faut-il redire que l'ampleur de la tâche génère une certaine dose d'inquiétude ?

Les appareillages et expériences présentés, sont-ils la version actualisée des fascinantes démonstrations des cabinets de curiosité du siècle des Lumières ? Ont-ils au contraire des chances d'être diffusés et appliqués largement, de telle façon qu'ils garantissent des améliorations sensibles du cadre de vie et de sa protection ?

Les difficultés que nous rencontrons pour convaincre la sphère de la maîtrise d'oeuvre urbaine de l'utilité de tels outils, nous conforte dans l'opinion qu'il faut coûte que coûte en étendre la portée. Nous devons, en effet, relever le défi de cette ambivalence de la conception de l'espace, et, une fois assuré le contrôle des données objectives, ne pas esquiver la prise en

---

<sup>6</sup> PENEAU J.P. "Ajustement climatique et tracés urbains au siècle des lumières" Sciences et Techniques en Perspective, n°24, (1993), pp.1,105

compte extensive d'autres facteurs ; mêmes s'ils sont au demeurant, bien peu recommandables dans le monde scientifique et technique. A titre d'exemples osera-t-on dans le présent cadre évoquer : l'apparence des choses bâties, l'imaginaire qui leur correspond, le plaisir et l'émotion qu'elles peuvent susciter ?



# ECONOMIC INSTRUMENTS AS PART OF A LONG-TERM, INTEGRATED STRATEGY TO REDUCE URBAN POLLUTION PROBLEMS

Henning Wuester,  
Secretariat of the United Nations Economic Commission for Europe<sup>1</sup>

## Introduction

Urban areas are the centre of economic activities today. Urban population have adopted lifestyles that are very different from traditional ones and put great stress on the carrying capacities of natural environments. The inhabitants of many cities suffer from poor sanitation, low air quality, and traffic noise, just to mention a few examples. Cities pollute rivers and other watercourses, contribute to global warming and acidification. Urban density, mobility and lifestyles are reflected in the demand for space and a flow of resources.

This paper is not an attempt to formulate a long-term strategy for sustainable cities, but by identifying some of the requirements for such a strategy it will show the role economic instruments can play as part of a policy for sustainable cities. Part one defines what problems are considered as urban. Based on the characterisation of the problems, part two sets out some essential requirements for long-term integrated policies towards sustainability. The main part presents the main categories of economic instruments and highlights their role and some of their advantages within a long-term integrated strategy.

## 1. Urban Environmental Problems

In Europe more than two thirds of the population lives in urban areas. In the developing world the rate of urbanisation is also high and increasing. There is a wide range of environmental problems that can be associated with cities. Environmental problems arise when the carrying capacities of the environment are exceeded and harmful effects lead to environmental degradation. Issues considered here as urban environmental problems are: (1) environmental problems caused by urban activities and (2) environmental problems felt in urban areas. There is a large overlap between these two groups, most problems actually fall into both categories, but both, the state of the urban environment and the impact cities have on the regional and global environment have to be considered. Virtually any economic activity can be associated with a source for environmental nuisances. Most prominent for urban areas are problems caused by energy consumption, transport and land use. In Europe, a typical city of 1 million inhabitants every day requires 11 500 tonnes of fossil fuels, 320 000 tonnes of water and 2 000 tonnes of food. It produces 300 000 tonnes of wastewater, 25 000 tonnes of CO<sub>2</sub> and 1 600 tonnes of solid waste<sup>2</sup>. Most environmental problems, even if their causes lie outside city boundaries, also affect urban areas and their populations.

---

<sup>1</sup> The views expressed are those of the author and do not necessarily reflect any official position of the United Nations Economic Commission for Europe.

<sup>2</sup>European Environmental Agency (1995), p. 263.

The first category mentioned above contains problems such as respiratory diseases caused by local air pollution originating from urban traffic, climate change through the contribution from urban activities to the build-up of greenhouse gases in the upper atmosphere, and groundwater pollution resulting from the deposition of municipal wastes. The first two of these examples would also be part of the second group. In addition, the second group covers problems like corrosion to buildings and materials caused by acidifying pollutants transmitted from distant sources.

The examples show the very strong interdependence between economic activities through environmental media. Environmental media do not know any boundaries, pollution does not stop at city limits. In addition to this geographic interdependence environmental media also lead to an interdependence between different economic sectors which would have little to do with each other otherwise but are interconnected as they use the same environmental resources. This is not specific to cities, but urban densities and lifestyles place a particular stress on natural carrying capacities. For some time cities may be able to ignore their impacts on the regional and global environments, but in the long run they will suffer from having put unsustainable demands on the environment. In the long run the local urban environmental quality will depend on the health of the region and the earth as a whole.

## **2. Policies for Sustainable Cities**

Sustainability requires that the needs of future generations are not impaired when satisfying the needs of today. Sustainable urban areas have to take into account the interdependencies listed above, in order not to overburden the local, regional and global environment. Targeting certain environmental problems in isolation may be very dangerous and, in effect, just shift the pollution burden from one receptor to another. An isolated approach may actually lead to larger overall environmental damages.

At an early stage, environmental policies tended to concentrate on remedying specific problems either by interfering at selected receptors (e.g. the liming of Scandinavian lakes to reduce their acidity) or by applying end-of-pipe technology in order to reduce the pollution at the source. Such approaches were successful in addressing the symptoms and providing short-term relief for some local problems, but they failed to solve any of the problems. As the number of environmental problems increased and the degree of degradation rose, such policies became very costly or ineffective in providing solutions. For instance, the "high-stack policy" of 1960s managed to improve the air quality in some heavily polluted cities, but brought about vast ecological damage through acid rain in distant areas.

A long-term sustainable, integrated approach should at least fulfil the following criteria:

- It should cover all negative effects, i.e. local, regional and global effects, as well as those on all environmental media (air, water, soils);
- Irreversible changes should be avoided;
- The ecological capital should be preserved (It may be sufficient to preserve man-made capital as long as this can fully substitute natural capital);

- In dealing with unknown or uncertain effects, the risks caused by pollution have to be evaluated and reduced on the basis of the precautionary principle;
- All types of pollutants should be targeted in order to avoid a shift of the pollution flow from one regulated to another non-regulated pollutant;
- Governments and local authorities should enhance the application of "clean technologies" and techniques that prevent pollution at the outset rather than just controlling its release.

These criteria are sufficiently general to apply to policies at any level and not only to those aimed at making cities sustainable. However, urban areas show some characteristics, such as the high population density, the strong concentration of activities and the urban lifestyles, that make long-term integrated policies essential. The stress that urban activities pose to the natural carrying capacity is extreme. The environmental interdependencies among urban activities, but also between cities and their surrounding, or even very distant, regions, need special attention by a long-term policy.

### 3. The Role of Economic Instruments

Economic theory can show that the market place can, under certain conditions, optimally allocate resources to different economic uses. Interdependencies between economic activities occur across markets and through prices in such a way that economic agents take into account the effects their actions have on other agents. This is not the case if interdependencies pass through environmental media that are employed at no cost. Effects are then transmitted outside markets and the allocative mechanisms of the price system can not act - they are *external* to markets or (*negative*) *externalities*. Economic agents will not even attempt to reduce the use of environmental goods or services that are external to their decision-making process. Only when externalities enter the estimation of costs and benefits of certain actions, will they be taken into account.

Economic instruments try to do exactly this. They aim at changing economic behaviour by bringing environmental considerations into the decision-making process of economic actors and affecting their estimates of costs and benefits. The term economic instruments refers to any measures that aim to reduce the pollution burden through financial incentives and hence will lead to a transfer of resources from the owner of a polluting source to the community or will directly change relative prices.<sup>3</sup> The negative distributional impact on those who pollute is not a necessary part of the definition of economic instruments. But such a redistribution results from applying the two basic principles that are generally accepted: the polluter-pays principle and the user-pays principle.

Five main categories of economic instruments, that can be applied in urban areas, can be distinguished:

---

<sup>3</sup>This is the definition used in UN/ECE (1994), p. 42. In the major OECD publication on economic instruments, no definition is provided, instead two elements (affecting the estimate of costs and benefits and intended impact on the behaviour) are stressed (OECD (1994), p. 17).

### ***1. Emission charges and taxes***

Emission charges or taxes require payment in relation to the amount of a given pollutant or the characteristics of the pollutant. If rates are high enough to internalise the full social costs of a polluting activity at its source, they are in line with the polluter-pays principle: they compel the polluter to absorb those costs as part of his production costs. The rates charged should therefore be proportionate to the estimated cost of the environmental damage caused by the emissions. Charges or taxes are often linked to energy consumption, as emissions in many cases can be directly related to energy use; in those cases where they are applied to the price of products, such as fuels, they fall into category 2.

### ***2. Product charges, taxes, and tax differentiation***

Product charges and taxes are often a substitute for emission charges and taxes, where the level of pollution resulting from a particular activity can better be quantified by the amount of a product that is used in or results from the activity. Thus these charges or taxes are applied to the price of the product that causes pollution as it is manufactured, used as a factor of production or consumed. In general a classification system will be required distinguishing products according to the pollution that they may cause. Tax differentiation is especially used in relation to fuel taxes in order to set an incentive for the consumption of low-pollution fuels. Differentiation of fuel and car taxes have, for instance, been widely applied to stimulate the introduction of unleaded petrol.

### ***3. User and administrative charges***

User and administrative charges constitute payments for specific services supplied by public authorities. User charges are, for instance, applied to cover the cost of waste collection or sewerage treatment. When fully covering all costs associated to the use of a resource, from its extraction to its disposal, they are in line with the user-pays principle. Administrative charges are, for instance, applied to cover the cost of licensing and monitoring activities by authorities.

### ***4. Emission trading***

Emission trading requires a definition and distribution of property rights to environmental media or parts thereof ("bubble concept"). Instead of determining the emission limits for a specific plant, a sum of emissions for a specific area or source category is defined and transferable rights to emit (permits) are distributed among enterprises. These can then decide whether to reduce emissions and sell permits or whether to buy additional permits. Consequently, emission reductions will occur where they are the cheapest to accomplish.

### ***5. Subsidies and other forms of financial assistance***

Subsidies are another form of economic instrument although they usually do not conform with the polluter-pays principle. Such measures include low-interest loans, accelerated write-off allowances, cash grants for investments in pollution abatement equipment, research and development. Those subsidies are granted to individuals or enterprises either indirectly (in the case of tax rebates, which result in a loss of tax revenue) or

as disbursements from the budget of environmental departments, sometimes through special funds set up for the purpose. The reduction or removal of subsidies that induce polluting activities above the optimal level is also important in some countries. Financial assistance may not be in violation of the polluter-pays principle if it is used to speed up a period of transition and is thus limited in time, or if it consists of payments for positive externalities, for instance, general energy-saving measures.

Most important for urban areas are charges for waste collection and sewerage treatment. However, rarely are these charges high enough to conform with the user-pays principle and to lead to a full internalisation of external costs. Economic instruments can also be significant to control urban traffic flows and land use. Road pricing or area certificates are important examples. The table below<sup>4</sup> shows, as one example, the effects of the licensing scheme introduced in Singapore:

Hours	Vehicle type	Traffic volume	
		May 1975	May 1976
7.00-7.30	cars	5 384	5 675 (+5.4%)
	all vehicles	9 800	10 332 (+5.4%)
7.30-10.15 (period in which the scheme is applied)	cars	42 790	10 754 (-74.9%)
	all vehicles	74 014	37 587 (-49.2%)
10.15-10.45	cars	n.a.	6 636 (+2.7%)
	all vehicles	n.a.	13 805 (+2.7%)

The table shows the important traffic reduction for the peak period targeted by the scheme after its application in 1975. The level of congestion, air pollution and noise was reduced substantially in the zones in which the scheme was applied. There was only a small increase in the traffic in non-peak periods, but considerable traffic moved into zones that were not covered by the scheme. An extension of the scheme to cover also other zones was discussed. A similar system of licensing has been applied in the city of Cracow in Poland. Here licenses have to be held at any period of the day to enter a specific zone. An extension of the system to make licenses tradable is under discussion.

The main argument traditionally brought forward for the application of economic instruments is their potential to increase the cost-effectiveness of environmental policies. The flexibility they offer to economic agents in the choice of the control measure, becomes more important the stricter the environmental targets are. The charge on nitrogen oxide emission introduced in Sweden in 1992 has shown that firms find ways to reduce emissions that have not been envisaged by regulators. The emission reduction following the introduction of the charge was between 30 and 40% exceeding the expected 20-25% reduction and even going beyond what was considered technically feasible. So, besides the cost-effectiveness of the instrument for given abatement techniques, economic instruments will also stimulate technological innovations.

<sup>4</sup>Source: OECD (1990), p. 59.

In theory it can be shown that economic instruments can bring about an optimal level of pollution control. The main prerequisites are the full internalisation of external costs into the cost-benefit estimates of economic agents. This can be achieved by setting the level of taxes or charges at the level of marginal damage caused by the pollutant(s) concerned or by creating a market that will bring about the optimal level of the price for pollution.

For governments and authorities the revenue-raising role of economic instruments also is of high importance. In particular for user and administrative charges a full coverage of the costs associated with the provision and disposal of a resource is intended. Ideally the municipal waste services should be fully financed through charges. For emission and product charges an ear-marking of the funds, for instance, for environmental projects is not recommended. Generally the level of the charge or the tax should be set based on the damage caused by the pollutant and not be influenced by budgetary requirements. However, as a source of revenue for the general budget corrective taxes may be very useful. Recent studies have shown that replacing income taxes by "green" taxes may bring about very positive effects on employment.

A major advantage of economic instruments is that they allow a fine-tuning of environmental regulation. For gases where there are no technical abatement measures, such as for carbon dioxide, a tax can give the incentive to move to processes and products that emit less. A slow increase of the level of such a tax allows the economy to adapt and to avoid shocks. Instead of requiring a decision about all or nothing, authorities can demand a small additional effort and thus approach sustainable levels.

## Conclusions

Urban environmental problems have to be considered from a long-term perspective. The world is growing together and no city can afford to reduce its pollution burden by shifting it beyond its boundaries. Economic instruments can be applied in such a way that all those undertaking polluting activities will integrate environmental concerns into their decision-making. Firms will pass on the higher production costs resulting from economic instruments to the consumers by raising prices for the end-products. When consumer goods reflect their true costs, including external costs, urban lifestyles can be corrected and consumption patterns may become sustainable. To reach a full internalisation, however, environmental taxes and charges eventually have to be high enough to cover the full external costs associated with a product.

For cities to become sustainable, the degree of environmental regulation will have to be very high and the associated cost burden for the economy heavy. The flexibility in choosing the techniques to reduce pollution, that economic instruments provide, will allow cost-effective implementation of policies and reduce the cost burden in comparison to other policy instruments. Economic instruments can be used to give signals, for instance, where risks have been identified, but the knowledge of the problem is insufficient to specify the correct level of regulation. A gradual introduction of a tax can give the economy the necessary time to adapt to the environmental requirements.

It is, however, important to stress that there are elements of an environmental strategy that cannot, or not sufficiently, be covered by economic instruments, thus always requiring some direct regulation and planning. All instruments, economic and non-economic ones, should be devised jointly to allow optimal interaction. While, for instance, road pricing may give the signal that urban transport is costly to society and should be reduced or at least be

corrected, spatial planning will show directions for how distances for urban travel can be cut. For the great number and variety of urban environmental problems no single instrument can provide solutions, but, so far, the potential of economic instruments has in most cities not been used.

## References

European Environmental Agency (1995); *Europe's Environment - The Dob Assessment*, edited by D. Stanners and P. Bourdeau, Copenhagen.

OECD (1990); *L'environnement urbain: quelles politiques pour les années 1990?*, Paris.

OECD (1994); *Managing the Environment - The Role of Economic Instruments*, Paris.

UN/ECE (1995); *Strategies and Policies for Air Pollution Abatement - 1994 Major Review*, ECE/EB.AIR/44, United Nations Publications, Geneva/New York.

## **SESSION 1**

**Cas suisses et internationaux,  
présentation et discussion  
des contributions**



## ESPECE, ESPACE, ENERGIE

Jacques Vicari

Centre universitaire d'écologie humaine, Université de Genève

### Résumé

Si dans les régions tempérées les choses vont grosso modo rester égales à elles-mêmes, la mutation majeure quantitative et qualitative va s'opérer sous les tropiques: en 50 ans la population "urbanisée" va passer de 1 milliard à 4 milliard. Comme il n'est pas possible en un si bref laps de temps de dégager des ressources qui équivalent au double de tout le patrimoine bâti existant à ce jour, le poids que vont prendre les établissements humains sous les tropiques va faire basculer la planète.

Cette mutation risque d'affecter les zones arables et irrigables, mettant en péril la sécurité alimentaire. Elle risque aussi de toucher les terres boisées et réduire la production d'oxygène. Elle risque enfin d'accélérer les changements climatiques par une utilisation accrue des énergies fossiles et nucléaires.

### 1. Introduction

Les régions inter et subtropicales prennent toujours plus d'importance et les situations auxquelles elles doivent faire face - la croissance démographique, les grandes migrations de population, les grandes villes de plus de 10 millions d'habitants, les inégalités et la désintégration des modèles d'habitat - deviennent les caractères dominants du monde contemporain. Dans ce monde dont la population double en trente ans, cette croissance accélérée est le résultat global d'un ralentissement dans les régions tempérées et d'une accélération sous les tropiques. Dans les premières, le passage de la population active de l'agriculture vers l'industrie puis les services a déjà eu lieu et, avec le chômage, on observe une dispersion de l'habitat et une mobilité des lieux d'emploi. Ce double mouvement est qualifié du terme de désurbanisation. Dans les autres régions en revanche, le décollage industriel est conditionné par la concentration des services dans un petit nombre de pôles reliés au réseau commercial international; tout cela produit une urbanisation massive qui prend des dimensions et un temps de croissance encore jamais vu.

Pour faire face au développement précipité de ces agglomérations on dispose des méthodes mise au point durant la décennie 1960-1970 en Occident: enquêtes, programmes et projets faits par des bureaux d'études des nations industrialisées réalisés dans toutes les parties du monde par des organisations économiques ou politiques agissant à l'échelle internationale.

D'autres études et d'autres plans sont fait sur place par des groupes formés dans les universités des pays "avancés". Mais les résultats ne concernent qu'une partie de la population, l'autre partie n'est pas en mesure de les utiliser et s'établit dans les quartiers désignés, comme "marginiaux" car ils sont considéré en marge de la ville planifiée donc légitime. Or ces établissements irréguliers se développent plus rapidement que les

établissements réguliers. Ils hébergent désormais sous les tropiques la majorité de la population urbaine.

## **2. Le défi des établissements irréguliers**

Ce gigantesque fait accompli exerce une influence prépondérante sur la réalité. C'est l'ensemble de la croissance urbaine qui est en train de faire basculer la planète. Nous devons prendre conscience que ce phénomène n'autorise plus la reconduction des modèles et concepts de planification urbaine des années 60-70. Ceux-ci ont certes permis le doublement de villes, mais passer d'une agglomération de 10 millions d'habitants à 20 millions est sans commune mesure avec l'extension d'une ville de 1 million à 2 millions. Les plans les plus ambitieux ne peuvent que tenter, sans succès de ralentir ce mouvement. Comment freiner notamment l'exode rural, provoqué bien plus par l'impossibilité d'hériter des biens-fonds des parents qui, contre toute attente prolongent leur séjour ici-bas, que par l'attrait des lumières de la ville? Tout se joue autour du patrimoine mondial des quelques 1450 millions d'hectares de terres arables et irrigables, répartis à raison de 650 millions dans les régions tempérées et de 800 millions dans les régions tropicales. Ces 1450 millions doivent être placés sous haute surveillance. Voyons pourquoi:

## **3. Le défi de la sécurité alimentaire**

Entre 2000 et 2050, 57 millions d'hectares nécessaires aux activités secondaires et tertiaires et aux logements des 14 centaines de millions d'habitants supplémentaires des villes régulières et 23 million d'ha seront tout aussi indispensables pour abriter les 23 centaines de million d'habitants nouveaux des villes irrégulières.

Ces quelques 80 millions d'ha vont-ils décimer les 800 millions d'hectares agricoles, alors que dans le même laps de temps ces terres arables devront se partager entre 33 centaines de millions de travailleurs agricoles soit 11 centaines de millions de plus qu'en l'an 2000? Ce premier scénario conduit à réduire, une fois de plus, la taille des parcelles de chaque travailleur agricole, redoublant l'incitation à l'exode rural.

Un autre scénario consiste à gagner des terres constructibles sur les surfaces boisées. Mais l'humanité en a un besoin incompressible pour produire l'indispensable oxygène.

Reste le scénario prévoyant l'utilisation des terres improductives, le plus souhaitable mais le plus improbable. Le scénario le plus praticable serait un panachage sélectif des trois types de soustraction, selon les opportunités locales à saisir. Cela est valable tant pour les villes régulières qu'irrégulières qui vivent en symbiose. Car les unes et les autres sont nourries par les mêmes terres, respirent un même air et échangent inégalement des biens et des prestations.

## **4. Le défi de la désurbanisation**

A ce stade de la démonstration il faut élargir le débat aux régions tempérées. Le ralentissement ou l'arrêt de la croissance urbaine de ces régions conduit à une situation tout à fait nouvelle: l'obligation de maintenir les cités existantes comme cadre de vie de demain.

A la fin du XXe siècle ces cités sont occupées par 14 centaines de millions d'habitants auxquels viendront s'ajouter, d'ici 2050, 3 centaines supplémentaires. Ce surplus est le résultat combiné d'une longévité accrue qui compense la faible natalité - au dessous du seuil de remplacement - et d'un exode rural dû aux politiques agricoles qui contraignent à une rationalisation mondiale de la production. Il n'y aura alors qu'une centaine de million d'agriculteurs pour travailler les 650 millions d'hectares de terres arables. Pour autant que celles-ci n'aient pas été gaspillées ou bradées suite à une déprise de terres faites de façon irréversible, telle qu'elle apparaît déjà durant le dernier quart du XXe siècle.

Or ces terres vont être de plus en plus nécessaires face à la demande croissante de nourriture des habitants des villes régulières et irrégulières des tropiques. Le maintien de leur capacité agricole s'inscrit donc comme une priorité mondiale absolue. Il s'agit donc aujourd'hui de se convaincre et persuader l'opinion publique mondiale qu'il est possible de détourner les flots de l'urbanisation tropicale sur les terres improductives et qu'il est nécessaire de préserver la capacité productive des terres des régions tempérées.

A terme, il faut se préparer à l'embargo des terres arables et irrigables de la planète.

## **5. Le défi de l'équilibre thermique**

Quel va être l'effet thermique du ras de marée prévisible de l'urbanisation des régions tropicales qui de 2000 à 2050 devrait, au mieux, conduire à la construction d'une quantité de ville régulière égale à ce que les régions tempérées ont pu construire en 250 ans. Et, durant le même laps de temps l'auto-construction d'une quantité de ville irrégulière de plus du double de ce qui existe à la fin de ce siècle? Pas plus que l'infini démographique, l'infini thermique ne peut se déployer sur notre monde fini. L'effet thermique limite dans l'absolu la quantité d'énergie issue des combustibles fossiles et nucléaires utilisables simultanément sur la planète. L'équilibre précaire/durable à assurer entre la prolifération de l'espèce humaine et l'espace terrestre s'articule évidemment avec la capacité d'évacuation vers l'espace extra-terrestre des radiations thermiques.

### ***Résumons nous.***

Il s'agit non seulement d'assurer les surfaces de terres arables pour se nourrir, les surfaces boisées pour respirer, encore faut-il que ces surfaces gardent une température moyenne acceptable.



## HUMAN THERMAL DISCOMFORT CONDITIONS AND HEAT ISLAND EFFECT OVER ATHENS, GREECE

I. Livada-Tselepidaki, M. Santamouris, N. Dris  
University of Athens, Greece

### Abstract

This paper presents a brief review of the studies that have been carried out in the great Athens area, in order to define the human thermal discomfort conditions during warm period, as well as to conclude whether the heat island effect is observed over Athens. Obviously, the adherence of the human thermal discomfort during the last years is a consequence of the observed heat waves, as well as of a general heating of the lower atmospheric layer, which could be attributed to the development of the heat island effect in the centre of the city.

### 1. Studies about thermal discomfort conditions over Athens

During the last years and especially after 1985, human thermal discomfort conditions have been reported during the warm period in the city of Athens and, in some occasions, in the great area of Greece.

The heat wave of July 1987, which was observed over the whole country, in combination with the increased atmospheric pollution in Athens, resulted to a steep increase in the number of deaths in Athens (1). This event, gave rise to a detailed study of thermal conditions, mainly over Athens, as in this city lives the 50% of the Greek population.

In a former study of I. Tselepidaki and M. Santamouris, 1991 (2), time series of hot ( $T > 26$  °C) and very hot ( $T > 28$  °C) hours during the warm period are examined. The results indicated an adherence of high temperatures, but it was not further studied whether this has become more significant over the last years.

It is common knowledge that human discomfort conditions are not caused only by high temperatures, but by other factors as well, such as wind, humidity, etc. As a result, a more detailed study on human discomfort conditions was carried out, using indices, which take into account other atmospheric parameters besides temperature. Thus, C. Balaras et al (1992) (3) in their study calculate Vinje index, I. Tselepidaki et al (1992) (4), calculate Thorn index and A. Tsinonis et al (1992) (5), study resulting discomfort conditions when taking into account ASHRAE standard limits (6).

Furthermore, other studies of C. Balaras et al (1993) (7) and I. Tselepidaki et al (1993) (8) evaluate human discomfort conditions as a function of only air temperature.

From all these studies, it has been concluded that human discomfort condition indices that have been defined by various researchers (Thorn, Vinje, etc.) indicate discomfort conditions when population in Athens feel thermal discomfort, which confirms their practical value over Greece. However, neither the study of the mean monthly temperatures of the last 130 years, nor the study of these indices, has indicated a statistically significant change in the climatic conditions, which would relate human discomfort conditions in Athens, not only to atmospheric pollution, but to a possible heat island effect, as well.

From following studies by S. Kontoyiannidis et al 1993 (9), I. Tselepidaki and M. Santamouris, 1993 (10) and I. Tselepidaki et al 1994 (11), which examined thermal conditions of the air in the centre of Athens, as well as in semi-urban areas to the north and south of the centre, a statistically significant differentiation of discomfort conditions was not concluded.

According to the above mentioned studies, and as shown in Table 1, it is obvious that since 1977 the observed high temperatures in Athens and generally human thermal discomfort conditions have been statistically significant (at 5% c.l.).

Table 1. Besson's coefficient of persistence.

INDICES	June	July	August	September
Hours with T>28 C	4.64	4.91	4.78	3.48
Hot hours (Vinje index)	1.77	2.09	1.85	1.47
Hours with DI>24 �C (Thorn index)	4.32	4.97	4.50	3.50
Hours with DI>26.7 �C (Thorn index)	3.58	2.67	2.35	1.93
Hours within discomfort zone (ASHRAE)	3.79	4.73	4.38	3.29

A different approach regarding not only a quantitative evaluation of discomfort conditions, but a qualitative one as well, is attempted in the studies of I. Tselepidaki et al 1993 (8), I. Tselepidaki and M. Santamouris, 1993 (10) and S. Kontoyiannidis et al 1993 (9). In these studies, the degree hours and the degree days are estimated for stations in the centre and in the suburbs of Athens. From the study about degree hours (DH) it is obvious that there has been no statistically significant increase in their values in the centre of Athens, during the last years. The study of degree days (DD) in the center and in the suburbs of Athens indicates significant deviations among the results of different stations. Yet the differences between stations in the city center (NOA station) and in the suburbs (N. Philadelphia and Ellinikon stations) are not intense enough to justify the appearance of heat island effect in the center of Athens (Table 2).

Table 2. Mean monthly number of cooling degree days (DD) for three stations over the great Athens area, and for the bases of 25  and 28  C.

STATIONS	JUNE	JULY	AUGUST	SEPTEMBER
		Base 25 �C		
NOA	29.9	84.1	28.3	15.2
Ellinikon	19.2	69.1	69.8	11
N.Philadelphia	24.1	71.2	64.6	9.4
		Base 28 �C		
NOA	4.4	20.8	17.9	1.6
Ellinikon	1.4	13.6	14.2	0.5
N.Philadelphia	2.9	15.9	11.9	0.5

## 2. Surface temperature inversions and heat island effect

The most recent attempt, which is now under development, is focused on the study of air temperature not only near surface, but generally in the lower atmospheric layer up to 200 m above surface. This study, is based on data from radiosondes carried out in Ellinikon station

(rural area) which is located 12 Km from the center of the city. The study of the surface temperature inversions for the confinement of the heat island effect, was initiated by the studies of Ludwig and Kealkoa, 1968 (13) and Ludwig, 1970 (14), in which the temperature differences between urban and rural areas are related to the temperature gradient.

Thus, the study of surface inversions during the night, indicates a significant increase in their frequency in 1994 in relation with the period 1971-1981. (Figure 1). As shown in Figure 2 this incident is not due to extreme temperatures in 1994, but due to a general increase in the number of surface temperature inversions since the early 80's.

The study of I. Livada et al, 1995 (12) considers wind conditions at the ground level and a the level of 1000 mb (~150 m above surface) in the cases of inversions of 1994. In 70% of the cases, in the base of the inversion (10 m above surface) there is calms , while at the level of 1000 mb, which is close to the pick of the inversion, there are weak winds (1-5 Knots) the direction of which (WNW-N) indicates an air mass transfer from the centre of the city towards the area where radiosondes are carried out (Ellinikon). The vertical transfer of warmer air mass from the center towards the perimeter of the city, could be attributed to the appearance of a warmer air-dome in the center of the city, resulted from the heat island effect.

## Conclusions

From all the studies that have been carried out in the great Athens area regarding human discomfort conditions and their relation with the heat island effect, it is obvious that during the last years, there is an increase in human discomfort conditions, which is not due to statistically significant increase in discomfort conditions near ground level, as these are defined by the use of various meteorological parameters.

The increase in the buildings' height and the urban density of in Athens during the last years, indicates a corresponding increase in the temperature of the air near surface layer. However, the general increase in the number of surface inversions, due to warmer air masses 100-200 m above surface, indicates the development of a warm air dome over Athens, which is related directly to the heat island effect, favouring not only the increase in atmospheric pollution, but the adherence of human discomfort conditions as well.

## References

1. Katsouyianni, K. - A. Pantazopoulou, G. Touloumi, I. Tselepidaki, K. Moustris, D. Asimakopoulos, G. Pouloupoulou (1993): Evidence for interaction between air-pollution and high temperature in the causation of Excess Mortality. Archives of Environmental Health, V. 48, No 4, 235-242.
2. Tselepidaki I. - M. Santamouris (1991): Statistical and persistence analysis of high summer ambient temperatures in Athens for cooling purposes. Energy and Buildings 17, 243-251.
3. Balaras C. - I. Tselepidaki - M. Santamouris - D. Asimakopoulos (1993): Calculations and statistical analysis of the environmental cooling power index for Athens, Greece. J. Energy Conversion and Management 34, 2, 139-146.
4. I. Tselepidaki - M. Santamouris - C. Moustris and G. Pouloupoulou (1992): Analysis of the summer discomfort index in Athens, Greece for cooling purposes. Energy and Buildings 18, 51-56.

5. A. Tsinonis - I. Koutsoyiannakis - M. Santamouris and I. Tselepidaki (1993): Statistical analysis of summer comfort conditions in Athens, Greece. *Energy and Buildings* Vol.19, pp.285-290.
6. ASHRAE (1981): Thermal Environmental conditions for human occupancy. ANSI/ASHRAE Standard 55-1981. American Society of heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, U.S.A.
7. Balaras C - I. Tselepidaki - M. Santamouris and D. Asimakopoulos (1993): Analysis of the thermal comfort conditions in Athens, Greece. *Energy Conversion Management* V.34, No 4, 281-285
8. I. Tselepidaki - M. Santamouris and D. Melistiotis (1993): Analysis of the summer ambient temperatures for cooling purposes. *Solar Energy* V. 50, No 3, 197 - 204.
9. Kontoyiannidis S. - I. Tselepidaki and M. Santamouris (1993): Characteristics of summer ambient temperatures at a suburban area of Athens and comparison with air urban station EEC. Program Pascool (CL1 subgroup) Glasgow Meeting.
10. Tselepidaki I. and M. Santamouris (1993): Analysis of summer climatic conditions in Athens, Greece for cooling purposes. *Solar Energy in Architecture and Urban Planning*, Italy, 1993
11. Tselepidaki I. - M. Santamouris D. N. Asimakopoulos and S. Kontoyiannidis (1994): On the variability of cooling degree days in an urban environment - Application to Athens, Greece. *Energy and Buildings* 21, 93-99.
12. I. Livada (Tselepidaki) - M. Santamouris - N. Dris (1995): The thermal inversions as an index of the development of the heat island effect over Athens. International Symposium Passive Cooling of Buildings, Athens, Greece 19-20 June 1995. SAVE Programme pp 75-81.
13. Ludwig, F. L. and Kealhoa, J. H. S. (1968): Urban Climatological studies Final Rep Contract Cod DAHC 20-67-cd 136 pp
14. Ludwig, F. L. (1970): Urban air temperatures and their relation to extraurban meteorological measurements. Amer Soc Heat Refrig Air Cond Eng Publ SF 70-90-40-45, pp 1-45.



Fig.1 Monthly distribution of the surface thermal inversion frequencies

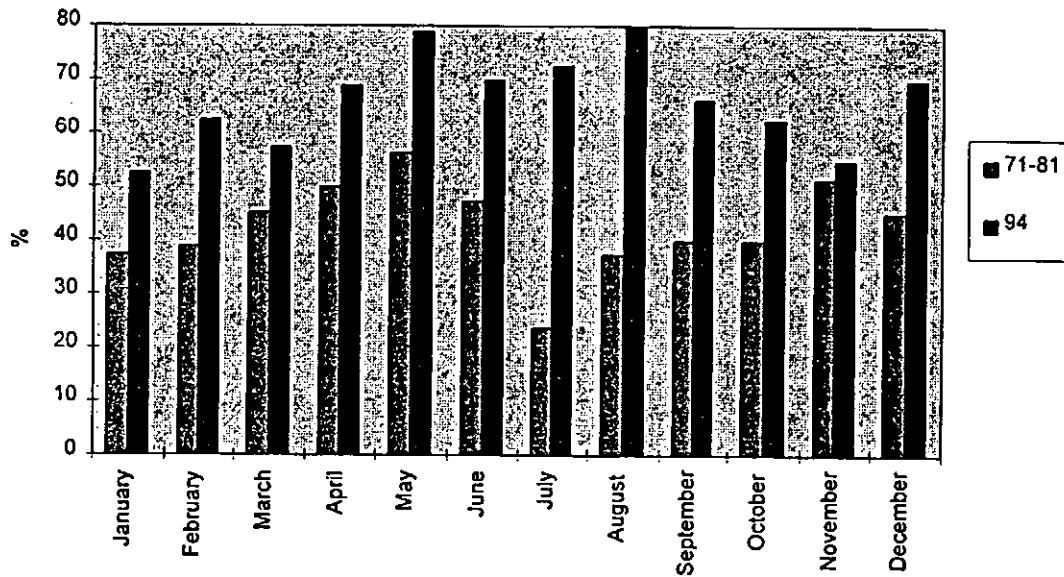
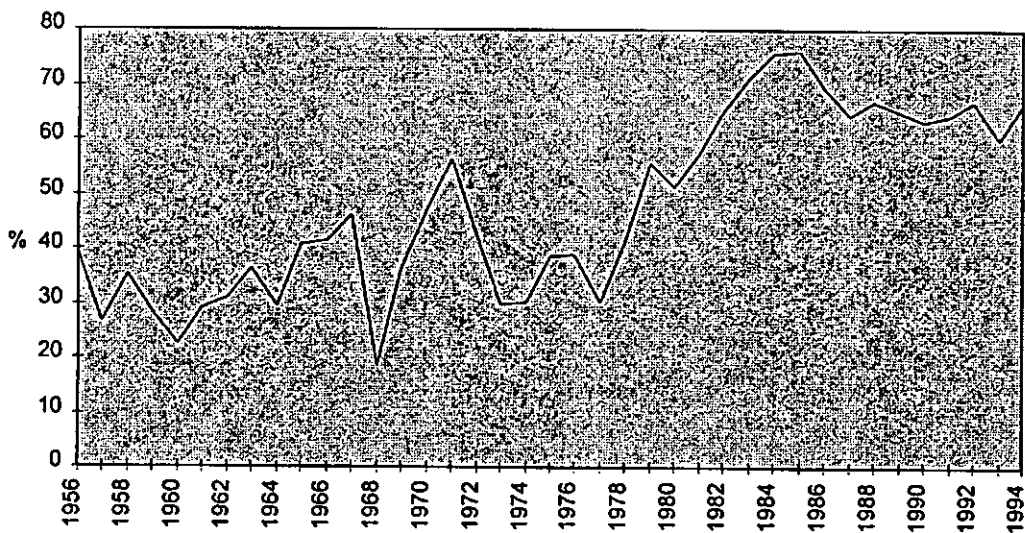


Fig.2 Time-series of the surface thermal inversion frequencies





# MICROCLIMATIC PATTERNS IN THE CITY OF ATHENS

M. Petrakis

National Observatory of Athens, Institute of Meteorology and  
Physics of the Atmospheric Environment

## Abstract

A study of the local wind flow systems along with the temperature trends in the city of Athens create microclimatic trends evident in the analysis on long time temperature series. The urbanization of the area after 1920 produces effects such as "the heat island" with diurnal variations of the temperature differences between urban and rural areas.

## 1. Introduction

The topography of Athens with high mountains surrounding the city from North, East and West, the vicinity of the Saronic Gulf and the anthropogenic activities in related to energy consumption create the main parameters which contribute to the creation of the microclimatic trends in the city. Local wind flows such as the sea breeze with subsequent transfer of air masses from the sea, inland and vice versa plus the existence of the heat island in the center of the town are the main characteristics of the microclimate in Athens.

## 2. Topography and Characteristics of Athens

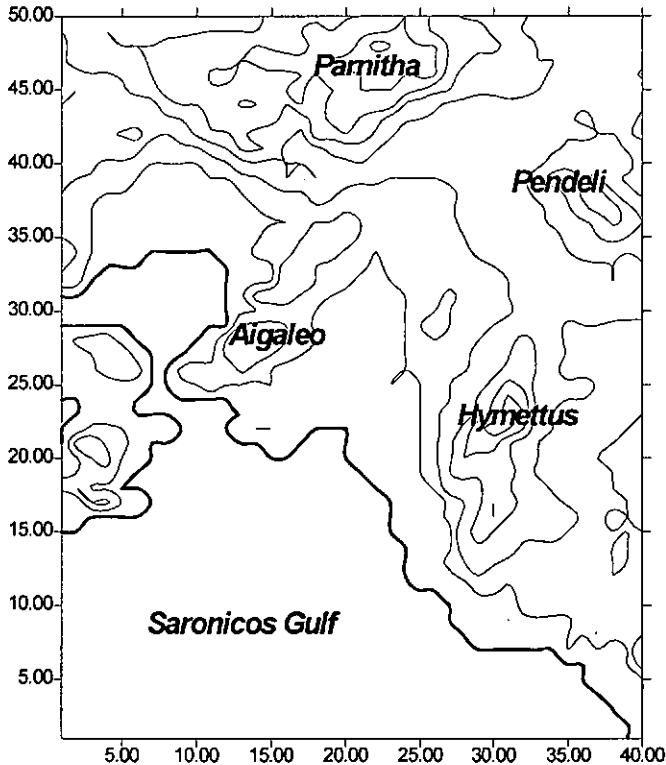


Figure 1: Topography of the area of interest. Contours every 200 m starting from 100m.

Athens, located at the southern end of the mainland of Greece, is inhabited by nearly 4.000.000 people in an area of nearly 450 Km<sup>2</sup> and concentrates as a source of pollutant emission inventory a major number of industrial activities which in connection with the number of vehicles and the daily traffic degradation form the main reasons for the serious problems concerning air quality in the area.

The geography of the area is shown in Fig. 1 with the three mountains surrounding the area and leaving the southern coastal area along with a narrow North-eastern passage as the only ventilation routes. The area with its particularities, presents characteristics which make it especially interesting for micro climatological and environmental

studies. The basin with its surroundings is dominated by fairly high mountains on three sides (Aigaleo to the west, Parnitha and Pendeli to the north, Hymettos to the east), and the sea on the south; it is oblong with a SW-NE major axis and it is bisected by a series of small hills. The climate of the region is Mediterranean in character. The presence of these pronounced terrain features with a convoluted shoreline create a local flow field which differs substantially from the mesoscale one or the synoptic air-flow conditions. These local flow fields comprise the sea-breeze circulation cells, upslope/downslope flows and channeling effects ([1],[2]). It is the combination of these local flows and of the element of anthropogenic activity in the environment that plays the most important role in the formation of the microclimatic trends in the city of Athens.

### **3. Climate Modification of the Urban Environment**

When we examine the climate of a small area having a size of the order of several square kilometers, then we are looking at the mesoclimate of the area. These areas could be valleys, forests, beaches or towns. On this scale human activities have the major influence on climate change, creating the urban environment, which may differ considerably from the rural regions around it.

Most cities are sources of heat and pollution and the thermal structure of the atmosphere above them is biased by the so-called "heat island" effect. The heat which is absorbed by the buildings, roads and other constructions of an urban area during the day, is re-emitted after sunset, creating high temperature differences between urban and rural areas. However the greatest temperature differences between urban and rural areas are observed during the night since heat island is attributed mainly to urban-rural cooling rather than heating differences, especially in the period around sunset. Additional city heat is given off by vehicles and factories, as well as by industrial and domestic heating and cooling units. It is observed that cities with a population of 1000, have maximum temperature differences with the surrounding rural area of 2 to 3 °C, while cities with a population of one million can give temperature differences of 8 to 12 °C. Sometimes during the night with calm and intense temperature excesses a light breeze, called 'country breeze', blows from the rural to the urban area, due to the formation of a low pressure area over the city. This wind may often transport more pollutants downtown if there are big industries in the surrounding countryside.

Thus concerning the structure of the lower atmosphere above an urban area, an urban boundary layer (UBL) is created with micrometeorological characteristics determined by the city. During the day the UBL is increasing in depth due to the city warming reaching heights which are about 25% more than the mixing height over rural areas. At night the UBL preserves a surface mixed layer, giving rise to layering above, since the surrounding rural area is characterized by a strong surface based radiation inversion. Thus with weak winds and intense inversions which suppresses vertical mixing, episodes of severe air pollution could occur.

Pollution influences the climate of a city. The particles reflect solar radiation, leading to a decrease of the solar energy which reaches the surface. Also some particles serve as nuclei upon which water vapor condenses, even with 70% relative humidity, forming haze and increasing the frequency of city fog. Precipitation and cloudiness may be greater in cities than in rural areas. This is due to the added nuclei and to the excess heat which reduces air stability and enhances vertical air motions. Thus in an urban area, compared with a rural area, we expect to have higher levels of pollution, higher values of temperature, precipitation,

cloudiness and frequency of fog and lower values of solar energy reaching the surface, relative humidity, wind speed and visibility.

#### 4. Temperature Trends in Athens

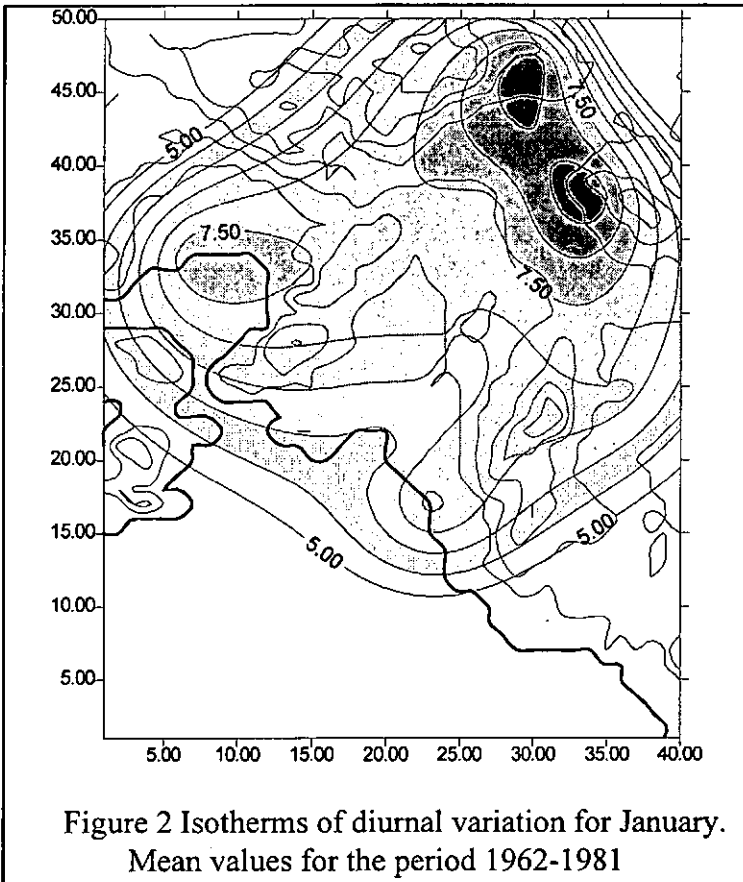


Figure 2 Isotherms of diurnal variation for January. Mean values for the period 1962-1981

In order to investigate the temperature trends in the city of Athens the data of the Observatory along with other 8 stations typical representatives of urban, suburban and rural classification were examined covering the duration of 1962-1981 corresponding to the period of extensive urbanization [3].

From the data of these stations isotherms were drawn covering the area of Athens for the month of January considered as one of the coldest months in Athens and consequently the period during which we expect to find pronounced diurnal variations of mean Temperature due to the anthropogenic emissions and the heat island effect.

From the diagrams (Figure 2) it is apparent their dependency on

the distance of the station from the coast and it is clear that the city and its corresponding stations exhibit small diurnal variations compared to the suburban and rural stations

Figure 3. shows the tendency of the annually averaged air temperatures of Athens, for the mean, maximum and minimum as they were recorded at the National Observatory since 1860. It is clear the tendency of higher mean values after 1915. The fluctuation of mean value around the all years mean of 17.92 for the period prior to 1915 gives place to an obvious shift toward higher values. The same stands for the mean of maximum and of minimum values.

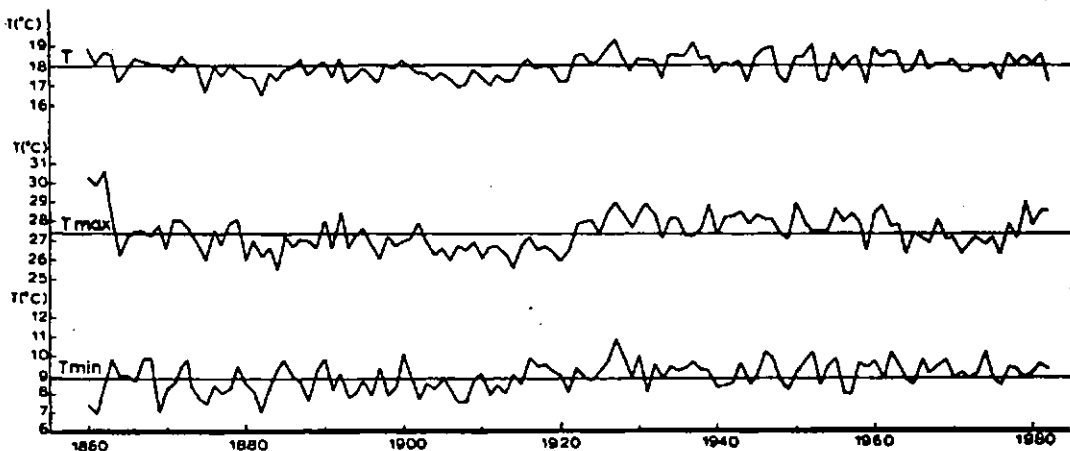


Figure 3: Mean annual temperatures for Athens (1860-1982).

## 5. Local Wind Flow Systems of Athens

Athens topographic features produce strong changes in wind flow during winter and summer seasons, whereas during the transitional seasons these changes are reduced. From the late part of October towards winter months, traveling weather disturbances pass over the area causing cold and warm fronts to sweep alternately across Athens. In summer, the strong insolation provides the driving force for sea-breeze circulation. The sea breeze cell develops along the main SW-NE axis of the basin, which is perpendicular to the shoreline. The winds blow mostly along the N-NE to S-SW axis. The predominance of the north sector winds is due to the existence of regional Eastern Mediterranean weather patterns that result in local strong winds, i.e. the Bora in the winter and the Etesians in the summer [4]. The second predominant wind direction is SSW and is caused by anticyclonic conditions or comprises the warm sector flow of traveling disturbances. In the spring and summer the southerly flow is probably due to sea-breeze circulation.

In Athens three different sea-breeze circulation systems can be identified. The most prominent is the one generated in the Mesogia Plain, North-East of the city and reaching Athens through the passage of Penteli and Hymettos mountain. The second system is the circulation generating from the Saronic Gulf at the immediate vicinity of the city and the third one is the sea-breeze of the Elefsis Gulf at the West side of the Attiki Peninsula.

## 6. Modeling the Typical Local Flows

In order to examine the local flows in the Athens area we used the NOABL code and the Pasquill criterion, as presented by Pasquill [5] and reported by IAEA [6], to identify the Pasquill stability classes, modified in such a way that the specific climatic conditions for the Athens area can be considered

NOABL code is an advanced terrain conformal objective analysis model. It utilizes observed winds, stability and terrain data to derive a mass-consistent flow field within a 3-dimensional terrain conformal grid.

## 7. Wind Field Simulation

For the simulation of wind flow Pasquill [5] criterion is used, in slightly modified form, to calculate the atmospheric stability class based on wind velocity, solar radiation and cloud cover data [7]. Based on the above mentioned scheme the frequency of appearance of the stability classes in Athens are presented in Table 1.

Table 1. Frequency of occurrence of stability classes estimated with the Pasquill criteria.

Stability Class	Frequency of Appearance (%)	Stability Class	Frequency of Appearance (%)
A	2.8	D	43.9
B	13.4	E	8.1
C	13.2	F	18.6

From Table 1 it is apparent that more than 70% of the hours were assigned to stability classes D, E and F. These stability classes are associated with the establishment of local

circulations. In order to understand the mechanisms and results of the flow generating schemes a typical atmospheric condition with the associated wind flow in Athens is analyzed.

**Very Stable Atmospheric Conditions (Stability Class F).**

When the mean flow is from Northern directions over the Athens Basin the wind speed approaches calmness in the Northern part of the Basin and very light in the central and southern part. Near the openings of Agia Paraskevi and Ano Liossia there is a considerably different wind flow. In the passage of Ano Liossia the wind flow is from eastern directions while the same is true for the passage of Agia Paraskevi. Thus the wind flow enters Athens Basin coming from the Mesogia plain, while air masses are leaving Athens Basin to the Thriassion Plain. Over the mountains and the sea the wind speed is getting stronger. Some anavatic winds are also evident in the Hymettos mountain.

When the mean wind flow was from SW directions air masses are entering from the Thriassion plain to the Athens basin while, in the same time, air masses are leaving it, moving to the Mesogia Plain through the two passages mentioned above.

Over the Athens basin the winds are very light and veering, driven by the topography, at the southern foothills of Hymettos near the seashore as well as at the northern part of the Basin (Figure 4). There is also a veering at the seashore when the wind flow approaches it. A speed up of the wind flow over the mountains even in the hilly ones of Western Attica is also evident.

