

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHESCIENTIFIQUE**

**N° D'ORDRE:
SERIE:**

**FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE, DE LA GEOGRAPHIE ET DE
L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE**

THÈSE

En vue de l'obtention

DU Magister

Par

Achour-Bouakkaz Nawel

**La Relation entre l'ilot de chaleur urbain,
phénomène du changement climatique et la
densité du plan bati : cas de la ville d'Alger**

- Jury -

**Abdou
Rapporteur**

S.

...../...../2006

La relation entre l'îlot de chaleur urbain, phénomène du changement climatique et la densité du plan bâti : cas de la ville d'Alger

Partie I : Partie théorique

Chapitre 1 : Chapitre introductif

1.1 Introduction et problématique	1
--	---

Chapitre 2 : les changements climatiques : causes et impacts environnementaux

2.1 Introduction	8
2.2 Le réchauffement de la planète	9
2.3 Ce réchauffement a-t-il commencé ?	10
2.4 Comment "fonctionne" l'atmosphère sur le plan radiatif ?	13
2.4.1 Le rayonnement solaire globale	14
2.4.2 Le rayonnement solaire direct	14
2.4.3 Le rayonnement solaire diffus	15
2.4.4 Le rayonnement solaire réfléchi (Albédo)	16
2.4.5 Le rayonnement solaire absorbé	16
2.4.6 L'altitude et l'azimut du soleil	17
2.4.7 Quelles sont les diverses émissions qui affectent le bilan radiatif de l'atmosphère?	18
2.4.8 Le forçage radiatif	20
2.4.9 Combien valent les forçages radiatifs relatifs des divers gaz à effet de serre?	22
2.5. L'effet de serre	25
2.5.1 L'effet de serre : qu'est ce que c'est ?	25
2.5.2 Le rapport entre l'effet de serre et les changements climatiques	26
2.5.3 Est-on sûr que c'est l'homme qui rejette les gaz à effet de serre ?	27
2.5.4 Impact de l'urbanisation sur l'évolution du climat	28
2.5.4.1 Impact de l'évolution de la population mondiale sur la croissance urbaine	28
2.5.4.2 Impact de l'urbanisation sur l'environnement	29
2.5.5 Contribution du secteur de l'habitat et de l'urbanisme à la réduction des gaz a effet de serre	31
2.6 La température	33
2.6.1 Définition	33
2.6.2 La température du globe	34
2.6.3 Evolution de la température mondiale	35
2.6.4 La température à l'échelle de la ville	38

2.7 Les phénomènes spécifiques aux changements climatiques	38
2.7.1 Le phénomène d'El Nino	39
2.7.2 En temps normal	40
2.7.3 Etat El Niño	40
2.7.4 Episode La Niña.	42
2.8 Les changements climatiques en Algérie	43
2.8.1 Les gaz à effet de serre en Algérie	43
2.8.2 La problématique des changements climatiques en Algérie	43
2.9 Les scénarios futurs de l'évolution du climat	44
2.9.1 Comment peut-on savoir ce qui va se passer plus tard ?	44
2.9.2 Evolution future du climat en Algérie	45
2.10 Conclusion	50

Chapitre 3 : l'îlot de chaleur urbain : conséquence directe de la croissance urbaine

3.1 Introduction	57
3.2 Paramètres de base influençant l'environnement urbain	58
3.3 Le climat urbain	58
3.3.1 L'îlot de chaleur urbain	60
3.3.2 Bilan thermique en milieu urbain	65
3.3.2.1 Effets du stockage dans les bâtiments sur l'îlot de chaleur urbain	66
3.3.2.2 Conception tridimensionnelle du tissu urbain	68
3.3.2.3 Contrôle de la nature des surfaces urbaines	68
3.3.2.4 Impact de l'énergie anthropique sur l'îlot de chaleur urbain	70
3.3.2.5 Effets de la végétation sur la modification de la chaleur latente	72
3.3.3 La géométrie urbaine	77
3.3.4 Le profil de la rue (H/L) ou canyon urbain	78
3.3.5 La densité du plan	81
3.3.6 L'ouverture au ciel (Sky view factor)	85
3.3.7 L'orientation par rapport au soleil	85
3.3.8 La géométrie du bâtiment	87
3.3.9 Les caractéristiques de l'îlot de chaleur urbain	88
3.3.9.1 Relation entre l'ICU et les facteurs propres à la ville	88
3.3.9.2 Les variations temporelles de l'îlot de chaleur urbain	90
• Les conditions moyennes : cycle diurne	90
• Les variations saisonnières du cycle diurne	91
3.3.9.3 Relation entre l'ICU et les paramètres météorologiques	91
3.3.10 Intensité de l'îlot de chaleur urbain	92
3.3.11 Résumé de quelques études sur l'îlot de chaleur urbain et l'urbanisation	94

3.4 Le vent en milieu urbain	99
3.5 La pollution urbaine	101
3.6 Conclusion	103
Partie II : Investigation	
Chapitre 4 : Méthodologies d’approche de l’îlot de chaleur urbain	
4.1 Introduction	110
4.2 L’îlot de chaleur urbain à Vancouver, Canada	111
4.2.1 Mesures	111
4.2.2 Méthodologie	111
4.2.3 Résultats et analyse	113
4.2.4 Conclusion	117
4.3 L’îlot de chaleur urbain de Genève	117
4.3.1 Méthodologie	118
4.3.2 Conclusion	120
4.4 Cas de la ville d’Atlanta, USA	121
4.4.1 Méthodologie	121
4.4.2 Conclusion	124
4.5 L’îlot de chaleur urbain dans la ville de Providence, USA	124
4.5.1 Méthodologie	124
4.5.2 Résultats	126
4.5.3 Conclusion	127
Chapitre 5 : Etude de cas : la ville d’Alger	
5.1. Introduction	130
5.2.1 Aperçu sur Alger et son climat	131
5.2.2 Etude des pluies	133
5.2.2.1 Cumuls Mensuels des pluies	133
5.2.2.2 Pluies Annuelle	135
5.2.3 Etude des températures	137
5.2.3.1 Analyse descriptive	137
5.2.3.2 Analyse des variations de températures maximales moyennes (Tx)	138
5.2.3.3 Analyse des variations des températures minimales moyennes (Tn)	139
5.2.4 Le vent	140
5.2.4.1 Evolution mensuelle des vitesses du vent moyen à Alger	140
5.2.5 Durée d’Insolation mensuelle en heures	141

5.3 Evolution de l'occupation au sol au niveau d'Alger	143
5.4 Présentation de l'étude de cas	147
5.4.1 Critères de choix de l'échantillon	148
5.4.2 Description de l'étude 5.5 Présentation des stations météorologiques	149
5.5 Présentation des stations météorologiques	152
5.5.1 Station Alger Dar El Beida	153
5.5.2 Station Alger Port	153
5.5.3 Station Bouzaréah	154
5.6 Analyse des données de températures pour les 3 stations	155
5.6.1 Les températures au niveau de la station Dar El Beida	155
5.6.1.1 Analyse des températures maximales (Tx)	155
5.6.1.2 Analyse des températures minimales (Tn)	156
5.6.1.3 Analyse des données de température moyenne pour la station de Dar El Beida	157
5.6.2 Définition de la densité du plan au niveau de Dar El Beida	158
5.6.2.1 Etape 1 : Calcul de L'échantillon 1/10 de la vue aérienne.	158
5.6.2.2 Etape 2 : Sélection de 3 îlots à partir de l'échantillon prédéfini	159
5.6.2.3 Etape 3: Repassage des contours de toitures des îlots sélectionnés	160
5.6.2.4 Etape 4: Représentation du rapport entre le bâti et le non bâti	161
5.6.2.5 Etape 5: Calcul de la densité du plan pour les trois îlots sélectionnés	162
5.6.3 Station Alger Port	163
5.6.3.1 Analyse des données de température moyenne maximale	163
5.6.3.2 Analyse des données de température moyenne minimale	164
5.6.3.3 Analyse des données de température moyenne pour la station d'Alger port	165
5.6.4 Définition de la densité du plan au niveau d'Alger Centre	166
5.6.4.1 Etape 1 : Calcul de L'échantillon 1/10 de la vue aérienne	166
5.6.4.2 Etape 2 : Sélection de 3 îlots à partir de l'échantillon prédéfini	167
5.6.4.3 Etape 3: Repassage des contours de toitures des îlots sélectionnés	168
5.6.4.4 Etape 4: Représentation du rapport entre le bâti et le non bâti	169
5.6.4.5 Etape 5: Calcul de la densité du plan pour les trois îlots sélectionnés	170
5.6.5 Station Bouzaréah	171
5.6.5.1 Analyse des données de température moyenne maximale	171
5.6.5.2 Analyse des données de température moyenne minimale	172
5.6.5.3 Analyse des données de température moyenne pour la station de Bouzaréah	173
5.6.6 Définition de la densité du plan au niveau de Bouzaréah	174
5.6.6.1 Etape 1 : Calcul de L'échantillon 1/10 de la vue aérienne	174
5.6.6.2 Etape 2 : Sélection de 3 îlots à partir de l'échantillon prédéfini	175
5.6.6.3 Etape 3: Repassage des contours de toitures des îlots sélectionnés	176
5.6.6.4 Etape 4: Représentation du rapport entre le bâti et le non bâti	177
5.6.6.5 Etape 5: Calcul de la densité du plan pour les trois îlots sélectionnés	178

5.7 Récapitulatif des Résultats pour les trois stations	179
5.7.1 Station Alger Dar El Beida	179
5.7.2 Station Alger Port	180
5.7.3 Station Bouzaréah	181
5.7 Comparaisons des résultats entre les trois stations	182
5.8 Conclusion	186
Chapitre 6 : Conclusion générale et recommandations	
6.1 Conclusion Générale	188
6.2 Recommandations	192
6.2.1 Recommandations pour le cas traité, après conception urbaine	192
6.2.2 Avant la conception urbaine	194
Bibliographie	

Nomenclature

d'îlot de chaleur urbain (ICU)
GIEC Groupe Intergouvernemental d'Experts sur le Climat ;
SMC (Service météorologique du Canada, Environnement Canada)
IPCC : International Panel on Climate Change)
WMO World Meteorological Organization
OMM Organisation météorologique mondiale
ONM Organisation météorologique mondiale
PRG pouvoir de réchauffement global
Ppmv : partie par million, ou volume, en centimètre cube, d'un gaz dans un mètre cube de mélange gazeux. Ex : 1000 ppmv équivalent à 0.1% du volume atmosphérique
PRB Population Reference Bureau
(FNUAP), Fonds Des Nations Unies Pour La Population
(PNUE) Programme des Nations Unies pour l'environnement
CNES Centre National d'Etudes spatiales
(ENSO) (*El Niño*/Southern Oscillation)
Convention Cadre sur les Changement Climatiques (CCCC)
(FEM) fonds mondial de l'environnement
MIES La Mission Interministérielle de l'Effet de Serre
(Sky view factor) SVF
Plea
CRICYT (Centre régional des investigations scientifiques et technologiques)
« Solar form factor » SFF
« Soil occupation factors » SOF
EPAU école polytechnique d'architecture et d'urbanisme d'Alger
UHI urban heat island
D.E.B Dar El Beida
GES Gaz à effet de serre

Les Figures :

Figure 1.1	Coupe profile d'un îlot de chaleur urbain.	4
Figure 2.1	Les interactions entre terre, atmosphère et espace.	8
Figure 2.2	Evolution des températures moyennes de l'air au niveau du sol depuis 1880.	11
Figure 2.3	Bilan radiatif de l'atmosphère.	13
Figure 2.4	Le rayonnement solaire.	14
Figure 2.5	Densité spectrale de l'éclairement énergétique du rayonnement solaire direct.	15
Figure 2.6	Diffusion du rayonnement solaire.	15
Figure 2.7	Les surfaces claires ont un Albédo plus élevé que celui des surfaces foncées.	16
Figure 2.8	Le parcours de la radiation solaire en hiver et en été, par rapport à l'angle d'inclinaison du soleil.	17
Figure 2.9	Azimut et hauteur du soleil.	18
Figure 2.10	Equilibre radiatif.	18
Figure 2.11	Les transformations de l'énergie solaire incidente et les différents processus du bilan radiatif terrestre.	19
Figure 2.12	Absorption du rayonnement infrarouge émis par la Terre.	20
Figure 2.13	L'équilibre radiatif : facteur déterminant du climat global.	21
Figure 2.14	Illustration du phénomène d'îlot de chaleur urbain dans les régions semi-arides.	23
Figure 2.15	Moyenne globale annuelle de forçage radiatif direct à aérosols en W/m ² .	24
Figure 2.16	Les forçages radiatifs des différents gaz à effet de serre en valeurs absolues.	25
Figure 2.17	L'effet de serre.	26
Figure 2.18	Schématisation du phénomène d'effet de serre.	27
Figure 2.19	Variation des teneurs de l'atmosphère en gaz à effet de serre depuis le XVIII ^{ème} siècle et pour les années récentes, de mesures directes.	28
Figure 2.20	Populations urbaine et rurale, 1950-2030.	29
Figure 2.21	Population vivant en zone urbaine.	30
Figure 2.22	Variations de la température à la surface de la Terre au cours des 140 dernières années et au cours du dernier millénaire.	37
Figure 2.23	Anomalies relevées dans les températures annuelles combinées de l'air à la surface de la Terre et de la surface de la mer de 1861 à 2000, par rapport à la période 1961-1990.	38
Figure 2.24	Situation en temps normal.	41
Figure 2.25	Etat El Niño.	42
Figure 2.26	Episode La Niña.	43
Figure 2.27	augmentation des températures moyennes annuelles par rapport à la situation actuelle.	45
Figure 2.28	Evolution des précipitations moyennes annuelles par rapport à la situation actuelle.	45
Figure 2.29	Les écarts par rapport à la normale des températures : Région Ouest, Centre, Est- Algérie 1970-2003.	46
Figure 2.30	Les écarts par rapport à la normale des températures : Région Hauts plateaux Est, Hauts plateaux Ouest- Algérie 1970-2003.	47
Figure 2.31	Les écarts par rapport à la normale des températures : Région Nord Algérie 1970-2003.	47

Figure 3.1	Profil d'un îlot de chaleur urbain à Los Angeles.	55
Figure 3.2	Schématisme de l'îlot de chaleur urbain dans une ville fictive.	56
Figure 3.3	Relation entre l'îlot de chaleur urbain et le régime des vents.	56
Figure 3.4	Le bilan radiatif de la ville.	58
Figure 3.5	Balance énergétique typique, Journalière en été et en milieu rural et en milieu urbain.	60
Figure 3.6	Schématisme de différents albédos dans la ville.	61
Figure 3.7	Schématisme du rayonnement solaire reçu par la ville.	62
Figure 3.8	Illustration de l'expérience menée par le Groupe de Hashem Akbari, Berkeley.	63
Figure 3.9	Schématisme de la chaleur émise vers l'atmosphère dans la ville.	64
Figure 3.10	Exemple d'aménagement d'espace vert dans une rue résidentielle.	67
Figure 3.11	Exemples d'aménagement d'arbre dans un parking et le long d'une rue.	70
Figure 3.12	Coupe sur l'îlot de chaleur urbain et les différentes couches au dessus de la ville.	71
Figure 3.13	Le canyon urbain.	72
Figure 3.14	Schématisme du profil de la rue et de la couche limite urbaine.	73
Figure 3.15	Schématisme des turbulences qui se crée dans le profil de la rue.	73
Figure 3.16	Exemples de densités en plan dans la ville de Santiago, Chili.	74
Figure 3.17	L'influence de la densité du plan à travers la géométrie de la rue H/L sur les maxima de l'îlot de chaleur pour quelques villes de latitudes moyennes.	77
Figure 3.18	Schématisme du facteur d'ouverture au ciel (SVF).	79
Figure 3.19	Classes d'orientations pour le climat méditerranéen en été.	80
Figure 3.20	Facteurs influençant l'ICU.	84
Figure 3.21	Le vent en milieu urbain.	94
Figure 3.22	Structure verticale atmosphère, Couche limite urbaine et canopée urbaine.	94
Figure 3.23	Profil moyen de la vitesse horizontale du vent dominant en site homogène et en site urbain.	95
Figure 4.1	Le parcours et les différents points de mesure de la température à Vancouver.	99
Figure 4.2	Les moyennes de température au niveau des différents points dans Vancouver.	100
Figure 4.3	Classification des différents types d'utilisation au sol dans Vancouver.	101
Figure 4.4	Classification des différents types d'utilisation au sol pour les sites sélectionnés (points A et B) le long du parcours du véhicule de mesures.	102
Figure 4.5	Classification des différents types d'utilisation au sol pour les sites sélectionnés (points C et D) le long du parcours du véhicule de mesures.	103
Figure 4.6	Image satellite thermique de la ville d'Atlanta.	109
Figure 4.7	Image satellite infrarouge de la ville d'Atlanta.	110
Figure 4.8	Carte thermique de la ville de Providence au USA.	112
Figure 4.9	Superposition de la carte thermique et du couvert végétal.	113
Figure 4.10	Les moyennes de températures de surface par rapport aux différentes catégories d'utilisation au sol.	114
Figure 4.11	Les moyennes de températures de surface par rapport aux différentes catégories de densités en plan.	114
Figure 5.1	La carte géographique de l'Algérie.	118
Figure 5.2	La localisation de la ville d'Alger.	118

Figure 5.3	Le zonage climatique Hiver en Algérie.	120
Figure 5.4	Le zonage climatique Eté en Algérie.	121
Figure 5.5	Les étages bioclimatiques en Algérie.	121
Figure 5.6	Les variations moyennes mensuelles des températures et de l'humidité relative pour la ville d'Alger.	123
Figure 5.7	Les variations moyennes mensuelles des pluies pour la ville d'Alger.	123
Figure 5.8	Distribution mensuelle des pluies, station Alger Dar El Beida.	124
Figure 5.9	Distribution mensuelle des pluies, station Alger Bouzaréah.	125
Figure 5.10	Distribution des pluies annuelles entre 1936-2002, station Alger Dar El Beida.	126
Figure 5.11	Ecarts de pluie par rapport à la normale entre 1936-2002, station Alger Dar El Beida.	127
Figure 5.12	Evolution des pluies annuelles entre 1911-2002, station Bouzaréah.	127
Figure 5.13	Evolution des températures moyennes maximales entre 1935-2003, Alger.	129
Figure 5.14	Evolution des températures moyennes minimales entre 1935-2003, Alger.	130
Figure 5.15	Evolution mensuelle des vitesses du vent moyen (en m/s) Période : 1990 – 1999 Alger Dar El Beida	131
Figure 5.16	Rose des vents pour la ville d'Alger.	131
Figure 5.17	Evolution de l'insolation en heures, Alger.	132
Figure 5.18	Evolution annuelle de l'insolation entre 1988-2002, Alger.	133
Figure 5.19	Plan d'aménagement de la ville d'Alger n 1930.	135
Figure 5.20	Les sous ensembles territoriaux pour la ville d'Alger.	136
Figure 5.21	Plan d'Alger 1977.	137
Figure 5.22	Développement historique du quartier de Bab Ezzouar.	138
Figure 5.23	Etat actuel de Bab Ezzouar.	139
Figure 5.24	Etat du quartier d'Alger Dar El Beida avant.	140
Figure 5.25	Etat actuel du quartier d'Alger Dar El Beida.	140
Figure 5.26	Développement historique d'Alger centre.	141
Figure 5.27	Alger centre en 1977.	142
Figure 5.28	Alger centre en 2000.	142
Figure 5.29	Evolution historique du site de Bouzaréah.	143
Figure 5.30	Carte d'occupation du sol, Alger 1978.	145
Figure 5.31	Carte d'occupation du sol, Alger 2000.	145
Figure 5.32	Localisation de certains quartiers sur une vue satellite de la ville d'Alger.	146
Figure 5.33	Typologie des tissus urbains sur une vue satellite de la ville d'Alger.	147
Figure 5.34	Alger vue du ciel.	148
Figure 5.35	Localisation des stations sur une vue satellite d'une partie de la ville d'Alger.	150
Figure 5.36	L'office national de météorologie au niveau de Dar El Beida, Alger 2006.	152
Figure 5.37	Vue sur les immeubles de Dar El Beida.	153
Figure 5.38	Vue sur l'environnement immédiat de la station de Dar El Beida.	153
Figure 5.39	Localisation de la station d'Alger port sur une partie de la carte d'Alger.	154
Figure 5.40	Vue sur la station d'Alger port.	155
Figure 5.41	Vue sur le quartier d'Alger centre.	155
Figure 5.42	Localisation de la station de Bouzaréah sur une partie de la carte d'Alger.	156

Figure 5.43	Photo illustrant la station de Bouzaréah au niveau du CRAAG, Alger 2005.	157
Figure 5.44	Photo illustrant le site de Bouzaréah, Alger 2005.	157
Figure 5.45	Variations des températures moyennes maximales- Station Dar El Beida, entre 1990-2000.	160
Figure 5.46	Variations des températures moyennes minimales- Station Dar El Beida, entre 1990-2000.	161
Figure 5.47	Variations annuelles des températures moyennes - Station Dar El Beida, entre 1990-2000.	162
Figure 5.48	Vue aérienne de la Station Dar El Beida.	164
Figure 5.49	L'échantillon 1/10 de la surface de la vue aérienne de Dar El Beida, avec la délimitation des trois îlots choisis.	165
Figure 5.50	L'échantillon 1/10 de la surface de la vue aérienne de Dar El Beida, avec la délimitation des trois îlots choisis et les toitures repassées.	166
Figure 5.51	Le rapport entre la surface des toitures repassées et la surface non bâtie, pour l'échantillon 1/10 de la vue aérienne de Dar El Beida.	167
Figure 5.52	Schématisation de la phase calcul de la densité du plan pour la station de Dar El Beida.	168
Figure 5.53	Photo illustrant les immeubles au niveau de la station de Dar El Beida.	170
Figure 5.54	Photo illustrant les revêtements des chaussées et trottoirs au niveau de la station de Dar El Beida.	170
Figure 5.55	Photo illustrant les rares éléments de végétation existant à Dar El Beida.	171
Figure 5.56	Photo illustrant un type d'habitation individuelle au niveau de la station de Dar El Beida.	171
Figure 5.57	Variations des températures moyennes maximales- Station Alger Port, entre 1991-1998.	174
Figure 5.58	Variations des températures moyennes minimales- Station Alger Port, entre 1991-1998.	175
Figure 5.59	Variations des températures moyennes - Station Alger Port, entre 1991-1998.	176
Figure 5.60	Vue aérienne de la Station Alger Port.	177
Figure 5.61	L'échantillon 1/10 de la surface de la vue aérienne d'Alger centre, avec la délimitation des trois îlots choisis.	178
Figure 5.62	L'échantillon 1/10 de la surface de la vue aérienne d'Alger centre, avec la délimitation des trois îlots choisis et les toitures repassées.	179
Figure 5.63	Le rapport entre la surface des toitures repassées et la surface non bâtie, pour l'échantillon 1/10 de la vue aérienne d'Alger centre.	180
Figure 5.64	Schématisation de la phase calcul de la densité du plan pour la station d'Alger port.	181
Figure 5.65	Photo illustrant un type d'habitation au centre ville d'Alger.	183
Figure 5.66	Photo d'une rue en plein centre de la ville d'Alger.	183
Figure 5.67	Variations des températures moyennes maximales- Station Bouzaréah, entre 1989-1998.	186
Figure 5.68	Variations des températures moyennes minimales- Station Bouzaréah, entre 1989-1998.	187
Figure 5.69	Variations des températures moyennes - Station Alger Port, entre 1989-1998.	188
Figure 5.70	Vue aérienne de la Station Bouzaréah.	189
Figure 5.71	L'échantillon 1/10 de la surface de la vue aérienne du site de Bouzaréah, avec la délimitation des trois îlots choisis.	190
Figure 5.72	L'échantillon 1/10 de la surface de la vue aérienne du site de Bouzaréah, avec la délimitation des trois îlots choisis et les toitures repassées	191

Figure 5.73	Le rapport entre la surface des toitures repassées et la surface non bâtie, pour l'échantillon 1/10 de la vue aérienne de Bouzaréah.	192
Figure 5.74	Schématisation de la phase calcul de la densité du plan pour la station de Bouzaréah.	193
Figure 5.75	Vue sur le site de Bouzaréah.	194
Figure 5.76	Illustration de la présence de végétation au niveau de Bouzaréah.	195
Figure 5.77	Photo d'une rue au niveau de Bouzaréah.	195
Figure 5.78	Variations de la moyenne annuelle - Station Alger Dar El Beida, entre 1990-2000.	196
Figure 5.79	Variations de la moyenne annuelle - Station Alger Port, entre 1991-1998.	197
Figure 5.80	Variations de la moyenne annuelle - Station Bouzaréah, entre 1989-1998.	198
Figure 5.81	Variations de la moyenne annuelle entre les Stations d'Alger Dar El Beida, Alger port et Bouzaréah.	200
Figure.5.82	La relation entre la densité et la température moyenne pour les les stations de Dar El Beida, Alger port et Bouzaréah.	204

1.1 Introduction et Problématique

Le défi majeur de l'urbanisme pour les prochaines décennies, est de trouver un compromis entre un développement inévitable des villes et un environnement urbain de grande qualité. En effet, le débat autour des graves problèmes environnementaux soulevés à l'échelle mondiale (changement climatique négatif, effet de serre, pollution, etc.) met en avant la responsabilité des villes dans cette situation et le rôle déterminant que peut jouer la conception urbaine pour réaliser un développement durable ¹.

L'urbanisme est en mesure de contribuer à améliorer la qualité environnementale dans les villes et à un niveau plus global, à travers la définition de nouvelles bases de conception qui établissent le lien avec le milieu naturel ². Dans ce sens le concept d'un urbanisme qui prenne en compte le climat semble être une alternative prometteuse pour garantir une durabilité, puisque le climat est une des composantes les plus importantes du milieu naturel en matière de conception architecturale.

Par ailleurs, le changement climatique apparaît comme un des problèmes les plus inquiétants que connaît l'environnement de notre planète. Ce dernier est défini comme étant le changement du temps moyen observé dans une région donnée, il comprend tout les éléments que nous associons habituellement au temps, à savoir la température, les caractéristiques des vents et les précipitations ³. Lorsque nous parlons de changement climatique à l'échelle de la planète, nous faisons référence aux modifications que connaît l'ensemble du climat de la terre. A long terme, la rapidité et l'ampleur de ces changements peuvent avoir des nombreuses conséquences sur l'environnement naturel.

¹ **F. Ali TOUDERT**, « Méthodologie d'intégration de la dimension climatique en urbanisme », **IN** *Les cahiers de L' EPAU*, N° 9/10, Alger, 2001, p. 108.

² **Idem.**

³ **ADEME**, Les changements climatiques, [Enligne] http://www.ademe.fr/changements_climatiques. (Page consultée le 06.01.2006)

De nombreuses données démontrent que le climat mondial s'est réchauffé au cours des 150 dernières années. La hausse de température n'a pas été constante ; des cycles de réchauffement et de refroidissement se sont succédés à des intervalles de plusieurs décennies. Néanmoins, la tendance à long terme est au réchauffement planétaire net. Par suite de ce réchauffement, les glaciers alpins diminuent, le niveau de la mer augmente et les zones climatiques bougent.

- Ø Les années 1980 et 1990 sont les décennies les plus chaudes jamais enregistrées ;
- Ø Les 10 années les plus chaudes consignées dans les annales météo ont toutes eu lieu au cours des 15 dernières années ;
- Ø Depuis les 600 dernières années, c'est au xx^e siècle que le climat a été le plus chaud ⁵

L'Algérie, qui se caractérise au nord par un climat typiquement méditerranéen, avec des étés chauds et secs, des hivers doux et humides (400 mm à 1 000 mm de pluie par an), ainsi que des températures moyennes de l'ordre de 25 °c en août et 12 °c en janvier pour la ville d'Alger et variant en fonction de l'altitude. Sur les Hauts Plateaux et dans l'Atlas saharien, par des précipitations peu abondantes (200 mm à 400 mm par an).

Et enfin, par des précipitations inférieures à 130 mm par an, et une amplitude thermique très importante (de 49 °c le jour à moins de 10 °c la nuit) en région Saharienne ⁶, s'inscrit (l'Algérie) parfaitement dans ce processus de changement du climat et plus précisément d'augmentation de la température, vu qu'elle a enregistré ces dernières années des températures inhabituelles et très élevées sur la plupart des régions du territoire national.

⁵ ADEME, [Enligne] http://www.ademe.fr/changements_climatiques, (Page consultée le 06.01.2006)

⁶ Rubrique géographie, "Algérie: milieu naturel, climat", IN *Encyclopédie Encarta* sur CD-ROM, Paris, Encarta, 2003.

En effet, en 1987, l'Algérie a enregistré une élévation de la température de l'ordre de 1° à 2°C sur l'ensemble de son territoire, les moyennes de températures ont atteint des valeurs jamais enregistrées auparavant, de 35°C à 39°C pour la ville d'Alger, 36°C à 38°C pour la ville de Sétif, et de 45.5°C à 49°C pour la ville de Hassi Messaoud ⁷, tandis que pour la ville d'Alger et pour la période qui s'étale de 1940 à 2003, les moyennes de Juillet et Août sont les plus élevées, des valeurs de 30.7°C, 31.6°C ont été enregistrées en été.

Cependant, en hiver les mois de janvier et février sont les plus frais avec des valeurs respectivement de 5.9 et 6.1 °C. Durant cette même période 1940-2003, l'année 2003 est la plus chaude à Alger avec une moyenne de 19.5°C (anomalie de + 2.1 °C), suivie de l'année 1947 avec 19.0 °C (anomalie = +1.6°C). Les anomalies négatives significatives sont produites en 1956, 1972 et 1984 avec -0.9,-0.8 et -0.6°C ⁸.

Par ailleurs, les relevés de température au niveau des différentes stations météorologiques qui existent à Alger, font apparaître une différence réelle des valeurs moyennes de cette donnée du climat d'une station à une autre, et d'une saison à l'autre. De Bouzaréah à Alger Dar El Beida, en passant par Alger port, les températures enregistrent à travers plusieurs années des fluctuations et des écarts annuels de température pouvant atteindre les 2.04°C entre le site de Bouzaréah et Alger port.

Nous observons que ce phénomène lié à un système de réchauffement planétaire est, ou pourrait être accentué probablement par:

- Une croissance urbaine de la ville d'Alger à la fois rapide, qui n'intègre pas une démarche de dimension climatique dans son développement continu ;
- Absence d'étude faisant intervenir la particularité du climat de la ville et l'impact de la croissance urbaine sur les éléments climatiques, dans la gestion de l'expansion physique de la ville ;

⁷ **L. Bouchebaba et L. Tioua**, *Etude climatique de la zone côtière et de la zone des hauts plateaux*, Centre universitaire Bejaia, Juin 2004.

⁸ **D. Boucherf**, *Aperçu Climatologique de la Région d'Alger*, ONM Alger, 2003, p. 9.

- Un rapport entre espace bâti et espace non bâti variant entre l'intérieur et la périphérie de la ville d'Alger, et qui s'est vu de plus en plus important à travers les différentes périodes d'urbanisation de la ville d'Alger ;
- Une géométrie du bâti favorisant la réflexion du rayonnement, et/ ou diminuant l'évaporation ;
- La pollution de l'air qui agit sur la température ;
- La rareté de la végétation surtout à l'intérieur de la ville.

Tout ceci nous amène à parler du phénomène **d'îlot de chaleur urbain (ICU)**, qui se définit comme étant, la différence de température de l'air entre la ville et ses alentours. En effet cette dernière est plus élevée à l'intérieur des villes (les zones urbaines) qu'aux alentours (zones suburbaines et zones rurales) avec une moyenne de 0.5 à 0.8°C de différence (voir **Fig.1.1**)⁹.

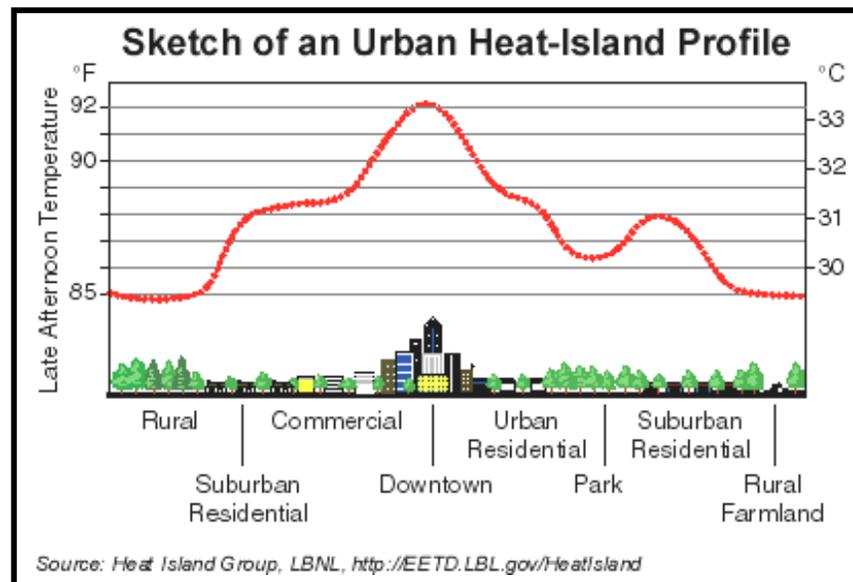


Fig.1.1 Coupe profile d'un îlot de chaleur urbain. Source : heat island Group, 2002

⁹ Atmospheric Chemistry department, [Enligne] <http://www.atmosphere.mpg.de>, (Page consultée le 15.01.2005)

Ce phénomène est dans la plupart des cas accentué par la croissance urbaine, qui est un élément *modificateur potentiel des conditions climatiques d'une région donnée* et ce, par l'extension des immeubles d'habitations, l'accroissement notable du nombre de voitures, le manque de végétation, l'imperméabilisation des espaces...Des villes comme New York, Chicago, Vancouver, Hong Kong ou encore Genève qui ne cessent de s'accroître souffrent déjà depuis quelques années de ce phénomène climatique dont les répercussions sur le climat des villes apparaissent de façon continue.

Donc, est-ce qu'il y a une relation entre les éléments de croissance urbaine et les conditions climatiques d'une zone donnée ? Est-ce qu'il y a une relation entre la géométrie urbaine et les facteurs climatiques ?

Est-ce la différence de température entre les zones urbaines de la ville et ses alentours (zones suburbaines et zones rurales) est liée à la différence dans l'occupation des sols ?

Et plus particulièrement ; est-ce que la densité du plan bâti influence les variations de température ? Et de quelle manière ?

Dans notre travail, nous nous intéresserons particulièrement à la relation entre la température à l'intérieur mais aussi aux alentours de la ville d'Alger et la densité du plan bâti de cette dernière à travers une période donnée. Dans notre cas, on entend par densité du plan bâti : le pourcentage d'occupation au sol au niveau de la ville d'Alger à travers les différents sites choisis pour le calcul de la densité moyenne une analyse quantitative de sa croissance urbaine, en appréciant à chaque fois le rapport entre le bâti et la non bâti.

En effet, la densité urbaine se définit par rapport à deux éléments :

Densité ; caractère de ce qui présente une certaine épaisseur ou une certaine compacité.

Urbain(e); propre à la ville ou aux villes, ou assuré par la ville¹⁰.

¹⁰ « Rubrique dictionnaire », **IN** *Encyclopédie Encarta* sur CD-ROM, Paris, Encarta, 2003.

Cependant, ce que nous proposons de traiter ne fait intervenir que la dimension architecturale ou géométrique de la densité. Des études menées sur le climat urbain ont révélé que l'apparition de l'îlot de chaleur urbain dépend principalement de la densité urbaine¹¹ et que la chaleur est stockée dans les bâtiments, ce qui contribue à l'élévation de la température en milieu urbain¹².

Aussi, Aida (1982) affirme que plus l'emprise au sol est élevée plus grande est la quantité de radiation réfléchie¹³, et ce, en examinant la relation entre radiation solaire globale, directe et diffuse et sa réflexion sur des modèles expérimentaux représentant une structure urbaine. La densité du plan représentant l'emprise au sol, est donnée par le rapport entre la **surface toiture/ surface totale** ; paramètre très important dans la définition de la quantité des surfaces principales, réceptives du rayonnement solaire, tels que les toits, murs et sol, qui conditionne de manière considérable le degré d'absorption et de réflexion de la radiation solaire globale pour une entité urbaine. Telle est la donnée principale qui sera traitée dans le calcul de la densité moyenne au niveau des sites de Bouzaréah, d'Alger Dar El Beida et d'Alger port.

Enfin, le concept d'un urbanisme intégrant la dimension climatique s'intègre parfaitement avec l'esprit d'un développement urbain durable réussi, dont les principales caractéristiques sont:

- § Une structure impliquant une mixité fonctionnelle et sociale ;
- § Une mobilité contrôlée et réduite, une démocratie participative ;
- § Une gestion économique ;
- § Une gestion écosystémique ;
- § Une ville patrimoniale et recyclable, une ville adaptable et souple et finalement une ville plus compacte¹⁴.

¹¹ Givoni, B., « Urban design in different climates », WCA-10, WMO/TD, N° 346, W.M.O, 1989.

¹² Oke, T.R., "The urban energy balance Progress" *IN physical geography*, Vol. 12, pp 471-508, 1988.

¹³ Aida, M., "Urban albedo as a function of the urban structure-A model experiment", *IN Boundary layer meteorology*, Vol. 23, 1982, p 405.

¹⁴ Rusen KELES, *Coopération internationale pour un développement durable urbain en région méditerranéenne*, Barcelone, Juin 2001, p 6.

1.2 Objectifs spécifiques du travail

Le travail a été organisé autour des objectifs suivants : récolter une documentation aussi complète que possible sur les deux axes principaux du sujet de recherche: les changements climatiques et l'îlot de chaleur urbain, ainsi que la réalisation d'une étude comparative, tant sur le plan des variations de températures qu'à travers le calcul des densités moyennes des trois sites sélectionnés au niveau de la ville d'Alger, dans le but de mettre en évidence la relation entre un paramètre climatique ; la température et un facteur urbain matérialisé par la densité du plan bâti.

1.3 Plan du mémoire et méthodologie

Le travail de recherche s'articule autour de deux parties principales :

- La première partie consacrée à une synthèse bibliographique des deux axes principaux du sujet de la recherche, sous forme de deux chapitres. Après avoir traité les causes des changements climatiques, le fonctionnement de l'atmosphère sur le plan radiatif, l'impact de l'urbanisation sur l'évolution du climat, ainsi que les changements climatiques en Algérie. Il est proposé de s'attarder sur un élément du climat urbain, qui est l'îlot de chaleur urbain, à travers la présentation des différentes définitions du phénomène, du bilan thermique en milieu urbain, des caractéristiques de la géométrie urbaine (densité du plan, profil de la rue, orientation par rapport au soleil, géométrie du bâtiment), ainsi qu'un bref résumé des études menées dans le sens du phénomène d'ICU et de l'urbanisation.
- La deuxième partie dite investigation, expose principalement le travail de terrain. Cette dernière, regroupe les trois chapitres suivants : méthodologies d'approche de l'ICU, l'étude de cas pour la ville d'Alger, et enfin, la conclusion générale et les recommandations. Le premier englobe une synthèse de méthodes d'approche de l'ICU pour les villes de Vancouver, Atlanta, Genève et Providence aux Etats Unies d'Amérique. Le second représente l'investigation proprement dite, de la présentation de la ville d'Alger et son climat, jusqu'à l'interprétation des données de température au moyen de graphes et courbes de températures et de calcul de la densité moyenne des trois sites sélectionnés grâce aux vues aériennes des sites choisis pour la ville d'Alger, ainsi que les résultats obtenus. Le troisième et dernier chapitre, contient la conclusion générale du travail de recherche, ainsi que des recommandations proposées sur deux niveaux : avant et après la conception urbaine.

2.1 Introduction

Le climat de la Terre est-il en train de changer ? Sans équivoque, la réponse est oui. Une série d'observations tend à confirmer cette conclusion et permet de mieux comprendre la rapidité de ces changements. C'est également sur les données tirées de ces observations qu'on se fonde pour tenter de répondre à une question encore plus difficile : «Pourquoi le climat change-t-il ?». Cette question est traitée dans les sections suivantes, ainsi que les questions liées directement aux facteurs influençant le climat urbain des villes.

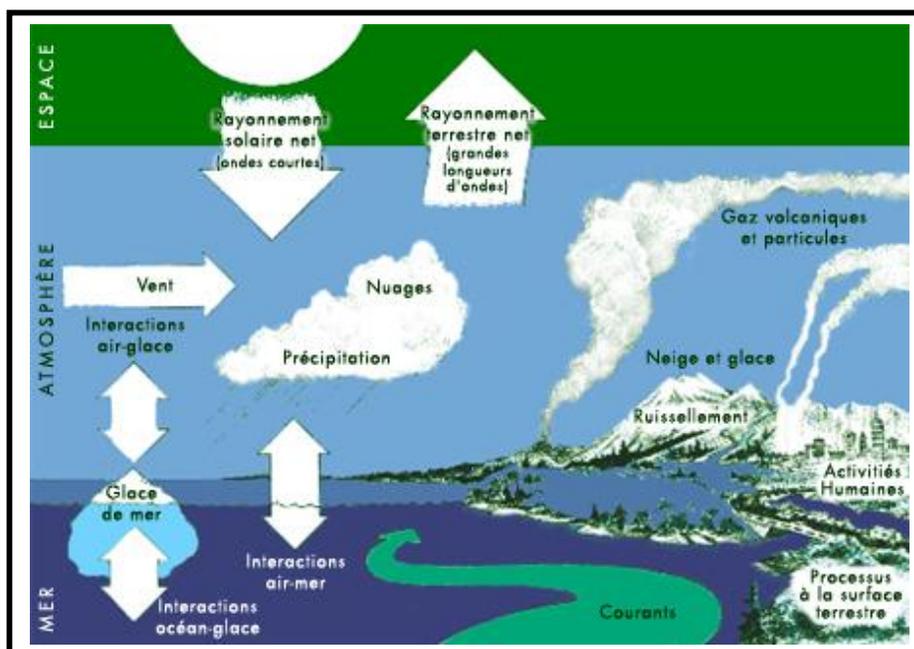


Fig.2.1 Les interactions entre terre, atmosphère et espace. Source : Ecosystème 2005.

Les changements climatiques ont été définis dans un rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat ¹ comme étant une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité, persistant pendant une période prolongée (généralement des décennies ou plus). Ces derniers peuvent être dus à des processus internes naturels ou à des forçages externes, ou encore à la persistance de variations anthropiques de la composition de l'atmosphère ou de l'utilisation des sols.

¹ **GIÉC**, *Bilan 2001 des changements climatiques : Les éléments scientifiques*, Rapport de travail I du Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat, Suisse. [Enligne] <http://www.ipcc.ch>. (Page consultée le 25 Mars 2004)

Mais quelles sont les causes de ces changements climatiques ?

Il est défini clairement que la terre et spécialement sa surface absorbent le rayonnement solaire. Cette énergie est ensuite redistribuée par les circulations atmosphériques et océaniques et renvoyée dans l'espace à de plus grandes longueurs d'onde (infrarouge) (Fig.2.1). En moyenne annuelle et pour la terre dans son ensemble, le rayonnement solaire incident est plus ou moins égal au rayonnement émis par le soleil vers la Terre et le rayonnement émis par le globe terrestre². C'est pour cela, que tout facteur qui modifie le rayonnement solaire ou celui qui est renvoyé dans l'espace, ou encore qui modifie la redistribution de l'énergie dans l'atmosphère ou entre l'atmosphère, les terres émergées et les océans³, peut influencer sur le climat.

Dans ce chapitre, il sera donc question de donner des notions élémentaires sur le réchauffement de la planète, ses causes principales, leurs impacts sur l'environnement, notamment l'îlot de chaleur urbain conséquence directe du changement climatique et phénomène principal du climat urbain. Enfin, les changements climatiques en Algérie, leur état actuel et leur possible évolution future.

2.2 Le réchauffement de la planète

Le développement des activités humaines accroît l'effet de serre, avec pour conséquence une augmentation de la température à la surface du globe et un risque d'importants changements climatiques sur la planète. Ce réchauffement de la planète, n'est autre que le fruit de ce que l'homme a réalisé comme développement pendant plusieurs années, au détriment du bien-être de son environnement, et pour mieux saisir le phénomène, nous allons nous intéresser de plus près au cheminement qui a mené à l'augmentation de la température de la terre. Si la composition de l'atmosphère ne variait pas au cours du temps, notre planète émettrait chaque jour exactement l'énergie qu'elle reçoit et notre système atmosphérique serait alors à l'équilibre⁴. (L'équilibre entre énergie reçue et énergie émise est l'état stable de tout corps isolé dans l'espace).