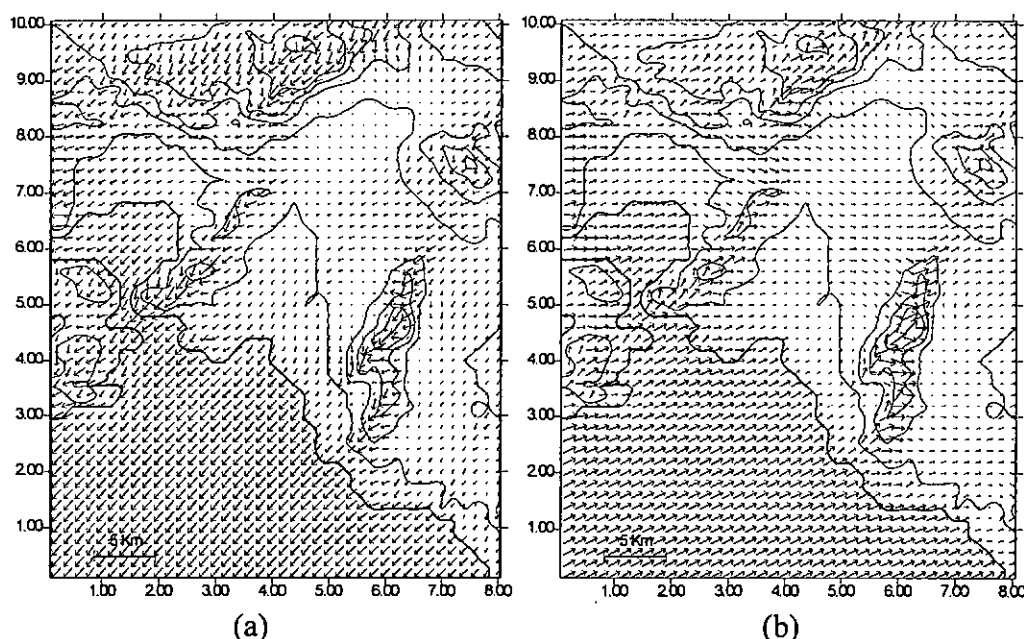


Figure 4: Wind flow for Very Stable Atmospheric Conditions for (a) NE, (b) SW mean wind flow.

**8. Conclusions**

An analysis of the trend diurnal temperature ranges of mean monthly values of several Meteo stations in Athens plus the local flows simulated with the use of a numerical model produced some useful results associated with the microclimatic trends in the city of Athens.

## References

- [1] Carapiperis I. and Katsoulis B. On the study of sea-breeze in Athens during winter. (1977). *Bull. Greek Met. Soc.* 26-13.
- [2] Lalas D.P., D.N.Asimakopoulos and D.G.Deligiorgi, Sea-breeze circulation and photochemical pollution in Athens, Greece. (1983). *Atm. Env.* Vol.17, pp. 1621-1632.
- [3] Katsoulis B.D. Indications of the urban heat island in Athens, Greece. (1985). *J. of Climate and App. Met.* Vol.24, pp. 1296-1302
- [4] Weather in the Mediterranean, (1965): *British Met. Office. H.B.M. Stationery Office.* London, pp. 65-70.
- [5] Pasquill F. Atmospheric Diffusion. (1974). 2nd Edition John Wiley. New York. pp. 429.
- [6] IAEA Safety Guides. Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting. (1980). IAEA Safety Series No 50-SG-S3.
- [7] Synodinou V., M. Petrakis, P. Kassomenos and S. Lykoydis (1995). Atmospheric Stability and Atmospheric Circulation in the Athens Basin. *Nuovo Cimento C. Under Revision.*



# **COSTING THE TRAFFIC BARRIER EFFECT: A CONTINGENT VALUATION SURVEY<sup>1 2</sup>**

Running head : Costing the Traffic Barrier Effect

Nils Soguel  
IDHEAP - University of Lausanne

## **Summary**

When considering the environmental damage caused by road traffic, one traditionally focuses attention on the consequences of accidents, or on the impact of air and noise pollution. This somewhat narrow definition should be enlarged to capture other, more psychological nuisances. The barrier effect created by heavily travelled streets belongs to this group of nuisances, rarely described and never estimated in monetary terms. It particularly affects children, the disabled and elderly people for whom the street becomes too large to cross. In a survey carried out at Neuchâtel, Switzerland, a contingent market was proposed to suppress the barrier effect around the city centre. A valuation function to predict the bids is estimated and used to infer the annual cost of the nuisance.

## **1. The barrier effect : a conflict between pedestrians and road users**

Monetary valuations of the environmental damage caused by road traffic have generally focused attention on well-known adverse effects such as accidents, and the impact of air and noise pollution. Assessments should include other, sometimes more psychological nuisances. The barrier or community severance effect created by heavily travelled streets belongs to this group of nuisances, rarely described and never estimated in monetary terms.

The barrier effect is traditionally connected with the parcelling of the fauna's territory by the extension of the road and railway networks. These networks create barriers which restrict animals habitat, thus increasing the risk of extinction. In urban areas, the barrier effect also affects pedestrians, but impacts upon them in different ways. The difficulty of crossing the road is influenced by the width of the roadway, the volume, speed and composition of the traffic, and any street environment adjustments (e.g. traffic lights, pedestrian crossings, pedestrian traffic islands). As the difficulty increases, the roadway appears like a barrier; pedestrians can no longer move around freely and social interaction can suffer.

The barrier effect undermines both the movement function and the social (playing and strolling) function of the pedestrian network. At first the nuisance provokes essentially

---

<sup>1</sup> We are grateful to Kluwer Academic Publishers for giving us permission to reproduce this paper which has already appeared in *Environmental and Resource Economics* 6: 301-308, 1995.

<sup>2</sup> The paper was written while the author was a senior research associate, Institute for Regional and Economic Research (IRER), University of Neuchâtel. Support from the Swiss Science Foundation is gratefully acknowledge. The author is indebted to Pascal Grosclaude for his helpful collaboration on questionnaire administration and analysis. Thanks are also due to John Adams, Richard Dubourg and Tim Kuypers and two anonymous reviewers for their insightful comments. All amounts of money are expressed in Swiss francs which were worth US\$0.66 at the time of the study.

psychological effects (stress, insecurity, discomfort), but the behavioural adaptation it implies leads to an additional loss of welfare.

If the pedestrian is an adult the barrier effect only involves a change in route or delays while crossing the street (Arbeitskreis Verkehr und Umwelt, 1987). Children, disabled and elderly people are more vulnerable and more threatened by the traffic. The barrier effect hinders the development of children's physical capability and social cognition. Parents must often accompany and chauffeur them, particularly to school, to lower the risk of accident (Hillman *et al.*, 1991). More generally residents' social relationships deteriorate. Appleyard (1981) shows that residents of San Francisco streets with light volumes of traffic have three times as many local friends and twice as many acquaintance as those on heavily travelled streets.

## **2. Designing and implementing a contingent market for the barrier effect**

Due to its local geography Neuchâtel is distinctly vulnerable to the barrier effect. This Swiss mid-size town (about 32,000 inhabitants and 15,800 households in 1992) is on the edge of a lake at the foot of a mountain on one of the main east-west roads between Geneva/Lausanne and Basel/Zurich. The nuisance is especially marked around the pedestrian city centre. In the south the flow of traffic hampers access to the nearby recreational lakeside and in the east to the main municipal garden. Contingent valuation emerges from the different techniques for environmental valuation as the only one likely to provide a sensible costing of the nuisance.

The contingent market was constructed to elicit the willingness to pay to avoid the barrier effect in this particular area although the nuisance may also appear elsewhere in town. The road section concerned is made up of five streets totalling 750 m in length. A traffic ban was not proposed as road users might have been irritated and might have biased their bid. An underground bypass was assumed to exist which entirely absorbed the flow of traffic whilst maintaining the existing traffic framework and parking facilities. Assuming that the underpass already existed ensured that respondents did not consider the nuisances caused by its construction or that they estimated their bids on the basis of hypothetical building costs. To assist respondents, interviewers had a number of visual aids contrasting the barrier effect with the absence of such an effect showing an enlargement of the pedestrian zone.

To introduce the elicitation question respondents were told "assume that all the households living in the town are financially solicited so that they can benefit from the absence of the barrier effect". Then respondents were then asked "how much the absence of the barrier effect is worth to them and how much they would be willing to pay for this benefit". Respondents themselves had to state the monthly starting bid. Then they were informed that their bid might not be enough for them to enjoy the absence of the barrier effect. An iterative process followed to assess the actual maximum willingness to pay. The respondents' bid was increased in one-franc increments until they declared themselves unwilling to pay any more. An open question was designed to debrief any respondent who bid zero<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> In case respondents could not manage to give a willingness to pay on their own, the interviewer suggested a first bid of 5 Swiss francs. An iterative procedure with increments of 2 francs was introduced to achieve a bid similar to a self-elicited offer. The outcome of a pretest on 30 respondents was used to choose the starting point bid for individuals who needed one, and both iterative steps.

The choice of an open-ended format followed by a bidding game is arguable. Lack of experience and difficulties in the valuing process are likely to lead respondents either not to respond or to overestimate their true WTP (hypothetical bias). Arrow *et al.* (1993) recommend the valuation question be posed as a vote on a referendum (answer yes or no to a given value). However there is a risk that people tend to anchor their WTP on the value proposed. Furthermore, a referendum question necessitates significantly larger samples than the open-ended format. Therefore this latter solution was chosen in conjunction with a specific econometric analysis to correct the hypothetical bias.

The non-probability quota sampling technique was used to build up a sample of 200 respondents – one in every 160 inhabitants. The interviews were conducted between February 17 and March 13, 1992 by eight interviewers. Each interviewer was allocated a district that entered the sample proportionally to its size; in each district the quotas were then representative of sex, age and social stratum (i.e. education level).

### 3. Response to the elicitation question

Individuals can adopt various attitudes towards a contingent market. For example, the open debriefing question revealed that offers could be zero for different reasons, i.e. bid refusal, strategic behaviour or strong budgetary constraint.

Out of the 200 respondents, 64 individuals (32%) refused to bid, saying that they did not judge the barrier effect to be a relevant problem. Since they were not interested in the contingent market, they were considered as INDIFFERENTS. However 136 respondents (RECEPTIVES) thought that the barrier effect was a significant problem<sup>4</sup>. Unfortunately 20 (15%) of the RECEPTIVES concealed their true utility and bid nothing even though they recognised that a suppression of the barrier effect would have increased their well-being. They justified their refusal saying that, since they were not responsible for the nuisance, they should not be asked to pay anything to suppress it; the State or the road users should be charged. The elicited value was zero (i.e. reported WTP = 0) although the actual willingness to pay should have been higher (actual WTP > 0). This strategic behaviour is typical of FREE RIDERS who refuse to pay for a right – easy access to the lakeside and to the municipal garden – they consider they already should have<sup>5</sup>. The 116 respondents out of the RECEPTIVES who did not adopt strategic behaviour were regarded as VOLUNTEERS. Their willingness to pay was either strictly positive for the 107 people (92%) with a low budgetary constraint (SOLVENTS) or zero for the 9 who could not afford to offer a higher bid (NON-SOLVENTS)<sup>6</sup>.

### 4. A valuation function for predicting the cost of the barrier effect

The frequency distribution of RECEPTIVES' bids shows an extended right-hand tail which might be due to large and potentially excessive bids (Pearson's coefficient of

---

<sup>4</sup> Referring to introductory questions, the INDIFFERENTS attach significantly less importance to road nuisance, relative to other social issues, than the RECEPTIVES.

<sup>5</sup> Unsurprisingly nine out of the 20 FREE RIDERS were living in the central district itself. They might have considered that their right to move freely should be granted. It was also suggested that some individuals were FREE RIDERS because they failed to understand that they simply had to make a comparison between two states of welfare: with and without the barrier effect. They may have imagined a construction project which needed funding.

<sup>6</sup> The NON-SOLVENTS' income (net of the rent) is substantially lower than the SOLVENTS' one.

skewness=1.91). When estimating the valuation function the problem of large bids must be addressed to avoid non symmetrically distributed errors in the regression analysis. Given the general transformation proposed by Box and Cox (1964), the elicited willingness to pay (WTP) values were transformed according to the formula  $WTP^{(\lambda)} = \left[ (WTP + \lambda_2)^{\lambda_1} - 1 \right] / \lambda_1$  where  $\lambda_1$  is a Box-Cox parameter determined to normalise the error distribution<sup>7</sup>. It is possible for the transformation to be linear ( $\lambda_1=1$ ) or a natural logarithm ( $\lambda_1=0$ ) (McClelland *et al.*, 1991). A second Box-Cox parameter,  $\lambda_2$ , must be introduced in the case where reported willingness to pay equals zero. The search for values of both Box-Cox parameters that maximise the likelihood function requires a particularly complex procedure. A value of 1 for  $\lambda_2$  was therefore arbitrarily added to the dependent variable (Mitchell and Carson, 1990, p. 372). The Box-Cox procedure is preferred as it has the advantage of lowering the risk of hypothetical bias by reducing the influence of large bids whereas trimming procedures remove outliers even though these observations could help to explain bid variance. The transformation also permits a great deal of flexibility in the search for an appropriate functional form.

The strategic bias due to FREE RIDERS had also to be dealt with. The solution suggested by Pommerehne and Roemer (1991) prevents the removal of zero bids that could explain a genuine willingness to pay. The FREE RIDERS are kept in the sample but their impact on the estimated willingness to pay is captured through a dummy variable which takes the value 1 if the respondent behaves strategically and 0 otherwise. Table I (Box-Cox) shows the estimated valuation function based on a sample including RECEPTIVES only (i.e. 136 observations). The INDIFFERENTS were removed since they are considered to be useless in explaining the relationship between disutility and the WTP.

'Age' was found to be the most consistent predictor; in general the older the respondent, the lower the willingness to pay. As always the household's income was positively correlated with WTP. The car owner respondents might have felt responsible for the barrier effect and have lowered their bid due to a defensive reaction<sup>8</sup>. The quantitative assessment of housing exposure to road traffic nuisance (measured in decibels) and the qualitative importance given to this nuisance were expected to be positively related to willingness to pay. These two variables threaten to be closely correlated. However the risk of colinearity is small since their single correlation coefficient is low. Behaving strategically, like a FREE RIDER, is undoubtedly negatively correlated with the bids. The fairly high level of explanatory power (63 %) is obtained with  $\lambda_1=0$  (log-linear specification). According to the maximum likelihood function, the parameter  $\lambda_1$  lies with a 95 % probability within the range  $-0.12 < \lambda_1 < 0.10$ .

The Tobit model is a more common way of estimating the valuation function. This censored regression model allows the self-selection bias introduced by zero-bids which represent potential truncated WTP to be addressed. Turning away from the Box-Cox model to the Tobit estimation also avoids enforcing a different WTP from the one stated and discarding the INDIFFERENTS' responses. However the latter model does not allow us to limit the

<sup>7</sup> A large variance in the bids does not necessarily imply skewness if the variance results from a skewed income distribution and an inability to report negative willingness to pay. However the sample income (net of the rent) distribution is only slightly positively skewed (Pearson's coefficient = 0.45). It is also necessary to assume that willingness to pay amounts must be non-negative.

<sup>8</sup> It was suggested that road users might have, at least partially, misunderstood the scenario since it was stressed that the existing traffic framework and parking facilities would be maintained.

influence of hypothetical bias. Estimates are presented in Table I (Tobit). The FREE RIDER covariate must then be removed.

Table 1. Box-Cox and Tobit regression coefficients.<sup>a</sup>

Independent variables	Box-Cox <sup>b</sup>	Tobit <sup>c</sup>
<i>Constant</i>	2.835** (6.208)	22.105 (1.222)
<i>Income</i> (household's reported disposable monthly income net the reported monthly rent, in Sfr.)	0.000121** (2.794)	0.00354 (1.884)
<i>Age</i> (of the respondent, in years)	-0.0292** (-5.958)	-1.026** (-4.902)
<i>Car ownership</i> (dummy taking on the value 1 if the respondent owns at least one car)	-0.435* (-2.228)	-29.806** (-3.535)
<i>Exposure level</i> (quantitative measure of the household's exposure to road nuisance measured by the housing road noise exposure: <60 dB=1, 60-65=2, 65-70=3, >75=4)	0.166 (1.963)	7.483* (2.074)
<i>Road nuisance</i> (reported qualitative assessment compared to other social issues: not important = 1, little imp. = 2, fairly imp. = 3, imp. = 4, very imp. = 5)	0.246* (3.186)	5.165 (1.625)
<i>Free rider</i> (dummy taking on the value 1 if the individual behaves as a free rider)	-2.964** (-12.464)	- -
$\lambda_1$	0.000	-
$\lambda_2$	1.000	-
<i>n</i>	136	200
<i>L<sub>max</sub></i>	-330.667	-618.805

<sup>a</sup> The numbers shown in parenthesis beneath the estimated parameters represent the values of  $\hat{t}$ . The coefficients marked with a double asterisk are significant at the 99% level, those with a single asterisk at 95% (two-sided test).

<sup>b</sup> The dependent variable is the monthly willingness to pay to suppress the barrier effect in Swiss francs, transformed according to the Box-Cox model ( $WTP_{(x)}$ )

<sup>c</sup> The dependent variable is the monthly willingness to pay to suppress the barrier effect.

Table II contains descriptive statistics for reported and predicted willingness to pay to suppress the barrier effect around Neuchâtel city centre. The values predicted by the Box-Cox

model are not fundamentally different from those fitted from the Tobit model. The predicted mean willingness to pay for a household sensitive to the barrier effect problem amounts to 21.9 francs per month and 262.8 francs per year (Box-Cox). However the cost is null if the respondent is not interested in the contingent market and belongs to the INDIFFERENTS group. Taking account of the probability (32%) that a respondent belongs to this latter group lowers the mean WTP to 14.9 francs, compared to 20.9 francs with the Tobit model. To some extent these amounts can be regarded as lower and upper bounds, leading to a monthly cost of 235,000 to 330,000 francs (Sfr.2.8-4.0m per year). If the simplifying assumption that the nuisance is evenly distributed throughout the streets considered (i.e. on 750 m) is made, then each metre would cost about 3800 to 5300 francs per year to the community<sup>9</sup>.

Table II. Statistics for monthly WTP to suppress the barrier effect in Swiss francs.

	<i>n</i>	Mean	Median	Std.dev.
<i>Bids reported</i>				
Respondents	200	19.4	5.0	33.0
Receptives	136	28.5	15.0	36.7
Volunteers	116	33.4	20.0	37.6
Solvents	107	36.3	20.0	37.8
Non-Solvents	9	0.0	0.0	0.0
Free Riders	20	0.0	0.0	0.0
<i>Bids predicted, Box-Cox ('free rider' = 0∀n)</i>				
Respondents	-	-	-	-
Receptives	136	21.9	17.8	14.0
Volunteers	116	22.2	17.8	14.8
Solvents	107	23.4	18.7	14.6
Non-Solvents	9	7.2	5.6	5.2
Free Riders	20	20.1	19.2	8.0
<i>Bids predicted, Tobit</i>				
Respondents	200	20.9	18.5	12.6
Receptives	136	22.4	20.2	13.0
Volunteers	116	22.8	20.7	13.4
Solvents	107	24.0	21.5	13.2
Non-Solvents	9	9.5	5.8	6.7
Free Riders	20	19.8	18.2	10.1

## 5. Concluding comments

Since it is the first time to our knowledge that the barrier effect has been evaluated, the reliability of the estimate must be considered with care. Founding the contingent market on the assumption that an underground bypass would have absorbed the flow of traffic may have given respondents the incentive to bid for a simultaneous removal of other traffic-related

<sup>9</sup> If median figures are used, the annual cost of the nuisance would amount to Sfr. 2.3-3.5 m, i.e. 3000-4700 for each metre.

problems along with the barrier effect. Thus the value derived would tend to overstate the willingness to pay for the barrier effect suppression only.

These figures are strongly geographically dependent. They refer to a situation where a city centre is deprived of its free access to the nearby recreational lakeside and to the main municipal garden. They might not be suitable for extrapolation to other streets, either in Neuchâtel or anywhere else, with other features or other functions, even though the volume or the speed of the traffic seem to be comparable

## References

- Appleyard D. (1981), *Livable Streets, Protected Neighborhoods*, University of California Press, Berkeley.
- Arbeitskreis Verkehr und Umwelt (1987), *Fussgängerfreundliche Ampeln in Städten und Dörfern*, November, Berlin.
- Arrow K.J., R.H. Solow, P.R. Portney, E.E. Leamer, R. Radner and H. Schuman (1993), 'Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation', *Federal Register*, 58(10), 4602-4614.
- Box G.E. and D.R. Cox (1964), 'An Analysis of Transformations', *Journal of Royal Statistical Society*, **B**(2), 211-252.
- Hillman M., J. Adams and J. Whitelegg (1991), *One False Move... A Study of Children's Independent Mobility*, Policy Studies Institute (PSI) Publishing, London.
- McClelland G.H., W.D. Schulze, D. Waldman, J. Irwin and D. Schenk (1991), 'Sources of Error in Contingent Valuation', in J.K. Doyle, S.R. Elliott, G.H. McClelland and W.D. Schulze, *Valuing the Benefits of Groundwater Cleanup: Interim Report*, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- Mitchell R.C. and R.T. Carson (1990), *Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method, Resources for the Future*, Washington D.C.
- Pommerehne W.W. and A. Roemer (1991), *L'évaluation des gains d'une diminution d'un risque collectif: Le cas des déchets dangereux*, Conférence "Economie et environnement dans les années 90", Université de Neuchâtel, Neuchâtel.





# AIDE A LA DECISION POUR LA PLANIFICATION ENERGETIQUE D'UN QUARTIER

Olivier Ouzilou  
Amstein & Walthert S.A., Genève

## 1. Résumé

Depuis de nombreuses années, le développement des villes et l'extension de zones à bâtir, s'effectuent avec le plus de réflexions possibles. Des schémas directeurs cantonaux et communaux sont élaborés et les plans de quartier qui en sont issus ont, comme objectif principal, la protection et la sauvegarde de l'intérêt général.

Pour analyser toutes les conséquences de la construction de tels ouvrages, des études d'impacts sur l'environnement et de planification énergétique sont élaborées. Sur la base de ces expertises, les responsables communaux doivent choisir une variante de construction où les impacts sur l'environnement soient les plus faibles possibles et où le scénario d'approvisionnement en énergie soit le "meilleur possible au regard de l'intérêt général". Pour cette deuxième partie, la multitude et la complexité des aspects à prendre en compte rendent ce choix difficile à réaliser.

Afin de surmonter ces difficultés, au cours de la planification énergétique d'un quartier à bâtir de 150'000m<sup>2</sup>, nous avons réalisé, en collaboration avec les décideurs communaux, une analyse multicritère en appliquant une méthode d'aide à la décision appelée "ELECTRE III". Cette méthode structurée, qui a fait ses preuves dans de nombreux domaines tels que le choix de tracé d'autoroute ou d'emplacement de centrale nucléaire, a été développée par le Prof. ROY en 1977.

## 2. Introduction

Adopter une approche multicritère consiste à construire un modèle appréhendant le problème de décision en prenant explicitement appui sur plusieurs critères. Chacun de ces critères modélise une "catégorie homogène de conséquences". Cette approche traduit, en la formalisant, un mode de raisonnement intuitif et naturel face à un problème de décision qui consiste à analyser séparément chaque conséquence. Néanmoins, la prise en compte explicite de plusieurs critères introduit une difficulté qui n'existe pas dans le cas où un seul critère intervient. Du fait que les critères se trouvent le plus souvent en conflit, il n'existe pas une solution unique qui s'impose d'elle même et l'élaboration d'une prescription en devient plus complexe.

L'aide à la décision et son formalisme, joue ici un rôle structurant, de fil conducteur, permettant de mieux appréhender le problème et de faciliter le processus de décision.

Il se décompose comme suit :

1. Identification du problème
2. Elaboration de scénarios possibles pour répondre au problème
3. Comparaison des scénarios
4. Choix d'un scénario.

Pour ce faire, il faut :

1. Définir les acteurs réels ou impliqués, qui ont un pouvoir de décision face au problème posé
2. Exprimer clairement le système de valeur des décideurs par rapport auquel sera construite la famille de critères d'évaluation des scénarios
3. Construire une famille de critères
4. Analyser les préférences des décideurs par l'évaluation de l'importance relative des critères.
5. Evaluer les scénarios
6. Classer les scénarios afin de prescrire une solution

### 3. Résultats

En suivant ce fil conducteur nous avons, dans un premier temps, construit une famille de critères représentative de toutes les conséquences relatives aux développements de scénarios d'approvisionnement en énergie pour le quartier. Puis, nous avons réalisé une analyse des jugements de valeurs des décideurs face à ces critères, à l'aide d'un outil informatique appelé DIVAPIME (Détermination d'Intervalles de Variation des Paramètres d'importance des Méthodes ELECTRE, développée par le Dr Mousseau en 1993). Parallèlement, nous avons étudié un certain nombre de scénarios et avons quantifié les performances de ceux-ci, pour chacun des critères. Ensuite, nous avons réalisé la combinaison des préférences des décideurs et des performances des scénarios, à l'aide de l'application informatique d'ELECTRE III. Enfin, nous avons présenté les résultats de ces combinaisons, sous forme de classements des scénarios étudiés, ce qui a permis d'éclairer suffisamment les décideurs pour qu'ils réalisent un choix.

#### Les scénarios:

Le tableau suivant montre les différents scénarios qui ont été étudiés en fonction de leur mode d'approvisionnement.

Mode d'approvisionnement	Mode de chauffage
Approvisionnement individuel (par bâtiment)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Chauffage à gaz sans utilisation d'énergie renouvelable (ADsR)</li> <li>2. Chauffage à gaz avec utilisation de 10% d'énergie renouvelable (solaire) (ADàR)</li> </ol>
Approvisionnement centralisé	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Chaudières à gaz/mazout (AC-GF)</li> <li>4. Cogénération (couplage Chaleur-Force) (ACCCF)</li> <li>5. Pompe à chaleur avec géothermie ou avec eaux traitées (ACPAC)</li> <li>6. et 7. Chaudière à copeaux de bois sans/ avec subventions (ACBsS &amp; ACBàS)</li> </ol>

## Récapitulatif des axes et des critères :

La liste suivante montre les axes et les critères qui ont été utilisés pour comparer les différents scénarios.

- 1) Efficacité énergétique
- 2) Economie
- 3) Environnement
- 4) Politique énergétique
- 5) Image du système

- 1) Efficacité énergétique  
C1 : efficacité énergétique [%]  
C2 : indice de dépense d'énergie globale [MJ/m<sup>2</sup>.a]
- 2) Axe économie  
C3 : coût de production de l'énergie [Fr/MWh]  
C4 : montant des investissements [Fr/kW]  
C5 : coût supplémentaire d'équilibrage [Δ%]
- 3) Axe environnement  
C6 : différentiel d'éco-points d'émissions de CO<sub>2</sub> [Δ%]  
C7 : différentiel d'éco-points d'émissions de SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> [Δ%]  
C8 : impacts de voisinage [points]
- 4) Axe politique énergétique  
C9 : différentiel de consommation d'énergie gaz [Δ%]  
C10 : différentiel de consommation d'énergie mazout [Δ%]  
C11 : différentiel de consommation d'énergie électrique [Δ%]
- 5) Axe image du système  
C12 : taux d'énergie renouvelable ou indigène [Δ%]  
C13 : sécurité d'approvisionnement [points]  
C14 : flexibilité, facilité d'implantation et d'utilisation [points]

## Analyse des préférences des décideurs:

Le but de la méthode ELECTRE III est de classer les scénarios depuis les meilleurs jusqu'aux moins bons. La particularité de cette méthode est qu'elle fait intervenir des pseudo-critères. Le modèle du pseudo-critère permet, en utilisant des seuils, de prendre en compte l'imprécision et l'incertitude qui affectent les performances.

Illustrons cette définition par un exemple: "Vous aimez le café sucré!": votre préférence va du café non sucré au café sucré, donc croissante. Si nous rajoutons 1, 2, 3 voir 5 gr de sucre dans votre café vous ne le trouvez pas assez sucré, Donc de 0 jusqu'à 5 gr, vous n'arrivez pas à différencier le café sucré du café non sucré. Nous appelons cette plage, jusqu'au seuil de 5 gr, la plage d'indifférence.

Si nous rajoutons encore quelques grammes de sucre, jusqu'à 10gr, vous préférez ce nouveau café, mais ce n'est pas encore ça. Nous nous trouvons ici, de 5 jusqu'à 10 gr, dans une plage de préférence faible.

Au-delà de 10 gr, et ce jusqu'à 20gr, vous avez enfin votre café sucré. Nous nous trouvons alors dans une plage de préférence stricte. Au-delà de 20gr, votre café est saturé de sucre et votre préférence va en sens inverse.

A l'aide de cette méthode nous pouvons modéliser, par des droites affines, vos préférences pour un critère (ici la quantité de sucre dans votre café).

Ces informations, à l'intérieur d'un critère, ne sont pas seules suffisantes pour appréhender totalement votre jugement de valeurs. S'il y a plusieurs critères, il faut aussi déterminer quelles sont vos préférences entre les critères (poids relatifs et seuils de veto). Le logiciel que nous avons utilisé permet de déterminer l'ensemble de ces informations.

Le logiciel DIVAPIME est basé sur des questions indirectes dont les réponses permettent d'induire de l'information sur l'importance relative des critères. Le mode d'interaction retenu procède par comparaison par paires d'actions fictives.

Il est à noter que cette méthode est issue de recherches en sociologie, en particulier sur les modes de questionnement. Le nombre de questions, l'ordre des questions, la formulation de celles-ci, etc., peuvent influencer les réponses. La procédure de questionnement, utilisée ici, tente de limiter ces effets.

Nous vous présentons ici les résultats obtenus dans notre cas

	sens de var	Moy	Attr	Perf		Equations	Poids	Veto
C1	Croissant	17	32	80	seuil d'indifférence	$q(g(a)) = 0.1333 * g(a) - 2.016$	0.9	
Eff. éxergétique (%)					seuil de préférence	$p(g(a)) = 0.1367 * g(a) - 1.374$		
C2	Décroissant	550	300	200	seuil d'indifférence	$q(g(a)) = 0.12 * g(a) - 7.25$	0.9	> 630
IDEg (MJ/m2a)					seuil de préférence	$p(g(a)) = 0.1232 * g(a) - 6.16$		
C3	Décroissant	115	90	60	seuil d'indifférence	$q(g(a)) = 0.008 * g(a) + 2.58$	1	> 120
Coût de produc (Fr/kWh)					seuil de préférence	$p(g(a)) = 0.008 * g(a) + 2.93$		
C4	Décroissant	100	630	450	seuil d'indifférence	$q(g(a)) = -0.01 * g(a) + 27.35$	1	> 1030
Investissement (Fr/kW)					seuil de préférence	$p(g(a)) = 0.0019 * g(a) + 21$		
C5	Décroissant	30	15	10	seuil d'indifférence	$q(g(a)) = -0.0333 * g(a) +$	0.9	> 35
Coût supp. (Delta%)					seuil de préférence	$p(g(a)) = -0.0267 * g(a) +$		
C6	Décroissant	0	-10	-30	seuil d'indifférence	$q(g(a)) = 0.01 * g(a) + 4.05$	0.2	
Dif.CO2 (Delta%)					seuil de préférence	$p(g(a)) = 0 * g(a) + 5.55$		
C7	Décroissant	0	-10	-30	seuil d'indifférence	$q(g(a)) = 0.0365 * g(a) + 5.15$	0.4	
Dif.SO2,CO (Delta%)					seuil de préférence	$p(g(a)) = 0.0365 * g(a) + 5.15$		
C8	Décroissant	1	0	0	seuil d'indifférence	$q(g(a)) = 0.99999 * g(a) + 0$	0.4	
Imp.vois (pts)					seuil de préférence	$p(g(a)) = 0.99999 * g(a) + 0$		
C9	Croissant	0	40	200	seuil d'indifférence	$q(g(a)) = -0.0229 * g(a) + 7.7$	0.8	
Dif.Gaz (Delta%)					seuil de préférence	$p(g(a)) = -0.0071 * g(a) + 8.6$		
C10	Décroissant	0	-40	-85	seuil d'indifférence	$q(g(a)) = 0.02 * g(a) + 5.65$	0.1	
Dif.Fioul (Delta%)					seuil de préférence	$p(g(a)) = 0.0062 * g(a) + 5.85$		
C11	Décroissant	0	-10	-100	seuil d'indifférence	$q(g(a)) = 0 * g(a) + 1.41$	0.8	
Dif.Elec (Delta%)					seuil de préférence	$p(g(a)) = -0.125 * g(a) + 1.54$		
C12	Croissant	0	25	75	seuil d'indifférence	$q(g(a)) = -0.05 * g(a) + 5.1$	0.7	
Energie reno (Delta%)					seuil de préférence	$p(g(a)) = -0.034 * g(a) + 5.4$		
C13	Croissant	0	1	3	seuil d'indifférence	$q(g(a)) = 0 * g(a) + 1$	0.7	
Secu.app (pts)					seuil de préférence	$p(g(a)) = 1 * g(a) + 1$		
C14	Croissant	0	1	1	seuil d'indifférence	$q(g(a)) = -0.99999 * g(a) + 1$	0.8	
Flexibilité (pts)					seuil de préférence	$p(g(a)) = -0.99999 * g(a) + 1$		

## Calcul des performances des scénarios

Il s'agit ici de quantifier les performances (notes) des scénarios pour chacun des critères. Les méthodes de calculs sont directement issues de la définition même des critères. Il y a une transparence absolue entre la modélisation des conséquences prises en compte, la définition des critères, l'analyse des jugements de valeurs et les calculs des performances.

Nous vous présentons ici les résultats obtenus dans notre cas

	Exerg	IDEg	Cpro	Inve	Csup	CO2	SO2	Iloc	Dgaz	Dfio	Déle	SecA	Flex
ADsR	17	335	91	630	0	0	0	0	200	-85	0	0	0
ADaR	19	308	107	1030	10.88	-10	-10	0	200	-85	0	0	0
AC.GF	18	335	147	875	6.66	0	0	1	195	-83.5	0	1	1
ACCCF	35	352	149	1406	21.11	52.9	7.6	1	182	-78.28	-100	2	1
ACPAC	24.8	322	336	2633	54.15	-29.3	-42.4	1	70	-81	0	2	1
ACBsS	16.5	363	259	1094	12.62	-86	442	1	0	-82.8	0	1	1
ACBaS	16.5	363	245	940	8.43	-86	442	1	0	-82.8	0	1	1

### Classement des scénarios

ELECTRE III est basée sur la construction de relations de surclassement. L'algorithme de rangement construit deux classements selon des procédés dits de distillation descendante et de distillation ascendante: la distillation descendante sélectionne au fur et à mesure les meilleurs scénarios pour terminer avec les plus mauvais, alors que la distillation ascendante sélectionne au fur et à mesure les plus mauvais pour terminer avec les meilleurs. On obtient ainsi deux préordres complets sur l'ensemble des scénarios.

Le scénario a sera considéré comme meilleur à b si , dans l'un au moins des deux classements, a est classé avant b et si , dans l'autre, a est au moins aussi bien classée que b.

Le scénario a sera jugée équivalent à b si les deux scénarios appartiennent à la même classe d'équivalence dans les deux préordres.

Les scénarios a et b seront incomparables si a est mieux classée que b dans la distillation ascendante et b mieux classée que a dans la distillation descendante ou vice-versa

En conclusion, dans le préordre final, la comparaison de deux scénarios a et b fait apparaître 4 cas:

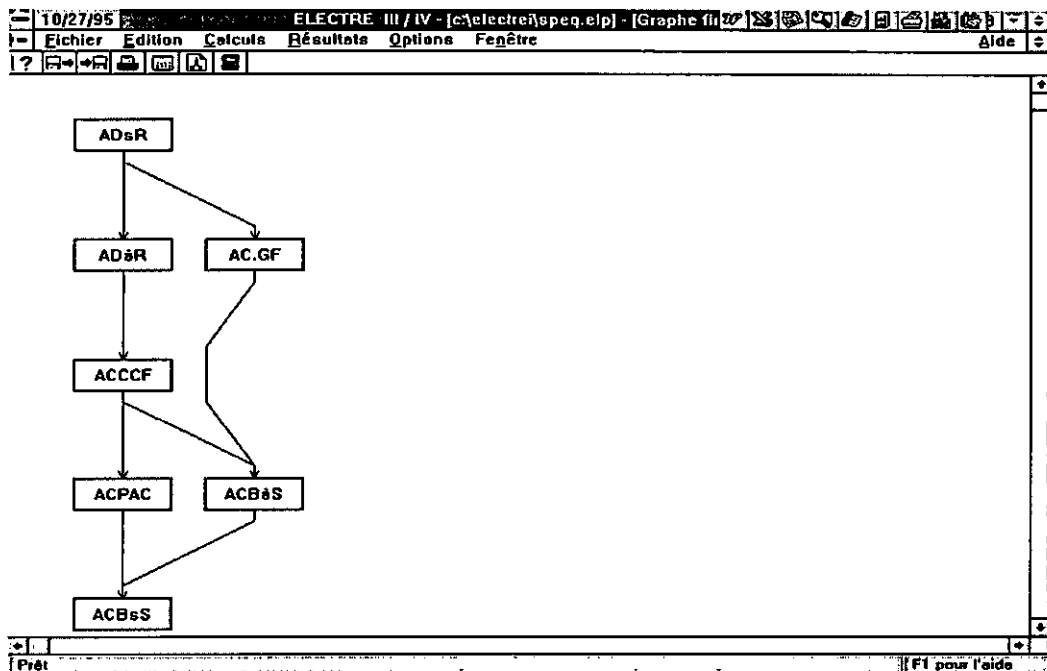
- a peut être meilleur que b,
- b peut être meilleur que a
- a et b peuvent être équivalents,
- a et b peuvent être incomparables

Le préordre final est visualisé sous forme d'un graphe. Il suffit qu'il existe une suite d'arcs consécutifs qui relie un scénario a vers un scénario b pour pouvoir affirmer que le scénario a est meilleur que le scénario b dans le préordre obtenu. Plusieurs scénarios équivalents sont représentés dans une même "boite". Deux scénarios non reliés par une succession d'arcs consécutifs sont incomparables.

Pour la comparaison des scénarios nous nous sommes servis d'un logiciel qui mécanise les procédures d'agrégations d'ELECTRE III. Les paramètres déterminés lors de la modélisation des jugements de valeurs n'étant pas figés, il nous a fallu analyser la robustesse du graphe de préordre final. Cette analyse de sensibilité consiste à faire varier certains paramètres et d'analyser les changements dans le graphe de préordre final.

Dans notre cas 15 simulations ont été réalisées. Notre préordre final était très robuste, le scénario ADsR arrivait toujours en tête.

Voici un des graphes de préordre final:



#### 4. Conclusion

Dans notre cas, le choix s'est porté sur le scénario qui avait les meilleures performances dans les critères économiques. Bien que ce résultat paraisse prévisible, pour certains décideurs, il a été obtenu de manière objective, après avoir pris en compte et intégré toutes les conséquences, économiques, écologiques, énergétiques, politiques énergétiques et en termes d'images, de la construction d'un tel ouvrage.

Au-delà du fait d'inciter les décideurs à faire une analyse multicritère, cette procédure a l'avantage d'être applicable à n'importe quel autre quartier ou construction nécessitant une planification énergétique. Elle incite les experts en énergie à travailler de façon continue avec les décideurs, depuis la définition des exigences du programme (cahier des charges), jusqu'à la formulation d'un choix de scénario. Elle permet un contrôle des performances des scénarios, en raison de la transparence des méthodes de calculs employées.

Il est à noter que les directives SIA (Société d'Ingénieurs et d'Architectes), données pour ce genre d'étude, stipulent que l'expertise doit fournir toutes les informations nécessaires à la formulation d'un choix, mais elles n'indiquent pas qu'une méthode d'aide à la décision doit être utilisée. L'emploi de notre procédure garanti donc une prestation totale de l'expert (de l'expertise au choix de scénario) comme le préconise la SIA.

Des outils informatiques performants et conviviaux, comme ceux qui ont été utilisés ici, vont faciliter la généralisation de l'activité "d'aide à la décision". Mais comme pour tout emploi d'outils informatiques, afin de rendre les résultats crédibles, les experts devront faire preuve d'une grande transparence sur les méthodes de calculs et sur les procédures employées (pour éviter l'effet de boîte noire).

Nous espérons qu'à l'avenir, sans avoir la prétention de révolutionner un métier, des démarches similaires (peut-être simplifiées avec ELECTRE 1, ou différentes avec PROMETHEE) seront réalisées. Les choix de scénarios ne devront plus être réalisés sur la base d'un critère unique (généralement économique) ou d'une façon purement subjective. La solution, si solution il y a, devra être trouvée sur la base d'une analyse multicritère, d'autant

plus si cette activité (y compris l'aide à la décision) n'engendrera pas de coûts supplémentaires d'étude.

### **Références:**

- Décider sur plusieurs critères (Prof A. Schärli), Presses Polytechniques et Universitaires Romandes 1985.
- Méthodologie Multicritère d'aide à la Décision (Prof. B. Roy), Economica Paris 1985.
- Aide Multicritère à la Décision, Méthodes et Cas (Prof B. Roy et Dr D. Bouyssou), Economica Paris 1993.
- Méthodes multicritères ELECTRE (Prof L. Y Maystre et al), PPUR Lausanne 1994.
- Problèmes liés à l'évaluation de l'importance relative des critères en aide à la décision (Dr V. Mousseau), LAMSADE Paris 1993.
- Aide à la décision pour la planification énergétique d'un quartier. Etude de cas: Martinet-Morâche à Nyon (M O. OUZILOU) Rapport de projet de maîtrise des cours Postgrades en énergie EPFL 1995.





## ÉNERGIE ET ENVIRONNEMENT: LE ROLE DES VILLES<sup>1</sup>

Nicola De Michelis  
OCDE, Division des Affaires Urbains<sup>2</sup>

Les villes sont à la fois le reflet et le creuset de facteurs sociaux, économiques, politiques et technologiques qui, tous, sont en train de changer avec une rapidité jusqu'ici inconnue. Il se peut que l'ère de l'urbanisation rapide prenne fin dans les pays de l'OCDE, puisque le choix du lieu de résidence ne répond plus seulement à des critères économiques mais dépend aussi, et de plus en plus, de considérations liées à l'environnement. Un environnement de mauvaise qualité, des niveaux inacceptables de bruit, la pollution de l'air et de l'eau risquent fort de diminuer l'attrait et l'efficacité des villes. Les préoccupations relatives à l'environnement mondial demandent, elles aussi, que les villes prennent des mesures de protection et réduisent leur consommation de ressources naturelles.

D'un point de vue strictement écologique, la croissance des villes, voire leur survie, restent tributaires du monde non urbanisé. Les villes importent les produits alimentaires, l'énergie et d'autres ressources de leur périphérie proche, mais aussi de plus en plus souvent, de régions lointaines. Et, du fait que de nombreuses villes sont situées en bord de mer ou le long d'un fleuve, le changement climatique mondial risque de les affecter directement. Les activités urbaines alourdissent elles-mêmes ce risque. Il faut donc que les politiques urbaines, nationales et locales, s'inscrivent dans une stratégie locale et mondiale à la fois pour préserver et améliorer la qualité de la vie de tous les citoyens, éviter l'extension géographique des risques et circonscrire les dégâts causés à l'environnement.

Près de 70% de la population des pays de l'OCDE vivent en ville. Les villes représentent encore la part du lion dans la consommation totale d'énergie et, même si les rendements énergétiques se sont améliorés depuis une vingtaine d'années, ces progrès sont compensés par la croissance de la demande. Les urbanistes et les autorités publiques prennent des décisions d'aménagement qui ont des conséquences énergétiques, concernant par exemple la possibilité de recourir au chauffage urbain, ou la dépendance excessive par rapport aux transports.

Le réchauffement climatique mondial conduit la plupart des gouvernements des pays de l'OCDE à inscrire dans leurs programmes une planification élaborée, une analyse de systèmes intégrant l'énergie et des analyses coût-efficacité concernant les questions énergétiques. Mais c'est aux échelons régional et local que sont concrétisés les premiers engagements à freiner ou à réduire les émissions de gaz carbonique (à Toronto, Fribourg, Zurich, Bologne, ...). De fait, la gestion urbaine de l'énergie est aujourd'hui reconnue comme un moyen essentiel pour promouvoir et mettre en œuvre les politiques d'utilisation rationnelle de l'énergie à long terme qui s'imposent face aux problèmes d'environnement mondiaux.

---

<sup>1</sup> Cet article est paru sur la revue "l'Observateur de l'OCDE", n.187, Mars/Avril 1994.

<sup>2</sup> The OECD is an intergovernmental organisation which today comprises 25 democratic nations with advanced market economies. It is located 2, rue André Pascal - 75775 Paris Cedex 16 - France (phone: 33-1-45.24.82.00; fax: 33-1-45.24.85.63). The opinions expressed here are those of its author and do not necessarily reflect those of the OECD, nor of its member countries.

Si l'on se tourne vers l'avenir, la consommation locale et régionale d'énergie gagnera sans doute encore plus d'importance, non seulement dans les pays industrialisés, mais dans le monde entier. Pour de multiples raisons :

- dans les pays de l'OCDE, les activités industrielles et commerciales, ainsi que les transports se concentrent dans les agglomérations urbaines;
- la croissance du secteur des services dans les économies de l'OCDE, tout en restreignant les activités de transformation à forte intensité énergétique, augmentera la quantité d'énergie requise par les immeubles de bureaux, les nouvelles entreprises de pointe et le secteur des communications (dont les activités culturelles et de loisirs) qui ne sauraient se passer des atouts de la ville (aéroports, centres financiers, clients);
- les accords commerciaux, en Europe et en Amérique du Nord, réduiront l'importance pour la concurrence des frontières nationales, si bien que ce seront les villes — et non plus les pays — qui rivaliseront pour offrir les conditions les plus attrayantes de développement économique;
- la restructuration des économies d'Europe centrale et orientale s'accompagnera d'une certaine reconstruction des villes pour attirer les investissements étrangers et pour élargir les possibilités d'emploi dans le secteur tertiaire en expansion;
- l'urbanisation des pays en développement devrait se poursuivre.

Or, des technologies «propres» existent et certaines d'entre elles pourraient être appliquées rapidement : celles qui permettent d'améliorer le rendement énergétique, d'étendre l'utilisation des sources d'énergie renouvelables, de produire en même temps chaleur et électricité, d'installer des réseaux de chauffage urbain. Les autorités locales lancent souvent, avec les compagnies d'électricité municipales, des programmes novateurs qui permettent d'évaluer l'effet des campagnes d'information et de sensibilisation, des accords interentreprises, des incitations financières et des subventions aux projets pilotes. Au-delà des enseignements que livre l'expérimentation locale de technologies nouvelles et du rôle de pionnier que jouent les autorités locales en ouvrant des marchés de pointe aux sources d'énergie renouvelables, les activités des villes dans le domaine énergétique donnent un aperçu des problèmes que posent l'application des solutions nouvelles. Les solutions retenues, du côté de l'offre comme de la demande, doivent non seulement répondre aux conditions du marché, mais aussi tenir compte d'obstacles d'un autre type, qu'il s'agisse de justice sociale, de réglementation ou de procédures administratives.

Il est vrai que l'estimation classique des coûts fausse souvent les règles du jeu, car les prix n'intègrent presque jamais les coûts pour l'environnement de la fourniture d'énergie. D'un autre côté, l'intérêt que présentent pour la collectivité les solutions énergétiques peu polluantes n'est pas pris en considération dans le calcul des coûts, ni dans les analyses coûts-avantages. Si ces coûts "latents" étaient pris en compte, la mise en œuvre de solutions énergétiques qui ménagent l'environnement, notamment l'exploitation des sources d'énergie renouvelables, serait peut-être plus facile: par exemple, à Norrköping, en Suède, la municipalité a entrepris une étude de rentabilité sur l'exploitation de la biomasse dans une centrale électrocalogène (produisant en même temps chaleur et électricité), après l'instauration de taxes sur les combustibles fossiles et de redevances d'émission.

Cependant, une politique énergétique qui ne serait guidée que par les prix du marché risquerait de tarder à produire ses effets (exemple : les cellules photovoltaïques et autres techniques solaires), de ne pas suffire à une protection efficace de l'environnement et de pénaliser certaines catégories de consommateurs qui peuvent difficilement faire face au coût d'un double vitrage, de l'isolation thermique, des ampoules à haut rendement, etc. Il faut aussi

tenir compte des effets redistributifs pervers des mesures monétaires: les subventions à la rénovation et à l'isolation des logements entraînent parfois l'expulsion de locataires à faible revenu. Autre problème : l'information et les mesures financières s'adressent souvent aux propriétaires-occupants instruits des classes moyennes alors que l'essentiel du gisement d'économies d'énergie se situe plutôt dans les immeubles d'habitation collectifs. Pour être rentable et acceptée, une stratégie d'économie d'énergie doit donc, semble-t-il, associer diverses mesures sectorielles et catégorielles. Une telle stratégie suppose:

- une intégration plus étroite des aspects stratégiques locaux et mondiaux, ainsi que la participation systématique des habitants à la mise en œuvre des programmes nationaux;
- un montage spécifique associant instruments de communication, de financement et de réglementation;
- l'intégration des objectifs d'environnement et des objectifs économiques et sociaux;
- la réalisation de projets pilotes;
- l'analyse et l'inventaire des moyens nécessaires et logistiques de l'action publique et des programmes — taxes, subventions, réglementation de la construction, normes de rendement.

Nombre de ces mesures nécessitent une action décentralisée. Le passage à une société soucieuse de rendement énergétique implique donc une "délégation" partielle de compétences et de pouvoirs aux collectivités locales, où existent les possibilités d'une utilisation plus rationnelle de l'énergie et d'une exploitation des sources d'énergie renouvelables. De plus, la plupart des sources d'énergie renouvelables sont, par définition, liées au site de consommation de l'énergie. Le caractère local de ces sources d'énergie rend intéressantes certaines solutions, indépendantes du réseau national, qui augmentent la capacité d'adaptation du système local à la croissance ou à l'évolution, imprévisibles, de la demande d'énergie.

Quand on s'attaque à des problèmes globaux, tels que les pluies acides et le réchauffement de la planète, il faudrait que les stratégies locales intègrent les effets planétaires de chaque source d'énergie. La planification énergétique territoriale détaillée est aussi importante que les politiques nationales et internationales d'économies d'énergie — il faudrait que cela soit admis. Les responsables devraient intégrer la planification énergétique dans la planification urbaine, les objectifs d'environnement, la politique de l'emploi, etc., et y associer les collectivités publiques à tous les niveaux.

En 1992, la ville de Newcastle-upon-Tyne, au Royaume-Uni, a exposé sa stratégie énergétique, montrant comment l'énergie est consommée dans l'agglomération, les effets de cette consommation sur l'environnement et les grandes lignes d'une stratégie future. Ainsi, à technologie constante, l'application résolue de la politique décidée, permettrait, d'après les estimations, de réduire, en l'an 2010, les émissions de gaz carbonique de 45%, celles de monoxyde de carbone de 82%, celles de dioxyde de soufre de 89% et celles d'oxydes d'azote de 76%.

La ville de Schiedam, aux Pays-Bas, a décidé, il y a 15 ans, de tenir compte de l'énergie et de l'environnement dans l'élaboration de sa politique de développement. Ainsi les autorités favorisent-elles maintenant l'énergie solaire dans les projets d'aménagement, d'où une réduction, sans coût supplémentaire, de la consommation d'énergie par le chauffage domestique d'environ 75% par rapport à la moyenne nationale.

Outre ces mesures directes, la gestion urbaine de l'énergie comprend des éléments indirects, non techniques. Du fait de la structure monopolistique du secteur de l'électricité dans la plupart des pays, la gestion urbaine de l'énergie pourrait aussi s'employer à aider les entreprises privées dans leurs efforts sur le marché de l'énergie. Les autorités locales

pourraient donner l'exemple et développer une production hors centrale pour leur propre patrimoine immobilier (au Danemark, les sources d'énergie renouvelables alimentent des micro-centrales électriques privées ou appartenant à des associations locales). Elles pourraient aussi lancer des entreprises mixtes avec des producteurs indépendants et proposer que les bâtiments municipaux soient chauffés par cogénération chaleur-électricité sans recourir aux services des centrales principales.

Les méthodes pilotes adoptées par les collectivités locales peuvent guider la gestion urbaine de l'énergie. La ville de Palo Alto, aux États-Unis, consent des tarifs préférentiels aux immeubles neufs de bureaux qui, aux heures de pointe, abaissent la consommation d'électricité au-dessous des normes requises en Californie par le code de la construction, réduisent l'éclairage électrique et font appel à de nouvelles techniques de climatisation.

En 1983, la ville d'Amsterdam a lancé un programme d'isolation portant sur 45 000 logements (soit environ 10% du parc total). Résultat : une baisse sur les deux premières années de 34% de la demande moyenne d'énergie par logement.

Au Royaume-Uni, la ville de Leicester va diviser par deux, entre 1989 et 2020, les émissions de gaz carbonique des immeubles municipaux. A cet effet, 2,7 millions de livres sont consacrés chaque année au contrôle de leur éclairage et de leur chauffage, à l'isolation thermique, à l'installation de lampes à basse consommation et à la formation des agents communaux.

Ce genre d'efforts de coordination destinés à améliorer le rendement énergétique pourra viser les promoteurs de logements ou d'opérations de rénovation, qui souvent dépendent des autorités locales dans leurs rapports avec les compagnies d'énergie, dans leurs démarches pour obtenir les autorisations nécessaires et dans leurs montages financiers — surtout lorsque de grands projets de cogénération et de chauffage urbain sont à l'étude.

Il convient par ailleurs d'impliquer les architectes-urbanistes dans ces efforts de promotion des économies d'énergie et d'inciter, par différents moyens d'information, locataires et acheteurs de logements à être plus exigeant à cet égard.

L'énergie étant un aspect fondamental des activités économiques et sociales, elle devrait devenir un "moyen d'accès" des autorités locales aux domaines traditionnels de la gestion urbaine : nuisances (pollution, bruit, etc.), développement économique, planification foncière, transports et gestion des déchets. Aujourd'hui, cette évolution dépend pour beaucoup de la volonté et de l'initiative des collectivités locales, mais elle suppose aussi des efforts dans plusieurs directions.

Premièrement, sans l'aide soutenue des pouvoirs publics nationaux, l'action locale ne suffira pas. Les autorités pourraient superviser la conception des programmes locaux d'économies d'énergie et coordonner leur application à l'échelle nationale. Ils devraient surtout donner aux villes des arguments à l'appui de leur programme énergétique, par exemple sous forme de plans de financement et de cadres réglementaires.

Deuxièmement, les chocs pétroliers des années 70 ont mis en évidence les inconvénients des politiques énergétiques centrées sur l'offre. La maîtrise de la demande d'énergie est apparue comme un moyen efficace de réduire les tensions sur le marché mondial de l'énergie et de faire baisser les dépenses nationales d'énergie, notamment celles des pays qui couvrent l'essentiel de leurs besoins énergétiques par l'importation.

Troisièmement, on ne réalisera les objectifs énergétiques et environnementaux qu'avec le concours des habitants. De plus, toute politique énergétique locale de quelque ambition est subordonnée à la mise en place, par la municipalité, d'un réseau local d'information, qui peut se concrétiser par des logements témoins économes en énergie (comme à Leicester, Sarrebruck et Fribourg), des programmes d'incitation dans les édifices publics (écoles,

hôpitaux), des programmes lancés par les locataires eux-mêmes pour promouvoir le rendement énergétique des logements et apporter des conseils en matière d'économies d'énergie. Exemple: aux Pays-Bas, "l'Équipe-E" de conseillers formés pour aider les ménages à faible revenu dans l'application de mesures d'économies d'énergie (double vitrage, éclairage économe en énergie, etc.).

Quatrièmement, d'importantes contraintes financières doivent être surmontées, par exemple le "délai de retour", soit l'énorme différence entre rentabilité à long terme et rentabilité à court terme des investissements énergétiques. La plupart des abonnés à l'électricité tablent sur une rentabilité après six mois, deux ans au plus, alors que les compagnies attendent en général 14 ans et plus. Pour résoudre cette difficulté, deux méthodes viennent à l'esprit. La première consiste à augmenter la capacité locale de financement, par exemple en indemnisant partiellement les municipalités au titre des ressources qu'elles ont immobilisées dans leurs activités d'économie d'énergie. La seconde méthode consiste à mettre en place des mécanismes de financement spécialisés (pour encourager les programmes d'économies d'énergie, par exemple). Le principe de responsabilité — pas de gain sans risque — est plus facile à comprendre quand les économies d'énergie profitent à ceux qui les ont réalisées.

Les modalités de financement des compagnies d'électricité évoluent elles aussi. Certaines ont trouvé comment passer efficacement au «financement intégral» selon lequel, à long terme, elles ont intérêt à prendre entièrement à leur charge le coût de certaines améliorations du rendement énergétique. Aux États-Unis, Pacific Gas & Electric réalise l'isolation du logement des ménages à faible revenu et Southern California Edison a donné plus de 400 000 lampes fluorescentes compactes à basse consommation à cette catégorie de ménages. Des tarifs préférentiels ciblés sont aujourd'hui fréquemment consentis en contrepartie de l'isolation des logements, de l'acquisition d'appareils électro-ménagers conformes aux normes de rendement, et certaines compagnies offrent des remises à la clientèle pour l'inciter à dépasser les normes énergétiques d'un certain pourcentage en remplaçant les vieux appareils par de nouveaux équipements à meilleur rendement et en achetant des ampoules consommant moins d'énergie, etc.

Enfin, les villes sont rarement en mesure de jouer les entrepreneurs, d'autant qu'elles ont en général pour interlocuteur un seul distributeur de gaz et d'électricité qui jouit d'un monopole. Rien assurément ne les incite à exploiter les ressources énergétiques locales tant que cet obstacle n'est pas surmonté. Une décentralisation du système énergétique, reposant sur des lois qui favoriseraient la participation des habitants, permettrait de résoudre ce problème.

C'est à petits pas, jour après jour, plus que par de grands programmes nationaux, que les acteurs urbains apprendront à se soucier de l'énergie. La technologie existe, il reste à vouloir l'appliquer. C'est là que les autorités locales ont un rôle à jouer. Une stratégie plus active est nécessaire : les considérations relatives à l'énergie et à l'environnement doivent intervenir au stade initial de la prise de décision. Les réseaux économiques, sociaux et institutionnels — les associations locales et d'affaires, les réseaux de villes, les groupements internationaux, etc. — doivent servir à diffuser les idées novatrices. Et il faudrait élaborer de nouvelles formes de coopération locale entre les collectivités publiques, le secteur privé et les habitants.



## **AMENAGEMENT ET STRUCTURATION URBAINE A BAFOUSSAM (Cameroun): ANALYSE ET IMPACT**

Valentin Mouafo  
Cercle International pour la Promotion de la Création  
Bafoussam

### **I. Introduction**

Le Cameroun est un pays situé en Afrique Centrale, sur la côte de l'Océan Atlantique. Il a une superficie de 475'000 Km<sup>2</sup>. La population totale du Cameroun est passée de 5.4 millions d'habitants en 1960 à près de 13 millions en 1994; pendant la même période, la population urbaine est passée de 870'000 habitants soit 15% à près de 6 millions d'habitants, soit de 46% de la population totale.

En l'an 2000, on estime que la population totale du Cameroun sera de 15'217'000 habitants dont près de 8 millions seront des habitants des villes, soit 52% de la population. Pour répondre aux besoins nés de la croissance démographique urbaine, il faudrait créer chaque année 75'000 emplois, attribuer 50'000 nouvelles parcelles de terrain pour la construction, acheter et préparer 55'000 tonnes d'aliments et éduquer 66'000 enfants.

Afin de réguler et de planifier le développement urbain, le gouvernement Camerounais a créé le Ministère de l'Administration Territoriale et le Ministère de l'Urbanisme et de l'Habitat. Tandis que le premier initie et coordonne les projets de développement urbain à travers les collectivités locales urbaines, le deuxième, à travers ses différentes directions, services décentralisés et la Cellule spéciale de développement urbain (CSDU), oriente la structuration des villes.

Au regard de la situation actuelle, on se rend compte que l'essentiel des grands actions jusqu'ici menées pour le développement urbain n'ont concerné que les deux grandes métropoles que sont Douala et Yaoundé. Les SDAU, le PDU I, le PDU II se sont réalisés à Yaoundé et à Douala. Avec le concours financier de la Coopération Suisse, un projet de restructuration de quartier s'est exécuté à Douala (Projet Nylon).

A l'exception de quelques villes qui se sont vues établir des PDU, presque toutes les villes secondaires semblent négligées; et pourtant certaines, à l'instar de Bafoussam, connaissent une croissance et une structuration spectaculaires.

### **II. Présentation de la ville de Bafoussam**

La ville de Bafoussam a été créée en 1925 à l'époque coloniale, par l'installation d'un poste administratif à l'intersection des chefferies de Bafoussam, Bamougoum et de Baleng. Cet emplacement, résultat d'un choix stratégique (meilleur contrôle administratif de ces trois chefferies) était alors très peu peuplé.

Bafoussam est le chef-lieu de la Province de l'Ouest du Cameroun. Sa particularité est qu'en dehors de son relief montagneux, c'est une ville où la modernité et la tradition se côtoient. Ce qui n'est pas sans influence sur sa structure lorsque l'on sait que les Bamilékés de l'Ouest-Cameroun sont réputés pour le commerce et l'Agriculture.

## II.1. Evolution de la population

Stagnant tout au long de la période coloniale, elle ne compte que 4'800 habitants en 1938, puis 11'000 en 1958. A partir de cette année, elle connaît une croissance rapide due aux troubles qui ont duré de 1958 à 1962.

En effet, l'UPC, «Union des Populations du Cameroun», parti dissout en 1958, étend en pays Bamiléké un mouvement de rébellion qui a pour effet d'augmenter le regroupement des populations. Ceci lors de la lutte pour l'indépendance obtenue le 1er janvier 1960. Le tableau ci-après résume l'évolution de la population de Bafoussam de 1938 à 1995.

Année	1938	1945	1958	1960	1963	1965	1976	1987	1995
Population	4'800	6'500	11'000	20'000	22'400	35'466	62'239	112'681	170'000

## II.2. Superficie du périmètre urbain

Le périmètre urbain est passé de 300 hectares en 1940 à 700 hectares en 1976. Lors de l'élaboration du 3ème plan d'urbanisme Directeur de Bafoussam en 1982, le périmètre urbain est fixé à 3'000 ha. Il est très difficile aujourd'hui de dire la valeur exacte de cette donnée non seulement parce que le 3ème PUD n'est nulle part mis en application, mais surtout parce que la ville subit une extension effrénée et spontanée à la périphérie. L'évolution du périmètre urbain se résume dans le tableau suivant :

Année	1940	1965	1976	1982	1995
Superficie (ha)	300	565	700	3'000	plus de 3'000

## III. Analyse de la structuration urbaine à Bafoussam

### III.1. Les principaux intervenants étatiques

A Bafoussam, le principal intervenant étatique dans la planification et l'organisation de l'espace urbain est la Délégation Provinciale du Ministère de l'Urbanisme et de l'Habitat (MINUH). La Commune Urbaine de Bafoussam et autres ne sont que secondaires.

La Délégation Provinciale du MINUH intervient à travers ses quatre services qui sont:

- Service Provincial de l'Urbanisme ;
- Service Provincial de l'Architecture et de l'Habitat ;
- Service Provincial des Domaines ;
- Service Provincial du Cadastre ;

Le service Provincial de l'Urbanisme qui est le plus impliqué, définit et met en forme les programmes d'urbanisme opérationnel. A cet effet, il :

- conçoit et étudie les plans d'urbanisme ;
- étudie et conçoit les plans de lotissements et de viabilisation des terrains affectés aux constructions nouvelles ;
- lutte contre la taudisation et la prolifération des quartiers spontanés dans la ville ;
- délivre les certificats d'urbanisme ;
- délivre les permis d'urbanisme et de lotir ;
- contrôle les affectations et transactions foncières en milieu urbain ;
- spécifie les voies urbaines et leur maintenance.

La Commune urbaine de Bafoussam assure la gestion quotidienne de la ville.

Face à la crise économique qui frappe durement aujourd'hui le Cameroun, l'Etat a vu ses moyens d'intervention diminués de façon drastique. Le Service Provincial de l'Urbanisme ne dispose plus assez de moyens logistiques pour mener ses activités.



### III.2. Les pôles de structuration

En dépit de la présence des services décentralisés de l'Etat intervenant dans l'organisation de l'espace urbain, Bafoussam s'est plus structurée autour du Centre Administratif, des gares routières, des marchés, des établissements scolaires et hospitaliers, des usines et des lotissements publics.

#### 3.2.1. Le Centre Administratif

A sa création en 1925, Bafoussam n'était au départ qu'un Centre Administratif dont les premiers équipements publics (Prison, école, dispensaire, Gendarmerie, etc.) furent installés dans l'espace qui aujourd'hui constitue le quartier Administratif. C'est dans ce quartier que furent construites les premières maisons pour loger les fonctionnaires. La population urbaine était de 6'500 habitants puis, grâce à la sécurité qu'offrait la ville pendant la période des troubles (1958-1962), elle est passée de 11'000 habitants en 1958 pour doubler en 1963 (22'400 habitants). Les premiers quartiers à être construits furent Tarndja, Famla et Djeleng (2,4,5,1,3).

Face à la croissance rapide de sa population, le premier plan d'urbanisme de la ville fut établi en 1958, puis un second en 1963 et un troisième en 1982, ceci dans le but de mieux organiser l'occupation et le développement de l'espace urbain.

Le rôle de carrefour des grandes axes routiers nationaux a contribué à la structuration de la ville avec la création de facto des gares routières.

#### 3.2.2. Les gares routières

La première gare routière fut créée à Djeleng II près de Famla et offrait une aire de stationnement pour les camions en transit à Bafoussam. A cette gare stationnaient également des cars de transport public appartenant à des particuliers et desservant plusieurs villes et villages voisins de Bafoussam. Elle est vite devenue un lieu d'échange où les gens se rendaient tous les jours pour avoir les nouvelles du pays et des leurs.

Mais il y a d'abord eu le commerce flottant avec des détaillants des noix de cola, des cacahuètes, des cigarettes, des allumettes et autres produits de consommation courante. Puis l'activité commerciale s'est consolidée avec la construction des boutiques et l'installation de certains artisans (cordonniers, réparateurs de roues, tailleurs etc.) donnant naissance plus tard à un grand marché (marché A).

Il existe une deuxième gare routière entre Djeleng I et Tyo ville au Nord Ouest de la ville, desservant les villes de Mbouda, Dschang et Bamenda.

La nouvelle gare routière de Bamendzi I, construite pour desservir Bandjoun, Baham, Bafang, Douala et Yaoundé, a été boudée par les transporteurs et reste inutilisable.

#### 3.2.3. Les marchés

Au Cameroun, les marchés obéissent à la logique des genres de vie. Ainsi à Bafoussam, les voies de circulation comme la densité de peuplement par rues et quartiers conditionnent l'existence et la distribution des marchés de tailles variables.

L'existence des marchés conditionne toute la vie de la ville de Bafoussam et joue un rôle important dans son processus d'urbanisation.

A la création de la ville, il existait un marché périodique, qui se tenait tous les quatre jours sur la place de la chefferie de Bafoussam.

On y trouvait des vivres, du bétail, des artisans et leurs produits ainsi que des produits manufacturés. Avec la croissance de la population et les difficultés de transport jusqu'à la place de la chefferie, les vendeurs des produits manufacturés ont préféré s'installer tout près de la principale gare routière. C'est ainsi que s'est créé le plus grand marché de Bafoussam qui est aujourd'hui quotidien et compte plus de 2'000 comptoirs. Autour de la gare routière devenue marché A, des constructions se sont fortement densifiées, et toutes les rues voisines sont

devenues marchandes. Cet espace s'est ainsi consolidé pour devenir le Centre ville avec l'installation des Banques et des compagnies d'Assurance.

Il existe un marché B à l'Ouest de Djeleng I où l'on peut trouver du bétail (chèvres, moutons) et certains produits artisanaux absents du marché A. Tous les quatre jours, de petits commerçants venant des zones rurales y vendent leurs produits.

A Bafoussam, la plupart des quartiers se sont formés avec des petits marchés. En effet, lorsqu'un seuil de densité est atteint dans un nouveau quartier et à une certaine distance d'un point marchand voisin, la pression démographique devient telle que la création d'un marché s'impose. Si aucun aménagement n'est prévu dans les PUD de la ville pour des marchés dans ce quartier, les nouveaux marchés s'installent spontanément dans des carrefours (cas de Bamendzi I) ou le long de la route (cas du quartier Haoussa). Peu à peu, des artisans s'installent (maçons, menuisiers, tailleurs, cordonniers, réparateurs de bicyclettes). Des bars s'implantent où les gens passent leur temps les soirs. A partir de ce moment, les activités s'intensifient et se durcissent au fil des ans. Ainsi le quartier s'urbanise et passe d'une aire résidentielle à une aire urbaine à fonctions multiples.

En ce moment, le travail qui revient à la municipalité est de viabiliser le nouveau quartier spontané créé et d'y amener l'eau et l'électricité. L'axe choisi et aménagé devient à son tour structurant.

#### 3.2.4. Les axes routiers

Les axes de circulation jouent un rôle important dans la vie urbaine à Bafoussam. Ainsi dès qu'une voie est ouverte par la municipalité, elle exerce un attrait sur les populations qui acquièrent des parcelles pour construction tout au long. Dès lors se forme une certaine densification sur le nouvel axe. Puis se créent des activités flottantes et sédentaires: installation des artisans et des vendeurs de produits divers.

Les axes les plus denses sont: l'axe Bafoussam-Bandjoun au Sud-Est, l'axe Bafoussam-Foumban au Nord-Est et l'axe Bafoussam-Mbouda au Nord-Ouest.

#### 3.2.5. Equipements collectifs

Certains équipements comme les stades de football, les établissements scolaires, les hôpitaux constituent des pôles de structuration dans la ville de Bafoussam. Dès que ces équipements sont mis en place, l'autorité urbaine y aménage la voie d'accès. Dès lors les gens s'empressent d'acquérir des parcelles autour des nouveaux équipements parce qu'ils peuvent accéder facilement à la route et bénéficier du transport urbain.

#### 3.2.6. Les industries

L'essentiel des industries de la Province de l'Ouest sont concentrées dans la ville de Boufoussam. Malheureusement l'implantation de ces industries n'obéit que très rarement aux règles d'urbanisme. Le PUD élaboré en 1982 a prévu les zones industrielles dans les quartiers Banengo et Tchetchap. Mais en dehors de la SOC, les Brasseries du Cameroun et l'Usine de l'UCCAO, toutes les autres industries sont éparpillées dans la ville.

Ces industries attirent par les possibilités qu'elles offrent aux habitants de sa zone d'accéder à la route, à l'eau, et même à l'électricité. Les nouveaux quartiers ainsi créés sont habités en majorité par des gens qui ne sont pas des employés de ces usines.

#### 3.2.7. Les lotissements publics

Le premier lotissement date de 1954 et couvre les quartiers Djeleng 3 et 4, une partie de Djeleng II, Famla I et Djemto.

Le deuxième lotissement a eu lieu en 1955 couvrant Djeleng II et la colline Administrative. Il comprend 120 lots à usage d'habitation, de commerce et d'artisanat. En 1956, a

eu lieu le lotissement de Djeleng I, suivie en 1966 de ceux des quartiers Djemoun, Tamja et Djeleng IV. Puis il y a eu en 1979 le lotissement communal de Famla 2 et 3 et celui de la MAETUR (Mission d'Aménagement et d'Équipement des Terrains Urbains et Ruraux).

Tous ces lotissements avec leurs équipements (VRD, Ecoles, aires de jeux) ont attiré les populations qui sont venues tout autour créer un habitat à caractère spontané.

#### IV. Impact de la structure urbaine à Bafoussam

##### IV.1. Les indicateurs d'impact

Ces indicateurs sont la pression démographique, la consommation de l'espace urbain, la consommation d'énergie, la production de déchets, etc.

##### IV.1.1. La pression démographique

La population de la ville de Bafoussam est passée de 4'800 habitants en 1938 à 62'239 habitants en 1976 et on l'estime à 170'000 habitants aujourd'hui. Cette évolution accélérée de la population urbaine est due à l'exode rurale, mais surtout à la position de «ville carrefour» qui caractérise Bafoussam. Cette concentration humaine engendre des conséquences diverses sur la ville de Bafoussam:

- la multiplication des quartiers spontanés ;
- la consommation effrénée de l'espace pour besoin de construction des logements.

##### IV.1.2. La consommation de l'espace urbain

La ville de Bafoussam jouit d'un mode de croissance spatiale périphérique. En absence des titres fonciers et à cause de la rigidité du règlement d'urbanisme, les candidats à la propriété s'installent vaille que vaille sur les terrains vides de la périphérie urbaine. Cette consommation de l'espace à la périphérie urbaine engendre une extension spatiale d'autant plus marquée que Bafoussam est passée de 300 ha en 1940 à plus de 3'000 ha aujourd'hui.

Ce développement horizontal et démesuré de la ville de Bafoussam caractérisée par des constructions dans l'ensemble basses, entraîne un besoin en équipements des nouveaux espaces, mais surtout un allongement des distances de travail.

##### IV.1.3. La consommation d'énergie

La consommation de carburant à Bafoussam est liée à l'évolution des transports.

###### *Le trafic interne*

Il est constitué des taxis et des véhicules particuliers. En 1982, on dénombrait respectivement 900 taxis et 1'500 véhicules particuliers dans la ville de Bafoussam. Ces chiffres ont accru aujourd'hui du fait de l'accroissement de la population mais aussi de la densification de la voirie urbaine. On compte aujourd'hui plus de 3'000 taxis et plus de 3'000 véhicules particuliers dans la ville de Bafoussam.

###### *Le trafic externe*

Un comptage réalisé en 1990 par le Service Provincial des Transports Terrestres donne les résultats suivants:

	Jour moyen	
	Véhicules	%
Bafoussam - Bamougoum	1'781	20.5
Bafoussam - Noun	2'825	32.5
Bafoussam - Bameka	159	2.0
Bafoussam - Bandjoun	3'938	45.0
Total	8'703	100

Source: Service Provincial des Transports Ouest.

Jour du grand marché

	Véhicules	%
Bafoussam - Bamougoum	2'378	25.5
Bafoussam - Noun	2'755	29.5
Bafoussam - Bameka	180	1.9
Bafoussam - Bandjoun	4'208	44.1
Total	9'521	100

Source: Service Provincial des Transports Ouest.

- La consommation des produits pétroliers

En 1982, la consommation des produits pétroliers à Bafoussam se présentait de la façon suivante:

Désignation	Quantités (l)
Essence	226'000
Pétrole	67'500
Gas-oil	104'500
Total	398'500

Source: PUD Bafoussam 1982.

En 1994/95, la consommation des produits pétroliers à Bafoussam se présente de la façon suivante:

Désignation	Quantités (l)
Essence	459'000
Pétrole	199'500
Gas-oil	358'500
Total	1'017'000

Source: Rapport d'activités DPO MINMEE.

En 1982, il y avait 12 stations services dans la ville de Bafoussam; aujourd'hui on en compte 20 dont 5 SHELL, 3 MOBIL, 5 ELF, 3 TOTAL et 4 TEXACO.

- L'énergie électrique

Le tableau ci-après présente la consommation annuelle de l'énergie électrique à Bafoussam de 1985 à 1994.

Année	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Quantité (MWh)	20'366	22'195	23'817	23'763	23'802	23'418	23'031	23'345	23'586	23'305

Source: Délégation régionale SONEL Ouest.

- La consommation du bois à Bafoussam en 1992/93

Désignation	Données	
A/ population urbaine	140'000 habitants	
B/ Pourcentage de consommateurs	Bois	67.13 %
	Charbon	41.28 %
C/ Consommation moyenne par hab par an	Bois	32.9 Kg/hab/an
	Charbon	2.7 Kg/hab/an
D/ Consommation totale D = A x B x C	Bois	3'092 tonnes
	Charbon	156 tonnes

Source: Enquête DPO MINMEE.

Ce tableau fait ressortir que le bois est assez consommé dans la ville de Bafoussam.

#### IV.1.4. La production de déchets

Les principaux déchets produits dans la ville de Bafoussam sont les ordures ménagères et les effluents industriels.

Les ordures ménagères sont produites à raison de 25'000 tonnes par an aujourd'hui alors que cette production n'était pas de 15'000 tonnes en 1980.

Depuis 1991, la municipalité de Bafoussam n'assure plus convenablement la collecte des ordures ménagères dans la ville. En 1994, une ONG, le CIPCRE, a initié un projet de collecte non conventionnelle des ordures ménagères et leur transformation en compost dans cinq quartiers de la ville.

Les effluents industriels proviennent des Savonneries, des Brasseries, des Provenderies, des Stations Services etc.

#### IV.1.5. Les données météorologiques

##### a) La température

Le tableau suivant présente l'évolution des températures moyennes annuelles de 1991 à 1994.

Année	1991	1992	1993	1994
Température moyenne (°C)	20.1	21.6	22.1	20.1

Source: Service Provincial Météorologie Ouest.

Le tableau ci-après présente l'évolution des températures moyennes mensuelles observées dans la période 1991-1994 à Bafoussam.

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Température (°C)	20.2	20.6	22.9	22.4	21.8	21.0	20.7	20.4	20.9	20.8	21.3	21.0

Source: Service Provincial Météorologie Ouest.

Au cours de l'année, les températures sont comprises entre 20.2 °C (janvier) et 22.9 °C (mars).

##### a) Les précipitations

Le tableau suivant présente les précipitations annuelles tombées sur la ville de Bafoussam de 1985 à 1994.

Années	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Pluies annuelles (mm)	1'157	1'137	1'580	1'585	1'664	1'863	1'753	1'968	2'117	1'892

Source: Service Provincial Météorologie Ouest.

Le tableau ci-après présente la répartition annuelle des précipitations pour la période de 1991 à 1995.

Mois Années	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1991	0.0	51.2	38.3	286.5	287.7	157.0	253.3	247.6	234.4	164.5	12.0	2.9
1992	0.3	0.0	119.6	99.7	273.7	174.0	243.0	330.0	389.0	288.0	56.4	0.0
1993	5.5	39.7	172.2	136.0	217.2	252.5	265.8	375.4	238.9	244.8	168.6	0.0
1994	2.8	0.0	46.2	185.3	71.0	233.8	254.2	399.1	399.1	329.2	62.2	0.0
1995	0.0	0.0	141.6	158.0	224.5	125.6	295.7	613.1	613.1			

Source: Service Provincial Météorologie Ouest.

## V. Conclusions

Dans un contexte de crise économique, devant l'attentisme de l'Etat et la rigidité des règlements d'urbanisme, la ville de Bafoussam comme d'ailleurs toutes les villes du Cameroun, connaît une croissance spatiale périphérique. Cette dynamique de la morphologie urbaine engendre des conséquences sur le développement des transports et la communication d'énergie. Le climat urbain reste difficilement constant devant ce changement. Puissent des journées comme celle du CUEPE donner l'orientation d'une ville universelle ? L'espoir est permis; surtout si au delà des actions étatiques, les initiatives populaires et notamment celles des ONG sont encouragées. Ainsi, les villes (pas seulement au Cameroun) deviennent des champs où plusieurs acteurs concourent leurs efforts. Et la réussite est dans la majorité des cas au rendez-vous.

### Abréviations

CIPCRE	Cercle International pour la Promotion de la Création
CSDU	Cellule Spéciale de Développement Urbain
CUEPE	Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie
DPO	Délégation Provinciale de l'Ouest
MAETUR	Mission d'Aménagement et d'Equipement des Terrains Urbains et Ruraux
MINMEE	Ministère des Mines, de l'Eau et de l'Energie
MINUH	Ministère de l'Urbanisme et de l'Habitat
PDUI	Projet de Développement Urbain no. 1
PDUII	Projet de Développement Urbain no. 2
PUD	Plan d'Urbanisme Directeur
SDAU	Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
SONEL	Société Nationale d'Electricité
UPC	Union des Populations du Cameroun
VRD	Voiries et Réseaux Divers

### Bibliographie

1. MINUH, Plan d'Urbanisme Directeur de Bafoussam, Yaoundé 1982.
2. MINMEE DPO, Rapports d'activités 1992/93, 1994/95.
3. FOADING KAMGA, Analyse des Centralités dans la ville de Bafoussam (Cameroun), Bafoussam 1995.
4. Valentin MOUAFO, Analyse des secteurs urbains et industriels de la Province de l'Ouest, CIPCRE, Bafoussam, avril 1994.
5. Jean Louis DONGMO, Le dynamisme Bamiléké; la maîtrise de l'espace urbain, vol. 2, Yaoundé, 1981.

## **CAN SIMPLIFIED URBAN PARAMETERS INDICATE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE ?**

N. V. Baker, K. Steemers, D. Crowther and M. Nikolopolou  
The Martin Centre for Architectural and Urban Studies  
University of Cambridge

### **1. Introduction**

Whilst the modelling of internal environmental conditions in buildings is now well advanced, the modelling of conditions around buildings in an urban context remains a problem. This is partly due to the spatial complexity and partly due to ill defined boundary conditions. We know that the urban texture offers varying degrees of isolation from the free-flowing climate. In some cases this may be an advantage, as in the moderation of extreme temperatures, but in other cases a disadvantage such as the reduced dilution of pollutants.

Apart from the interest in microclimate as experienced by people outdoors, its influence on the internal climate is of importance, especially in passive buildings. The potential for natural ventilation, for example, is not only influenced by morphological properties of the building under consideration, e.g. plan depth, but also conditions of air movement, atmospheric pollution and noise, immediately adjacent to the building. These conditions are themselves dependent in part on morphological parameters.

Thus it seems that a promising approach would be to view the urban tissue as a porous medium with varying degrees of connectivity between indoor spaces, outdoor spaces and the undisturbed regional climate.

Our approach is not to grapple with a precise description of urban topography, but rather to look for generalised parameters which once derived could be used to predict environmental performance using simplified models. For example, the mean surface area to volume ratio tells us something about the average plan depth of buildings, and hence the potential for natural ventilation. The rate of reduction of built floor area with height above ground level indicates the openness of the city to the sky and hence the daylight conditions in the street and the potential for the use of daylight in the buildings. The same parameter will indicate useful solar gains, and in conjunction with the mean surface reflectance, the potential to capture solar gains in the spaces external to the buildings. Certain city plans have strong directionality which in relation to wind direction would be influence pollutant dispersal and temperature, of the street microclimate.

### **2. Methodology**

Three simultaneous strands are being followed:

1. Identification of measurable morphological parameters in real urban tissues
2. Generic studies of simplified synthetic urban tissues
3. Extrapolation of (2) to real urban tissues.

### ***Real urban morphological structure***

The urban tissue, although familiar and inhabited by over 40% of the world's population has a very unique structure with no good analogues in nature. It varies from a high degree of randomness to a high degree of order, but it is never completely one or the other. For example, a medieval city may be described as very random compared, say with a 19thC grid-iron layout. But locally there is a high degree of order even in the medieval city. Right angles and straight lines prevail; in the third dimension, building heights tend to have quite a narrow distribution. On the other hand, an apparently regular orthogonal plan (such as our study area in London, fig 1) shows considerable variation in grid size and street width. If we defined degree of order as the probability of specifying a point correctly to be street or building from a distance and direction from an origin, then we would probably be no more successful than in the medieval city.

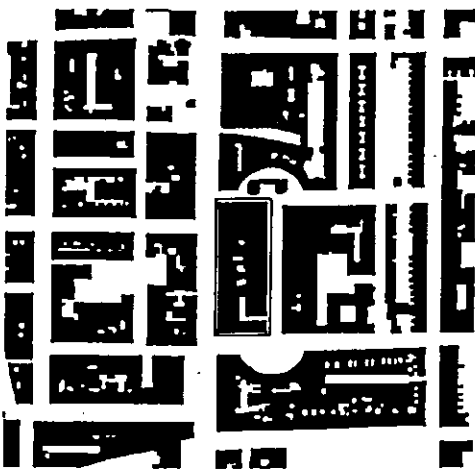


Fig 1 Study area in London

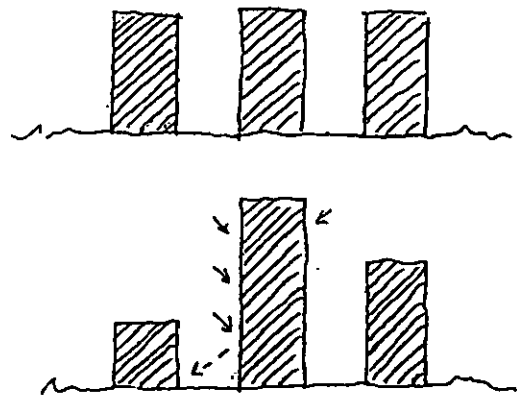


Fig 2 Mutual overshadowing dependent on building height distribution

The question is, how significant is the randomness? It would be very convenient if we could reduce the urban tissue to a number of simplified types as illustrated in the next section. But take, for example, the availability of daylight. If we had uniform building height, the mutual overshadowing would be considerable whereas if there is a wide variation of building height this will be much less (fig 2). However, the impact of this difference will be dependent upon two further factors - (a) the overall density of building and (b) the optical reflectance of the buildings.

### ***Measurability of morphological parameters***

Many parameters could be proposed but if they are to be of practical use, then they must be accessible from data obtainable from the field. Basic morphological data, e.g. the plan and height, is available from detailed survey but is very labour intensive. It can also be obtained from photogrammetric techniques using stereo aerial photographs. Once this data has been transferred to a digital model, various geometric analyses can easily be made.

Another approach would be by matching real aerial photographs with synthetic computer-generated images. A number of urban types and sub-types would be defined by



values of the critical parameters, and an image generated at appropriate scale and illuminated with the sky conditions prevailing at the time of the real photo.

### 3. Proposed urban parameters and physical significance

Bearing in mind the considerations above, we have identified the following parameters as promising subjects for investigation:

1. Building surface area to volume ratio,
2. Horizontal section area and perimeter as function of height above ground (occlusivity),
3. Vertical section area amplitude as function of direction (directionality),
4. Optical reflectance.

#### *Building surface area to volume ratio*

For a given building, this relates well to the mean distance from an occupant to the envelope and thus to the potential for daylighting and natural ventilation. It will also influence the heating costs in cool climates, although this will be modified by the insulation value of the envelope.

The temperature-moderating effects of buildings in the urban climate will also be dependent upon the surface admittance of buildings which itself is area-density dependent.

A problem with this parameter is that it fails to identify the difference between a large shallow slab (say 12m deep) which could be completely daylit, and a deep square plan building which will have a large non-passive zone.

When a mean value for n buildings is derived it has to be built-area-weighted, i.e.:

$$\text{Ave Surface:Vol ratio} = \frac{(\text{surface building } n) / (\text{volume building } n) \times (\text{floor area building } n)}{(\text{total floor area})}$$

Fig 3 shows this plotted for a 400m x 400m area located in the London study area.

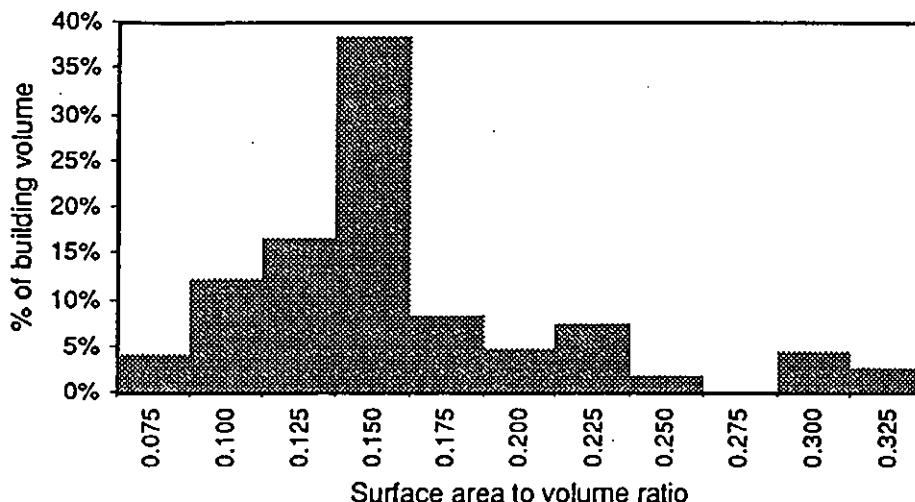


Fig 3 Distribution of floor area weighted surface:volume ratio for London study area

**Horizontal sections with height**

Fig 4 shows two hypothetical urban sections and how the horizontal section area varies with height. Curve A shows a high density city with a relatively uniform building height.

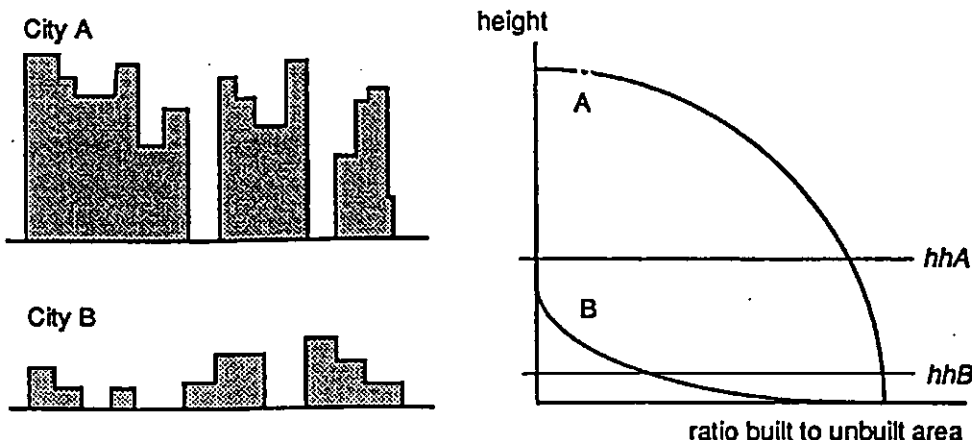


Fig 4 Horizontal section area curves

Curve B describes a lower overall density. Note that the total built volume is the area under the curve.

It may be useful to define the half area height. This is defined by the line hh such that the areas under a and b under the curve are the same. This allows us to define a mean built density in three dimensions, although the upper boundary of the built layer is not defined.

The spaces between the buildings in type A have a much smaller view of the sky than in type B. Radiation entering this cavity is interreflected over a much larger surface and is therefore more likely to be absorbed than in case B. Long-wave radiation, which will not be reflected from most building materials, will tend to be retained. We can describe this as having a high degree of occlusivity.

The built area/height curve for the London study area is shown in fig 5.

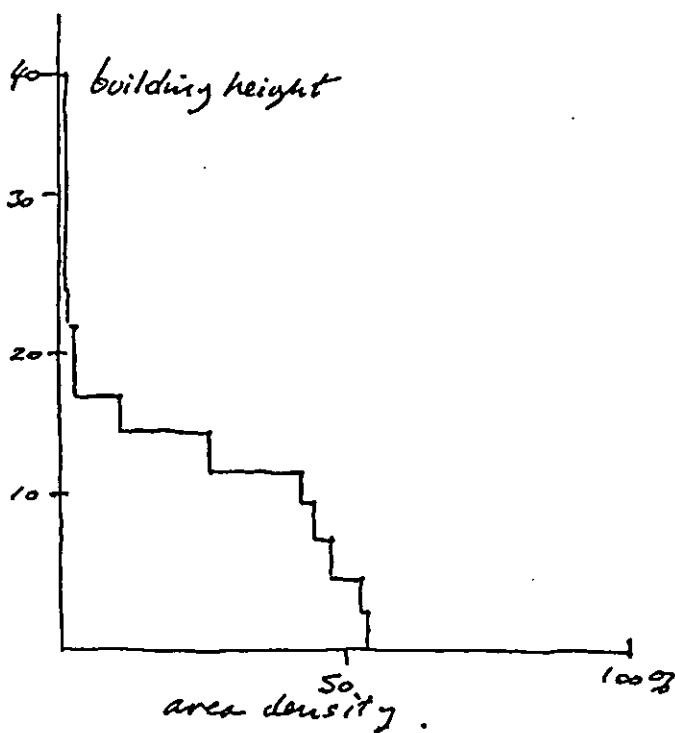


Fig. 5  
Horizontal section area curve  
for London study area

However, the comparison only works for buildings of similar footprint area. In fig 6 we show a simplified situation where the same overall 3d built density clearly has a different occlusivity.

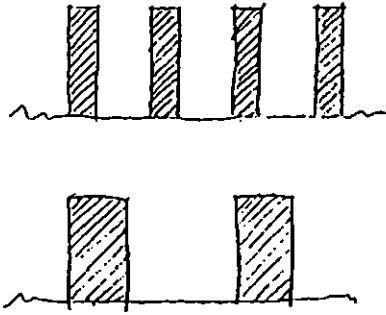


Fig 6 Comparison for buildings of different size but same horizontal section area

Taking the perimeter of the intersected building with height (instead of the area) removes this problem<sup>1</sup>. The area under the curve now indicates the total vertical surface area of the buildings, and a half-area height could be defined as before. The surface area, together with its optical properties, clearly will have some relevance to radiation absorption and interreflection. However, 3d built density may be of greater relevance to urban ventilation.

We have not yet defined occlusivity in terms of the parameters of these curves, but it is likely to involve both the absolute value of area or perimeter density and the slope of the curve at the half-area or half-perimeter height.

### *Vertical sections and directionality*

The main directional climatic factors are solar radiation and wind direction. We could expect both of these to interact with both the direction and width of streets.

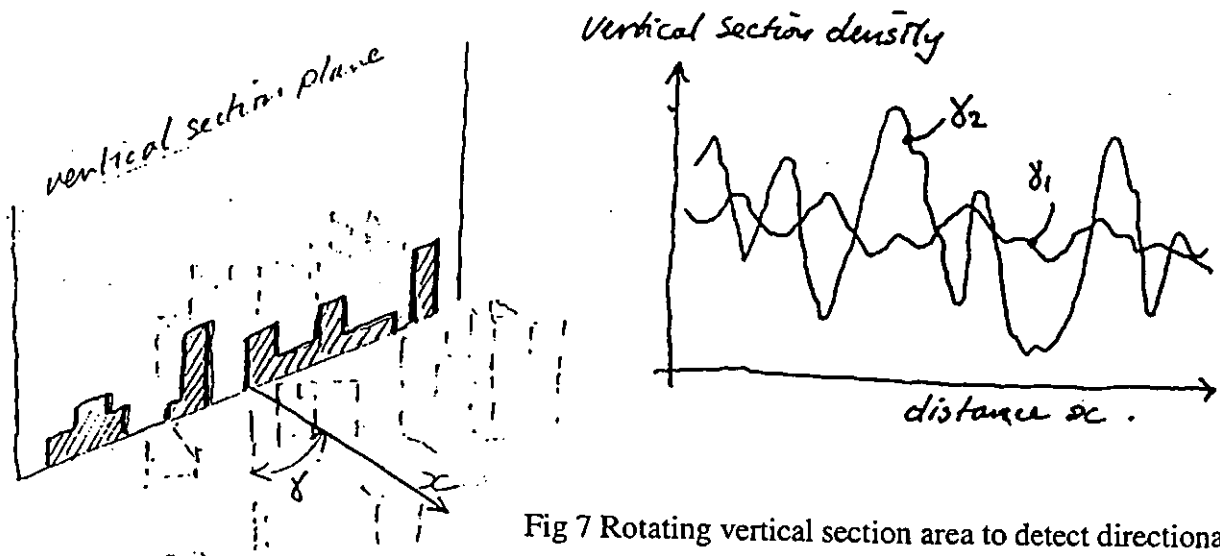


Fig 7 Rotating vertical section area to detect directionality.

The blocking effect of buildings (in a given direction) can be assessed by taking a vertical section (fig 7). This could be converted into a half-area mean density. The anisotropy of the urban tissue can then be indicated by plotting the mean density whilst moving the

<sup>1</sup>Suggested by Carlo Ratti, one of our M.Phil students.

section plane normal to the plane. The normal to the plane is then rotated (in azimuth) and successive plots are made. For an isotropic tissue we would expect little variation in the mean density whereas tissues with strong direction elements such as grid-iron plans and major boulevards, this will show up as oscillations in the density.

The direction (azimuth) at which the (or a local) maximum amplitude occurs will define one (or more) axes of directionality. The area-weighted (integral) amplitude will indicate the degree of anisotropy. This will distinguish between a strongly geometric plan of very small streets, and a less perfectly regular plan which has very wide streets.

Fourier analysis of mean density surfaces may be used to detect degree of order.

#### 4. Generic studies with simplified synthetic urban forms

##### *Regular forms*

Regular forms are easy to define and easy to build (as digital data or physically). We have carried out preliminary studies on incidence and absorption of solar radiation using the software Shadow Pack. As a starting point we have adapted work carried out in the early days of the Martin Centre on six archetypal urban forms (fig. 8). Each form shown here has been defined so that plot ratio (floor space to plot area) are the same in all cases. Further comparability is ensured by making the ratio of passive to non-passive floor area equal, the passive area being the zone within 6m of the external envelope. Preliminary results are summarised in table 1.

FORM	All building surfaces		Only vertical surfaces	
Pavillon	6.793	91%	5.350	100%
Slab-sideways	6.174	83%	4.558	85%
Slab-end on	5.894	79%	4.278	80%
Court	7.479	100%	3.653	68%
Albedos-walls: 0.4; - ground: 0.2				

Table 1  
Solar radiation received by building surfaces for generic forms

##### *Naturalistic synthetic forms*

This is an interesting challenge. Is it possible to define a quasi-random arrangement of simple rectanguloid forms which behave in a similar way to real urban tissue? If it is, can these forms be matched by some comparative method, to real tissues?

#### 5. Conclusions

Our approach could be summed up as "a simple description of a complex reality". Undoubtedly this is an attractive concept, and is of course how we routinely understand the complex world around us. The key question is however, "is it going to be useful in understanding urban ecology?"

This paper is without conclusions, describing the beginnings of what in itself is a pilot study. Its purpose is to elicit feedback from those interested in urban form and urban climate.

# A NETWORK FLOW APPROACH TO SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT

Ausilio Bauen and Nigel Lucas  
Centre for Environmental Technology, Imperial College, London

## Abstract

This paper proposes a network flow approach to the measurement of the sustainability of urban development. The methodology aims to capture all resource flows required to support an urban area and to resume the consequences in one or more indicators of sustainability. It is piloted by application to a simple system of electricity and paper goods which serves to demonstrate how the interactions between materials and energy flows and environmental impacts may be captured.

## 1. Introduction

The need for a proper management of resource flows contributing to sustainable urban development originates from the concerns over the energy and materials intensity of human activity in cities and from the exacerbation of local and global environmental impacts. Our aim is to develop a methodology for analysing materials and energy flows in a single reference network flow. The solution of network flows applied to urban systems, combined with an exhaustive and meaningful set of indicators of sustainable development, can contribute to the practical implementation of sustainable urban development.

As a first step, a simple system of electricity and paper goods flows, and the related air pollution impacts, has been modelled to demonstrate the possibility of extending the system to other resource flows. We begin by identifying a series of practical issues which are significant to sustainable urban development. These englobe economic, environmental and social objectives which are not always compatible and between which trade-offs exist. Then, we define a network flow, describing the electricity and paper goods flows and their interactions, in order to capture the essential features of the flows and to calculate the flow variables from which a series of sustainable urban development indicators can be derived. The indicators are useful in choosing between alternative flow patterns and in assessing their contribution to sustainable urban development.

## 2. Sustainable urban development indicators

Table 2.1 shows the sustainable development criteria and sub-criteria and the indicators associated to each of the sub-criteria which are used to illustrate the methodology. The environmental indicators have been derived based on monetary environmental valuation methods and on commonly used environmental pressure indicators<sup>1, 2</sup>. The employment indicator consists of the number of people employed by the waste treatment activities (including recycling). Each indicator has a weighing factor associated to it indicating its importance or preference in relation to the other indicators. The sub-criteria indicators can be normalised and aggregated to yield an index for each main criterion. These indices can be further aggregated to yield various sustainable development indices depending on the weighing factors.

Main Criteria	Sub-criteria	Indicators
Economic efficiency	Private cost	Private cost per cap. (£/cap.)
	Environmental cost	Environmental cost per cap. (£/cap.)
Resource use	Coal use	Quantity depleted per cap. (t/cap.)
	Oil use	Quantity depleted per cap. (t/cap.)
	Gas use	Quantity depleted per cap. (t/cap.)
	Wood use	Quantity depleted per cap. (t/cap.)
Environmental pressure	Global warming potential	Global warming pot. per cap. (t/cap.)
	Acidification potential	Acidification pot. per cap. (t/cap.)
Social impact	Employment	Number of employed

Table 2.1: Main criteria, sub-criteria and indicators useful for assessing sustainable urban dev.

### 3. A network flow of energy and consumer goods

A network flow<sup>3</sup> can be used to describe a set of resource flows. Our modelling of the energy and consumer goods flows is developed from the Reference Energy System (RES) concept. The RES consists of a reference network flow of energy vectors in which different activity groups and the relations between them are defined<sup>4</sup>. The reference network flow, combining the energy and consumer goods flows, can be optimised using linear programming techniques to satisfy a specific objective function subject to a number of constraints on the flows. Figure 3.1 gives a schematic representation of the energy and consumer goods network flow.

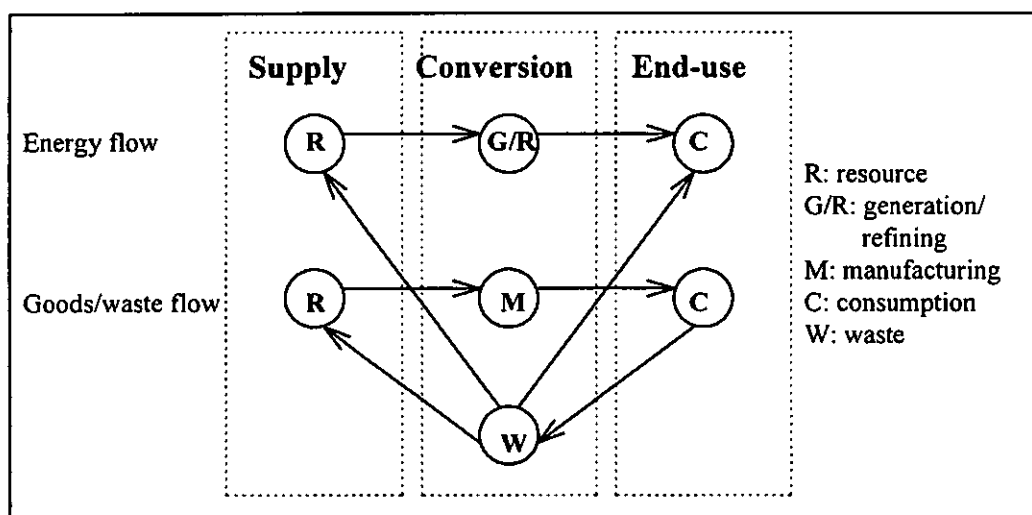


Figure 3.1: The energy and consumer goods network flow

The activity groups (supply, conversion, end-use) contain sets of activities associated with the different flows, as shown in Table 3.1.

	Activity group		
	Supply	Conversion	End-use
Activities associated with the energy flow	Fuels and other energy sources	Generating and refining technologies	Domestic, commercial, transport, etc.
Activities associated with the goods flow	Raw and recovered materials	Manufacturing processes Waste treatment processes	Paper goods, plastic goods, etc.