² Jean-Marc JANCOVICI, *Le réchauffement climatique : réponse à quelques questions élémentaires*, x-Environnement. [En ligne] <http://www.x-environnement.org>. (Page consultée le 4 Novembre 2004)

³ IPCC, *Scénarios d'émissions*, Rapport spécial IPCC, 2000.

⁴ Jean-Marc JANCOVICI, *Le réchauffement climatique : réponse à quelques questions élémentaires*, x-Environnement, [En ligne] <http://www.x-environnement.org>. (Page consultée le 4 Novembre 2004)

Par suite de nombreuses modifications, notamment du fait de l'homme, de la composition de l'atmosphère, son opacité aux infrarouges (son effet de serre) augmente légèrement au cours du temps. Un peu plus d'infrarouges restent donc prisonniers de l'atmosphère chaque jour, contribuant à réchauffer globalement l'atmosphère et la planète.

En effet, si l'opacité aux infrarouges de l'atmosphère augmente, le nouvel équilibre radiatif ne s'atteint que pour une température supérieure⁵, puisqu'il faut rayonner plus d'infrarouges (donc être plus chaud) pour que la partie qui arrive à quitter l'atmosphère équilibre toujours le rayonnement incident qui, reste le même. Ce qui veut dire que la température à la surface de la terre augmente de façon très rapide, depuis le début du XXe siècle, elle s'est accrue de 0,6°C⁶ et pourrait prendre de 1,4 à 5,8°C⁷ supplémentaires au XXIe siècle. Cette hausse serait alors beaucoup plus importante que toutes celles survenues au cours des des10 000 dernières années.

En d'autres termes, ce qui c'est passé au courant des siècles précédents va augmenter d'intensité pendant les années avenir, entraînant ainsi de multiples réactions sur le plan de l'environnement. Maintenant, il s'agit de savoir si ce réchauffement a bel et bien commencé et quels sont les éléments qui en sont l'origine ?

2.3 Ce réchauffement a-t-il commencé ?

La réponse est oui. Effectivement, les températures relevées précisément depuis 1860 (date du début de la période d'instrumentation) font apparaître un réchauffement de la température moyenne de l'air au niveau du sol de 0,5 °C environ depuis le début du siècle⁸ et les records de chaleur sont tous concentrés dans les années récentes (Fig.2.2).

⁵ **GIEC**, *Bilan 2001 des changements climatiques : Les éléments scientifiques*, Rapport de travail I du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, Suisse. [Enligne] <http://www.ipcc.ch>. (Page consultée le 25 Mars 2004)

⁶ **ADEME**, [Enligne] <http://www.ademe.fr>. (Page consultée le 15 Septembre 2005)

⁷ **Djamel BOUCHERF**, *Les changements climatiques en Algérie*, ONM Alger, Septembre 2004.

⁸ **Jean-Marc JANCOVICI**, *Le réchauffement climatique : réponse à quelques questions élémentaires*, x-Environnement. [Enligne] <http://www.x-environnement.org>. (Page consultée le 4 Novembre 2004)

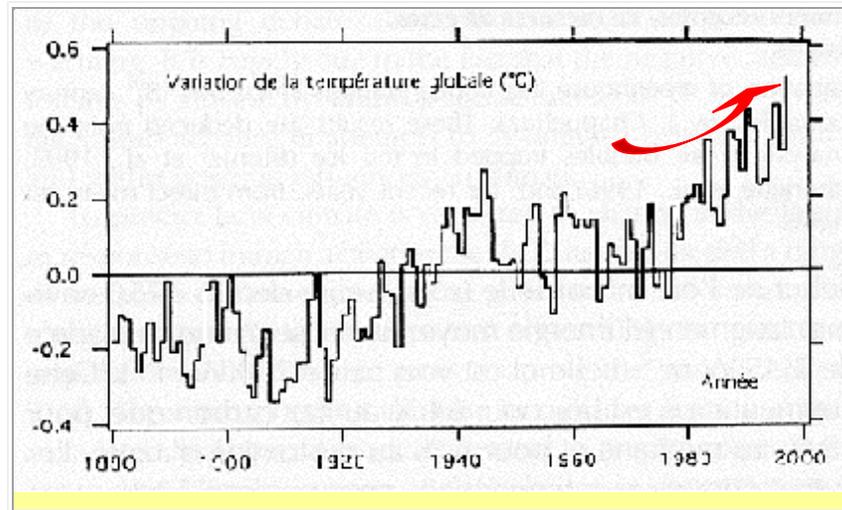


Fig. 2.2 Evolution des températures moyennes de l'air au niveau du sol depuis 1880.

Source : GIEC 2001.

En effet, de nombreuses données démontrent que le climat mondial s'est réchauffé au cours des 150 dernières années, cependant la hausse de température n'a pas été constante. Des cycles de réchauffement et de refroidissement se sont succédés à des intervalles de plusieurs décennies⁹ :

- Ø Les années 1980 et 1990 sont les décennies les plus chaudes jamais enregistrées
- Ø Les 10 années les plus chaudes consignées dans les annales météo ont toutes eu lieu au cours des 15 dernières années
- Ø Depuis les 600 dernières années, c'est au Xxe siècle que le climat a été le plus chaud.

Par ailleurs, l'année 1997 a battu le record précédemment détenu par l'année 1995 et sera battue par 1998¹⁰. En moyenne globale, la température de surface a augmenté de 0,3 à 0,6 °C environ depuis la fin du XIX^e siècle. Néanmoins, la tendance à long terme est au réchauffement global net. Par suite de ce réchauffement, les glaciers alpins diminuent, le niveau de la mer augment et les zones climatiques bougent.

⁹ *Climate Change 2001 - The Scientific Basis*, Contribution du groupe de travail 1 au troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, IPCC 2001, p 881.

¹⁰ J. JOUZEL et C.Laurius, *Évolution du climat : du passé récent vers le futur*, la jaune et la rouge de 2000 : le réchauffement climatique, [Enligne] [http : www.x-environnement.org](http://www.x-environnement.org). (Page consultée le 1 Janvier 2005)

Tout ceci se répercute sur les climats régionaux et locaux des villes qui voient la naissance du climat urbain engendré essentiellement par l'îlot de chaleur urbain, les pluies acides, les vents urbains qui sont liés à la fois à un système global de changement climatique, mais aussi à des facteurs dont l'échelle est plus réduite, à savoir : l'expansion des villes, l'étalement au sol, l'absence ou la rareté de la végétation, l'air pollué qui agit sur la température...

Une étude menée sur la ville de Toronto par le SMC (Service météorologique du Canada, Environnement Canada) stipule que le réchauffement de Toronto a été enregistré dès 1935 par Middleton et Millar en 1936. En 1998, un autre scientifique (Koren) reprit l'expérience de Middleton et Millar, en relevant des différences significatives¹¹ non seulement dans l'importance des changements dus à l'urbanisation, mais aussi dans leurs caractéristiques. Par exemple, l'effet de refroidissement du lac en été se limitait à moins de 3 km du rivage, alors qu'en 1935, il s'étendait à près de 9 km. Qui plus est, les vallées et les dépressions urbaines, qui faisaient tomber la température d'hiver en 1935, n'agissent plus désormais en qualité de réservoirs d'air froid.

Cette même étude a révélée que le degré de réchauffement actuel à Toronto est conforme au réchauffement planétaire prévu et s'inscrit dans ses paramètres. Plus précisément, on s'attend à ce que les changements les plus significatifs se manifestent dans les températures minimales ou par un temps « moins froid »¹². Par ailleurs, il apparaît en réalité que les modifications des températures minimales observées constituent un indicateur important pour mieux comprendre l'effet de réchauffement combiné de la ville de Toronto et les influences futures des changements climatiques. Le GIEC (Groupe International d'Experts sur le Climat ; sigle anglais : IPCC : International Panel on Climate Change) a été mis en place conjointement par l'Organisation météorologique mondiale et le Programme des Nations Unies. Il s'agit d'un ensemble de scientifiques qui publie des ouvrages sur l'état de l'art de la recherche en Climatologie et qui est chargé de préparer les documents mis à la disposition des délégations nationales lors des sommets tels que celui de Kyoto.

¹¹ Toronto : laboratoire des changements climatiques, **SMC 2002**, [Enligne] <http://www.msc.ec.gc.ca/saib/atmosphere/ccl>, (Page consultée le 18.04.2006)

¹² Zhang, X.; L.A. Vincent; W.D. Hogg et A. Niitsoo, *Temperature and Precipitation Trends in Canada during the 20th Century. Atmospheric Ocean*, Vol. 38 (3), 2000, pp. 395-429.

L'hypothèse la plus largement admise pour expliquer ce réchauffement est de l'imputer aux émissions humaines¹³, notamment au regard de ce que l'on sait des variations passées. La seule zone d'incertitude vient de ce que l'on ne sait pas apprécier avec précision, à savoir, la variabilité climatique naturelle sur des périodes - un siècle - très courtes à l'échelle géologique.

2.4 Comment "fonctionne" l'atmosphère sur le plan radiatif ?

Notre planète reçoit, en moyenne, 1367 W/m^2 de rayonnement incident du soleil¹⁴, il s'agit d'une moyenne qui varie autour de $\pm 2\%$ compte tenu des fluctuations des émissions du soleil lui-même, aussi bien autour de $\pm 3\%$ en raison des variations saisonnières de distance et de latitude du soleil¹⁵.

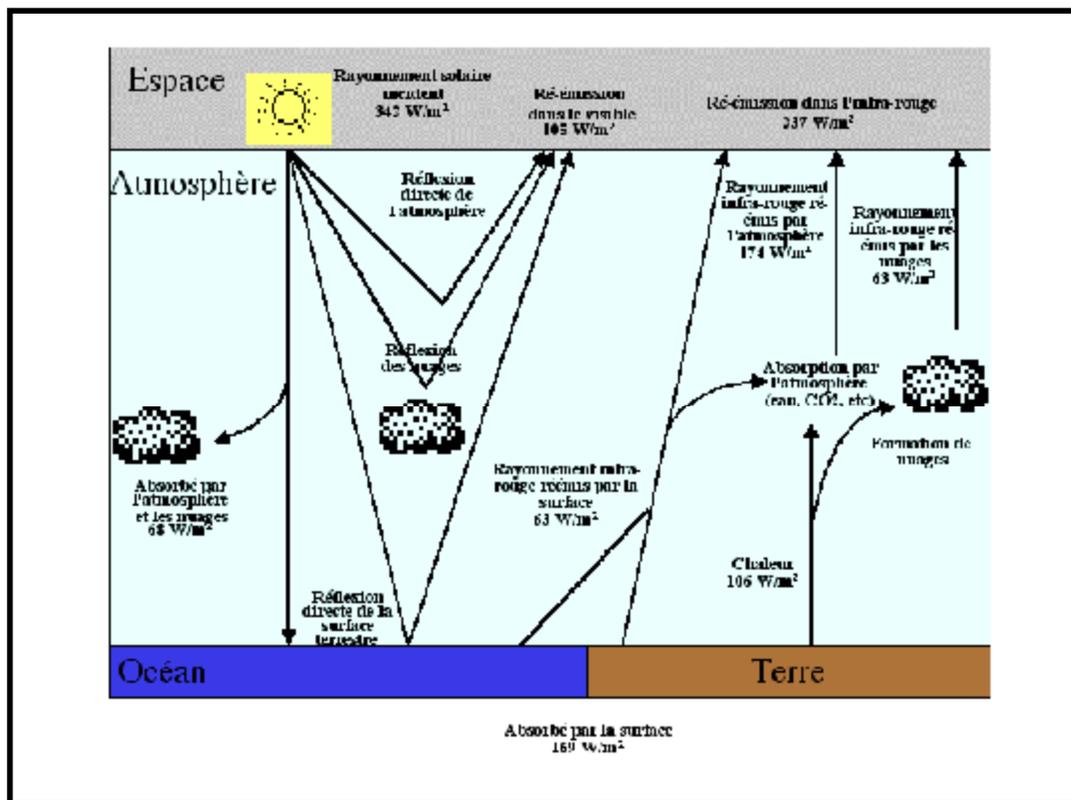


Fig. 2.3 Bilan radiatif de l'atmosphère. Source : x-environnement 2000.

¹³ GIEC, *Bilan 2001 des changements climatiques : Les éléments scientifiques*, Rapport de travail I du Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat, Suisse. [Enligne] <http://www.ipcc.ch>. (Page consultée le 25 Mars 2004)

¹⁴ WMO, *Rapport sur le climat mondial*, 2004, [Enligne] <http://www.wmo.com>. (Page consultée le 20 Septembre 2005)

¹⁵ SQUARE ONE Research, [Enligne] <http://www.squ1.com>. (Page consultée le 2 Octobre 2005)

2.4.1 Le rayonnement solaire globale

Il s'agit du rayonnement incident émis par le soleil sur une surface donnée¹⁶, le rayonnement global au sol est la somme des rayonnements direct et diffus. Dans le meilleur des cas, il est de l'ordre de 1000 watts par m²¹⁷.

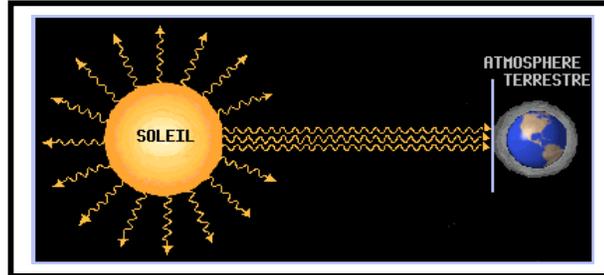


Fig.2.4 Le rayonnement solaire. Source : Ifremer 2001.

Le rayonnement solaire n'est pas distribué de manière uniforme à la surface de la Terre, c'est pourquoi les deux fines enveloppes fluides qui recouvrent notre planète (l'océan et l'atmosphère) se mettent en mouvement¹⁸. C'est ainsi que le rayonnement solaire global est soit **réfléchi**, **diffusé** ou **absorbé**. On appelle **rayonnement solaire direct** celui qui arrive au sol sans avoir subi de diffusion¹⁹. Dans le meilleur des cas, Le rayonnement global au sol est de l'ordre de 1000 watts par m²²⁰ ce dernier, représente la somme des rayonnements **direct** et **diffus**.

$$R_{\text{GLOBAL}} = R_{\text{DIRECT}} + R_{\text{DIFFUS}} \dots\dots\dots^{21}$$

2.4.2 Le rayonnement solaire direct

Le rayonnement direct représente le pourcentage de rayons solaires qui parviennent à atteindre la surface sans être ni réfléchi par les différentes couches composants l'atmosphère, ni absorbé par les couches des surfaces terrestres (Fig 2.5).

¹⁶ Outils solaires, [Enligne] [http : www.outilssolaires.com](http://www.outilssolaires.com), (Page consultée le 15.11.2005)

¹⁷ FAO, 2005, [Enligne] [http :www.fao.com](http://www.fao.com), (Page consultée le 15.11.2005)

¹⁸ P. Bessemoulinet J. Oliiviéri, *Bilan radiatif de la terre*, ENS-Lyon, [Enligne] http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/glossary/A_D/albedo.html, (Page consultée le 20.11.2005)

¹⁹ Idem.

²⁰ SMC, *Service météorologique du Canada, Environnement Canada*, 2005, [Enligne] <http://www.smf.asso.fv/articles.html>, (Page consultée le 10.11.2006)

²¹ Idem.

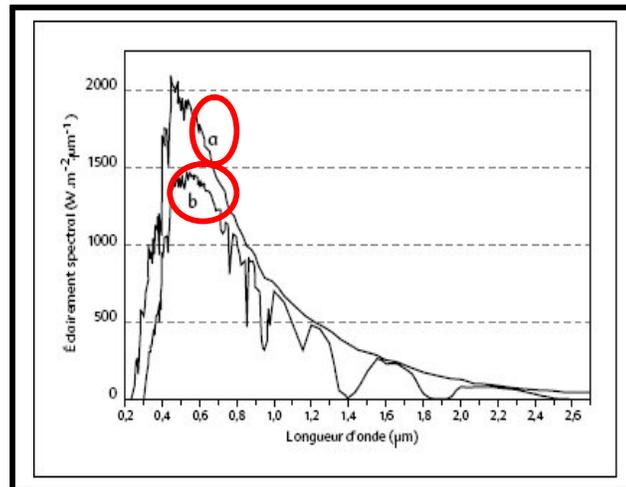


Fig. 2.5. Densité spectrale de l'éclairement énergétique du rayonnement solaire direct.

Source : P. Bessemoulinet J. Oliiviéri 2000.

- § La courbe a. représente le rayonnement solaire hors de l'atmosphère.
- § La courbe b. représente le rayonnement solaire **direct** au sol pour une hauteur du Soleil de 65 degrés et une atmosphère claire standard.

2.4.3 Le rayonnement solaire diffus

Il s'agit du rayonnement solaire renvoyé dans toutes les directions, ce dernier provient des réflexions dans les masses d'air et les nuages²² (Fig.2.6).

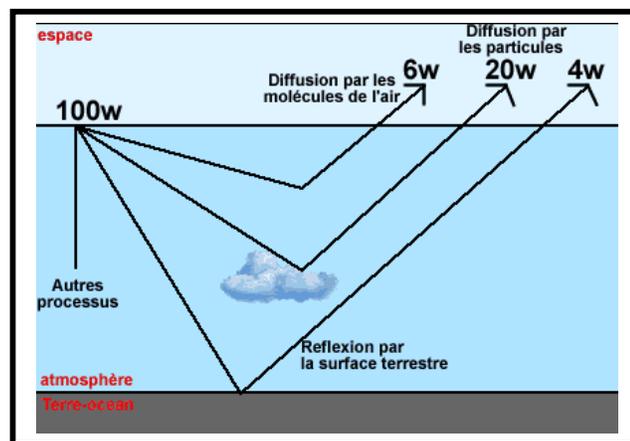


Fig. 2.6 Diffusion du rayonnement solaire. Source : Ens-Lyon 2005.

²² S.V. SZOKOLAY, *Environmental science handbook for architects and builders*, The construction press London, New York, Lancaster; 1979. p. 291

Il représente le rayonnement solaire global à l'exception du rayonnement direct et comprend la plus grande partie du rayonnement diffusé par l'atmosphère ainsi qu'une partie du rayonnement réfléchi par le sol²³.

2.4.4 Le rayonnement solaire réfléchi (Albédo)

Le rayonnement réfléchi traduit la fraction d'énergie reçue par le sol ou un bâtiment, qui est réfléchi. Cette fraction du rayonnement solaire réfléchi par une surface ou un objet, souvent exprimée en pourcentage est appelée Albédo²⁴. L'albédo de la Terre varie principalement en fonction de la nébulosité, de l'enneigement, de l'englacement, de la surface foliaire et des variations du couvert terrestre²⁵. Les surfaces enneigées ont un albédo élevé; l'albédo des sols peut être élevé ou faible; les surfaces couvertes de végétation et les océans ont un faible albédo (Fig.2.7).

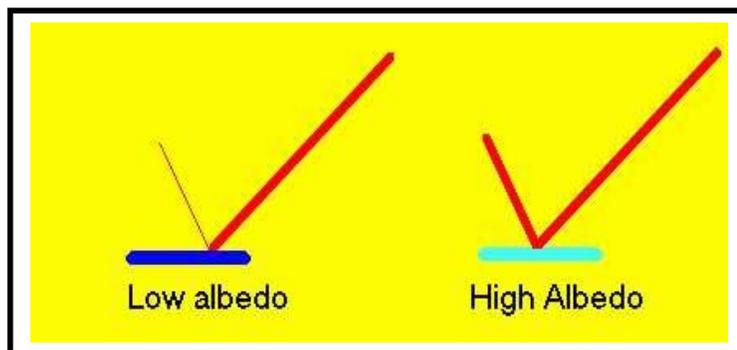


Fig. 2.7. Les surfaces claires ont un Albédo plus élevé que celui des surfaces foncées.

Source : M. Ritter 2006.

2.4.5 Le rayonnement solaire absorbé

Il représente la fraction du rayonnement solaire absorbé par les composants gazeux de l'atmosphère. Cette absorption est dite sélective²⁶, car elle s'opère pour des valeurs de longueur

²³ Outils solaires, [Enligne] <http://www.outilssolaires.com>. (Page consultée le 15.11.2005)

²⁴ P. Bessemoulinet J. Oliviéri, *Rayonnement thermique, Bilan radiatif et effet de serre*, 2000, [Enligne] http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/glossary/A_D/albedo.html. (Page consultée le 10.01.2006)

²⁵ R.T. Watson, I.R. Noble, B. Bolin, N.H.Ravindranath and D. J. Verardo, D. J. Dokken, (eds.), *Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Special Report of the IPCC, IPCC, 2000: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 377 pp.

²⁶ M. Ritter, *The physical environment*, [Enligne] http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/glossary/A_D/albedo.html. (Page consultée le 10.01.2006)

d'onde bien précises. Elle est due essentiellement à la vapeur d'eau, à l'ozone, au dioxyde de carbone et, à un degré moindre, à l'oxygène ²⁷.

Un autre facteur détermine, comment et avec quelle quantité la terre reçoit les rayons solaires, à savoir son inclinaison par rapport au soleil (Fig. 2.8).

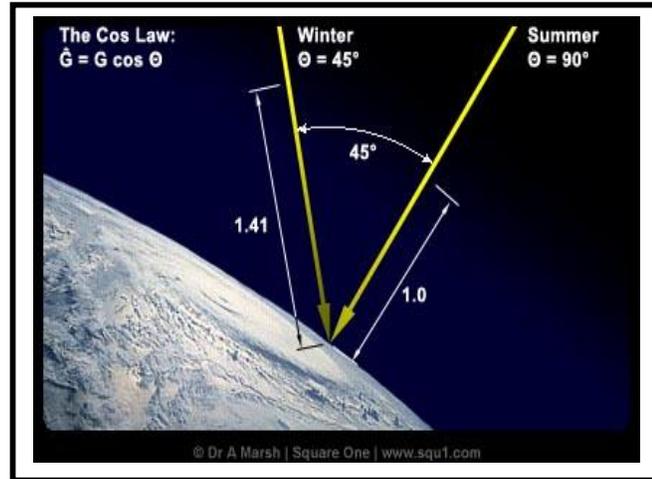


Fig. 2.8. Le parcours de la radiation solaire en hiver et en été, par rapport à l'angle d'inclinaison du soleil. Source : Square One 2005.

2.4.6 L'azimut et l'altitude du soleil

L'**azimut solaire** est l'angle mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre entre le point cardinal Sud ou Nord et la projection sur le plan horizontal local de la droite reliant la terre au soleil ²⁸ (Fig.2.9). L'**altitude solaire** représente la **hauteur angulaire du soleil** ²⁹, et c'est l'angle entre la droite joignant le centre du disque solaire au point d'observation et le plan horizontal passant par le point d'observation.

²⁷ ENS-Lyon, *Bilan radiatif de la terre*, [Enligne]

http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/glossary/A_D/albedo.html. (Page consultée le 13.12.2005)

²⁸ Outils solaires, [Enligne] <http://www.outilssolaires.com>. (Page consultée le 15.11.2005)

²⁹ ENS-Lyon, *Bilan radiatif de la terre*, [Enligne]

http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/glossary/A_D/albedo.html. (Page consultée le 13.12.2005)

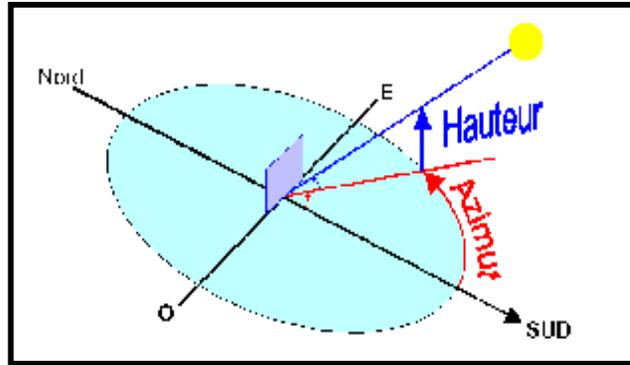


Fig. 2.9 Azimut et hauteur du soleil. Source : Outils solaires 2005.

L'équilibre radiatif décrit précédemment (Fig. 2.10) s'est vu peu à peu perturbé, déstabilisé par un ensemble de phénomènes. Parmi ces phénomènes, apparaît « l'effet de serre » mis en évidence par Fournier en 1827, et confirmé par l'hypothèse suivante, avancé par le Suédois Svante Arrbenius en 1886 : « l'augmentation des rejets de gaz carboniques (CO_2) dans l'atmosphère est susceptible d'entraîner un réchauffement de la terre », premières hypothèses datant de très loin.

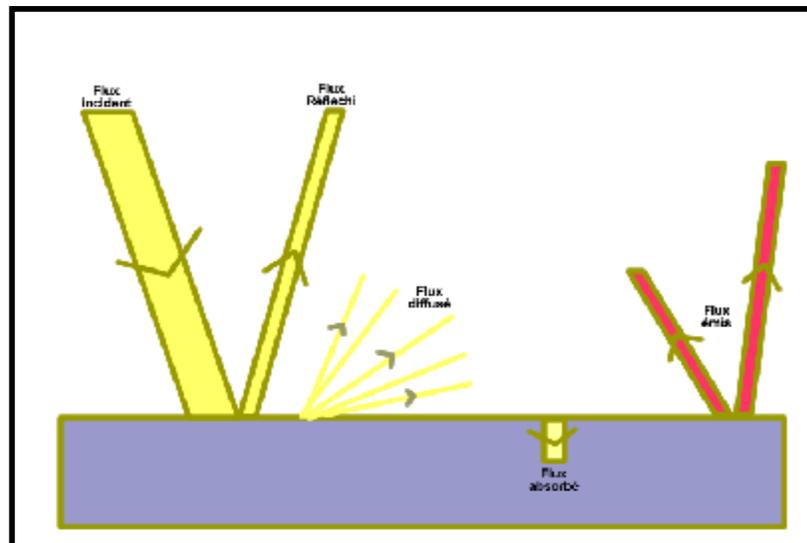


Fig. 2.10. Equilibre radiatif. Source : Ens-Lyon 2005.

Ce n'est qu'en 1972 qu'une mobilisation des spécialistes (les climatologues) a vu le jour, sous forme d'un programme des Nations unies sur l'homme et l'environnement à Stockholm, et ainsi en 1979 à Genève ³⁰, que se tient la première conférence mondiale sur le climat, ainsi, à partir de cette date il a été admis que le réchauffement climatique est directement lié à l'accroissement de l'effet de serre dû à la fois à l'augmentation des rejets de gaz carboniques et à la diminution de la capacité de l'atmosphère à réguler la chaleur émise par la terre.

2.4.7 Quelles sont les diverses émissions qui affectent le bilan radiatif de l'atmosphère ?

Ce qui apparaît en jaune sur la Figure (Fig.2.11), représente l'absorption de la partie non réfléchie du rayonnement solaire par l'atmosphère et la surface terrestre, ce qui provoque le réchauffement du système climatique. Pour se refroidir, ce dernier doit émettre de l'énergie vers l'espace sous forme de rayonnement. Cette émission provient de la surface elle-même, mais aussi des nuages et de différentes molécules atmosphériques. Ces corps étant à des températures entre 220 et 300K³¹, cette émission s'effectue dans l'infrarouge, représenté en rouge.

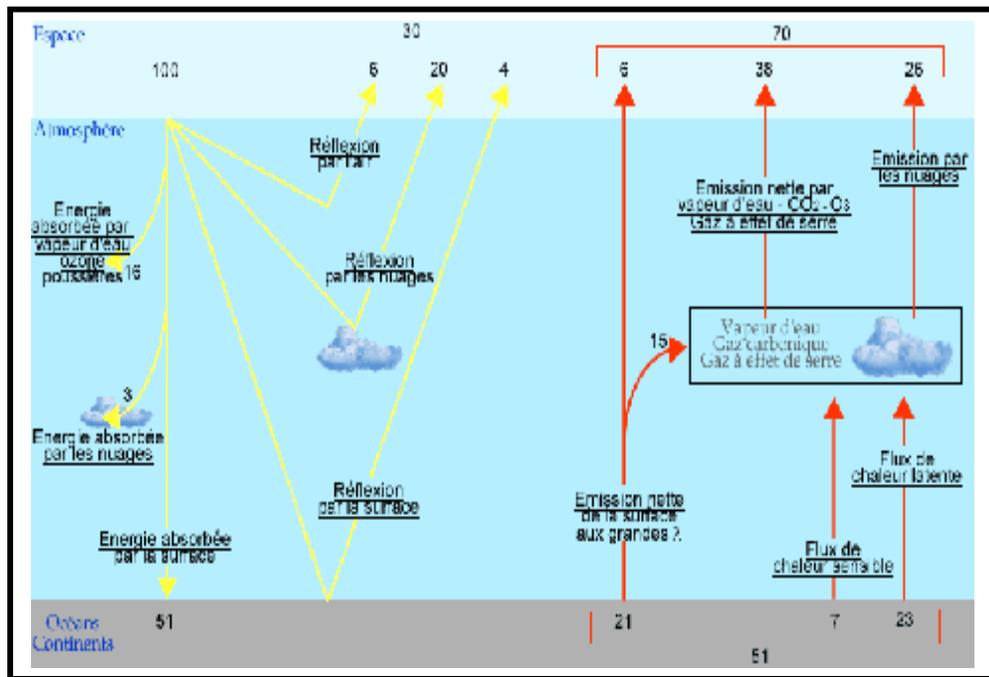


Fig. 2.11 Les transformations de l'énergie solaire incidente et les différents processus du bilan radiatif terrestre. Source : ENS-Lyon 2005.

³⁰ Idem.

³¹ ENS-Lyon, *Bilan radiatif de la terre*, [Enligne] http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/glossary/A_D/albedo.html, (Page consultée le 13.12.2005)

Les composants émis par l'homme qui modifient le comportement de l'atmosphère vis-à-vis du rayonnement sont :

§ Des gaz appelés "**gaz à effet de serre**", principalement le gaz carbonique (CO_2), le méthane (CH_4), le protoxyde d'azote (N_2O), et les composés halogénés du carbone, vaste famille de molécules d'hydrocarbures où l'hydrogène est totalement ou partiellement substitué par des halogènes (Fluor, Chlore, Brome...) ³².

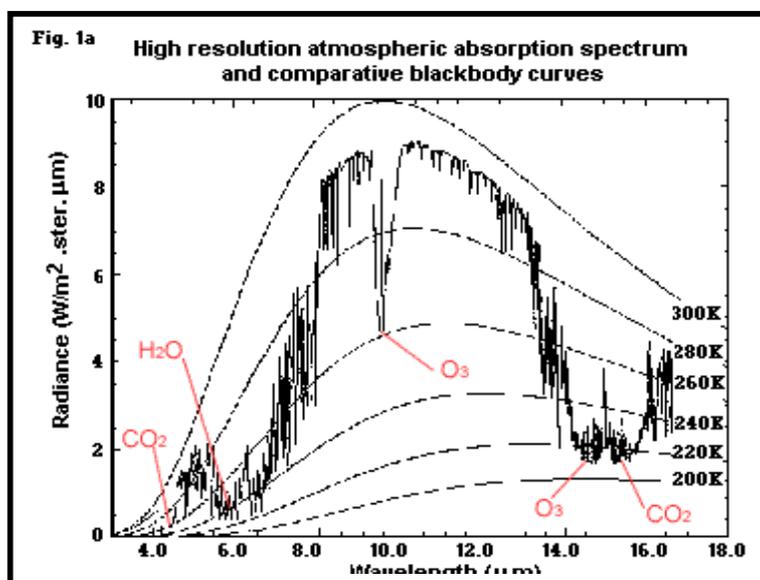


Fig. 2.12 Absorption du rayonnement infrarouge émis par la Terre.

Source : ENS-Lyon 2005.

Ces gaz contribuent au réchauffement car ils présentent des raies d'absorption dans l'infrarouge (Fig.2.12) ; on dit que ces gaz induisent un "forçage radiatif" positif, et donc une tendance au réchauffement de la terre et de la basse atmosphère.

§ Des **précurseurs d'aérosols** (un aérosol est une suspension dans l'air de poussières ou de gouttelettes ; dans l'atmosphère il s'agit essentiellement de nuages) issus essentiellement de la pollution "locale" (SO_2 et poussières) et qui ont un effet "refroidissant" ³³ car ils engendrent des aérosols ou des nuages qui augmentent le pouvoir réfléchissant de l'atmosphère ; on dit que ces aérosols induisent un forçage radiatif négatif.

³² WMO, *Les villes accentuent l'évolution du climat*, OMM 2001, [Enligne] <http://www.wmo.ch/web/Press/citiesfr.html>, (Page consultée le 15.02.2006)

³³ Jean-Marc JANCOVICI, *Le réchauffement climatique : réponse à quelques questions élémentaires*, x-Environnement. [Enligne] <http://www.x-environnement.org>, (Page consultée le 4 Novembre 2004)

Par ailleurs, il apparaît clairement que les villes accentuent l'évolution du climat. Le Douzième Congrès météorologique mondial (mai-juin 1995), s'appuyant sur les travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat établi par l'OMM et le Programme des Nations Unies pour l'environnement, a dénoncé la mauvaise utilisation de l'énergie dans les villes³⁴, que ce soit dans le domaine des transports ou de l'architecture urbaine, situation qui contribue dans une large mesure à l'accroissement planétaire des gaz à effet de serre.

En effet, l'énergie que consomment les villes et la pollution qu'elles émettent a des incidences sur l'air que nous respirons et sur la quantité de rayonnement solaire que laisse filtrer l'atmosphère. L'urbanisation galopante a de multiples conséquences. Elle influe notamment sur les réserves d'eau douce, la fréquence des cyclones auxquels sont exposées les villes côtières, la gravité des sécheresses est des facteurs qui restreignent ou tarissent l'approvisionnement en eau des villes. Aussi, la consommation intensive d'énergie dans les zones urbaines favorise les émissions de gaz à effet de serre et, de ce fait, aggrave le risque d'un changement climatique à l'échelle du globe. En outre, et selon le Secrétaire général de l'Organisation météorologique mondiale, les villes sont des sources majeures de pollution atmosphérique, et représentent une lourde menace pour la santé ³⁵.

Lorsqu'une ville est mal conçue et que l'architecture de ses bâtiments est inadaptée, les vents sont souvent aspirés par de gigantesques goulets urbains qui les renforcent et accentuent l'effet de refroidissement. Pour rendre les bâtiments habitables en hiver, d'énormes quantités d'énergie sont consommées avant d'être rejetées à l'extérieur : l'agglomération est donc plus "chaude" que la zone environnante mais, paradoxalement, sans être nécessairement plus "confortable".

³⁴ **M.G.O.P. Obasi**, *Les villes accentuent l'évolution du climat*, WMO 2001, [Enligne]
<http://www.wmo.ch/web/Press/citiesfr.html>, (Page consultée le 15.02.2006)

³⁵ **Idem.**

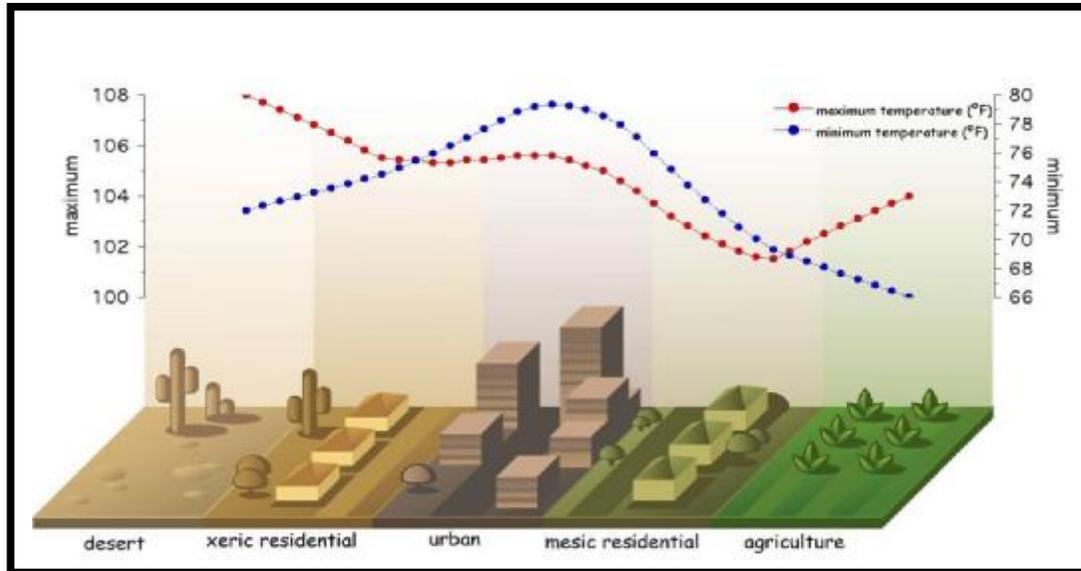


Fig. 2.14. Illustration du phénomène d'îlot de chaleur urbain dans les régions semi-arides.

Source: CAP LTER 2005 (Central Arizona - Phoenix Long-Term Ecological Research).

Dans certaines villes, pendant les mois d'été, le soleil darde ses rayons sur les voitures prises dans les embouteillages et dont le moteur, en état de surchauffe, rejette des vapeurs d'essence ou de gazole dans les grandes artères; de là, elles s'infiltrant dans les rues adjacentes et dans les immeubles. S'élevant au-dessus de la ville fournaise, elles forment une chape de plomb qui aggrave le stress thermique. Aussi, les immeubles en béton inadaptés au climat, qui ont supplanté les arbres et la couverture végétale naturelle du lieu, emprisonnent la chaleur, et le seul moyen de remédier à cela, c'est d'avoir recours aux climatiseurs, qui à leur tour ont tendance à accentuer le stress thermique, rejetant la chaleur à l'extérieur et consommant une grande quantité d'énergie électrique, entraînant ainsi l'apparition du phénomène d'îlot de chaleur urbain (Fig.2.14).

2.4.9 Combien valent les forçages radiatifs relatifs des divers gaz à effet de serre ?

On dispose maintenant d'estimations de l'intensité de nombre des divers types de forçages anthropiques et naturels qui ont influé sur le système climatique planétaire au cours du dernier siècle. Une étude récente sur les effets combinés de tous les changements, anthropiques comme naturels, des aérosols suggère un forçage planétaire négatif net de $-0,19 \text{ W/m}^2$ ³⁶.

³⁶ Takemura et coll., *La Voie verte*^{MC}, Environnement Canada, [Enligne]

http://www.msc.ec.gc.ca/education/scienceofclimatechange/understanding/newsletter/co2_spring2004/images/fig2_f.html, (Page consultée le 14.01.2006)

Cependant, la plupart des facteurs qui y contribuent sont entachés de fortes incertitudes, et d'autres auteurs objectent que leurs effets combinés ne sauraient simplement pas être additionnés.

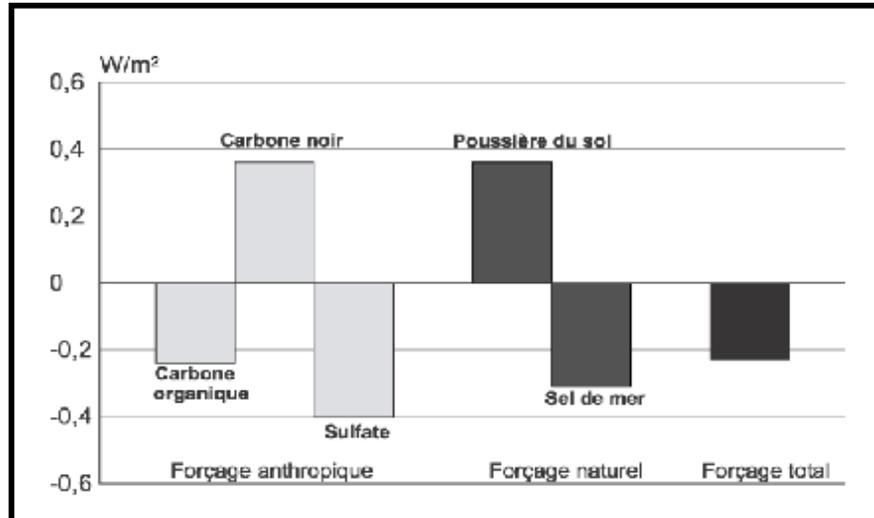


Fig. 2.15 Moyenne globale annuelle de forçage radiatif direct à aérosols en W/m².

Source : Takemura et coll 2004.

Il a été établi par de nombreux spécialistes, qu'il est possible de calculer pour chacun des gaz à effet de serre un "pouvoir de réchauffement global" ou PRG dont le principe est de donner l'impact radiatif qu'aura l'émission d'un volume donné de ce gaz dans l'atmosphère. Ce PRG tient logiquement compte de deux données : les raies d'absorption dans l'infrarouge du gaz considéré (qui donnent la "puissance" instantanée) et sa durée de vie dans l'atmosphère (qui donne la durée sur laquelle il faut intégrer la "puissance" pour obtenir un impact énergétique à terme)³⁷. Ce PRG peut s'exprimer en valeur relative par rapport à celui du CO₂ ; on obtient pour les principaux gaz à effet de serre les valeurs suivantes :

³⁷ OMM, 2004, *Rapport de l'Organisation mondiale de météorologie*, [Enligne] <http://www.wmo.ch/web/Press.html>, (Page consultée le 15.12.2005)

Gaz	Formule	PRG relatif / CO2
Dioxyde de carbone (gaz carbonique)	CO2	1
Méthane	CH4	21
Protoxyde d'Azote	N2O	310
Perfluorocarbones	CnF2n+2	6500 à 8700
Hydrofluorocarbones	CnHmFp	140 à 11700
Hexafluorure de soufre	SF6	23900

Tableau 2.1 des valeurs de PRG des principaux gaz à effet de serre. Source : GIEC 2001

Par ailleurs, on peut également estimer, en fonction de leur concentration atmosphérique du moment et de leur PRG, les forçages radiatifs respectifs en valeur absolue des différents gaz à effet de serre³⁸ que l'on exprime alors en Watts par mètre carré (Fig.2.16). L'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre depuis le début de l'ère industrielle induit aujourd'hui un forçage additionnel de l'ordre de 1% du rayonnement reçu³⁹. Cette valeur peut paraître insignifiante en instantané, cependant elle s'est avérée très significative sur une longue période.

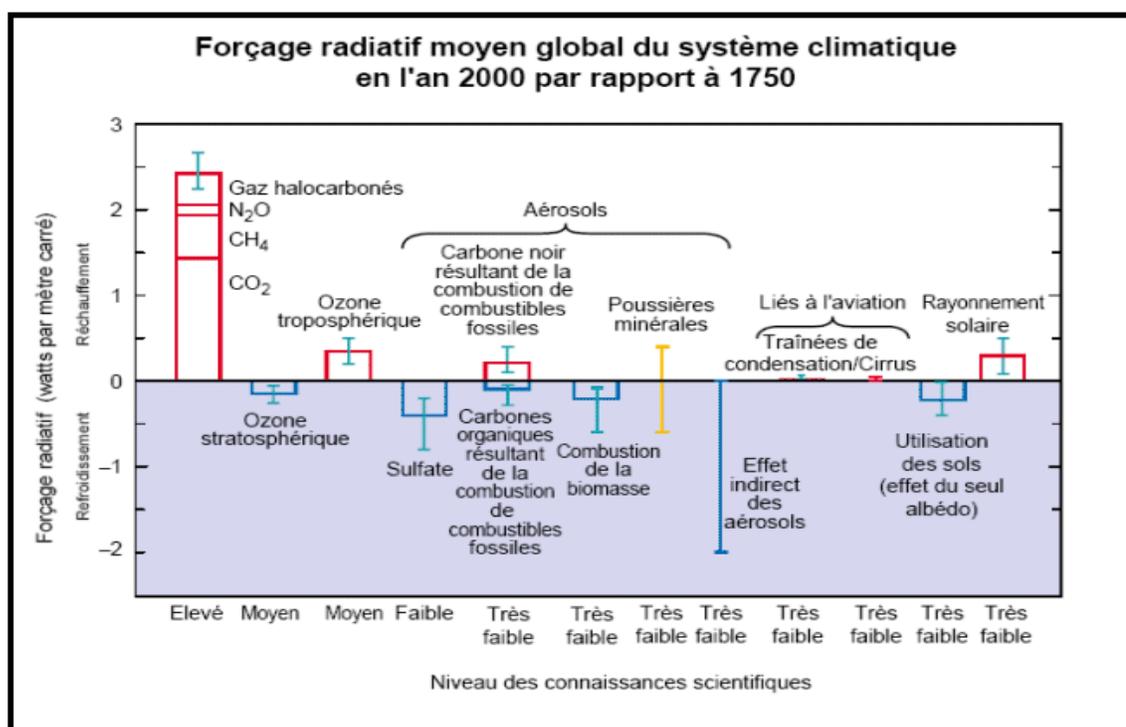


Fig. 2.16. Les forçages radiatifs des différents gaz à effet de serre en valeurs absolues.

Source : IPCC 2001.

³⁸ Idem.

³⁹ IPCC, 2001, [Enligne] <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/motsclcs/Images/forçage.html>, (Page consultée le 12.09.2005)

Une partie du forçage positif des gaz est compensé par le forçage négatif des aérosols, dont on est sûr de l'effet qualitatif, mais que l'on ne sait pas encore appréhender quantitativement avec précision. Les scientifiques sont toutefois relativement confiants dans le fait qu'il n'est pas suffisant pour compenser le forçage positif résultant des émissions anthropiques, notamment parce que la durée de vie des aérosols est de quelques semaines seulement et que ces derniers ne s'accumulent pas dans l'atmosphère.

2.5. L'effet de serre

2.5.1 L'effet de serre : qu'est ce que c'est ?

L'effet de serre est souvent désigné comme étant responsable du réchauffement climatique. Cependant, ce phénomène est un phénomène naturel qui permet à l'atmosphère de se maintenir à une température de 15°C au lieu d'une moyenne de -18°C⁴⁰. Ce qui est responsable de ce réchauffement climatique, c'est l'effet de serre induit par les activités humaines de manière générale. L'énergie du Soleil, sous forme de rayonnement de courte longueur d'onde, est absorbée par les gaz atmosphériques, les nuages, les océans et le sol⁴¹. Elle est ensuite transformée en chaleur qui réchauffe la planète, crée les vents, fait évaporer l'eau et enfin produit les pluies. La quantité de chaleur provisoirement stockée dans l'atmosphère est une donnée fondamentale pour évaluer la température à l'échelon du globe.

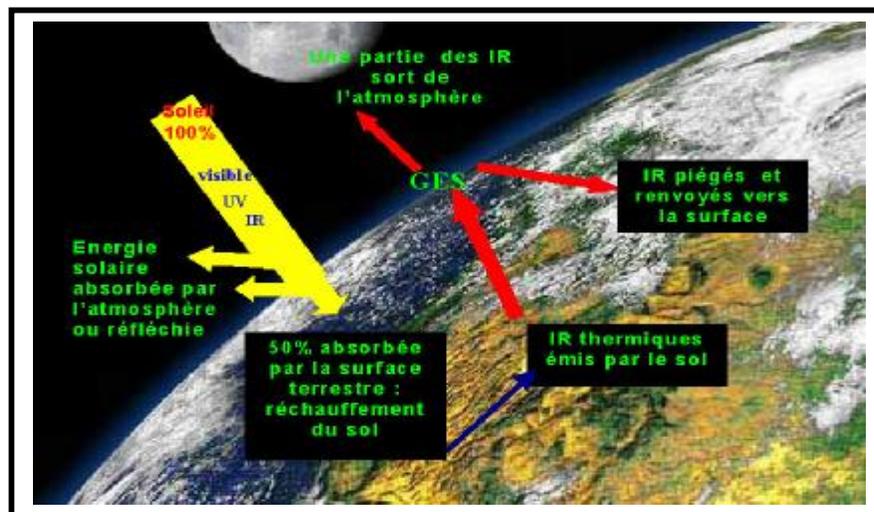


Fig. 2.17. L'effet de serre. Source : S. Le Gourriellec 2006.

⁴⁰ CEA, *Effet de serre*, 2005. [Enligne] <http://www.cea.fr/fr/pedagogie/EffetDeSerre/QuestionReponse1.htm>, (Page consultée le 02.01.2006)

⁴¹ ENS-Lyon, 2005, *Rayonnement thermique, Bilan radiatif et effet de serre*, [Enligne] http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/glossary/A_D/albedo.html, (Page consultée le 13.12.2005)

Les gaz présents dans l'atmosphère en assez faibles quantités, dont le gaz carbonique, les CFC (chlorofluorocarbones), le méthane, l'ozone et l'oxyde d'azote, jouent un rôle fondamental pour déterminer la quantité d'énergie emmagasinée ⁴². Avec la vapeur d'eau, ils permettent à l'énergie solaire de passer au travers de l'atmosphère mais absorbent une partie importante du rayonnement à grande longueur d'onde que la planète renvoie vers l'espace.

2.5.2 Le rapport entre l'effet de serre et le changement climatique

L'effet de serre caractérise le fait que l'atmosphère terrestre se comporte comme une serre, qui, laisse passer de façon correcte le rayonnement solaire incident (essentiellement composé de rayonnement visible) et mal le rayonnement réémis par l'intérieur de la serre, qui comporte une large part d'infrarouges ⁴³. Cette différence de transparence au rayonnement confine ainsi une partie des infrarouges à l'intérieur de l'atmosphère; l'énergie du rayonnement retenu prisonnier conduit finalement à une augmentation de température de l'intérieur (de la serre ou de l'atmosphère).



Fig. 2.18 Schématisation du phénomène d'effet de serre. Source : CEA 2005.

⁴² CEA, *Effet de serre*, 2005, [Enligne] <http://www.cea.fr/fr/pedagogie/EffetDeSerre/QuestionReponse1.htm>, (Page consultée le 02.01.2006)

⁴³ Jean-Marc JANCOVICI, *Quels actes de la vie courante "font" de l'effet de serre ?*, x-Environnement, Septembre 2003, [Enligne] <http://www.manicore.com>, (Page consultée le 04.11.2004)

L'effet de serre de l'atmosphère est dû pour l'essentiel à certains de ses composants minoritaires, naturels et présents de longue date, que sont la vapeur d'eau et en deuxième lieu le gaz carbonique. Sans effet de serre, la température moyenne de la surface terrestre serait de l'ordre d'une trentaine de degrés en dessous des températures actuelles (vers -15°C plutôt que vers $+15^{\circ}\text{C}$) ⁴⁴ rendant notre planète tout à fait inhospitalière pour les bipèdes que nous sommes. Le danger qui est désigné par le terme "effet de serre" correspond donc à un abus de langage, et nous emploierons pour la suite le terme de "réchauffement climatique", qui désigne mieux non pas le phénomène lui-même, parfaitement naturel et essentiel à notre existence, mais le déplacement du point d'équilibre, qui lui recèle des dangers potentiels pour le climat à différentes échelles.

2.5.3 Est-on sûr que c'est l'homme qui rejette les gaz à effet de serre ?

En réalité, les activités industrielles conduites par l'homme génèrent des quantités croissantes de "gaz à effet de serre". Des gaz qui, permettent certes de produire l'effet de serre mais qui, en trop grandes quantités poussent la température globale à des niveaux artificiellement élevés qui à leur tour altèrent le climat.

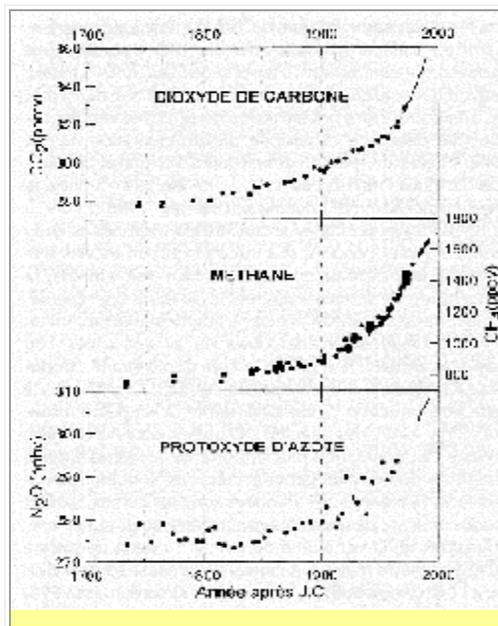


Fig. 2.19 Variation des teneurs de l'atmosphère en gaz à effet de serre depuis le XVIII^e siècle et pour les années récentes, de mesures directes. Source : GIEC 2001.

⁴⁴ CEA, *Effet de serre*, 2005, [Enligne] <http://www.cea.fr/fr/pedagogie/EffetDeSerre/QuestionReponse1.htm>. (Page consultée le 02.01.2006)

Le graphique représenté dans la figure.2.19, montre que les gaz à effet de serre suivent tous une courbe à peu près exponentielle depuis ce que l'on qualifie d'ère "préindustrielle", laquelle s'est terminée en 1750 environ. Aux incertitudes de mesure près, les concentrations de CO₂ relevées avant 1750 sont constantes sur plus de dix mille ans, et n'ont jamais dépassé 280 ppmv depuis 400.000 ans. Les concentrations jamais atteintes de ces gaz, ainsi que le rythme inconnu jusqu'alors de l'augmentation de leur concentration permettent d'affirmer que c'est bien l'homme et en particulier ses activités "modernes" qui est la cause de l'augmentation des concentrations de ces gaz. Cela est de toute façon une évidence pour les gaz qui n'étaient pas présents naturellement dans l'atmosphère (composés halogénés du carbone) et dont les concentrations augmentent également de manière exponentielle.

2.5.4 Impact de l'urbanisation sur l'évolution du climat

2.5.4.1 Impact de l'évolution de la population mondiale sur la croissance urbaine

Les êtres humains sont devenus une force environnementale d'importance croissante ces dernières 10 000 années. Avec l'avènement de l'agriculture il y a 8 000 ans, nous avons commencé à modifier le paysage⁴⁵, et avec la révolution industrielle, nous avons commencé à affecter notre atmosphère.

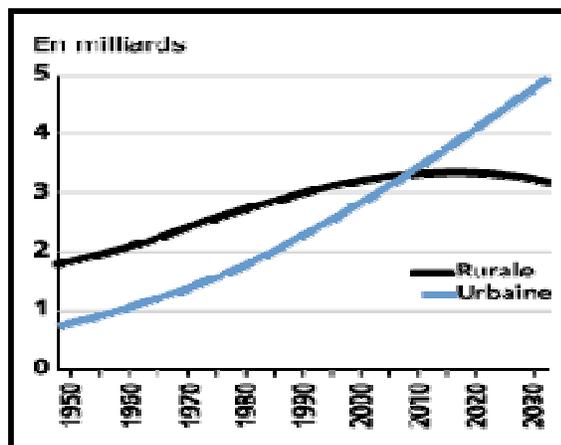


Fig. 2.20 Populations urbaine et rurale, 1950-2030. Source : PRB 2004.

En effet, l'augmentation récente de la population mondiale a amplifié les effets de nos activités agricoles, économiques et industrielles sur notre environnement, et plus particulièrement notre climat.

⁴⁵ M. Gordon Wolman, "Population, Land Use, and Environment: A Long History" *IN Population and Land Use in Developing Countries*, éd. Carole L. Jolly et Barbara Boyle Torrey, Committee on Population, National Research Council, Washington, DC : National Academy Press, 1993.

Par ailleurs, la croissance de la population humaine a caché ce qui peut être une interaction hommes environnement encore plus importante : tandis que la population mondiale double, la population mondiale vivant en milieu urbain triple, et d'ici à quelques années, plus de la moitié de la population mondiale vivra en zone urbaine (Fig.2.20). Le niveau et la croissance de l'urbanisation diffèrent considérablement selon la région (Fig.2.21). Il apparaît que :

- Les pays latino-américains sont ceux où la plus forte proportion de la population vit en milieu urbain.
- Presque toute la future croissance de la population mondiale se produira dans les villes et les cités.
- La croissance et la redistribution de la population de notre planète vont probablement en affecter ses systèmes naturels et les interactions entre les environnements urbains et les populations.

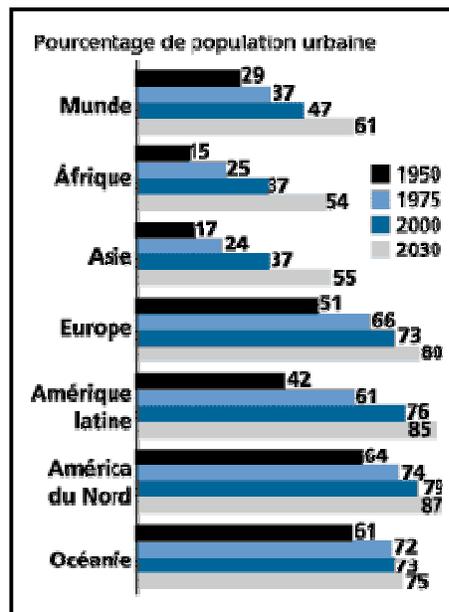


Fig.2.21. Population vivant en zone urbaine. Source : PRB 2004.

2.5.4.2 Impact de l'urbanisation sur l'environnement

Les populations urbaines et leur environnement s'affectent mutuellement. Les personnes en milieu urbain changent leur environnement à travers leur consommation de nourriture, d'eau, d'énergie et de terres. L'environnement urbain pollué affecte à son tour la santé et la qualité de vie des populations urbaines.

Les populations urbaines consomment non seulement plus de nourriture, mais elles consomment aussi plus de biens durables⁴⁶. Les biens durables sont plus souvent utilisés par tout un foyer que par un seul individu. Les foyers urbains sont plus petits que les foyers ruraux, et avec le temps, ils continuent à se réduire au fur et à mesure que les revenus et l'éducation augmentent. Ceci suggère que le taux de consommation de biens durables en zone urbaine va probablement augmenter bien plus que le simple taux de croissance de la population⁴⁷. Et la plupart des biens durables ont besoin d'énergie sous forme d'électricité pour fonctionner.

La consommation d'énergie pour l'électricité, le transport, la cuisine et le chauffage est bien plus forte en milieu urbain que dans les villages ruraux. Les populations urbaines ont par exemple bien plus de voitures par habitant que les populations rurales. En Chine, la consommation de charbon par habitant dans les villes et les cités est plus de trois fois supérieure à celle en zone rurale⁴⁸.

L'urbanisation des populations du monde augmentera toutefois l'utilisation totale d'énergie, malgré l'efficacité et les nouvelles technologies, et la consommation accrue d'énergie aura probablement des effets nocifs pour l'environnement. En effet, La consommation urbaine d'énergie aide à créer des îlots de chaleur qui peuvent modifier les modèles météorologiques locaux et la météo en aval des îlots de chaleur.

Le phénomène d'îlots de chaleur résulte de l'impact des cités qui irradient de la chaleur vers l'atmosphère à un taux de 15 % à 30 % moindre que les zones rurales⁴⁹. La combinaison de la consommation accrue d'énergie et la différence d'albédo (de radiation) signifient que les cités sont plus chaudes que les zones rurales de 0,6 à 1,3°C⁵⁰. Ensuite, ces îlots de chaleur deviennent des pièges pour les polluants atmosphériques, agissant sur la couverture nuageuse, le brouillard, les orages de chaleur et les chutes de grêle qui y sont plus fréquents, les précipitations sont de 5 % à 10 % plus élevées que la normale, tandis que les jours de neige se font plus rares.

⁴⁶ **Fonds Des Nations Unies Pour La Population (FNUAP)**, *L'état de la population mondiale 2001, chapitre3 : les niveaux de développement et leur impact sur l'environnement*, 2001, [Enligne]

<http://www.unfpa.org/swp/2001/francais/index.html>, (Page consultée le 30 mars 2006)

⁴⁷ **Barbara Boyle Torrey**, *L'urbanisation : une force environnementale incontournable*, Population Reference Bureau (PRB), 2004, [Enligne]

<http://www.prb.org/FrenchTemplate.cfm?Section=Accueil&template=/ContentManagement/ContentDisplay>, (Page consultée le 30 mars 2006)

⁴⁸ **Jeffrey R. Taylor et Karen A. Hardee**, *Consumer Demand in China: A Statistical Factbook*, Boulder, CO : Westview Press, 1986, p 112, 125.

⁴⁹ **Andrew S. Goudie**, *The Human Impact on the Natural Environment*, Cambridge, MA: MIT Press (2^{ème} édition) 1987, p. 263.

⁵⁰ **Idem**, p265.

L'urbanisation affecte aussi les environnements régionaux plus vastes. Les régions en aval de larges complexes industriels voient également des augmentations du montant des précipitations, de la pollution de l'air et du nombre de jours avec orages de chaleur⁵¹. Les zones urbaines n'affectent pas seulement les modèles météorologiques mais aussi ceux des schémas d'écoulement des eaux. Les zones urbaines génèrent en général plus de pluies, mais elles réduisent l'infiltration des eaux et font baisser les nappes phréatiques.

2.5.5 Contribution du secteur de l'habitat et de l'urbanisme à la réduction de gaz à effet de serre

La lutte contre l'effet de serre constitue une préoccupation mondiale pour l'avenir de l'Humanité, même s'il persiste çà et là quelques difficultés à aller résolument vers une action globale et consensuelle. L'objectif à atteindre est celui de maintenir à un niveau soutenable les émissions de CO₂, correspondant aux capacités d'assimilation de la biosphère sans influence sur le climat et l'effet de serre. Aujourd'hui, cet objectif loin d'être atteint, néanmoins c'est la première fois que la communauté internationale engage une action de cette ampleur pour maîtriser le destin planétaire commun et les conséquences écologiques globales de notre mode de développement.

Comme nous l'avons déjà expliqué au préalable, le danger ce n'est pas le phénomène en lui-même, mais plutôt le déplacement du point d'équilibre. C'est ce qui fait de l'effet de serre un problème complexe, qui a demandé à des centaines de scientifiques de nombreuses années de travail pour livrer une compilation prudente des recherches en cours. C'est pour cette raison que sa résolution reste une œuvre de longue haleine.

En effet, aux incertitudes sur l'élévation de température à attendre s'ajoutent des incertitudes encore plus fortes sur les effets climatiques qui en résulteraient, particulièrement au niveau régional. A ce titre, la protection de l'environnement constitue un des enjeux majeurs du développement économique des prochaines années. Chaque secteur d'activité se doit de s'inscrire dans cette dynamique en mettant en place ou en corrigeant sa politique générale pour la prise en charge de cette préoccupation majeure.

⁵¹ **Fonds Des Nations Unies Pour La Population (FNUAP)**, *L'état de la population mondiale 2001, chapitre 3 : les niveaux de développement et leur impact sur l'environnement*, 2001, [Enligne] <http://www.unfpa.org/swp/2001/francais/index.html>, (Page consultée le 30 mars 2006)

Dans le secteur du bâtiment, les émissions de gaz à effet de serre sont essentiellement dues à la combustion de combustibles pour le chauffage et pour l'eau chaude sanitaire, à la présence éventuelle de substances toxiques, à la combustion de l'énergie nécessaire à la fabrication, des matériaux de construction et à l'élimination des déchets de construction⁵². Les gaz produits sont très majoritairement du CO₂.

La politique menée par le secteur de l'habitat en Algérie, depuis plusieurs années, vise à satisfaire les nouvelles demandes en logements de la population, tout en améliorant le niveau de qualité des constructions par la mise en place d'un arsenal réglementaire suffisant⁵³ mais surtout adapté notamment à l'aléa sismique et aux actions climatiques sur la stabilité des ouvrages.

Par ailleurs, la grave crise de logement que subit le pays a constitué un handicap réel pour le secteur de l'habitat car les professionnels ont été amenés à rechercher les solutions de construction les moins coûteuses en assurant la sécurité des occupants, mais sans accorder une importance particulière au respect de l'environnement dans ses aspects confort et économie d'énergie.

C'est dans cette optique que s'est tenu à Alger, le 22 et 23 Décembre de l'année 2003, atelier national sur les changements climatiques, dont le thème était justement en rapport avec l'effet de serre, et dont l'intitulé était le suivant «**Contribution du secteur de l'habitat et de l'urbanisme a la réduction de gaz a effet de serre**».

A l'issue de cet atelier, plusieurs mesures visant à réduire les gaz à effet de serre dus au secteur de l'habitat ont été mise en place. Les principaux domaines auxquels ces mesures seront adoptées, sont résumés dans les points suivants :

1. Des mesures sur le plan législatif et réglementaire
2. Des mesures sur le plan de la qualité des matériaux, produits et composants
3. Des mesures sur la qualité du cadre bâti

(Les éléments les plus significatifs en matière de réglementation, sont présentés en annexes.)

Par ailleurs, l'accent est mis sur l'idée principale de l'architecture bioclimatique, à savoir, « *construire avec le climat* », c'est-à-dire, en prenant en compte la dimension climatique dès les premières étapes de conception de l'échelle urbaine jusqu'à l'échelle de l'architecture de

⁵² **Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme**, *Atelier national sur les changements climatiques*, Alger, 22 et 23 décembre 2003.

⁵³ **Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement**, *Aménager l'Algérie de 2020*, Alger, Mars 2004.

l'habitat, dont le seul but est d'obtenir des constructions en harmonie avec leur environnement et dont le fonctionnement réduit au minimum l'utilisation énergétique.

Les villes telle que Ghardaïa, El Oued, Adrar, sont citées comme exemple où du fait d'une culture architecturale ancienne, l'habitat bioclimatique est à l'honneur avec une approche esthétique qui capitalise les savoirs ancestraux, une conception originale de l'enveloppe ventilée efficacement par des courants d'air provoqués par un agencement judicieux des espaces et des ouvertures de la structure extérieure.

Très sensible à ce problème en Algérie, le secteur de l'habitat peut contribuer de manière significative à la réduction de l'effet de serre par son grand potentiel d'économie d'énergie mobilisable tant sur l'habitat neuf avec les grands programmes lancés, que sur l'habitat ancien. Bâtir dans le respect de l'environnement et répondre aux besoins présents sans compromettre ceux des générations futures, tel est l'engagement qui s'exprime par le grand intérêt porté à ce problème.

A ce titre, le ministère de l'habitat marque sa disponibilité à mettre en place des mesures d'atténuation et d'adaptation ainsi qu'un plan sectoriel d'action en matière de réduction de gaz à effet de serre en adéquation avec la Loi sur la maîtrise de l'énergie articulée notamment sur l'enrichissement des règles techniques actuelles, la mise en place de procédures de contrôle, et la mise en place de mesures incitatives.

2.6 La température

2.6.1 Définition

Dans l'air, il existe des particules d'eau aux propriétés physiques fort différentes ; si bien que lorsque 2 particules d'eau se rencontrent, il y a interaction (elles ne se mélangent pas) ce qui entraîne des échanges d'énergie très importants qui donnent naissance à la température⁵⁴. Ces transferts d'énergie peuvent avoir lieu grâce à la conduction : transfert de la chaleur d'un point à un autre sans que les propriétés physiques de la particule d'air soient modifiées.

La température se mesure, soit en degré Celsius (célèbre astronome et physicien Suédois 1701-1744) noté °C, soit en degré Kelvin (alias William Thomson, physicien britannique 1824-1907) noté K tel que 1°C = 273,15 K .

⁵⁴ *La température et l'humidité relative*, [Enligne] <http://www.météolafleche.com /température.html>. (Page consultée le 12.02.2006)

2.6.2 La température du globe

La température du globe en surface est la moyenne mondiale pondérée⁵⁵ selon la surface de :

- la température des océans en surface (c'est-à-dire la température de l'eau dans les premiers mètres au dessous de la surface de l'océan)
- la température de l'air à 1,5 mètre au-dessus de la surface du sol.

Une analyse des données combinées des températures de la terre et des océans indique que pendant la dernière décennie la moyenne des températures de surface globale a été plus haute que dans n'importe quelle décennie depuis le milieu du 18^{ème} siècle. Les températures cependant, ont augmenté plutôt différemment dans les deux hémisphères⁵⁶. Une augmentation rapide de la température dans l'hémisphère du Nord pendant les années 20 et les années 30 diffère d'une augmentation plus progressive de l'hémisphère du Sud.

Les deux hémisphères ont eu des températures relativement stables des années 40 aux années 70, bien qu'il y ait des évidences de refroidissement dans l'hémisphère du Nord pendant les années 60. Depuis les années 60 dans l'hémisphère du Sud, mais après 1975 dans l'hémisphère du Nord, les températures se sont élevées brusquement.

Les changements de température haut dans l'atmosphère sont centraux au problème du réchauffement de la planète par l'homme, parce que les modèles climatiques prévoient que les changements de température avec des concentrations élevées de gaz à effet de serre auront un profil caractéristique à travers les couches de l'atmosphère, avec le réchauffement à environ 6 kilomètres, et le refroidissement à des altitudes plus élevées dans la stratosphère⁵⁷. Les températures stratosphériques plus fraîches sont une conséquence prévue de plus de chaleur de la Terre piégée dans la partie la plus inférieure de l'atmosphère.

⁵⁵ **GIEC**, *Bilan 2001 des changements climatiques : Les éléments scientifiques*, Rapport de travail I du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, Suisse. [Enligne] <http://www.ipcc.ch>. (Page consultée le 25.03.2004).

⁵⁶ *La température*, [Enligne] <http://www.ace.mmu.ac.uk/eae/french/Global Warming/Older/20th Century.htm>. (Page consultée le 12.02.2006)

⁵⁷ **Idem**.

2.6.3 Evolution de la température mondiale

Selon un rapport intitulé **Bilan 2001 des changements climatiques : Les éléments scientifiques** publié par Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) qui a été établi en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), la *température moyenne à la surface du globe a augmenté de 0,6 °C ± 0,2 °C³ depuis la fin du XIXe siècle*. Selon le même rapport, il est *très probable que les années 90 ont été la décennie la plus chaude et 1998, l'année la plus chaude jamais enregistrée depuis 1861* (voir Fig.2.22).

Selon ce même rapport, la principale cause de l'augmentation estimative de 0,15 °C de la température à la surface du globe depuis la publication du deuxième Rapport d'évaluation du groupe de travail⁵⁸, découle de la chaleur record observée pendant les six années supplémentaires de données (1995-2000), ainsi qu'à l'amélioration des méthodes d'évaluation du changement.

Le GIEC stipule par ailleurs que la marge d'incertitude *légèrement supérieure (± 0.2 °C, 95 pour cent d'intervalle de précision)*⁵⁹, est en outre plus objective. De plus, la base scientifique sur laquelle repose la confiance dans les estimations de l'augmentation de la température à la surface du globe depuis la fin du XIXe siècle s'est renforcée depuis la publication du deuxième Rapport d'évaluation du même groupe notamment du fait des améliorations découlant de plusieurs études nouvelles.

Parmi celles-ci figure une vérification indépendante des corrections utilisées pour pallier les distorsions en fonction du temps des données sur la température de la mer en surface ainsi que de nouvelles analyses de l'effet des «îlots de chaleur» urbains sur l'évolution des températures terrestres à l'échelle mondiale.

⁵⁸ GIEC, *Bilan 2001 des changements climatiques : Les éléments scientifiques*, Rapport de travail I du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, Suisse. [Enligne] <http://www.ipcc.ch>. (Page consultée le 25 mars 2004)

⁵⁹ [Enligne] <http://www.cnes.fr>. (Page consultée le 5 Octobre 2005)

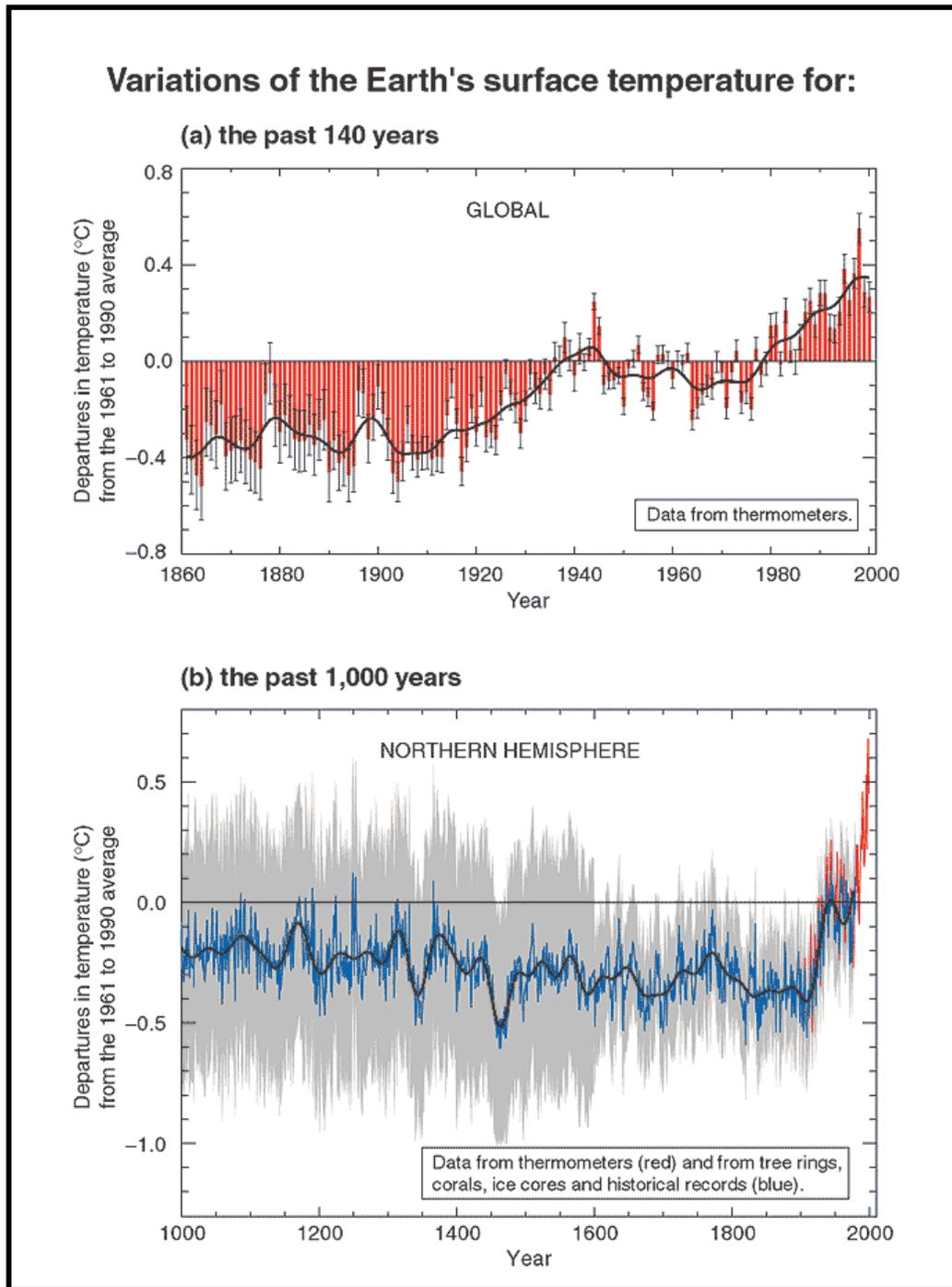


Fig. 2.22. Variations de la température à la surface de la Terre au cours des 140 dernières années et au cours du dernier millénaire. Source : GIEC 2001.

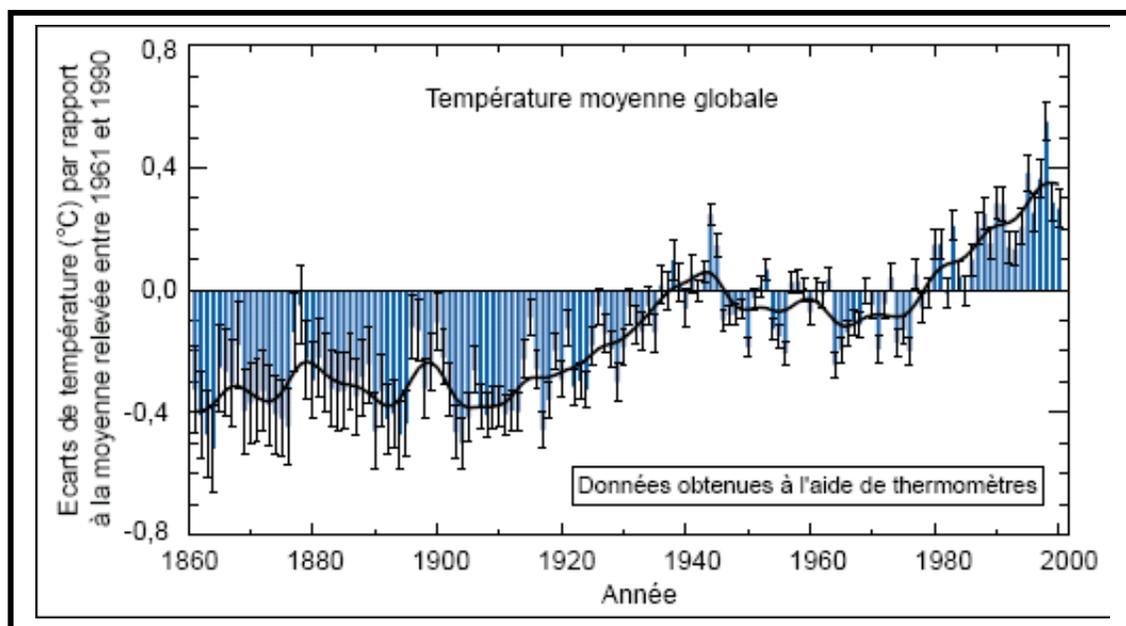


Fig. 2.23 Anomalies relevées dans les températures annuelles combinées de l'air à la surface de la Terre et de la surface de la mer de 1861 à 2000, par rapport à la période 1961-1990.

Source : CNES 2004.

Comme l'indique la Fig 2.23, la majeure partie de la hausse de la température mondiale observée depuis la fin du XIXe siècle s'est produite pendant deux périodes distinctes : de 1910 à 1945, et depuis 1976. Quant au rythme de cette hausse, il s'est établi à 0,15 °C environ par décennie pendant ces deux périodes. Récemment, le réchauffement a été cependant plus prononcé sur les terres émergées qu'en milieu océanique, l'augmentation de la température de la mer en surface ne représentant que la moitié environ de celle de la température moyenne de l'air à la surface du sol durant la période 1950-1993 ⁶⁰.

2.6.4 La température à l'échelle de la ville

La température à l'échelle de la ville est influencée par un ensemble de facteurs. En effet, les températures de l'air diminuent avec l'altitude à raison de 6° à 8° par 100m ⁶¹. Cette baisse dépend d'autres facteurs tels que le mouvements des vents, le temps dans l'année et peut être

⁶⁰ CNRS, *Dossiers multimedia Sagascience*, [Enligne] http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/biblio/climat_FR.pdf, (Page consultée le 23.03.2006)

⁶¹ Michel Leroy, *La mesure au sol de la température et des précipitations*, Météo France. [Enligne] www.smf.asso.fr.pdf, (Page consultée le 13.02.2006)

irrégulière. L'angle des pentes, la forme des versants et surtout leur orientation modifie les températures ainsi que les radiations.

Il apparaît à cet effet, que les amplitudes thermiques sont très variables, elles sont faibles sur les versants et plus importantes sur les vallées ⁶². Ainsi, les vallées présentent une situation thermique plus défavorable que les versants, plus chauds l'été et plus froids l'hiver.

Enfin, la géométrie et la densité urbaine influent directement sur la température par le biais de leur composants, tels que nature des surfaces, profil de la rue, albédo des surfaces, la forme ainsi que la taille du bâtiment. Par ailleurs, de la ville à la banlieue le climat change ⁶³. De nombreuses recherches ont, en effet, démontrées des différences de variation du degré de température entre la ville et la banlieue de l'ordre de 3° à 5° celcius. Ce qui est du un ensemble de facteurs, parmi lesquels, on distingue : les effets de canalisation des vents, la diminution de l'albédo, la pollution atmosphérique, la chaleur dus aux bâtiments, la réduction du couvert végétal...

Afin de saisir la relation entre les éléments de la ville et la variation de température à l'intérieur de cette dernière, il y a lieu de distinguer l'échelle climatique dans laquelle intervient cette variation, à savoir, le climat urbain. Pour cela, l'ensemble de ces éléments fera l'objet d'une étude plus détaillée dans la partie qui se rapporte au climat urbain.

2.7 Les phénomènes spécifiques aux changements climatiques

Sécheresses, inondations, tempêtes : ce sont les catastrophes provoquées en chaîne par le phénomène El Niño en 1997 et 1998. Lima, la capitale péruvienne, est touchée pour la 1^{ère} fois par des torrents de boue venus des contreforts des Andes. En Equateur, 18 des 21 provinces que compte le pays sont touchées ⁶⁴. A l'inverse, en Papouasie Nouvelle Guinée, ¼ de la population est réduite à manger des racines en raison de la sécheresse, qui a transformé la terre en ciment. Ce phénomène climatique renaît régulièrement au large du Pérou ⁶⁵.

⁶² **A.TOUDERT**, « Méthodologie d'intégration de la dimension climatique en Urbanisme », IN *Les cahiers de L'EPAU*, N° 9/10, Alger, 2001, pp108-112.

⁶³ **S. ABDOU**, *Investigation sur l'intégration climatique de l'habitat traditionnel en région aride et semi-aride d'Algérie cas de Constantine et Ouargla*, Thèse de Doctorat, Université de Constantine 2003-2004, p. 41.

⁶⁴ **Dossier El Niño**, [Enligne] <http://www.cnes.fr>, (Page consultée le 12.02.2006)

⁶⁵ **OMM**, *Rapport sur le climat mondial*, 2004, [Enligne] <http://www.wmo.com>, (Page consultée le 20 septembre 2005)

Par son ampleur, El Niño 1997-98 a été le plus dévastateur du siècle ; il a provoqué la mort de milliers de personnes et causé des dégâts énormément de dégâts, plus faible, El Niño a fait son retour en juillet 2002. La communauté scientifique a depuis tiré les enseignements du « Niño du siècle ». Les outils spatiaux et terrestres développés permettent aujourd'hui d'anticiper ce phénomène, devenu un véritable test pour la prévision du climat.

Comment se produit se phénomène ?

2.7.1 Le phénomène d'El Nino

Le phénomène El Niño/oscillation australe (ENSO) est défini par le GIEC comme étant la plus forte fluctuation naturelle du climat à une échelle de temps interannuelle. A l'origine, «El Niño» désignait un courant océanique chaud de faible intensité qui, chaque année, aux alentours de Noël, longeait la côte péruvienne en direction du sud; ce n'est que plus tard qu'il a été associé à des réchauffements d'une ampleur inhabituelle⁶⁶. Toutefois, ce réchauffement côtier va souvent de pair avec un réchauffement anormal de plus grande ampleur de l'océan, qui se manifeste jusqu'à la ligne internationale de changement de date.

C'est ce phénomène intéressant l'ensemble du bassin du Pacifique qui constitue le lien avec les anomalies du climat mondial. La composante atmosphérique liée à «*El Niño*» est appelée l'«*oscillation australe*». Les scientifiques désignent souvent ce phénomène d'origine à la fois atmosphérique et océanique par le sigle «ENSO» (*El Niño/Southern Oscillation*). Le phénomène *ENSO est un phénomène naturel* qui, d'après les données fournies par les coraux et les carottes glaciaires prélevées dans les Andes, a débuté il y a des milliers d'années. Dans la partie tropicale du Pacifique, *les conditions océaniques et atmosphériques sont rarement moyennes et ont plutôt tendance à fluctuer de façon assez irrégulière entre les épisodes El Niño et leur contraire*, à savoir les épisodes «*La Niña*», qui consistent en un refroidissement de l'ensemble du bassin du Pacifique tropical. Ce cycle se déroule généralement sur une période de trois à six ans, chaque épisode étant marqué par une phase de forte intensité qui dure habituellement un an environ.

⁶⁶ IPCC, 2001, [Enligne] <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/motsclles.htm>, (Page consultée le 23.03.2006)

2.7.2 En temps normal

Les alizés, vents qui soufflent d'est en ouest, repoussent les eaux de surface du Pacifique vers l'Australie et les Philippines, créant à l'ouest du Pacifique un réservoir d'eau chaude ⁶⁷ zone rouge sur le schéma (Fig2.24) où la température et le niveau de mer sont plus élevés qu'à l'est du bassin.

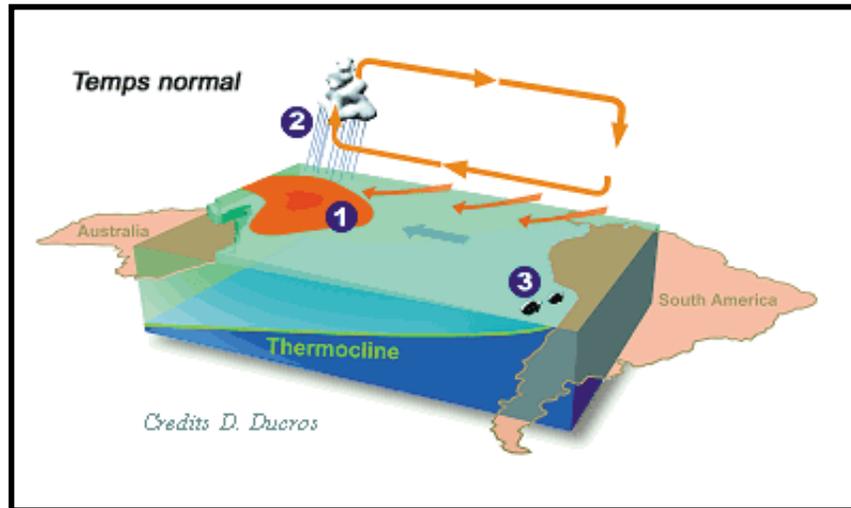


Fig. 2.24 Situation en temps normal. Source : CNES 2004.

En traversant l'océan, ces vents se chargent d'humidité, qu'ils libèrent sous forme de fortes pluies sur ce réservoir d'eau chaude. A l'autre extrémité, le long des côtes du Chili et du Pérou, des eaux froides, riches en sels nutritifs, remontent à la surface.

2.7.3 Etat El Niño

Lorsque El Niño se réveille, des vents d'ouest apparaissent à l'extrémité est du bassin et repoussent le réservoir d'eau chaude vers le centre du Pacifique équatorial. Les alizés s'affaiblissent, voire disparaissent. La zone des précipitations et des cyclones se déplace également vers l'est⁶⁸. Provoquant ainsi, des pluies abondantes sur les îles du centre du Pacifique, puis de nombreuses inondations sur la côte ouest de l'Amérique du Sud. Le long des côtes du Chili et du Pérou les eaux restent chaudes ce qui provoque d'important changement sur le plan marin.

⁶⁷ Dossier El Niño, [Enligne] <http://www.cnes.fr>. (Page consultée le 12.02.2006)

⁶⁸ Idem.

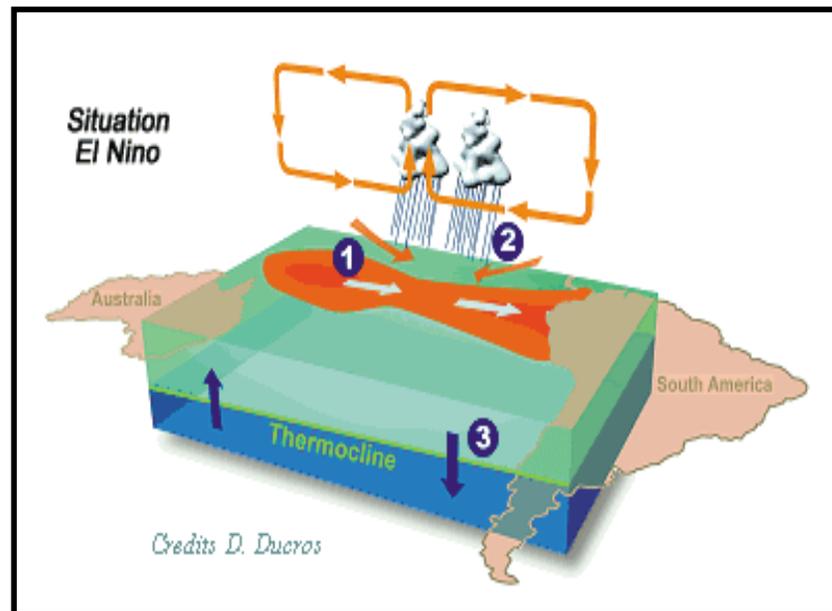


Fig.2. 25 Etat El Niño. Source : CNES 2004.

Pendant les épisodes *El Niño*, les eaux chaudes de la partie tropicale du Pacifique Ouest se déplacent vers l'est à mesure que les alizés faiblissent. Ce déplacement modifie la configuration des tempêtes de pluie tropicales, ce qui contribue à affaiblir encore les alizés, et accentue les variations de la température de la mer. Le niveau de la mer baisse à l'ouest, mais peut s'élever de 25 cm ⁶⁹ à l'est par suite de l'afflux d'eaux chaudes le long de l'équateur. Toutefois, les variations de la circulation atmosphérique, loin de se limiter aux régions tropicales, s'étendent à l'ensemble du globe et exercent leur influence sur les courant-jet et les trajectoires des tempêtes aux latitudes moyennes. Des configurations à peu près inverses caractérisent les épisodes *La Niña*.