Table 3.1: Activity groups and activities associated to energy and good flows

#### **4. Example of an urban energy and consumer goods flow: the electricity and paper goods flow.**

##### **The electricity flow**

We have placed little emphasis on the energy flow since extensive work has already been carried out on RES modelling<sup>4</sup>. The energy flow for the urban environment considered has then been limited to the electricity demand supplied by a UK-specific mix of electricity generation<sup>5</sup>.

The links between the energy and consumer goods flows consist of the flows of recovered energy from the waste treatment node towards the supply or end-use node of the energy flow.

##### **The paper goods and waste paper flow model**

Emphasis has been set on the novel part of the network flow represented by the consumer goods and post-consumer waste flow. In particular, the paper goods and waste paper flow has been modelled, and its influence on the energy flow accounted for.

We have assumed that three broad categories of paper goods are demanded and produced: (i) printing & writing; (ii) newsprint; (iii) packaging & board. This implies that the consumer goods flow is divided into three sub-flows.

A fundamental aspect of the flow is the inclusion of the recycling of waste paper. Since there are different grades of paper products, the resulting waste varies in quality. Lower quality products yield waste which, in many cases, cannot be recycled into higher quality products. We have therefore assumed that *cascade recycling* occurs, which means that waste paper can only be recycled towards the product it is issued from or towards lower grade products. The quantity of waste paper recycled towards each category of paper goods is combined with an input of virgin pulp in each of the supply nodes to satisfy the specified demand in paper goods for the city considered.

A combination of technical, economic, environmental and social data is associated to each activity. For example, specific data on the paper production process and on the waste paper treatment options (recycling, composting, incineration and landfilling) is required.

##### **The network flow solution**

The network flow solution consists in optimising the set of activity shares (quantity of electricity from conventional generation, quantity of virgin pulp, quantity of paper recycled, incinerated, composted or landfilled) for an objective function whose variables are the activity shares to be optimised. The objective function is subject to a series of constraints imposed on the flow variables. In our case the constraints are imposed by the demand in energy and goods and by the energy and materials balance equations. The solution of the network flow could, for example, have an economic objective such as the minimisation of the total private, environmental or social costs resulting from the flows within the network. It could otherwise have an environmental objective such as the minimisation of carbon dioxide or other pollutant emissions, or seek to maximise a social objective such as employment. In the present study we have chosen to minimise the private, environmental and social costs, in order to observe how they affect the flows and the sustainable urban development indicators.

## 5. Application of the methodology

In order to prove the viability and usefulness of the methodology defined, the network flow has been solved in the case of a fictitious city of 20,000 inhabitants whose demands for energy and paper goods have been set at values equal to the average per capita UK demands.

The network flow solution has served two main purposes. It has been used to compare different scenarios on the basis of the different indicators calculated, and it has been used to study, within a particular scenario, the sensitivity of the flow variables to the variations of certain cost coefficients.

Three main scenarios have been considered, characterised as follows:

**Scenario 1:** the production of paper goods makes use of non-renewable carbon fuels and causes the depletion of wood resources, thus both the production of paper and the treatment of waste paper are considered to cause disruption in the global CO<sub>2</sub> balance;

**Scenario 2:** waste paper composting, incineration and landfilling are considered CO<sub>2</sub> neutral processes if the wood used in the production of the paper goods comes from sustainably managed forests;

**Scenario 3:** the production of paper goods and the treatment of waste paper are both considered as CO<sub>2</sub> neutral processes if the wood used in the production of the paper goods comes from sustainably managed forests and if the energy used in the production processes is derived from non-fossil fuel sources.

The methodology defined allows to determine the flow patterns for each scenario satisfying specific objectives, and to compare the flow patterns with regard to sustainable development indicators.

The network flow has been solved using a spreadsheet model on Microsoft EXCEL. On the basis of a set of input variables relative to the UK, the following conclusions can be retained:

- In the case of scenario 1, the recycling of all categories of waste paper is the best option for the minimum private, environmental and social cost objectives. The recycling flows towards the different categories of waste paper vary between the private and social cost objective and the environmental cost objective;
- In the case of scenario 2, the recycling of all categories of waste paper is again the best option for the minimum private and social cost objectives. Instead, for the minimum environmental cost objective, a portion of the waste paper is sent to incineration;
- In the case of scenario 3, the recycling of all waste paper is once more the best option for the minimum private cost objective as it is not affected by the changes in scenarios. The best environmental option (based on the externalities considered: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) is to incinerate all waste paper. Other studies have shown that for the UK, where a substantial portion of the paper consumed is imported from countries where it is produced by CO<sub>2</sub> neutral processes, incineration of waste paper may be appealing on environmental grounds<sup>6</sup>. The minimum social cost objective is attained by recycling all waste as in the case of the minimum private cost objective.



The comparison of the main criteria indices, all of them being given equal weight, and of the sustainable urban development indices suggests that the flows satisfying the minimum private or social cost objective for scenario 3 are the ones contributing most to sustainable urban development.

The calculations performed in solving the model allow us to determine the trade-off between private and environmental costs for different objectives. Also, sensitivity analysis can be applied, for example, to determine the effect of the CO<sub>2</sub> externality on the flow of waste paper to incineration (Figure 5.1) or to derive the demand curve for waste paper (Figure 5.2).

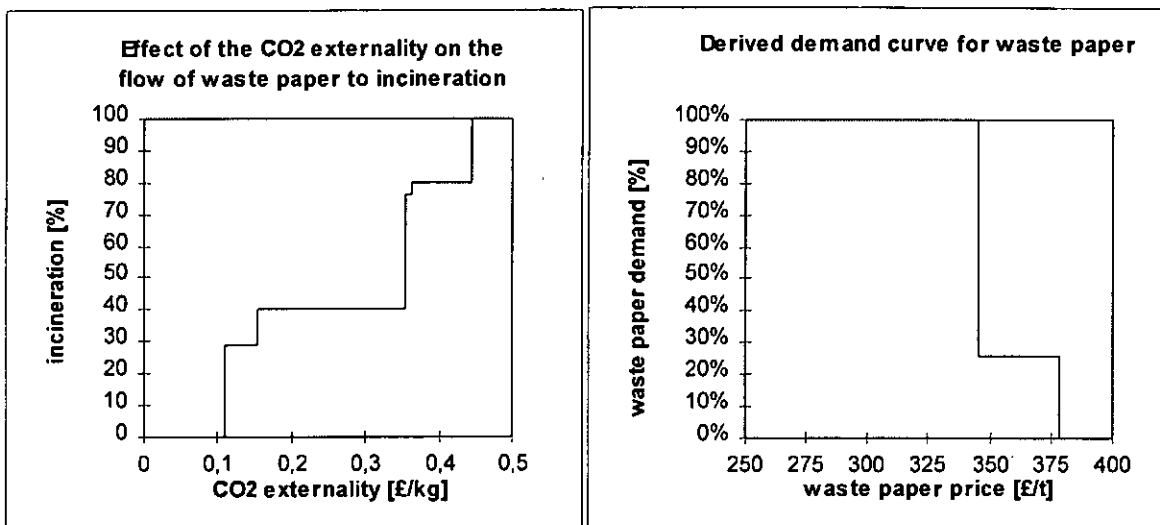


Figure 5.1: Variation in waste paper incinerated as a function of the CO<sub>2</sub> externality (scen. 3, min. soc. cost) Figure 5.2: Derived demand curve for waste paper destined to recycling (scen. 3, min. soc. cost)

## 6. Conclusion

The description of resource flows through cities as a network flow allows to capture essential features of the flows and of the interaction between them useful in assessing and choosing sustainable urban development paths. At present the sustainable development criteria used are not exhaustive, and the normalisation values not meaningful enough, to allow the indices to be taken as absolute values. However, they are useful for comparing different scenarios. Considerable scope exists for both the extension and refinement of the indicators of sustainable urban development and of the network flow.

## 7. References

1. Pearce D., Markanya A. and Barber E. (1989), *Blueprint for a green economy*, Earthscan Ltd, London
2. Heijungs R. et al. (1992), *Environmental lifecycle assessment of products, Guide and Backgrounds*, Centrum voor Milieukunde, Leiden, The Netherlands.
3. Bazaraa M. et al. (1990), *Linear programming and network flows*, John Wiley & Sons, New York.
4. Heaps C. (1990), *A decision support system for energy planning in developing countries*, Ph.D. thesis, Imperial College Centre for Environmental Technology, London.
5. White P., Franke M. and Hindle P. (1995), *Integrated solid waste management - a lifecycle inventory*, Blackie Academic & Professional, Glasgow.
6. Johnson C. (1993), *A lifecycle assessment of incinerating or recycling waste paper*, M.Sc. thesis, Imperial College Centre for Environmental Technology, London.

## **SESSION 2**

### **Le cas de Genève, présentation et discussion des contributions**

## ASPECTS DE CLIMATOLOGIE DES VILLES SUISSES. CAS DE BIENNE ET DES VILLES DU BASSIN LEMANIQUE

J.-A. Hertig  
LASSEN-EPFL

### Résumé

Après avoir rappelé le rôle dramatique qu'a joué, par le passé, la détérioration de la qualité de l'air dans quelques grandes villes, notamment en raison de l'influence des activités humaines par les rejets de chaleur et de polluants. Cette communication présente succinctement les différences entre les zones urbaines et rurales. Il est montré que c'est la variation, parfois opposée, des paramètres qui produit la particularité du climat urbain. La modification de l'état de la surface du sol par les constructions, qu'il s'agisse de la rugosité, des propriétés des matériaux ou de la collecte des eaux de surfaces, provoque une diminution de la ventilation. Dans le cas des villes suisses, les études menées depuis de nombreuses années ont permis de mettre en évidence une influence souvent très importante de la topographie et de particularités très locales.

Les caractéristiques de quelques villes suisses sont présentées succinctement afin de montrer la diversité des situations. Grâce aux techniques de modélisation nouvellement développées, les impacts des mesures proposées pour réduire la pollution atmosphérique peuvent être évalués. Dans une dernière partie, un concept de modèle de prévision des concentrations en milieu bâti sera présenté brièvement.

### 1. Introduction

L'énoncé du terme "climat urbain" suggère les graves problèmes rencontrés dans les grandes métropoles. On pense également à la ville en tant que lieu de résidence et en tant que lieu des émissions.

Les émissions de polluants, puisqu'elles sont situées au même endroit que les récepteurs, vont parfois créer des situations critiques pour la santé de l'homme. C'est sous cet aspect que les effets de la construction des grandes cités sont le mieux ressentis. En effet, comme l'a relevé très justement Rollier, si l'homme des cavernes a dû être la première victime suffocante et toussante de la pollution atmosphérique, il faut attendre le XIV<sup>e</sup> siècle pour voir les premières mises en accusation du charbon qui incommodent les Londoniens. Ce n'est qu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle toutefois qu'une série d'épisodes de pollution excessive débute. A Londres tout d'abord (1873-80-82-91 et 92), par brouillard persistant, l'accumulation des gaz sulfureux, des aérosols acides et des suies provoque une nette augmentation des décès et des maladies pulmonaires. Ces épisodes se poursuivent par les cas aujourd'hui tristement célèbres de la vallée de la Meuse (1930), de Donora (USA) en 1948 et de Londres en 1952. Le monde découvre alors le smog, maladie du chauffage au charbon. Les mesures prises dès cette époque, en particulier la substitution du charbon par le mazout et la désulfuration des carburants, ont permis d'assainir les principales villes du monde industrialisé. Malheureusement, au milieu des années soixante, la Californie découvre le smog photochimique, maladie de l'automobile.

Sous l'influence du rayonnement solaire, les oxydes d'azote et les hydrocarbures imbrûlés sont transformés en ozone, en peroxydes organiques. Ces agents sont responsables de la disparition rapide des magnifiques forêts entourant Los Angeles. Les mesures prises portent sur la réduction de l'activité industrielle, sur l'introduction de filtres et de catalyseurs afin de diminuer les rejets atmosphériques d'hydrocarbures et d'oxydes d'azote.

A la fin des années septante, c'est au tour de Madrid, Barcelone et Athènes de subir des épisodes de stagnation obligeant les autorités à prendre des mesures de restriction du trafic et de l'activité industrielle. Enfin, Téhéran, Mexico, Bilbao et de nombreuses autres villes sont également touchées.

Les phénomènes de climatologie urbaine ont fait l'objet de très nombreuses études menées notamment par Oke (1977-1984) et son équipe depuis le début des années 70, puis par divers auteurs ou institutions (Eriksen, 1980, Hoschele, 1979, Landsberg, 1981, Schmalz, 1987).

En Suisse, plusieurs programmes de recherches ont permis de faire évoluer les connaissances de nos villes de petite taille. Les études majeures ont été effectuées pour les villes de Berne (Abgelegen, 1982, Fuhrer, 1980, GIUB), de Bienne (Wanner et al, GIUB), de Fribourg (Roten, 1979, Nubler, 1979 et Ruffieux, 1984, IGUF), de Bâle (Projets CLIMOD, REKLIP) et de Zurich (Schlatter, 1975, Ohmura, GIEPFZ). Les autres villes ont fait l'objet d'études de leur qualité de l'air dans le cadre de l'établissement des plans de mesures imposés par l'OPair. Ces études ont conduit également à améliorer nos connaissances du climat urbain de Genève (Landry et Cupelin, 1980), Lausanne (Jaccard et al 1976), Sion et Neuchâtel pour les principales villes de Suisse Romande. Nous décrirons ainsi les particularités des villes de Suisse du point de vue du climat urbain et présenterons les résultats de plusieurs des études mentionnées ci-dessus.

Dans une troisième partie nous présenterons le concept de développement d'un nouveau modèle de prévision des concentrations dans les sites urbains.

## 2. Le climat urbain, lieu de très nombreuses interactions

Envisageons tout d'abord les différences entre la ville et la campagne dues à l'action de bâtisseur de l'homme, soit à l'urbanisation. La figure 1 montre les différences entre les paramètres explicatifs des phénomènes.

La première modification concerne l'état de **surface du sol** de la ville qui est constitué par les différents matériaux de construction remplaçant la végétation de la campagne. Ces changements de couleur et de texture vont à leur tour modifier la réflexion du rayonnement solaire sur le sol. Cette propriété est appelée **albédo**. De nuit, l'émission du rayonnement par la surface du sol (**émissivité**) sera également modifiée. Les matériaux de construction ont une **capacité calorifique** différente en ville, généralement plus forte que celle de la campagne. Toutefois, les bâtiments sont de grands volumes vides et la **capacité calorifique globale** de la ville est alors plus faible que celle de la campagne.

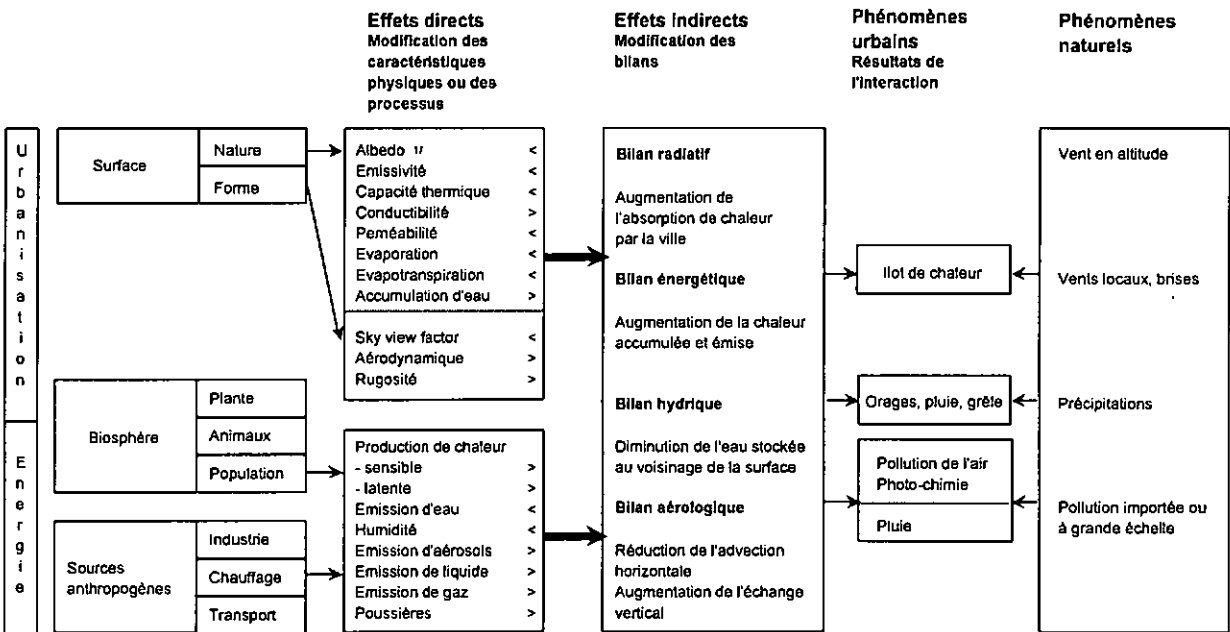
La **conductivité thermique du sol** est également modifiée, le béton et les matériaux des routes conduisent mieux la chaleur que les agglomérats de terrains ruraux. Ceci est dû à la présence des plantes qui jouent le rôle d'isolant thermique.

La création de bâtiments va augmenter la **rugosité du sol** et par conséquent diminuer la vitesse du vent en le freinant plus. Si les constructions sont hautes, on créera même des modifications des vents par action purement aérodynamique, telles que les sillages ou les jets. Le transport et la dispersion de la chaleur seront affectés par cette modification de la morphologie du sol et le bilan énergétique changera.

L'effet des bâtiments va également influencer le bilan radiatif car la surface offerte aux rayons du soleil diminue en raison de leur ombre portée. Oke a ici défini un nouveau coefficient appelé "Sky view factor" qui représente le rapport entre la surface visible du ciel depuis une rue et la surface limitée par l'horizon atmosphérique.

Les matériaux de construction affectent également les propriétés hydriques du sol. La perméabilité du sol et sa porosité sont différentes en ville qu'en campagne. L'évaporation est également modifiée car, pour une surface horizontale donnée, les surfaces en contact avec l'air sont plus faibles sur les bâtiments que sur les plantes.

Comme conséquence de la création de canalisation des eaux de surface, la quantité d'eau stockée et pouvant être réévaporée est plus faible en ville qu'en campagne. En région rurale, l'eau est accumulée en grande quantité dans la zone non saturée du sol et peut être restituée à l'atmosphère par l'évapotranspiration.



<sup>v</sup> La valeur urbaine est plus petite que la valeur rurale

Fig. 1 Tableau des différences observées entre la ville et la campagne, pour divers paramètres

Une première conséquence du changement de la surface du sol est donc la modification des bilans radiatifs, énergétiques et hydriques de l'atmosphère. L'homme, par ses activités et par sa présence, va agir plus ou moins fortement sur le climat urbain. Il a besoin de sources d'énergies pour son chauffage, ses activités industrielles et son transport. Cette consommation d'énergie s'accompagne évidemment d'émissions de gaz de combustion, d'humidité, de chaleur et de bruit. L'émission de chaleur contribue de manière notable à modifier le bilan énergétique. Les émissions d'aérosols, de poussières et d'humidité peuvent affecter les bilans radiatifs et hydriques.

Ces bilans modifiés interagissent alors avec les phénomènes naturels de manière à induire les phénomènes urbains suivants :

- L'îlot de chaleur est issu de l'action conjuguée du bilan radiatif qui conduit, de jour, à une augmentation de la température de la ville sous l'effet du rayonnement solaire direct, et du bilan énergétique qui, à la tombée du jour, maintient une température plus élevée en ville qu'en campagne. Enfin, ce sont les rejets de chaleur anthropogène qui, en hiver, provoquent une élévation de la température en fin de nuit (Huchteon et al 1967).

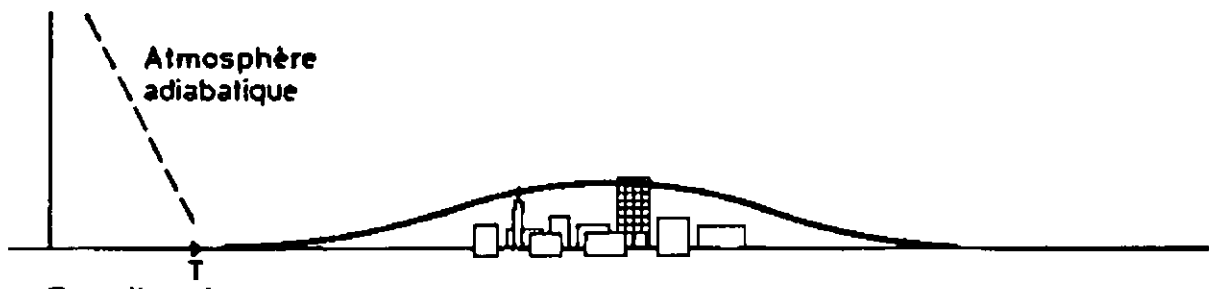
- Des précipitations apparaissent parfois en dessus d'une ville ou juste sous le vent de celle-ci, sous forme d'orage, de pluie ou même de grêle. Cela est dû à l'action conjuguée de l'îlot de chaleur et de la rugosité qui repoussent en altitude les masses d'air passant sur la ville. (Achtmeier, 1983, Changnon, 1981).
- En bord de mer, il y a création, au-dessous du vent en altitude, de l'alternance bien connue des brises de terre et de mer. Ces vents locaux, d'origine thermique, viennent généralement favoriser la ventilation d'une région et sont admis comme un élément favorable à l'amélioration de la qualité de l'air. Pratiquement, ce n'est pas toujours vrai. Dans le cas de Barcelone ou de Bilbao par exemple, les brises sont un facteur aggravant car elles permettent par leur mouvement pendulaire de ramener au-dessus de la ville la pollution émise douze ou vingt-quatre heures avant.

Dans le cas d'une ville située en topographie plus complexe, il y a également création de brises de pentes et de vents de vallée ou de montagne dont le régime pendulaire, associé à la canalisation, peut fort bien induire des conditions critiques aiguës du point de vue de la qualité de l'air. Ce sont ces dernières situations qui sont les plus intéressantes pour la Suisse.

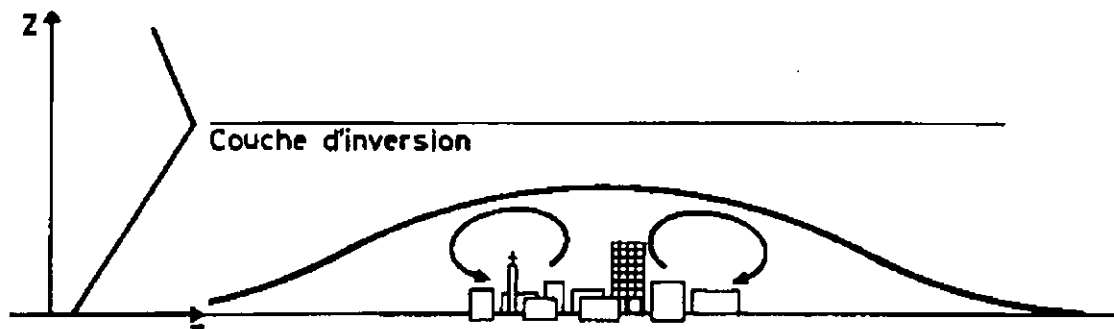
### 3. Mécanismes de réduction de la ventilation

Il est facile de comprendre que les problèmes les plus aigus apparaissent lorsqu'une interaction entre les écoulements régionaux et la ville conduit à une stagnation des masses d'air au-dessus de celle-ci, supprimant toute dispersion. L'analyse des épisodes catastrophiques européens décrits en introduction montre que souvent c'est la conjonction entre une haute pression hivernale, sans vent en altitude, un froid intense et une persistance de plusieurs jours qui forment les conditions critiques. Celles-ci sont accentuées si la ville est construite dans une faible dépression de la topographie, comme c'est le cas de Londres.

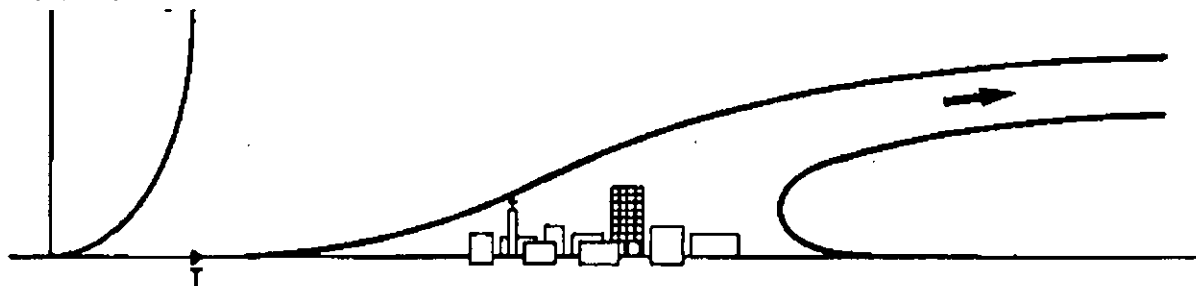
L'îlot de chaleur mentionné ci-dessus se manifeste principalement par la présence de calme, de cellules convectives, (Hertig, 1981). Des expériences sur maquettes ont fait apparaître plusieurs types de cellules convectives:



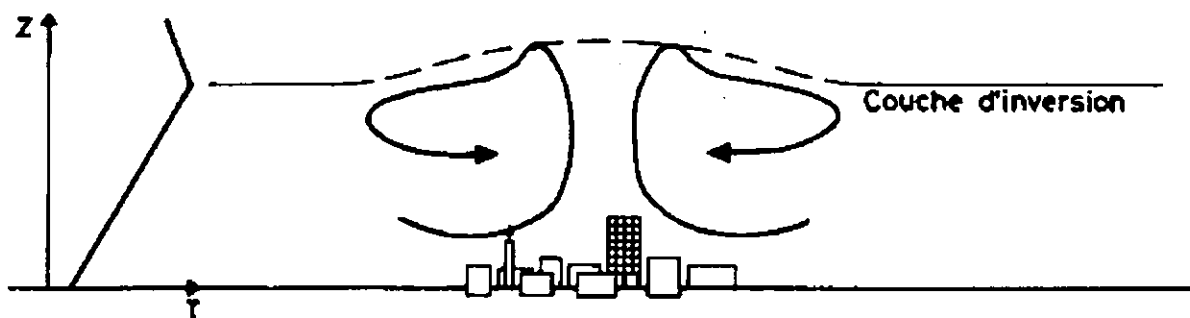
- une cellule formée par un dôme pratiquement immobile isolé du reste du milieu.



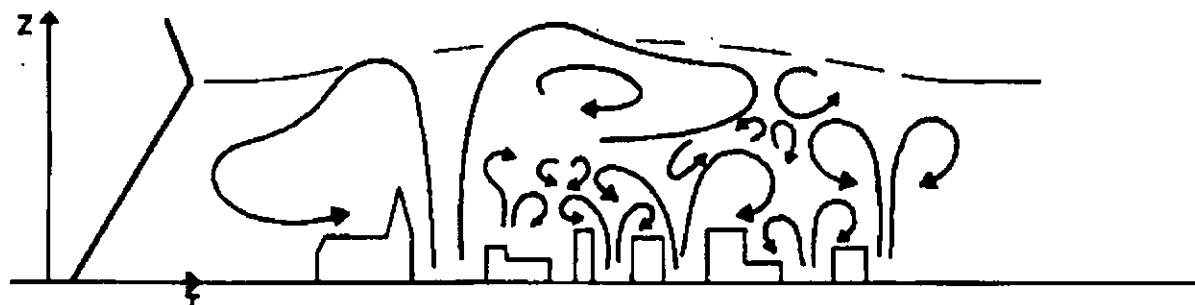
- Le dôme de Oke qui est un cas particulier de cette cellule dans laquelle il y a formation d'un tore convectif.



Si la vitesse du vent est suffisamment forte pour casser la cellule convective il y a formation d'un panache.



Si par contre la différence de température entre la campagne et la ville croît il y a apparition, pour les très petites villes, de grandes cellules convectives.



Dans le cas de villes de taille moyenne il n'y a pas de cellules convective uniques. Le rapport de la largeur sur la hauteur est trop grand et la cellule devrait être trop aplatie pour

exister. Il se produirait plutôt une multitude de cellules complexes ou une circulation à deux flux parallèles très rapprochés.

La figure 3 montre la configuration de cellule convectives lorsque la dimension de la surface augmente (représentée sur l'axe vertical par  $L_s$ ) et lorsque la différence de température augmente (représentée sur l'axe horizontal par  $Ra$ ). (Giovannoni, 1986).

Ces arrangements complexes des écoulements dépendent de l'intensité de l'îlot de chaleur, de la taille de la ville, de la morphologie de la région, de la vitesse des vents en altitude, de la structure du bâti urbain et des niveaux d'inversion. Ces situations sont extraordinairement complexes mais conduisent toujours à une diminution de la ventilation de la ville, donc à une situation potentiellement défavorable pour la qualité de l'air.

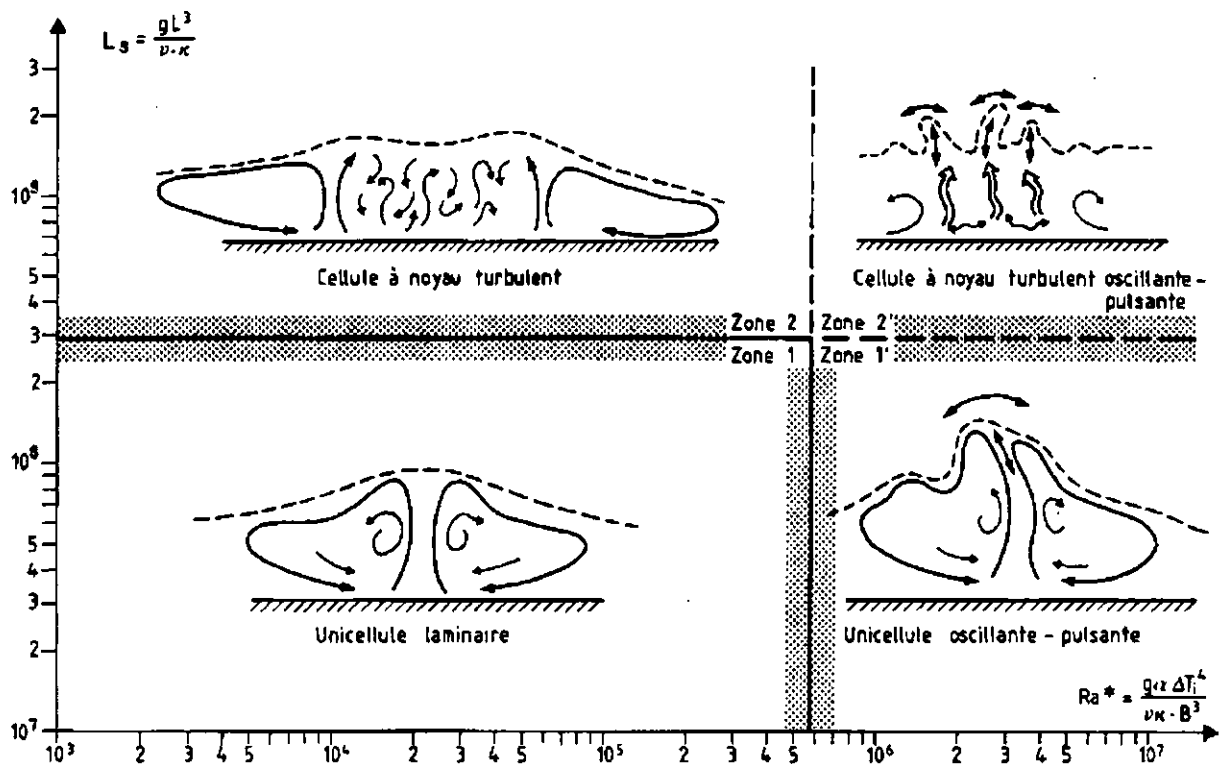


Fig. 3 Îlot de chaleur urbain influence de la taille de la surface ( $L_s$ ) et l'augmentation de la différence de température ( $Ra^*$ ) sur la forme des cellules.

#### 4. Particularité des villes suisses

Du point de vue du développement urbain, la Suisse n'a pas de très grandes agglomérations. Toutefois la plus grande partie de la population (2/3) est établie sur le Plateau suisse. Elle réside principalement dans les agglomérations de Zurich, Bâle, Berne, Lausanne et Genève qui regroupent plus d'un million d'habitants.

La topographie suisse est en outre complexe, formée de vallées, collines, du Jura et des Alpes. On notera la présence de nombreux lacs et cours d'eau.



Les villes Suisses se sont bâties à l'origine en des endroits agréables, sur des versants exposés au sud et protégés le plus possible des vents violents ou des vents locaux froids. Ces endroits sont donc mal ventilés par définition.

Il a été reconnu que l'intensité des îlots de chaleur urbains suisses est relativement faible; comme le montre le tableau ci-dessous, elle ne dépasse pas 7° C en été.

Cette valeur est en bon accord avec les théories de Oke et les mesures faites dans d'autres villes étrangères. La combinaison de ces faibles écarts de température avec l'influence de la topographie devrait théoriquement conduire à une ventilation efficace des villes suisses.

Malheureusement, de nombreux cas de pollution atmosphérique urbaine ont été relevés. Cette situation étonnante provient d'une part de la structure en canyon relativement encaissée et étroite des tissus bâtis, et d'autre part de l'influence du vallonnement qui peut favoriser la création de lacs d'air froid.

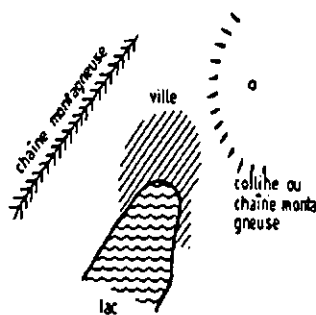
Très schématiquement on peut décrire la situation des villes suisses de la manière suivante:

Les deux grandes chaînes montagneuses ont pour effet de réduire, au voisinage du sol et en moyenne, l'intensité des vents provenant des différents régimes synoptiques. Elles canalisent les vents généraux en produisant la bise du Nord-Est et le Vent du Sud-Ouest caractéristiques de Suisse.

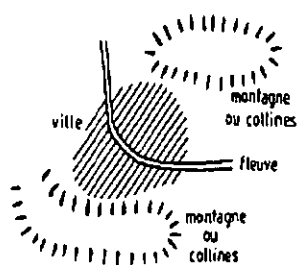
Ces montagnes sont aussi, à l'origine d'écoulements régionaux d'intensité modérée à forte, tels que les brises de pente et vents de vallée. Il est fréquemment observé que ces écoulements régionaux sont isolés ou découplés des écoulements en altitude. Par conséquent, l'influence des zones urbaines (rugosité, rejets de chaleur, cellules de convection) se fait sentir essentiellement sur ces écoulements régionaux et provoque des blocages et des zones de stagnation. Ces phénomènes peuvent apparaître malgré de faibles écarts de température horizontaux, car l'intensité des vents est en moyenne plus faible en Suisse qu'en terrain plat. D'autre part, il convient d'insister sur la présence fréquente en Suisse d'inversions de température au sol, condition évidemment favorable à la création des cellules convectives stables, caractéristiques des îlots de chaleur .

Il y a également la création d'un lac d'air froid épais pouvant s'étendre sur l'ensemble du Plateau suisse. Ce lac d'air froid peut apparaître toute l'année, mais il n'est bien visible qu'en hiver par la présence d'une mer de brouillard. Par situation météorologique de haute pression hivernale, cette mer de brouillard peut persister une dizaine de jours. Il y a donc là une situation potentiellement critique du point de vue de la pollution de l'air à l'échelle de la Suisse.

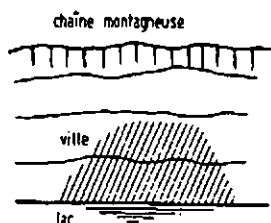
Partant de l'hypothèse que la topographie est, en Suisse, le facteur dominant dans les particularités de la climatologie urbaine, nous présentons à la figure 1.23 une classification des grandes agglomérations suisses qui regroupe environ 3 millions d'habitants. Nous proposons une décomposition en quatre catégories:



*La première* est celle des plus grandes agglomérations qui sont situées à l'extrémité d'un grand lac et exposées aux écoulements provenant des chaînes de montagnes et de vallées adjacentes. Cette catégorie, avec 1,4 Mio ha, regroupe pratiquement la moitié de la population des grandes agglomérations suisses.



*La deuxième* regroupe les villes situées à l'extrémité de grandes vallées, généralement sur un coude ou une boucle du fleuve ou de la rivière considérée. Dans ce cas, la ville est construite sur de nombreuses collines et vallonnements, il y a interaction avec les vents de la grande vallée en amont. Cette catégorie, avec 0,9 Mio ha, regroupe un tiers des habitants des villes. Ainsi les 3/4 des habitants se trouvent concernés par ces 2 catégories.



*La troisième* catégorie contient les villes construites en terrasse face à un lac, caractérisée par une pente générale exposée au sud et par la présence de quelques collines et vallées.



*La quatrième* catégorie regroupe les autres grandes villes de Suisse situées dans une dépression de terrain ou en terrain plat mais sous l'influence de massifs montagneux proches. Les villes de cette catégorie ne sont pas soumises à l'influence de plan d'eau ou de grandes rivières.

Arrêtons-nous un instant sur la morphologie caractéristique de ces grandes villes.

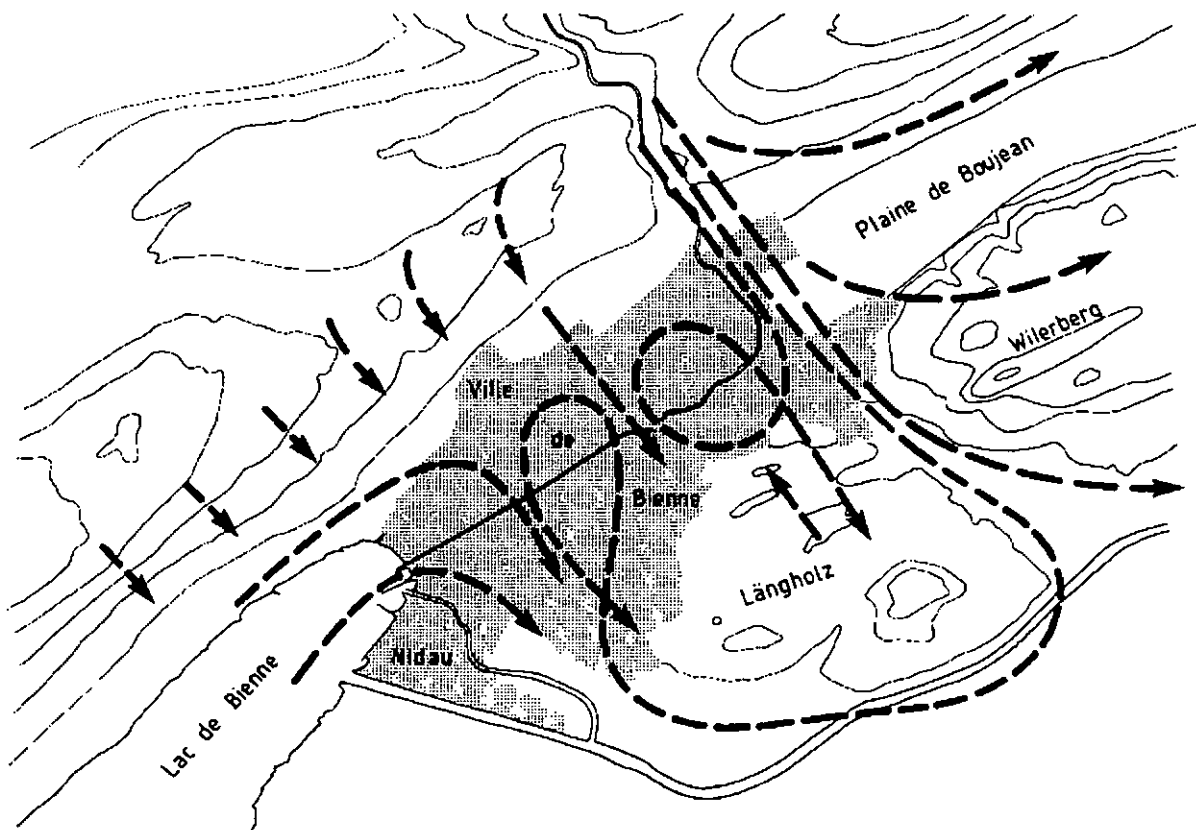
Les villes ci-dessus peuvent être inscrites approximativement dans quelques formes géométriques très simplifiées. Le pentagone irrégulier convient pour la majorité des villes. Le rectangle, le carré, le trapèze et le cercle contiennent toutes les autres. Cette approximation géométrique est importante pour pouvoir juger de l'interaction entre l'îlot de chaleur urbain et les écoulements régionaux. De ce point de vue également, l'orientation relative des villes, des lacs et des montagnes ainsi que l'exposition aux vents dominants en Suisse sont très importantes.

Nous devons aussi définir des situations tenant compte de l'interaction possible entre l'îlot de chaleur urbain et les écoulements. Le premier cas est représentatif du secteur de vent formé d'une ville en terrain plat pouvant freiner l'écoulement en couche limite. Les autres cas concernent les diverses combinaisons possibles entre la présence d'un lac, de montagnes et de vallées qui peuvent se trouver sur le parcours du vent en altitude.

Pour chaque secteur de vent en altitude il est dès lors nécessaire de classer les villes dans une des situations typiques. En attribuant ensuite une valeur numérique à l'aspect critique de chaque situation, on peut créer ainsi une sorte de hiérarchie entre les villes suisses du point de vue de la qualité de l'air.

#### 4.1 Ilot de chaleur à Bienne

Comme la ville de Bienne est située sur le plateau Suisse, la création d'un îlot de chaleur est subséquente à celle d'une inversion de température dans une masse d'air calme, voire immobile au voisinage du sol. Cette condition correspond à une situation de haute pression et en hiver l'inversion peut persister toute la journée.



Durant la période de refroidissement du sol, les brises de pentes sont faibles.

Les Préalpes et les Alpes créent une alimentation en air froid du Plateau. Le drainage de l'air froid dans le Vallon de St-Imier se sépare en deux bras, l'un passe par-dessus le Pierre Pertuis dans la vallée de la Birse et l'autre crée, via Reuchnette, le vent du Taubenloch, une gorge étroite débouchant du Jura sur la ville de Bienne.

La reproduction de cette situation sur une maquette à l'échelle 1/25'000 : 1/10'000 montre que l'influence d'un échauffement de 1 à 3°C de la surface de la ville provoque une déviation des écoulements au sol du Taubenloch en direction de la ville et la création d'une cellule convective.

En augmentant l'intensité de l'îlot de chaleur jusqu'à 6°C, on observe une forte convection : si le vent en altitude est quasi nul, le vent du vallon de St-Imier déborde par-dessus le Evilard, jusqu'au pied de Macolin. L'îlot de chaleur aspire l'air provenant du Taubenloch ainsi qu'une brise de pente provenant de Bienne-Mett au sud. Le débordement par-dessus Evilard est dévié en altitude, il traverse la ville et se prolonge loin sur le Plateau suisse, entraînant l'air de la partie supérieure de la cellule convective.

En augmentant la stratification de l'air, en particulier le refroidissement des flancs du Jura, on observe en plus, une déviation de l'écoulement du Taubenloch, en direction de Granges - Soleure et la formation d'une zone de stagnation au-dessus du champ de Boujean.

Deux phénomènes intéressants ont pu être mis en évidence :

- La cellule convective n'est plus symétrique sur le modèle topographique. La partie située entre le centre de la ville et le Jura est bien fermée, alors que la partie située du côté du Plateau suisse tend à s'étaler sous la couche d'inversion sans fermer la cellule. Du point de vue de la pollution, la cellule fermée représente évidemment le cas le plus défavorable.
- Lorsque le Soleil éclaire le flanc Sud du Jura, une brise montante prend naissance à la surface du sol, où l'inversion tend à se créer. Cette brise induit une cellule complémentaire à celle de l'îlot de chaleur créant, au niveau du sol, une zone de calme à l'intersection des deux cellules. Ceci pourrait expliquer la pointe de pollution observée à l'hôpital lors de la période considérée. En effet, la position de l'hôpital sur le modèle coïncide justement avec cette zone calme.

En outre, l'observation des divers écoulements reproduits conduit à penser que les cellules simples, représentées par le dôme, sont toujours présentes. L'augmentation de la taille des modèles conduit à la simulation d'un nombre toujours plus grand de ces cellules, qui voisinent et interfèrent. C'est donc la combinaison de ces cellules qui fait la caractéristique macroscopique de l'îlot de chaleur.

#### **4.2 Influence de l'îlot de chaleur de Bâle sur les écoulements régionaux**

La ville de Bâle est située sur un coude du Rhin, au confluent de plusieurs vallées et aux portes de l'Alsace. Cette situation particulière, formant une sorte de verrou, rend les écoulements régionaux particulièrement sensibles aux influences de l'îlot de chaleur.

Dans le cas de vents en altitude modérés à forts et avec une faible stratification stable, l'air de l'îlot de chaleur est entraîné. L'énergie des cellules convectives est insuffisante pour altérer l'allure des écoulements au sol. Dans ce cas, la rugosité et les rejets de chaleur s'associent simplement pour freiner la vitesse des écoulements, ce freinage sera d'autant plus fort que l'îlot de chaleur est plus intense.

Dans le cas où les vents en altitude sont de faible intensité, ils autorisent la formation du vent de vallée. C'est ce dernier qui est en contact avec le sol plus chaud et avec la plus forte rugosité de la ville.

Dans ce cas, le vent au sol ralentit également et le flux tend à passer par-dessus la ville. Si le vent de vallée interagit contre le vent en altitude, il peut le freiner ou même l'emporter avec lui, comme le montre la partie inférieure de la figure.

L'influence de l'îlot de chaleur sur les brises est fonction de la persistance et de leur intensité, elle-même fonction de la différence de température du sol entre le jour et la nuit, appelée perturbation de température. Si cette perturbation de température est forte et si le vent en altitude est faible à nul, la brise sera forte et on ne sentira pas l'effet de l'îlot de chaleur. La figure de la page suivante montre que dans ce cas un blocage à Bâle ne pourra apparaître que lors des renverses et ne durera que quelques minutes.

A l'opposé, si le vent est fort, il ne permettra pas la création de la brise de vallée et il n'y aura pas de persistance de l'îlot de chaleur au-delà des périodes où la brise freine le vent en altitude soit de 1 à 2 heures par jour.

Pour qu'il y ait une longue persistance de la stagnation et de l'îlot de chaleur, il faut une situation sans vent en altitude accompagnée de nuage, telle que la perturbation de température reste faible. Cette situation est très rare.

### **4.3 Ilot de chaleur au-dessus de Fribourg**

La ville de Fribourg est située dans une boucle de la Sarine et dans une région très vallonnée mais dont la surface moyenne est quasi horizontale. La Sarine prend sa source dans le massif des Diablerets. Après avoir traversé la vallée de Saanen et le Pays d'en Haut vaudois, la Sarine fait un coude à angle droit à Montbovon au début de la vallée de la Haute-Gruyère. Cette vallée, d'orientation Sud-Nord, est bordée des sommets des Préalpes fribourgeoises, chaîne de la Dent-de-Lys à gauche (2000 m environ) et chaîne du Vanil Noir (2300 m) à droite.

Le fond de la vallée est à 830 m. Dans la région de Bulle, deux vallées adjacentes, la Jogne à droite (Jaun) et la Trême à gauche, viennent rejoindre la vallée de la Sarine avant qu'elle ne s'élargisse sur le lac de Gruyère. Au Nord, à partir de Rossens, la topographie devient un plateau très fortement vallonné.

La Sarine fait de nombreux méandres et, en amont de Fribourg, elle reçoit les vallées de la Glâne à gauche et celle de la Gerine à droite. A Fribourg, c'est la vallée de Gottéron qui rejoint celle de la Sarine à droite et, plus au Sud, cette vallée s'élargit à nouveau sur le lac de Schiffenen.

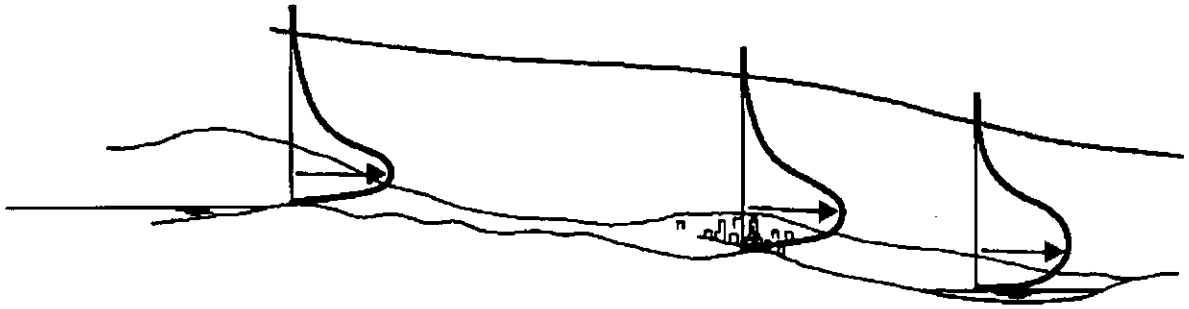
Dans la situation de vents faibles en altitude des secteurs Sud-Ouest, Ouest et Nord-Ouest, associée à une forte inversion sur le Plateau suisse, il y a création de vent de montagne dans la vallée de la Haute-Gruyère. Ce vent local n'est que faiblement perturbé par le vent en altitude en raison de sa direction croisée et il se prolonge le long de la vallée de la Sarine jusqu'à Fribourg.

Lorsque l'on ajoute l'influence de l'air froid stagnant sur le Plateau suisse et en particulier l'apport d'air froid de la vallée de la Broye, il y a formation d'un lac d'air froid bloquant le vent de montagne. En effet, cet apport d'air froid prend un mouvement montant à Fribourg car l'altitude de la ville, 530 m, est de 250 m inférieure au niveau du lac d'air froid qui recouvre toute la région vallonnée.

Le vent de montagne et son débouché sur le lac de Gruyère (877 m), rencontrent cette masse d'air froid et s'étalent sur une grande surface au lieu d'être canalisés dans la vallée. C'est l'absence de la pénétration de l'air dans le fond de la vallée de la Sarine qui conduit à une forte diminution de la vitesse de l'écoulement. Il subsiste à Fribourg une faible vitesse de 2-3 m/s

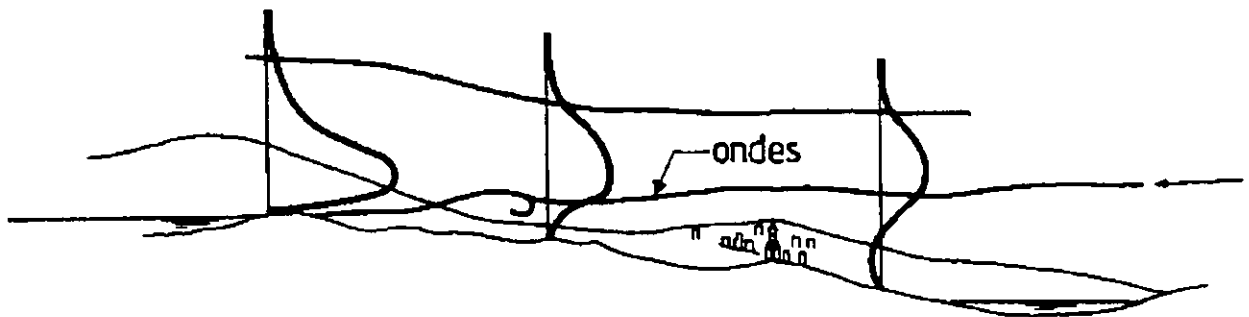
descendant la vallée (160°) entre 600 et 800 m. En altitude le vent est du Sud Sud-Ouest (200-220°).

Deux cas intéressants d'interaction sont présentés ici dessous:



Lorsque le vent descend au sol la vallée de la Sarine, la cellule convective est déplacée vers l'aval et persiste dans la région du nord de la ville.

Lorsque le vent au sol remonte la vallée, principalement sous l'effet de l'influence de l'air froid provenant de la Broye, deux cellules convectives apparaissent et provoquent une situation de calme relativement forte au centre de la ville, dans les quartiers de la gare et de Pérolette, par exemple.



Dans cette situation, typique des situations hivernales à Fribourg, les vitesses des écoulements au-dessus de la ville sont faibles.

Par conséquent, toute différence de température horizontale peut être source de circulations typiques de l'îlot de chaleur urbain. En raison de la forte stratification thermique régnant dans l'inversion, l'ampleur verticale de l'influence de l'îlot de chaleur sera limitée.

#### 4.4 Climatologie de Genève, quelques considérations topographiques

Situé au confluent de l'Arve et du Rhône, entre le Jura et le Salève, le bassin genevois est à la fois encaissé, fermé par trois reliefs importants (Salève, Vuache et Jura), et ouvert sur le lac Léman et la vallée de l'Arve. Au Sud Ouest le Rhône passe dans un défilé étroit (Fort de l'Ecluse) avant de rejoindre une autre région topographiquement cloisonnée s'étendant de Bellegarde à Chambéry.

Ces conditions topographiques complexes rendent la climatologie régionale hétérogène, formée de parcelles. On distingue au moins quatre bassins, de caractéristiques particulières, plus ou moins connues.

La région du pied du Jura, du Canton de Vaud au Fort de l'Ecluse près de Bellegarde, présente un climat typique du pied du Jura. A la charnière entre la zone des vents dominants, Bise et vent d'ouest, soumise aux brises de montagne et aux petits coups de Joran, cette région est bien ventilée. Elle est aussi bien connue, car la météorologie de l'aéroport y est représentative.

La région du bord du lac, rive droite, longeant la gare (Quartier des Pâquis) est moins bien ventilée et est soumise essentiellement aux vent dominants freinés par la structure du tissus bâti.

Elle est à opposer à la région du bord du lac rive gauche, comprenant les quartiers des Eaux-Vives jusqu'aux Rues Basses. Cette région est particulièrement exposée à la bise et aux vents locaux provenant des collines de Vieille Ville et des hauts des Eaux-Vives jusqu'à la limite d'Annemasse. Dans ce secteur les vents locaux gouvernent la ventilation qui se produit dans un sens perpendiculaire au lac.

D'un tout autre caractère est le quartier de Plain Palais, des hôpitaux à la zone industrielle du Port Franc. En dépression et entourée de collines, cette région est caractérisée par son calme, son climat agréable et sa relativement plus faible ventilation. C'est aussi dans ce secteur que l'on observe les maxima de concentration en polluants.

Suite à l'influence du Salève et de la vallée de l'Arve, les vents régionaux limitent la persistance de la stagnation de l'air.

De plus, comme elle est située à l'extrémité du bassin lémanique, par Bise légère de beau temps, il y a accumulation, dans le bassin genevois des polluants provenant du bassin lémanique.

Cette description de l'influence des structures topographiques sur la ventilation régionale met en évidence les deux conditions d'exposition opposées des différents quartiers de Genève. Plus que dans toute autre ville de Suisse des études de climatologie urbaine devraient être entreprises afin de mieux cerner les interactions possibles entre le développement urbain et l'évolution de la qualité de l'air. En effet aucun modèle simple ne permet d'appréhender de manière utile la situation complexe et particulière de Genève.

#### **4.5 Lausanne, le cas de la Place de la Gare**

La ville de Lausanne, de par sa situation et par sa pente devrait être très exposée aux vents dominants, en particulier au vent du Sud-Ouest. Toutefois, le site de la cathédrale et de la vieille ville a été retenu par nos ancêtres car il est particulièrement peu exposé aux vents dominant. Une analyse plus attentive de la topographie met en évidence la position de Lausanne, à la charnière entre le plateau Suisse et le prolongement de la plaine de l'Orbe par la vallée de la Venoge, et les coteaux Est du bassin lémanique. Les premiers reliefs du Jora, dans la région du Mont-sur-Lausanne et du Châlet-à-Gobet partagent le vent du Sud-Ouest, il est d'une part canalisé par la plaine ouverte du bassin de la Venoge, de la baie de Morges en direction du plateau Suisse et d'autre part dévié plus ou moins parallèlement aux coteaux du Lavaux. Ce partage du vent du Sud-Ouest est situé au sol à Ouchy et conduit à une réduction très sensible de l'intensité de ce vent au-dessus de l'agglomération lausannoise. Le relief local de la vallée du Flon et des petits plateaux de la gare, de St. François, de la région Riponne - Tunnel et de la Cité diminuent aussi l'exposition aux vents.

A l'opposé, les reliefs du Jora canalisent la Bise dans la vallée de la Venoge où elle est très sensible, et provoquent un décollement de l'écoulement aux sommets qui laisse Lausanne dans le sillage plus faiblement exposé à cette bise. Elle est très marquée dans la région de la

Blécherette, par contre elle souffle très irrégulièrement et de deux directions très particulières, Nord-Ouest et Est-Nord-Est à Ouchy.

Les brises de pentes descendantes de nuit ou montantes de jour sont fréquentes et perceptibles au-dessus de toute l'agglomération lausannoise. De ce point de vue, cette agglomération est généralement bien ventilée. Localement la situation peut être plus critique, c'est notamment le cas sur la Place de la Gare.

Les observations des écoulements, faites sur une maquette ont montré que la Place de la Gare jouissait d'une assez bonne ventilation. Par vents du Sud-Ouest on observe des augmentations de concentrations indiquant une plus mauvaise ventilation. Il y a formation d'un tourbillon et d'une circulation de l'air derrière le bâtiment de la Gare ramenant, au sol, les polluants du centre de la place à son bord Sud. Dans le cas de vents relativement forts des secteurs Sud à Sud-Ouest, les ouvertures formées par l'Avenue Fraisse à l'Ouest de la Place et celle existant entre le bâtiment de la Gare et celui de la Poste à l'Est permettent une augmentation de la vitesse au sol sur la Place de la Gare. Cette plus forte vitesse au sol bloque la formation du tourbillon de sillage derrière le bâtiment de la Gare. Les polluants sont repoussés alors au Nord de la Place ou ils provoquent une augmentation notable des concentrations.

Par situation de vent d'Ouest, la place et les avenues sont très mal ventilées et c'est pour ce secteur de vent que les immissions observées sur la maquette sont les plus fortes. De plus, les polluants sont repoussés à l'Est, dans l'Avenue de la Gare qui importe ainsi une part importante des polluants émis sur la Place de la Gare.

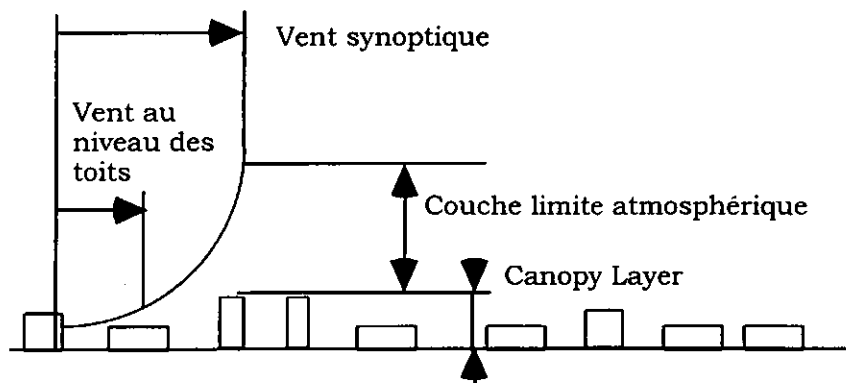
Par bise (vent du secteur Nord-Est), la dispersion semble la meilleure, les concentrations observées sur la maquette sont les plus faibles de tous les secteurs. C'est aussi le cas en présence des brises de pente qui produisent aussi un déplacement des maxima de concentration au Sud de la Place de la Gare.

## **5. Bases d'un modèle de prévision des concentrations de polluants en ville**

La complexité du tissu bâti et le rôle des bâtiments, des rues et de la topographie sur les régimes d'écoulement atmosphérique est ainsi très important, mais très difficile d'approche par des méthodes simples. Le recours aux modélisations sur maquette ne permet que de traiter les cas particuliers les plus importants et n'autorise pas une généralisation simple. Placé face à cette complexité le climatologue ou l'hygiéniste de l'air sont conduits à effectuer des évaluations qualitatives ou à effectuer de prévisions d'immissions entachées d'incertitudes très importantes. Les divers modèles utilisés pour effectuer ces prévisions d'immissions sont inadaptés à la situation de la ville.

La méthode décrite ici déjà appliquée des quelques cas repose sur un concept mixte incluant les connaissances de la couche limite atmosphérique et celles de la canopy Layer. La figure ci-dessous montre comment se développent les écoulements au-dessus d'une région bâtie. On distingue tout d'abord les vents en altitudes appelés vents synoptiques. Ces vents soufflent à une altitude supérieure à 1000 m/sol, ils ne sont influencés que par les reliefs régionaux et par ceux du Jura, des Préalpes et des Alpes. Ces vents peuvent être simulés par les modèles numériques à Mésos-Echelles.





Décomposition entre les différentes couches au-dessus et dans le tissu bâti d'une ville

Au-dessous, on voit la formation de la couche limite atmosphérique, pour sa partie dynamique elle est due à l'influence des rugosités. Comme en Suisse il y a de fréquents changements de rugosités la couche limite dynamique n'est pas en équilibre, elle est encore en phase de développement et est formée de plusieurs couches limites superposées. Pour sa part thermique, la couche limite est le résultat des interactions entre la stratification thermique, la formation des brises et des vents locaux qu'elle induit et celle de lacs d'air froid ou d'inversions de température. L'ensemble de ces phénomènes demande une technique de simulation à Méso-Echelles très particulière eu égard à la taille des mailles nécessaires de quelques mètres en altitude et de l'ordre de 100m en échelle horizontale. Une fois les vents ainsi calculés il est possible de calculer les concentrations en polluants. Toutefois ce calcul ne pourra fournir que les valeurs au niveau des toits et devrait partir des émissions calculées à ce niveau.

En-dessous encore, c'est le domaine du canyon urbain. On a pu montrer que ce dernier pouvait se comporter de deux manières très différentes. Si le tissu bâti est formé de bâtiments de même taille, assez petites, espacés et disposés relativement régulièrement, le vent se comportera comme dans une forêt ou dans un champs et formera ce qu'il est convenu d'appeler une Canopy Layer. La formulation de ce cas est relativement bien connue et la concentration en polluants peut être calculée sans trop de difficultés. Si par contre le tissu bâti est formé de rues le long desquelles les constructions sont contiguës et interrompues que dans les carrefours ou les jonctions avec d'autres rues, si de plus les rues ne sont pas régulières ce qui est le cas le plus fréquent des centres villes de Suisse, alors les vents sont plus ou moins canalisés et l'écoulement dans les rues est plus proche de l'écoulement dans un réseau de canalisations. On peut imaginer ici un réseau de canaux à ciel ouvert. L'analogie avec un réseau hydrographique peut être poursuivie si l'on prend en compte l'influence de la stratification thermique stable. Dans ce cas ce n'est pas de l'eau qui coule dans les canaux mais de l'air froid ce qui revient au même. Les écoulements sont au niveau des toits par les vents dominants. Cet entraînement se manifeste sous plusieurs formes, le frottement et la mise en mouvement des écoulements dans les rues, l'échange de masses entre la couche-limite et la rue, c'est à dire l'exportation des polluants émis dans la rue ou réciproquement l'importation des polluants de la couche limite dans la rue, la formation de circulations d'air dans la rue et la formation de véritables rouleaux dans les rues perpendiculaires aux vents dominants. Ces rouleaux bloquent à leur tour la circulation longitudinale dans les rues parallèles à la direction du vent.

Le transport des polluants se fait, dans le cas de canaux d'une rue à l'autre et les concentrations observées ne dépendent plus uniquement de ce qui se passe dans la rue

considérée mais plus loin dans les rues adjacentes. On doit alors tenir compte de l'importation de polluants d'une rue dans l'autre.

Il est bien entendu que ces phénomènes peuvent être reproduits par les essais sur maquette. Il est alors possible de déterminer des matrices d'influences de rues ou des émissions qui s'y produisent sur les concentrations dans les rues voisines, voire plus lointaines.

## 6. Conclusions

Les conditions topographiques et les conditions particulières de la climatologie de la Suisse peuvent conduire à des situations critiques pour la qualité de l'air dans nos villes. Ces conditions, liées notamment à la formation d'îlot de chaleur urbain, peuvent même se rencontrer pour des villes de petites tailles, ceci contrairement à ce qui pouvait être supposé par transposition des connaissances acquises à l'étranger pour de très grandes agglomérations.

Grâce aux travaux de divers groupes de recherches, il a été montré que de telles situations sont susceptibles de se produire dans toutes les villes de Suisse. Il nous semble nécessaire de poursuivre les investigations et les efforts entrepris afin de mieux documenter les caractéristiques de nos villes et surtout de se pencher sur la situation particulière de chaque quartier ou chaque région de nos agglomérations soumises à des conditions climatologiques différentes.

Malgré la complexité de la climatologie urbaine il est possible déjà aujourd'hui d'effectuer une prévision de l'évolution de la qualité de l'air en fonction des stratégies proposées. Les techniques de simulations développées doivent toutefois encore être perfectionnées, notamment un lien plus étroit doit être créé entre les simulations simplifiées et les modélisations complexes, numériques ou physiques sur maquette.

De plus, diverses perspectives sont offertes par de nouveaux concepts afin de tenir vraiment compte des caractéristiques locales très particulières.

## Remerciements

Nous remercions le Fonds National Suisse de la recherche scientifique qui nous a octroyé plusieurs subsides pour une part importante des travaux mentionnés (Crédits No.7.889-0.80 et No. 7.863-0.80). Ces travaux sont aussi le fruit de plusieurs collaborations notamment avec le Prof. Heinz Wanner (Institut de Géographie, Université de Berne,) et le professeur M. Roten (Institut de Géographie, Université de Fribourg). L'analyse des cellules convectives et de l'îlot de chaleur urbain sont le travail de Dr. J.-M. Giovannoni, Dr. J.-M. Fallot, Dr. D. Ruffieux et Dr. P. Liska que nous tenons à remercier particulièrement pour leur engagement.

## Bibliographie

- Abegglen, R., 1982: Die städtische Wärmeinsel: Eine Literaturstudie und Stadtstypisierung mit einem Beitrag zur Wärmeinsel von Bern. Diplomarbeit, University of Berne, 165 pp.
- Achtemeier, G. L., 1983: The relationship between the surface wind field and convective precipitation over the St. Louis area. *J Climate Appl. Meteor.*, 22, 982-999.
- Berlincourt P., 1988: Les émissions atmosphériques de l'agglomération de Bienne. Une approche géographique, *Geographica Bernensia*, G28, Geographisches Institut der Universität Bern, 178 p.
- Changnon, S. A., Jr., 1981: Impacts of urban modified precipitation conditions. METROMEX. A Review and Summary, *Meteorological Monographs*, Vol. 18, Oct. 1981, no 40, Ed., Amer. Meteor. Soc., Boston, 181 p.

- Climod, 1981: Möglichkeiten regionaler Klimaveränderungen durch menschliche Einwirkungen. Eidgenössische Drucksachen- und Materialzentrale, No. 805.870, 167 pp.
- Eriksen, W., 1980: Klimamodifikation im Bereich von Städten. Ver-ff: Joach. Jung Ges. Hamburg, 44, 161-175.
- Filliger, P., P. Berlincourt and R. Rickli, 1984: Applied study on urban air pollution climatology (Biel-Bienne, Switzerland). Preprints 25th Int. Conf Applied Climatology, Zurich, 93-94.
- Filliger P., 1986: Die Ausbreitung von Luftschadstoffen - Modelle und ihre Anwendung in der Region Biel, Geographica Bernensia, G14, Geographisches Institut der Universität Bern, 154 p.
- Fuhrer, Jr., 1980: Der Ozongehalt der Bodennahen Luftschicht in der Region Bern. Wasser, Energie, Luft, 5/6, 167-171.
- Giovannoni J.-M., 1986, Contribution à l'analyse de l'effet de convection engendré par un îlot de chaleur en milieu calme et stratifié, Thèse de doctorat de l'EPFLno 632 (1986), Lausanne, 179 p.
- Hertig, J.-A., 1981: Quelques aspects de la modélisation physique aéraulique des écoulements atmosphériques. Coll. Designing with the Wind, Nantes, 2, Session VIII ~ 23.
- \_\_\_, C. Choulat, J.-M. Giovannoni, J.-C. Keller and P. Liska, 1978: Simulation aéraulique des effets des activités humaines sur les écoulements de la région du Haut Rhin/Rhin supérieur. Institute of Energy Economics and Power Engineering, Lausanne, Tech. Note No. N501.100, 158 pp.
- Hoschele, K., 1979: Das Windfeld der Stadt. Promet 4-79, 21-26.
- Hutcheon, R. I., R. H. Johnson, W. P. Lowry, C. M. Black and D. Hadley, 1967: Observation of the urban heat island in a small city. Bull. Amer. Meteor. Soc., 48, 7-9.
- Jaccard, G., P. E. Pilet, R. Chollet and W. Baehler, 1976: Etude de la pollution atmosphérique de la ville de Lausanne. Direction de Police de la ville de Lausanne, Lausanne, Tech. Note, 110 p.
- Landry, J. C. H., and P. Cuplin, 1980: The monitoring of ozone immission in rural and urban areas. Int. J. Environ. Anal. Chem. 1980, 9, 169-187.
- Landsberg, H. E., 1981: The Urban Climate. Academic Press, 275
- Nubler, W., 1979: Konfiguration und Genese der Wärmeinsel der Stadt Freiburg. Freiburger Ceogr. Hefte, 16, 113 pp.
- Oke, T. R., 1977: The urban atmosphere as an environment for air pollution dispersion. Proc. Meeting on Education and Training in Meteorological Aspects of Atmospheric Pollution and Related Environmental Problems. Geneva. WMO, 493, 3 1 5-341 .
- \_\_\_, 1979 : Review of urban climatology 1973-1976. WMO Tech. Note, 169, 100 pp.
- \_\_\_, 1982: The energetic basis of the urban heat island. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 188, 1-24.
- \_\_\_, 1984: Methods in urban climatology. Preprints 25th Int. Conf on Applied Climatology, Zurich, 19-29.
- Roten M., 1979: Le climat urbain et suburbain de Fribourg, Editions Universitaires, Fribourg, 321 p.
- Ruffieux, D., 1984: The influence of the agglomeration of Fribourg (CH) on the local winds. Preprints 25th Int. Conf on Applied Climatology, Zurich, 95-96.
- Schlatter, B., 1975: Zum Stadtklima von Zurich. Diplomarbeit, University of Zurich, 113 pp.
- Schmalz J., 1987: Das Stadtklima. Ein Faktor der Bauwerks- und Städteplanung, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 137 p.
- Schüpbach, E., H. Wanner, 1991: Luftschadstoffe und Lufthaushalt in der Schweiz, (HRSG./Ed.), VDF, Zürich, 233 p.
- Sethurama, S., and J. E. Cermak, 1975: Mean temperature and mean concentration distributions over a physically modelled three-dimensional heat island for different stability conditions. Bound -Layer Meteor. 9, 427-440.
- Wanner, H., 1979: Zur Bildung, Verteilung und Vorhersage winterlicher Nebel im Querschnitt Jura—Alpen. Geogr Bernensia, G7, 240 pp.
- \_\_\_, Klima und Luftverschmutzung einer Schweizer Stadt, Verlag Paul Haupt, Berne, 455 p.
- \_\_\_, P. Berlincourt and R. Rickli, 1982: Klimat und Lufthygiene der Region Biel — Gedanken und erste Resultate aus einer interdisziplinären Studie. Geogr. Helv., 4, 215-224.



## **GENEVE: MORPHOLOGIE URBAINE ET TYPOLOGIES CARACTERISTIQUES**

Pierre Baertschi, Conservateur cantonal  
Direction du patrimoine et des sites - DTPE Genève

### **Résumé**

La connaissance des formes d'habitat locales est un domaine encore peu exploré à Genève. Toute analyse typo-morphologique implique la formulation d'hypothèses et d'une méthodologie prenant en compte un processus historique. Une telle approche de nature culturaliste a pour finalité une mise en évidence des concepts de singularité, de mémoire et de permanence. A partir de tels fondements théoriques propres à élaborer une théorie des valeurs, on peut définir des catégories de tissus urbains et d'éléments significatifs. Sans de telles bases, confrontées par ailleurs aux données fonctionnelles et économiques du parc immobilier, la prise en compte d'aspirations écologiques axées sur la recherche d'un développement durable (promotion d'énergies douces, écobilans, etc.) semble bien aléatoire.

### **1. Introduction**

Depuis des siècles, les formes d'habitat ont dû s'adapter aux exigences du climat. La prise de conscience récente de la nécessité de garantir le cadre d'un développement durable s'inscrit dans un contexte socio-politique basé sur l'interdépendance des économies et des Etats. L'émergence de cette nouvelle sensibilité pose à nouveau les termes de la performance d'une ou de plusieurs formes architecturales caractéristiques, notamment en rapport avec les facteurs de consommation d'énergie et climatiques.

Par une rapide analyse des particularités des formes d'habitat locales significatives au cours du temps, nous allons chercher à montrer les points de rencontre potentiels entre, d'une part l'héritage morphologique et typologique régional - témoin d'une forme urbaine et d'occupation du territoire originale - et, d'autre part, les préoccupations environnementalistes actuelles. Compte tenu de la complexité des problématiques posées, nous ne prendrons pas ici en compte la qualité des matériaux de construction employés. De même, une appréciation qualitative de la fonctionnalité et de la convenance des formes d'habitat considérées sera écartée.

### **2. Morphologie et typologie**

Pour mieux saisir les singularités du bâti genevois, il importe avant tout de chercher à comprendre leurs origines à travers les variations des "manières d'habiter". Ceci implique de faire appel à diverses disciplines (histoire urbaine et des mentalités, histoire des techniques, sociologie, etc.). L'histoire de l'habitation genevoise reste toutefois à retracer, et la présente communication donnera tout au plus quelques points de repère utiles.

La morphologie d'origine est à la base de toute classification<sup>1</sup> de modèles d'habitat. Il convient par une observation judicieuse de définir la dynamique propre à la transformation et à l'évolution d'un parti original. Quant à la typologie, elle détermine l'existence de catégories d'unités bâties dans une perspective historique (résultat de systèmes économiques et culturels).

L'un des débats actuels sur l'évolution de la ville historique porte donc logiquement sur la portée des innovations architecturales par rapport à des accentuations particulières de typologies pré-existantes. Quelle portée donner en effet à l'hypothèse d'une permanence supposée des types domestiques au cours du temps ? Par ailleurs, les études menées sur l'anthropologie de la maison<sup>2</sup> montrent l'importance des forces physiques, mais aussi les effets des décisions "irrationnelles", fondées sur des motifs culturels.

On relèvera à titre d'exemple la persistance du modèle de la maison à patio<sup>3</sup>, lequel se répand à travers diverses cultures. Quant au paysage urbain médiéval, il témoignerait ainsi de la persistance de phénomènes culturels. Il posséderait selon Pierre Garrigou Grandchamp<sup>4</sup> trois caractères fondamentaux:

- Les maisons sont en hauteur, résultat du manque de place;
- La reconnaissance d'une séparation fonctionnelle des niveaux;
- La majorité des maisons urbaines, alignées est largement ouverte sur la rue<sup>5</sup>.

### 3. Genève au Moyen Age

Le site naturel de Genève, une cité construite sur une colline dominant l'exutoire du lac et commandant le point de passage de l'île, représente avant tout une valeur stratégique. Inséré dans un corset de remparts, la cité et son faubourg connaîtront des extensions successives<sup>6</sup>. La ville antique, puis la cité médiévale s'édifient sur un territoire restreint soumis peu à peu à une densification croissante.

Dans la cité, l'influence du climat conjointement avec l'état d'insalubrité de l'habitat sont la cause d'affections des voies respiratoires et pulmonaires, lesquelles représentent au XVIII<sup>e</sup> siècle 20% des décès<sup>7</sup>. Principales sources d'énergie, le bois et le charbon de bois sont utilisés pour la cuisine et le chauffage. Le paysage des cheminées adossées aux murs pignons ou aux façades est souvent hétéroclite.

---

<sup>1</sup> Cf Bernard Toulhier "Règles et construction d'une typologie de la demeure urbaine, bilan des travaux menés par le service de l'Inventaire", in Recherches sur la typologie et les types architecturaux, éditions L'Harmattan, Paris, 1991.

<sup>2</sup> Cf. Amos Rapoport, *Pour une Anthropologie de la Maison*, Collection Aspects de l'Urbanisme, Editions Dunod, Paris, 1972.

<sup>3</sup> Selon Rapoport, on trouve des maisons bâties sur le même principe à Rome, en Chine, en Espagne, à Ur, à Babylone, dans les pays islamiques, etc.

<sup>4</sup> Dans son ouvrage *Demeures médiévales, coeur de la cité*, éditions Rempart, Desclée de Brouwer, Paris, 1994, Pierre Garrigou Grandchamp met l'accent sur la persistance du phénomène culturel du *solier* ( le *solarium* des Romains ); celui-ci demeure la pièce haute résidentielle par excellence à l'époque médiévale (p.22).

<sup>5</sup> A ce sujet, P. Garrigou Grandchamp constate qu'il s'agit d'une inversion d'axe par rapport à la villa romaine qui regarde la cour.

<sup>6</sup> Une connaissance renouvelée du développement de la ville basse et de la rade est en cours, grâce aux travaux de l'Inventaire des monuments d'art et d'histoire de la Suisse engagés pour le canton de Genève. Voir à ce sujet la brochure *La Genève sur l'eau* publiée par le Département des travaux publics et de l'énergie ( 190 pages, Genève, décembre 1994).

<sup>7</sup> Ces chiffres sont extraits de l'ouvrage de Anne-Marie Piuze et Liliane Mottu-Weber, *L'économie genevoise de la Réforme à la fin de l'Ancien Régime XVI<sup>e</sup>-XVIII<sup>e</sup> siècles*, Georg éditeur, Genève 1990 (p. 116). Les affections d'origine gastro-intestinale découlant en partie des conditions d'environnement et d'hygiène, ainsi que des adductions d'eau représentent la seconde cause de mortalité ( 8 à 9% ).

Une lecture attentive du plan Billon (1726)<sup>8</sup> et du plan Céard (1837) montre l'importance des cages d'escaliers dans la structuration interne de la cité. Aux étages supérieurs, ceux-ci sont souvent en bois. A partir du XIVe et surtout du XVe siècle, l'escalier à vis (ou "viret") devient généralisé<sup>9</sup>. Ce mode de distribution est économe en espace. Des galeries et des passerelles en bois complètent souvent les systèmes distributifs. Le dispositif d'hygiène repose sur l'existence de latrines et de fosses à détrit. Les puits sont généralement assez répandus. Par exemple, dans la ville de Lyon au XVe siècle, chaque maison en était pourvue.

La disposition des demeures médiévales offre certaines constantes. Le plus souvent une porte donne directement sur la rue et débouche sur un escalier. Les couloirs sont fréquents au rez-de-chaussée et donnent accès aux cours et arrière-cours. Dans la règle, les maisons médiévales ne comportent pas de pièces de liaison ou de transition. En effet, les couloirs et vestibules ne se généralisent qu'au XVe siècle. La desserte des pièces s'effectue directement par des escaliers et des galeries.

#### 4. Architecture vernaculaire

Sous l'Ancien-Régime, subsistent de vieilles interdictions de bâtir hors des périmètres villageois, qui servaient essentiellement à protéger les terres arables. La logique paysanne veut que l'on ne construise pas sur les meilleures terres. Les études menées par Paul Aubert dès 1922<sup>10</sup> ont mis en évidence deux types principaux de maisons rurales, regroupant sous un même toit l'habitation, la grange et l'étable. Chacune de ces travées correspond à un "épued" (unité de base) Dans le premier type, la maison se développe en longueur, alors que dans le second, l'habitation est construite sur l'arrière de la grange et de l'étable. La cuisine forme la pièce d'entrée de l'habitation et possède souvent un foyer appuyé sur le mur qui sépare la cuisine et la chambre contiguë appelée "poïlle".

Des travaux de relevé systématiques engagés pour des villages genevois<sup>11</sup> ont permis de mieux saisir la structure fondamentale de ces ensembles bâtis et de mieux cerner les typologies caractéristiques. Ainsi, l'orientation des travées des bâtiments ruraux caractéristiques a pour but de permettre, dans la règle, de disposer les percements principaux des portes et portes de grange vers le sud-est. Les façades-pignons, qui possèdent peu de percements font front aux vents dominants sur les faces côtés sud-ouest et nord-est.

L'orientation, la typologie et les matériaux de construction des maisons villageoises participent d'une logique globale. L'évolution des modes d'habiter a pour conséquence une redéfinition des espaces<sup>12</sup>. La cuisine paysanne traditionnelle se modifiera par la suite et prendra des dimensions réduites et même parfois l'aspect d'une "kitchenette", des cloisonnements internes disparaîtront, etc.

---

<sup>8</sup> Les planches du plan Billon et la liste des propriétaires de l'époque ont été publiés en 1986 par la Société auxiliaire des archives d'Etat. Un essai d'analyse de la forme urbaine en relation avec le statut foncier a été établi par l'historien Bernard Lescaze.

<sup>9</sup> Cf. *Demeures médiévales, coeur de la Cité* (p. 86), *op. cit.*

<sup>10</sup> Voir en particulier la communication portant sur *L'ancienne maison rurale dans le canton de Genève*, tome I, revue Genava, 1923 (pp. 129-141).

<sup>11</sup> Cf. Pierre Baertschi et Alès Jiranek, *Hermance, bourg médiéval*, Tribune éditions, 1985 et *Dimensions cachées de Dardagny*, collection architecture et sites genevois, Georg éditeur, 1994.

<sup>12</sup> La question des changements d'affectation et des modifications typologiques résultant d'une manière différente d'habiter est examinée dans l'ouvrage *Dimensions cachées de Dardagny* (pp.192 et ss.).

Les modes de construction diffèrent peu jusqu'au XXe siècle. On utilise des encadrements en molasse ou en roche et des fonds de murs en boulets hourdis à la chaux, ou encore des moellons. Les planchers en bois trouvent appui sur des solivages et les charpentes sont généralement en sapin. La valeur d'isolation thermique de ce type de constructions régionales n'est pas aussi bonne que celle des constructions en bois ou en terre cuite. Mais le mode d'habiter s'adapte aux moyens existants : on ne chauffe le plus souvent qu'une seule pièce.

## 5. XVIII<sup>e</sup> siècle

La seule ville nouvelle édifiée dans le territoire de la Suisse actuelle au cours du XVIIIe siècle est la cité de Carouge. Ville ouverte<sup>13</sup> elle connaît un essor démographique considérable entre 1762 et 1792. Une approche détaillée de l'ensemble des constructions existantes complétées par des recherches en archives a permis de mieux reconnaître les caractéristiques de ce domaine bâti<sup>14</sup>. Par opposition à la typologie courante dans les villages genevois, l'organisation de la vie domestique - en particulier le prolongement de la cuisine - est disposée sur l'arrière des bâtiments (côté cour). Cette prédominance a pour corollaire une affirmation du caractère commercial sur la rue qui va de pair avec la reconnaissance d'une typologie caractéristique<sup>15</sup>. Au rez-de-chaussée des immeubles, un couloir donne accès de la rue aux espaces arrières de cour. Fréquemment, l'accès aux étages s'effectue par un escalier situé côté cour et par une coursive, ce qui n'est pas sans rappeler les influences méridionales.

Dans la cité *intra muros* de Genève, l'accroissement de la population est particulièrement sensible au cours du XVIIIe siècle. Dès le XVIIe siècle les escaliers à vis sont remplacés par des cages à rampes droites et à paliers intermédiaires. Ces éléments sont intégrés dans le corps même des bâtiments. Certaines constructions annoncent déjà la typologie des immeubles locatifs du siècle suivant<sup>16</sup>. On voit alors apparaître des rangées de maisons construites sur un plan uniforme et qui ne possèdent plus des cours, mais de simples courettes servant à éclairer les corridors et les locaux secondaires.

## 6. XIXe et XXe siècles

L'avènement de la Révolution industrielle et l'évolution des types architecturaux liés à la transformation de la société vont contribuer à créer un nouvel environnement bâti. L'organisation, par niveaux, des étages repose sur des principes similaires d'une maison à l'autre<sup>17</sup>. On constate l'élargissement des parcelles et une disposition des appartements de part et d'autre de la cage d'escalier. L'adoption de plans en forme de retour d'équerre permettra

---

<sup>13</sup> L'ouvrage d'André Corboz *Invention de Carouge*, éditions Payot, Lausanne, 1968, montre fort bien le contexte de la création de cette ville nouvelle dans l'histoire de l'urbanisme. Pour André Corboz, l'unité fondamentale, formée par la maison unifamiliale avec échoppe est un rectangle à front de rue que prolonge un jardin oblong.

<sup>14</sup> Cf. Pierre Baertschi *Modes de construction, couleurs et matériaux de la cité nouvelle* (pp.363-420) in *Bâtir une ville au siècle des Lumières*, catalogue édité par les Archives d'Etat de Turin et la Mairie de Carouge, Turin, 1986.

<sup>15</sup> Pour plus de détails sur la typologie des bâtiments et sur le tissu urbain se référer à l'ouvrage de Pierre Baertschi et Isabelle Schmid *Carouge, ville nouvelle du XVIIIe siècle*, collection Architecture et sites genevois, éditions Georg, Genève, 1989.

<sup>16</sup> On se référera à ce sujet à l'ouvrage, *La maison bourgeoise en Suisse, IIe volume, canton de Genève*, textes d'Edmond Fatio, SIA, 1ère édition 1912, 3e édition, Orell Füssli Verlag, Zurich, 1960

<sup>17</sup> Cf. François Loyer, *Paris XIXe siècle, l'immeuble et la rue*, éditions Hazan, 1994.



même de desservir trois appartements par cage d'escalier. L'invention de l'ascenseur modifiera l'utilisation des combles qui deviendront le bel étage. Quant aux principes d'hygiène, ils s'affirmeront progressivement<sup>18</sup>. La disposition traversante des logements sera considérée comme un avantage.

L'essor de l'architecture rationaliste, puis, dès 1928, l'action des CIAM (Congrès internationaux d'architecture moderne), vont privilégier une vision idéalisée de la ville<sup>19</sup>. La similitude du traitement des façades, la répétition d'une cellule-type, puis la définition des clefs de l'urbanisme à travers les quatre fonctions *habiter, travailler, se récréer, circuler* vont contribuer à définir une nouvelle vision de l'architecture. En 1930, lors du congrès de Bruxelles, on s'interroge sur *l'habitation minimum* et l'implication de l'air, du son et de la lumière. La prise en compte des critères énergétiques repose alors essentiellement sur des notions économiques (coût) et de confort.

Le développement économique des années 1970-1980, puis l'impact de la crise pétrolière et de l'évolution des mentalités<sup>20</sup> vont modifier notre façon de concevoir la ville et l'habitat. La recherche d'économies en matière de consommation d'énergie, la prise de conscience de l'importance des ressources non renouvelables ainsi que la promotion d'énergies douces<sup>21</sup> vont peu à peu s'imposer comme des thèmes centraux. L'importance des réglementations qui, sournoisement, envahissent le champ d'action des architectes n'est toutefois pas sans poser un certain nombre de problèmes, notamment en regard des objectifs de protection du patrimoine bâti<sup>22</sup>.

En conclusion, ce rapide survol de l'évolution des formes d'habitat au cours du temps pose une question heuristique fondamentale : l'évolution intervenue et la succession des formes d'habitat s'inscrivent-elles dans la continuité d'un même processus, déterminé par un système complexe de relations avec la ville et la société ? Doit-on dès lors, à partir d'outils scientifiques appropriés<sup>23</sup>, privilégier la vision culturelle tout en prenant en compte les dimensions économiques et environnementales ? Peut-on intégrer comme un tout l'ensemble de ces préoccupations ? Quelle place enfin doit revenir dans ce processus à la marque de la modernité ?

Comme on peut le constater le débat entre les Anciens et les Modernes connaît un retour d'actualité. Il se doit de susciter de nouvelles réflexions, s'agissant d'une donnée fondamentale, inhérente à tout processus de développement d'une société en mutation.

---

<sup>18</sup> Dans une communication consacrée au thème des *Maisons d'habitation et culture domestique en Suisse occidentale (1850-1980)*, Gilles Barbey évoque notamment la question de l'assainissement de l'habitation et de la réglementation (in *Les Suisses, modes de vie, traditions, mentalités*, ouvrage collectif, éditions Payot, Lausanne, 1992).

<sup>19</sup> Cf. *Internationale Kongresse für Neues Bauen, CIAM, Dokumente 1928-1939*, herausgeben von Martin Steinmann, Birkhäuser Verlag, Basel und Stuttgart, 1979.

<sup>20</sup> L'ouvrage de François Walter, *Les Suisses et l'environnement*, édition Zoé, Carouge, 1990 donne à cet égard un aperçu d'ensemble.

<sup>21</sup> Cf. Emmanuelle Rivoire et Antoine Blouet, *L'Ecobilan : les produits et leur impact sur l'environnement*, éditions Dunod Paris, 1995.

<sup>22</sup> Sous le titre "*Patrimoine architectural, faut-il déréglementer ?*", voir l'article de Pierre Baertschi paru dans le Bulletin de l'Office fédéral de l'aménagement du territoire no 2/93.

<sup>23</sup> Cf. l'étude réalisée par le Centre de recherche sur la rénovation urbaine de l'EAUG sous la responsabilité du Service des monuments et des sites, *Atlas du territoire genevois, permanences et modifications cadastrales aux XIXe et XXe siècles*, Georg éditeur, Genève, 1993.



## MISE EN EVIDENCE DU RECHAUFFEMENT DE LA ZONE DE L'AEROPORT DE GENEVE-COINTRIN

François Calame

Station fédérale de recherches agronomiques de Changins

### Résumé

La comparaison des moyennes mensuelles de température des stations météorologiques de Genève-Aéroport et de Changins met en évidence, à partir de 1988 environ, un réchauffement du climat de la zone de l'aéroport de Genève.

### Introduction

Dans le but d'établir une longue série de valeurs climatologiques de la température de l'air pour la station de Changins, nous avons effectué d'une part l'analyse des mesures parallèles enregistrées par les stations météo de Genève-Aéroport et Changins et d'autre part entre les stations de Genève-Aéroport et Genève-Observatoire. Dans ce qui suit, nous nous limiterons à la première comparaison.

A partir de 1964, la station météo de Changins fait partie du réseau national (ISM) et satisfait les mêmes normes climatologiques que celles de la station météo de l'aéroport de Genève. Entre 1976 et 1978, ces deux stations "manuelles" sont automatisées et font partie des quelques 70 stations automatiques du réseau météo national (ANETZ). Ainsi, à quelques mois près, les deux sites présentent, en matière d'équipement, des conditions parfaites pour des mesures comparatives.

Distantes de 18 kilomètres, les deux stations se trouvent quasi à la même altitude (410 m pour Genève et 430 m pour Changins). De plus elles bénéficient de situations identiques, tant par leur éloignement au lac et au Jura que par la topographie générale des lieux, soit celle d'un plateau à prédominance agricole.

Seules la proximité de l'agglomération genevoise ainsi que l'urbanisation importante de la zone de l'aéroport constituent une différence environnementale importante entre les deux sites.

Les quelques résultats présentés ici font partie d'une étude préliminaire et mériteraient des recherches approfondies pour établir les causes de certaines différences climatiques.

### Résultats

Ces dernières années, en recevant chaque jour les données météo de Genève et de Changins, nous avons remarqué que par beau temps et vent faible du secteur ouest, les températures de Genève étaient nettement plus élevées que celles de Changins, de 0,3 à 1,0 degré, parfois plus. Les plus grandes différences s'observant entre juin et septembre. Par contre en situation de bise, les températures entre les deux sites sont quasi égales. Il en est de même par temps pluvieux et maussade.

De 1964 à 1988, les différences entre les températures moyennes mensuelles des deux sites sont quasi nulles, avec une variation de l'ordre de plus ou moins 0,2 degré (tableau 1 et

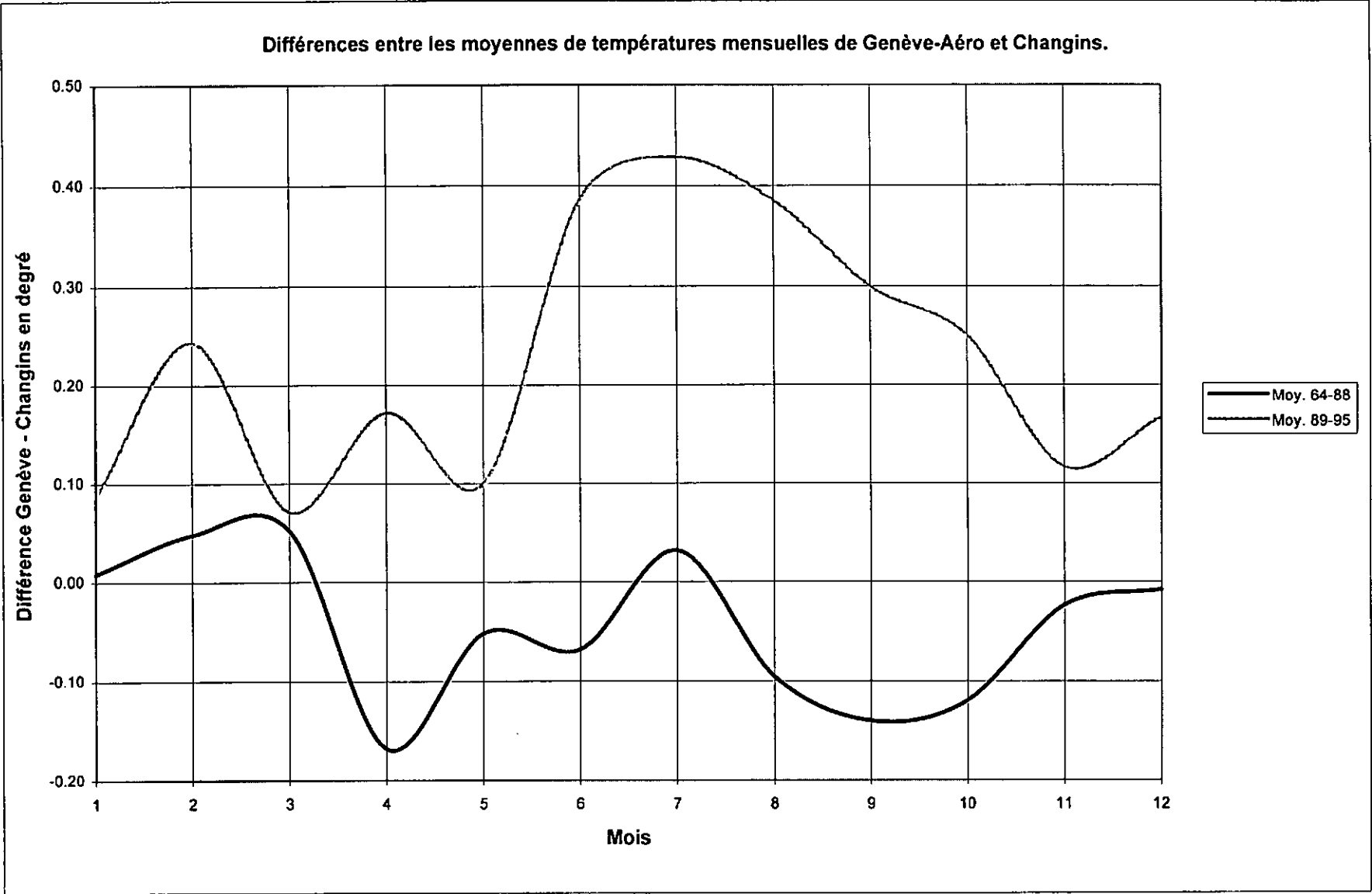
figure 1). A partir de 1988, selon les conditions météorologiques, Genève commence à être systématiquement plus chaude que Changins, surtout en été. Ces différences récentes vont de 0,1 à 0,5 degré avec des variations de plus ou moins 0,2 degré. Il est possible que la succession d'années chaudes enregistrées à partir de 1989 ait accentué le phénomène.

## Conclusions

L'étude du phénomène de réchauffement du climat observé dans la zone de Genève-Aéroport mérite d'être poursuivie. Il se peut que ce processus se stabilise avec la fin du développement urbanistique de tout le périmètre.

D'une façon générale, le phénomène observé met en évidence la prudence et l'esprit critique qu'il faut développer dans toute étude de changement climatique. Il n'est pas possible de traiter sans autre les valeurs climatologiques d'une station météo, d'autant plus que beaucoup d'entre elles se trouvent à la périphérie d'agglomération, si ce n'est pas dans la métropole même.

Différences entre les moyennes mensuelles de température de Genève et de Changins. ( Genève - Changins)													
ANNEE	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	ANNEE
1964	0.3	0	0.7	0.1	-0.3	-0.4	0.1	-0.4	-0.2	0.2	0.2	0	0
1965	-0.1	-0.1	-0.6	-0.6	-0.7	-0.4	0	-0.2	0	-0.4	0.2	0.2	-0.2
1966	0.1	-0.3	-0.2	-0.1	-0.5	-0.3	-0.1	-0.5	-0.5	-0.1	-0.1	0.1	-0.2
1967	-0.2	-0.1	-0.1	-0.7	-0.2	-0.5	0	-0.2	0.1	0	0	-0.2	-0.2
1968	0.2	0	0.5	-0.3	-0.4	-0.2	0.1	-0.5	-0.4	-0.3	0	0.2	-0.2
1969	0	0	0.1	-0.2	0	-0.5	-0.2	-0.5	-0.5	-0.5	0.2	0.2	-0.2
1970	0	0.3	-0.1	0.2	-0.4	-0.4	-0.1	0	-0.8	-0.4	-0.2	0.3	-0.1
1971	-0.1	-0.1	0	-0.5	0	0.2	-0.2	0.4	-0.3	0	0.1	0.2	-0.1
1972	0.4	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.3	-0.2	-0.2	0.3	-0.1	0.1
1973	0.2	0.4	-0.1	-0.2	0.1	-0.1	0	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	0
1974	0.2	0.3	0.2	-0.4	0.1	0	-0.1	0.2	0	0.2	0.3	-0.4	0
1975	-0.1	-0.2	0.2	0.1	0	-0.2	-0.2	-0.3	-0.1	-0.2	-0.1	0.1	-0.1
1976	-0.5	0.1	-0.2	-0.5	0	-0.6	0	-0.3	0.1	-0.1	0.1	0.3	-0.1
1977	0	0.1	0.4	0.5	0.2	0.1	0.4	0.2	-0.1	0	0.4	0.2	0.2
1978	-0.1	0	-0.1	0	0	0.3	0.3	0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.1	-0.1
1979	-0.3	-0.1	0.2	-0.1	0.1	0.1	-0.2	-0.1	0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1
1980	0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	0.2	0	0.1	-0.1	-0.3	0	-0.1	-0.1
1981	0.2	-0.2	0.2	-0.2	0.3	0	0.1	-0.4	-0.2	-0.1	-0.3	0.1	0
1982	0	-0.2	0.1	-0.4	-0.1	0.2	0.1	0	-0.2	0.1	0	0	0
1983	-0.4	0.4	-0.2	0.3	0.5	0.1	-0.2	-0.2	0.3	0.1	0.3	0.2	0.1
1984	0.1	0.3	-0.1	-0.3	0.2	0	0.3	0	0.3	0	-0.2	0.1	0.1
1985	0.4	0.2	0.3	0.2	0	0	0.2	0	-0.3	-0.3	-0.1	-0.5	0
1986	-0.1	0.2	0	0.1	0.3	0.1	0.3	0.2	0	0	-0.4	-0.1	0.1
1987	0.1	0.2	0.2	-0.3	0.2	0.3	0.3	0.1	0	0.1	-0.2	0	0.1
1988	-0.1	-0.1	0	-0.8	-0.5	0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.6	-0.3
<b>Moy. 64-88</b>	<b>0.01</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>-0.17</b>	<b>-0.05</b>	<b>-0.07</b>	<b>0.03</b>	<b>-0.10</b>	<b>-0.14</b>	<b>-0.12</b>	<b>-0.02</b>	<b>-0.01</b>	<b>-0.05</b>
<b>Ecart type</b>	<b>0.22</b>	<b>0.20</b>	<b>0.27</b>	<b>0.33</b>	<b>0.30</b>	<b>0.28</b>	<b>0.19</b>	<b>0.26</b>	<b>0.25</b>	<b>0.19</b>	<b>0.23</b>	<b>0.24</b>	<b>0.13</b>
1989	-0.3	0.2	-0.1	0	-0.3	0	0.3	0.3	0	-0.1	-0.3	-0.1	0
1990	-0.2	0.1	-0.2	0	-0.1	0.4	-0.1	0.1	-0.1	0	-0.1	-0.4	0
1991	0.3	0.1	0.2	0	-0.3	0.6	0.4	0.2	0.4	0.2	0.3	0.4	0.2
1992	0.2	0.2	0.1	0.4	0.2	0.4	0.6	0.6	0.5	0.5	0.1	0.2	0.3
1993	-0.1	0.2	0	0.3	0.3	0.6	0.6	0.4	0.3	0.4	0.3	0.5	0.3
1994	0.1	0.3	0.3	0.3	0.6	0.3	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
1995	0.6	0.6	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	0.5	0.5				
<b>Moy. 89-95</b>	<b>0.09</b>	<b>0.24</b>	<b>0.07</b>	<b>0.17</b>	<b>0.10</b>	<b>0.39</b>	<b>0.43</b>	<b>0.39</b>	<b>0.30</b>	<b>0.25</b>	<b>0.12</b>	<b>0.17</b>	<b>0.20</b>
<b>Ecart type</b>	<b>0.31</b>	<b>0.17</b>	<b>0.18</b>	<b>0.17</b>	<b>0.34</b>	<b>0.20</b>	<b>0.26</b>	<b>0.20</b>	<b>0.25</b>	<b>0.26</b>	<b>0.27</b>	<b>0.35</b>	<b>0.17</b>



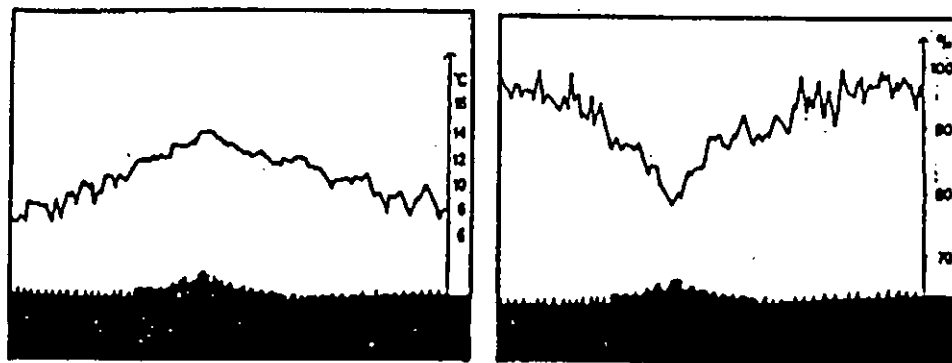
## EVOLUTION DU MICRO-CLIMAT GENEVOIS

Georges Krebs  
Professeur à l'EIG

Insidieusement, au gré du développement des équipements et constructions concentrés en zone urbaine, le micro-climat du bassin genevois, et particulièrement celui de la ville de Genève, s'est profondément modifié en un demi-siècle.