2.7.4 Episode La Niña.

Le contre effet de la Niña s'explique par le renforcement des alizés, en réduisant le réservoir d'eau chaude, créent des conditions plus froides que la normale à l'ouest ⁷⁰. Le climat est plus sec au large des côtes américaines. La zone des précipitations se positionne plus à l'ouest, avec des pluies abondantes sur l'Indonésie et les eaux sont plus froides au large de l'Amérique du Sud.

⁶⁹ GIEC, *Bilan 2001 des changements climatiques : Les éléments scientifiques*, Rapport de travail I du Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat, Suisse. [Enligne] <http://www.ipcc.ch>. (Page consultée le 25 mars 2004)

⁷⁰ Dossier El Niño, [Enligne] <http://www.cnes.fr>. (Page consultée le 12.02.2006)

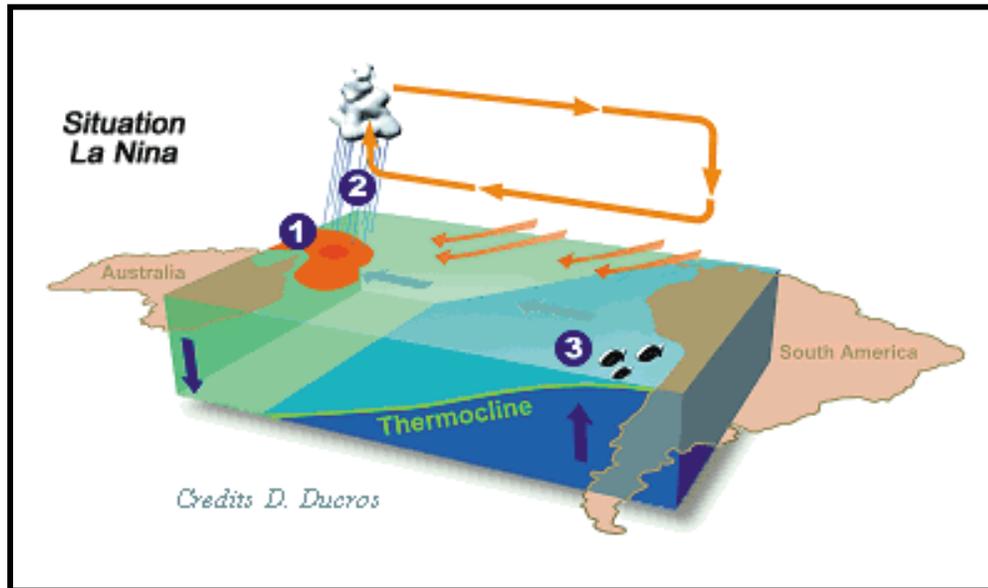


Fig. 2.26 Episode La Niña. Source : CNES 2004

Les changements liés au phénomène ENSO entraînent, dans le monde entier, de fortes variations du temps et du climat d'une année à l'autre. Ces variations ont souvent de profondes répercussions sur les sociétés humaines en raison des sécheresses, des inondations, des vagues de chaleur et autres changements qui peuvent grandement perturber l'agriculture, les pêches, l'environnement, la santé, la demande d'énergie ou la qualité de l'air et augmenter les risques d'incendie.

2.8 Les changements climatiques en Algérie

Selon un rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement, publié en l'an 2000 par le Ministère de l'aménagement du territoire et l'environnement, l'Algérie a ratifié, par décret n° 93-99 du 10 Avril 1993, la Convention Cadre sur les Changement Climatiques (CCCC). Cette dernière se rapporte particulièrement à la stabilisation des émissions des gaz à effet de serre pour empêcher une interférence de l'homme avec le système climatique ⁷¹.

⁷¹ Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, *Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement*, Alger, 2000, p. 149.

Les deux principes directeurs de la convention sont :

- La « responsabilité commune mais différenciée »
- Le « principe de précaution »

2.8.1 Les gaz à effet de serre en Algérie

Les activités qui libèrent les gaz à effet de serre dans l'atmosphère sont nombreuses et variées.

Ces émissions proviennent notamment des sources suivantes :

- La production, le traitement et la consommation d'énergie d'origine fossile.
- Les activités industrielles qui produisent le CO₂, Nox..
- Les systèmes agricoles, **mode d'occupation et d'utilisation des sols**, tels que l'urbanisation rapide et non contrôlée, le déboisement des forêts, les incendies.

L'Algérie, de par sa position géographique, climatique et écologique ressentira d'avantage les changements climatiques qui s'exprimeront à travers la diminution quantitative et qualitative des ressources en eau, la baisse des rendements agricoles, la dégradation des écosystèmes, l'assèchement des Oueds...⁷².

2.8.2 La problématique des changements climatiques en Algérie

Etant une préoccupation nouvelle, cette problématique avait besoin d'une mise en place d'un cadre pour sa prise en charge. C'est ainsi qu'un projet région RAB/94/G31, financé par le fonds mondial de l'environnement (FEM) a été mis en place en 1994, afin de « renforcer les capacités dans le Maghreb pour faire face aux changements climatiques »⁷³.

Le principe de précaution dans le cadre des changements climatiques vise deux objectifs : « l'atténuation des émissions dues aux activités humaines, des gaz à effet de serre et l'adaptation, pour limiter les impacts potentiels de ces changements ».

2.9 Les scénarios futurs de l'évolution du climat

2.9.1 Comment peut-on savoir ce qui va se passer plus tard ?

Les outils dont dispose les scientifiques actuellement, sont des modèles climatiques reproduisant sur informatique les lois qui régissent le climat, pour pouvoir évoluer les choses en introduisant des perturbations qui varient au cours du temps (notamment les teneurs en CO₂).

Environ 2.000 scientifiques travaillent directement sur ces modèles de par le monde, et ont abouti de manière indépendante à la réalisation d'une quinzaine de modèles différents dont il est intéressant de comparer les résultats.

⁷² **Idem**, p. 150.

⁷³ **Idem**.

Les convergences qualitatives de ces modèles sont désormais suffisamment fortes pour que l'on puisse en admettre les principaux résultats de ces travaux de recherche suivants. Augmentation de la température moyenne de la planète (Fig. 2.27)

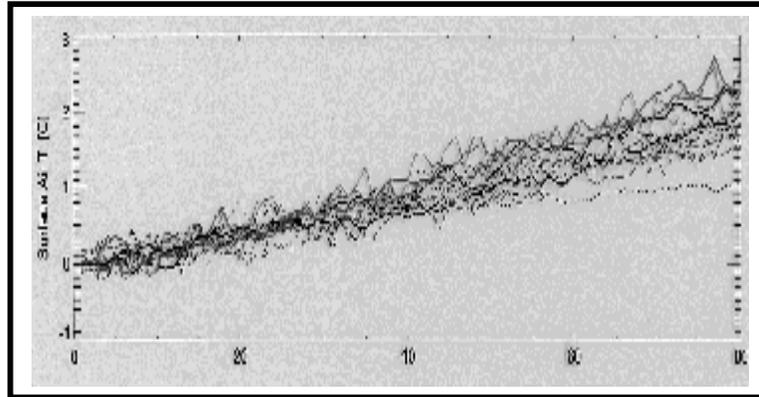


Fig. 2.27 augmentation des températures moyennes annuelles par rapport à la situation actuelle.

Source : x-environnement 2000.

Les courbes représentées sur la figure 2.27, une courbe par modèle, donne, en fonction des années, l'augmentation des températures moyennes annuelles par rapport à la situation actuelle (0 des ordonnées). On a pris l'hypothèse d'une concentration en CO₂ qui augmente de 1% par an.

- Intensification du cycle hydrologique (c'est à dire des transferts d'eau entre l'atmosphère et la surface, (voir Fig 2.28).

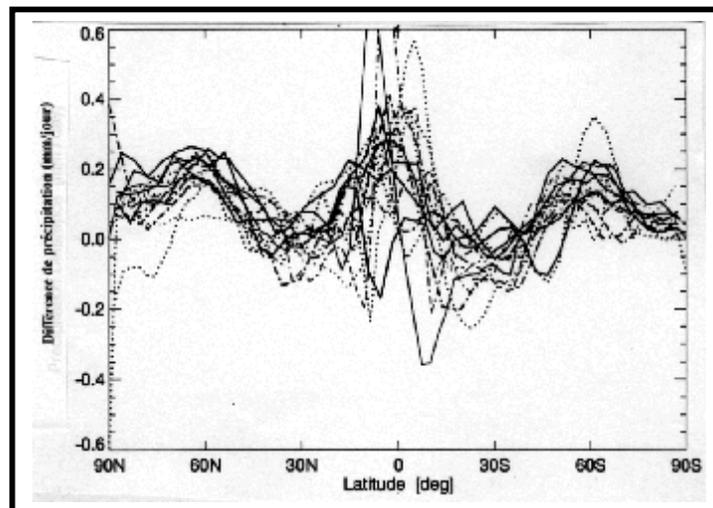


Fig. 2.28 Evolution des précipitations moyennes annuelles par rapport à la situation actuelle.

Source : x-environnement 2000.

Les courbes représentées sur la figure 2.28 (une courbe par modèle) donnent, pour chaque latitude, l'évolution des précipitations moyennes annuelles par rapport à la situation actuelle (0 des ordonnées) au moment où la concentration de CO₂ dans l'atmosphère aura doublé, soit d'ici 60 à 80 ans en prolongation tendancielle.

2.9.2 Evolution future du climat en Algérie

La grande variabilité naturelle des éléments du climat méditerranéen, qui caractérise l'Algérie, rend assez difficile la détection d'un changement climatique. Néanmoins, des études récentes menées par le service veille climatique de l'ONM d'Alger, stipulent qu'il y a bel et bien un changement dans notre climat, pas seulement à l'échelle national, mais aussi à l'échelle régionale, au niveau des villes. Il apparaît dans cette étude, réalisée par Mr Boucherf de l'ONM d'Alger, qu'il y a une nette évolution des écarts annuels de pluies et de températures. Selon la région, cette évolution varie selon l'année et la ville concernée. En effet les graphes suivants indiquent clairement l'évolution en question :

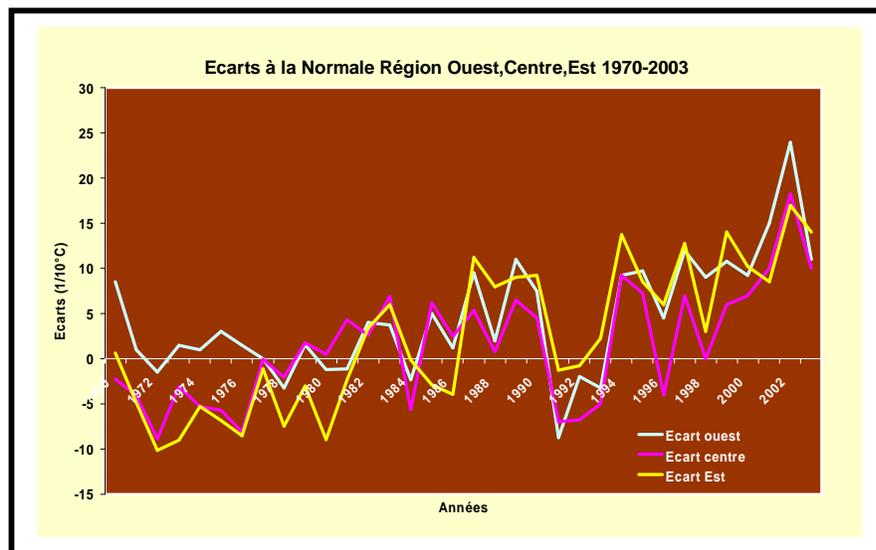


Fig. 2.29 Les écarts par rapport à la normale des températures : Région Ouest, Centre, Est- Algérie 1970-2003. Source : D.Boucherf, ONM Alger 2004.

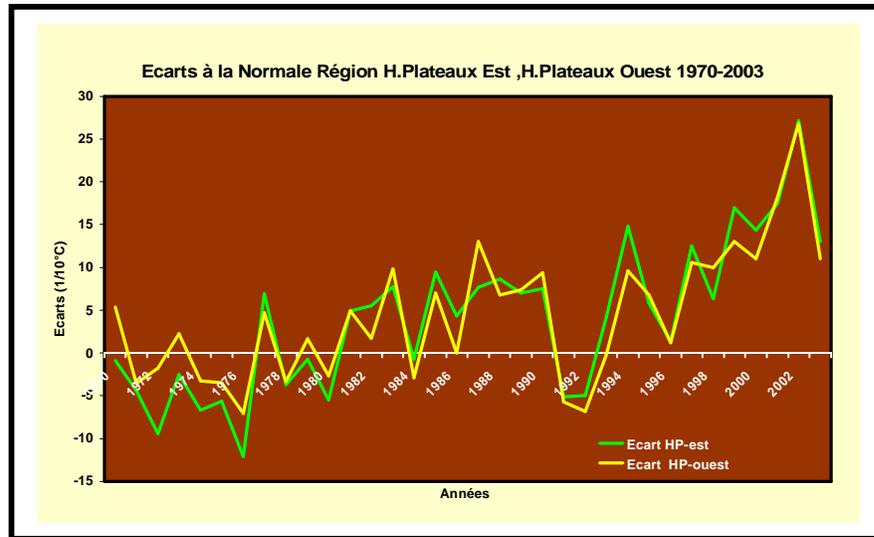


Fig. 2.30 Les écarts par rapport à la normale des températures : Région Hauts plateaux Est, Hauts plateaux Ouest- Algérie 1970-2003. Source : D.Boucherf, ONM Alger 2004

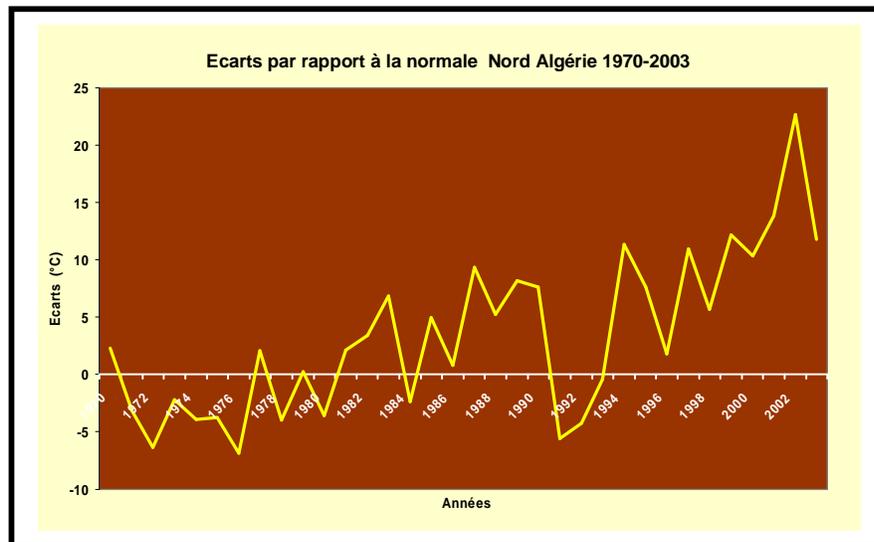


Fig. 2.31. Les écarts par rapport à la normale des températures : Région Nord Algérie 1970-2003. Source : D.Boucherf, ONM Alger 2004

Dans les trois régions, que ce soit pour la région Ouest, Centre et Est, ou encore pour les Hauts plateaux et le Nord Algérien, l'Evolution des écarts de température par rapport à la normale est très claire. A partir des graphes, on peut distinguer deux phases. La première s'étale de 1970 à 1983 et la seconde est comprise entre 1984 et 2003.

Entre 1972 - 1983 : On remarque que pour les trois régions, les écarts sont négatifs et varient entre 0 et -10 °C et ne commencent à prendre une valeur positive qu'à partir de 1983 pour les régions Est, Ouest, Centre et Hauts plateaux, tandis que pour la région Nord, le passage aux valeurs positives s'est effectué 2 ans plutôt, à savoir en 1981.

Entre 1984 – 2003 : La tendance est aux valeurs positives pour les écarts de température, variant entre 0 et 15 °C jusqu'en 2002 et atteignant une valeur maximale de 25°C en 2003. Cependant, il y a eu un léger retour vers les valeurs négatives entre 1992 et 1994.

En conclusion, les écarts de températures étaient négatifs entre 1970 et 1983, ces derniers ont commencé à prendre des valeurs positives en moyenne à partir de 1981 pour l'ensemble des régions du territoire Algérien, à partir de là, ils n'ont fait qu'augmenter d'année en année, jusqu'à atteindre une valeur maximale de 25°C en 2003.

Ceci, démontre clairement que la tendance est au changement climatique à long terme. A cet effet, un ensemble de scénarios climatiques ont été simulés, afin de projeter une éventuelle évolution du climat Algérien à l'horizon de l'année 2020, que ce soit pour l'évolution probable des températures à l'échelle nationale, que pour les précipitations dans leur ensemble, sur la base de variations saisonnières de données climatiques diverses, décrites dans le tableau suivant :

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Année
Oran	T: +0.7°C	+0.9°C	0°C	+0.2°C	0.45°C
	P:-16mm	-43mm	+25mm	+12mm	-22mm
	E:+36mm	+11mm	+12mm	+51mm	+110mm
	H:+52mm	+54mm	-13mm	+39mm	+132mm
Alger	+0.3°C	+0.8mm	-0.3°C	-0.2°C	0.15°C
	+2mm	-32mm	+16mm	+9mm	-5mm
	+8mm	-2mm	-19mm	+37mm	+24mm
	+6mm	+30mm	-35mm	+28mm	+29mm
Annaba	+0.2°C	+0.8°C	+0.3°C	+0.2°C	0.4°C
	-52mm	-35mm	-20mm	+2mm	-105mm
	-20mm	-22mm	-25mm	+33mm	-34mm
	+32mm	+13mm	-5mm	+31mm	+71mm

Tableau 2.2 Variation saisonnière de températures T, des précipitations de l'ETP (E) et de l'indice hydrique (h) entre 1931-1960 et 1961-1990. Source : ONM Alger 2004.

La projection climatique Saisonnières sur l'Algérie à l'horizon 2020, s'est effectuée sur la base du modèle MAGICC en adoptant le scénario IS92a du GIEC ⁷⁴.

Les résultats générés par le modelé MAGICC sont fonction:

- Du modèle de climat global adopté
- Du scénario des émissions de gaz à effet de serre sélectionné
- De l'horizon de temps fixé

Selon la saison, les facteurs climatiques traités, à savoir, la température (T) et les précipitations (P) sont présentés sous forme de tableau récapitulatif.

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
T : température	T: hausse de 0.7 à 1.1°C	T: hausse de 0.65 à 0.8°C Un max de +0.8°C au Sud	T: hausse de 0.85 à 0.95°C Un max de 0.95°C au Sud	T: hausse de 0.85 à 1.05°C
P : précipitations	P: baisse de 6 à 8%	P: baisse de 10%	P: baisse de 5 à 9%	P: baisse de 8 à 13%

Tableau 2.3 Résultats générés par le modelé MAGICC pour la projection climatique en Algérie à l'horizon 2020. Source : ONM Alger, 2004.

Il apparaît pour les deux paramètres un changement considérable, par la hausse de température allant en moyenne de 0.8°C à 1°C pour l'ensemble de l'année, et une nette baisse des précipitations pouvant atteindre les 13% en été. Ce qui représente une tendance au réchauffement annuelle de l'ensemble des régions du territoire Algérien.

⁷⁴ Djamel BOUCHERF, *Les changements climatiques en Algérie*, ONM Alger, Septembre 2004.

2.10 Conclusion

A travers le chapitre, il apparaît qu'il y a réellement des changements sur le plan climatique à l'échelle mondiale, dont l'origine est principalement les activités industrielles menées par l'homme, et en particulier le rejet des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Aussi, l'urbanisation qui affecte les environnements régionaux en agissant directement sur le bilan radiatif terrestre, donnant naissance à un ensemble de changements sur les transformations de l'énergie solaire incidente. A ce stade, le climat local est déjà influencé par ces changements.

Cependant, ce ne sont pas les seuls responsables de ces changements, les facteurs évolution et croissance urbaine ont une grande part, dans l'accentuation de ce phénomène planétaire, à l'échelle de nos villes.

En effet, lorsqu'une ville est mal conçue et que l'architecture de ses bâtiments est inadaptée, les vents sont souvent aspirés par de gigantesques goulets urbains qui les renforcent et accentuent l'effet de refroidissement. Par ailleurs, l'occupation des sols ainsi que leur utilisation jouent un rôle prépondérant dans la transformation du climat local.

Enfin, les scénarios futurs d'évolution du climat indiquent une forte tendance au réchauffement globale. L'Algérie, n'échappe en aucun cas à ce phénomène planétaire, des études sur l'évolution de son climat ont montré clairement que son climat se réchauffe progressivement.

3.1 Introduction

La croissance urbaine est un modificateur des conditions climatiques propres à une région donnée. En effet, l'extension des aires d'habitation, la juxtaposition d'immeubles d'habitation, l'absence ou la rareté des espaces verts, l'accroissement notable du nombre de voitures, les gaz d'échappement, les lumières des rues, les systèmes de chauffage, l'imperméabilisation des espaces provoquent toute une série de facteurs qui modifient notablement le climat des villes.

Aussi, la ville est un facteur de l'environnement qui modifie de façon considérable le climat d'un lieu donné, il en résulte un phénomène nouveau que nous appelons climat urbain. Etant donné que l'objectif de ce mémoire est d'étudier la relation qui existe entre le phénomène d'îlot de chaleur urbain et la densité du plan construit, il est important de bien saisir cette situation climatique engendrée par la ville. Par ailleurs, le bilan énergétique dans les environnements urbains doit tenir compte à la fois de paramètres physiques, de la complexité du milieu bâti, et de la chaleur anthropogénique.

L'étude du climat urbain dans ce chapitre vise à identifier ses composantes, ses causes ainsi qu'à expliquer leurs relations à certains éléments de l'urbanisme et par conséquent l'importance de la prise en compte des facteurs du climat dans la définition d'une bonne qualité de l'environnement urbain résultant. Ce qui va permettre l'identification des niveaux d'action les plus pertinents que l'architecte urbaniste doit considérer dès les premières phases de la conception urbaine pour offrir un climat urbain global favorable, qui représentera la base pour une intégration climatique à une échelle supérieure : la composition urbaine.

3.2 Paramètres de base influençant l'environnement urbain

Ils sont résumés comme suit :

- Le climat local, et plus spécifiquement le rayonnement solaire et le vent qui sont d'avantage influencés par le terrain.
- Le milieu bâti dans sa complexité, le terrain et les matériaux de construction
- La chaleur anthropique, produite par l'activité humaine : bâtiment, industrie et transport

3.3 Le climat urbain

Les villes et les espaces urbains, tels que les bâtiments, génèrent des ambiances thermiques à partir des conditions climatiques "génériques". Ces ambiances peuvent donc être plus ou moins favorables au confort thermique des usagers de la ville. Le climat urbain est dû essentiellement aux activités spécifiques à la ville et à la configuration générale de cette dernière. Ce dernier est difficile à décomposer, car la combinaison de plusieurs facteurs en même temps crée une situation complexe.

De nombreuses références sur le climat ont comparé les propriétés des milieux rural et urbain au point de vue climatique ¹ d'une façon générale, la ville se différencie de la campagne par :

- L'existence de bâtiments qui modifient le bilan énergétique, les mouvements de l'air, les températures, etc.
- Des activités urbaines qui constituent un apport d'énergie supplémentaire.
- Un taux plus au moins élevé de pollution.
- Des surfaces urbaines imperméables et un drainage rapide des eaux de pluies.
- Une faible végétation dans la ville.

Une étude menée par **Eugenio Collados et Rodrigo Sánchez** de l'université de Santiago ², sur cette même ville au Chili, traitant de la relation entre la radiation solaire et le climat urbain des villes, a révélé l'effet évident de l'urbanisation, des conditions climatiques et urbaines sur l'îlot de chaleur urbain, et dont les deux principaux facteurs responsables étaient les suivants :

¹ **Barry, G.R. and Chorley, R.J. (1978)**: Atmosphere, weather and climate, chapter7: urban and forest climates. Edition Lethuen, 3 Ed, pp 322-352.

² **Eugenio Collados et Rodrigo Sánchez**, Global radiation, energy budget and heat island mitigation in Santiago de Chile université de Santiago, Plea 2003. pp 3

- Les aires urbaines construites, ou plutôt l'occupation des sols par les constructions augmente l'absorption des radiations solaires comparées aux terrains vierges. L'augmentation d'absorption est plus importante lorsqu'on compare avec des terrains cultivés.
- La végétation est particulièrement effective dans la réduction de l'absorption des radiations solaires, à la fois par l'augmentation de la réflectance et l'absorption de la chaleur latente à travers l'évapotranspiration.

Des études récentes dont a fait l'objet la ville de Santiago, ont observé une augmentation de la température autour de 4°C sur une période de sept ans ³.

Aussi, **Thorsson et Eliasson** chercheurs au niveau du département de sciences de la terre, ont trouvé à travers une expérience sur le climat urbain de la ville de Göteborg menée en 2003, une différence de température de l'air de l'ordre de 3.8°C ⁴ entre un espace urbain ouvert et une aire construite adjacente dans la ville de Göteborg en Suède.

A travers ses lectures, il apparaît clairement que le facteur urbanisation, et plus précisément occupation des sols a un rapport avec l'augmentation de la température à l'intérieur de la ville. A titre d'exemple, le tableau 3.1 présente les effets d'une grande ville sur les phénomènes climatiques. Globalement, la radiation solaire nette est moindre en ville par rapport à la campagne mais l'énergie totale, les températures et les flux de chaleur sont plus importants. Les vents ont des vitesses réduites et leur direction et fréquences sont aussi modifiées.

Cependant l'ampleur de ces changements est variable, dépendant à la fois de la taille et de la morphologie de la ville, de l'importance des activités urbaines et du nombre de population, tel qu'il sera expliqué dans parties qui vont suivre.

³ **Romero A., Hugo and Ordenes S.,** Fernando (2001). *El Gran Santiago y su medio ambiente, Encuentro por Santiago* (Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable), Plea 2003.

⁴ **Thorsson S ET Eliasson I (2003):** An intra-urban thermal breeze in Göteborg, Sweden. *Theoretical and Appliedclimatology* 75, pp 93-104.

Variable	Changement	Magnitude
Radiation UV	Beaucoup moins	15-90 %
Radiation solaire	Moins	1-25%
Irradiation, Entrées	Plus	5-40%
Visibilité	Réduite	50%
Evaporation	Moins	50%
Flux de chaleur	Plus	10-50%
Turbulence	Plus grande	5-30% à 10m
Vitesse du vent	Diminuée	1-10°
Direction du vent	Altérée	1-3°C moyenne jusqu'à 12°C
Température	Plus chaud	
occasionnellement		
Humidité	Le jour, moins la nuit, plus	
Nuages	Plus de brume humide en ville,	
sous le vent	plus de nuages dans la ville	
Brouillard	Plus ou moins, selon la ville	
Précipitations	Moins de neige (convertie en pluie) probablement plus de précipitations totales dans la partie de la ville sous le vent.	

Tableau 3.1 : Effets de la ville sur les variables climatologiques, cas d'une ville de 1 million d'habitants, en latitude moyenne. Source : WMO 1996, D'après Oke1994.

3.3.1 L'îlot de chaleur urbain

C'est le phénomène le plus caractéristique du climat urbain. Les informations relatives à l'îlot de chaleur urbain sont très abondantes, car ce phénomène constitue depuis plusieurs décennies, l'objet d'étude principal de la climatologie urbaine ⁵ ce qui a d'ailleurs permis de mieux comprendre la complexité de ce dernier.

⁵ WMO 1986, WMO 1994. Dans ALI TOUDERT. F, *Intégration de la dimension climatique en urbanisme*. Mémoire de Magistère, EPAU Alger, Janvier 2000.

Le présent chapitre souligne en premier lieu, les liens entre l'îlot de chaleur urbain avec l'urbanisme, puis la description du phénomène plus en détails en donnant un résumé de quelques études sur l'îlot de chaleur urbain et l'urbanisation.

L'îlot de chaleur urbain est défini comme étant une zone urbanisée caractérisée par des températures estivales plus élevées que l'environnement immédiat, avec des différences qui varient selon les auteurs de 5°C à 10°C⁶. Il est aussi défini par la différence de température qui existe entre le centre de la ville et le milieu rural, qui se développe en règle générale la nuit par temps calme (Figure 3.1)

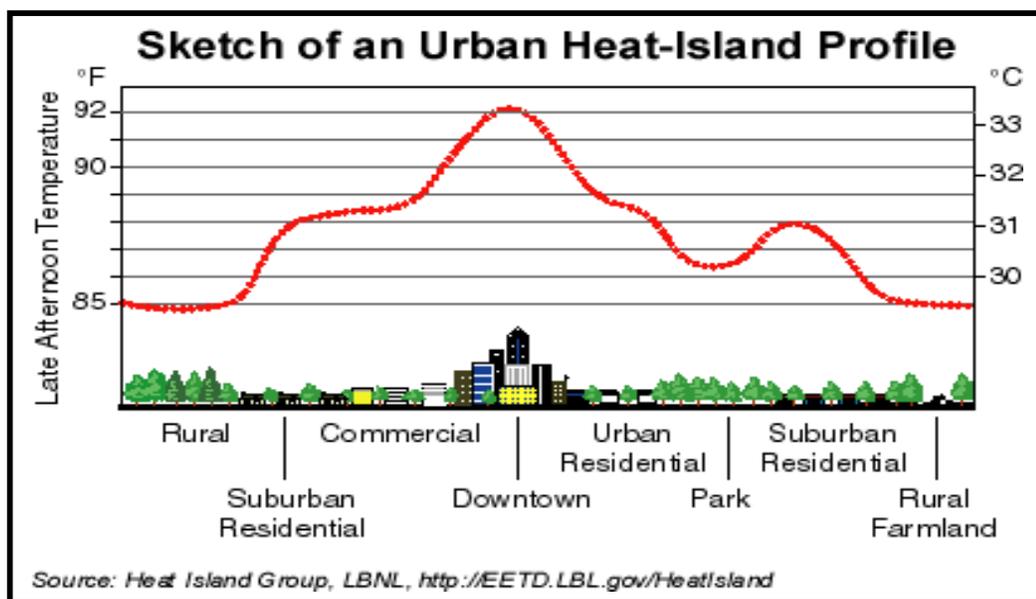


Fig. 3.1 Profil d'un îlot de chaleur urbain à Los Angeles.

Source: heat island Group 2002.

En effet, les différences de températures entre la ville et la campagne sont plus sensibles la nuit car la ville restitue la chaleur emmagasinée durant la journée plus lentement que son environnement rural. Toutefois, en présence de vent les températures tendent à s'uniformiser et donc à dissiper le phénomène (Figure 3.2). Son intensité est variable, de 3° à 5° en moyenne⁷ mais peut atteindre 8° à 10° voir 14° dans des cas extrêmes⁸ (Figure 3.3).

⁶ Guay, F et Baudouin, Y (2003), *Les îlots de chaleur urbains*, Collectivités viables/ Le bulletin d'information de vivre en ville, pp8-9.

⁷ Givoni, B. (1989), *urban design in different climates*, WCA-10, WMO/TD-N° 346, W.M.O.

⁸ Escourrou, G. (1991), *Le climat et la ville*, Ed Nathan, Géographie d'aujourd'hui, Paris.

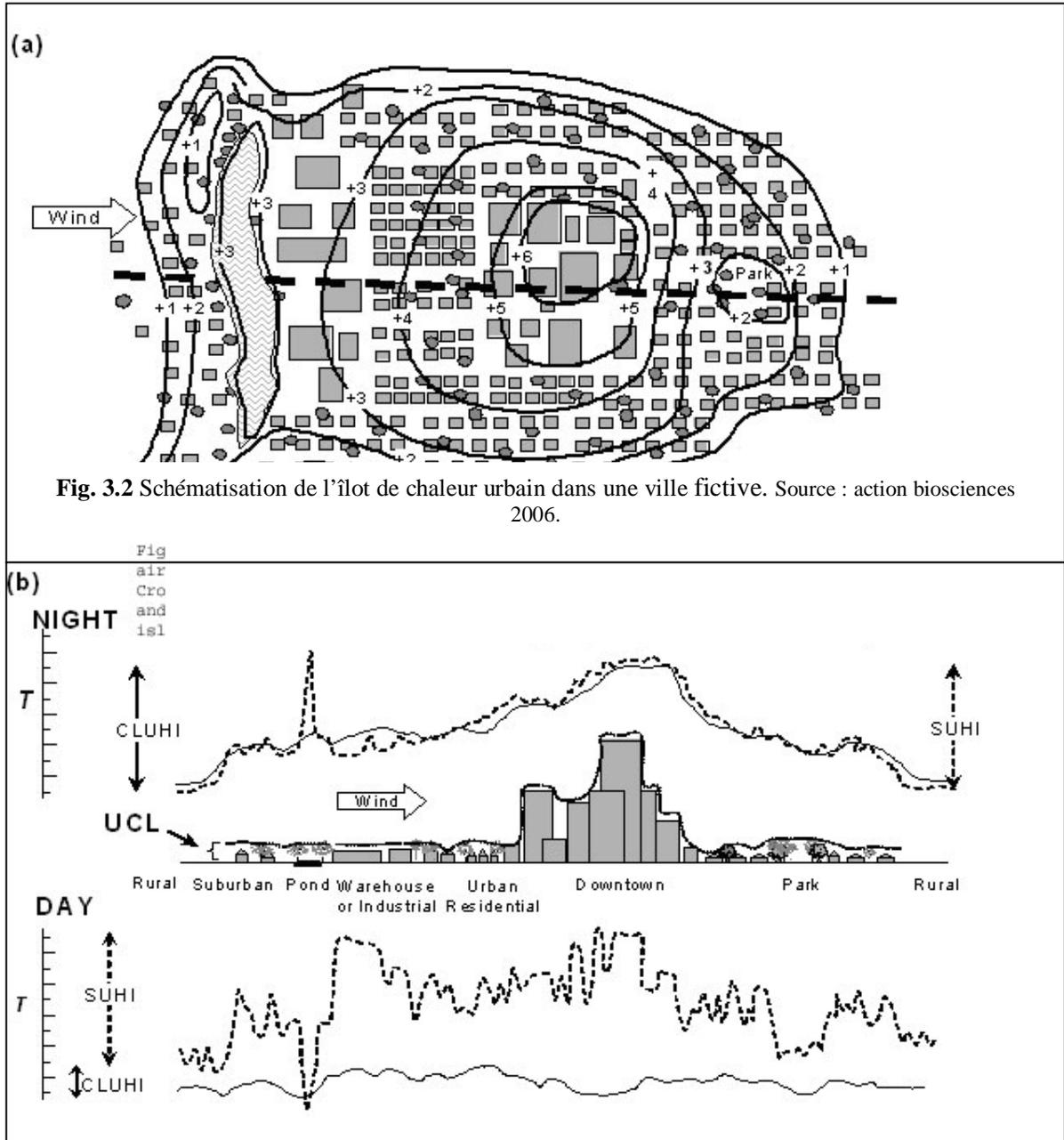


Fig. 3.3 Relation entre l'îlot de chaleur urbain et le régime des vents. Source : action biosciences 2006.

D'autres définitions stipulent que l'îlot de chaleur urbain est un phénomène qui apparaît dans la plupart des villes de moyenne et haute latitude, où les températures urbaines sont généralement plus élevées que les températures rurales au même moment, l'intensité de la différence peut être relativement importante selon les conditions météorologiques, les caractéristiques thermiques et géométriques de la ville et les sources anthropiques d'humidité et de chaleur ¹¹.

Par ailleurs, l'îlot de chaleur urbain n'est pas ressenti de la même manière en climat froid et en climat chaud. Dans le premier cas il est alternativement positif en hiver et négatif en été, par contre en climat chaud il est toujours défavorable ¹². Cependant, la recommandation générale est d'éviter de limiter son apparition car les surcoûts énergétiques qu'il impose sont, dans tous les cas, importants. D'ailleurs, cet objectif constitue aujourd'hui la stratégie privilégiée pour améliorer le climat urbain.

Afin de saisir les mécanismes qui l'engendrent, il faut se pencher sur le bilan radiatif et énergétique de la ville (Figure 3.4). Effectivement, le rayonnement net que reçoit le milieu urbain est inférieur au milieu rural, mais l'énergie enregistrée dans la ville est plus importante : elle est due essentiellement à l'ensemble des activités urbaines dites anthropiques : chauffage, éclairage, industrie, circulation ¹³ etc.

Le tableau 3.2 compare l'équilibre énergétique entre un milieu urbain et un milieu rural. Il révèle une quantité d'énergie stockée et sensible supérieure et une énergie latente inférieure en ville par rapport à la campagne.

¹¹ **De Hatten, A. (2002)**, Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain strasbourgeois-Elaboration d'une base de données climatiques, Mémoire de maîtrise de géographie, Université Louis Pasteur Strasbourg.

¹² **Oke, T.R.**, (1994): *Keynote address. Report of the technical conference on tropical urban climates*, 28 march-2 April 1993, Dhaka, Bangladesh, WCASP-30, WMO-N° 647, pp xxiii-xxvii.

¹³ **Escourrou, G. (1991)**, *Le climat et la ville*. Ed Nathan, Géographie d'aujourd'hui, Paris

3.3.2 Bilan thermique en milieu urbain :

Le bilan énergétique du milieu urbain est établi par les gains énergétiques, les pertes et l'énergie stockée. Dans une ville, l'énergie est stockée principalement dans les parties opaques, et en particulier les bâtiments et les rues. En général, le bilan énergétique s'écrit sous la forme :

$$\text{Gains énergétiques} = \text{Pertes} + \text{Énergie stockée} \quad ^{14}$$

La partie gauche de cette équation globale contient:

- Le flux net radiatif Q_r (flux perdu par les milieux opaques dans leurs échanges radiatifs)
- Le flux de chaleur anthropique Q_T produite par l'activité humaine (transport, industrie, production d'énergie électrique, bâtiment, etc.)

La partie droite contient :

- Le flux de chaleur sensible Q_E perdue par l'environnement urbain
- Le flux de chaleur latente Q_L perdue par l'environnement urbain
- Le flux de chaleur advectif perdu par l'environnement urbain avec son environnement extérieur (sensible et latent) Q_A
- L'énergie stockée dans les éléments opaques, Q_s .

Cependant, Oke (1988b) a suggéré à travers une autre formule pour de grandes échelles et pour l'ensemble du paysage urbain, qu'une approche utile de la consommation d'énergie en ville peut être donnée par l'équation suivante :

$$Q_{net} + Q_a = Q_{bat} + Q_l + Q_s$$

Q_{net} : rayonnement net

Q_a : énergie anthropique

Q_{bat} : Chaleur stockée dans les bâtiments

Q_l : Chaleur latente

Q_s : Chaleur sensible

¹⁴ TAREB, « Architecture Basse Energie », *Energie dans l'environnement urbain*. En ligne sur Internet : [\[http://www.learn.londonmet.ac.uk/\]](http://www.learn.londonmet.ac.uk/) (Page consulte le 2.12.2005)

Le rayonnement net et la chaleur sensible ne peuvent pas être modifiées par l'homme directement ; il apparaît donc que pour modifier l'îlot de chaleur urbain, il faudrait diminuer la quantité de chaleur stockée par les bâtiments Q_{bat} , réduire l'énergie anthropique Q_a et augmenter la chaleur latente Q_l (Fig. 3.5).

3.3.2.1 Effets du stockage dans les bâtiments sur l'îlot de chaleur urbain

Q_{bat} : Chaleur stockée →
Dans les bâtiments

- Densité urbaine (densité du plan bâti, étalement horizontal, population...)
- Géométrie urbaine
- Albédo urbain

Ce phénomène de stockage est dû à plusieurs causes. D'une part, à l'absorption de la radiation durant la journée par les bâtiments, favorisée par les multiples réflexions du rayonnement dans les profils urbains, et qui augmentent avec la hauteur des bâtiments. D'autre part, à la réduction de l'irradiation de grande longueur d'onde durant la nuit et par conséquent la lenteur de refroidissement des bâtiments, due à la faible vue du ciel des différentes surfaces urbaines, comparativement au milieu rural¹⁵.

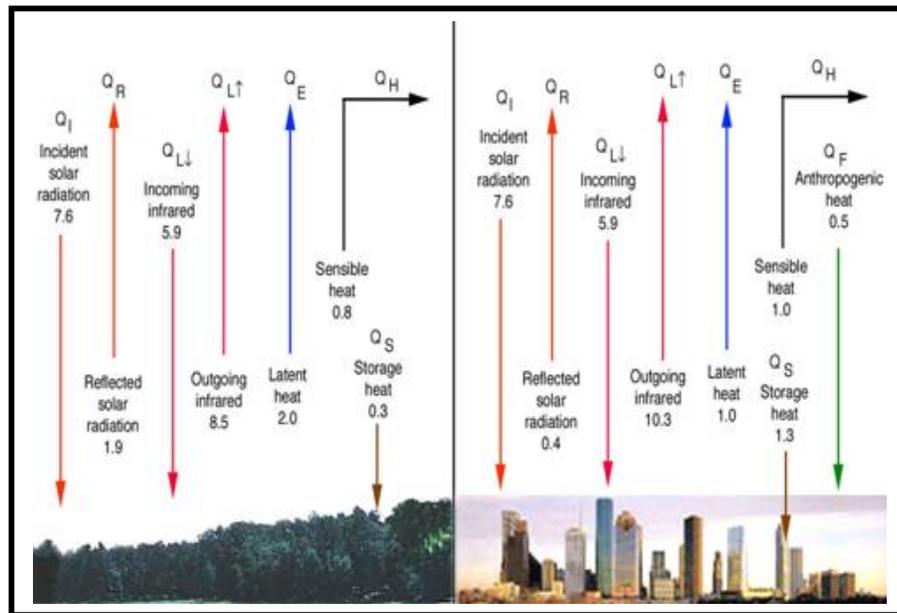


Figure 3.5 : Balance énergétique typique Journalière en été, en milieu rural et en milieu urbain.

Source : Ronald L. Sass 2000.

¹⁵ Oke 1988a, Arnfield 1990b, Todhunter 1990, Dans ALI TOUDERT. F, *Intégration de la dimension climatique en urbanisme*, Mémoire de Magister, EPAU Alger, Janvier 2000, pp 42.

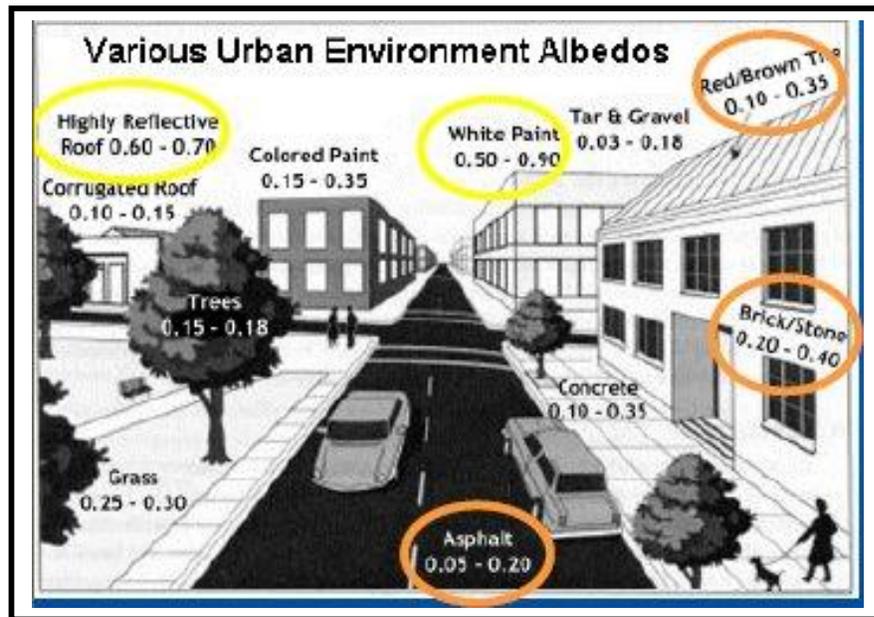


Figure 3.6 Schématisation de différents albédos dans la ville. **Source** : J.Pernot 2003.