Située dans une double cuvette, la première délimitée par les Voirons, le Salève, le Vuache et le Jura, la seconde par les collines de Coligny Malagnou, Champel, Pinchat, La Bâtie, Châtelaine, le Mervelet, Gd-Sacconnex et Pregny, la topographie de Genève est particulièrement sensible aux atteintes portées à l'environnement et la cité ne peut se développer inconsidérément, contrairement à d'autres villes telles que Londres par exemple bien ventilée par les vents maritimes dominants et ceinturée d'espace verts.

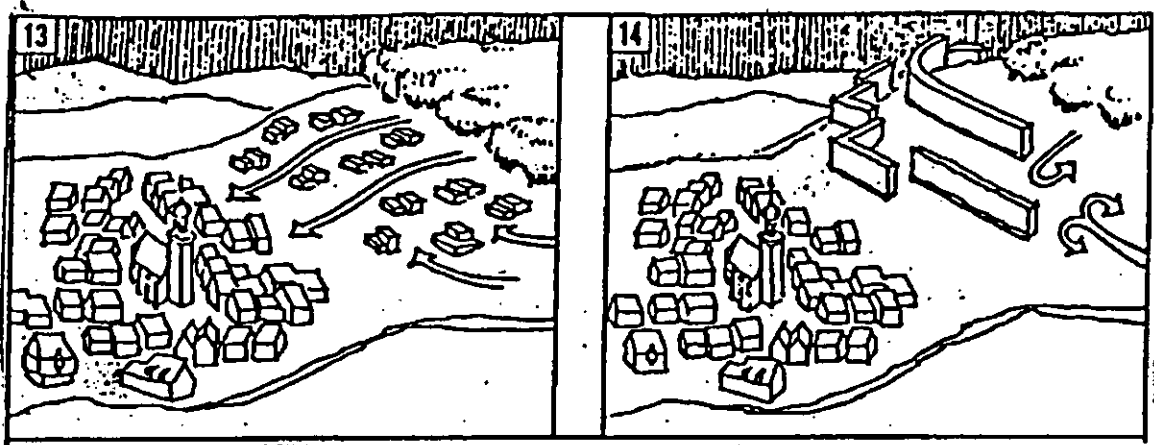
Les températures mesurées en ville sont supérieures de près de 2°C à celles enregistrées à la campagne.



Les vents thermiques locaux, qui, descendant le soir des collines boisées avoisinantes assurant la ventilation et l'élimination des pollutions dues au trafic et aux chauffages ont quasi totalement disparu.

Les constructions et équipements situés à l'ouest de la ville (gare de la Praille, zone industrielle de Carouge, quartier des Palettes etc..) ont modifié l'albedo, (facteur de réflexion du rayonnement solaire), avec pour conséquence une disparition ou une forte atténuation des vents thermiques diurnes, le séchard venant du nord-est et le vent blanc soufflant du sud-ouest.

De profondes modifications du régime des vents et des températures ont également été observées, sur la rive droite, à la suite de la construction de l'aéroport et de l'autoroute. Deux rivières, les nants d'Avanchets et du Vengeron ont été rayées de la carte avec en outre des conséquences importantes sur la faune et la flore.

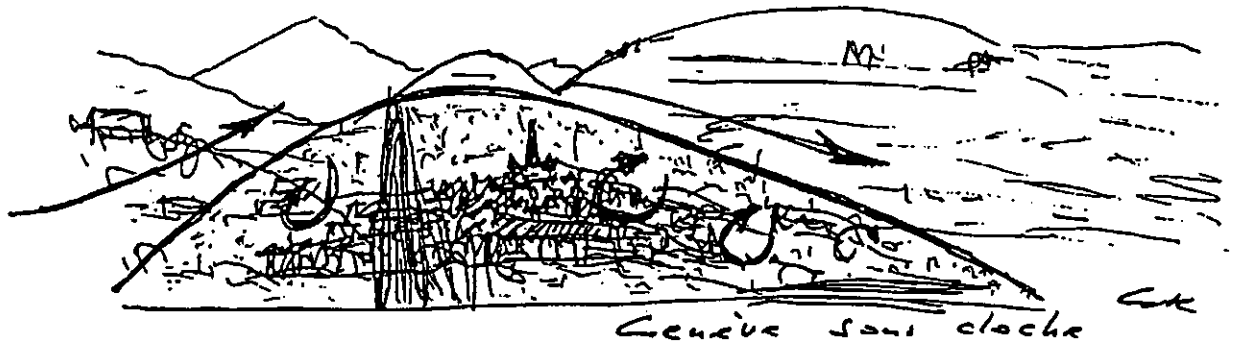


Les navigateurs connaissent bien ce phénomène et le départ des régates a dû être repoussé de la Nautique à la Tour carrée puis à Genthod, Collonges-Bellerive ou Versoix.

Ces vents thermiques sont toujours présents mais ils passent au-dessus de la ville en laissant celle-ci sous une "cloche" polluée où les échanges avec l'extérieur sont inexistants.

La densification des constructions sur l'axe Annemasse St-Genis transforme progressivement cette "cloche" en un "tunnel" de brume chargée de poussières et polluants parfaitement visible du Salève ou du Jura.

Cette cloche, ou ce tunnel, transforme le rayonnement solaire direct en un rayonnement diffus élevant les températures et abaissant l'humidité relative. Les jours clairs se font de plus en plus rares!

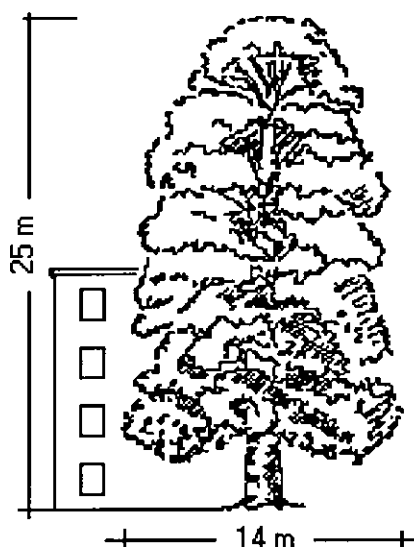


Il n'existe malheureusement pas de relevés systématiques du micro-climat local et ce n'est que la mémoire des anciens qui constitue la base de référence.

Il serait souhaitable que des observations systématiques soient effectuées à Genève. Ces connaissances de base étant déterminantes du point de vue de l'urbanisme et de l'environnement.

Les zones vertes encore existantes sur les collines dominant Genève doivent impérativement être préservées en particulier les arbres de haute futaie.





Si on abat cet arbre, il faudrait 5400 jeunes arbres d'un volume de de couronne de  $0.5 \text{ m}^3$  pour remplir la même fonction.  
(A. Bernatzky, Frankfurt)

Les toits et façades vertes devraient être encouragés dans les zones urbaines. Ces solutions, relativement peu coûteuses, ont une influence très favorable sur le microclimat local.

Des constructions sont certes encore possible mais elles doivent être de faible hauteur et comporter un minimum de surfaces imperméables.

Les voies de dessertes, notamment les accès aux parking et les voies d'accès pour les pompiers doivent être limitées au maximum.

La rétention d'humidité par des prairies, des haies ou encore par des façades et toits verts étant primordiale pour maintenir un micro-climat agréable, il faut veiller, dans les plans localisés de quartier et dans le cadre de la législation existante, à imposer ou suggérer aux architectes et urbanistes un aménagement respectueux de la vie.

La végétation locale, elle, a déjà donné sa réponse aux modifications climatiques. On observe dans les forêts proches de la ville la disparition progressive des champignons, de certaines plantes et le développement du lierre au sol.

Il importe que la climatologie soit prise en compte dans les plans de zonage pour d'une part créer des conditions de vie agréables pour les habitants et d'autre part limiter les coûts de construction et la consommation d'énergie.

La préservation d'une ceinture verte située sur la crête des collines dominant Genève produisant l'oxygène nécessaire à la vie et assurant une ventilation de la ville est un élément essentiel à la préservation d'une certaine qualité de vie.

Le climat agit sur l'homme, nous avons besoin pour notre équilibre, notre santé, et aussi pour notre productivité, notre dynamisme et notre créativité d'une ambiance sereine et d'un microclimat agréable.

La dégradation du climat social irait-elle de pair avec celle du climat physique? Peut-être est-ce aussi autour du côté du climat physique qu'il faut rechercher les causes de la morosité ambiante.

**Références :**

Gisèle Escourou, *Climat et environnement, les facteurs locaux du climat*, Ed. Masson, collection géographie.

Connaissances fondamentales de climatologie en urbanisme et architecture;  
Climatologie appliquée=constructions et logements meilleurs et moins chers;  
Recommandations pressantes pour la rédaction de catalogues de données climatiques.  
Ces trois derniers ouvrages d'où sont tirés les illustrations sont édités par la FIUHAT.

## **QUELQUES ASPECTS DU CLIMAT URBAIN DE GENEVE ET SES CONSEQUENCES SUR L'ENVIRONNEMENT**

Bernard Lachal  
Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie  
Université de Genève

### **Résumé**

Ce papier essaie de faire le point sur les connaissances du climat de la ville de Genève. Sont abordés les aspects suivants :

- études historiques concernant l'évolution du climat en ville de Genève,
- comparaison ville-campagne des différents paramètres météorologiques,
- différences météorologiques intra-urbaines.

L'influence de ces modifications sur l'environnement urbain est également discutée.

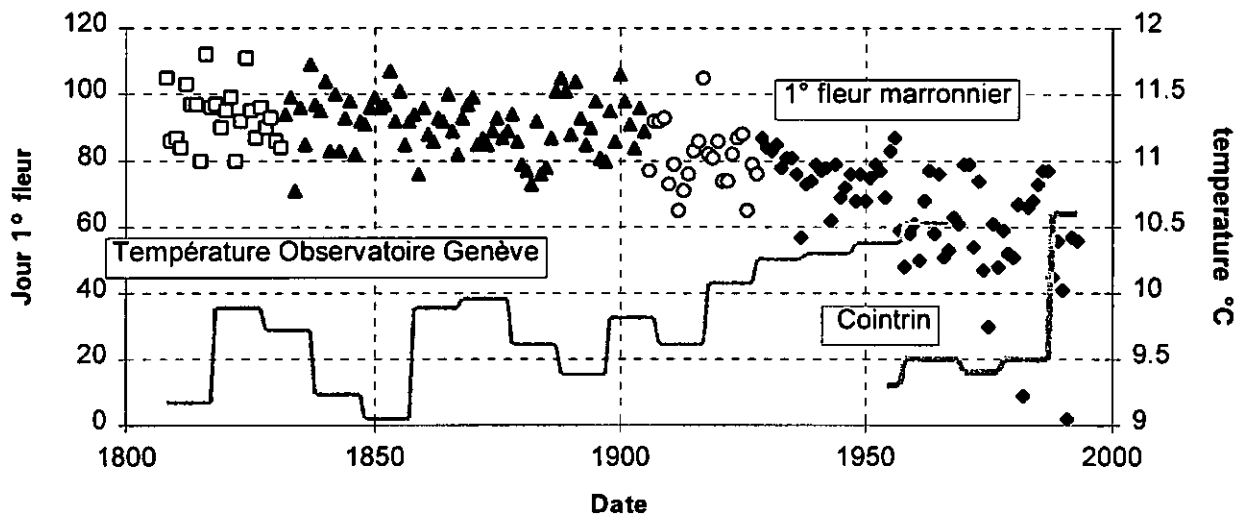
### **1. Introduction**

Par ses masses de pierre, de béton et d'asphalte, par l'utilisation intensive de l'énergie dans ses rues et ses bâtiments, Genève, comme les autres centres urbains, développe son propre climat, qui est différent de celui qui règne dans sa périphérie. Les études sur différentes villes abondent dans la littérature : ainsi entre 1981 et 1988, T.R. Oke (1) ne relève-t-il pas moins de ...800 publications sur le sujet! L'évolution du nombre de papiers consacrés à ce thème depuis le début du siècle permet de dater à 1970 le début de l'engouement des scientifiques pour ce thème de recherche et on peut estimer à au moins une bonne centaine par année le nombre de publications traitant de ce sujet. Il est, dans ces conditions assez surprenant de constater le peu d'études effectuées sur Genève. Sans prétendre être exhaustif, nous allons essayer d'en faire le tour.

### **2. Evolution du climat de Genève ville depuis le 19<sup>e</sup> siècle**

Si la première étude connue du climat urbain remonte à Cotte qui, en 1774, a fait les premières observations sur le climat de Paris, A.P. De Candolle a publié dès 1831 à la Bibliothèque Universelle un article intitulé « De l'influence de la température atmosphérique sur le développement des arbres au printemps ». Cet illustre prédécesseur s'était intéressé au marronnier de la Treille, étude poursuivie par J. Miège et P. Hainard en 1967 (2). Depuis 1808, une coutume genevoise se poursuit sans discontinuer qui consiste à relever le jour d'apparition de la première feuille d'un des marronniers qui embellissent la Promenade de la Treille, située au pied sud de la vieille ville. Nous avons complété la série jusqu'en 1993 grâce au Sautier de la République Pierre Stoller qui est chargé de relever cet événement depuis 1978. Sur le graphique 1, nous avons reporté en fonction des années le numéro du jour de la première feuille (1=1er janvier). Les 4 marronniers utilisés sont différenciés et aucune discontinuité n'est remarquée. Sont également reportées: les moyennes décennales de températures relevées à l'observatoire de Genève, qui se trouvait à deux pas et qui a arrêté ses

observations météo en 1963 ainsi que les températures moyennes décennales effectuées à l'aéroport de Cointrin dès 1954 (3), devenues données officielles pour Genève dès 1964.



*Graphique 1: Evolution*

- . de la température à Genève-ville depuis 1808
- . de Genève aéroport (Cointrin) depuis 1954
- . de la date de la première feuille du marronnier de la treille depuis 1808. Les 4 marronniers successifs sont distingués. d'après ref (2 et 3).

Les conclusions que l'on peut tirer de ces différentes données sont :

- 1) dans un premier temps, les évolutions tant des températures de l'Observatoire que de la date de la première feuille correspondent bien à l'évolution du climat régional observé le siècle passé (2). Les variations de températures d'une décennie à l'autre sont chaotiques et influencent la date de la première feuille, qui a jusqu'au début de ce siècle toujours lieu bien après le premier mars.
- 2) après les années 1920, on remarque une augmentation constante de la température en ville et parallèlement une précocité accrue de la première feuille, particulièrement spectaculaire depuis 1980. Les deux grandeurs sont bien corrélées jusqu'en 1963 (2), date de la fin des mesures à l'Observatoire. Des phénomènes complexes peuvent également contribuer à cette évolution : lumière nocturne, augmentation du CO<sub>2</sub> et d'autres gaz traces dans l'atmosphère. On trouvera dans la référence (4) une étude poussée sur la phénologie en région genevoise, malheureusement uniquement en sites ruraux.
- 3) La comparaison entre Cointrin et l'Observatoire entre 1954 et 1964 montre un décalage de 1°C en faveur de la ville. Ce dernier point a été étudié plus en détail par Ineichen (5).

### 3. Comparaison ville-campagne : une année de mesure

Dans sa thèse (5), Pierre Ineichen a comparé pendant une année (juillet 1980 - juin 1981) les paramètres météorologiques de 2 sites proches : le premier en zone urbaine (au dessus du toit de Sciences II dans le quartier de la Jonction) le second en zone rurale (au dessus du toit de l'observatoire de Sauvigny, situé à moins de 20km de Genève). L'étude comprend la comparaison des températures, des diverses composantes du rayonnement visible

et le rayonnement infrarouge provenant de la voûte céleste. Les conclusions de cette étude sont :

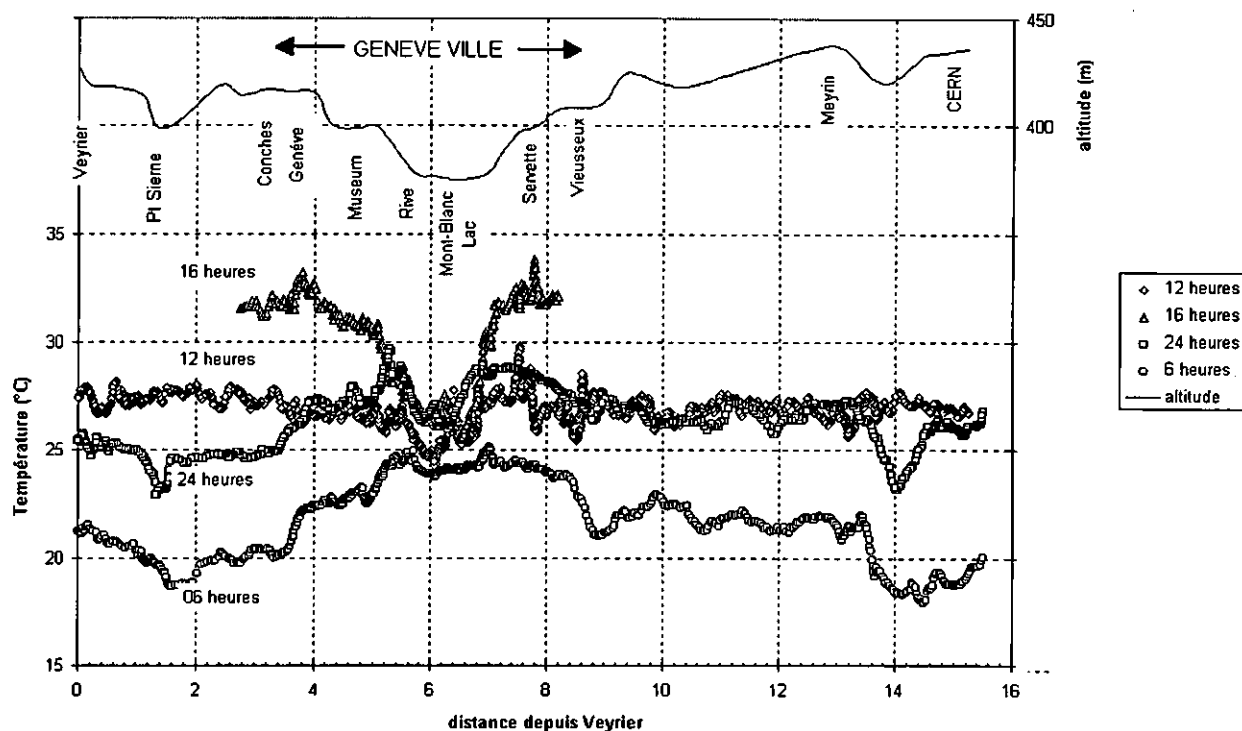
- En valeur annuelle, le site urbain présente une température supérieure de 1.9°C au site rurale, cette différence étant plus marquée de nuit que de jour (2.5°C contre 1.5°C). La différence des températures quotidiennes varie entre 0°C et 5°C et est toujours en faveur de la ville. Les plus grandes différences se rencontrent les jours clairs et calmes.
- Il n'y a pas de différence détectable entre les ensoleillements, que ce soit au niveau quantitatif (+0.08kWh/m<sup>2</sup>.jour en faveur de la campagne, soit 2.5%) ou au niveau qualitatif (rapports diffus sur global égaux à 0.08% près).
- Le ciel de Sauvigny est plus froid de 1.1°C que le ciel de Genève-ville, ce qui correspond à 5.5W/m<sup>2</sup> de rayonnement céleste infrarouge en moins. Il est remarqué également que, pour des belles journées, cette différence est quasiment nulle alors qu'elle est de 2°C pour les journées couvertes, ce qui laisse supposer que les nuages et brouillards sont plus chauds à Genève qu'en zone rurale.

Cette étude poussée donne des indications assez complètes qu'il serait très intéressant de reprendre aujourd'hui pour, d'une part, mesurer l'évolution en 15 années et, d'autre part, compléter certaines mesures manquantes (humidité, vitesse du vent, pluie,...).

#### **4. Cartographie intra-urbaine des paramètres météo**

L'évolution spatiale intra-urbaine des différents paramètres du climat est une information très courante dans la littérature. Pour Genève, les seuls relevés que nous avons trouvés sont les cartes de polluants (Nox) établies pour le Département de la prévoyance sociale et de la santé publique (6). On trouve aussi quelques informations ponctuelles sur le taux d'aérosols, leur taille et leur contenu en métaux lourds dans la thèse de Boesch (7) ainsi que les relevés officiels de la pollution de l'air effectués par le Service de l'Ecotoxicologie cantonal en différents points de la ville et du canton (8). A notre connaissance, il n'y a pas eu d'étude systématique sur les variations intra-urbaines des différents paramètres météorologiques.

Afin de tester la variation spatiale d'un de ces paramètres, nous avons entrepris cet été quelques mesures concernant les variations de la température en différents points de la ville et du canton lors d'un jour chaud et calme (20-21 juillet 1995). Pour cela, nous avons fixé sur le toit d'une voiture, à 2 m de hauteur, un thermomètre très léger (thermocouple fin) dans un tube métallisé et ventilé afin de mesurer avec exactitude la température de l'air. Nous avons suivi le parcours des bus TPG 8 et 15 depuis Veyrier jusqu'à Meyrin/CERN, en traversant le lac par le pont du Mont Blanc, et enregistré les températures de l'air toutes les 2 secondes. Quatre relevés ont été réalisés : à 12heures, 16heures, minuit le 20 juillet et à 6heures le 21 juillet. Il s'agissait d'une période très chaude, ensoleillée et calme (vent du nord très faible à nul), où tous les éléments favorisaient un fort taux d'ozone dans la troposphère. Le graphique 2 et la table 3 montrent les résultats obtenus.



Graphique 2 : profils de température à travers l'agglomération genevoise, depuis Veyrier jusqu'à Meyrin/CERN. 20-21 juillet 1995. Temps ensoleillé et calme (vent du nord nul à très faible)

heure	Veyrier	Rive	Mt Blanc	Servette	Meyrin	Satigny	Aéroport
12 h	27	26	25	27	27	27	29 (13 h)
16 h		28	26	34			34 (max)
24 h	25	28	26	29	26	24	26 (1 h)
6 h	21	25	24	24	22	18	19 (min)
variation		3°C	2°C	10°C			15°C

Table 3. Température (°C) en différents points du Canton de Genève, 20-21 juillet 1995. Temps ensoleillé et calme (vent du nord nul à très faible)

A midi, les différences sont très peu marquées, elles deviennent plus fortes à 16 heures, principalement dans la région du lac où on observe une dépression de température de 6°C par rapport au reste de la ville. De nuit, l'air est plus calme et les différences se creusent : on note ainsi un réchauffement de 6°C à la Servette par rapport à la campagne (Satigny) et de 5°C par rapport au relevé officiel de Cointrin (minimum donné à 19°C). Ces différences ville-campagne sont tout à fait conformes à ce que l'on attend pour une ville de 400 000 habitants (9), de même que les 2-3°C de réchauffement observé à Veyrier (2500 habitants) et Meyrin (10 000 habitants).

Globalement, 2 effets importants se superposent : l'effet du lac, qui régularise la température dans tout le quartier de Rive et l'effet de l'urbanisation, qui accumule de la chaleur la journée pour la relâcher de nuit.

Le lac fait sentir son effet de façon très net dans la partie rive gauche de notre parcours: au plus chaud de cette journée, la température dépasse 30°C devant le Muséum d'histoire naturel de Malagnou pour chuter à 26°C vers l'hôtel Métropole ou sur le pont du Mt Blanc. De façon symétrique mais en plus abrupte, le niveau de température remonte sur la rive droite pour atteindre 32°C place des XXII cantons et même 34°C en haut de la Servette. Au petit matin, l'effet bien que moins prononcé est également présent. On a ainsi une variation quotidienne de température de 3°C près du lac, de 8 à 10 °C en ville et de 15°C à l'aéroport (minimum de 19°C, maximum à 34°C).

L'effet de la densification est particulièrement visible lorsque l'on rentre à Genève : de nuit, une augmentation brutale de 2 °C se produit sur 200m environ et correspond exactement à la transition Conches - ville de Genève, qui recoupe également un changement de zone d'affectation : zone villa côté Conches, zone habitation à forte densité côté Genève (10). Un changement de température de même amplitude se produit également lorsque l'on quitte le quartier de la Servette pour entrer à Vieussieux, zone de verdure et d'habitat moins dense. D'autres effets fins peuvent être observés sur ces diagrammes comme les effets du relief (minimum accusé de température dans les points bas ou lac d'air froid), les effets des zones de verdure et des rivières (le pont de Sierne est 2°C plus frais de nuit).

Ces écarts importants de température sur des distances courtes (gradient quelquefois de l'ordre de 10°C/1000m) doivent très certainement provoquer des vents urbains, qui peuvent devenir prépondérant pour la dispersion des polluants pendant les jours calmes (vitesse du vent mesuré à l'aéroport proche de zéro). L'étude des vents urbains est important dans l'optique d'une meilleure compréhension des phénomènes influençant la qualité de l'air (11,12).

## 5. Les conséquences pour l'environnement

Suite à ce rapide tour d'horizon, on peut donner quelques conséquences environnementales des modifications climatiques dues à l'urbanisation:

- au niveau énergétique, l'augmentation de température moyenne annuelle de 2°C observée en ville de Genève correspond à une baisse de 15% environ du chauffage en hiver (7% par degré), avec les conséquences positives sur les émissions de polluants correspondants. De même, les analyses thermiques des bâtiments devraient se référer aux conditions climatiques du site et non pas de la station météo la plus proche. En été, les conséquences sont moins positives: les hautes températures relevées en fin de nuit rendent problématiques certaines alternatives à la climatisation active comme le free cooling (refroidissement de la masse du bâtiment avec la fraîcheur nocturne), méthode reconnue comme très efficace pour rafraîchir les bâtiments sous nos latitudes mais à condition que les conditions climatiques correspondent à celles mesurées par les centres météo, situés en général en périphérie des villes. A ce propos, des études américaines (par exemple réf.13) ont montré une forte augmentation de la puissance électrique appelée lors des pointes de chaleur (quelques 400MW par °C supplémentaire pour la région de Los Angeles), ce qui a amené les autorités à essayer d'agir sur l'îlot de chaleur urbain en promouvant la plantation d'arbres et les couleurs claires.

- la modification des vents locaux et régionaux ainsi que la création de vents urbains suite aux forts gradients thermiques vont passablement affecter la dispersion de la pollution, surtout par temps calme. Une étude complète reste à faire à Genève de ce côté là.
- l'hydrologie des villes est très différentes de celle des champs : grande surface imperméable, écoulement plus rapide, mais aussi éventuellement changement du régime des pluies du à l'urbanisation (11). Genève est un cas complexe à cause de la proximité de montagnes comme le Jura qui a une forte influence sur la pluviométrie. A notre connaissance, et malgré les nombreuses mesures effectuées par les services de l'Etat, très peu d'études existent, qui sont à même de donner des éléments de réponse à ce problème.
- la flore et la faune vont être influencées par ce changement climatique, en liaison avec d'autres nuisances comme le bruit, l'éclairage nocturne, les divers polluants (2).
- last but not least, l'effet sur la santé est un sujet trop vaste pour être abordé dans ce papier mais fait l'objet de sérieuses préoccupations de la part des médecins.

## 6. Conclusion

Ce tour rapide des quelques connaissances actuelles sur le climat de Genève a permis de relever quelques aspects caractéristiques et un certain nombre de lacunes.

Si Genève présente de nombreuses similitudes avec les autres villes étudiées et si les chiffres relevés sont conformes aux effets attendus pour une ville de 400 000 habitants, certains points particuliers sont toutefois à souligner : la présence d'un lac sur la partie nord de la ville joue un puissant rôle de régulateur thermique et est la source de vents locaux pouvant éventuellement suppléer le manque de vent régional en certaines circonstances peu favorables à la dispersion des polluants; situation en cuvette au bout du plateau suisse, favorisant la stagnation de l'air vicié et compliquant la compréhension de la pluviométrie.

Les lacunes dans la connaissance du microclimat de l'agglomération genevoise - sur la base de cette modeste étude bibliographique - sont nombreuses, celles concernent principalement le régime des vents locaux, leur modification apportée à la fois par l'urbanisation et les changements de température qu'elle induit.

*Nous remercions E. Pampaloni pour l'aide apportée lors des mesures.*

## Références

- 1) T.R. Oke, Bibliography of urban climate 1981-1988, WMO/TD-N° 397, Office Mondial de Météo, 1990.
- 2) J. Miegé, P. Hainard, Un témoin genevois de l'évolution climatique récente, Archives des sciences, vol20, fasc. 1, 1967.
- 3) F. Calame, RAC 1260 Nyon, communication privée.
- 4) F. Calame, Evolution de la température de l'air et de la phénologie d'espèces végétales (1952-1992), RAC 1260 Nyon.
- 5) P. Ineichen, Quatre années de mesure d'ensoleillement à Genève 1978-1982, thèse N°2089, faculté des Sciences de l'Université de Genève, 1983.
- 6) Département de la prévoyance sociale et de la santé publique, La santé de l'environnement genevois, Les cahiers de la santé, N°4, septembre 1993.
- 7) P. Boesch, Contribution à l'analyse des aérosols au moyen d'impacteurs à cascade. Application au bassin genevois, thèse N° 2196, Faculté des Sciences de l'Université de Genève, 1986.
- 8) Service cantonal d'Ecotoxicologie, Mesure de la qualité de l'air à Genève, édité par le Département de la prévoyance sociale et de la santé publique, 1994.
- 9) T.R. Oke, The energy basis of the heat Island, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol 108, N°455, 1982.
- 10) République et Canton de Genève, Plan directeur cantonal, 1989.
- 11) G. Escourrou, Le climat et la ville, Nathan, 1991.
- 12) J. E. Cermak et al, Wind climate in cities, Kluwer Academic press, 1995.
- 13) A. Akbari, Cooling our communities, Environmental Protection Agency of the United States, January 1992



## QUELQUES EFFETS DES AEROSOLS A GENEVE

Benoît Molineaux, Pierre Ineichen et Bernard Lachal

Centre Universitaire d'Etudes des Problèmes de l'Energie & Groupe de Physique Appliquée  
Université de Genève

### Résumé

Nous cherchons ici à relever quelques uns des nombreux problèmes causés par les aérosols dans notre cité urbaine située au coeur de l'Europe contemporaine. Les phénomènes encourus par les aérosols, que ce soit dans le domaine de la pollution de l'air et ses conséquences sur la santé ou de la modification du climat à l'échelle locale et globale, sont d'une extrême complexité. Ainsi nous avons mis l'accent aussi bien sur le manque de mesures et de connaissances liées à ces phénomènes que sur les résultats déjà acquis à Genève. Parmi ces derniers, une analyse primaire est faite de mesures de poussières en ville et en campagne voisine, montrant l'effet du chauffage hivernal en ville et de l'activité agricole estivale en campagne. D'autres résultats montrent clairement la modification de la distribution spectrale du rayonnement solaire mesuré à Genève et laissent supposer une diminution du rayonnement total incident au sol.

### 1. Introduction

Afin de mieux appréhender la diversité des effets de ces minuscules et invisibles particules solides ou liquides en suspension dans l'air, il est intéressant d'étudier la distribution de taille schématisée sur la figure ci-dessous. On différencie généralement 3 catégories, succinctement:

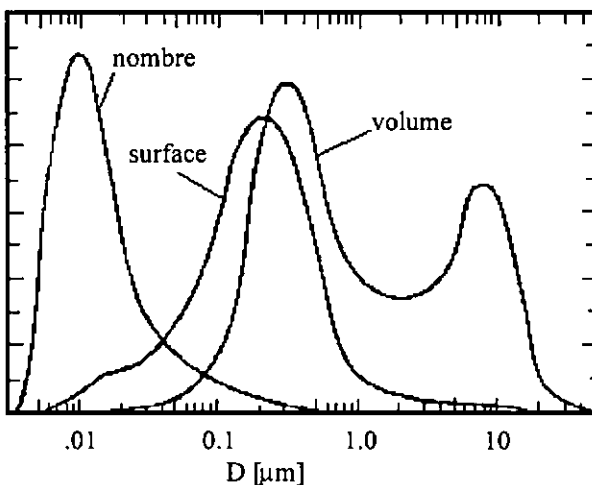


Figure 1: Distribution de taille idéalisée  
(voir Lodge et al. 1981)

- de quelques molécules à  $0.1\mu\text{m}$ : ce sont les particules qui sont les plus nombreuses mais les moins bien connues car les plus difficiles à mesurer. Leur vitesse de chute dans de l'air immobile est inférieure à  $1\text{m}$  par mois mais leur temps de vie est limité par le fait que ces particules s'agglomèrent rapidement entre elles (on parle ici de mode de nucléation). Issues de la combustion en milieu urbain, elles jouent un rôle clé en météorologie, servant de noyaux de condensation pour la formation de nuages et brouillards. L'importance de leur impact sur la santé semble avoir été longtemps sous-estimée.

- de 0.1 à  $1\mu\text{m}$ : bien que ne représentant qu'un ordre de grandeur sur les cinq de la figure 1, cette catégorie de particules comprend à elle seule environ la moitié de la masse totale de particules en suspension et se trouve responsable de la majorité des effets néfastes de tous les aérosols. C'est le mode d'accumulation formé par l'agglomération de particules plus fines ou par des transformations chimiques à partir des gaz polluants tels que les oxydes de soufre ou d'azote. Ce sont aussi les particules les plus stables de la troposphère, avec une vitesse de chute d'environ  $1\text{m}/\text{jour}$  elles ont un temps de vie d'environ une semaine, ce qui limite généralement cette forme de pollution à quelques centaines, voire milliers, de kilomètres de la source. On trouve dans cette catégorie, où les particules ont une taille proche de la longueur d'onde de la lumière visible, la quasi-totalité des effets optiques engendrés par les aérosols (diminution de la visibilité et du rayonnement solaire incident par exemple). Au vu de la distribution de la surface d'échange des aérosols illustrée sur la figure 1, on imagine également l'importance du rôle joué par cette catégorie d'aérosols sur les réactions chimiques et sur la santé publique. Le minimum dans la distribution de taille à 1 ou  $2\mu\text{m}$  a été observé presque systématiquement lors de précédentes campagnes de mesure dans tous les milieux: urbains, ruraux ou isolés.
- de 1 à plusieurs dizaines, voire centaines, de  $\mu\text{m}$ : c'est la catégorie des particules dites géantes ou grossières qui ont une durée de vie limitée par la sédimentation. Leur vitesse de chute dans de l'air immobile augmente avec la taille d'environ  $1\text{m}/\text{h}$  à  $1\text{m}/\text{s}$ . Ces particules se trouvent donc généralement proches de leur lieu d'émission sauf par vent fort. Issues de combustion incomplète en milieu urbain ces particules sont typiques du milieu rural et naturel, grâce à l'activité agricole et l'érosion des sols. Elles ont un effet limité sur la santé car elles ne pénètrent pas dans les poumons, et sur les autres phénomènes car leur nombre et leur durée de vie sont limités.

## 2. Les sources d'aérosols

A l'échelle globale, les océans sont la principale source d'aérosols grâce au piégeage de bulles d'air par les vagues, qui libèrent des sels en solution sous forme d'aérosols en éclatant à la surface. Ensuite viennent les volcans avec des injections sporadiques de gigantesques quantités d'aérosols, surtout de soufre, puis l'érosion naturelle des sols contribuant tous les éléments de la surface terrestre. Les sources artificielles représentent environ 12% de tous les aérosols à l'échelle globale mais dépassent facilement les 80% sur l'ensemble des pays industrialisés et densément peuplés, et avoisinent les 100% en milieu urbain. La masse totale d'aérosols en milieu urbain dépasse ainsi les valeurs naturelles de plusieurs ordres de grandeur.

Les sources d'aérosols en milieu urbain sont étroitement liées aux sources de pollution sous forme de gaz, et sont presque exclusivement issues des phénomènes de combustion. Il s'agit pour la majorité d'entre elles, de particules secondaires issues de transformations chimiques à partir des gaz. En plus de notre consommation d'énergie fossile qui prend la majeure part de la responsabilité, il faut noter dans notre canton peu industrialisé l'incinération des déchets ménagers et chimiques.

Le gaz  $\text{SO}_2$ , souvent cité comme le pollueur type se transforme facilement en particules, soit d'acide sulfurique liquide, soit de sulfates divers sous forme solide. Le  $\text{SO}_2$  a vu ses émissions diminuer de plus de 50% à Genève dans les 20 dernières années et c'est le cas dans la plupart des pays riches. A ce titre on le nomme parfois le pollueur du pauvre car il est lié à l'huile lourde, au mazout et charbon soufrés remplacés peu à peu par le gaz naturel ou le mazout "propre". Le contrôle des émissions, la pose de catalyseurs sur les voitures et de

filtres dans les usines ont contribué à l'amélioration de la situation dans les pays les plus riches. A l'échelle globale les émissions artificielles de soufre ont néanmoins dépassé les émissions naturelles d'un facteur 3, et l'industrialisation des pays pauvres, dans des conditions difficiles du point de vue de l'environnement, risque de voir ce chiffre se multiplier encore. Le SO<sub>2</sub> lié au chauffage est responsable du smog d'hiver qui est également en diminution dans nos pays.

Les oxydes d'azote, NO<sub>x</sub>, sont également une source de particules par le biais de transformations chimiques, incluant ou non le soufre lors des réactions. Ces gaz, provenant principalement des véhicules à essence, sont responsables du smog d'été qui nécessite un fort ensoleillement et des températures > 20°C pour les transformations photochimiques. Ce phénomène typique de Los Angeles existe dans une moindre mesure sur le plateau Suisse. Les oxydes d'azote ont vu leurs émissions se stabiliser à Genève, mais pas diminuer car l'effet bénéfique des catalyseurs est compensé par l'accroissement effréné du parc automobile. A ce sujet, Genève compte aujourd'hui 1 voiture pour 2 habitants, soit plus que la moyenne européenne (1 pour 3) mais moins que la moyenne nord-américaine (2 pour 3) et les normes OPair sont régulièrement dépassées en ce qui concerne ces gaz (Cupelin et Zali 1992).

Notons comme autres gaz les composés organiques volatiles (VOC) qui peuvent également se transformer en particules et sont généralement des sous-produits de combustion.

Parmi les particules primaires qui ne sont pas issues de transformations chimiques ou d'agglomération de particules plus fines, la combustion incomplète génère aussi des particules primaires contenant du carbone. Les véhicules roulant au diesel, principalement les camions dans notre pays, produisent également des particules primaires et la pose de filtres équivalents aux catalyseurs pour les véhicules à essence n'est malheureusement pas encore pratiquée dans notre pays.

Finalement, l'érosion causée par les pneus de voiture est une source d'aérosols non négligeable en ville. La quantité totale de poussières mesurées en ville à d'ailleurs subit une augmentation très nette dans les années '70 avec l'avènement des pneus cloutés, qui sont devenus très rares dans notre pays.

### 3. Distribution ville - campagne

Nous présentons ici quelques résultats obtenus par le service de l'ECOTOX Genève concernant leurs mesures quotidiennes de poussières en ville (Jonction) et en campagne voisine (Passeiry).

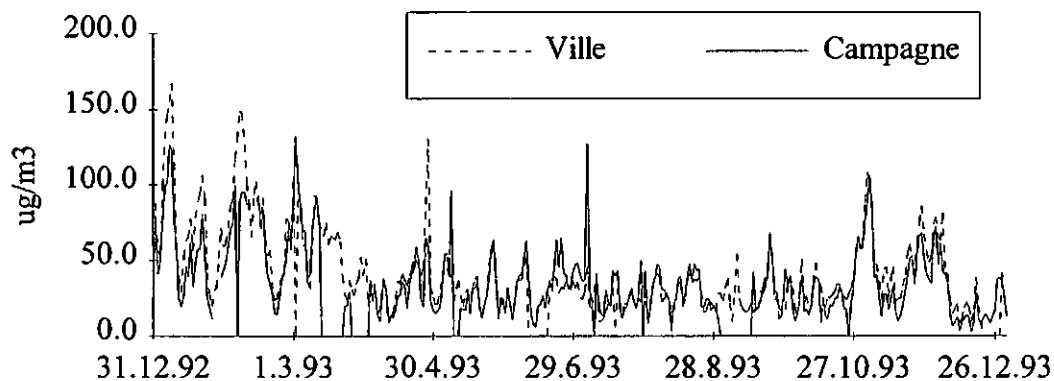


Figure 2: Poussières mesurées en ville et en campagne voisine durant l'année 1993

Il est intéressant de noter sur la figure précédente que la quantité totale de poussières mesurée en ville et en campagne voisine n'est pas sensiblement différente, suivant les mêmes tendances. Les variations rapides étant vraisemblablement liées aux conditions météo tels que vent et pluie. On observe également une concentration plus forte en ville en hiver (maximum de chauffage) et en campagne en été (maximum des activités agricoles). Cette différence est illustrée de manière spectaculaire sur le graphique suivant. On voit aussi l'effet du vent qui tend à atténuer les différences.

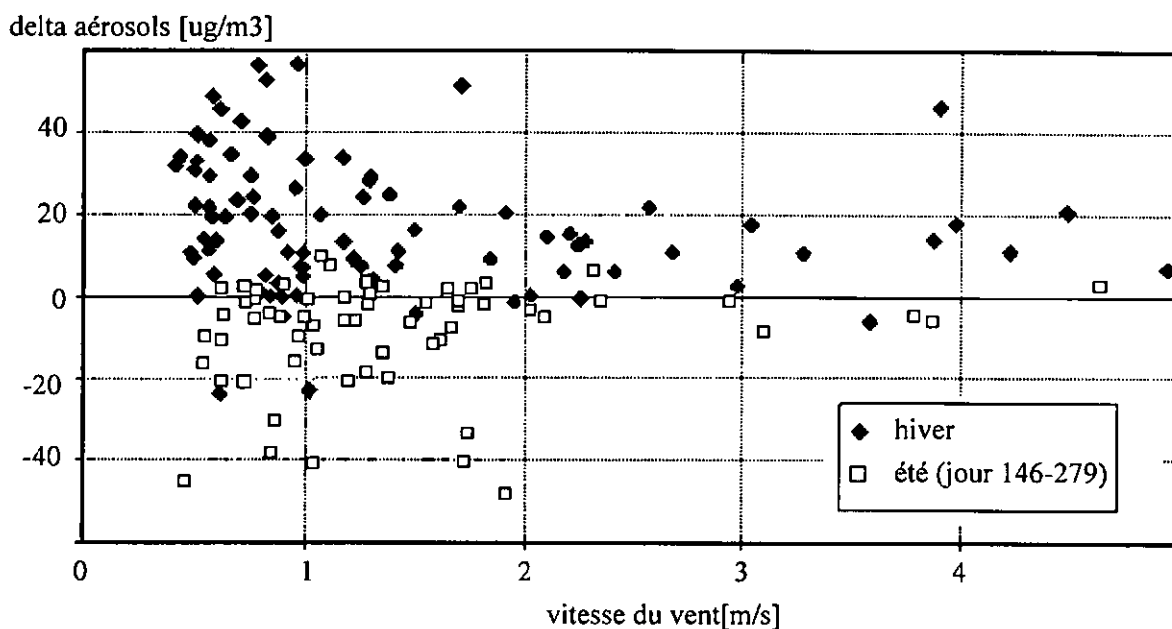


Figure 3: Différences entre les quantités de poussières mesurées en ville (Jonction) et en campagne (Passeiry), en fonction du vent pour l'année 1992. **Jours sans pluie à Cointrin.**

La variation saisonnière naturelle donne un maximum en été et un minimum en hiver dans les deux hémisphères, en raison sans doute de l'activité biologique et des courants thermiques soulevant les particules. En ville, les mesures manquent mais il semble que le maximum soit observé en hiver dans les villes comme Genève où le chauffage hivernal représente une part importante de la consommation en énergie fossile.

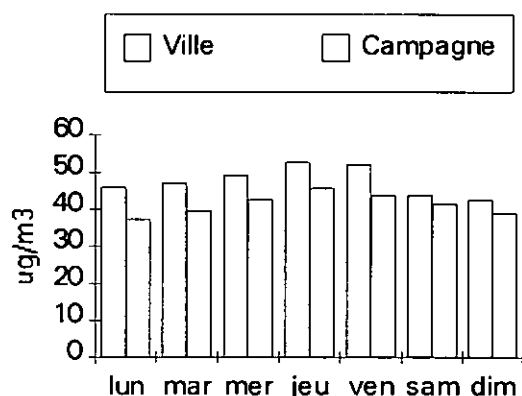


Figure 4: Poussières quotidiennes à Genève, 1992

La figure de gauche illustre la variation moyenne hebdomadaire de la quantité de poussières. Sur quatre années que nous avons étudiées (1990-93) seule l'année 1993 ne montre pas clairement un maximum en milieu de semaine et un minimum les week-ends. La quantité moyenne de poussières mesurées par l'ECOTOX à sensiblement baissé durant ces années de  $60\mu\text{g}/\text{m}^3$  à  $45\mu\text{g}/\text{m}^3$  en ville, phénomène moins marqué en campagne. Le diamètre inférieur des poussières retenues par les filtres correspond aux standards Suisses en la matière, mais n'est pas clairement défini, ni dans l'OPair, ni auprès des utilisateurs de ces filtres.

#### 4. Quelques problèmes causés par les aérosols en milieu urbain

**4.1 La Santé :** Les effets des aérosols sur la santé sont extrêmement difficiles à évaluer, étant donné la variété de leurs propriétés physico-chimiques et le fait que leur effet sur la santé est indissociable des autres agressions que subit une personne vivant en milieu urbain. Une relation claire de cause à effet n'a donc pu être établie que dans certains cas extrêmes comme le smog hivernal de Londres dans les années 50, où la concentration de particules a sans doute atteint  $4000\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Le taux de mortalité des enfants et personnes âgées a augmenté de manière alarmante, donnant lieu à des mesures (contrôle des chaufferies, diminution du soufre dans le mazout, réduction de l'utilisation de l'huile lourde, pose de filtres, etc.) permettant une très nette amélioration de la situation à partir des années soixante.

L'effet des aérosols sur la santé dépend fortement de leur taille. Les aérosols ayant un diamètre supérieur à  $10\mu\text{m}$  sont presque totalement filtrés par le nasopharynx. Les poumons, la trachée et les bronches captent d'autant mieux les particules que celles-ci sont petites, mais leur effet est vraisemblablement lié à leur surface d'échange, voir fig. 1. Une étude récente (Seaton et al., 1995) indique que l'effet général des aérosols sur la santé a été longtemps sous-estimé en raison du fait que les études existantes ont été faites sur des ouvriers exposés à de très fortes concentrations de particules de diamètre  $> 1\mu\text{m}$ . Aujourd'hui, il semble que la taille, le nombre et la composition des aérosols soit beaucoup plus influents que leur masse totale. Ceci n'est malheureusement pas pris en compte dans les normes suisses ou internationales et les études qui y sont liées.

Les connaissances actuelles et les résultats obtenus en expérimentation animale et humaine, montrent clairement que les effets touchent principalement les maladies respiratoires mais également cardio-vasculaires en raison du pouvoir de coagulation accru du sang chez les individus exposés. D'après Seaton et al., des concentrations typiques du milieu urbain et considérées à ce jour inoffensives, par exemple  $100$  à  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$  (norme Suisse =  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur 24h ou  $75\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur une année, moyenne des villes des 43 pays les plus défavorisés  $> 300\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pourraient engendrer des effets aigus chez certains individus susceptibles. Cette hypothèse suppose que la distribution de taille ressemble à celle de la figure 1 avec un nombre négligeable de grosses particules, contrairement à certains milieux industriels. C'est pourquoi la mesure de la distribution de taille des particules est absolument essentielle dans ce domaine.

Ce sont en effet  $12\text{m}^3$  ou  $15\text{kg}$  d'air que nous respirons quotidiennement contenant environ  $10^6$  particules par ml. Les crises d'asthme, les bronchites, la toux chronique, les allergies en général sont toutes des maladies en progression constante dans nos pays civilisés, dont une grande part de responsabilité est attribuable aux aérosols.

**4.2 La visibilité:** La clarté de l'air est un luxe qui semble devenir de moins en moins accessible à une part de plus en plus grande de la population. La distance à laquelle un objet peut être différencié de son entourage dans un air libre d'aérosols est théoriquement supérieure à  $300\text{km}$ . En dehors des zones peuplées d'Amérique du Sud et dans certaines régions reculées d'Amérique du Nord des visibilités supérieures à  $200\text{km}$  sont fréquemment observées. Sur la Côte Est des Etats-Unis en raison d'une forte humidité relative combinée avec une forte densité de population, la visibilité dépasse rarement quelques dizaines de km en été. En Europe, même dans les régions les plus reculées, une visibilité supérieure à  $100\text{km}$  est tout à fait exceptionnelle et la moyenne annuelle estimée à l'aéroport de Genève est inférieure à  $50\text{km}$ .

C'est la diffusion de la lumière sur les aérosols qui est en majeure partie responsable de l'effet de diminution de visibilité observé. L'absorption de la lumière visible par les aérosols est exclusivement attribuable au carbone graphitique que l'on trouve en général dans la suie alors que la diffusion dépend surtout de la taille des aérosols. Parmi les gaz dont la concentration augmente dans la troposphère, seuls le  $\text{NO}_2$  et  $\text{O}_3$  absorbent dans le visible et leur impact sur la diminution de la visibilité est considéré comme négligeable, mais méritent d'être cités en raison du manque de références sur ce sujet.

4.3 Climat local: L'influence des aérosols sur le climat local en milieu urbain mérite une attention particulière et le manque de mesures et connaissances acquises à ce sujet est déplorable. La modification du rayonnement solaire incident à Genève est discutée au §5. Les effets autres que sur le rayonnement sont surtout liés à la formation de nuages. Les particules solubles dans l'eau servent de noyaux de condensation dont l'effet est d'autant plus efficace que les particules sont petites et nombreuses. La formation de nuages en altitude et de brouillards en plaine est donc grandement favorisée en milieux pollués.

La formation mais aussi la durée de vie des nuages, qui comportent plus de gouttes plus fines et sont donc plus stables, est influencée. Quand la pluie se forme, les noyaux de condensation sont emportés avec les gouttes et les aérosols. Ce phénomène est responsable des pluies acides (sulfurique et nitrique) qui ne retombent pas toujours sur les zones d'où proviennent les émissions.

La pluie joue aussi un rôle de lessivage et on observe à Genève une amélioration remarquable de la clarté de l'air après la pluie. Le lessivage est d'autant plus efficace que les gouttes de pluie sont fines et que les particules sont grosses. Du point de vue de la pollution ce lessivage ne fait que déplacer le problème. On retrouve ainsi les aérosols, dont certains des composants sont toxiques, dans l'eau de pluie et le cycle de l'eau.

4.4 Climat global : L'influence des aérosols sur le climat global n'est pas un phénomène urbain proprement dit mais est fortement lié à l'urbanisation, génératrice de la majorité des aérosols d'origine anthropogène. L'effet global provoquerait un refroidissement égal à environ  $-1 \text{ W/m}^2$ , soit la moitié de l'effet du réchauffement causé par l'accroissement de gaz à effet de serre. Deux processus sont à prendre en compte: d'une part la diffusion de la lumière accrue et donc le pouvoir réfléchissant des aérosols et d'autre part la formation des nuages qui serait responsable pour moitié de l'effet de refroidissement estimé. Leur faible durée de vie et l'hétérogénéité de la distribution des aérosols à la surface du globe, contrairement aux gaz à effets de serre, en font la grande inconnue du changement climatique annoncé.

## **5. Effet des aérosols sur le rayonnement solaire**

Comme cité ci-dessus les aérosols ont un effet direct sur le rayonnement solaire, lié au fait qu'ils diffusent (et absorbent en faible quantité) la lumière, et un effet indirect lié à leur influence sur la formation des nuages. Nous étudions ici l'effet de la diffusion de la lumière par les aérosols. L'effet se mesure principalement sur les proportions et distributions spectrales des rayonnements direct et diffus arrivant au sol. Par rayonnement direct on entend le rayonnement perçu si l'on regarde le soleil à travers un tube centré sur le disque solaire et dont l'angle d'ouverture ne dépasse pas quelques degrés. Le rayonnement diffus provient du reste de la voûte céleste et le rayonnement global ou total est la somme des direct et diffus. A Genève, la proportion de rayonnement diffuse arrivant au sol par beau temps est en moyenne de 15% du global. Sans les aérosols cette proportion ne serait plus que 5%.