Il y a aussi, la faible capacité de la ville à réfléchir le rayonnement solaire qu'elle reçoit (Figure 3.6), ce qui est du essentiellement à l'albédo des différents matériaux ainsi que la géométrie urbaine, ce qui tend à accroître le stockage dans le tissu urbain en augmentant la quantité d'énergie potentielle à stocker. En effet, l'albédo des villes (capacité de réflexion du rayonnement solaire) est moins important que celui de la campagne d'environ 16% (Figure 3.7), il dépend de l'aspect de la ville, des proportions plus ou moins grandes d'espaces verts, des couleurs des murs et des toits¹⁶. Ces éléments seront traités plus en détail dans les paragraphes qui vont suivre, afin de souligner l'importance et la part de chaque élément dans la contribution à l'augmentation de la température à l'intérieure de la ville.

¹⁶ Escourrou, G. (1991), *Le climat et la ville*. Ed Nathan, Géographie d'aujourd'hui, Paris.



Figure 3.7 Schématisation du rayonnement solaire reçu par la ville. Source : MIES 2005.

La géométrie urbaine et la nature des surfaces jouent un rôle important dans le microclimat urbain et des études ont démontré la forte relation qu'il y a entre différents paramètres météorologiques et la géométrie urbaine. Ils ont, ainsi, été identifiées comme étant des facteurs déterminants pour expliquer l'îlot de chaleur urbain à travers ces processus de stockage de l'énergie. La relation directe entre température de l'air, températures de surfaces, et la densité du milieu urbain a été établie ¹⁷.

En effet, l'îlot de chaleur urbain dépend plus de la densité de la ville que de sa taille ¹⁸ car ce phénomène existe aussi bien pour les grandes villes que les villes moyennes ¹⁹, ceci signifie que la configuration de la ville, la multiplication des activités et des besoins énergétiques sont les plus décisifs dans l'apparition de ce phénomène. L'action de l'urbaniste devient explicite et ce phénomène de stockage peut être contrôlé à deux niveaux :

¹⁷ **Todhunter, P.E. (1990)**, *Microclimatic variations attributable to urban canyon asymmetry and orientation*, *Physical geography*, vol 11, n° 2, pp131-141

¹⁸ **Barry, G.R. and Chorley, R.J. (1978)**: *Atmosphere, weather and climate, chapter7: urban and forest climates*. Edition Lethuen, 3rd Ed, pp 322-352

¹⁹ **Givoni, B. (1989)**, *Urban design in different climates*, WCA-10, WMO/TD-N° 346, W.M.O.

3.3.2.2 Conception tridimensionnelle du tissu urbain

Selon A. Toudert, tout choix de densité, de profils urbains, d'organisation au sol agit sur la chaleur stockée dans les bâtiments et par conséquent sur le bilan thermique global. Ces aspects sont déterminés principalement à l'échelle de la composition urbaine par rapport à des impératifs de contrôle climatique, dans le but justement de contrôler le bilan thermique des constructions, donc de la ville.

3.3.2.3 Contrôle de la nature des surfaces urbaines

Toujours selon le même auteur, il apparaît que la seconde alternative pour minimiser le stockage de chaleur dans les bâtiments *est d'augmenter l'albédo urbain*. Plusieurs recherches ont été menées dans ce sens, afin de déterminer et évaluer l'effet potentiel de l'utilisation de surfaces claires ou réfléchissantes, à albédo élevé dans la diminution du phénomène d'îlot de chaleur urbain. A ce propos, des essais ont été menés par Taha en 1997, en utilisant la simulation numérique pour déterminer l'impact de l'augmentation de l'albédo de la ville sur la diminution de l'îlot de chaleur urbain par l'utilisation de surfaces claires dans le bassin de Los Angeles. Il est apparu qu'une différence de 2°C voire de 4°C peut être atteinte en augmentant l'albédo de 0.13 dans les zones urbaines du bassin, à savoir les toits et les routes²⁰ (Figure 3.8).

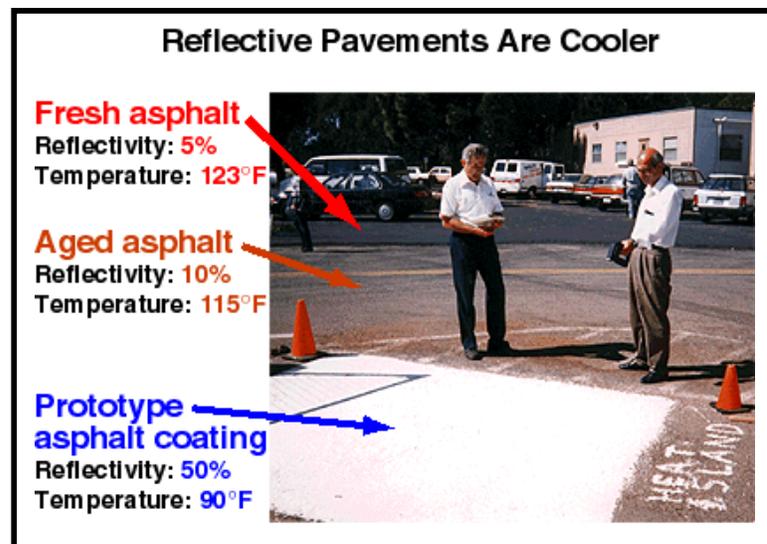


Figure 3.8 Illustration de l'expérience menée par le Groupe de Hashem Akbari. Source : Heat Island group 2000.

²⁰ Taha et al (1997), Mesoscale meteorological and air quality impacts of increased urban albedo and vegetation. *Energy and Buildings*, Vol 25, pp 169-177.

Pour les zones industrielles, la végétation ne représentait que 8-14% de la surface, tandis que les toits et les pavages représentés les valeurs respectives de 19-23% et de 29-44%. Les zones résidentielles ont quant à elles représentées une large gamme de surfaces urbaines ²¹. En effet, et en moyenne, la végétation recouvrait 36% de la surface, les toits 20%, et les surfaces pavées 28%. Ces pourcentages ont permis de dégager à la fois, les différents types de surfaces urbaines, mais surtout la quantité que représente chaque une d'entre elle dans l'aire de la ville de Sacramento, afin de pouvoir définir avec précision leur impact sur les paramètres météorologiques et la qualité de l'air d'une ville.

3.3.2.4 Impact de l'énergie anthropique sur l'îlot de chaleur urbain

La chaleur anthropique est due essentiellement au transport, à la production d'énergie et aux bâtiments (Figure 3.9). Cette chaleur émise par l'activité humaine peut modifier de manière significative la température ambiante car elle devient parfois égale aux apports radiatifs globaux.

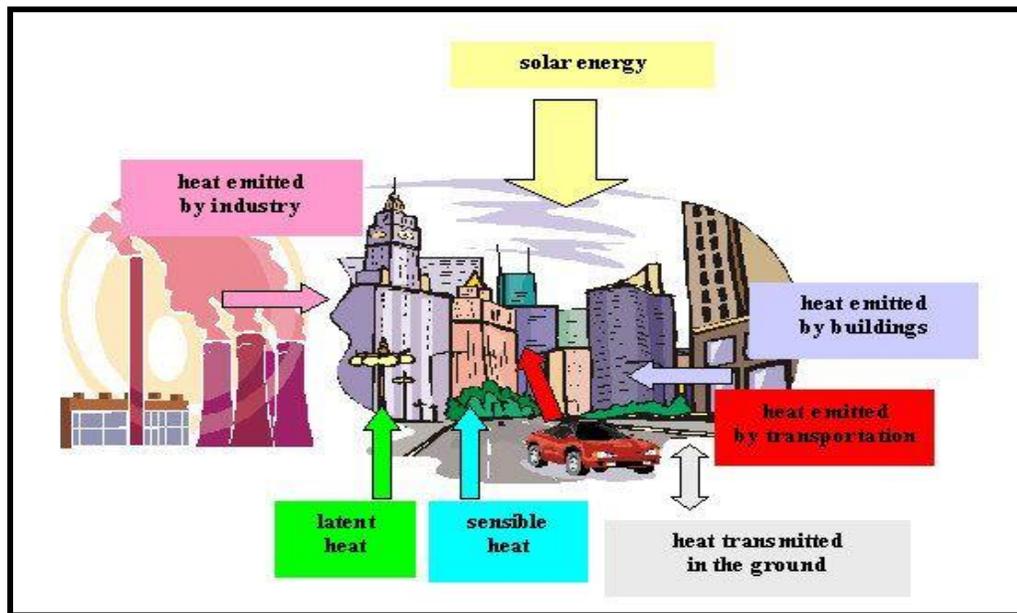


Figure 3.9 Schématisation de la chaleur émise vers l'atmosphère dans la ville. Source : ESPERE-ENC 2005.

²¹ Akbari, H. and al (2001), *characterizing the fabric of the urban environment: A case study of Sacramento, California*, Urban island group, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley

Qa : énergie anthropique



- Chauffage / refroidissement et éclairage
- Industries
- Transports
- Circulation urbaine
- Métabolisme Humain (négligeable)

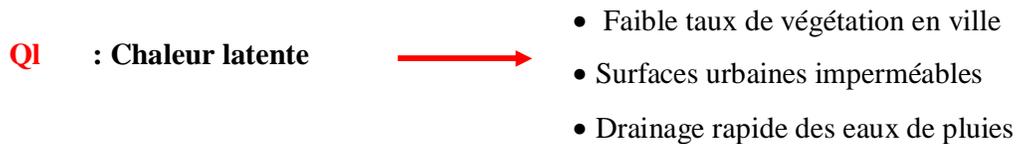
La diffusion de l'énergie à partir des intérieurs des bâtiments, en raison de la production de chaleur de source anthropique, mène à l'accroissement de la chaleur sensible. Ce surplus d'énergie occasionne, généralement, une situation d'inconfort thermique. L'architecte urbaniste peut modifier l'énergie produite par ces activités urbaines en favorisant une conception qui exploite les énergies naturelles. Il s'agit donc, de déterminer les critères géométriques destinés à satisfaire les objectifs d'accès au soleil, de refroidissement, de ventilation, etc qui permettent de remplacer dans un large mesure les moyens actifs de chauffage et d'éclairage, source de chaleur, par des moyens passifs.

Ville	Taux d'émission anthropique (W/m ²)	Flux radiatif net global (W/m ²)
Chicago	53	-
Cincinnati	26	-
Los Angeles	21	108
Fairbanks	19	18
St. Louis	16	-
Manhattan, New York City	117 - 159	93
Moscou	127	-
Montréal	99	52
Budapest	43	46
Osaka	26	-
Vancouver	19	-
West Berlin	21	57

Tableau 3.3 Taux d'émission anthropique et bilan radiatif net. Source : Tareb 2005.

Le tableau 3.3 fait apparaître des données fournies par Taha (1997), relatives aux niveaux de chaleur anthropique et de flux radiatif net pour des villes Américaines, européennes et asiatiques. Il apparaît que ces derniers, peuvent varier de manière importante. Selon A. Toudert, même si c'est indirectement lié au climat, la rationalisation des transports urbains, ainsi que la réduction des distances de déplacements des usagers en ville permettraient de réduire de manière très sensible la circulation urbaine, par conséquent le taux d'énergie utilisée et la pollution qui en résulte.

3.3.2.5 Effets de la végétation sur la modification de la chaleur latente



La chaleur latente est l'énergie utilisée pour l'évaporation de l'eau et l'évapotranspiration des plantes et qui sert à faire baisser la chaleur sensible et par conséquent l'îlot de chaleur urbain. D'une manière générale, la ville se caractérise par un taux très élevé de surfaces imperméables qui favorisent le drainage rapide des eaux de pluie réduisant ainsi, le potentiel d'eau évaporable. D'après Escourrou (1991), l'évaporation serait réduite respectivement de 19%, 50%,75%, pour une surface imperméabilisée de 25%,38%,59%. A l'inverse la chaleur latente dans la campagne est très importante grâce à la présence d'espaces verts qui permettent le captage d'eaux pluviales et la restitution ultérieure de l'eau à l'air à travers l'évaporation du sol et l'évapotranspiration des plantes ²².

Toutes les recherches liées au climat urbain et à l'îlot de chaleur urbain, sont d'accord sur ce point, et tendent à recommander ce type de stratégie dans les villes, à savoir la présence d'espaces verts compte tenu de la multitude d'avantages qu'ils offrent à la ville. La simulation numérique menée par Avissar (1996), en rapport avec les effets potentiels de la végétation sur l'environnement thermique urbain global ²³ a permis de donner des résultats significatifs (tableau 3.4).

²² Escourrou, G. (1991), *Le climat et la ville*. Ed Nathan, Géographie d'aujourd'hui, Paris.

²³ Avissar, R. (1996), *Potentiel effets of vegetation on urban thermal environment*, Atmosphere environment, vol 30, n°3, pp 437-448.

En effet, Avissar a relevé les points suivants :

1. La végétation affecte directement les éléments du climat (la température, le vent, l'humidité,...) dans les aires urbaines.
2. Le rapport végétation/ bâti agit directement sur la variation de la chaleur latente, si il augmente, cette dernière augmente aussi et apparaît une baisse de la chaleur sensible. Ce qui permet aux températures de l'air de se réduire progressivement pour rejoindre les conditions climatiques des zones rurales entourant les aires urbaines en question.

Variables	Caractéristiques
Types de végétation	Diversifié : arbre, arbustes, gazon, distribuée aléatoirement dans la ville
Cadre bâti	Constitué de zones industrielles, commerciales, résidentielles. Inclut des zones de grandes densités et des espaces pavés non-batis
Milieu rural environnant	Aride, humide
Conditions de vent	0 m/s, 5m/s

Tableau 3.4 Conditions de simulation de la végétation en milieu urbain menée Par Avissar (1996). **Source** : A. Toudert 2001.

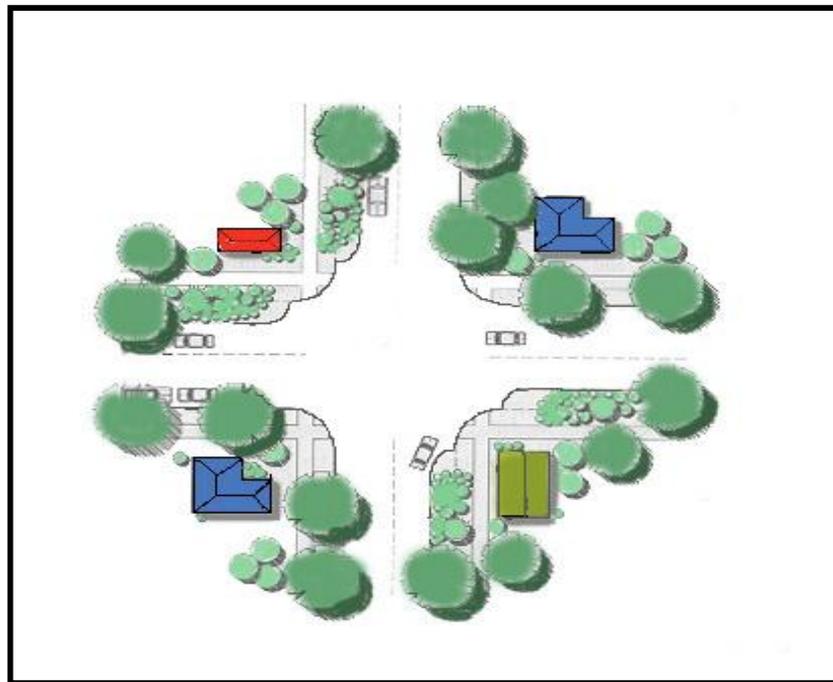


Figure 3.10 Exemple d'aménagement d'espace vert dans une rue résidentielle. **Source** : K.Minakuchi 2000.

Ville	Caractéristiques de l'expérience	Différence de températures $\Delta T^{\circ}\text{C}$	Economies d'énergie	Sources
Nankin , Chine	3.5 millions d'arbres 1.5million d'habitants Plantés entre 1952 et 1982	1.8 °C jusqu'à 3°C à long terme	-	Davis 1990
Tucson , Arizona , USA	500 000 arbres prévus	-	236.5 millions de dollars pour un horizon de 40 ans	MC Pherson 1994
Los Angeles , USA	10 millions d'arbres	Baisse de 2°C au centre 1°C à la périphérie	-	Taha et Al 1997

Tableau 3.5 Exemples d'expériences ayant révélé une modification substantielle du climat urbain par l'usage de la végétation. **Source** : A. Toudert 2001.

Le tableau 3.5 illustre ces résultats relatifs au rapport proportions des espaces verts et aire bâti. L'impact des espaces verts a été aussi vérifié, il apparaît que plus la dimension de l'espace vert est importante plus l'étendue de son effet sur son environnement immédiat est grande.

Jauregui (2000) a trouvé que le parc de Chapultepec à Mexico représente une zone de fraîcheur dans la ville couvrant 500 ha où l'on relève une baisse des températures de 2° à 3°C dans les parties proches. La température diminue de 1°C en saison humide et de 4°C en saison sèche à 700m du parc. L'influence du parc est ressentie sur un rayon de 2 kilomètres²⁴. Par ailleurs, l'étude menée en 1998 par V.T. Ca et al²⁵ sur le parc central de la nouvelle ville de Tama au Japon, a révélée que l'influence du parc de 35 ha pouvait atteindre une distance de 1 km dans la direction du Nord lorsque le vent est important.

²⁴ **L.shashua-bar, M-e .Hoffman (2000)**, Vegetation as a climatic component in the design of an urban street- An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees, Journal of Énergie and building 31, pp221.

²⁵ **V.T. Ca, T.Asaeda, E.M. Abu**, *Reduction in air conditioning energy caused by a nearby park*, Journal of Énergie and building 29 (1998), pp 83-92.

Enfin, en Israël, Givoni a quant à lui démontré, que l'effet rafraîchissant du parc Biniamin de Haïfa était perceptible 20 à 150m à l'extérieur de ce dernier ²⁶.

L'efficacité de la végétation par rapport au climat dépend d'un autre aspect important qui est la localisation dans la ville, car la végétation est rarement projetée dans le seul souci de tempérer le microclimat des villes, c'est pour cette raison qu'il est important de se pencher sur les résultats d'expérience réalisée pour définir les meilleures localisations pour une efficacité climatique optimale.

L'expérience menée à Chicago par la simulation numérique évaluant les coûts et les profits d'un frêne localisé dans différentes situations urbaines : parc, cour résidentielle, rue, autoroute et zone d'habitat collectif, pour un horizon de 30 ans en tenant compte de la croissance de l'arbre. Les résultats ont montré que les grandes économies sont prévues pour les zones résidentielles ²⁷. Aussi, les prévisions données pour le projet de tuscon pour la plantation de 500 000 arbres ²⁸, évalués par le biais d'une simulation numérique de la consommation d'électricité pour le refroidissement dans les bâtiments, ont montré que les plus grands bénéfices concernent les cours. Cette expérience a même révélé que la plantation d'arbres est un bon investissement pour le secteur public sur les plans économiques, environnemental et esthétique, et ce, suite à la comparaison coûts/ profits à long terme.

Ainsi, la végétation en étant planifiée de façon judicieuse peut être utilisée pour atténuer quelques uns des effets thermiques négatifs générés par le développement urbain matérialisés par l'îlot de chaleur urbain, les espaces verts sont toujours souhaitables car leur efficacité augmente avec leur taille et leur localisation optimale à l'intérieure des villes.

²⁶ **L.shashua-bar, M-e .Hoffman (2000)**, *Vegetation as a climatic component in the design of an urban street- An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees*, Journal of Énergie and building 31, pp 222.

²⁷ **McPherson, E.G et al (1994b)**, *Chicago's urban forest ecosystem : Results of the Chicago urban forest climate project*. USDA forest service, general technical report NE-186.

²⁸ **McPherson, E.G (1992)**, *Shading urban heat islands in U.S desert cities*, Wetter leben, vol.44, n° 1-3, pp 107-123.

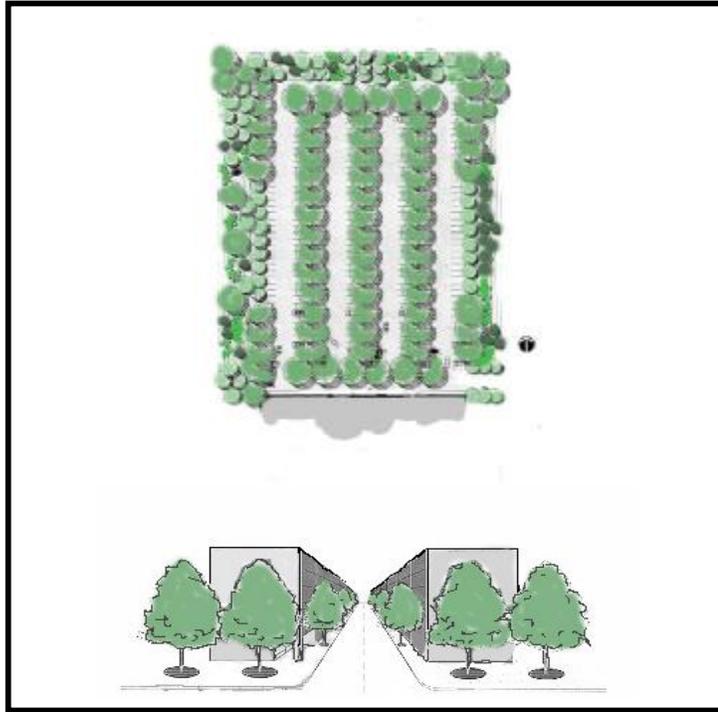


Figure 3.11 Exemples d'aménagement d'arbre dans un parking et le long d'une rue .

Source : K.Minakuchi 2000.

En effet, ces derniers sont donc les plus recommandés pour les zones d'habitation résidentielles, compte tenu de leur contribution effective à la réduction de la consommation énergétique grâce à l'ombrage, l'évapotranspiration et la réduction des vents par l'effet d'écran végétal autour des bâtiments (Figure 3.11). Enfin, la réflectivité de la ville peut être modifiée par le contrôle de la géométrie urbaine, puisque l'absorption de la radiation dépend, aussi de l'incidence des rayons sur les surfaces réceptives.

3.3.3 La géométrie urbaine

La géométrie urbaine a été définie comme étant une source d'influence directe sur les paramètres microclimatiques urbaines d'un lieu donné ²⁹. En effet, cette dernière intervient directement dans la détermination du confort thermique et du climat urbain dans une ville donnée, car il y a un lien entre chaque paramètre climatique et les éléments constitutifs de la géométrie urbaine, à savoir ;

²⁹ **Todhunter, P.E. (1990), *Microclimatic variations attributable to urban canyon asymmetry and orientation*. Physical geography, vol 11, n° 2, pp131-141.**

Le profil urbain ou profil de la rue (H/L), la densité du plan, l'ouverture au ciel (Sky view factor), l'orientation par rapport au soleil, la géométrie du bâtiment. Des études menées sur le climat urbain ont révélé que l'apparition de l'îlot de chaleur urbain dépend principalement de la densité urbaine³⁰ et que la chaleur est stockée dans les bâtiments, ce qui contribue à l'élévation de la température en milieu urbain³¹.

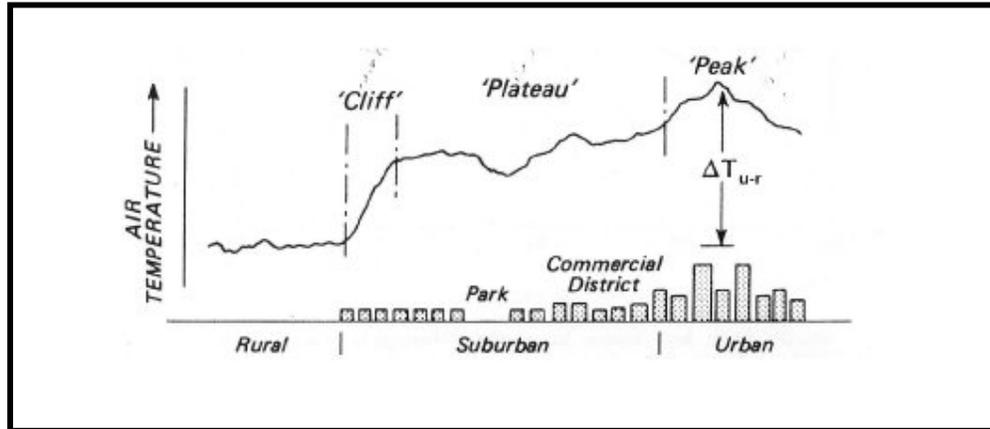


Figure 3.12 Coupe sur l'îlot de chaleur urbain et les différentes couches au dessus de la ville. Oke 1978. Source : N.Ringenbach 2004.

En effet, L'air au dessus de la ville peut être divisé en “ la canopée urbaine” et la couche limite située au dessus de la ville appelée “ dôme urbain” (Figure 3.12). La canopée urbaine comprend une multitude de microclimats qui sont déterminés par la nature des alentours, de leur géométrie, des matériaux et de leurs propriétés³². La limite supérieure de la canopée varie à cause de la hauteur variable des bâtiments et de la vitesse du vent. La distribution des températures dans la canopée urbaine est affectée par le bilan radiatif.

Le rayonnement solaire incident atteint principalement les toitures, les murs verticaux et seule une faible part atteint le sol. Ces diverses surfaces émettent des rayonnements de grande longueur d'onde dont une partie importante est interceptée par les autres bâtiments, ce qui a pour effet de diminuer globalement les pertes radiatives. La part de flux radiatif absorbé est alors plus élevée que dans une zone rurale, et la température d'équilibre est ainsi plus élevée.

³⁰ Givoni, B. (1989), *Urban design in different climates*, WCA-10, WMO/TD-N° 346, W.M.O.

³¹ Oke, T.R. (1988b), *The urban energy balance*, Progress in physical geography, vol.12, pp 471-508.

³² Idem, pp 8.

3.3.4 Le profil de la rue (H/L) ou canyon urbain

On entend par profil de la rue la proportion qui existe entre la hauteur de la construction (H) et la largeur de la rue (L) (Figure 3.13). Cette proportion peut également être exprimée par le pourcentage d'ouverture au ciel SVF (Sky view factor), qui représente la proportion entre la radiation reçu par une surface plane quelconque et celle reçu par l'environnement radiatif sphérique au moyen des photographies du « Fish eye » orienté vers le point zénith dans le ciel ³³.

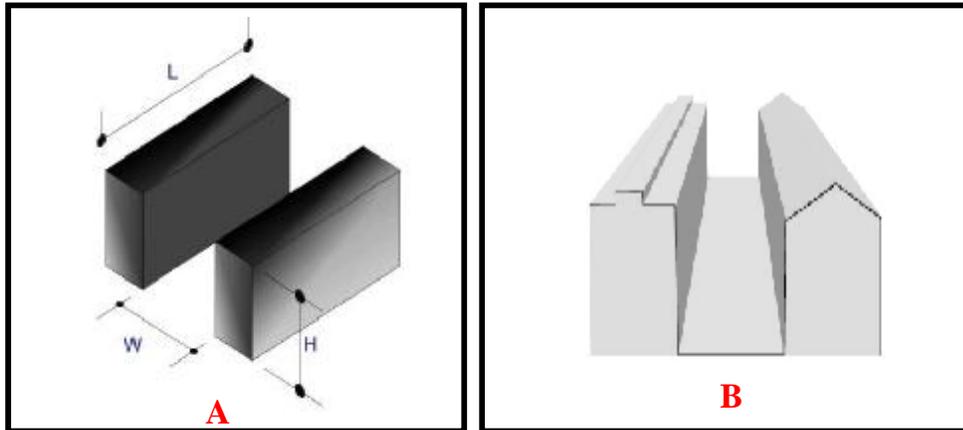


Figure 3.13 Le canyon urbain. **Source** : TAREB, architecture basse énergie
A : Paramètres géométriques d'un canyon urbain **B** : Schéma d'un canyon urbain

En effet, le canyon urbain intervient de manière direct dans la définition de la quantité de rayonnement solaire que reçoit une surface, car il conditionne le taux de radiation reçu, donc stockée par les constructions (Figures 3.14 et 3.15). C'est ainsi que le tissu urbain emmagasine la chaleur pendant la journée, pour la restituer la nuit permettant ainsi le refroidissement des structures. La distribution des températures d'air dans un canyon urbain influence la consommation énergétique des bâtiments. Une augmentation de la température en période chaude augmente les charges de refroidissement dues à la ventilation et aux transferts à travers l'enveloppe.

³³ Lindberg, F. (2005), *Microclimate and Behaviour studies in an urban space- Methodology consideration in a multidisciplinary project*, Goteborg university, pp 2.

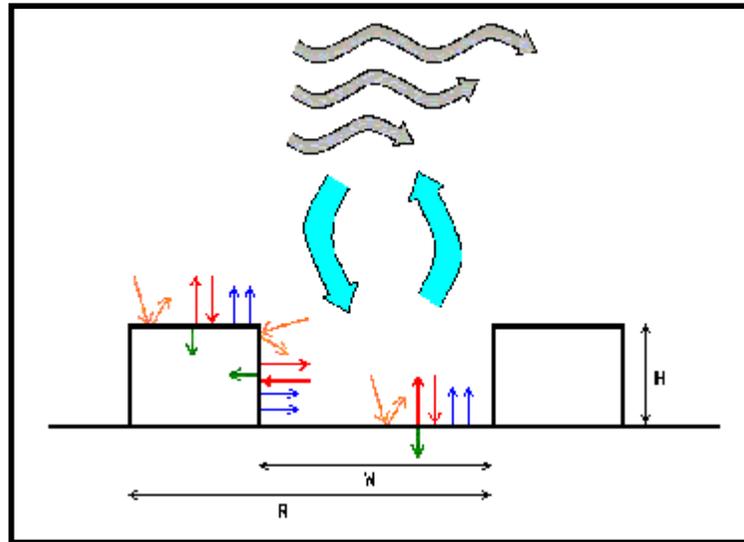


Figure 3.14 Schématisation du profil de la rue et de la couche limite urbaine. Source : K.Minakuchi 2000.

Selon Oke, la relation entre la géométrie urbaine et la restitution de chaleur représente la perte de radiation en grande longueur d'onde et son étroite liaison avec la géométrie de la rue ³⁴, par conséquent, toute surface ouverte au ciel rayonne car les températures de surfaces sont généralement plus élevées que les températures du ciel. Il affirme par ailleurs, que les valeurs maximales de l'îlot de chaleur urbain sont rapportées au facteur de vue du ciel (ϕ) et donc à la géométrie de la rue, donnée par H/L au centre ville.

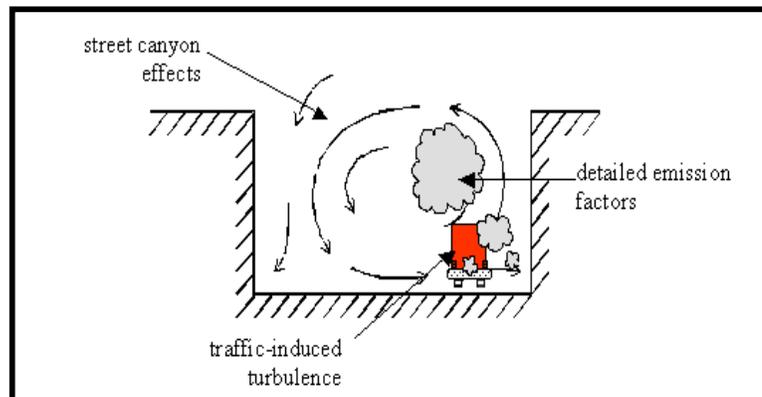


Figure 3.15 Schématisation des turbulences qui se crée dans le profil de la rue. Source : ADMS-Roads 2005.

³⁴ Oke, T.R. (1988a), *Street design and urban canopy climate*, Energy and buildings, vol 11, pp 103-113.

Une autre étude en relation avec l'ombre et le profil de la rue menée par Bourbia (1999), sur la ville Algérienne d'El Oued en comparant les mesures de températures pour des espaces extérieurs, au niveau de deux sites dont l'un est traditionnel et l'autre contemporain, au moyen de simulation numérique ³⁵. Une température journalière élevée a été enregistrée au niveau des rues du site contemporain, en comparaison avec les profils de la rue traditionnelle, et parfois même plus élevée que la mesure enregistrée par la station météorologique.

Selon l'auteur, la température journalière élevée enregistrée au niveau des rues du site contemporain, était due principalement à la nature de l'exposition des différentes surfaces horizontales (plancher) et verticales (murs) qui sont exposés pendant une bonne partie de la journée à d'intenses radiations solaires, dont l'origine, se rapporte à un important manque d'ombrage. La simulation a par ailleurs révélée, une influence considérable de l'orientation des rues ainsi que leur dimensions sur l'ombrage, qui à son tour affecte directement les conditions microclimatiques des rues, par conséquent, du site en question.

3.3.5 La densité du plan

L'usage des sols est une phase importante dans la conception urbaine (Figure 3.16). En effet, cette dernière apparaît comme étant décisive dans la localisation des différentes activités urbaines, tels que l'habitat et l'industrie selon l'exigence de chaque un en matière de conditions climatiques.

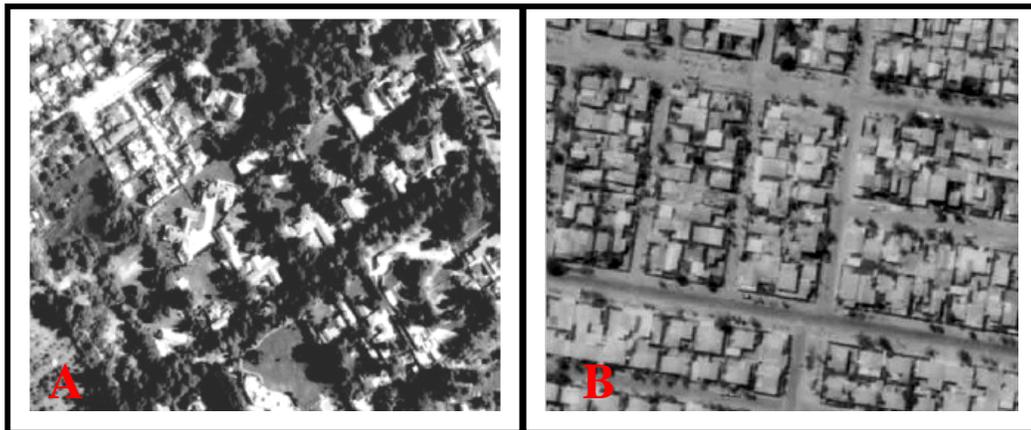


Figure 3.16 Exemples de densités en plan dans la ville de Santiago, Chili.

Source : Plea 2003.

A : Groupement d'habitation à forte densité avec végétation

B : Groupement d'habitation à forte densité avec peu de végétation

³⁵ Bourbia, F. (1999), *Building cluster and shading in hot dry climate*, PhD Thesis, university of Reading, pp i.

Cette température d'air au sein d'une zone urbaine est influencée par :

- Le bilan radiatif urbain,
- Les températures des surfaces du canyon.

§ Le bilan radiatif urbain : Le rayonnement solaire incident sur des surfaces urbaines est pour partie absorbé et donc transformé en chaleur sensible. La plupart du rayonnement solaire est intercepté par les toits et les parois verticales. Une part relativement faible atteint le niveau du sol. La peau du bâtiment et le sol émettent des rayonnements de grande longueur d'onde en fonction de leur température ³⁶, le pourcentage de flux émis vers le ciel est fonction directement du facteur de forme sous lequel la surface émettrice voit le ciel. Le bilan radiatif entre le rayonnement absorbé par une surface et celui qu'elle perd dans ses échanges avec le ciel est un élément important qui influence le bilan thermique total des zones urbaines.

§ Les températures des surfaces du canyon :

Les caractéristiques radiatives et thermiques des matériaux utilisés dans l'environnement urbain et particulièrement l'albédo (réflectivité solaire) et l'émissivité de grande longueur d'onde ont un effet important sur l'équilibre thermique des surfaces. L'albédo d'une surface est défini comme la réflectivité hémisphérique globale ³⁷. C'est pour cette raison, que l'utilisation de matériaux à fort albédo réduit la quantité d'énergie solaire absorbée par une surface et réduit de ce fait sa température. Les matériaux à forte émissivité de grande longueur d'onde vont également avoir des pertes radiatives importantes et leur température sera également moins élevée.

Plus les températures de surface sont faibles, moins l'effet d'îlot de chaleur est important. L'effet d'une augmentation des températures urbaines sur la demande énergétique des bâtiments est forcément différent en hiver et en été. En été, une augmentation des températures conduit à une augmentation de la puissance instantanée de conditionnement et donc à une augmentation de la demande en électricité, et ainsi à une augmentation de l'émission globale de gaz à effet de serre et autres polluants.

³⁶ TAREB, « Architecture Basse Energie », *Energie dans l'environnement urbain*. En ligne sur Internet : [\[http://www.learn.londonmet.ac.uk/\]](http://www.learn.londonmet.ac.uk/) (Page consultée le 2.12.2005)

³⁷ Idem. (Page consultée le 2.12.2005)

Aida (1982) affirme que plus l'emprise au sol est élevée plus grande est la quantité de radiation réfléchie ³⁸, et ce, en examinant la relation entre radiation solaire globale, directe et diffuse et sa réflexion sur des modèles expérimentaux représentant une structure urbaine. L'objectif était de définir la façon avec laquelle la structure urbaine modifie ses propriétés de réflexion attribuée simplement à la géométrie, en fixant la quantité de surface. Les résultats font apparaître une décroissance de l'albédo lorsque les irrégularités de surfaces augmentent, ils sont fonction de la hauteur du soleil au zénith tout au long de l'année. Le pourcentage d'augmentation d'absorption due à ces irrégularités est estimé à 20%, cependant, l'orientation ne semble pas avoir beaucoup d'effets.

Selon Golany (1996), du point de vue climatique, les recommandations globales peuvent être directement rapportées au concept de ségrégation-intégration ³⁹. Ce dernier stipule, que d'un côté, il y a la ségrégation entre les activités incompatibles telles que les aires urbaines d'habitation par rapport aux industries et à l'infrastructure primaire de la ville, et d'un autre côté, l'intégration entre aires résidentielles et aires d'activités diverses, à savoir les commerces, bureaux et écoles. Par ailleurs, et selon Oke, l'influence de la densité du plan sur l'augmentation des températures peut être exprimés à travers la géométrie du la rue H/L (Figure 3.17).

La simulation numérique bidimensionnelle a permis d'avoir des résultats très intéressants, concernant la relation entre l'albédo, le profil de la rue et la densité du plan. Dans cette expérience menée par Aida et Goth 1982, le réseau considéré est parallèle à la direction Nord-Sud ⁴⁰. Il est apparu à travers cette recherche, qu'il existe une forte dépendance de l'albédo par rapport au ratio largeur du bâtiment / largeur de la rue ($L1/L2$) et donc sur la densité du plan (ρ) qui représente le ratio surface toitures / surface totale.

$$\rho = L1/ L1+L2$$

³⁸ Aida, M. (1982), *Urban albedo as a function of the urban structure-A model experiment*, Boundary layer meteorology, vol 23, pp 405-413.

³⁹ Golany, G. (1996), *Urban design morphology and thermal performance*, Atmospheric Environment, vol 30, n°3, pp455-465.

⁴⁰ Aida, M. and Goth, K. (1982), *Urban albedo as a function of the urban structure- A two dimensional numerical simulation*, Boundary layer meteorology, vol 23, n° 11, pp 415-424.

La dépendance de l'angle d'incidence est examinée pour des angles variant entre 0° et 80° . Aussi, le profil vertical H/L_2 est maintenu constant et égal à 1, les valeurs les plus élevées correspondent à des valeurs L_1/L_2 élevées. Par ailleurs, l'albédo minimal apparaît lorsque L_1/L_2 est proche de 0.5 pour l'ensemble des hauteurs solaires. Selon Oke (1988), l'îlot de chaleur est favorisé par l'augmentation de H/L .

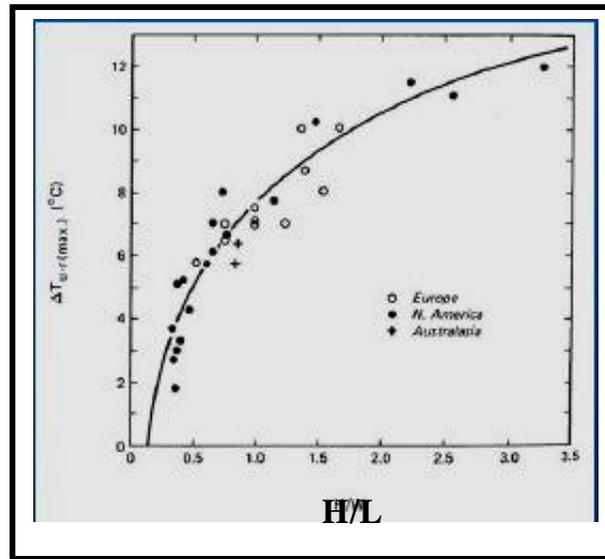


Figure 3.17 L'influence de la densité du plan à travers la géométrie de la rue H/L (ici donnée au centre ville) sur les maxima de l'îlot de chaleur pour quelques villes de latitudes moyennes.

Source : A.Toudert.2000.

Une expérience réalisée par Mirza Basso du CRICYT (Centre régional des investigations scientifiques et technologiques) de Mendoza en Argentine, a donné des résultats très intéressants en ce qui concerne les normes directives de l'évolution morphologique des espaces urbains basée sur l'utilisation de l'énergie solaire et de l'eau dans le chauffage des bâtiments. Pour cela, l'intérêt a été porté de manière particulière, au rôle de la densité du bâti en plan, à travers la comparaison de différentes densités et types d'usage au sol des zones urbaines Argentines ⁴¹.

⁴¹ Basso, M. and al. (2003), *Urban morphology and solar potential of the built environment in Andean cities of Hispanic layout. Assessing proposals towards a more sustainable Energy future*, PLEA, The 20th conference on passive and low energy Architecture, Santiago, Chile.

Les outils utilisés pour la comparaison de la morphologie des différents cas étudiés, étaient les deux indicateurs « Soil occupation factors » facteur d'occupation au sol et « total occupation factors » pourcentage totale d'occupation au sol. Ces deux indicateurs ont été les éléments clés dans la sélection des sites à étudier.

A cet effet, le premier site a été sélectionné à l'intérieur d'une aire urbaine à usage au sol multiples et à forte densité en plan, tandis qu le second a été choisi par rapport à ces caractéristiques de site planifié pour une rénovation, et dont la densité en plan était moins importante. Les résultats de la recherche sont limités à l'influence de la morphologie urbaine sur le potentiel solaire futur de l'environnement de la ville, parmi ces derniers, apparaît le facteur de forme solaire « Solar form factor » : le SFF qui a révélé qu'il n'avait pas de corrélation entre les valeurs du facteur d'occupation au sol et le pourcentage d'occupation au sol, simplement, parce que l'indicateur solaire est référé à des arrangements des masses de bâtiments indépendants de tout facteur solaire, car toutes les orientations sont considérées de façon égale.

Ainsi, la densité du plan représentant l'emprise au sol donnée par le rapport entre la **surface toiture/ surface totale** est un paramètre très important dans la définition de la quantité des surfaces principales, réceptives du rayonnement solaire, tels que les toits, murs et sol, qui conditionne de manière considérable le degré d'absorption et de réflexion de la radiation solaire globale pour une entité urbaine.

3.3.6 L'ouverture au ciel (Sky view factor)

On entend par ouverture au ciel, le degré d'obstruction ou d'ouverture vers le ciel par les constructions le long d'une rue ⁴². Ce dernier est calculé à travers la définition du pourcentage d'accès du rayonnement solaire dans une rue donnée (Figure 3.18). En effet, le facteur d'ouverture au ciel apparaît comme étant un des concepts les plus significatifs à prendre en considération en vue d'atteindre des objectifs de maîtrise climatique en matière d'urbanisme.

⁴² Oke, T.R. 1987: Boundary Layer Climates. 2nd edition. Routledge.14.

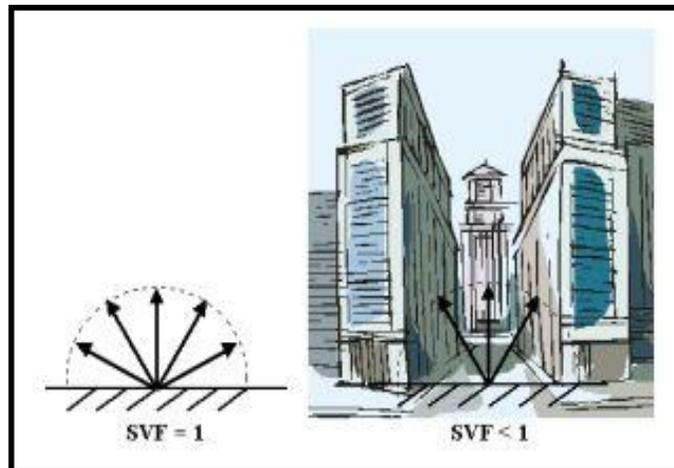


Figure 3.18 Schématisation du facteur d'ouverture au ciel (SVF).Source : ESPERE-ENC 2005.

Il intervient à la fois, dans la détermination de la quantité de rayonnement solaire que reçoit les différents profils de la rue, mais aussi, dans l'effet de refroidissement nocturne de ces mêmes surfaces du bâtiment. Par ailleurs, sa valeur est étroitement liée à l'urbanisation des terrains, elle atteint une valeur maximale égale à 1 dans les espaces ouverts dépourvus de toute construction, arbre, obstacle ⁴³.

3.3.7 L'orientation par rapport au soleil :

L'orientation par rapport au soleil est un autre facteur déterminant, dans le contrôle climatique à l'échelle urbaine qui doit être considéré dans les toutes premières étapes de la conception, mais aussi à l'échelle architecturale. Dans le climat méditerranéen, où le soleil est souvent présent dans le ciel, c'est l'orientation qui définit la quantité d'énergie solaire incidente sur une paroi verticale ⁴⁴. Et cette quantité d'énergie est la principale cause de l'exigence de contrôle solaire à l'échelle urbaine et de protection solaire à l'échelle du bâtiment.

Si on prend l'exemple du climat méditerranéen, à partir des deux critères :

- Quantité d'énergie solaire incidente sur la paroi,
- Coïncidence des moments où l'énergie incidente et la température d'air sont maximales.

⁴³ Oke, T.R. (1987), *Boundary layer climates*, London

⁴⁴ Groupe ABC Marseille, 1999. Formes et dimensions d'une protection solaire en fonction de l'orientation, En ligne sur Internet : [<http://www.marseille.archi.fr.abc.textes.>] (Page consultée le 3.10.2005).

Il est possible de répartir les orientations sur un cercle en quatre classes : Nord, Est, Sud et Ouest, comme le montre le diagramme (Figure 3.19) :

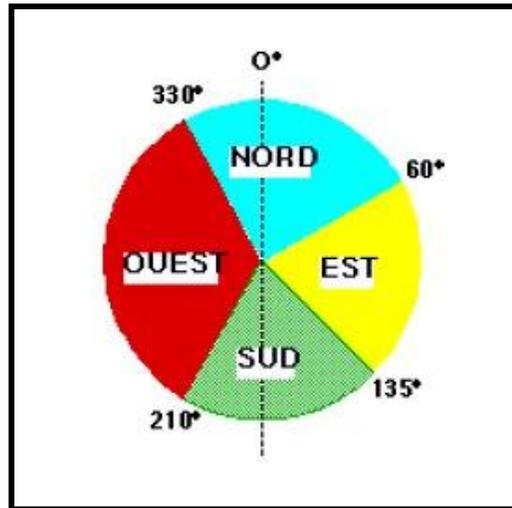


Figure 3.19 Classes d'orientations pour le climat méditerranéen en été. Source : ABC Marseille 1999.

Dans la figure, il apparaît que la définition de la classe de l'orientation "Ouest" est très large, ceci est dû aux températures élevées de l'après-midi. Par ailleurs, et selon un travail effectué par la Groupe ABC de l'école d'architecture de Marseille, En été, l'orientation la plus défavorable est l'OUEST, car ici le moment où l'énergie solaire incidente est la plus forte correspond à celui où la température extérieure est la plus élevée. L'orientation EST reçoit la même quantité d'énergie, mais pendant la matinée, lorsque la température d'air est plus basse. L'orientation SUD, elle, reçoit moins d'énergie. Enfin, l'orientation NORD est celle qui est la mieux protégée contre le rayonnement solaire.

3.3.8 La géométrie du bâtiment

L'élément géométrie du bâtiment fait apparaître deux points essentiels : la forme, la taille et l'espacement entre les bâtiments. La relation entre le bâtiment et l'environnement extérieur, et plus précisément le climat local est régi principalement par les caractéristiques liées à l'enveloppe de ce dernier. Sur le plan thermique, un bâtiment est en interaction continue avec les conditions climatiques extérieures, et il en résulte des échanges tels que les gains mais aussi les déperditions solaires ⁴⁵.

⁴⁵ ALI TOUDERT. F, *Intégration de la dimension climatique en urbanisme*. Mémoire de Magister, EPAU Alger, Janvier 2000, pp 91-92.

- La taille du bâtiment est définie par le ratio S/V , qui représente le rapport entre la surface et le volume du bâtiment en question.
- La forme du bâtiment est conditionnée par les variations des dimensions que peuvent avoir des formes différentes. En effet, deux bâtiments ayant le même volume mais, de formes différentes présentent un ratio S/V différent, donc un comportement thermique avec l'environnement extérieur différent.

En résumé, la géométrie urbaine intervient à plusieurs niveaux dans la définition des caractéristiques climatiques de l'environnement immédiat du bâtiment considéré. Des travaux réalisés par Givoni en 1989, témoignent de la validité de ces conclusions. Ainsi, en s'intéressant à l'effet de la géométrie urbaine sur la modification de l'écoulement du flux d'air, Givoni a tester l'impact d'une rue centrale perpendiculaire à des rangées de bâtiments et parallèle au vent. Il a d'abord relevé la dépendance de la nature du flux avec le ratio H/L . Ensuite, il a remarqué la présence de flux secondaires entre les bâtiments et la rue centrale, dont l'effet est celui de provoquer des flux turbulents aux intersections, alors que l'étendue de leur intrusion entre les bâtiments reste faible. C'est ainsi que la géométrie urbaine, constitue un des facteurs principaux de l'apparition du phénomène d'îlot de chaleur urbain dans la ville, puisque elle agit de manière directe sur la modification et/ou l'accentuation des conditions climatiques locales.

Cependant, il existe un certain nombre de facteurs indépendants de la géométrie architecturale, et qui constituent les caractéristiques de l'ICU en ville, et dont les points les plus significatifs sont présentés dans la partie suivante.

3.3.9 Les caractéristiques de l'îlot de chaleur urbain

En définissant l'îlot de chaleur urbain, un aperçu a été donné sur les éventuels causes de ce dernier (ICU). Par ailleurs, il a été précisé à la fin du paragraphe que les phénomènes contribuant à la formation d'îlots de chaleur sont multiples, à savoir : la croissance urbaine, l'occupation massive des sols par la transformation et la réduction d'espaces verts, à travers leur remplacement par des matériaux qui absorbent la chaleur comme les toits, les murs des bâtiments ainsi que les chaussées ⁴⁶.

⁴⁶ Guay, F et Baudouin, Y (2003), *Les îlots de chaleur urbains*, Collectivités viables/ Le bulletin d'information de vivre en ville, pp 9.

Ces éléments représentent des facteurs importants de modification du climat local des villes, sans oublier un des facteurs dont la contribution au développement des îlots de chaleur urbain est significative, à savoir la présence de flux de chaleur lié au chauffage urbain, à la circulation automobile et à l'activité industrielle.

Les causes de ce phénomène sont donc multiples, leurs interactions complexes et relèvent principalement des caractéristiques thermiques de la surface du sol propres à la ville, mais aussi de ses propriétés géométriques qui déterminent la rugosité. En effet, la sensibilité du champ de températures aux changements de ces paramètres peut être approchée à l'aide de modèles incluant selon le cas les caractéristiques énergétiques, radiatives et géométriques. D'ailleurs, certains modèles laissent supposer que les villes pourraient techniquement « renverser » l'îlot de chaleur urbain et empêcher ses impacts sur le bilan d'énergie simplement en augmentant l'albédo des toits ⁴⁷, des revêtements et en reboisant l'aire urbaine ⁴⁸.

3.3.9.1 Relation entre l'ICU et les facteurs propres à la ville

On stipule que l'îlot de chaleur urbain a une forme caractéristique fortement liée aux caractéristiques topographiques et géométriques de la ville, c'est-à-dire aux grands types d'occupations du sol, et ce, par temps avec ciel clair et vent calme à une même heure ⁴⁹. En résumé, il est donc possible de caractériser un site quelconque à l'aide de certains indices tels que la densité du bâti, la moyenne du ratio de la hauteur moyenne des immeubles sur la largeur moyenne des rues (H/L), le facteur de visibilité du ciel (Sky-view factor), l'albédo,...

En effet, le processus d'urbanisation produit des changements radicaux dans la nature de la surface, en premier lieu par l'occupation des sols qui n'applique pas toujours les règles d'urbanisme et encore moins la prise en compte des facteurs du climat lors de la conception urbaine. A titre d'exemple : l'orientation des façades, un élément qui peut réduire les gains solaires d'un bâtiment de façon considérable, mais qui est malheureusement, souvent pas pris en considération par les architectes urbanistes dans notre pays lors des tous premiers traits de leur conception.

⁴⁷ Akbari, H ad al. (1995), *Cool construction materials offer energy saving and help reduce smog*, ASM standardisation news, vol 23, n°11, pp 32-37.

⁴⁸ De Hatten, A. (2002), *Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain strasbourgeois- Elaboration d'une base de données climatiques*, Mémoire de maîtrise de géographie, Université Louis Pasteur Strasbourg.

⁴⁹ Idem 69

Les phases post- conception urbaine, présentent elles aussi une multitude des défaillances qui contribuent à l'apparition de l'îlot de chaleur urbain et donc à l'augmentation par une façon ou par une autre de la température de nos îlots à savoir : le traitement des façades, l'aménagement des espaces extérieurs, la conception d'espaces verts, la couleur des toits, l'absence d'éléments d'eau...

Pour résumer les éléments traités précédemment sur la géométrie urbaine, Oke a proposé en 1976 déjà, certains éléments qui seraient à l'origine de l'îlot de chaleur urbain ⁵⁰ :

- L'augmentation des radiations provenant de l'atmosphère due à l'absorption du rayonnement en grande longueur d'onde et sa rémission par l'atmosphère polluée
- Le piégeage des radiations en grande longueur d'onde par les canyons (selon le facteur de visibilité du ciel)
- L'effet de la géométrie urbaine sur l'albédo
- Les propriétés des matériaux urbains permettant un stockage le jour et sa libération la nuit
- La chaleur anthropique provenant des façades des immeubles
- La baisse de l'évaporation due à la faible végétation et aux surfaces imperméables ne permettant pas de constituer un stock
- La baisse de la perte de chaleur sensible due à la réduction de la vitesse du vent dans la canopée urbaine

⁵⁰ Oke, T. R., 1976, "*The distinction between canopy and urban boundary-layer heat islands,*" *Atmosphere*, 14, 268-277.

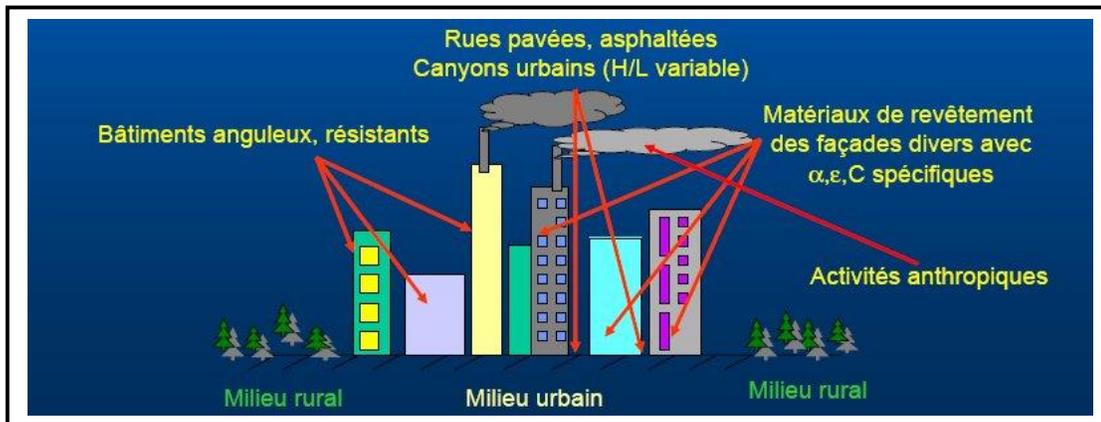


Figure 3.20 Facteurs influençant l'ICU. **Source** : J.Pernot.2003.

L'îlot de chaleur urbain a donc une forme typique propre à la ville car il dépend principalement de ses caractéristiques de surface (Figure 3.20). Le gradient horizontal d'ICU peut être plus ou moins élevé selon les zones, et l'îlot de chaleur urbain peut être unicellulaire ou multicellulaire ⁵¹, c'est-à-dire combiner plusieurs centres. Cependant, la configuration spatiale ainsi que la magnitude de l'îlot de chaleur urbain reste très variable dans le temps, aussi bien à l'échelle journalière, que saisonnière.

3.3.9.2 Les variations temporelles de l'îlot de chaleur urbain

- **Les conditions moyennes : cycle diurne**

Il apparaît que pour les villes des latitudes tempérées, les variations journalières de l'ICU moyen suivent de manière générale le même schéma ⁵². Selon cette même source, l'îlot de chaleur urbain commence à croître en fin d'après-midi, augmente de manière plus rapide autour et juste après le coucher du soleil, atteint son maximum autour du milieu de la nuit et décline près du lever du soleil pour atteindre son minimum dans le milieu de l'après-midi. L'environnement rural restitue rapidement son stock d'énergie alors que pour l'urbain ce processus est plus lent. Les deux gradients s'harmonisent tard dans la nuit, ce qui va provoquer la baisse de l'intensité. De même après le lever du soleil, les rurales se réchauffent plus vite les zones urbaines faisant décliner l'intensité de l'îlot.

⁵¹ **De.Hatten, A. (2002),** *Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain strasbourgeois- Elaboration d'une base de données climatiques,* Mémoire de maîtrise de géographie, Université Louis Pasteur Strasbourg.

⁵² **Idem 73**

- **Les variations saisonnières du cycle diurne**

Le cycle diurne et les gradients qui le causent varient saisonnièrement. L'accroissement de l'ICU se fait plus tôt en hiver car le refroidissement urbain se fait plus tard. Selon Oke et Maxwell (1975) ce phénomène est attribué au fait que les heures d'affluence y sont décalées plus près et toujours après le coucher du soleil⁵³. Cet apport se réalise alors que la stabilité nocturne fait déjà effet à la perte de chaleur venant des rues. Selon les auteurs, en général, en hiver au coucher du soleil 50% de l'intensité maximale de l'ICU atteinte dans la journée est dépassée, alors que ce n'est que 35% pour l'été et le printemps et 10% pour l'automne.

La variabilité saisonnière du gradient de refroidissement urbain étant faible, ce sont donc, les changements dans celui du site rural qui sont les plus responsables des oscillations de l'ICU. Et il semblerait, en effet, que le surplus de chaleur anthropique dégagé pour le chauffage des habitations serait suffisamment important pour avoir une influence sur la température en hiver, ce qui provoque directement la diminution de l'amplitude annuelle des températures en ville.

3.3.9.3 Relation entre l'ICU et les paramètres météorologiques

La relation entre les paramètres météorologiques et l'intensité de l'îlot de chaleur urbain a été explorée en premier par Sundborg en (1951) pour Uppsala en Suède. Plus récemment, et pour Lee (1992), les conditions optimales pour l'étude de l'ICU sont un temps de type anticyclonique, avec une nébulosité et un vent faible à nul⁵⁴. En effet, la différence ($\Delta t_u - r$) entre la température urbaine et la température rurale serait inversement corrélée à la quantité de nuages et à la vitesse du vent. C'est pour cette raison, que par temps couvert l'écart de température entre le milieu urbain et le milieu rural est plus faible. Afin d'apprécier l'influence d'un paramètre, il est important de l'isoler pour qu'il ne soit pas perturbé par d'autres paramètres.

C'est ainsi, que nous pouvons déduire à la fois la complexité du phénomène d'îlot de chaleur urbain à travers les différentes relations établies ci-dessous, mais surtout la part que représente le facteur urbanisation non seulement dans l'apparition de ce phénomène, mais surtout, dans son développement à différentes échelles dans la ville.

⁵³ Oke et Maxwell (1975)

⁵⁴ Ringenbach, N. (2004), *Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine, mesures, modélisation et validation sur Strasbourg*. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, pp 15.

3.3.10 Intensité de l'îlot de chaleur urbain :

L'information sur l'augmentation des températures de surface des villes est généralement obtenue par des satellites. Malheureusement on n'a pas beaucoup d'information quantitative, mis à part le fait d'observer que les températures en ville sont plus élevées qu'en milieu rural.

Le tableau 3.6 donne les valeurs de températures mesurées pour certaines villes :

Ville	Augmentation de la température (C°)
30 villes américaines	1.1
New York	2.9
Moscou	3- 3.5
Tokyo	3.0
Shanghai	6.5

Tableau3.6 Îlots de chaleur mesurés dans certaines villes. Source : Tareb 2005.

Dans les zones urbaines denses, les températures d'air sont plus importantes que dans les zones rurales périphériques. La différence entre le maximum de température en ville et la température de référence à l'extérieur est définie comme l'intensité d'îlot de chaleur. Plusieurs études sur l'intensité d'îlot de chaleur ont été menées dans différentes villes.

Le tableau 3.7 reprend certaines valeurs obtenues pour différentes villes.

Ville	Continent	Intensité d'îlot de chaleur (K°)
New Delhi	Asie	6.0
Calcutta		6.5
Madras		4.0
Kuala Lumpur – Petaling Jaya		6.0 – 7.0
Kota Kinabalu		3.0
Athènes		Europe
Goteborg	3.5 – 6.0	
Malmo	7.0	
Essen	3.0 – 4.0	
Stolberg	6.0	
Fribourg	10.0	
Paris	14.0	
Zurich	7.0	
Atlanta	Amérique	
Buenos Aires		7.4
Johannesburg	Afrique	2.0

Tableau 3.7 Intensité d'îlot de chaleur pour différentes villes. Source : Tareb 2005.

Par ailleurs, un résumé des études qui ont été menées jusque là au sujet de l'îlot de chaleur urbain connu sous le nom de « **urban heat island** » et la densité du plan d'une ville, retrace les différentes expériences réalisées à travers le monde, dans un même objectif, celui de comprendre le fonctionnement et la relation qui existe entre ces deux éléments. En effet, ces dernières ont démontré le lien direct entre la croissance des villes et toutes les conséquences qu'elles induisent sur l'environnement et l'augmentation de la température à l'intérieur de leur périmètre urbain.

3.3.11 Résumé de quelques études sur l'îlot de chaleur urbain et l'urbanisation

Landsberg a résumé l'effet de l'urbanisation sur le microclimat résultant, ainsi que sur le macro climat, dans une étude menée en 1970, intitulée "Micro meteorological temperature differentiation through urbanization" ⁵⁵. Il avait mis en évidence l'îlot de chaleur urbain et la variation de l'insolation due à l'urbanisation comme étant le facteur le plus important dans les changements du climat local. L'insolation était définie par la position géographique du site, la forme, l'orientation des bâtiments, ainsi que par la densité des groupements de constructions.

Landsberg a aussi cité l'effet de l'îlot de chaleur urbain dans un bâtiment isolé, après le coucher de soleil, il a conclu que l'ICU était causé par le dégagement de la radiation solaire absorbée par la maçonnerie et le pavage. Il a aussi mesuré la température de l'air sur différentes surfaces dans la ville de Columbia Maryland et a trouvé que l'air au dessus des parkings et pavages était de 0.7 et 1.1 K plus importante que la température de l'air mesurée au dessus de champs d'herbes qui étaient exposées aux radiations solaires. Par contre, la température de l'air au dessus d'une zone ombrée par un arbre a montré une diminution de seulement 0.2 K.

Ludwig a observé la distribution des températures au dessus des villes de Dallas et Fort Worth, Texas et a trouvé une remarquable uniformité en dépit d'un îlot de chaleur urbain journalier suspecté ⁵⁶. Il a expliqué au moyen des diagrammes d'insolation des différents groupements de constructions contrairement à la forte capacité thermique habituelle des structures urbaines.

⁵⁵ **Landsberg H.E. (1970)**, *Micrometeorological temperature differentiation through urbanization*, W.M.O. Technical note n° 108, Urban climates, Geneva, pp 364-371.

⁵⁶ **Ludwig F.L. (1970)**, *Urban temperature fields*, W.M.O. Technical note n° 108, Urban climates, Geneva, pp 80-107.

Ludwig a conclu que les groupements de bâtiments de taille moyenne et une rue de largeur moyenne, sont susceptibles de montrer une augmentation de la température ambiante de l'air due à la bonne absorption des radiations solaires dans les rues et les niveaux de façades de bâtiments comparés aux ensembles de grands immeubles, ou la plupart des zones sub-urbaines et rurales, où la radiation est aussi bien déviée par l'excès d'ombrage que perdue vers l'environnement ouvert due à la réflexion.

Siddiqi (1978) a démontré, à l'aide de modèles numériques détaillés, comment la conception urbaine pouvait affecter l'environnement thermique des façades d'immeubles et par conséquent, déterminer le confort physique à l'intérieur et autour des habitations ⁵⁷. Il a, par ailleurs, étudié l'effet de la densité d'une aire plane sur la radiation solaire reçue par des bâtiments de différentes formes. Il a trouvé que la radiation solaire reçue par les bâtiments était fonction de leur forme et leur orientation, et qu'elle variait avec la latitude du site. Cependant, le type de groupements (d'assemblage) a une influence importante sur toute radiation résultante. Il a ainsi pu démontrer, que des gains substantiels en consommation d'énergie pourraient être réalisés si des décisions intelligentes et appropriées en matière, d'arrangements en plan, densité de l'aire en plan, l'orientation et les matériaux des différentes surfaces sont prises à des étapes initiales de la conception.

D'autres études réalisées en Inde et en Israël stipulent que le premier mécanisme de contrôle du climat est la disposition des constructions dans le plan de la ville. Pour les climats chauds et secs, le facteur de compacité génère une large masse thermique atténuant les conditions externes. En Israël, **Meir** (1982, 1992) a examiné les facteurs qui affectent la variation du micro climat dans le désert de Negev et celui de Beer Sheva, en focalisant son intérêt sur la température de l'air et les mesures du vent dans différents points de la ville ⁵⁸.

⁵⁷ **Siddiqi A.A (1978).** *A study of the effect of shape and grouping of structures and their external landscape patterns on the irradiation of the urban built form.* Doctoral thesis, building science Dept., Sheffield University, U.K.

⁵⁸ **Meir I.A. (1992).** *Urban space evolution in the desert-the case of Beer sheva.* **Building** and environment, vol.27, pp 1-11.

Il a ainsi conclu, que les conditions environnementales les moins favorables mesurées étaient celles mesurées dans un large espace ouvert des constructions de 1970, caractérisé par 3 à 4 voies, de larges pavages et de grands immeubles. La moyenne des températures maximales dans ces régions atteignait 35.7 °C (1.8 K au dessus de la moyenne) et la vitesse de l'air avait atteint 3.1 m/s. Il a aussi trouvé que les types de groupements ayant les conditions les plus favorables étaient ceux qui avaient la densité de construction la moins élevée. Toutefois, Meir a démontré que les valeurs mesurées de vitesse de l'air près du sol pour les différents facteurs urbains étaient presque similaires, et aucune différence ne fut observée dans les diagrammes de mouvement de l'air dans les espaces ouverts orientés est-ouest et nord-sud.

Toujours dans le cadre d'étude de l'ICU, **Rohinton Emmanuel** a réalisé une expérience sur la ville de Ann Arbor, au Michigan en effectuant des mesures sur terrain au niveau de plusieurs sites, dont la principale caractéristique de différenciation était la densité du plan et l'utilisation du sol⁵⁹. Il a ainsi, dégagé cinq sites de mesures :

- Une localité au centre-ville (DTL Downtown Location.)
- Un site résidentiel à forte densité (HDR - High-Density Residential site)
- Un site à plusieurs établissements résidentiels/institutionnels (NW2 - Multi-family residential/institutional setting.)
- Faible densité : groupement résidentiel avec végétation (LVR - Low-density Vegetated Residential neighborhood)
- Faible densité : groupement résidentiel à aire ouverte (LOR - Low-density Open-canopy Residential neighborhood.)

A travers des campagnes de mesures de températures journalières et nocturnes, Rohinton a mesuré cette donnée simultanément dans les sites choisis pendant la période d'étude. Il par ailleurs, utilisé les données météorologiques de stations fixes de mesures des paramètres climatiques tels que, température de l'air, humidité, radiation solaire et luminance globale.

⁵⁹ **Rohinton, E. (2000)**, *Summertime urban heat island mitigation: propositions based on an investigation of intra-urban air temperature variations*, *Architectural science review*, 40(4): pp155-164.

En ce qui concerne l'utilisation au sol, l'estimation s'est faite au moyen de calculs d'évolution de la densité du plan à partir de l'année 1990, tandis que pour les rues et les surfaces pavées, l'outil utilisé était la photographie aérienne et un outil informatique pour le calcul des surfaces sur cette même photographie datant d'avril 1990. Les espaces verts ou zones couvertes de végétation étaient considérées comme espace non bâti, tandis que tout ce qui représenté les habitations, commerces, institutions était assimilé à l'aire construite à considérer

Les résultats ont fait apparaître les données suivantes :

- La température journalière maximale durant le mois de Juin étudié s'étendait entre 18.9 - 35.0oC
- La température journalière minimale durant le mois de Juin étudié s'étendait entre 7.2 - 20.6oC
- L'étendue de la température maximale et minimale durant le mois de Juillet 1995 était de 22.8 - 36.7oC et de 8.9 - 23.3oC respectivement.
- L'effet de la végétation par l'ombre, révèle une différence de température journalière pouvant atteindre 3.43°C pendant la journée pour groupement résidentiel avec végétation en comparaison avec le groupement résidentiel à aire ouverte. Cet effet s'inverse pendant la nuit, lorsque le groupement résidentiel à aire ouverte est 0.84C plus frais que le groupement avec végétation
- L'implication de la conception urbaine dans les variations de température, a été dégagée à travers les points suivants : l'effet de la densité du plan bâti et de la température sur la température de l'air, l'effet primordial de la végétation sur la température, effet de la densité du centre ville avec des conditions atmosphériques stables sur la variabilité de la température, en créant des zones chaudes, moins chaudes et fraîches, ce qui représente l'existence du phénomène d'îlot de chaleur urbain.

Il a, ainsi pu conclure que l'îlot de chaleur urbain atteignait son degré maximale, à chaque fois qu'il y a instabilité des conditions climatiques journalières. Ces dernières, sont en effet, le fruit de l'interaction de plusieurs facteurs, allant de l'ombre provoquée par la végétation, le pourcentage d'occupation au sol au niveau des sites considérés, jusqu'à la nature d'utilisation des terrains.

Dans cet exemple, la simple comparaison de données climatiques sur une période assez courte à l'échelle d'étude du climat, et par le biais de la sélection de sites urbains ayant des caractéristiques différentes de densité du bâti, de présence de végétation, de nature d'utilisation du sol, il a été possible d'apprécier l'effet de ces conditions sur les variations du climat local de plusieurs zones urbaines, mais surtout de distinguer l'impact sur les variations de température.

Une autre étude menée récemment par le groupe d'îlot de chaleur de **Hashem Akbari** de l'université datant d'avril 2000, et s'intéressant à l'effet des températures des pavages sur la température des grandes villes, a révélé que le réchauffement du sol par le rayonnement solaire était à l'origine du phénomène d'îlot de chaleur urbain ⁶⁰. Le raisonnement dans cette étude était que le revêtement de la plupart, voir la majorité des villes est fait avec de l'Asphalte de Béton de couleur sombre. Ce dernier absorbe la plupart des rayons solaires qu'il reçoit, car il représente les surfaces les plus sombres dans la ville.

Par conséquent, l'air en contact avec le sol est réchauffé par le revêtement de ce dernier, ce qui contribue directement à la production de pollution de l'air. Selon, Akbari les villes ne se réchaufferaient plus autant si les revêtements au sol absorbé moins de rayonnement solaire. En effet, selon Pomerantz, membre du même groupe scientifique, il a été estimé, que, si le rayonnement solaire absorbé par tous les revêtements au sol serait réduit de 90% à 65%, les pics de températures de l'air diminueront autour de 0.6°C pour une chaude journée du mois d'Août.

Et récemment, une étude menée par une équipe de l'école des sciences géographiques et environnementales de l'université de Monash à Melbourne, en Australie, a été publiée en Septembre 2005, traitant de l'impact de la croissance de la densité urbaine sur le climat local, à travers les variations spatiales et temporelles de la balance énergétique des surfaces à Melbourne ⁶¹. En effet, les densités urbaines dans cette ville sont conçues de façon à s'accroître sous de nouvelles stratégies d'évolution du plan de Melbourne. A cet effet, la méthode utilisée était l'investigation de l'impact de la croissance de la densité urbaine sur la balance énergétique des surfaces et leur rapport au climat local, à travers le choix de quatre sites avec des densités croissantes de constructions et des variations dans les caractéristiques de surfaces (3 sites urbains et 1 site rural).

⁶⁰ **Hashem Akbari 2000.**

⁶¹ Andrew M. and al., (2005), *Impact of increasing urban density on local climate: spatial and temporal variations in the surface energy balance in Melbourne, Australia.*, School of Geography and Environmental Science, Monash University, Melbourne,

La répartition d'énergie disponible était similaire pour les trois sites urbains, ce qui a été illustré par des ratios énergétiques similaires. La plus grande différence observée entre les sites, se situait au niveau de la capacité d'emmagasinement de chaleur urbaine, qui était influencée par la complexité de la canopée urbaine, l'albédo ainsi que par la capacité d'échanges thermique. Les ratios énergétiques étaient supérieurs à 1 tout au long de l'année pour l'ensemble des sites urbains, tandis que, pour le site rural, ces mêmes ratios étaient inférieurs à 1, en raison du niveau élevé d'évapotranspiration.

Le résultat mettait en évidence, la différence considérable des températures journalières entre le milieu urbain et le milieu rural, cependant, la différence des températures journalières à la limite de la canopée urbaine, entre les différents sites urbains était minime, en raison de la similitude dans la répartition énergétique. Toutefois, des températures nocturnes agréables ont été observées avec la croissance de la densité, comme le résultat des variations dans le dégagement de la chaleur stockée, qui est due en partie à la morphologie de canyon urbain. C'est ainsi, qu'ils ont conclu que la connaissance du rapport entre la croissance de la densité urbaine en ville, la balance énergétique des différentes surfaces et leur impact sur le climat local, était une donnée fondamentale dans la conception urbaine, qui est un moyen pour la manipulation des surfaces au sol et leur caractéristiques, dans le but d'améliorer le climat local de nos villes.

3.4 Le vent en milieu urbain

Comme le terrain urbain est très compliqué, la distribution des écoulements d'air l'est aussi. Généralement, la vitesse du vent dans la canopée urbaine est significativement plus faible que la vitesse du vent non perturbé (Figure 3.21). Ainsi, la distribution verticale des vitesses est découpée en deux zones : la canopée urbaine qui s'étend du sol jusqu'en haut des bâtiments, et la couche limite urbaine qui s'étend bien au delà des toitures⁶². L'estimation des vitesses de vent dans une ville est un problème d'une grande importance pour l'intégration de stratégies de ventilation naturelle ou de rafraîchissement passif.

⁶² TAREB, « Architecture Basse Energie », *Energie dans l'environnement urbain*. En ligne sur Internet : [<http://www.learn.londonmet.ac.uk/>] (Page consultée le 2.12.2005)

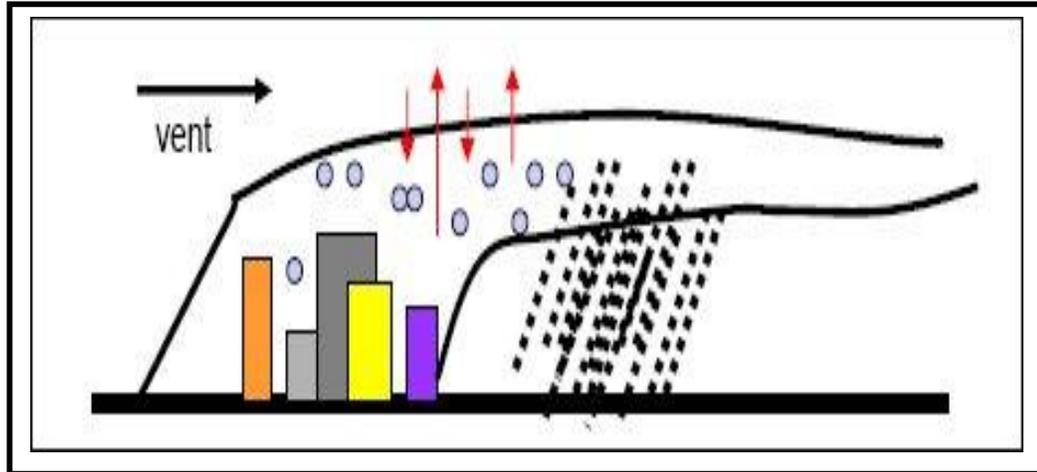


Figure 3.21 Le vent en milieu urbain. Source : J.Pernot.2003.

On a pu prouver théoriquement et expérimentalement que la vitesse du vent à une hauteur donnée est systématiquement plus faible en moyenne temporelle que celle enregistrée à la même hauteur en milieu ouvert. Cependant, la vitesse du vent en milieu urbain peut être plus élevée à la condition que l'écoulement du vent dans la couche limite atmosphérique et la direction des rues sont identiques (Figure 2.22). Ce second scénario n'a lieu que si l'inertie de l'écoulement est supérieure au frottement visqueux à l'intérieur du canyon urbain.

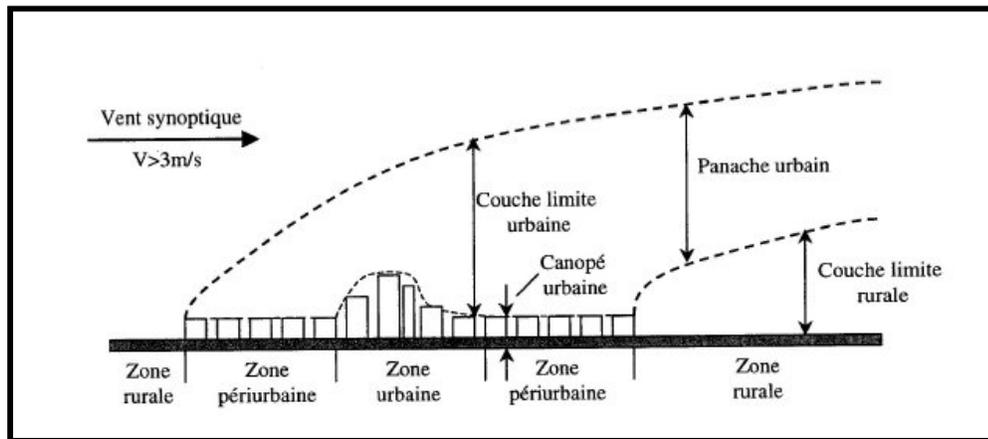


Figure 3.22 Structure verticale atmosphère, Couche limite urbaine et canopée urbaine. **Source :** mestayer et anquetin 1995.

Le vent est un écoulement qui tend à équilibrer les zones de pressions différentes dans l'atmosphère. Ce mouvement peut être caractérisé localement par les équations de conservation de la quantité de mouvement, de la masse et de l'énergie.

On distingue alors différentes échelles d'étude ⁶³: l'échelle régionale qui couvre des étendues de l'ordre de la centaine de kilomètres, l'échelle locale qui couvre des étendues de l'ordre de la dizaine de kilomètres, et l'échelle micro climatique, cas de l'étude présente, qui correspond à quelques centaines de mètres.

Pour cette dernière échelle, l'écoulement d'air peut être modifié par la présence de petits obstacles, de la végétation, mais aussi par des phénomènes thermiques liés notamment à l'ensoleillement. Loin du sol, à plus de 1000 m, les perturbations sont faibles et le vent est sensiblement parallèle aux isobares. Plus près du sol, les forces de frottement sur le sol rugueux réduisent la vitesse du vent (en valeur moyenne) et sont sources de turbulence, l'effet de cette rugosité est sensible sur plusieurs centaines de mètres. En site urbain, du fait de la rugosité variable, on peut alors définir un profil moyen de vitesse d'air (figure 3.23) due au vent dominant différent du profil de type généralement défini en site homogène. L'écoulement est fortement perturbé aux abords des bâtiments, mais, au-delà d'une zone appelée zone de mélange, le profil de l'écoulement est similaire au profil moyen constaté en site homogène. Des lois empiriques établissent alors ce profil de vitesse en fonction de la rugosité du site, souvent sous forme logarithmique ⁶⁴.

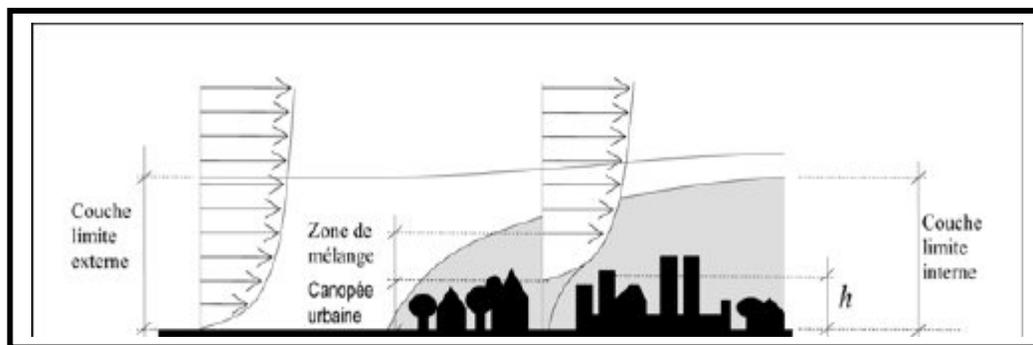


Figure 3.23 Profil moyen de la vitesse horizontale du vent dominant en site homogène et en site urbain. Source : Plate et al. 2001.

⁶³ Ringenbach, N. (2004), *Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine, mesures, modélisation et validation sur Strasbourg*. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, pp 15.

⁶⁴ Idem

Les écoulements d'air en milieu urbain sont également très instables du fait de la forte variabilité de la température d'un endroit à un autre. On observe également dans les villes un écoulement global centripète qui s'élève au dessus du centre ville et retombe sur les zones périphériques.

3.5 La pollution urbaine

La pollution urbaine affecte l'environnement thermique, lumineux, acoustique et la qualité de l'air. La pollution extérieure et une ventilation inadéquate peut être la première raison d'une qualité de l'air intérieur médiocre. Des niveaux de bruit de plus de 65db(A) sont considérés comme inacceptables, mais dans les villes modernes, la majorité de la population est exposée à de tels bruits. La pollution lumineuse est devenue significative ces dernières décennies à cause de l'éclairage urbain et des niveaux de luminance qui peuvent être très élevés, même la nuit. La température ambiante urbaine qui est supérieure à celle des environnements ruraux affecte aussi le confort et la consommation énergétique des bâtiments.

3.6 Conclusion

Parmi ces situations microclimatiques, apparaît l'îlot de chaleur urbain comme étant le phénomène le plus caractéristique du climat urbain. Ce dernier se résume à être la différence de températures entre la ville et le milieu rural, dont l'origine serait étroitement liée à la croissance urbaine. L'occupation massive des sols par la transformation et la réduction d'espaces verts, ainsi que leur remplacement par des surfaces absorbant la chaleur comme les toits, les murs des bâtiments ainsi que les chaussées sont à l'origine de cette différence. La réduction de l'intensité de l'îlot de chaleur urbain, est possible en agissant sur le bilan thermique du milieu urbain, dès les premières étapes de la conception urbaine.

En effet, des expériences menées sur l'effet de la densité du plan sur l'ICU, ont révélé que l'emprise au sol donnée par le rapport entre la **surface toiture/ surface totale** est un paramètre très important dans la définition de la quantité des surfaces principales, réceptives du rayonnement solaire, tels que les toits, murs et sol, il conditionne de manière considérable le degré d'absorption et de réflexion de la radiation solaire globale pour une entité urbaine.

En ce qui concerne les phases post-conception urbaines, il a été prouvé que la végétation affecte directement les éléments du climat, tels que la température, le vent, l'humidité,... dans les aires urbaines, et plus la dimension de l'espace vert est importante plus l'étendue de son effet sur son environnement immédiat est grande.

Enfin, les vents urbains dus à la rugosité variable en site urbain, ainsi que la pollution urbaine (pollution de l'air, sonore et lumineuse) sont le résultat des situations microclimatiques engendrées par la ville.

4.1 Introduction

L'étude du phénomène d'îlot de chaleur urbain, a souvent pour objectif de mettre en évidence l'existence de ce dernier, afin de pouvoir le réduire ou atténuer son effet sur les paramètres climatiques de telle ou telle autre ville. Le chapitre méthodologies d'approche de l'îlot de chaleur urbain, a pour objectif de présenter quelques exemples d'étude ou projet menés à travers le monde, concernant le thème du climat urbain. En effet, à travers des exemples comme celui de la ville de Vancouver au Canada, Atlanta aux Etats Unies, ou encore Genève en Suisse, plusieurs méthodes et résultats sont présentés et commentés sous formes de points : Méthodologie, résultats et conclusion, illustrés par un ensemble de figures regroupant des cartes thermiques, d'utilisation au sol, de graphes de température...

4.2 L'îlot de chaleur urbain à Vancouver, Canada

Il y a eu nombreuses analyses faites sur la formation de l'îlot de chaleur urbain et sa relation aux caractéristiques de conception urbaine. Ce projet d'étude de ce phénomène à Vancouver, compile des mesures de la température à divers endroits dans l'ensemble de la ville, entre les soirées du 12 et 29 octobre, 2000. Ces points de mesure servent de repères initiaux dans le travail d'analyse.

4.2.1 Mesures

En effet, et selon l'auteur, les calculs démontrent que :

- la température moyenne la plus élevée, qui est de l'ordre de 12.60 degrés Celsius, est mesurée à l'intersection des rues de la Géorgie et de Burrard, tandis que la température moyenne la plus basse avoisinant les 9.94 degrés Celsius, est mesurée à l'intersection à l'ouest de la 16ème et de la rue de Blanca.
- L'intersection des rues de Cornwall et de Burrard montre une mesure de la plus basse température par rapport à l'écart type.
- L'intersection des rues de la Géorgie et de Denman montre la mesure la plus importante de la température à l'écart type¹.

¹ **Katrina Ao, Hanh Ngo T.M, A GIS Analysis of Vancouver's Urban Heat Island**, Partie résultats et analyse, [En Ligne] www.geog.ubc.ca/courses/klink/g470/class00/kf0/pointb.htm, (Page consultée le 16 mai 2006)

4.2.2 Méthodologie

Les températures de l'air de niveau extérieur, ont été observées dans l'ensemble de la ville de Vancouver pendant douze soirées entre le 12 et 29 octobre, 2000. Un thermocouple isolé et aéré de cuivre-constantan monté dans un tube et installé dans un petit camion mobile, a été utilisé dans la prise de températures. Ce dernier a été relié à un enregistreur de données qui a relevé des températures de l'air aux seconds intervalles et a permis de donner la moyenne de ces valeurs. Chaque nuit, l'itinéraire prédéterminé transversalement a été suivi. Bien que des mesures de la température aient été enregistrées sans interruption le long de l'itinéraire, l'expérience se concentre sur seulement 59 points pour la simplification de la tâche. Les emplacements de la température témoin sont indiqués sur la figure 4.1. La traversée parcourt une sélection variée d'utilisations du sol, des parcs régionaux aux bâtiments commerciaux élevés aux aéroports.