Le manque de mesures des aérosols à Genève nous a poussés à étudier les variations spectrales en fonction de la visibilité estimée à l'oeil nu par un observateur de l'aéroport de Cointrin. Les résultats illustrés sur la figure ci-dessous sont significatifs:

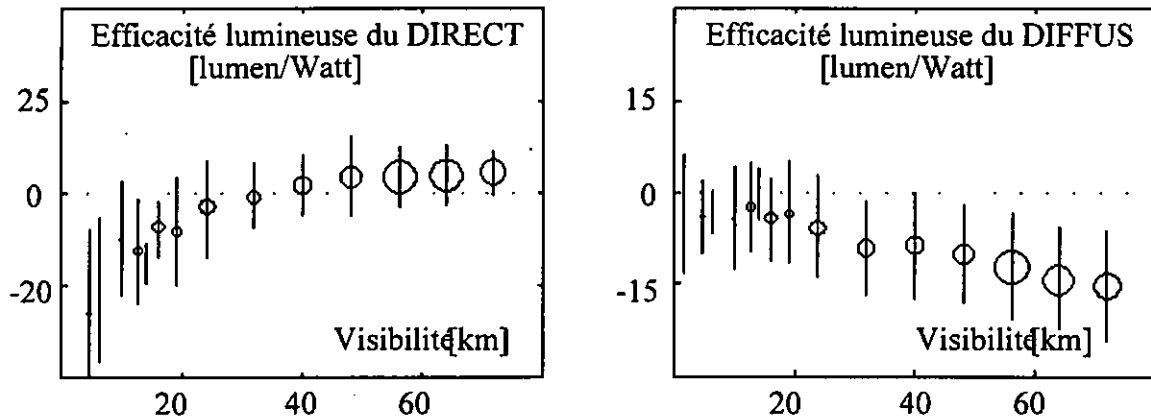


Figure 5: Erreurs sur la prédiction de la proportion visible des rayonnements direct et diffus  
La taille des cercles est proportionnelle au nombre d'observations

L'efficacité lumineuse correspond à la proportion du rayonnement qui est visible à l'oeil nu. Ainsi le rayonnement thermique émis par la terre aura une efficacité lumineuse nulle, puisque invisible. Les architectes s'intéressent à l'efficacité lumineuse car c'est elle qui détermine la qualité de l'éclairage naturel permettant de limiter l'utilisation de l'électricité.

Deux constituants de l'atmosphère diffusent la lumière: Les molécules d'air et les aérosols. Le processus de diffusion dépend de la longueur d'onde de la lumière et de la taille des corps sur lesquels la lumière est diffusée. Le plus les corps sont petits, le mieux les courtes longueurs d'onde seront diffusées. Lorsque la taille des aérosols augmente, la diffusion affecte une plus grande partie du spectre jusqu'à une taille d'environ 1µm au dessus de laquelle la diffusion affecte de manière égale toutes les longueurs d'onde. Ainsi un ciel très pur par beau temps (diffusion des courtes longueurs d'onde sur les molécules d'air) sera bleu profond et un ciel pollué sera blanc (diffusion d'une plus grande partie du spectre sur les aérosols).

L'efficacité lumineuse du diffus est d'env. 120 lum/W contre 90 lum/W pour le direct. Le plus il y a d'aérosols, le plus cette différence sera marquée, c'est ce que l'on observe sur la figure ci-dessus. Comme le taux d'aérosols est inversement proportionnel à la visibilité, on voit que les aérosols diffusent principalement les longueurs d'onde visibles, augmentant ainsi l'efficacité lumineuse du rayonnement diffus au détriment de l'efficacité lumineuse du rayonnement direct.

Un phénomène qui nous a permis d'illustrer de manière spectaculaire les effets potentiels des aérosols, est l'éruption récente du Mt Pinatubo dans les Philippines qui a injecté dans la stratosphère une quantité fantastique d'aérosols dont la durée de vie est de plusieurs années. La figure ci-dessous illustre le déficit de rayonnement direct pendant les deux années suivant l'éruption à Genève, soit à plus de 10000km du lieu de l'éruption. Le modèle illustré est un modèle empirique développé avant l'éruption et les écarts par rapport au modèle sont une illustration des différences avant et après l'éruption.

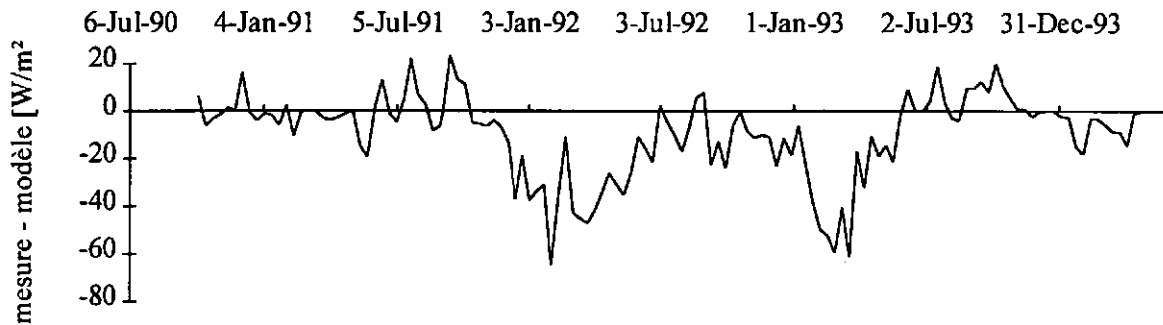


Figure 6: Diminution du rayonnement direct suite à l'éruption du Mt Pinatubo en Juin 1991

On voit que l'effet de l'éruption ne s'est fait ressentir que des mois après l'éruption, et que l'effet est nettement plus marqué en hiver, ceci étant en partie lié au fait que le soleil traverse une plus grande masse d'air en hiver.

Finalement, si l'effet des aérosols du Pinatubo paraît spectaculaire c'est grâce en partie à la persistance des aérosols volcaniques. Les aérosols de la troposphère subissent des variations beaucoup plus rapides rendant leurs effets difficiles à mettre en évidence. Tout porte à croire néanmoins que leur effet est important et que la diminution du rayonnement solaire est très accentuée en milieu urbain. Ainsi la diminution du rayonnement total incident en ville de Paris est estimée à 10-15% alors qu'à Londres la diminution du rayonnement direct avoisine les 25% alors qu'elle dépassait les 50% dans les années '50 (Unsworth and McCartney 1973).

## Conclusions

Les aérosols jouent un rôle complexe et influencent notre bien-être de citoyens. Les effets que nous avons vus sont résumés ci-dessous:

- effets sur notre santé, à ranger parmi les effets les plus perniciose de la pollution urbaine et nécessitant des études approfondies sur l'influence méconnue à ce jour des particules les plus fines. Les normes suisses et internationales devraient sans doute être révisées sur la base de ces nouvelles connaissances car ce n'est pas la masse totale d'aérosols qui est importante mais le nombre, la distribution et la composition des aérosols les plus fins qui peuvent pénétrer dans nos voies respiratoires;
- l'effet sur la clarté de l'air et notre confort visuel est un bon indicateur de pollution particulaire. La distance à laquelle nous pouvons distinguer les objets est de moins de 50km à Genève alors qu'elle était sans doute supérieure à 200km au début du siècle;
- l'effet des aérosols sur le rayonnement solaire engendre une diminution de celui-ci de parfois plus de 10% en milieu urbain mais c'est aussi l'effet des aérosols sur le climat global qui est inquiétant;
- l'effet sur la formation des nuages est peut-être l'effet climatique le plus à craindre avec une augmentation de la nébulosité et des brouillards en plaine. Il serait intéressant de savoir si les situations de stratus hivernal dont souffre Genève ont vu leur nombre et/ou leur durée augmenter depuis le début du siècle.

Seule une approche réunissant des compétences dans plusieurs disciplines telles que la météorologie, climatologie, physique et chimie de l'atmosphère peut apporter une bonne compréhension des phénomènes de création, transformation, transport et dépôt des aérosols. Les études existantes font d'habitude appel à une seule de ces disciplines et sont généralement



limitée dans l'analyse de l'effet de la taille des aérosols, qui est primordiale pour tous les phénomènes cités. C'est dans ce contexte que le CUEPE et le GAP voudraient mettre en oeuvre un projet de recherche pluridisciplinaire sur l'influence des aérosols avec des mesures détaillées en ville, campagne et montagne voisine. Les menaces que font peser les aérosols sur notre santé au sens large, ainsi que sur notre climat à toutes les échelles justifient le caractère urgent de ces recherches.

## Remerciements

Nous tenons à remercier le service ECOTOX de Genève et le Dr F. Cupelin pour avoir mis à notre disposition leur mesures de poussières en ville et campagne voisine. Le FNRS et l'Université de Genève sont remerciés pour leur soutien.

## Bibliographie

Quelques ouvrages d'aspect général sont cités ici, les ouvrages Cupelin et Zali (1992) et Boesch (1986) sont spécifiques à Genève.

- Boesch A, Analyse des aérosols en ville de Genève, Thèse de Doctorat de l'Université de Genève, Section de Chimie (1986).
- Cupelin F, Zali O, Chapitre 6 de Véhicules à moteur et pollution atmosphérique, Mage DT et Zali O., éditeurs, OMS et ECOTOX Genève, (1992).
- Kiehl JK, Briegleb BP, The relative roles of sulphate aerosols and greenhouse gases in climate forcing, *Science* Vol. 260, 143-150 (1993).
- Horvath H, Avertage visibility in Central Europe, *Atm Env*, V29(2) 241-246 (1995).
- Hofmann DJ, Twenty years of ballon-borne tropospheric aerosol measurements at Laramie, Wyoming, *J of Geophys Res*, V98(D7) 12,753-12,766 (1993).
- Lodge JP, Waggoner AP, Klodt DT, Crain CN, Non-health effects of airborne particulate matter, *Atm Env* 15 431-482 (1981).
- Martin J, Maystre LY, Santé et pollution de l'air, Presses Polytechniques Romandes, Lausanne (1988).
- Roch U, éditeur, L'Air - Etat de la situation atmosphérique, de la pollution de l'air et du déperissement des forêts en Suisse, Georg Genève, (1992).
- Seaton A, MacNee W, Donaldson K, Godden D, Particulate air pollution and acute health effects, *The Lancet*, V345 176-178 (1995).
- Unsworth MH, McCartney HA, Effects of atmospheric aerosols on solar radiation, *Atm Env*, V7, 1173-85, (1973).
- Watson JG, Chow JC, Clear sky visibility as a challenge for society, *Annual Review of Energy and the Environment* 19, 241-266, Annual Reviews Inc. (1994).
- World Health Organisation, Sulfur oxides and suspended particulate matter, *Envir. Health Criteria* 8, Geneva, (1979).



## QUALITE DE L'AIR A GENEVE: RESEAU DE SURVEILLANCE ET PLAN DE MESURES

J.-Cl. Landry; F. Cupelin  
Service de l'Ecotoxicologie cantonal à Genève

### Résumé

La stratégie de lutte contre la pollution de l'air s'appuie sur une double action :

- 1) La limitation des émissions de polluants (valeur limite d'émission VLE).
- 2) La limitation de la charge des polluants (valeur limite d'immission VLI).

Le plan des mesures (PM) est un outil légal (OPair art. 31)<sup>1</sup> qui permet de mettre en oeuvre la stratégie de la protection de l'air en Suisse lorsqu'il y a des immissions excessives.

Le suivi de la qualité de l'air à Genève permet de mettre en évidence une baisse significative des immissions excessives de dioxyde d'azote, tant sur la base des moyennes annuelles que sur celle des moyennes journalières.

Pour l'ozone, la situation reste critique et est beaucoup plus difficile à gérer car les dépassements des valeurs limites sont associés à une moyenne horaire.

Le bilan des mesures annoncées dans le plan des mesures démontre qu'un travail important a été réalisé. Cependant, un certain nombre d'entre elles n'ont pas conduit aux résultats espérés.

Un catalogue de nouvelles mesures a été mis sur pied. Il contient également celles qui ont fait l'objet d'une décision dans les domaines de compétence de la Confédération.

La marge de manoeuvre se rétrécit pour de nouvelles actions. Il devient de plus en plus difficile de proposer des mesures qui respectent le principe de proportionnalité tout en étant efficaces. C'est pourquoi, les mesures incitatives devraient conduire à une prise de conscience de la responsabilité individuelle face aux problèmes de la pollution atmosphérique puisqu'en définitive, nous sommes tous consommateurs de l'air dans lequel nous aimerions nous épanouir.

### 1. Introduction

Le 27 mars 1991, le Conseil d'Etat adoptait le Plan des mesures OPair. Ce plan visait essentiellement à traiter les immissions excessives de dioxyde d'azote. Par la suite, et de manière consensuelle entre les acteurs de l'industrie et les administrations, un plan des mesures visant à réduire les émissions de composés organiques volatils (COV) s'est concrétisé: les branches principales sont celles du transport et du transvasage des hydrocarbures, de la chimie et d'autres industries émettant des quantités substantielles de ces produits.

---

<sup>1</sup> réf. de l'OPair

## 2. Etat de la connaissance sur la qualité de l'air

### • Les immissions

Le canton de Genève dispose d'un réseau d'observation de la pollution atmosphérique. Son objectif est de mesurer la qualité de l'air et d'en suivre l'évolution.

Les concentrations des polluants sont mesurées de manière à permettre une comparaison avec les valeurs limites d'immission fixées par l'Ordonnance sur la protection de l'air (OPair).

En 1995, huit stations de mesure fixes et deux stations mobiles sont en activité. La plus ancienne des stations est celle de Ste-Clotilde. Elle a été mise en service en 1973. La plus récente est située dans l'ancien radiophare de Passeiry. Elle est entrée en fonction en 1989.

Les emplacements des stations de mesure ont été déterminés en fonction des particularités propres au canton de Genève selon les critères suivants :

1. densité de la population
2. sources de pollution fixes et mobiles
3. météorologie régionale

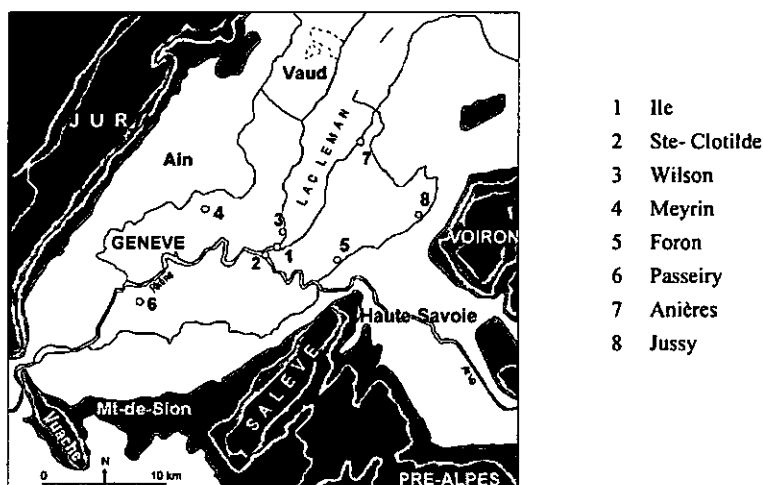


Figure 1 : Emplacement des 8 stations de mesure du réseau d'observation de la pollution atmosphérique dans le canton de Genève (ROPAG)

En milieu urbain, les valeurs limites pour le dioxyde d'azote sont encore largement dépassées.

En milieu suburbain, les niveaux atteints frisent la valeur limite pour la moyenne annuelle.

En milieu rural, il n'y a pas d'immissions excessives.

Par rapport à la situation de 1988, prise comme année de référence dans le plan des mesures de 1991 (PM91)<sup>2</sup>, la situation s'est améliorée en milieu urbain. La concentration moyenne annuelle a diminué ainsi que le nombre de dépassements de la valeur limite journalière.

<sup>2</sup> Assainissement de l'air à Genève, service de la législation et des publications officielles, République et canton de Genève, 27 mars 1991.

L'ozone, ainsi qu'un certain nombre d'autres oxydants photochimiques, se forment dans les couches d'air proches du sol et dans la troposphère libre par réaction chimique à partir de précurseurs. Parmi ces derniers, on trouve notamment les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et les composés organiques volatils (COV). L'ozone, et d'une façon générale tous les oxydants photochimiques, se forment pendant le déplacement de masses d'air polluées. Il en résulte que les concentrations d'ozone les plus fortes ne sont pas enregistrées dans les zones où sont émis les polluants primaires (agglomérations), mais dans les zones alentours ainsi qu'en région rurale.

Les mesures effectuées sur l'ensemble du territoire genevois montrent que les valeurs limites ne sont pas respectées. Une **tendance à la baisse est cependant enregistrée.**

#### • **Cadastre des émissions**

Le cadastre des émissions du trafic automobile est basé sur les facteurs d'émission de la Confédération et sur les plans de circulation 2000. Le territoire français est également pris en compte.

Le cadastre des émissions dues au chauffage des locaux et des installations de production de chaleur industrielle a également été achevé. L'estimation des émissions de COV par les entreprises est estimée à 4500 t p/an.

Un modèle permettant de relier les émissions aux immissions a été mis sur pied pour les oxydes d'azote. Il fait l'objet d'une étude multidisciplinaire pour l'ozone.

### **3. Bilan des mesures d'assainissement**

Il est donné sous forme de tableau (annexe). Le bilan par rapport à l'objectif a été chiffré sur la base de 100%. Il n'est retenu que les sujets principaux. Pour le surplus on se reportera au rapport du suivi du plan des mesures.

### **4. Au futur**

Nous indiquons ici quelques unes des mesures significatives qui seront poursuivies ou quelques mesures nouvelles parmi un catalogue touchant l'ensemble des activités humaines.

Le plan directeur du réseau des transports publics 1994 sera poursuivi. En particulier seront adoptés des mesures concrètes pour améliorer la vitesse commerciale des TPG.

La création d'une ligne 13 de tramway est un fait tangible. On envisage son extension. La réorganisation du réseau régional des TPG sur les rives droites du lac et du Rhône a été menée à chef.

L'électrification des lignes d'autobus, (ligne 6, ligne 26) sera terminée en 2005. L'étude de la "mise sur rail" d'un métro léger, inscrite dans la loi, devrait permettre à terme d'avoir un moyen de transport public performant. Cette réussite sera d'autant plus significative que la traversée de la rade fait partie intégrante du plan des mesures OPair 1991. La surface de voirie qui deviendra ainsi disponible sur le pont du Mont-Blanc permettra d'y implanter le métro léger à peu de frais.

Les mesures concernant les transports individuels permettront de limiter progressivement le trafic sur les plus importantes artères de transit de la ville. A cet effet, on mettra sur pied des plans de circulation sectoriels, créant des zones seules accessibles au trafic de destination.


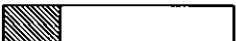





















Le système de régulation du trafic sera modernisé dans un délai de cinq ans afin de répondre aux nouvelles exigences d'exploitation du réseau des transports et de la circulation générale.









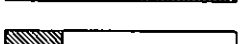


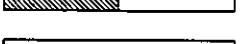
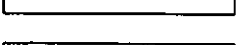
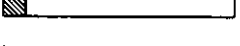
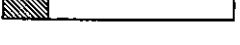

La construction de parkings en sous-sol permettra de supprimer des places de parcage publiques en surface et de redistribuer des espaces de voirie en faveur des transports publics, des livraisons, des deux-roues, des piétons et des espaces verts.

La gestion des places de parcage au centre-ville sera maîtrisée à l'aide de méthodes et de matériels nouveaux.

On favorisera la mobilité des deux roues léger.

Une série d'autres mesures ne trouve pas sa place ici : le Conseil d'Etat devra décider d'un nouveau train de mesures qui lui est actuellement soumis pour décision.

MESURES	TITRES	REMARQUES	BILAN 1994
TRANSPORTS PUBLICS	Plan directeur TPG (90-94)		0  100%
	Amélioration de la ligne 12 de tramway		
	Développement du réseau urbain		
	Création de la ligne 13 de tramway		
	Réorganisation du réseau régional		
	Electrification des lignes d'autobus	<i>avec TC 2005</i>	
	Communauté tarifaire élargie	<i>décalé 1996</i>	
	Avenir des TPG		
	Plan directeur TPG (95-00) TC 2000		
	PLAN de CIRCULATION	Schéma sectoriel	<i>plan de circulation 2000</i>
Hierarchie fonctionnelle du réseau routier		<i>plan de circulation 2000</i>	
Nouveau plan de circulation		<i>plan de circulation 2000</i>	
Circulation sectorielle		<i>efficace au Quai des Bergues</i>	
Trafic de transit			
Système d'exploitation du trafic			
Priorité au TC			
STATIONNEMENT	Régularisation du trafic		
	Giratoires		
	Amélioration de l'accessibilité		
	Parking habitants centre-ville		
	Parcage besoins professionnels		
	Construction parkings en sous-sol		
	Gestion des places de parcage		
	Amélioration de l'offre		

MESURES	TITRES	REMARQUES	BILAN 1994
TRAFIC	Stationnement pour les habitants		0  100%
	Limitation des places pendulaires		
	parking (P + R)		
	Concertation avec les transports professionnels		
	Stationnement de taxis		
	Nouveau plan de circulation	<i>circulation 2000</i>	
	Etendre réseau de la piste cyclable		
	Favoriser la mobilité des deux roues		
	Parking deux roues TPG		
	AEROPORT	Limitation des avions polluants	<i>en cours d'étude à l'OFAC</i>
Surtaxe pollution		<i>en cours d'étude à l'OFAC</i>	
Chauffage à distance		<i>cher, partiellement réalisé</i>	
CHAUFFAGE ENERGIE	Décompte individuel des frais de chauffage	<i>performance en fonction de l'indice de dépense d'énergie</i>	
	Pompes à chaleur	<i>directive en voie de diffusion</i>	
	Indice de dépense d'énergie		
	Energies indigènes	<i>objectif réalisé</i>	
	Limitation d'utilisation des COV	<i>décision de la Confédération</i>	



## STRATEGIES ANTI-POLLUTION ET COMPORTEMENT PRIVE

Danielle Bütschi  
Département de Science Politique, Université de Genève

### 1. Introduction

Les nuisances occasionnées par le trafic automobile en milieu urbain ont fait l'objet de nombreuses études, mais la mise en oeuvre de mesures adéquates se heurte souvent aux barrières économiques et politiques. Bien que certaines villes se trouvent à l'avant-garde en matière de réduction du trafic, force est de constater que dans de nombreux cas, des oppositions se font jour vouant ainsi à l'échec toute tentative de résolution. Si les attaques viennent le plus souvent des organisations automobiles ou des associations de commerçants, cette communication tente d'apprécier dans une première partie si celles-ci sont fondées sur un réel soutien populaire. Plus exactement, il s'agira d'établir les opinions des Suisses et des Suissesses à l'égard de plusieurs mesures visant à réduire les nuisances occasionnées par le trafic en ville: la *fermeture des centre-villes à la circulation automobile*, la *gestion du stationnement en ville* (extension des zones bleues et augmentation des tarifs), la *promotion de mini-véhicules électriques* et la *promotion du car-pooling*. Dans une deuxième partie, l'analyse se concentrera sur les intentions des individus à modifier leurs comportements dans le sens prévu par les différentes mesures si celles-ci devaient être introduites.

Les résultats discutés dans le cadre de cette communication se basent sur des données récoltées dans le cadre d'une recherche intégrée au Programme Prioritaire Environnement, soutenue par le Fonds national de la recherche scientifique. Plus exactement, il s'agit de données recueillies auprès d'un échantillon interviewé à deux reprises. La première interview a été réalisée dans le cadre de l'*Umwelt Survey*<sup>1</sup>, regroupant diverses équipes de recherche actives dans le Programme Prioritaire Environnement. Sur les 3000 personnes environ qui ont répondu à l'*Umwelt Survey*, 1062 d'entre elles ont été sélectionnées aléatoirement pour être interviewées six mois plus tard, dans le cadre du *Sondage sur les transports*. Contrairement à l'*Umwelt Survey* qui portait sur des questions relatives à la problématique de l'environnement en général, ce deuxième sondage s'intéressait plus particulièrement aux connaissances, attitudes et comportements par rapport à la politique des transports en Suisse.

### 2. Soutien à une politique des transports respectueuse de l'environnement

De manière générale, on observe que les Suisses et les Suissesses semblent assez favorables aux différentes mesures visant à limiter les nuisances occasionnées par le trafic automobile (*Tableau 1*). Le car-pooling est pour ainsi dire plébiscité par les personnes ayant participé à l'enquête. De plus, la fermeture des centre-villes à la circulation, l'introduction de

---

<sup>1</sup> Diekmann, Andreas et Axel Franzen, 1995. *Der Schweizer Umwelt Survey*. Codebuch, Institut für Soziologie, Universität Bern.

voitures électriques et la gestion du stationnement en ville recueillent une confortable majorité.

**Tableau 1:** Soutien à l'égard des mesures visant à limiter les nuisances occasionnées par le trafic automobile en ville

Mesure	Fortement pour %	Plutôt pour %	Plutôt contre %	Fortement contre %	nsp %	total
Car-pooling	42.1	41.5	9.7	4.6	2.1	100%
Fermeture des centre-villes	37.9	40.4	14.4	6.7	.7	100%
Mini-véhicules électriques	27.8	51.2	14.1	4.0	2.8	100%
Gestion du stationnement en ville	21.9	39.1	24.5	13.1	1.4	100%

n=1062

Sans entrer dans les détails, le soutien à ces diverses mesures est relativement homogène, avec cependant quelques exceptions qui méritent d'être relevées. Premièrement, les femmes sont plus favorables à l'idée de réduire les nuisances occasionnées par le trafic automobile. Deuxièmement, les personnes se positionnant à gauche de l'échiquier politique soutiennent plus largement les mesures proposées, ce qui n'est guère surprenant lorsque l'on sait que le clivage pro- et anti-écologique s'intègre souvent à l'axe gauche-droite. Troisièmement, on observe un décalage entre romands et alémaniques, les premiers étant plus sceptiques à l'égard des mesures proposées que les seconds, décalage que l'on retrouve d'ailleurs lors des votations fédérales autour des enjeux liés à la protection de l'environnement et aux transports<sup>2</sup>.

### 3. Intégration des stratégies anti-pollution dans les comportements privés

Soutenir les mesures proposées constitue certes un premier pas qui permet de mettre en place une politique des transports respectueuse de l'environnement, mais ne donne aucune assurance quant aux chances qu'une telle politique soit intégrée dans les pratiques quotidiennes des citoyens et des citoyennes suisses. Autrement dit, réduire les nuisances occasionnées par le trafic automobile en ville passe d'abord par la mise en place d'instruments politiques adéquats, mais ensuite — et surtout — par l'efficacité<sup>3</sup> de ces instruments. Qu'en est-il des instruments proposés ici? Les personnes interrogées sont-elles prêtes à modifier leurs pratiques dans le sens prévu par ces mesures, ou vont-elles tenter de s'y accommoder sans rien changer à leurs habitudes? Etant donné la structure des données à disposition, cette analyse se concentrera essentiellement sur les personnes qui ont des déplacements liés à un travail. Par ailleurs, si toutes les mesures proposées ont pour but de limiter les nuisances occasionnées par

<sup>2</sup> Kriesi, Hanspeter, Boris Wernli et Pascal Sciarini, 1995, *Le clivage linguistique: problèmes de compréhension entre communautés linguistiques en Suisse*, Université de Genève.

<sup>3</sup> L'efficacité concerne ici l'influence des mesures sur les individus et non sur l'environnement. Autrement dit, on s'intéresse à savoir si une mesure suscite réellement à un changement de comportement. Aucun jugement n'est porté sur sa contribution à la protection de l'environnement.

le trafic automobile en ville, elles ne préconisent pas toutes les mêmes modifications de comportement. La fermeture des centre-villes et la gestion des parkings ont clairement pour objectif d'inciter les automobilistes à renoncer à l'usage de la voiture et d'adopter un moyen de transport alternatif pour leurs déplacements. En revanche, l'objectif visé par la promotion des voitures électriques et le car-pooling est plus souple: il s'agit ici de favoriser un usage de la voiture moins nuisible pour l'environnement en achetant un mini-véhicule électrique ou en participant à des expériences de car-pooling en tant que conducteur ou passager.

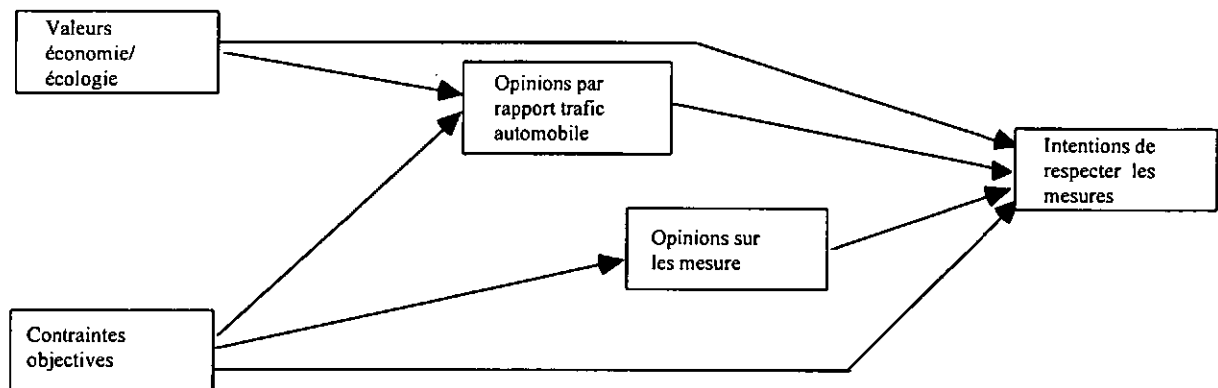
S'il est difficile de juger de l'efficacité de telles mesures, les données à disposition permettent néanmoins d'esquisser quelques tendances. Lorsque l'on tient compte des déplacements liés au travail, on observe en effet que près de la moitié des répondants qui maintenant se déplacent en voiture en feront toujours ainsi si la fermeture des centre-villes devait être réalisée partout (43.3%) et si des limitations au stationnement plus sévères étaient introduites (49.4%). Ensuite, parmi les personnes possédant au permis automobile, 29.9% d'entre elles seraient disposées à acheter un mini-véhicule électrique et 58% à participer à des expériences de car-pooling en tant que conducteur. De même, 58.7% de tous les répondants sont d'accord d'utiliser le car-pooling en tant que passager si des projet pilotes devaient être mis en place.

Il est clair qu'il s'agit ici d'intentions exprimées, qui ont plus le statut de "bonnes résolutions" que de comportements. Il est donc difficile de conclure au succès ou non des mesures. Néanmoins, en affinant l'analyse, on peut essayer de comprendre les mécanismes poussant les individus à se plier ou non aux différentes mesures.

#### **4. Renoncer à la voiture: entre morale et économie**

L'explication des opinions et des comportements relatifs à la protection de l'environnement se base traditionnellement sur deux paradigmes concurrents. D'un côté, on trouve des théories qui présupposent que les individus développent des opinions et des comportements en fonction de considérations morales, faisant ainsi référence à leur structure de valeurs, ou plus précisément, à leur "conscience écologique". D'un autre côté, le paradigme du choix rationnel considère que les individus se comportent comme des agents économiques et adoptent de la sorte les opinions et les comportements qui leur occasionnent le moins de coûts. Par exemple, ils soutiendront seulement des mesures visant à limiter les nuisances occasionnées par le trafic automobile si celles-ci ne leur causent pas trop d'inconvénients. Alors que ces paradigmes sont le plus souvent présentés comme irréductibles l'un à l'autre, nos analyses suggèrent que la réalité est plus complexe. Nous observons en effet que des considérations aussi bien morales qu'économiques permettent d'expliquer les intentions des individus à modifier leur comportement dans le sens prévu par les différentes mesures (*Figure 1*). Les variables faisant référence à des considérations morales sont représentées par les valeurs des individus sur un axe économie/écologie (indiquant si ceux-ci privilégient le bien-être économique ou la protection de l'environnement), par les opinions qu'ils peuvent avoir à l'égard de différents problèmes occasionnés par le trafic automobile (pollution, trafic, bruit, etc.) et par l'opinion qu'ils ont de la mesure en question. Quant aux variables faisant référence aux considérations économiques, elles ont été opérationnalisées en définissant objectivement si les individus sont dans une situation qui rend l'usage de la voiture indispensable ou non (contraintes objectives). Une personne sera dans une situation lui imposant des contraintes élevées si elle possède une voiture, si elle habite et/ou travaille à la campagne, et s'il est plus court pour elle d'aller au travail en voiture plutôt qu'en transports publics.

**Figure 1:** Modèle de base



Il est bien sûr clair que ces différentes variables influencent à des degrés divers les intentions et que les résultats varient d'une mesure à l'autre. Le *Tableau 2* résume l'influence directe, indirecte et totale des variables considérées sur les intentions de se plier à chacune des mesures proposées<sup>4</sup>. Tout d'abord, on constate que les contraintes subjectives ne permettent pas d'expliquer les intentions. Autrement dit, le fait qu'une personne impute des coûts ou des bénéfices à l'usage de la voiture n'a aucune incidence sur l'efficacité des différentes mesures. En revanche, les autres variables s'avèrent tout à fait adéquates pour expliquer les intentions, bien que leur influence varie d'une mesure à l'autre. Par exemple, on observe que les intentions de participer à des expériences de car-pooling en tant que passager ou en tant que conducteur dépend surtout de l'opinion à l'égard de la mesure, puis de l'opinion à l'égard des nuisances occasionnées par le trafic automobile, et enfin des valeurs. En revanche, pour la fermeture des centre-villes, les contraintes objectives jouent un rôle bien plus important que les valeurs ou les attitudes. Quant aux mini-véhicules électriques, le schéma est quelque peu différent. Si les opinions à l'égard de la mesure sont décisives, les intentions d'acheter un mini-véhicule électrique ne dépendent nullement des valeurs ou des opinions à l'égard des nuisances occasionnées par le trafic automobile. De plus, alors que les intentions diminuent généralement avec l'augmentation des contraintes objectives, la tendance s'inverse pour les mini-véhicules électriques: ce sont les personnes qui sont dans une situation objective rendant l'usage de la voiture indispensable qui sont les plus enclines à acheter une voiture électrique.

<sup>4</sup> Les coefficients présentés se basent sur une analyse de type LISREL.

**Tableau 2:** Effets directs, indirects et totaux des différentes variables sur les intentions

Intentions vis-à-vis mesures	Valeurs économie/écologie	Opinion autos	Opinion mesures	Contraintes objectives	n	R <sup>2</sup>
Limitation vitesse sur autoroutes <sup>1</sup>	.30	.19	.41	.07	442	.27
Car-pooling conducteur <sup>2</sup>	.15	.25	.46	.05	435	.27
Car-pooling passager <sup>1</sup>	.19	.17	.38	.06	559	.19
Essence à Frs 2.- par litre <sup>3</sup>	.09	.22	.14	.13	259	.08
Taxe sur le CO <sub>2</sub> <sup>4</sup>	.20	.18	.09	.15	271	.10
Gestion du stationnement <sup>5</sup>	.17	-	-	.14	135	.04
Fermeture des centre-villes <sup>6</sup>	.04	.10	-	.19	78	.04
Achat d'un véhicule électrique <sup>7</sup>	-	-	.39	-.17	500	.18

<sup>1)</sup> sans effet direct entre contraintes et intention

<sup>2)</sup> sans effet direct entre valeurs et intention, et entre contraintes et intention

<sup>3)</sup> sans effet direct entre valeurs et intention, et entre contraintes et opinion vis-à-vis de la mesure

<sup>4)</sup> sans effet direct entre contraintes et opinion vis-à-vis de la mesure

<sup>5)</sup> sans effet direct entre opinion par rapport au trafic automobile et intention, et opinion vis-à-vis de la mesure et intention

<sup>6)</sup> sans effet direct entre valeurs et intention

<sup>7)</sup> sans effet direct entre valeurs et intention, et entre opinion par rapport au trafic automobile et intention

## 5. Conclusion

En guise de conclusion, on notera que contrairement à ce que peuvent penser certains esprits chagrins, il existe un réel soutien populaire à des mesures visant à réduire les nuisances occasionnées par le trafic automobile en ville. Cependant, les chances que ces mesures poussent effectivement les individus à renoncer à leur voiture — ou tout au moins à en faire un usage moins nuisible pour l'environnement — sont moins évidentes. La mise en place de mesures ne semble en effet pas suffisante, tant que les citoyens et citoyennes n'en reconnaissent pas le bien-fondé, soient conscients des problèmes occasionnés par le trafic automobile, et partagent des valeurs privilégiant la protection de l'environnement sur le bien-être économique. Enfin, on ne doit pas négliger l'importance des mesures d'accompagnement, afin d'alléger les contraintes auxquelles doivent faire face de nombreuses personnes.



## LE MOUVEMENT "CYCLO-ÉCOLOGISTE" ET D'OPPOSITION AUX ABUS DE L'AUTOMOBILE

Benoît Lambert  
Faculté de Droit, Université de Genève

Le productivisme et une de ses principales composantes, "l'automobilisme", est la doctrine politique dominante de cette fin de siècle. Devant les moyens formidables dont elle dispose pour se justifier, il est difficile de lui opposer une autre vision du monde, en l'occurrence sur l'espace urbain et les fonctions de la rue. Pourtant, c'est dès les années vingt que l'écrivain genevois Denis de Rougemont dénonçait la menace que fait peser sur la démocratie et la culture cette idéologie et son objet fétiche, l'automobile. Il sera accompagné dans cette dissidence intellectuelle par Lewis Mumford, Alfred Sauvy, Jean Robert et quelques autres précurseurs du mouvement social et écologiste contre les abus de l'automobile. En 1973, Ivan Illich devient le père du mouvement en publiant le petit livre phare de cette contestation, *Énergie et équité*. Défenseurs de l'idéal de la "cité-jardin" (Mumford et Howard), d'une équité sociale, de la démocratie et de la culture (Sauvy, Illich et D. de Rougemont), du temps de vie des hommes (Illich et Robert), de la vérité sur l'industrie de l'automobile et ses infrastructures (Jean-Pierre Dagenais), ces auteurs sont les précurseurs d'un mouvement qui sort aujourd'hui de sa marginalité.

Au niveau international, le mouvement contre les abus de l'automobile est mené par une avant-garde composée de petites associations défendant l'usage de la bicyclette comme moyen de transport en milieu urbain: ce sont les "cyclo-écologistes". Aux États-Unis, la *Bicycle Federation of America* créée en 1980 coordonne le mouvement depuis la capitale américaine et organise les rencontres biennales "Pro-Bike". Grâce à elle, aujourd'hui chaque État américain a un coordinateur pour les zones piétonnes et pour l'aménagement de pistes cyclables en ville et dans les régions touristiques. L'équivalent en Europe, la Fédération européenne des cyclistes, fait de même avec les rencontres "Vélo-City". La dernière rencontre "Vélo-City" eut lieu à Bâle du 26 au 30 septembre 1995. La liste des participants, 424 en provenance de 37 pays, illustre l'ampleur que prend depuis une dizaine d'années le mouvement pour promouvoir l'usage de la bicyclette. Le site de Bâle était particulièrement bien choisi. Le partage équitable de l'espace entre piétons, cyclistes, utilisateurs des transports publics et automobilistes fait de cette ville suisse une source d'inspiration pour les écologistes et autres défenseurs d'une modération de la circulation. 20% des déplacements y sont réalisés à vélo, 3 à 4 fois moins que dans certaines villes chinoises mais cinq fois plus qu'à Genève, dix fois plus qu'à Londres et vingt fois plus qu'à Paris.

En 1992 à Montréal, les fédérations européenne et américaine organisent avec Vélo-Québec la première rencontre mondiale sur l'usage du vélo comme moyen de transport. Patronnée par l'UNESCO et le Programme des Nations unies pour l'environnement, elle a pour thème "La bicyclette, véhicule du 21ème siècle". Nul doute, les cyclo-écologistes y croient! Plus de sept cents personnes, militants, promoteurs du cyclotourisme, ingénieurs et urbanistes, iront à Montréal pour cette rencontre historique. Cet événement fut rendu possible grâce à Vélo-Québec, structure professionnalisée dont le dynamisme n'est plus à démontrer - le Tour de l'île de Montréal qu'elle organise tous les ans attire 45'000

personnes. Mais cela ne doit pas faire oublier que les défenseurs de la "vélorution" et leurs petites associations - Le Monde à Bicyclette (Montréal), ASPIC (Genève), etc. - furent longtemps marginalisés, voire ridiculisés. Faut-il s'en étonner? Leur combat remet en cause les valeurs même du capitalisme triomphant et son principal symbole, l'automobile. Rien à voir avec les cyclistes du dimanche, défenseurs des belles ballades bucoliques mais qui roulent dans des voitures climatisées le reste de la semaine...

### ***Trop de voitures pour une petite planète!***

Le potentiel et l'usage de la bicyclette est souvent sous-évalué. Dans le tiers-monde, elle est beaucoup utilisée, du Salvador à la Chine en passant par le Burkina Faso, particulièrement pour transporter des marchandises. Son potentiel est immense comme le démontre aujourd'hui Cuba avec sa "vélorution", retranchement d'une révolution qui saisit l'introduction massive de la bicyclette comme une bouée de sauvetage. Les publications sur les limites à la motorisation et sur les destructions et les déstructurations urbaines causées par le "tout-voiture" se multiplient. Qu'elles soient de militants comme Claire Morissette du Monde à Bicyclette, auteur de *Deux roues, un avenir*, ou plus académiques comme *Car Trouble* publié par le World Resources Institute de Washington, toutes se rejoignent sur un point: il y a trop de voitures dans les villes occidentales! La voiture est à l'origine de la destruction de beaucoup d'écosystèmes, les pollutions qu'elle produit menacent l'équilibre, fragile, de la Biosphère et de nombreuses villes du tiers-monde, parfois encouragées par les banques de "développement" occidentales, sont en train de répéter les mêmes erreurs.

Depuis le début des années quatre-vingt-dix, le mouvement profite d'un contexte international dans lequel émerge une conscience écologique planétaire. Certes, cette conscience est relativement marginale, mais elle pèse sur les décisions des gouvernements. On peut déjà constater une certaine institutionnalisation du mouvement. C'est ainsi qu'en Europe, au Japon et même en Amérique du Nord apparaissent des politiques de transport fort différentes de celles du passé. A titre d'exemple, les États-Unis ont dépensé depuis quatre ans, dans le cadre d'un programme pour favoriser la mixité des modes de déplacement, *Inter-Modal Surface Transportation Efficiency Act (ISTEA)*, \$ 675 millions sur des projets pour les transports non motorisés. C'est \$184 millions par année, contre seulement \$ 3 millions avant *ISTEA*. Le Japon connaît un regain d'intérêt extraordinaire pour le vélo. Le nombre de pendulaires utilisant la bicyclette pour se rendre à la gare a été multiplié par dix depuis vingt ans. Soucieux de remplir ses engagements internationaux en matière d'environnement, le Japon s'inspire de l'expérience néerlandaise pour modérer son trafic routier. Les Japonais ont développé les parkings-vélos les plus modernes du monde. D'après une grande étude américaine sur la pratique du vélo et de la marche, *National Biking and Walking Study*, ils sont quotidiennement trois millions de Japonais à utiliser ce moyen de transport pour se rendre à la gare et les citoyens japonais consomment dix fois moins de pétrole que les américains, qui habitent pourtant, à 80%, dans des villes dont la population est supérieure à 500'000 habitants. Au Japon, 15% des travailleurs se rendent au travail à vélo alors qu'à Tokyo, 33% de ceux qui prennent le train se rendent à la gare à bicyclette. Plusieurs gares mettent à la disposition des usagers des garages gardés pour qu'ils y laissent leur bicyclette. Ainsi, "l'Institut d'étude sur les transports et les politiques de développement" à New-York, se demande si la relative frugalité des japonais face à



l'automobile, qu'ils préfèrent exporter..., ne rend pas leur économie plus compétitive.<sup>1</sup> Walter Hook souligne que 45% du déficit américain peut être attribué à une consommation excessive d'automobiles (voitures et essence): 6'823'000 produites pour 9'853'000 achetées. Au Japon les chiffres s'inversent: 9'052'000 voitures produites pour seulement 4'404'000 qui trouvent un acquéreur.

### *Un mouvement multiforme*

Le mouvement connaît une filiale plus technologique, composée essentiellement d'ingénieurs à l'imagination fertile. "L'Association internationale pour les véhicules à propulsion humaine", par exemple, essaie de promouvoir l'amélioration, l'innovation et la créativité dans la modélisation et le développement des véhicules à propulsion humaine. Cette association a homologué le record de l'heure sur vélo non conventionnel, 75,57 km en un heure, réalisé par Pat Kinch (coureur) et Miles Kingbury (concepteur du vélo) le 8 septembre 1990. Il s'agit d'une distance bien supérieure aux 55 kilomètres de Tony Rominger, ce qui n'enlève rien au record du Suisse, mais en dit très long sur la formidable influence des forces du marché dans la transformation, par les médias, d'un exploit sportif en événement médiatique international. Selon l'ingénieur américain Gordon Wilson, professeur au prestigieux *Massachusetts Institute of Technology* (MIT): "Le vélo-couché est le vélo du futur. En fait, jusqu'à aujourd'hui c'est la réglementation internationale, en cul de sac, qui a découragé les ingénieurs imaginatifs de se joindre aux fabricants de vélos. Les compagnies ont été durant longtemps très conservatrices." Depuis deux ans, *Open Road*, une petite société britannique, s'efforce de faire connaître les vélos non conventionnels et les accessoires développés par les inventeurs - comme une petite remorque pour vélo à propulsion solaire par le Néerlandais Alan Lenz. Après une réception chaleureuse de *Encyclopedia* par le public "cyclo-écologiste", *Open Road* lance dans la foulée le magazine *Bike-Culture*, référence suprême d'un mouvement décrit par Robert Silverman, un fondateur de l'association montréalaise Le Monde à Bicyclette, de "poético-vélorutionnaire".

L'automobile grève souvent le budget des familles. Selon le *Budget annuel 1994* de l'automobiliste français tel qu'évalué par l'Automobile Club National, il faut investir la somme de 38 197 FF pour circuler en Renault - Clio, une petite voiture. L'Automobile Club conclut: "Il faut 3 mois du pouvoir d'achat mensuel du cadre moyen marié avec 2 enfants après impôts" pour rouler dans une telle voiture, ou 25% de son temps de travail. L'association s'indigne du taux élevé des taxes sur le carburant qui ne représente pourtant que 15,2% de ce budget annuel. Mais innombrables sont les coûts indirects ignorés par l'étude: coûts financiers et émotionnels liés aux accidents de la route, de la pollution sur la santé des enfants et la diminution de leur liberté, de la dégradation des monuments causée par la pollution, le coût de gestion des infrastructures routières, de la police qui contrôle la circulation, la perte de convivialité des villes, la dégradation des biotes et la réduction de la biodiversité... Malgré un bilan accablant, appeler à une réduction du nombre de voitures demeure pour certains un sacrilège. "Ce sont les libertés qui sont en jeu", affirme le Parti des Automobilistes suisse qui a obtenu huit sièges de Conseillers nationaux à Berne en 1991 (sur 200)! Ce parti politique vient d'ailleurs de changer son nom récemment, pour s'appeler le Parti de la Liberté ....

---

<sup>1</sup> HOOK, Walter, "Are Bicycles Making Japan More Competitive?", *Sustainable Transport*, Institute for Transportation and Development Policy, septembre 1993, pp. 10 - 11.

Mais si la Suisse a vu naître un parti politique aussi singulier, c'est peut-être parce qu'elle est à l'avant-garde du mouvement international contre les abus de l'automobile. Plusieurs villes suisses sont citées pour la mixité de leur trafic routier: Berne, Bâle, Zurich ou Winterthur. Cette dernière est d'ailleurs une des cinq villes fondatrices du programme de la Fédération européenne des cyclistes, "Des villes pour les cyclistes". Fondée en 1991, l'association a pour objectif de faire connaître et de diffuser les stratégies à suivre pour l'introduction de modes de transports favorables à la protection de l'environnement en milieu urbain. Vingt villes sont aujourd'hui membres de *Cities for Cyclists*. Autre initiative suisse, l'Association transport et environnement (ATE) offre des prestations semblables à celles d'autres organisations de remorquage et de dépannage (comme les Touring Clubs), mais en défendant une position tout autre concernant l'avenir de l'automobile dont elle voit et souligne les limites. L'ATE souhaite que priorité soit accordée au train, aux transports publics, au vélo, à la marche et à "l'auto-partage" sous toutes ses formes. Elle insiste beaucoup sur le renforcement de la sécurité dans les quartiers d'habitation, en proposant, par exemple, des limitations de vitesse. L'association compte 128'000 membres en Suisse et a fait des émules: en Allemagne, en Autriche et en Grande-Bretagne où elle mène un combat très rude contre le puissant lobby de l'automobile et les "bétonneurs" de tous acabits.

### ***Un appel à la décroissance***

Le côté amusant de ce mouvement appelant à la "vélorution", ne doit pas faire sous-estimer l'enjeu fondamental dont il est porteur: l'appel à une limitation de la croissance. "L'automobilisme", la doctrine du "tout-voiture" à n'importe quel prix sous prétexte qu'elle est un rouage incontournable de la prospérité économique et un outil de liberté, démontre combien la croissance exponentielle peut mener à des aberrations. L'automobile fait souffrir l'économie moderne d'une hypertélie pour emprunter l'expression de François Mayer dans *La surchauffe de la croissance*. Le formidable lobby de l'automobile et de la construction de routes se croit exempté de toute autocritique, même si la vitesse de circulation moyenne à Londres n'est aujourd'hui que de 16 km/h, en moyenne - bien en deçà de ce que peut réaliser sans grand effort un cycliste, même sans le nouveau vélo de Yamaha équipé d'un ordinateur intégré au pédalier et d'un petit moteur électrique d'appoint... La plus grande institution de développement du monde, la Banque mondiale, a même créé un *Task Force* qui se penche sur le potentiel des transports non motorisés. Au début, "l'ambiance était au sourire ou même au rire" explique la représentante de la Banque mondiale à la Conférence vélo mondiale de Montréal, Mlle Bloemenkamp. Mais par le passé, la Banque mondiale a elle aussi fait sourire les cyclo-écologistes en publiant un rapport de six cents pages sur les transports en Chine, sans mentionner une seule fois le mot bicyclette!<sup>2</sup> À Bâle s'est accompagné de deux architectes impliqués dans un projet à Lima au Pérou que M. Gerhard Menchoff présentait le rôle que peut jouer la Banque Mondiale pour faciliter l'usage des transports non motorisés dans les "pays clients". La Banque Mondiale a aujourd'hui six projets - Pérou, Ghana, Sierra Leone, Chine, Mozambique, Tanzanie - contenant chacun un élément de soutien aux transports non motorisés.