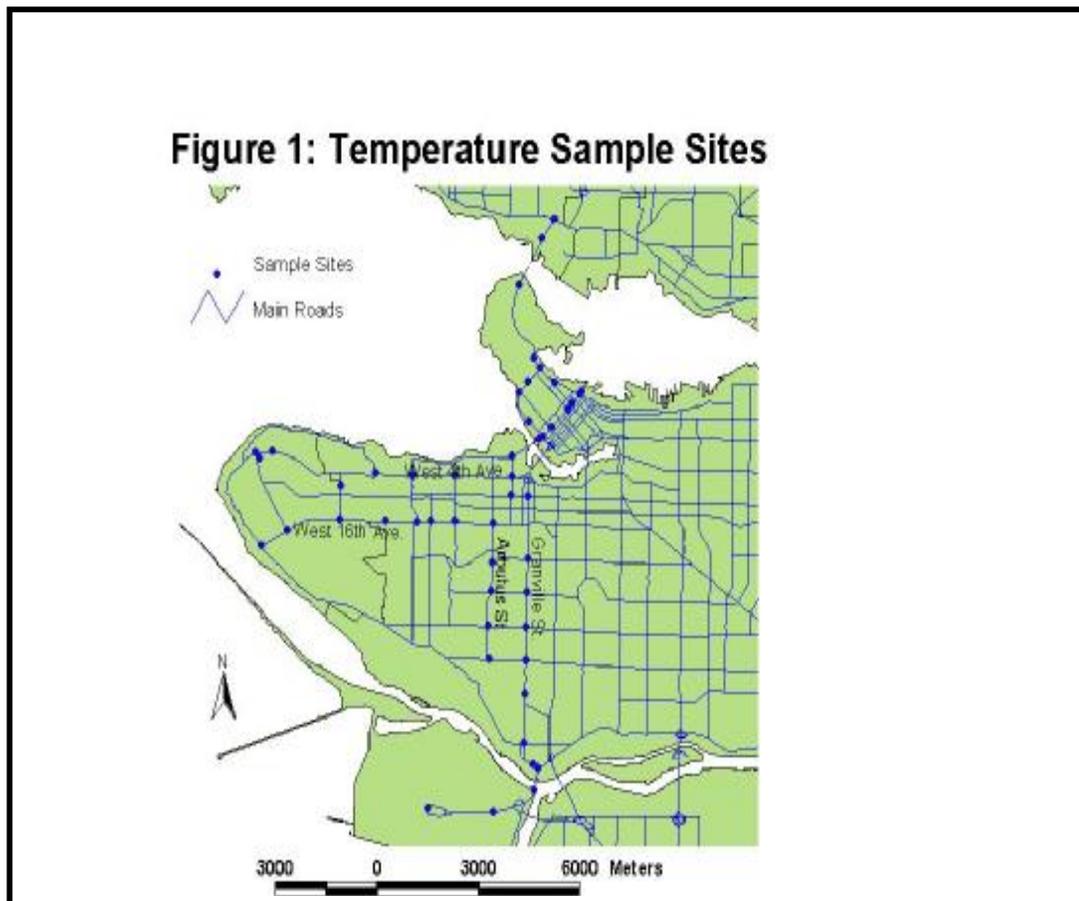


Fig.4.1 Le parcours et les différents points de mesure de la température à Vancouver. Source : Katrina Ao, Hanh Ngo T.M, 2000.

Les données brutes ont été corrigées, et les calculs avec ces valeurs ont déterminé les températures moyennes de chaque endroit dans toute la période d'observation, ainsi que les écarts type de chaque endroit. Chacun des 59 points a été numérisé, ensuite attribué à un code géographique dans le logiciel d'ArcView sur une carte de Vancouver. Une zone tampon de rayon de 100 mètres a été créée autour de chaque point. Par ailleurs, une carte d'utilisation du sol de Vancouver a été prise à partir du recensement des données de 1996, et a été insérer dans ArcView. Ces deux cartes, celle des températures moyennes tracées et celle de l'utilisation au sol ont été superposée. C'est ainsi que la carte résultante a permis de montrer l'utilisation au sol dans chaque emplacement témoin.

4.2.3 Résultats et analyse

La figure 4.2 illustre les températures moyennes dans toute la ville de Vancouver :

- La température moyenne la plus élevée est dans le noyau du centre entre 11.93 - 12.6 degrés Celsius
- La température moyenne la moins élevée a été relevé autour de l'université, entre 9.94 - 10.35 degrés Celsius².

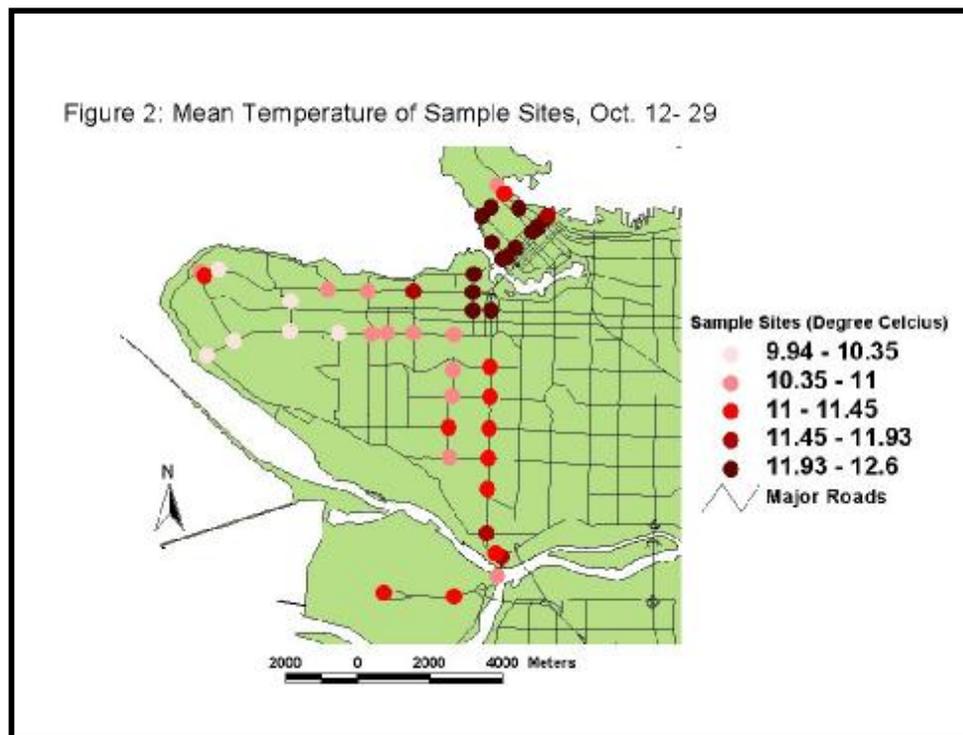


Fig. 4.2 Les moyennes de température au niveau des différents points dans Vancouver. Source: Katrina Ao, Hanh Ngo T.M 2000.

² Katrina Ao, Hanh Ngo T.M, *A GIS Analysis of Vancouver's Urban Heat Island*, Partie Méthodologie, [En Ligne] www.geog.ubc.ca/courses/klink/g470/class00/kf0/pointb.htm, (Page consultée le 16 mai 2006)

La classification de l'utilisation au sol représentée sur la figure 4.3 illustre l'ensemble des types d'occupation au sol à Vancouver :

- Les parties denses sont principalement concentrées dans le noyau du centre de la ville, constitué de constructions telles que résidences et bâtiments commerciaux.
- La majorité de la partie centrale de Vancouver est composée de terrains de faible densité et il y a une grande surface naturelle (de végétation) sur les alentours ouest de la ville.

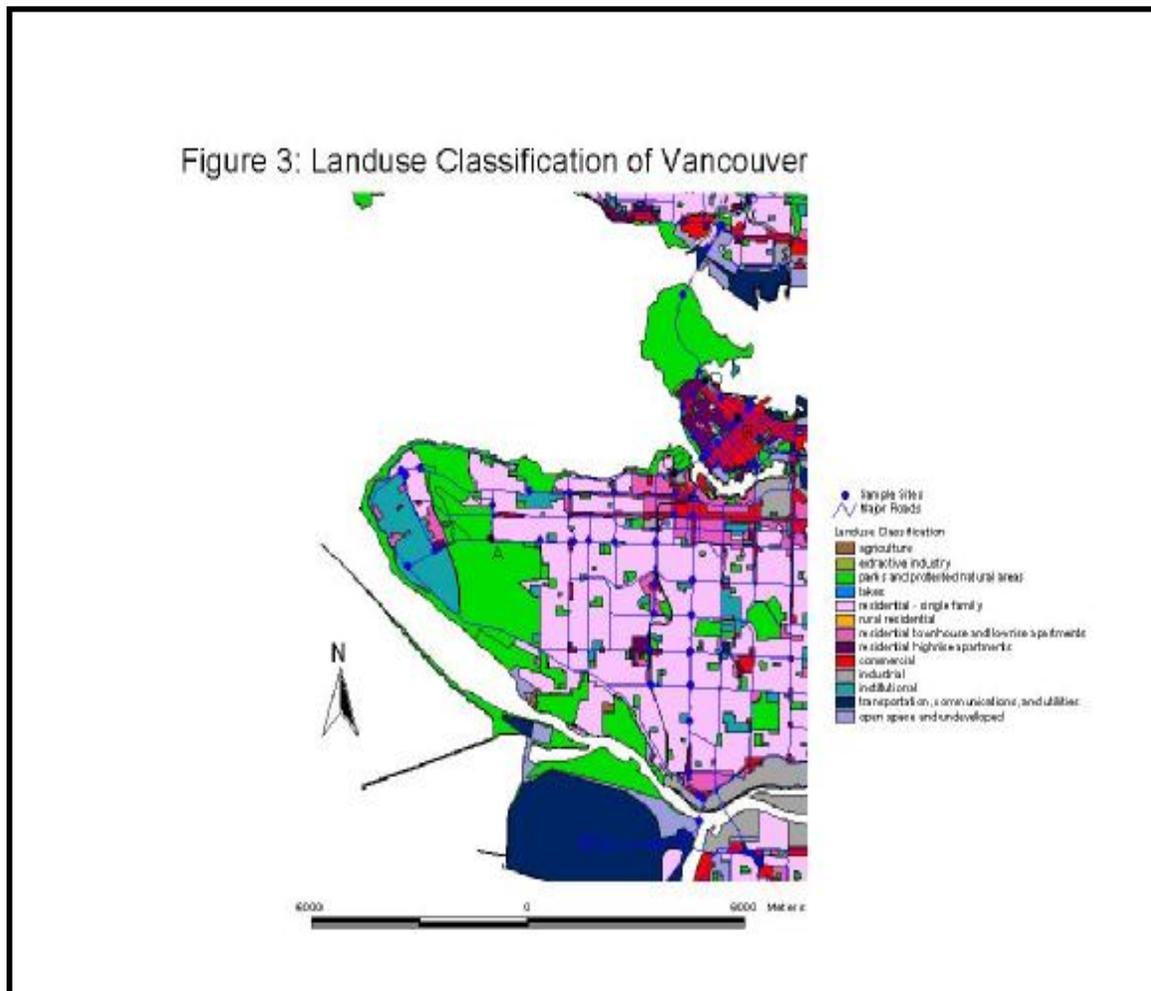


Fig. 4.3 Classification des différents types d'utilisation au sol dans Vancouver.

Source: Katrina Ao, Hanh Ngo T.M 2000.

Les schémas représentés sur les figures 4.4 et 4.5 représentent l'échantillon considéré, ainsi que la localisation des points A et le B. Le point A indique les endroits ayant les températures moyennes les plus basses tout au long de la période d'observation. À l'intersection ouest de la 16ème rue et des rues de Blanca, la température moyenne était de 9.94 degrés Celsius. Le point B indique l'intersection de la Géorgie et de Burrard Streets, et la température moyenne la plus élevée 12.60 degrés Celsius a été déterminée à cet endroit.

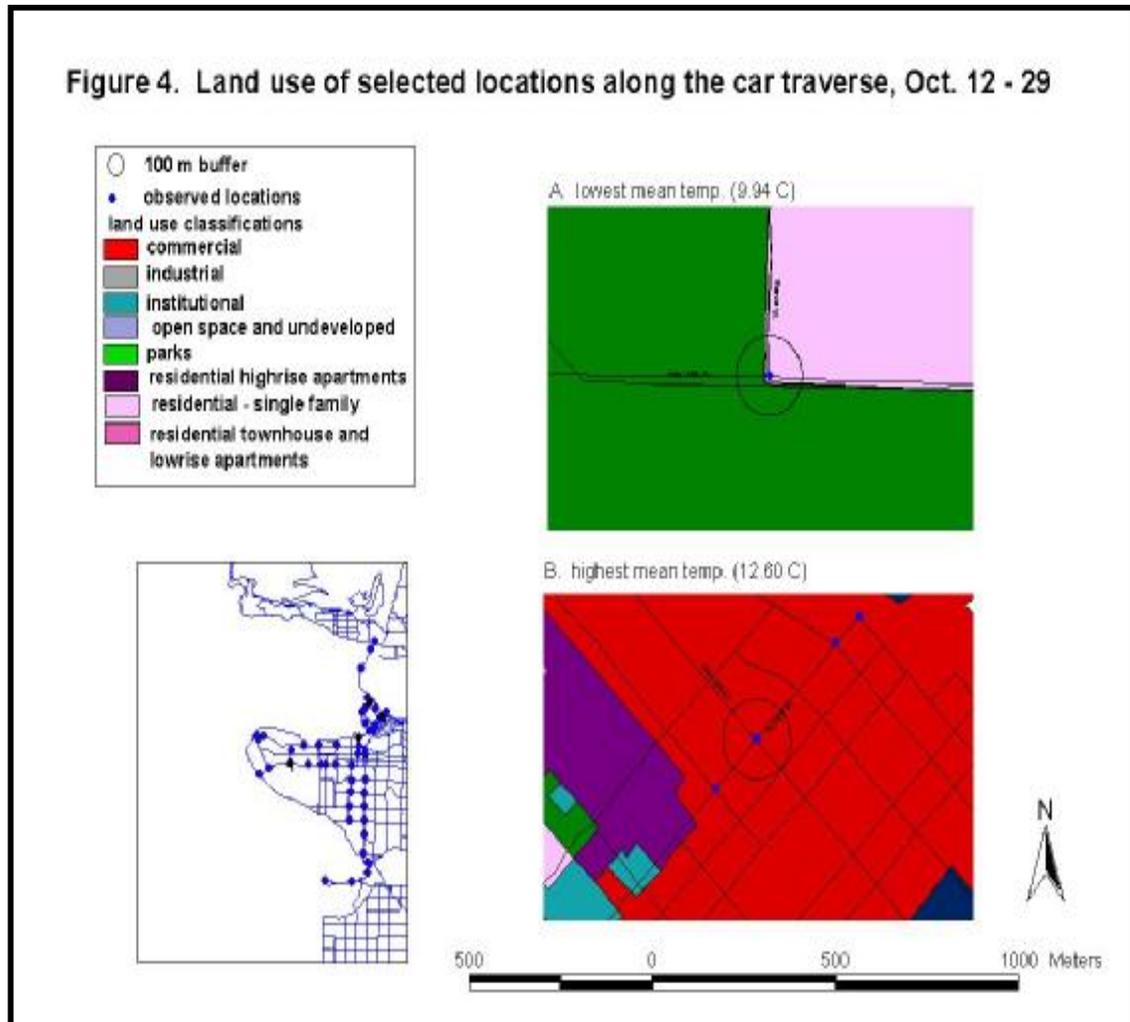


Fig. 4.4 Classification des différents types d'utilisation au sol pour les sites sélectionnés (Points A et B) le long du parcours du véhicule de mesures.

Source: Katrina Ao, Hanh Ngo T.M 2000.

Le schéma qui apparaît sur la figure 4.5 montre deux autres points d'emplacements témoin, qui sont les points C et D. Le point C montre l'endroit ayant écart type le plus bas. À l'intersection des rues de Burrard et de Cornwall, l'écart type est de 1.16. Le point D montre l'intersection des rues de la Géorgie et de Denman. Parmi tous les emplacements témoin, l'écart type le plus élevé de 1.82 a été déterminé à cet endroit. Le point C montre une zone tampon de site résidentiel de 50% avec la densité variable, de site industrielle de 33%, et d'espace vert de 17%.

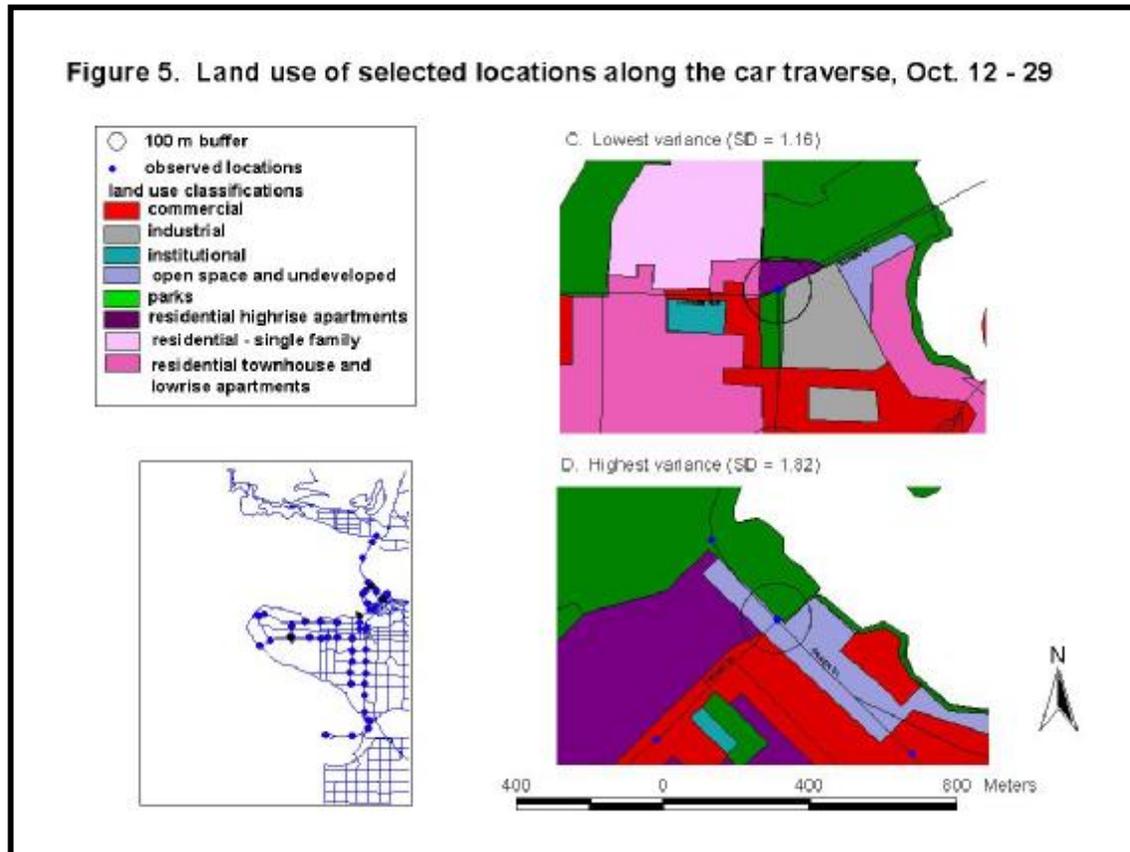


Fig. 4.5 Classification des différents types d'utilisation au sol pour les sites sélectionnés (points C et D) le long du parcours du véhicule de mesures. Source: Katrina Ao, Hanh Ngo T.M 2000.

4.2.4 Conclusion

Ce projet s'est intéressé aux modèles thermiques à Vancouver et les a relié à différents types d'utilisation au sol avec des zones tampons de moins de 100m. L'étude a identifié que les zones avec une forte densité du plan, tel que le noyau du centre de la ville de Vancouver indiqué sur les différentes figures, avaient révélé la température moyenne la plus élevée, et cette dernière était liée directement à la densité du plan en question, aux propriétés thermiques des structures

existantes et à la géométrie de rue.

Par ailleurs, les points d'intersections qui ont enregistré le plus grand écart de température étaient caractérisés par une utilisation au sol diversifiée (zones d'habitations, parcs, zones industrielles). Cette analyse a été possible grâce à l'utilisation du logiciel ArcView, qui a permis de combiné des cartes de différents thèmes, en fournissant une représentation visuelle des distributions d'utilisation au sol, et ainsi faciliter la tâche de trouver le rapport entre les caractéristiques qui peuvent sembler indépendantes. Cependant, cette analyse était limitée parce que les emplacements de température témoin n'étaient pas applicables aux procédures spatiales d'interpolation appropriées.

4.3 L'îlot de chaleur urbain de Genève

Adrien Grosrey en 1958 mettait déjà en évidence que «L'agglomération elle-même exerce une influence sur la température générale qui est certainement relevée en moyenne de un degré au moins". Cette approximation montre que déjà, à cette époque, on avait envisagé un réchauffement local de la ville par rapport aux alentours³. En effet, dans une autre étude Calame affine l'analyse et met en exergue une forte différence entre les deux stations surtout au niveau de températures minima et ce sur tous les mois de l'année et plus particulièrement en été. Les statistiques comparatives font apparaître un fort accroissement des températures depuis 1991, et l'auteur propose dans cette étude suite à un développement théorique sur l'îlot de chaleur urbain et ses conséquences, de comparer les paramètres météorologiques suivants : la température, l'humidité et les précipitations entre deux stations d'observations, de Genève-Cointrin et de Changins-Nyon, accessoirement celle d'Archamps⁴.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	an
Ville	1.0	2.0	5.8	9.5	14.0	17.5	19.5	18.8	15.3	10.0	5.3	2.2	10.1
Aéroport	0.2	1.1	4.9	8.7	13.1	16.6	18.4	17.6	14.3	9.2	4.5	1.5	9.2
Ville- Aéroport	+0.8	+0.9	+0.9	+0.8	+0.9	+0.9	+1.1	+1.2	+1.0	0.8	+0.8	+0.7	+0.9

Tableau 4.1. Températures mesurées à Genève Observatoire situé en ville et l'aéroport de Cointrin, Suisse. Source : Aubert, 1960.

³ Université de Genève, *L'îlot de chaleur urbain de Genève et ses conséquences*, Avril 1998, p. 1 [En Ligne] www.unige.ch/ses/geo/pls/sommaire.html, (Page consultée le 8 janvier 2006)

⁴ *Idem*, p 2.

Il s'agit ici d'analyser le phénomène des températures plus élevées de la partie centrale à densité de constructions importante de l'agglomération genevoise, par rapport à la périphérie dont la densité en plan varie selon les endroits.

4.3.1 Méthodologie

La méthode d'analyse utilisée dans cet exemple, tourne principalement autour du traitement et de la comparaison de données climatiques pour différentes stations, et sachant que les conditions météorologiques influencent l'extension de l'îlot de chaleur urbain, et qu'il se développe dans le centre-ville où sous le vent de celle-ci. Dans cette étude, pour la mise en évidence le phénomène d'ICU, il est proposé de tenir compte d'un certain type de temps anticyclonique avec un vent faible à nul, accompagné d'un ciel clair, en d'autres termes, de s'attarder un peu plus sur la période estivale. En hiver, l'écart de température étant maximum en raison de la chaleur d'origine anthropique. Les vents dominants influencent les courbes de températures en emportant avec eux des bulles d'air surchauffées des centres-villes vers les alentours de la ville. Lachal (1995) montre que la différence des températures entre le centre de Genève et la campagne peut atteindre 6°C entre les stations de La Servette et Satigny à titre d'exemple⁵.

Ceci a été vérifié et peut servir de comparaison, pour d'autres villes : Zurich 7 °C, Bâle 6°C, Berne 6 °C, Fribourg 5 °C et Paris 14 °C. Entre les berges du lac et le centre-ville, l'écart peut atteindre également 6 °C. Par ailleurs l'amplitude thermique est maximum à l'aéroport (15 °C) et minimum près du lac (3 °C). Lachal (1995) parle d'une valeur annuelle moyenne de 1,9 °C plus élevée pour le site urbain par rapport à la campagne : "cette différence étant plus marquée de nuit que de jour (2,5 °C contre 1,5°C)"⁶.

Selon l'auteur, l'îlot de chaleur urbain provoque également la diminution du nombre de jours de gel, un abaissement de l'humidité relative et une diminution du nombre de jours de brouillard ainsi qu'un ralentissement de l'écoulement des vents. Il a, de plus, une influence sur les précipitations.

⁵ **Lachal B.**, *Quelques aspects du climat urbain de Genève et ses conséquences sur l'environnement*, p. 119, **IN** Lachal B, Romero F, Weber W, (Ed.), Actes de la journée du CUEPE N° 62, Université de Genève. 1995

⁶ **Idem**, p. 124.

Afin de vérifier cela, Calame prend les moyennes annuelles de Changins et de Genève depuis 1964 -1997 et a constaté que, jusqu'en 1991, les écarts des températures moyennes mensuelles sont plutôt orientés négativement voire nuls, seuls les mois de janvier et de février montrent un écart légèrement positif de l'ordre de 0.04°C ⁷.

A partir de 1991 et jusqu'à aujourd'hui, les écarts se creusent nettement, pour atteindre 0.37°C pour la période considérée, tandis que les écarts maxima sont observés pendant les mois suivants : juin, juillet, août et octobre. Les conditions météorologiques prédominantes pendant l'année influencent les résultats. F. Calame (1995), a remarqué à ce sujet, que les différences maxima apparaissent (de l'ordre de 0.3 à 1.0°C) surtout par temps anticyclonique stable et vent faible de secteur sud-ouest. Il est indéniable et les chiffres le prouvent, que le nombre de jours de gel annuels dans la ville par rapport à la campagne environnante est nettement inférieur. Entre Changins et Cointrin, il y a environ 11 jours de gel en faveur de Changins ; on observe également un écart entre Cointrin et Archamps de 10 à 12 jours. D'après des recherches récentes du C. S. T. B pour Paris, les chercheurs ont pu mettre en évidence une diminution de l'humidité relative au centre des agglomérations ; en effet il est notoire que plus l'air est chaud, plus il lui est possible de contenir de vapeur d'eau, or dans ce cas de figure, la proportion entre la vapeur d'eau réellement contenue dans l'air et celle qu'il faudrait pour atteindre le point de saturation diminue de façon sensible.

En ce qui concerne les stations météorologiques sélectionnées pour l'étude sur la ville de Genève et Changins (1997), les écarts peuvent atteindre 12 % comme ce fut le cas le 26 mars 1997 : Changins (13 h) : 62 %, Cointrin : 50 % d'humidité relative⁸. Un autre facteur climatique, la direction des vents et leur intensité sont influencées par les formes urbaines, modifiant à travers la rugosité, l'énergie cinétique du vent qui diminue et sa vitesse moyenne en est affectée. D'autre part l'écoulement des vents est modifié par la structure des rues elle-même. (Accélération ou diminution). Mais il y a encore un phénomène important à relever ; l'écoulement naturel des brises, en relation avec le dôme d'air chaud, est aussi perturbé par les barrières d'immeubles, ce qui est le cas à Genève.

⁷ CALAME F., - *Mise en évidence du réchauffement de la zone de l'aéroport de Genève-Cointrin*, p111, **IN** Lachal B, Romerio F, Royer J, Weber W (Ed.), Actes de la journée du CUEPE N° 62, Université de Genève. 1995

⁸ **ISM.**, *Tableaux mensuels de Genève-Cointrin et Changins-Nyon*, Zurich, 1997.

Enfin les précipitations apparaissent comme un facteur influençant la formation d'îlot de chaleur urbain. Comme le rappelle G. Escourou (1991), l'étude de l'influence de, l'urbanisation est assez complexe ; d'aucun penchent pour une augmentation des précipitations de 10 %, due aux nombreux noyaux de condensation, à la rugosité, et à la chaleur. Tous ont un rôle synergique⁹.

Selon Calame, il convient de séparer deux cas de figures. Lorsque l'air est verticalement stable, il se produit peu d'influence sur les précipitations. En revanche dans les cas d'instabilité verticale, les conditions d'ascendance des masses d'air sont alors favorisées par l'air relativement plus chaud des centres-villes et la convection devient ainsi plus rapide sur la ville car le contraste entre les couches atmosphériques élevées bien plus froides que le substratum surchauffé des villes, élève ainsi le gradient vertical atmosphérique et accéléré l'instabilité de l'air¹⁰. Ainsi des orages avec des précipitations importantes sont alors observés. C'est en général sous le vent de l'îlot de chaleur que se produit le maximum de précipitations, ce qui correspondrait pour Genève au nord-est de l'agglomération.

4.3.2 Conclusion

Les analyses effectuées nous montrent un réchauffement du site de Genève-Cointrin qui est très certainement dû à la densification de l'habitat et des surfaces construites en plan. La moyenne annuelle des températures entre 1991 et 1997 à Cointrin a été de 10,6 °C, alors que la moyenne (1901-1960) est de 9.2 °C, soit une élévation de près de 1,5 °C. Le taux moyen d'humidité relative est tombé à 74 % alors que la moyenne est de 77 %. Les quantités de précipitations ont varié également. Le nombre de jours avec brouillard est passé à 24 jours, soit un écart négatif avec la moyenne de 25 % pour la même période.

Cette méthode était basée en premier lieu sur le traitement de données climatiques,

⁹ ESCOUROU G., *Le climat et la ville*, Paris, Nathan, coll. Géographie d'aujourd'hui, 1991.

¹⁰ CALAME F., *Mise en évidence du réchauffement de la zone de l'aéroport de Genève-Cointrin*, pp. 112, IN Lachal B, Romerio F, Royer J, Weber W (Ed.), Actes de la journée du CUEPE N° 62, Université de Genève, 1995

mesurées à partir de stations météorologiques fixes, situées soit à l'intérieur de la ville, soit sur les alentours de cette dernière pour pouvoir comparer et quantifier les différences qui peuvent y avoir entre le milieu urbain et le milieu rural, en tenant compte des paramètres météorologiques suivants : La température, l'humidité et les précipitations entre deux stations d'observations, celle de Genève-Cointrin et de Changins-Nyon, et accessoirement celle d'Archamps. Il s'agit ici d'analyser le phénomène des températures plus élevées de la partie centrale de l'agglomération genevoise, par rapport à la périphérie. En second lieu, et selon un autre auteur, l'étude du phénomène d'îlot de chaleur urbain à Genève, a été menée au moyen de mesures sur le terrain, en différents points du canton de Genève, pour les deux journées du 20 et 21 juillet 1995.

Si cette méthode n'est pas d'une grande précision dans les résultats qu'elle permet d'obtenir, elle a néanmoins, l'avantage de mettre en évidence l'existence de l'îlot de chaleur urbain, ainsi que la différence de température qui peut exister entre un milieu urbain à forte densité de constructions et à faible taux de végétation et les alentours de la ville qui se distinguent par des caractéristiques moins favorables à l'apparition du phénomène en question.

4.4 Cas de la ville d'Atlanta

L'aire métropolitaine de la ville d'Atlanta a connu une expansion spatiale rapide et importante à la fois, de sa population, mais aussi de son territoire dans lequel les espaces verts et la végétation ont été remplacés en grande majorité par des aires résidentielles à densité variable. Le projet de la NASA intitulé ATLANTA (Atlanta analyses d'utilisation du sol : température et qualité de l'air) a été initié en 1997 afin d'étudier l'effet du phénomène d'îlot de chaleur urbain sur les conditions météorologiques. Ce projet d'étude scientifique s'intéresse aux changements d'utilisation du sol dans l'aire métropolitaine d'Atlanta depuis 1970 jusqu'à la date de la présente étude (1999) et leur impact sur les conditions météorologiques ainsi que la qualité de l'air de la région. Il traite aussi un modèle simulant la manière avec laquelle la croissance urbaine future affectera le climat local de la région d'Atlanta.

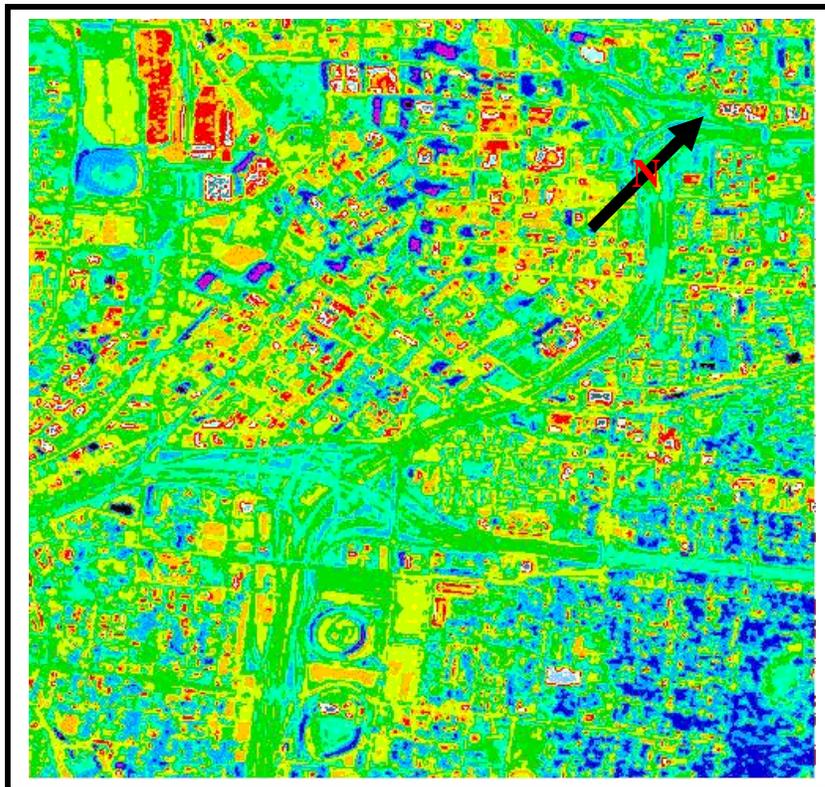


Fig. 4.6 Image satellite thermique de la ville d'Atlanta.

Source: NASA's Global Hydrology and Climate Center 2005.

4.4.1 Méthodologie

Cette méthode repose principalement sur l'utilisation de données de températures, à partir d'images satellites thermiques, qui ont été collectés au dessus de la ville d'Atlanta afin de faciliter l'étude du phénomène d'îlot de chaleur urbain. Des bornes aériennes multi spectrales thermiques et infrarouges ont été obtenues au dessus de la ville, grâce à l'utilisation du Logiciel Advanced Thermal and Land Applications Sensor (ATLAS) sur une aire de 48 x 48 km² centré sur le quartier d'affaires d'Atlanta (Central Business District CBD) pour les jours successifs du 11 et 12 Mai, 1997¹¹.

¹¹ Maurice G. Estes, Jr., Virginia Gorsevski, Camille Russell, Dale Quattrochi, Jeffrey Luvall. *The Urban Heat Island Phenomenon and Potential Mitigation Strategies and Potential Mitigation Strategies*, Alabama, p 4. [En Ligne] <http://www.ghcc.msfc.nasa.gov>. (Page consultée le 15 janvier 2005).

Les données thermiques recensées ont été effectuées avec une résolution spatiale de 10 mètres pixels pendant la journée, approximativement entre 11 :00 a.m et 3 :00 p.m heure locale. De façon à capter la plus grande incidence de radiations solaires au dessus du territoire de la ville. D'autres données ont été par ailleurs obtenues dans la journée du 12 Mai entre 2 :00-4 :00 a.m heure locale, afin de mesurer la température des surfaces urbaines de la ville pendant la période fraîche du cycle énergétique diurne¹².

L'utilisation des images satellites infrarouges, telles que celle qui est représentée sur la figure 4.6, permet de quantifier la magnitude de l'îlot de chaleur urbain à Atlanta, mais aussi d'identifier les foyers les plus chauds à l'intérieur de la ville. L'utilisation des couleurs sur les images satellites, et particulièrement au dessus du quartier d'affaires d'Atlanta fait apparaître les caractéristiques thermiques pour différents types d'usage au sol typiques des zones urbaines, tels que bâtiments, pavages, surfaces imperméables et végétation. L'image représentée par la figure 4.7 décrit différentes surfaces thermiques du paysage urbain par le biais d'une échelle de couleurs graduées. Cette dernière évolue du blanc, rouge vers orange pour les zones ou surfaces chaudes, et du jaune, vert au bleu pour les zones fraîches.



Fig. 4.7 Image satellite infrarouge de la ville d'Atlanta. Source: NASA's Global Hydrology and Climate Center, 2005.

¹² *Idem*, p 6.

A travers cette différenciation par la couleur, il apparaît que :

- le blanc et le rouge se concentrent au niveau des toitures de bâtiments à l'intérieur de la ville, ce qui les classe en première position des surfaces les plus chaudes.
- Aussi, le bleu couvre plusieurs surfaces toujours à l'intérieur de la ville, essentiellement grâce à l'ombre provoqué par certaines constructions ainsi que la surface forestière qui apparaît sur la portion sud-est de l'image.
- Le jaune et le vert indiquent la différence de température qui existe entre les surfaces planes et les voies et routes élevées.

4.4.2 Conclusion

Cette méthode nécessite des moyens très développés, à savoir l'utilisation d'images satellites à haute résolution qui permettent de fournir avec une grande précision non seulement les densités en plan de la ville considérée, les différents tissus, la présence ou non de végétation, de points d'eau, l'ensemble des surfaces urbaines. Mais, aussi les variations de températures qui existent entre tous ces éléments à l'intérieur de la même ville. L'avantage que procure cette méthode, c'est le travail à une échelle qui ne se limite pas à un îlot ou deux, mais qui peut traiter l'ensemble de ville de manière simultanée, ce qui permet, évidemment une lecture plus large, une analyse forcément plus riche en informations, mais surtout l'obtention de résultats représentatifs.

4.5 L'îlot de chaleur urbain dans la ville de Providence, USA.

Un autre exemple de l'utilisation d'images satellitaires, pour déterminer l'existence et l'intensité du phénomène d'îlot de chaleur urbain.

4.5.1 Méthodologie

En analysant des données thermiques obtenues à travers l'utilisation du logiciel ETM+ des images du satellite Landsat 7 pour le mois de juillet 2001, ainsi que la classification de l'utilisation au sol/ occupation au sol à partir du système d'information géographique du Rhode Island, il a été possible d'identifier la distribution spatiale d'utilisation au sol, couvert végétal, ainsi que la température journalière de la surface au sol pour la ville de Providence.

La carte colorée de la ville de Providence (Figure 4.8), et dont les couleurs représentent différentes valeurs de la température au sol, révèle un échantillon thermique de l'ensemble de l'aire considérée, en mettant l'accent sur les surfaces les plus chaudes au niveau des parties centre et sud-est de la ville. La superposition des cartes thermiques avec le couvert végétal a été effectuée, afin d'estimer approximativement l'impact thermique de la couverture par les arbres, et le seuil des 29°C a été appliqué, afin de localiser l'îlot de chaleur urbain pour la ville de Providence (Figure 4.9).

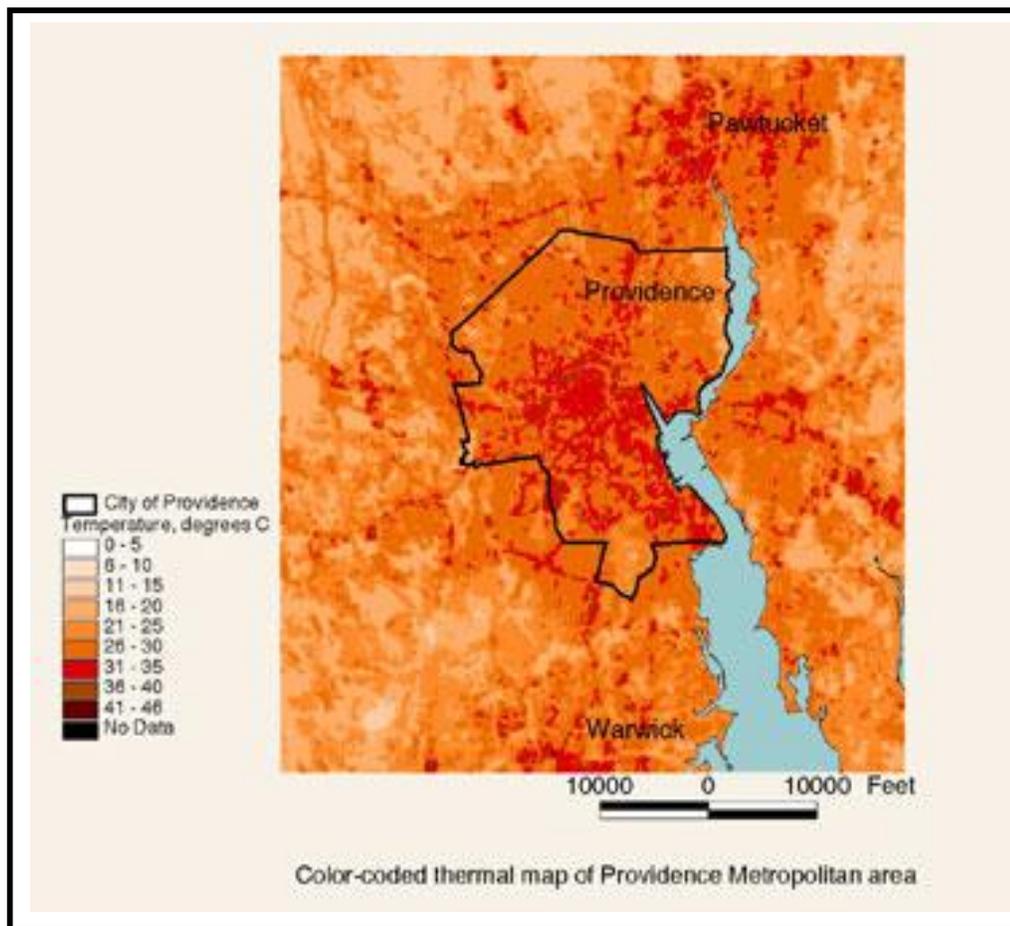


Fig. 4.8 Carte thermique de la ville de Providence au USA.

Source :(<http://www.edc.uri.edu/rigis/>)

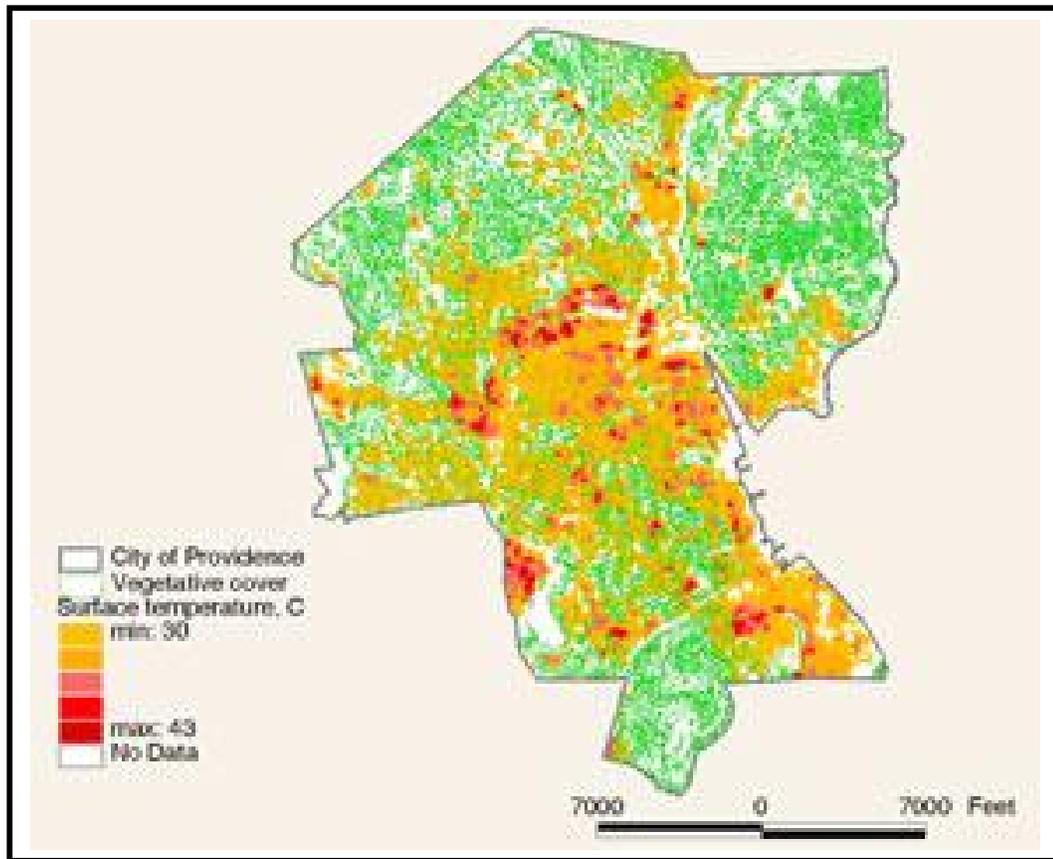


Fig. 4.9 Superposition de la carte thermique et du couvert végétal.

Source : (<http://www.edc.uri.edu/rigis/>)

4.5.2 Résultats

Au niveau de la ville de Providence, les parties à densité élevée en plan, regroupant les quartiers résidentiels, commerciaux et industriels représentent des îlots de chaleur urbains, avec une température de surface de l'ordre de 43°C pour des journées estivales. En moyenne, la température estivale de la surface des foyers d'îlots de chaleur urbains à Providence est 20°C plus élevée que les aires sub-urbaines environnantes et 13 °C de différence élevée par rapport aux quartiers où il y a de la végétation dans la même ville. Le niveau le plus élevé de la moyenne de température de surface entre 30-32 °C, est observé dans les zones commerciales de fabrication et diverses zones industrielles à activités multiples ¹³.