En 1994, l'Union européenne créait, à l'étonnement général, un Club des villes sans voitures. Tout aussi étonnante fut la réponse des villes européennes: elles sont aujourd'hui

---

<sup>2</sup> BANQUE MONDIALE, *China Transport Sector Study*, Washington, DC, 1985.

plus de cinquante membres de ce Club dont l'objectif est la réduction de la circulation automobile dans les villes. En Amérique du nord, une Alliance pour un moratoire sur le bitumage regroupe une soixantaine d'associations écologistes. "Not One More Road!" [Pas une route de plus!] est son mot d'ordre pour protéger les grands espaces sauvages, mythe fondateur de la nation américaine. Le mouvement contre les abus de l'automobile prend des dénominations de plus en plus radicales, même à l'Union européenne où Carlo Ripa Di Meana, ex-commissaire à l'environnement, a vu très loin en créant un Club au nom aussi provocateur. Mais les problèmes engendrés par la voiture prennent des proportions tellement importantes - certains diraient pharaoniques - que seules des transformations profondes des habitudes de vie sont susceptibles de les résoudre. Trois chiffres, parmi d'autres, illustrent l'ampleur du problème. En Californie entre 1980 et 1989, le nombre de miles parcourus par des véhicules motorisés a augmenté de 61%<sup>3</sup>. Si l'initiative "Rétro-Trafic" pour réduire de moitié le trafic routier motorisé en Suisse est acceptée, il s'agira d'un retour à la situation qui prévalait en 1975; il y a donc eu doublement en vingt ans. Le continent américain n'est pas infini: 60'000 miles carrés ont déjà été bitumés, soit 2% du territoire! Un tiers à la moitié de la surface des villes américaines est réservée à l'automobile, excepté à Los Angeles où cette proportion augmente au deux tiers!<sup>4</sup>

Certes, pour encore longtemps, l'automobile continuera à faire rêver. Mais pour les cyclo-écologistes et le mouvement d'opposition à ses abus, c'est son absence qui fait rêver!

### Bibliographie sélective

- DAGENAIS, Jean-Pierre (1982), *Ironie du char, Un essai sur l'automobile et la crise des transports à Montréal*, Montréal, Edité à compte d'auteur.
- De ROUGEMONT, Denis (1977), *L'avenir est notre affaire*, Paris, Stock.
- GALEANO, Eduardo (janvier-février 1995), "Autocracy: An Invisible Dictatorchip", *NACLA, Report on the Americas*, Vol XXVIII.
- HEIERLI, Urs (1993), *Environmental Limits to Motorisation*, St-Gall, Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management.
- HOOK, Walter (1993), *Counting on cars, Counting out people - A Critique of the World Bank's Economic Assessment Procedures for the Transport Sector and their Environmental Implications*, New York, Institute for Transportation and Development Policy.
- HOWARD, Ebenezer [édition originale 1898], (1969), *Les Cités-Jardins*, Paris, Dunod.
- ILLICH, Ivan [1<sup>ère</sup> éd. 1973] (1975), *Energie et équité*, Paris, Seuil.
- LOWE, Marcia D. (1989), *The Bicycle: Vehicle for a Small Planet*, Worldwatch Paper 90, Washington, Worldwatch Institute.
- MORISSETTE, Claire (1994), *Deux roues, un avenir - Le vélo en ville*, Montréal, Écosociété.
- NADIS, Steve, MACKENZIE, James J. (1993), *Car trouble*, World Resources Institute, Boston, Beacon Press.

---

<sup>3</sup> NADIS, Steve, MACKENZIE, James J., *Car trouble*, World Resources Institute, Boston, Beacon Press, 1993, p. xvi.

<sup>4</sup> RENNER, Michael, *Rethinking the Role of the Automobile*, Worldwatch Paper 84, Washington, Worldwatch Institute, 1988, p. 46.

- NAVARRO A., Ricardo, URS Heierli, BECK, Victor (1985), *Alternativas de Transporte en America Latina: La Bicicleta y los Triciclos*, Saint-Gall, Swiss Center for Appropriate Technology.
- ROBERT, Jean (1980), *Le temps qu'on nous vole*, Paris, Seuil.
- ROBERTS, John, CLEARY, Johanna, HAMILTON, Kerry, HONNA, Judith (1992), *Travel Sickness -The Need for a Sustainable Transport Policy for Britain*, Londres, Lawrence and Wishart.
- SAUVY, Alfred (1968), *Les quatre roues de la fortune*, Paris, Flammarion.
- TOLLEY, Rodney (édité par, 1990), *The greening of urban transport*, Londres, Belhaven Press.
- VELO-QUÉBEC (1992), *Perspectives mondiales sur le vélo - textes des présentations à la Conférence Vélo Mondiale, 13 au 17 septembre 1992*, Montréal, Production de Vélo-Québec.
- VELO-CITY 95, Proceedings, Velo beider Basel, Postfach 105, CH-4011, Basel, Switzerland.
- ZIELINSKI, Sue, LAIRD, Gordon (1995), *Beyond the Car - Essays on the Auto Culture*, Toronto, Steel Rail Publishing - Transportation Options.

# URBANISME DU QUAI WILSON: ENTRE PATRIMOINE, UTOPIE ET REALITE. QUE CHOISIR?

Marc Lambelin

Secrétaire général 95 de la Jeune Chambre Economique de Genève (JCEG)

## 1. Introduction

Durant cette présentation succincte, mon objectif sera de tenter de répondre à la question que vous ne manquerez pas de vous poser:

«Quel rapport peut-il bien y avoir entre le thème cadre de cette journée, à savoir «*Energie et Climat urbain*», et une «rue» de la Ville de Genève, le Quai Wilson?»

Les éléments que je retiens comme point de départ et fil conducteur sont l'association d'ambiance urbaine et de Wilson.

Sans être un spécialiste des domaines concernés, ni un professionnel des métiers de l'urbanisme, je vais parcourir différents points de vue pour éclairer les enjeux liés à cette zone urbaine vitale pour l'avenir de Genève et sa population.

Les aspects qui suivent sont issus d'un travail bénévole associatif réalisé par une commission de la JCEG durant l'année 94 autour de l'organisation et la réalisation d'un concours d'idées ouvert au grand public. Le but des organisateurs était d'amener les citoyens à participer modestement mais avec le coeur rempli de passion, d'émotions, de rêve et de questions à l'évolution d'une partie de la cité. Cette Transformation urbaine que le citoyen subit généralement et qui modifie peu à peu son cadre de vie.

Voici, dans l'ordre, les sujets que nous allons aborder pour illustrer cette problématique:

- Importance et rôle du contexte dans l'évolution de la morphologie urbaine?
- Circulation, flux, transports et pollution urbaine?
- Impacts et conséquences multiples dans l'aménagement du territoire lors de projets de très grande envergure?
- Urbanisme et écologie humaine, un paradoxe d'arrière-garde?
- Développement économique durable?
- Animation urbaine, culture, loisirs, tourisme, bien-être, des besoins de société, des facteurs négligeables ou des éléments de croissance de demain?
- Gestion de projet, responsabilité et aide à la décision?

Mon souhait est de vous donner quelques points de repère pour vous faire ressentir la magie de ce lieu à préserver et à respecter pour lui-même.

## 2. Evolution des transformations, l'importance du contexte

L'atmosphère actuelle qui se dégage de ce lieu exprime une superposition antagoniste de désagréments, contraintes et limitations due aux influences suivantes:

- Le «ghetto» des Pâquis où la vie de quartier se déroule au delà de la première rangée d'immeubles du siècle dernier.

- La première barrière des voitures garées n'importe comment, ne sachant plus où se mettre.
- La colonne de voitures qui transitent par le quai (longueur variant entre 900 et 1'200 mètres) à une vitesse de 5 à 10 kilomètres/heure.
- La «réserve» pour piétons sur le quai.
- Le Palais Wilson, ruines de la Société des Nations à la recherche d'une nouvelle identité.

L'ambiance générale qui en découle cadre mal avec le rôle futur du Palais Wilson, à savoir, la Maison de l'Environnement.

### **Espace Wilson, l'espace environnant**

Le contexte à prendre en compte est délimité par des zones urbaines qui rythment les échanges, de toutes natures, avec le Quai Wilson. Ses frontières sont:

- Le Lac avec tous ses usagers (180°)
- Le Parc Mon-Repos face au quartier
- L'Entrée Nord du Canton de Genève (en arrivant par l'autoroute)
- La Place des Nations en remontant l'Avenue de France
- La Gare CFF
- La Gare routière
- Le Pont du Mont-Blanc

Quels sont les points communs entre tous ces lieux qui représentent à eux seuls près du tiers de la superficie de la Ville de Genève? - A mon sens, il y en a deux:

- Un centre de gravité urbain en constante évolution
- Un réseau des flux de circulation dont la densité ne fait que croître dans un espace fermé.

La topologie des réseaux de communication, d'échanges, de circulation et de transport irrigue les différentes zones urbaines au gré des usagers. Leurs dimensionnements et leur cohérence d'ensemble influent sur la qualité de vie et l'ambiance urbaine générale.

### **3. Mobilité, transports, capacités et fluidité?**

La saturation permanente du quai Wilson, de ses abords et de pratiquement toute la Rive droite est une évidence qui pourrait être transformée par la mise en oeuvre simultanée d'une politique de circulation intégrée intégrant:

- I. Les transports publics par une ceinture Rive droite et un axe en métro léger Meyrin-Annemasse
- II. Le transfert de la gare routière hors de son emplacement actuel
- III. La revalorisation et la revitalisation de l'accès au Lac pour la population
- IV. Un accès privilégié au Centre Ville pour les véhicules à moteur électrique et à encombrement réduit
- V. Une traversée de la Rade le plus en amont possible pour être en cohérence avec la ceinture autoroutière de contournement du canton et avec la politique de développement régional inéluctable.

Ainsi chaque type d'utilisateur du «réseau» emprunterait la voie la plus cohérente en fonction de ses besoins de manière à séparer les flux aujourd'hui mélangés (périphérique, urbain, transit, etc.).

#### **4. Conséquences et coordination de l'aménagement du territoire avec la Traversée de la Rade**

Quel que soit le tracé choisi pour traverser le Lac, l'«Espace Wilson» est directement influencé - Tunnel avec entrée/sortie à l'Avenue de France - ou indirectement - Pont à la hauteur du Reposoir canalisant le trafic de transit.

L'opportunité fantastique offerte par ce projet colossal pourrait permettre à l'Espace Wilson de bénéficier de retombées en termes d'utilisation des ressources et du savoir-faire déjà sur place, pour un coût en ordre de grandeur situé dans la marge d'erreur de la Traversée.

#### **5. Urbanisme et écologie humaine, un paradoxe d'arrière-garde?**

A l'ère de la communication, des sciences et des techniques, de l'ouverture à l'autre et de la reconnaissance de la «dette environnementale», il est possible et vital de prendre en compte la dimension «nature» dans tout projet d'aménagement d'envergure.

Prenons exemple sur des réalisations existantes réussies comme la ville d'Orlando en Floride - intégration d'un espace lacustre nautique dans un parc en plein Centre Ville - ou la préparation des prochaines Jeux Olympiques en Australie - utilisation de technologies «propres» pour l'aménagement des sites.

La place de l'être humain est dans la Nature et non à côté. Ce n'est pas une question de philosophie, mais un principe de vie et aujourd'hui de survie. Les sociétés humaines doivent s'adapter et aménager des espaces où la richesse de la biodiversité puisse s'épanouir et non mourir.

#### **6. Développement économique durable?**

Une maîtrise économique qui s'inscrit dans la durée, implique que la polyvalence des infrastructures tolère des évolutions d'activité dans le temps. Ainsi les activités déployées devraient rentabiliser les investissements sur tout le cycle de vie d'un projet. Construire trop petit et trop étroit est un calcul à court terme où le bon marché finit toujours par coûter trop cher.

#### **7. Construire pour qui? - Telle est la question**

De part et d'autre de la route séparant le Quai Wilson, 2 mondes se regardent sans cohabiter.

##### **Un exemple: Demain?**

*Imaginons le fonctionnaire international qui travaille dans la Maison de l'Environnement - futur rôle du Palais Wilson - les fenêtres fermées, à l'abri de sa climatisation. Pendant ce temps, de l'autre côté de la rue, un enfant joue dans le Parc, sans s'éloigner de sa mère qui surveille le trafic du coin de l'oeil.*

*C'est à la télévision que l'enfant entendra parler des travaux du fonctionnaire de la Maison de l'Environnement.*

Un indice de développement durable pourrait être un rapport entre le nombre de personnes concernées au mètre carré par jour ouvrable, pour chaque activité déployée et chaque unité d'énergie consommée.

Le Parc Mon-Repos et l'Espace Wilson pourraient se contracter en Parc Wilson où:

- Une animation saisonnière et des spectacles côtoieraient une base nautique entourée d'une place réservée à l'art et à la culture - technologique et environnementale - avec une tribune où les minorités interpelleraient les nations au travers des médias électroniques planétaires.

Un lieu où les traditions immobilières, humanitaires et scientifiques rencontreraient les enjeux internationaux.

Un lieu où le monopole et le conformisme se diversifieraient en une multitude de pôles d'attraction en perpétuelle interaction, les uns avec les autres, pour un avenir véritablement universel.

### **Responsabilité et aide à la décision?**

Comment rénover ce lieu, symbole en devenir, potentiellement unique au Monde, dont le rôle futur est prépondérant, sur une parcelle où l'envergure internationale, le rayonnement universel aura, pour s'exprimer, un horizon urbain de 180 sur 90 mètres avec un dégagement de seulement 15 mètres?

Il est difficile de construire une décision sur un échafaudage de responsabilité diluées dans des intérêts divergents.

Au milieu d'une telle incertitude, reste-t-il une place pour:

- le bon sens commun,
  - la vision,
    - l'harmonie,
      - l'esthétique,
        - l'imagination,
          - le rêve?

Quelles voies choisir dans ce climat?



**EN GUISE DE CONCLUSION**

## **EN GUISE DE CONCLUSION**

### **Quelques points saillants des discussions**

Bernard Lachal et Jacques Royer  
Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie  
Université de Genève

#### ***Point 1***

Par vocation, la journée scientifique du CUEPE se propose d'organiser des débats sur un thème qui est choisi en raison de sa place privilégiée dans l'actualité - cette année 1995: la thématique "Energie et Climat urbain". Il est réconfortant de noter la qualité du public que ce thème a réuni: 43 universitaires, contre 47 praticiens tant du service public que privé, l'objectif des débats étant précisément de réunir chercheurs et décideurs.

#### ***Point 2***

Centre interfacultaire, le CUEPE se doit de promouvoir des activités interdisciplinaires. De ce point de vue, on peut se féliciter de voir s'exprimer dans cette journée 1995 une palette particulièrement riche de disciplines diverses: météorologie, physique, médecine, ingénierie, architecture, urbanisme, économie, géographie, politique.

#### ***Point 3***

Le domaine choisi est très vaste. Certains participants, sinon tous, peuvent avoir tiré de la séquence des interventions une impression de pointillisme, de dispersion. Certes nous avons eu des temps forts sur, par exemple, la climatologie de la région parisienne, ou le développement d'une ville camerounaise comme Bafoussam. Mais il faut reconnaître que nombre d'exposés, dont l'intérêt scientifique ne fait pas de doute, concernent des recherches en cours relativement parcellaires, ou ponctuelles, sur des villes comme Athènes, Londres ou Genève.

#### ***Point 4***

En réalité, il faut se convaincre que, dans l'état de l'art, on est encore loin de pouvoir broser des vues synthétiques des relations entre morphologie urbaine, urbanisme et climat urbain. Un fil conducteur souvent cité dans les interventions consiste à distinguer différentes échelles d'étude et d'intervention. Premier niveau: celui du bâtiment ou de l'ensemble construit qui intéresse l'architecte. Second niveau, celui la ville, dont la régulation et le développement intéresse l'urbaniste. Troisième niveau, la région qu'étudie le météorologue à travers ses modèles à grandes mailles qui peuvent l'embrasser toute entière, mais où il est encore hors de question de saisir les variations de microclimat de la ville, voire d'ensembles construits particuliers.

#### ***Point 5***

Sur le plan climatique, l'architecte définit et étudie la rugosité et la compacité de bâtiments ou d'ensembles construits. Ces facteurs ont une influence dominante sur la dispersion atmosphérique des polluants, et, de même, sur la consommation d'énergie de chauffage et de climatisation, et les pollutions qui leur sont liées.

#### ***Point 6***

L'urbaniste s'intéresse au réseau complexe des flux qui circulent en milieu urbain: transports de personnes et de biens, flux d'énergie naturels et anthropogènes (ces derniers parfois plus

importants que les premiers), flux des eaux, notamment des précipitations et de leur écoulement, flux de déchets solides, liquides ou gazeux issus des activités humaines, à la fois d'origine domestique et en provenance de l'énergie et l'industrie.

#### **Point 7**

Le météorologue porte son attention sur des phénomènes d'ensemble tels que la formation d'îlots de chaleur ayant une incidence cruciale sur les conditions de vie urbaine. L'une des difficultés est de lier cette échelle de phénomènes avec les microclimats aux niveaux inférieurs du quartier ou de l'ensemble construit.

#### **Point 8**

Une remarque très générale concerne les liens qui doivent exister entre les différents niveaux possibles de décision. Les discussions internationales sur les émissions de gaz à effet de serre, par exemple, peuvent déboucher prochainement sur des décisions intéressant la communauté mondiale toute entière. Cependant, pour être exécutoires, de tels engagements des Etats doivent être débattus à l'échelon national, et de proche en proche seront saisies les instances régionales ou même urbaines. On a fait remarquer que 70% de la population du globe devant vivre en ville au siècle prochain, et les 70 à 80% de l'énergie y être dépensé, il convenait de réserver aux institutions urbaines une large participation aux décisions prises aux échelons supérieurs, notamment nationaux, ainsi que de larges pouvoirs de contrôle dans l'exécution de ces décisions et une pleine autonomie de décision dans leur sphère propre.

#### **Point 9**

Un certain nombre d'instruments d'aide à la décision ont été présentés. Parmi les qualités requises par ces instruments, on a cité la transparence, la souplesse et - *last but not least* - la capacité de nouer un dialogue entre plusieurs échelons de décisions et aussi avec les usagers et habitants des villes.

#### **Point 10**

On a évoqué les différences de sensibilité sur les problèmes d'environnement, des pays industrialisés et des pays en cours d'industrialisation. On peut se demander quel niveau de pollution international serait atteint si l'on étendait à tous les pays de la terre les consommations d'énergie par tête observées dans les villes d'Amérique du Nord ou en moyenne dans celles des pays industrialisés. Certains en concluent que trop nombreux sont les hommes sur cette terre, d'autres réfléchissent sur les gaspillages qui se produisent dans nos pays et sur l'urgence de réduire ces gaspillages dans l'intérêt commun de tous les peuples.

#### **Point 11**

Même s'il n'était pas le seul à être traité dans cette journée, le cas des transports en ville a été un bon terrain de discussion. Aux instruments tels que les taxes sur les carburants pouvant être utilisés à l'échelle nationale, peut s'ajouter à l'échelle urbaine une action sur de nombreux paramètres, tels que les règles gouvernant le trafic automobile, les péages imposés sur certains itinéraires, ou les obligations de co-voiturage, etc.

A plus long terme, le développement de la ville pourrait être orienté par des plans d'urbanisme qui s'attacheraient à minimiser les transports journaliers de travailleurs et donc les consommations d'énergie et les fluctuations en découlant, par un ensemble d'instruments. On a cité à ce sujet la possibilité d'un zonage regroupant des résidences et des lieux de travail, couplé avec un niveau de taxation adéquat des transports ou de subventions à des transports groupés de voyageurs, dans des véhicules publics ou privés.

# **EXPOSITION**

## VEGETALISATION du MILIEU CONSTRUIT, POURQUOI ?

### CONVIVE<sup>1</sup>

Un petit bilan de la situation actuelle de l'environnement<sup>2</sup> qui est source de notre milieu de vie montre que:

- il est indiscutable aujourd'hui que l'imperméabilisation en amont entraîne un drainage rapide des eaux de pluie et favorise les inondations ou les sécheresses en aval. Les crues dévastatrices dans le midi de la France, en Hollande ou dans la plaine du Pô de ces dernières années nous l'ont tristement rappelé.
- le climat urbain n'est pas réputé particulièrement sain, la progression des maladies respiratoires, comme l'asthme, en ville est attribuée « en grande partie à la mauvaise qualité de l'air ». Les surfaces goudronnées surchauffées des bâtiments et parkings, source de courants d'air chauds ascendants, empêchent la ventilation normale de la ville par les courants d'air frais qui devraient souffler au niveau du sol. Ce réchauffement local provoqué par l'urbanisme « minéral » permet la stagnation du couvercle de pollution en été par des phénomènes d'inversion de température. Il suffit de constater le nombre de personnes commençant leurs problèmes ORL à l'occasion de leur installation à Genève pour penser que notre climat mériterait de s'améliorer. Nous en avons les moyens !
- la diminution de la diversité biologique est à l'ordre du jour, sans que l'on ait pu pour l'instant inverser la tendance à cet appauvrissement.

Pour améliorer cette situation à la source<sup>3</sup>, sous nos pieds et nos yeux, chacun là où nous vivons, CONVIVE veut montrer que toute surface construite verticale ou horizontale, utilisée ou non, peut devenir par sa végétalisation facteur de stabilisation du régime des eaux et de leur qualité<sup>4</sup>, de rafraîchissement, dépoussiérage et humidification naturels de l'air; de production d'oxygène. Tout ceci, favorable à l'équilibre du climat; possède un effet antibruit<sup>5</sup>. Notre santé en bénéficie facilement.

Nos gouvernements successifs s'étant engagés, particulièrement depuis Rio, à faire de notre canton la "Capitale de l'environnement"<sup>6</sup>, une approche pratique exemplaire nous semble rendre ces intentions crédibles et compléter avantageusement l'accueil de conférences internationales et de bureaux. Climat, variété génétique, santé publique, création de biotopes intéressants, plaisir de vivre, tous ces aspects sont envisageables dans une conception

---

<sup>1</sup> Association pour un environnement construit vivant et vert, c/o Dr. G. Loutans, Route de Florissant 3, 1206 Genève.

<sup>2</sup> Cahiers de la Santé, N°4, sept. 1993, Département des Affaires Sociales et de la Santé, Genève.

<sup>3</sup> "Cohabiter avec la nature", Guides de l'environnement N° 5, 1995, 111 p, textes et photos couleurs. Vaste panorama bien présenté de divers domaines, théoriques et pratiques. Commande N° 319.770 f, fr.22.-. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (BUWAL-OFEFP), CH-3003 BERN. Tél: 031.322 99 80, f: 031 322 70 54.

<sup>4</sup> Cf. Rapports successifs du Conseil d'Etat, Pétition 816 B, et Motion 704 B en particulier, du 11 nov.92.

<sup>5</sup> Voir le Cadastre Genevois du bruit, présenté par le Conseil d'Etat en mai 94.

<sup>6</sup> Monsieur le Conseiller d'Etat Claude Haegi, au retour de la conférence de Rio, juin 1992 "La Confédération a clairement déclaré...sa volonté de soutien aux ambitions de Genève à devenir la capitale de l'environnement".

moderne du milieu construit. C'est dans ce sens que nous voulons travailler avec toutes les collaborations possibles.

### En ce qui concerne les Toitures:<sup>7</sup>

Les toitures plates, en général couvertes de gravier, sont autant de surfaces construites qui participent au réchauffement climatique, au dessèchement de l'air et à un appauvrissement esthétique pour les habitants qui les surplombent. De plus, ne pouvant rien absorber quand il pleut, elles représentent des surfaces de drainage immédiat des eaux, engendrant ainsi la nécessité de canalisation et d'endiguement des cours d'eau en aval. Ces travaux coûteux ne font souvent, s'ils sont efficaces localement, que déplacer les inondations chez les voisins... Les ruisseaux et rivières subissent donc soit de brusques crues d'eau sale (non filtrée par la terre et les plantes), soit des périodes de sécheresse (étiage) rendant ces biotopes impropres à leurs fonctions naturelles. Nous attendons que ces berges redeviennent vivantes et stables, épurant naturellement l'eau par les animaux et les plantes, redevenant un milieu de vie et de récréation pour l'homme. Parfois encore les surfaces drainées participent au débordement des stations d'épuration, tout le canton n'étant pas encore muni d'écoulements séparés des eaux de pluie et des eaux sales.

Par quelques modifications de nos habitudes, une information aux constructeurs et au public, ces kilomètres carrés de toitures stériles pourraient retrouver leur fonction de régulateur et stabilisateur du climat et du régime des eaux. En même temps, l'apport esthétique par leur simple végétalisation est évident. Plusieurs villes européennes l'ont bien compris, et obligent à végétaliser les toitures de plus de X m<sup>2</sup>.

La végétalisation extensive<sup>8</sup> des toitures est une technique connue et appliquée à grande échelle dans les pays germaniques et scandinaves par des professionnels, et en bien des endroits chez nous. Genève s'y met peu à peu, bien qu'encore trop rarement. Est-ce par craintes, a priori, manque de stimulation des autorités, ou / et ignorance simplement<sup>9</sup>. Il n'y a donc pas lieu de faire des années d'études ou des expériences pilotes sur le sujet avant d'oser s'y lancer. La végétalisation est praticable autant sur des toitures neuves autant que sur des toitures à rénover.

4-10 cm de substrat pour les racines permettent déjà de ralentir l'écoulement des eaux et favorisent une évaporation progressive de la pluie par la végétation pionnière qui peut y pousser. Tout en faisant office d'épurateur naturel des eaux de pluie, pour leur récupération ou non, cette végétation dépoussière l'air et le rend déjà plus frais et respirable dans les régions

---

<sup>7</sup>"Toits végétalisés, protection des eaux, protection du paysage", Niches écologiques et surfaces de compensation dans les zones d'habitation sous l'angle particulier de la végétalisation extensive. 57 p n et b, fs.8.-, Cahiers de l'environnement N°216, 3.95, Service de documentation, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (BUWAL-OFEFP), CH-3003 BERN. Tél: 031.322 99 80.

« Végétalisation extensive des toits », *ERFA info*, 4/94, (gratuit). Office des Constructions Fédérales, M J.P. Rosat, Effingerstrasse 20, GR3, CH-3003 BERN, tél: 031. 322 81 94.

<sup>8</sup>EXTENSIF: végétation pauvre, supportant l'humidité puis la sécheresse, poussant sur une mince couche de terre (4-10cm), ne nécessitant aucun engrais arrosage ou fauchage. La pauvreté du substrat évite la croissance exagérée. Les normes de sécurité des dalles porteuses Suisse sont en général largement suffisantes pour que l'on puisse remplacer le gravier par un peu de terre et d'herbe.

Extensif est opposé à la végétalisation INTENSIVE des toitures jardin (nouveau bâtiment de l'Hôpital cantonal à usage du public) où la végétation peut être constituée de gazon, arbres ou arbustes sur une couche de terre allant jusqu'à 50-100 cm. Là une dalle renforcée est obligatoire en raison du poids.

<sup>9</sup>Contactés début 1993, ni l'Ecole d'architecture, ni le Technicum, ni le délégué à l'environnement n'a pu nous renseigner sur ces sujets !...

construites. Isolation thermique aussi par l'effet de "fourrure" de l'herbe, permettant un meilleur confort des locaux sous toitures moins surchauffés en été, moins froids en hivers.

De plus les toitures vertes présentent des milieux végétaux<sup>10</sup> qui tendent à disparaître de notre environnement<sup>11</sup>, comme tous les milieux pauvres non entretenus, et sont bien plus attrayantes pour le regard qu'un toit plat de gravier ou béton.

La végétation d'un toit de verdure extensive ne nécessite pas plus d'entretien et de contrôles qu'un toit mort, aucune plante ne pouvant s'y développer exagérément. La croissance est limitée en effet par la faible couche de terre et les périodes de sécheresse. Ni arrosage, ni tonte, ni engrais ne sont en général nécessaires. On trouve actuellement des nattes pré-ensemencées de mélanges d'espèces indigènes qu'il suffit de dérouler !

La végétalisation des toitures ne nécessite en général aucune adaptation de la dalle mais simplement un contrôle de l'étanchéité à l'eau et aux racines. Les garanties professionnelles sont les mêmes que pour des toitures mortes.

Une toiture verte est à peine plus chère à la construction qu'une toiture plate couverte de gravier. Les dalles et les étanchéités se retrouvent naturellement mieux protégées contre les gros écarts thermiques par une végétalisation que ne le permet le gravier, ce qui prolonge leur longévité. En regard du prix de la santé et des inondations en aval, supporté par l'état, les assurances et le public, le modeste investissement demandé par une gestion intelligente de l'eau en milieu construit est éminemment rentable. Comme d'habitude, prévenir est moins cher que guérir. Faut-il seulement considérer à distance et à long terme les effets des différents types d'urbanisation. La prise de conscience environnementale de ces dernières années nous invite à le faire.

Pour les toitures en pente, la végétalisation est aussi possible et simple. Mais ce n'est pas encore dans nos habitudes de voir de l'herbe sur les villas, alors que les toitures plates ne sont en principes pas visibles du sol, mais seulement des oiseaux ou des habitants qui les surplombent. C'est donc par les toits plats que l'on pourrait commencer. Les petits box-garages sont des surfaces idéales pour qui veut se faire plaisir et bricoler en famille. Il existe même maintenant des "kits" à installer soi-même sur son garage.

A noter sur le plan énergétique qu'une toiture verte améliore le rendement des capteurs photovoltaïques<sup>12</sup>. Ceci par le rafraîchissement naturel du toit dû à l'évaporation, qui abaisse la température de fonctionnement. Végétalisation et techniques énergétique modernes se complètent.

Toits plats, toits verts, Genève, la ville qui est la plus verte vue d'avion, la plus fraîche en plein soleil, Genève, capitale de l'environnement !

## **Pour les Façades**

Les façades nues sont aussi autant de surfaces inutiles à l'oeil et à la vie. Mais attention de ne pas faire disparaître ces merveilleux trompe-l'oeil qui font aussi le charme et l'identité d'un quartier ! On pourrait dire que toute façade aveugle devrait être soit couverte de verdure, soit d'un trompe-l'oeil.

La plantation systématique de plantes grimpantes présente plusieurs avantages.

---

<sup>10</sup>Voir la conférence pour CONVIVE de Mme C.Lambelet, Conservatoire et Jardin Botanique de Genève.(a disposition chez CONVIVE) le 1 juin 1994.

<sup>11</sup>Voir les efforts de la Confédération pour le maintien des prairies sèches, où poussent et se reproduisent des plantes et animaux qui ne peuvent survivre en milieu riche et entretenu.En quelque sorte, ou pourrait dire que les toitures extensives sont autant de réserves naturelles miniatures que nous pouvons recréer facilement.

<sup>12</sup>J.Wiley, 1981. Physics of semiconductor devices, 2nd Ed, ch 14: Solar cells. p. 808.

Chaque façade verte produit de l'oxygène et tient donc dans un quartier le rôle d'un véritable arbre. Qui refuserait de laisser pousser un arbre qui ne gêne personne ? De plus, le feuillage persistant d'une plante grimpante contre une façade représente le même effet que les poils d'une fourrure, comme pour les toitures vertes: isolation thermique contre le soleil en été, et le refroidissement en hivers = économies de climatisation et de chauffage; protection des matériaux de la façade contre les dilatations et contractions thermiques et contre l'impact direct de la pluie. Protection supplémentaire: l'oxygène natif des plantes protège le béton de la carbonatation ! La façade reste plus sèche et protégée. Un effet insonorisant aux échos de la rue est aussi obtenu, et l'effet de dépolluissage de l'air est comparable à celui des toitures vertes.

Si la végétation pousse sur une façade avec fenêtres, l'avantage est de permettre aux habitants de respirer un air un peu plus frais et moins sec. Evidemment, des "lianes" risquent de nous étrangler dans notre lit si on ne les coupe pas de temps en temps, il y aura quelques abeilles butineuses et quelques insectes ou nids d'oiseaux, mais les citadins passent-ils vraiment avec tant d'agrément leurs vacances en pleine ville plutôt qu'à la campagne pour échapper à cette petite faune ...?

Que les trottoirs penchent vers une plate bande de terre au pied de toutes les façades aveugles pour qu'il y pousse une plante grimpante, quelques fils de fer pour épargner les crépis délicats ou pour éviter la taille, et Genève verdit sur des kilomètres carrés verticaux, même en pleine ville. Genève, ville des parcs et des façades vertes, capitale de l'environnement !

### **Surfaces au sol: Parkings**

En tout point comparables aux toitures, les parkings étanches et sombres pourraient être convertis pour améliorer le climat, stabiliser la qualité des eaux genevoises, et agrémenter notre canton. Là aussi, les techniques sont au point<sup>13</sup> pour bien gérer les surfaces d'entrepôts et améliorer leur impact sur notre environnement.

Le souci souvent évoqué de la pollution par les véhicules parqués a fait l'objet d'études sérieuses et les moyens d'y pallier existent. Le prix des différentes solutions est très variable, tout dépend des buts et de l'aspect recherchés. De toute façon, ce qui est conçu intelligemment au départ diminue les frais à l'arrivée. Tout comme une ampoule économique de 20 W qui remplace la vieille de 100 W va vous faire économiser plus de 70 F<sup>14</sup>, une bonne gestion des surfaces construites libérera d'autant l'Etat, et donc nos impôts, des charges de pollution, inondation, assèchement de la nappe phréatique, tout comme des frais médicaux pour maladies respiratoires. Et quelle vie plus agréable la végétalisation de notre environnement peut apporter ! On verra des parkings vides le week-end se transformer en places de pique-nique familiaux en pleine ville (?...), ce qui est bien impossible sur un sol de goudron surchauffé !

Dans le cas où il ne serait pas possible de verdir un parking, il devrait au moins être exigé une plantation d'arbres suffisamment grands et rapprochés. Ceci ombrage correctement les autos et diminue l'évaporation de l'essence, dont on connaît maintenant les effets négatifs sur la couche d'ozone. Les parkings devraient donc partout, et particulièrement au pieds des immeubles, être enherbées et/ou au moins arborisés.

---

<sup>13</sup>"Aménagement des surfaces herbeuses perméables, rapport et recommandations", Cahiers de l'environnement no 50, mai 1987, OFPE, BERNE, CH-3003 BERNE.

<sup>14</sup>Office Cantonal de l'Energie, no 11, printemps 92.



Et le drainage des surfaces étanches<sup>15</sup> : pense-t-on à les incliner vers le pied des arbres, des haies, dans des fossés d'infiltration ?

A Genève arborisation et végétalisation de tous les parkings du canton doivent être un principe et une réalité. Nous recevrons les institutions sur l'environnement avec une certaine crédibilité, une certaine sincérité, un certain attrait.

Voilà: surfaces verticales ou horizontales: tant de plaisirs à s'offrir en les rendant esthétiques et vivantes. Santé, économie, flore et faune y trouveront leur compte. Nos villes peuvent devenir des réserves de vie, mais oui !

Tels sont les buts de l'association CONVIVE !

Nos moyens: une abondante documentation suisse et étrangère, des photos, des collaborateurs botanistes, biologistes, architectes et ingénieurs. Et évidemment, sans les membres et les bénévoles, rien ne se ferait !

---

<sup>15</sup>"Laissons l'eau pluviale s'infiltrer dans le sol", Erfa-Info 2/95 (gratuit), Office des Constructions Fédérales, M.J.P. Rosat, Effingerstrasse 20, GR3, CH-3003 BERN, tél: 031. 322 81 94.

## Quelques effets positifs sur l'environnement et l'homme d'une approche différente de la construction.

	Régime <sup>1</sup> des eaux	Arbres <sup>2</sup> O <sub>2</sub>	Humidifi- cation <sup>6</sup>	Poussière <sup>3</sup> Bruit	Climat <sup>4</sup> Santé	Economie <sup>5</sup> d'énergie
<u>Végétalisation</u>						
des toitures	+++ <sup>7</sup>		++	++	+	+ <sup>8</sup>
des façades	(+)	+ <sup>9</sup>	++	+++	++	++
<u>Maintien de la perméabilité du sol:</u>						
Herbe ou terrain absorbant	+++	+++	+++	+++	+++	(+) <sup>10</sup>
Plots de béton ajouré	++	++	++	+	+	-
- alvéoles (plastique) <sup>11</sup>	+++	+++	++	++	++	+
Pavage naturel (non cimenté)	+	++	+		+	/
Ciment étanche	---	---	---	---	---	---
Parkings, trottoirs, pistes cyclables <sup>9</sup> perméables	+++	+++	+	+	+	/
<u>Récupération des eaux de pluie</u>						
Pour usage domestique <sup>12</sup>	+++	---	---	/	/	+++
Piscine drainée dans le terrain	+++	+++	+	+	+	++ <sup>13</sup>
<u>Infiltration des eaux des toits</u>						
	+++	+++	+	+	+	+

Régime <sup>1</sup> des eaux	Arbres <sup>2</sup> O <sub>2</sub>	Humidifi- cation <sup>6</sup>	Poussière <sup>3</sup> Bruit	Climat <sup>4</sup> Santé	Economie <sup>5</sup> d'énergie
---------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	------------------------------	------------------------------------

<sup>1</sup>Diminution de l'amplitude des variations de débit: moins de crues et d'érosion = moins d'inondations, moins de sécheresses. Débit régulier plus favorable à l'épuration naturelle.

<sup>2</sup>Arbres: croissance normale possible par irrigation naturelle et maintien des circuits d'eaux souterrains et de la nappe perchée. Meilleure survie des grands arbres à distance des constructions, les drainages, parkings souterrains, etc., étant compensés. Economie d'énergie par économie d'arrosage-arroseuses (cf.5).

<sup>3</sup>La poussière est retenue, comme le bruit, par toute surface poreuse (mur de pierres sèches) ou couverte de végétation, grâce au ralentissement des courants d'air par les aspérités et entre les feuilles, empêchant les particules de s'envoler.

<sup>4</sup>Climat: humidité, fraîcheur, ventilation naturelle de la ville permises par un sol et des toits vert plus frais. Disparition des couvercles de pollution sur les zones construites. Amélioration par effet stabilisant de toute verdure.

<sup>5</sup>Energie: pour puiser, filtrer, épurer et mettre sous pression les eaux souterraines; fabriquer les conduites rendement + des capteurs photovoltaïques (cf8); effets à distance et en aval des mauvaises conceptions hydrologiques en amont. Longévité meilleure des dalles protégées par la végétation contre les fortes contraintes thermiques: moins de réparations. Effet isolant thermique + ou - marqué, selon l'épaisseur de la terre, et par la végétation tenant le rôle isolant des poils d'une fourrure: chauffage et climatisation moindres...

<sup>6</sup>Humidification naturelle par évaporation du sol et évapotranspiration des plantes.

<sup>7</sup>A Genève, 700-800 litres de pluie tombent par an au mètre carré. Une toiture couverte de végétation extensive (5-8 cm de substrat absorbant) représente vite 50% et plus de retenue des précipitations.

<sup>8</sup>Meilleur rendement des capteurs photovoltaïques posés sur un toit vert naturellement rafraîchi.

<sup>9</sup>Surtout si le terrain alentour est drainé ou incliné vers la plate bande à la base des plantes grimpantes, arbres...

<sup>10</sup>L'énergie économisée en gardant un terrain naturel peut être plus que perdue par les tontes régulières que subit souvent le gazon en milieu contruit, les arrosages, engrais et entretiens divers qu'il « doit » recevoir.

<sup>11</sup>Grosse économie de main d'oeuvre à la pose, grande perméabilité, grande résistance, plastic recyclé.

<sup>12</sup>Pour lessive, arrosage, WC, réservoir de chaleur...

<sup>13</sup>Economie augmentée si la piscine sert de réservoir de chaleur. Une piscine-étang ne nécessite ni filtre, ni chloration...

**PROGRAMME**  
**LISTE DES PARTICIPANTS**

## PROGRAMME DE LA JOURNÉE DU CUEPE 1995 ENERGIE ET CLIMAT URBAIN

**Vendredi 1<sup>er</sup> décembre 1995**

dans les locaux de l'Académie Internationale de l'Environnement  
Pavillon, 4 chemin de Conches, 1231 Conches

- 8h.45 Accueil
- 9h.30 Introduction, **Prof. F. Carlevaro, directeur du CUEPE**
- 9h.45 Les particularités du climat urbain  
**Prof. G. Escourrou, La Sorbonne, Paris**
- 10h.15 Energie et écotoxicologie humaine  
**Prof. M. Guillemin, Institut Universitaire Romand de Santé au Travail, Lausanne**
- 10h.45 Café
- 11h.15 Morphologie urbaine et climat urbain  
**Prof. J. P. Peneau, Ecole d'Architecture de Nantes**
- 11h.45 Economic Instruments as part of a long-term, integrated strategy to reduce urban pollution problems  
**H. Wuester, Commission économique pour l'Europe des Nations Unies, Genève**
- 12h.30 Repas
- 14h.00 **Session 1 : cas suisses et internationaux, présentation et discussion des contributions.  
Présidée par le professeur Willi Weber, CUEPE et IAUG**
- J. Vicari, Espèce, Espace, Energie.
  - I. Livada-Tselepidaki, Human thermal discomfort conditions and heat island effect over Athens.
  - M. Petrakis, Microclimatic patterns in the city of Athens.
  - N. Soguel, L'effet de la rupture spatiale en milieu urbain: portée et évaluation.
  - O. Ouzilou, Aide à la décision pour la planification énergétique d'un quartier.
  - N. De Michelis, Energie et environnement: le rôle des villes.
  - V. Mouafo, Aménagement et structuration urbaine à Bafoussam (Cameroun): analyse et impact.
  - N. Baker, Can simplified parameters indicate urban environmental performance ?
  - A. Bauen, A network flow approach to sustainable urban development.
- 15h.45 Café
- 16h.15 **Session 2 : le cas de Genève, présentation et discussion des contributions.  
Présidée par le professeur Jacques Vicari, Institut d'Architecture de Genève et Directeur  
du Centre Universitaire d'Ecologie Humaine et des Sciences de l'Environnement**
- J.A.Hertig, Aspects de climatologie des villes suisses. Cas de Bienne et des villes du bassin lémanique.
  - P. Baertschi, Genève: morphologie urbaine et typologies caractéristiques.
  - F. Calame, Mise en évidence du réchauffement de la zone de Cointrin.
  - G. Krebs, Evolution du microclimat genevois.
  - B. Lachal, Quelques aspects du climat urbain de Genève et ses conséquences sur l'environnement
  - B. Molineaux, P. Ineichen, B. Lachal, Quelques effets des aérosols à Genève.
  - J. Cl. Landry, Qualité de l'air à Genève: réseau de surveillance et plan de mesures.
  - D. Bütschi, Stratégies anti-pollution et comportement privé.
  - B. Lambert, Le mouvement cyclo-écologistes et le mouvement d'opposition aux abus de la voiture.
  - M. Lambelin, Urbanisme du quai Wilson: entre patrimoine, utopie et réalité.
- 18h.00 Conclusion: les leçons de cette journée, **par le Dr. B. Lachal et le Prof. J. Royer, CUEPE**
- 18h.15 Vin d'honneur



## LISTE DES PARTICIPANTS

Adler Denise, LDES, Faculté de Psychologie et des Sciences de l'éducation, Université de Genève, 9 route de Drize, 1227 Carouge.

Athanassakou Eva, Center for Renewable Energy Sources, 19th Klm Matathonas Avenue, 19009 Pikermi, Attica, Greece.

Baertschi Pierre, Direction du Patrimoine et des Sites (DTPE), Rue David-Dufour 5, Case postale 22, 1211 Genève 8.

Baghdadi Nouha, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, DA-LESO, 1015 Ecublens.

Baker Nick, The Martin Centre for Architectural and Urban Studies, University of Cambridge, 6, Chaucer Road, Cambridge CB2 2EB, United Kingdom.

Balestra Ursula, Degallier 7, 1290 Versoix.

Baranzini Andrea, CUEPE, 158 route de Florissant, 1231 Conches-Genève.

Barde Olivier, Case postale 1212, 1227 Carouge.

Bauen Ausilio, Centre for Environmental Technology, Imperial College of Science, Technology and Medecine, 48 Prince's Gardens, London SW7 2PE, United Kingdom.

Bauer Manuel, LESO, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1015 Lausanne.

Beck Rémy, adjoint du directeur, OCEN, 4 rue du Puits-Saint-Pierre, 1211 Genève 8.

Bertholet Jean-Luc, CUEPE, 158 route de Florissant, 1231 Conches-Genève.

Beurret Bruno, DTPE, 74 boulevard Carl-Vogt, 1205 Genève.

Bütschi Danielle, Département de Science Politique, Université de Genève, 102, boulevard Carl-Vogt, 1211 Genève 4.

Calame François, Station fédérale de recherches agronomiques de Changins, 1260 Nyon.

Carlevaro Fabrizio, CUEPE, 158 route de Florissant, 1231 Conches-Genève.

Chaze Jean-Paul, Laboratoire d'Economie Appliquée, 2 rue Dancet, 1211 Genève 4.

Chuard Dominique, Sorane S.A., 52, route de Châtelard, 1018 Lausanne.

Convive, c/o Loutan G., 3, route de Florissant, 1206 Genève.

Courret Gilles, LESO-PB, EPFL, 1015 Lausanne.

Cupelin F., Service de l'Ecotoxicologie cantonal, 23 avenue Sainte-Clotilde, 1205 Genève.

Dan Adriana, LASEN, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1015 Ecublens.

De L'Harpe Alain, Département de Géographie, 102 Bd Carl-Vogt, 1211 Genève 4.

Dériaz Blaise, 35 boulevard de la Cluse, 1205 Genève.

Escourrou Gisèle, Université de Paris-Sorbonne, 17 rue Louise de Keroual, 91000 Evry, France.

Escourrou Pierre, 17 rue Louise de Keroual, 91000 Evry, France.

Faudry Daniel, IEPE-CNRS, Boîte postale 47, 38040 Grenoble Cedex 09, France.

de Faveri Paolo, OCSTAT (DEP), 8 rue du XXXI-décembre, 1207 Genève.

Flourentzou Flourentzos, LESO-EPFL, 1015 Lausanne.

Gallinelli Peter, CUEPE, 158 route de Florissant, 1231 Conches-Genève.

Garbely Myriam, CUEPE, 158 route de Florissant, 1231 Conches-Genève.

Graf Catherine, LDES, Faculté de Psychologie et des Sciences de l'éducation, Université de Genève, 9 route de Drize, 1227 Carouge.

Guillemin G., Institut universitaire romand de santé au travail, 19 rue Bugnon, 1005 Lausanne.

Haller Laurence, Blancherie 14, 1022 Chavannes.

Hamwey Robert, Académie internationale de l'environnement, 4 chemin de Conches, 1231 Conches.

Hertig Jacques, LASEN, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1015 Ecublens.

Hollmuller Pierre, CUEPE, 158 route de Florissant, 1231 Conches-Genève.

Ineichen Pierre, Groupe de Physique Appliquée (GAP), 158 route de Florissant, 1231 Conches-Genève.

Kassomenos P., National Observatory of Athens, Institute of Meteorology and Physics of the Atmospheric Environment, P. O. Box 20048 - GR, 11810 Athens, Greece.  
Krebs Georges, Krebs Energies, 7 chemin Delay, 1214 Vernier.

Lachal Bernard, CUEPE, 158 route de Florissant, 1231 Conches-Genève.

Lambelin Marc, Jeune Chambre Economique de Genève, 33 route de Valleiry, 1284 Chancy.

Lambert Benoît, 89B route de Florissant, 1206 Genève.

Landry J.-Cl., Service de l'Ecotoxicologue cantonal, 23 avenue Sainte-Clotilde, 1205 Genève.

Lawrence Roderick, Centre d'écologie humaine, Université de Genève, 102 boulevard Carl-Vogt, 1211 Genève 4.

Lazari Jane, Centre for Renewable Energy Sources, 19th Klm Matathonas Avenue, 19009 Pikermi, Attica, Greece.

Levy Bertrand, Département de géographie de l'Université de Genève, UNI MAIL, 102 boulevard Carl-Vogt, 1211 Genève 4.

Livada-Tselepidaki Iro, Université d'Athènes, Ippokratous 33, Athènes 10680, Grèce.

Longet René, Société suisse pour la Protection de l'Environnement (SPE), 6 rue Saint-Ours, 1205 Genève.

Loutan G., Convive, Route de Florissant 3, 1206 Genève

Martin Paule, Ville de Genève, Service d'architecture, rue de l'Hôtel-de-Ville 3, Case postale 3983, 1211 Genève 3.

Martini Rachele, 6671 Moghegno.

Meldem René, gb Consult S.A., 30A chemin de la Fauvette, 1012 Lausanne.

Mercier Antoinette, Fruitière 11, 1073 Savigny.

Mermod Jean-Paul, Collège des Colombières, 66 rue de la Prulay, 1217 Meyrin.

Mermoud André, Groupe de Physique Appliquée (GAP), 158 route de Florissant, 1231 Conches-Genève.

Molineaux Benoît, Groupe de Physique Appliquée (GAP), 158 route de Florissant, 1231 Conches-Genève.

Mouafo Valentin, CIPCRE, Boîte postale 1256, Bafoussam, Cameroun.

Neuhaus Olivier, Section de l'urbanisme de la Ville de Neuchâtel, Fbg du Lac 3, 2001 Neuchâtel.

Nguyen Dinh-Lan, Services Industriels de Genève, 2 chemin du Château-Block, Case postale 2777, 1211 Genève 2.

Nonni Marco, c/o Bader, 2 rue des Bossons, 1213 Onex.

Oestreicher Yves, CUEPE, 158 route de Florissant, 1231 Conches-Genève.

Ouzilou Olivier, Amstein & Walthert S.A., 24 rue du Cendrier, 1201 Genève.

Parrat Michel, A+U Architecture et urbanisme, 42 rue de Genève, Case postale 229, 1225 Chêne-Bourg.

Pastorini Venetz Anna, FSP, rue de Saint-Jean 67, Case postale 5278, 1211 Genève 11.

Paule Bernard, LESO-PB, EPFL, 1015 Lausanne.

Peneau J. P., CERMA, Ecole d'architecte de Nantes, Rue Massenet, 44300 Nantes, France.

Perler Jean-Pascal, Président des Verts, Section VGE, 15 chemin De-Roches, 1208 Genève.

Pillet Monique, Avenue Bois de la Chapelle 99, 1213 Onex.

Plass Gunther, 21 chemin Rochefaucault, 1290 Versoix.

Reust Margareth, 19 chemin Pilotis, 1246 Corsier.

Romerio Franco, CUEPE, 158 route de Florissant, 1231 Conches-Genève.

Roulet Claude-Alain, LESO-PB, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1015 Ecublens.

de Rovinelli Bernard, Ville de Genève, Service d'architecture, rue de l'Hôtel-de-Ville, Case postale 3983, 1211 Genève 3.

Royer Jacques, CUEPE, 158 route de Florissant, 1231 Conches-Genève.

Simos Jean, Direction générale de la santé publique, 24 avenue Beau-Séjour, 1206 Genève.

Soguel Nils, Public Finance Department, IDHEAP, University of Lausanne, 21, route de la Maladière, 1022 Chavannes-Renens.

Spagnoli Marco, OCSTAT (DEP), 8 rue du XXXI-décembre, 1207 Genève.

Spuhler Elisabeth, 8, rue Senebier, 1205 Genève.

Taffé Patrick, CUEPE, 158 route de Florissant, 1231 Conches-Genève.

Trachsel Christian, Section de l'urbanisme de la Ville de Neuchâtel, Fbg du Lac 3, 2001 Neuchâtel.

Trottet Bernard, DTPE, Direction de l'aménagement, Case postale, 1211 Genève 8.

Tschopp Jean-Marc, DTPE/OCEN, 5 rue David Dufour, 1211 Genève 8.

van Kuijk Henri, Sulzer Energie Consulting, Langallerie 6, 1000 Lausanne 4.

Van der Maas Koos, EPFL-LESO, 1015 Lausanne.

Vernet-Fiechter Bettina, Régie Moser & Cie, 43c route de Chêne, 1208 Genève.

Vicari Jacques, Centre universitaire d'écologie humaine, 102 boulevard Carl-Vogt, 1205 Genève.

Weber Willi, CUEPE, 158 route de Florissant, 1231 Conches-Genève.

Witz Nicolas, Bugnon 20, 1005 Lausanne.

Wuester Henning, Commission économique pour l'Europe, Palais des Nations, 1211 Genève 10.

Zwinggi G. Roberto, DTPE, Direction de l'Aménagement SIT, 5 rue David Dufour, 1211 Genève 8.