¹³ [Enligne] www.envstudies.brown.edu/classes/es201/2003/forestry/, (Page consultée le 15 janvier 2005)

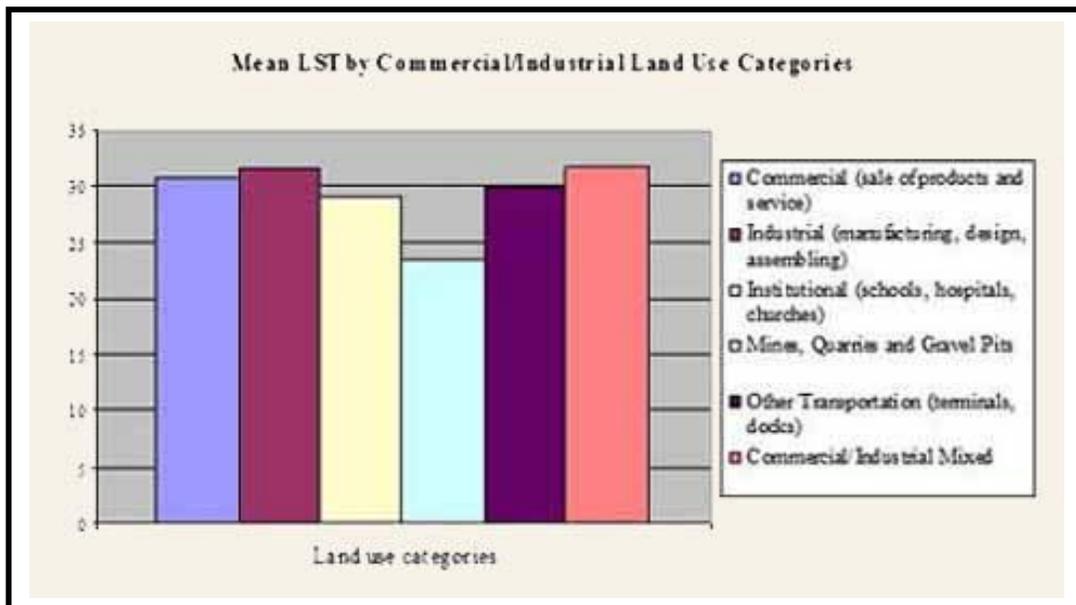


Fig. 4.10 Les moyennes de températures de surface par rapport aux différentes catégories d'utilisation au sol. Source : www.envstudies.brown.edu/classes/es201/2003/forestry/

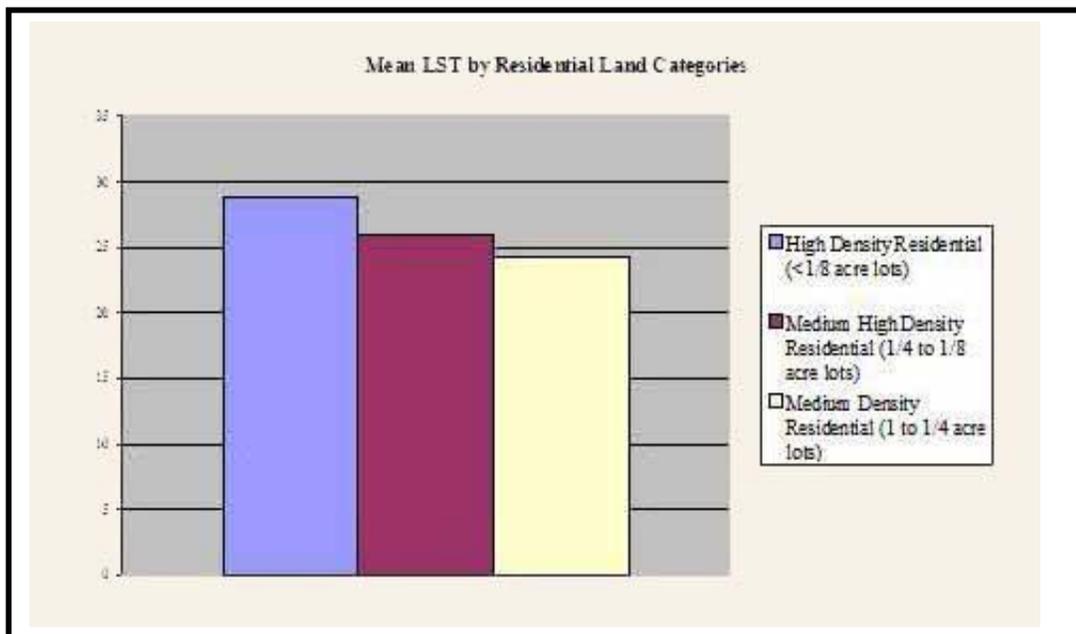


Fig. 4.11 Les moyennes de températures de surface par rapport aux différentes catégories de densités en plan. Source : www.envstudies.brown.edu/classes/es201/2003/forestry/

Il apparaît aussi que la valeur maximale de température de surface dans les zones à forte densité en plan, pour les parties résidentielles s'élève à 28°C, et le taux de végétation s'avère être faible dans ses zones d'habitation, ou insuffisant pour atténuer l'effet de l'îlot de chaleur urbain sur les températures enregistrées au niveau de ces sites.

4.5.3 Conclusion

La méthode utilisée dans l'étude du phénomène d'îlot de chaleur urbain au niveau de la ville de Providence, associe à la fois l'utilisation de l'outil cartographique, les données thermiques obtenues par satellite ainsi, que le traitement de données sur la densité du plan sous forme de graphe.

La superposition de données géographiques telles que : l'aire étudiée, le découpage selon l'occupation du sol, avec les différents types d'utilisation au sol permet de mettre en évidence, d'éventuels liens entre le comportement thermique es surfaces et leur utilisation.

En effet, il apparaît clairement que pour la ville de Providence, le couvert végétal agit de manière considérable sur les températures relevées, ce qui permet de dire que l'utilisation de la végétation peut être un bon moyen dans la réduction du phénomène d'ICU.

Par ailleurs, l'appréciation de la densité en plan qui a été défini par le rapport l'utilisation au sol/ occupation au sol, a permis de dégagé la relation entre ces deux paramètres et les variations de températures sous formes de courbes graphiques indiquant les différentes catégories de densité en plan (élevée, moyenne, faible) et la moyenne de température de surface.

6.1 Introduction

La présente recherche traitant de l'évolution climatique et urbaine de la ville d'Alger à travers des cartes et vues aériennes des sites considérés, au moyen de variations de température et de densité du plan bâti pour chaque station météorologique, a utilisé la comparaison de ces variations entre les stations pour pouvoir dégager la relation entre la densité du plan bâti et la température.

Cette dernière a permis de relever les points suivants :

- ü Le climat est entrain de changer à différentes échelles ;
- ü Il y a une importante tendance au réchauffement de la planète, du climat de l'Algérie et particulièrement celui d'Alger ;
- ü Le climat en milieu urbain est influencé par un ensemble de paramètres ; le terrain, le milieu bâti dans sa complexité (densité du plan bâti, géométrie des constructions, nature des matériaux, activités anthropiques...)
- ü L'existence du phénomène d'îlot de chaleur urbain au niveau de la ville d'Alger ;
- ü Il existe une relation entre les variations de températures d'un site donné et la densité du plan bâti de ce dernier ;
- ü Dans les aires urbaines, la végétation affecte directement les éléments du climat (la température, le vent, l'humidité,...)

6.2 Conclusion Générale

Les populations urbaines et leur environnement s'affectent mutuellement. Les personnes en milieu urbain changent leur environnement à travers leur consommation de nourriture, d'eau, d'énergie et de terres. L'environnement urbain pollué affecte à son tour la santé et la qualité de vie des populations urbaines.

L'urbanisation des populations du monde augmentera l'utilisation totale d'énergie, malgré l'efficacité, les nouvelles technologies et la consommation accrue d'énergie aura probablement des effets nocifs pour l'environnement. En effet, la consommation urbaine d'énergie aide à créer des îlots de chaleur qui peuvent modifier les modèles météorologiques locaux et la météo en aval des îlots de chaleur. L'urbanisation affecte aussi les environnements régionaux plus vastes. Les régions en aval de larges complexes industriels voient également des augmentations du montant des précipitations, de la pollution de l'air et du nombre de jours avec orages de chaleur.

La présente recherche vise à établir la relation entre les changements climatiques à différentes échelles (planétaire, régionale et locale), la variation de la température sous forme d'îlot de chaleur urbain, et la densité du plan bâti. L'objectif est la mise en évidence de cette relation, qui peut exister entre un paramètre climatique qui est la température, et un facteur urbanistique qui est la densité du plan bâti.

Parmi les résultats de la recherche, apparaissent les points suivants :

- La partie théorique de la recherche, a permis de traiter en détails deux éléments principaux, qui sont les phénomènes de changements climatiques et d'îlot de chaleur urbain. A travers cette partie, il est apparu que le phénomène d'îlot de chaleur urbain est lié à la fois à un ensemble de variations climatiques causé par un changement climatique globale, mais aussi à la croissance urbaine qui affecte directement le climat local d'une région donnée. On entend par croissance urbaine ; l'urbanisation et les activités qui l'accompagnent. Des études menées sur le climat urbain ont révélé que l'apparition de l'îlot de chaleur urbain dépend principalement de la densité urbaine¹ et que la chaleur est stockée dans les bâtiments, ce qui contribue à l'élévation de la température en milieu urbain².

¹ **Todhunter, P.E.**, "Microclimatic variations attributable to urban canyon asymmetry and orientation" IN *Physical geography*, Vol. 11, n° 2, 1990, pp 131-141.

² **Barry, G.R. and Chorley, R.J.**, *Atmosphere, weather and climate, chapter7: urban and forest climates*, éd. Lethuen, 3rd Ed, 1978, pp 322-352.

- Ø L'emprise au sol agit directement sur la quantité de radiations solaires réfléchies vers l'espace. Les recherches menées dans ce sens, ont établie le lien qui existe entre la densité du plan (ρ) qui représente le ratio surface toitures / surface totale et les conditions climatiques locales du site considéré.
- Ø La relation entre le bâtiment et l'environnement extérieur, et plus précisément le climat local est régi principalement par les caractéristiques liées à l'enveloppe de ce dernier. Sur le plan thermique, un bâtiment est en interaction continue avec les conditions climatiques extérieures, et il en résulte des échanges tels que les gains mais aussi les déperditions solaires.
- Ø Dans notre étude de cas sur la ville d'Alger, nous pouvons affirmer pour l'échantillon traité, qu'il existe une relation entre les caractéristiques urbaines d'un site donnée, et plus précisément la densité du plan et les variations de température. Ceci peut être généralisé pour l'ensemble de l'agglomération Algéroise, compte tenu de la représentativité des stations météorologiques choisies et de l'importance et la taille de la ville d'Alger.
- Ø L'influence de la proximité de la mer, apparaît clairement au niveau de la station d'Alger port. En effet, cette dernière ne connaît pas les mêmes baisses de températures en Hiver que les deux autres stations. Ce qui confirme le rôle de l'eau dans l'adoucissement des conditions climatiques propres à un site donné. Par contre, en été, les températures minimales restent élevées en comparaison avec les deux autres stations, ce qui pourrait s'expliquer par l'important pourcentage d'occupation au sol, donc des surfaces de toitures réceptives des rayons solaires, qui emmagasinent cette chaleur pendant le jour et la restitue pendant la nuit.
- Ø On enregistre des valeurs moyennes de température minimales allant jusqu'à 25°C Au mois d'Août et en moyenne pour la décennie, contrairement à Dar El Beida et Bouzaréah où la même moyenne est de l'ordre de 23°C. L'influence de la mer est sentée rafraîchir ces températures, mais ce n'est pas ce que l'on relève. Simplement, parce que il y a d'autres facteurs d'influence qui agissent sur les minimales, et dans ce cas précis, il apparaît que c'est la chaleur journalière emmagasinée par les surfaces ouvertes au ciel (toitures et rues) qui est à l'origine de cette différence au niveau d'Alger port.

Un élément important agissant sur le bilan thermique en ville, est vérifié au niveau du site de Bouzaréah, qui bénéficie d'un important pourcentage de couvert végétal, influençant directement la température. Les deux effets principaux de la végétation sont l'effet d'ombrage du rayonnement solaire (la plupart des arbres feuillus ont une transmissivité faible à l'égard du rayonnement solaire, entre 2 et 5%) et la conservation d'une température du feuillage proche de celle de l'air, soit entre 20-35°C inférieurs aux températures des surfaces des matériaux urbains communs, comme l'asphalte, les blocs de béton, etc. Comme résultat, la température de globe sous un grand arbre est habituellement de 15 à 20°C plus faible que la température de globe de la même surface sans ombre³.

En effet, en comparant les températures maximales enregistrées au niveau de Dar El Beida et Bouzaréah en été, on remarque qu'elles sont moins élevées à Bouzaréah pour des mois similaires. Il apparaît, à titre d'exemple pour l'année 1998, on enregistre une température maximale de l'ordre de 33.3°C pour le mois d'Aout à Dar El Beida contrairement à Bouzaréah où on relève pour la même année une valeur de 28°C, ce qui représente une différence de température de l'ordre de 5.3°C. Ceci appuie largement les résultats de Jauregui, qui a trouvé que le parc de Chapultepec à Mexico représente une zone de fraîcheur dans la ville couvrant 500 ha où l'on relève une baisse des températures de 2° à 3°C dans les parties proches. L'influence du parc est ressentie sur un rayon de 2 kilomètres⁴.

6.3 Recommandations

6.3.1 Recommandations pour le cas traité, après conception urbaine

Dans l'ensemble, les recommandations post conception urbaine agissent principalement sur les conditions climatiques environnantes des bâtiments, ainsi que sur leur enveloppe extérieure en contact direct avec les radiations solaires.

Pour les climats chauds :

- L'objectif étant d'obtenir la meilleure qualité de réflexion urbaine des rayons solaires, les structures en horizontal sont recommandés par rapport aux structures verticales.

³ M. Nikolopoulou, *Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain: une approche bioclimatique*, éd. Center for Renewable Energy Sources, Department of Buildings, Grèce 2005, p 16. [Enligne] http://www.alpha.cres.gr/ruros/dg_fr.pdf (Page consultée le 15.05.2006).

⁴ L.shashua-bar, M-e .Hoffman, "Vegetation as a climatic component in the design of an urban street- An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees" IN *Journal of Energy and building*, N° 31, 2000, p 221.

En d'autres termes, une densité du plan importante avec un maximum de surfaces horizontales et un minimum de surfaces verticales. Par exemple, une densité de 0.88 donne un albédo de 0.31 à 0.39 durant toute l'année, tandis que pour une densité de 0.5, l'albédo varie entre 0.23 et 0.28 (Tableau 6.1).

	Albédo 0.1 – 0.3	Albédo 0.4 – 0.6	Albédo 0.7 – 0.9
Surfaces	Asphalte noir Béton sombre Pelouse Ardoise	Béton clair Cuivre oxydé Brique rouge Pierre	Pierre calcaire Marbre blanc Peinture blanche

Tableau. 6.1 Classification des matériaux en trois catégories en fonction de leur albédo. Source : Santamouris M. and Doulos L. (2001). Department of Physics, Athens.

- En raison de la position élevée du soleil dans ce type de climat, les surfaces réceptrices principales sont les toitures, ce qui confirme l'idée qu'il faut augmenter leurs proportions par rapport à la surface totale. Ceci peut être renforcé par l'usage de surfaces claires qui permettent de contrôler l'albédo spécifique de ces surfaces.
- Pour la végétation, on recommande l'usage d'arbres à feuillage persistant à implanter là où le conflit avec l'accès au soleil ne se pose pas, tels que les espaces urbains extérieurs, qui pourraient aussi servir d'écran contre les vents, dans les parties exposées aux tempêtes de sable.
- L'ombrage maximal est assuré pour les structures bâties, tels que trottoirs et toute autre surface extérieure exposée au soleil. Aussi, les murs et fenêtres orientés à l'ouest et à l'est avec des arbres à grandes couronnes pour un ombrage en largeur.
- Dans les rues, prévoir une végétation assurant une ventilation naturelle à travers un aménagement qui permettrait l'ouverture aux niveaux inférieurs des rues.
- Prévoir une végétation dispersée, oasis avec arbres et gazon pour l'ombrage et l'effet de refroidissement par évapotranspiration.

Mais de manière générale, deux solutions majeures sont proposées. La première est de remplacer les surfaces foncées comme les toits noirs et les routes asphaltées par des surfaces claires et réfléchissantes, ainsi qu'à travers l'utilisation des toitures vertes. La deuxième est d'augmenter la quantité d'espaces verts en milieu urbain.

Une étude du Heat Island Group sur les écarts de température entre différents types de pavages avec des albédos différents (réflectivités). Les albédos ont été mesurés simultanément. L'asphalte foncé et récent dégage un albédo de 5 % et une température de 123° F (51° C). L'asphalte âgé émet un albédo de 15 % et une température de 115° F (46° C). Aussi, un enduit prototype d'asphalte a été développé à San José, cet enduit produit un albédo de 51 % et une température de 88° F seulement (31°c)⁵.

Pour les toits verts, l'idée est toute simple : faire pousser un couvert végétal en toiture. Ces toits végétalisés retiennent les eaux pluviales et atténuent les effets des îlots de chaleur urbains. Il existe deux types distincts de toits verts : les toits extensifs et les toits intensifs.

- Ø Les premiers sont légers et présentent un sol mince exigeant peu d'entretien. Les végétaux plantés doivent tolérer la sécheresse.
- Ø Les seconds exigent une plus grande profondeur de sol (de 20 à 60 centimètres) et un entretien et une irrigation plus importants - mais on peut y cultiver une plus grande variété de végétaux.

On trouve des toits verts à l'hôtel de ville de Toronto, à l'hôtel Fairmount Waterfront de Vancouver, sur l'immeuble de la Mountain Equipment Coop de Toronto ainsi que sur l'immeuble Merchandise à Toronto. Des études révèlent qu'en été, la température dans la ville de Toronto est de 4 à 10 °C plus élevée que dans les zones rurales adjacentes. En absorbant la chaleur, les toits verts réduisent la charge des appareils de refroidissement des immeubles, en plus de filtrer l'air ambiant, en éliminant les particules en suspension dans l'air et le dioxyde de carbone. Une végétalisation sur 6,5 km², soit 6 % de la superficie de toiture disponible à Toronto, permettrait d'éliminer chaque année 2,18 tonnes métriques de gaz à effet de serre et 30 tonnes métriques de polluants atmosphérique, et refroidirait les températures de 1 à 2 °C ⁶ .

⁵ Guay, F et Baudouin, Y. *Les îlots de chaleur urbains*, Collectivités viables/ Le bulletin d'information de vivre en ville, 2003. p 8.

⁶ Alison Empey, *Toits verts pour des villes en santé*, Environnement Canada, 2003.

Enfin, pendant les épisodes de fortes pluies, les villes ont souvent du mal à évacuer l'eau. Une superficie considérable de jardins suspendus accroîtrait considérablement l'absorption de l'eau de pluie, ce qui soulagerait le réseau d'égouts.

La deuxième solution repose sur la plantation d'arbres et l'aménagement d'espaces verts en milieu urbain. L'augmentation de la végétation aide à ombrager les villes du rayonnement solaire, favorise l'évapotranspiration et diminue la température de l'air. Ainsi, des arbres placés aux endroits stratégiques réduiront les coûts énergétiques de 10 % à 20 %⁷. À plus petite échelle, chaque individu peut contribuer à abaisser la température de son quartier. Les façades de maisons ou d'immeubles à appartements recouverts de vignes et de jardins suspendus luxuriants offrent plus qu'un oasis de verdure dans un amas de béton.

6.3.2 Avant la conception urbaine

Dès les premières étapes de la conception urbaine, il y a moyen d'agir sur les conditions climatiques à prévoir pour les futures constructions. Ceci est possible à travers l'intégration de la dimension climatique en urbanisme, et en particulier pendant la phase de conception urbaine. A cet effet, en 1996 Golany⁸ a mis en évidence la démarche à suivre pour l'intégration urbaine du climat. Cette dernière est résumée, comme suit :

1. Choix du site
2. orientation des rues périphériques, par rapport à la pénétration du vent pour atténuer l'îlot de chaleur urbain
3. Usage des sols :
 - Ségrégation – intégration des activités à adopter alternativement
 - Relation à la direction du vent / risque de pollution
 - Espaces urbains dimensionnés et aménagés en fonction du climat (pavés, plantés,...)
 - Ségrégation des industries, transports usages à risques
 - Intégration des activités : résidentielles, commerciales, bureaux, espaces verts,...
 - Proximité : réduire les distances de déplacement pour l'économie d'énergie et confort dans les espaces extérieurs.
 - Infrastructures et drainage : éviter l'accumulation des eaux, risques d'inondations

⁷ Guay, F et Baudouin, Y. *Les îlots de chaleur urbains*, Collectivités viables/ Le bulletin d'information de vivre en ville, 2003. p 9.

⁸ Golany, G. *Urban design morphology and thermal performance*, atmospheric environment, vol 30, n°3, 1996. p 455.

4. Projections d'entités résidentielles :
 - Orientation des rues/ au vent et au soleil
 - Largeur des rues/ ven, rayonnement, ombrage

5. Végétation :
 - En bordure des rues pour réduire les poussières et la pollution
 - Exploitation de l'évapotranspiration des plantes

6.4 Perspectives de recherche

L'accent est souvent mis aujourd'hui sur le respect des générations futures, préoccupation devant conduire à ménager les ressources non renouvelables de l'environnement planétaire. D'où l'adjectif *durable*, qui s'ajoute un peu partout, non seulement au développement mais aussi au transport, à la construction, à la ville ...

Son application au développement urbain pourrait paraître paradoxale au premier abord, dans la mesure où les villes sont essentiellement des lieux qui se sont développées en repoussant les limites écologiques du milieu ambiant par des innovations techniques et culturelles. Mais l'enjeu d'action et de réflexion n'en est que plus important.

Les perspectives de recherche future s'orientent donc, vers :

- Ø Un développement durable urbain à travers la gestion de la ville
- Ø La végétation et la réduction de la consommation énergétique
- Ø Les SIG (Système d'information géographique) et les températures en ville
- Ø L'utilisation des vues satellites dans l'identification des espaces urbains

Annexe 1 : Définitions

L'énergie solaire est l'énergie émise par le soleil sous forme d'ondes électromagnétiques (principalement entre 0,3 et 3 micromètres) ou toute autre énergie obtenue par captage du rayonnement solaire.

L'éclairement énergétique ou irradiance est le flux de rayonnement électromagnétique, par unité de surface, incident sur un plan donné. L'éclairement énergétique est exprimé généralement en watts par mètre carré (W/m²).

L'angle d'incidence est l'angle que fait un rayon incident avec la normale à la surface au point d'incidence. Cet angle détermine l'importance du rayonnement direct intercepté par la paroi.

L'angle d'inclinaison pour une surface captatrice est l'angle que fait cette surface avec le plan horizontal.

La constante solaire se dit de l'éclairement énergétique d'une surface normale aux rayons solaires, située à la limite de l'atmosphère. Cette valeur est fixée à 1.353 W/m².

Le rayonnement solaire dirigé vers la Terre est en partie absorbé par l'atmosphère et en partie renvoyé dans l'espace.

Rayonnement

solaire

Le spectre solaire est la distribution spectrale (en fonction de la longueur d'onde ou de la fréquence) du rayonnement électromagnétique émis par le soleil, depuis les rayonnements radio jusqu'aux rayons X.

Le rayonnement ultraviolet est un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde plus courte que le visible (<380 nanomètres) et plus longue que les rayons X.

Le rayonnement visible est un rayonnement électromagnétique stimulant le nerf optique humain, de longueur d'onde comprise approximativement entre 380 nm et 780 nm.

Le rayonnement infrarouge est un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde comprise entre 780 nm et 1 mm.

Le rayonnement solaire global est le rayonnement émis par le soleil incident sur une surface donnée.

Le rayonnement direct est le rayonnement solaire incident sur un plan donné, et provenant d'un petit angle solide centré sur le disque solaire.

Le rayonnement diffus est le rayonnement solaire global à l'exception du rayonnement direct. Il comprend la plus grande partie du rayonnement diffusé par l'atmosphère ainsi qu'une partie du rayonnement réfléchi par le sol, suivant l'inclinaison de la surface réceptrice.

Un isorad est une courbe, sur une carte, indiquant les sites de même irradiation durant un intervalle de temps donné.

La longueur d'onde électromagnétique définit le rayonnement et découle directement de la théorie ondulatoire de la lumière. Elle est égale au rapport de la vitesse de la lumière (300.000 km/s dans le vide) à la fréquence déterminant le rayonnement envisagé; elle s'exprime généralement en microns.

L'arc-en-ciel est le produit de la réfraction de la lumière du Soleil par un écran de gouttelettes d'eau. Chaque goutte d'eau agit comme un prisme qui décompose la lumière. Un rayon solaire, couvrant tout le spectre visible, tombe sur une goutte; ce rayon subit deux réfractions et une réflexion avant de ressortir, dans une direction qui dépend de la longueur d'onde. Ainsi, les rayons "rouges" seront plus déviés que les rayons "bleus". L'angle entre rayon incident et rayon émergent est de 43° pour les rayons "rouges" et de 41° pour les rayons "bleus".

Instruments de mesure du rayonnement

Un radiomètre est un instrument de mesure du rayonnement.

Le radiomètre de Crookes est un appareil permettant de mettre en évidence l'énergie transportée par les radiations, il est constitué d'une ampoule de verre contenant de l'air à faible pression et un petit moulin à quatre pales ayant chacune une face noire et une face blanche. Il en résulte une dissymétrie dans l'absorption du rayonnement incident, qui provoque la mise en rotation du moulin. Voir William Crookes

Un pyranomètre est un radiomètre pour la mesure du rayonnement dans un plan, le rayonnement incident étant issu de l'ensemble de l'hémisphère situé au-dessus de l'instrument.

Un pyréliomètre est un radiomètre muni d'un collimateur, pour la mesure du rayonnement solaire direct sous incidence normale.

Un héliographe est un instrument enregistrant la durée pendant laquelle le rayonnement solaire est d'une intensité suffisante pour produire des ombres distinctes.

Annexe 2 : Contribution du secteur de l'habitat et de l'urbanisme a la réduction de gaz a effet de serre

1. Sur le plan législatif et réglementaire :

Les mesures existantes reposent d'abord sur la réglementation thermique des bâtiments neufs. La mise en application d'une telle réglementation en Algérie date de 1997.

Le renforcement de cette loi a eu lieu en Août 1999, avec promulgation de **la loi relative à la maîtrise de l'énergie** publiée dans le Journal Officiel, cette dernière couvre de façon globale les différents secteurs d'activités dont le secteur de l'habitat, en faisant de la maîtrise de l'énergie une activité d'utilité publique prioritaire et en instituant les voies et moyens pour atteindre ses objectifs [65]. Un **décret exécutif**, adopté en avril 2000, portant sur la réglementation thermique des bâtiments neufs est venu accompagner cette loi. ¹

Ce décret institue l'obligation pour les bâtiments neufs de satisfaire à des performances minimales exprimées à travers des valeurs de référence pour l'enveloppe et qui constituent des limites à ne pas dépasser. Selon le même rapport du Ministère de l'habitat, L'application de ces deux textes devrait permettre une réduction de la consommation énergétique pour le chauffage et la climatisation de près de **40 %** dans le secteur de l'habitat.

D'un point de vue pratique, ces deux règlements visent dans l'immédiat :

- Ø La prise en charge des aspects bioclimatiques
- Ø L'isolation thermique systématique des toitures, condition indispensable pour la concrétisation de l'objectif d'économie d'énergie dans les habitations
- Ø L'amélioration des performances des parois verticales extérieures
- Ø La protection des baies vitrées, voire l'utilisation de double vitrages ou de vitrages absorbants
- Ø L'isolation thermique des parois en contact avec le sol ou avec les locaux non chauffés.

¹ Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, Atelier national sur les changements climatiques, Alger, 22 et 23 décembre 2003.

2. Sur le plan de la qualité des matériaux, produits et composants

Le choix des matériaux ainsi que des produits utilisés dans la construction, se porté jusque là sur des critères économiques et financiers, ainsi que sur des données pratiques telles que ; performances techniques, fabrication et mise en œuvre. Désormais il faudra aussi se préoccuper de leurs impacts environnementaux, à savoir :

- leur durée de vie,
- les modes d'élimination qui leur sont applicables,
- la présence éventuelle de substances toxiques et de leur mode d'émission ; afin de préserver la santé des usagers mais aussi celles des ouvriers qui les mettent en œuvre,
- l'énergie nécessaire à leur production.

3. Sur la qualité du cadre bâti

Selon le rapport de l'atelier sur les changements climatiques en Algérie, «Le développement d'une architecture adaptée au climat, l'architecture bioclimatique (option enseignée dans les écoles d'architecture algériennes) concilie les techniques modernes et le savoir-faire traditionnel... » Est la première mesure à prendre afin de minimiser l'utilisation de l'énergie, dans le but de maintenir les températures intérieures à un degré confortable.

Annexe 3 : Vues aériennes d'Alger

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages:

DELUZ J. J., *L'urbanisme et l'architecture d'Alger : aperçu critique*, éd. Pierre Margada, Liège 1988.

DIB Michel Nadia, *Les zones climatiques : Recommandations architecturales*, éd. ENAG, 1993.

DOKKEN D-J., (eds.), *Land Use, Land-Use Change and Forestry. Special Report of the IPCC*, éd. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 2000.

ESCOURROU, G., *Le climat et la ville*, éd. Nathan, Géographie d'aujourd'hui, Paris, 1991.

GOUDIE A-S., *The Human Impact on the Natural Environment*, éd. MA: MIT Press, 2^o éd, Cambridge, 1987.

IPPC, *Climate Change 2001 - The Scientific Basis*, Contribution du groupe de travail 1 au troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, IPCC 2001.

IPCC, *Scénarios d'émissions*, Rapport spécial IPCC, 2000

IZARD Jean-Louis, GUYOT Alain, *Archi bio*, éd. Parenthèses, Paris, 1979.

JEFFREY R. Taylor et Karen HARDEE A., *Consumer Demand in China: A Statistical Factbook*, Boulder, éd. CO Westview Press, 1986.

J.J.Deluz. *L'urbanisme et l'architecture d'Alger : aperçu critique*, éd. Edition Pierre Margada, Liège, 1988.

Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, *Aménager l'Algérie de 2020*, Alger, Mars 2004.

Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, *Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement*, Alger, 2000.

SZOKOLAY S-V., *Environmental science handbook for architects and builders*, éd. The construction press London, New York, Lancaster; 1979.

Publications, articles :

AIDA M., “Urban albedo as a function of the urban structure-A model experiment” IN *Boundary layer meteorology*, Vol. 23, 1982. pp 405-413.

AIDA, M. and GOTH, K., “Urban albedo as a function of the urban structure- A two dimensional numerical simulation” IN *Boundary layer meteorology*, Vol 23, N° 11, 1982. pp 415-424.

AKBARI, H and al., *Cool construction materials offer energy saving and help reduce smog* , ASM standardisation news, vol 23, n°11, 1995. pp 32-37.

AKBARI, H. and al, *characterizing the fabric of the urban environnement: A case study of Sacramento, California*, Urban island group, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, 2001.

ALI TOUDERT F., « Méthodologie d’intégration de la dimension climatique en urbanisme » IN *Les cahiers de L’EPAU*, N° 9/10, Alger, 2001, pp108-112.

ANDREW S. GOUDIE, *The Human Impact on the Natural Environment*, Cambridge, MA: MIT Press 2d éd, 1987. p 263

ANDREW M. and al., (2005), *Impact of increasing urban density on local climate: spatial and temporal variations in the surface energy balance in Melbourne, Australia*, School of Geography and Environmental Science, Monash University, Melbourne,

AVISSAR R., “Potentiel effets of vegetation on urban thermal environnement” IN *Atmosphere environment*, Vol. 30, N°3, 1996. pp 437-448.

BARBARA BOYLE .T, *L’urbanisation : une force environnementale incontournable*, PRB Population Reference Bureau, 2004.

BARRY, G.R. and CHORLEY, R.J. (1978): *Atmosphere, weather and climate, chapter7: urban and forest climates. Edition Lethuen, 3 Ed, pp 322-352.*

BASSO, M. and al., *Urban morphology and solar potential of the built environment in Andean cities of Hispanic layout. Assessing proposals towards a more sustainable Energy future*, PLEA, The 20th conference on passive and low energy Architecture, Santiago, Chile, 2003.

BESSEMOULINET P. OLIVIERI J., Bilan radiatif de la terre », ENS-Lyon, En ligne sur Internet Internet: [http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/glossary/A_D/albedo.html]

BOUCHERF Djamel, *Aperçu Climatologique de la Région d'Alger*, ONM Alger, 2003.

BOUCHERF Djamel, *Etude sur le climat d'Alger*, ONM Alger, Alger 2005.

BOUCHERF Djamel, *Les changements climatiques en Algérie*, ONM Alger, Septembre 2004.

CALAME F., - *Mise en évidence du réchauffement de la zone de l'aéroport de Genève-Cointrin*, p111, IN Lachal B, Romerio F, Royer J, Weber W (Ed.), Actes de la journée du CUEPE N° 62, Université de Genève, 1995.

ESCOURROU G, *Le climat et la ville*. Ed Nathan, Géographie d'aujourd'hui, Paris, 1995.

EMMANUEL B.1, *Profil moyen de la vitesse horizontale du vent dominant en site homogène et en site urbain*, la Rochelle.2001.

EUGENIO C et RODRIGO S, *Global radiation, energy budget and heat island mitigation in Santiago de Chile*, Université de Santiago, Plea 2003.pp 3-8

GIVONI B., "Urban design in different climates" IN *WCA-10, WMO/TD-N° 346*, W.M.O, 1989.

GOLANY, G., "Urban design morphology and thermal performance" IN *Atmospheric Environnement*, Vol 30, N°3, 1996.

GORDON WOLMAN M., "Population, Land Use, and Environment: A Long History", IN *Population and Land Use in Developing Countries*, éd. Carole L. Jolly et Barbara Boyle Torrey, Committee on Population, National Research Council, Washington, DC : National Academy Press, 1993.

LANDSBERG H.E., "Micrometeorological temperature differentiation through urbanization" IN *W.M.O. Technical note*, N° 108, Urban climates, Geneva, 1970.

LUDWIG F.L., "Urban temperature fields" IN *W.M.O. Technical note*, N° 108, Urban climates, Geneva, 1970.

MCPHERSON, E.G., "Shading urban heat islands in U.S desert cities" IN *Wetter leben*, Vol.44, n° 1-3, 1992.

MEIR I.A., "Urban space evolution in the desert-the case of Beer sheva" IN *Building and environment*, Vol. 27, 1992.

MINISTERE DE L'HABITAT ET DE L'URBANISME, *Atelier national sur les changements climatiques*, Alger, 22 et 23 décembre 2003.

OKE, T.R., “The urban energy balance Progress” IN *Physical geography*, Vol.12, 1988.

SHASHUA-BAR L., HOFFMAN M-e, “Vegetation as a climatic component in the design of an urban street- An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees” IN *Journal of Énergie and building*, N° 31, 2000.

TAHA et al., “Mesoscale meteorological and air quality impacts of increased urban albedo and vegetation” IN *Energy and Buildings*, Vol. 25, 1997, pp. **169-177**.

TODHUNTER P.E., “Microclimatic variations attributable to urban canyon asymmetry and orientation” IN *Physical geography*, Vol. 11, N° 2, 1990.

V.T. Ca, T.Asaeda, E.M. Abu, “Reduction in air conditioning energy caused by a nearby park” IN *Journal of Énergie and building*, N° 29, 1998, pp 83-92.

ZHANG X., VINCENT L.A., HOGG W.D., et NITSOO A., “Temperature and Precipitation Trends in Canada during the 20th Century” IN *Atmospheric Ocean*, Vol. 38(3), 2000, pp. 395-429.

Mémoires et thèses :

ABDOU S., *Investigation sur l'intégration climatique de l'habitat traditionnel en région aride et semi-aride d'Algérie cas de Constantine et Ouargla*, Thèse de Doctorat, Université de Constantine 2003-2004.

BOUARROUDJ ZERTAL Nedjoua, *Etat de l'environnement et prémisses de développement urbain durable en Algérie : Vers une lecture écologique de Constantine*, Thèse de Magister, option : urbanisme, Département d'architecture et d'urbanisme, Université Mentouri, Constantine, 2001.

BOUCHERIBA Fouzia, *Impact de la géométrie des canyons urbains sur le confort thermique extérieur : cas du Coudiat de Constantine*, Mémoire de Magister, option : bioclimatique, Département d'architecture et d'urbanisme, Université Mentouri Constantine, 2005.

BOURBIA F, *Building cluster and shading in hot dry climate*, PhD Thesis, University of Reading, 1999.

DE HATTEN, A., *Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain strasbourgeois- Elaboration d'une base de données climatiques*, Mémoire de maîtrise de géographie, Université Louis Pasteur Strasbourg, 2002.

RINGENBACH, N., *Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine, mesures, modélisation et validation sur Strasbourg*, Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 2004.

SIDDIQI A.A., *A study of the effect of shape and grouping of structures and their extenal landscape patterns on the irradiation of the urban built form*, Doctoral thesis, building science Dept., Sheffield University, U.K, 1978.

Cybérogaphie :

ADEME, [Enligne] <http://www.ademe.fr>, (Page consultée le 15 septembre 2005)

BESSEMOULINET P. et OLIVIERI J., « Bilan radiatif de la terre », ENS-LYON, [Enligne] http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/glossary/A_D/albedo.html, (Page consultée le ?? ,,,,,)

BESSEMOULINET P. et OLIVIERI J., « Rayonnement thermique, Bilan radiatif et effet de serre », 2000, [Enligne] http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/glossary/A_D/albedo.html, (Page consultée le ?? ,,,,,)

BOYLE TORREY Barbara, *L'urbanisation : une force environnementale incontournable*, PRB Population Référence Bureau, 2004, [Enligne] <http://www.prb.org/FrenchTemplate.cfm?Section=Accueil&template=/ContentManagement/ContentDisplay>, (Page consultée le ?? ,,,,,)

CAP LTER, « Arizona », [Enligne] <http://caplter.asu.edu/home/index.jsp>, (Page consultée le ?? ,,,,,)

CEA, « Effet de serre », 2005, [Enligne] <http://www.cea.fr/fr/pedagogie/EffetDeSerre/QuestionReponse1.htm>, (Page consultée le ?? ,,,,,)

EC, 2004, [Enligne] <http://caplter.asu.edu/home/index.jsp>, (Page consultée le ?? ,,,,,)

EC, [Enligne] http://www.msc.ec.gc.ca/education/scienceofclimatechange/understanding/newsletter/co2_sp_ring2004/3_f.html, (Page consultée le ?? ,,,,,)

ENS-LYON, *Bilan radiatif de la terre,* [Enligne] http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/glossary/A_D/albedo.html, (Page consultée le ?? ,,,,,)

ENS-LYON, *Rayonnement thermique, Bilan radiatif et effet de serre,* 2005, [Enligne] http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/glossary/A_D/albedo.html, (Page consultée le ?? ,,,,,)

FAO, 2005, [Enligne] [http : www.fao.com](http://www.fao.com), (Page consultée le ?? ,,,,,)

FAO, [Enligne] [http : www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr), (Page consultée le ?? ,,,,,)

FNUAP (Fonds Des Nations Unies Pour La Population), « L'état de la population mondiale, chapitre3 : les niveaux de développement et leur impact sur l'environnement », 2001, [Enligne] <http://www.unfpa.org/swp/2001/francais/index.html>, (Page consultée le ?? ,,,,,)

GIEC, « Bilan 2001 de l'évolution du climat : Incidences, adaptation et vulnérabilité », Contribution du Groupe de travail II au 3ème rapport d'évaluation du GIEC, [Enligne] <http://www.ipcc.ch>, (Page consultée le 25 mars 2004)

GIEC, « Bilan 2001 des changements climatiques : Les éléments scientifiques », Rapport de travail I du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, Suisse, [Enligne] <http://www.ipcc.ch>, (Page consultée le 25 mars 2004)

Groupe ABC Marseille, *Formes et dimensions d'une protection solaire en fonction de l'orientation,* 1999, [Enligne] [http:// www. marseille.archi.fr.abc.textes](http://www.marseille.archi.fr.abc.textes), (Page consultée le 3 octobre 2005).

IPCC, 2001, [Enligne] <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/motscles/Images/forcage.html>, (Page consultée le ?? ,,,,,)

JANCOVICI Jean-Marc, *Le réchauffement climatique : réponse à quelques questions élémentaires,* x-Environnement, [Enligne] <http://www.x-environnement.org>, (Page consultée le 4 Novembre 2004)

JANCOVICI Jean-Marc, *Quels actes de la vie courante "font" de l'effet de serre ?* Ingénieur Conseil président de x-Environnement, septembre 2003, [Enligne] <http://www.manicore.com>, (Page consultée le ??????)

JOUZEL Jean et LAURIUS Claude, *Évolution du climat : du passé récent vers le futur, la jaune et la rouge de 2000 : le réchauffement climatique*, [Enligne] <http://www.x-environnement.org>. (Page consultée le 1 Janvier 2005)

La jaune et la rouge, 2000, [Enligne] <http://www.x-environnement.org>. (Page consultée le 2 Octobre 2005)

LE GOURRIELLE S., *Extraits des cahiers de la médiation scientifique*, [Enligne] www.cite-sciences.fr/.../climax/contenu2.php, (Page consultée le ??????)

MASSON-DELMOTTE Valérie, *Les changements climatiques*, [Enligne] http://www.ens-lyon.fr/_1/Planet-Terre/Infosciences/Climats/Rechauffement/Images/Images. (Page consultée le ??????)

OMM, *Rapport de l'Organisation mondiale de météorologie*, 2004, [Enligne] <http://www.wmo.ch/web/Press.htm>. (Page consultée le ??????)

RITTER M., *The physical environment*, [Enligne] http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/glossary/A_D/albedo.html, (Page consultée le ??????)

SMC, *Service météorologique du Canada, Environnement Canada*, 2005, [Enligne] <http://www.smf.asso.fr/articles.html>, (Page consultée le ??????)

SMC, *Toronto : laboratoire des changements climatiques ?*, SMC 2002, [Enligne] <http://www.msc.ec.gc.ca/saib/atmosphere/ccl/>, (Page consultée le ??????)

SMC, [Enligne] <http://www.smf.asso.fr/articles.html>, (Page consultée le ??????)

SQUARE ONE Research, [Enligne] <http://www.squ1.com>, (Page consultée le 2 Octobre 2005)

SQUARE ONE Research, [Enligne] <http://www.ademe.fr/changements>, (Page consultée le ??????)

TAREB, « Architecture Basse Energie », IN *Energie dans l'environnement urbain*, [Enligne] <http://www.learn.londonmet.ac.uk>, (Page consultée le 2 décembre 2005)

WATSON R-T., NOBLE I-R., BOLIN B., RAVINDRANATH N-H., VERARDO D-J.,
WMO, *Rapport sur le climat mondial*, 2004, [Enligne] <http://www.wmo.com>. (Page consultée le
20 Septembre 2005)

WMO, *Les villes accentuent l'évolution du climat*, OMM, 2001, [Enligne]
<http://www.wmo.ch/web/Press/citiesfr.html>. (Page consultée le ??????)

ملخص

يظهر تغير المناخ كأحد المشاكل المقلقة بشكل كبير التي تعرفها البيئة في كوكبنا. ويعرف بأنه تغير الطقس الملاحظ في منطقة ما، إذ يتضمن كل العناصر التي عادة ما نشركها في الطقس وهي درجة الحرارة، خصوصيات الرياح وتساقط الأمطار. إن حرارة مجموعة سكنات حضرية هي ظاهرة مرتبطة بتغير المناخ وانعكاس مباشر للتعمير في وقت واحد.

وفي معظم الحالات يعد النمو الحضري معدلا ومغيرا محتملا للظروف المناخية لمنطقة معينة وذلك من خلال توسيع البناءات السكنية وزيادة الملحوظة لعدد السيارات ونقص الغطاء النباتي. ومن جهة أخرى فإن كثافة المخطط المبني يظهر وكأنه عنصر لديه تأثير مباشر على التغيرات التي تطرأ على درجات الحرارة في مدينة معينة وكلما كان التوقع على الأرض مرتفعا كلما كانت كمية الإشعاع أكثر انتشارا نحو الفضاء.

ويهدف هذا البحث إلى تكوين علاقة بين التغيرات المناخية في مستويات مختلفة (كوكب الأرض، جهوية ومحلية)، تغير درجة الحرارة في شكل مجموعات سكنية حضرية حارة وكثافة المخطط المبني. ويتمثل الهدف في توضيح هذه العلاقة التي بالإمكان أن تكون موجودة بين عنصر مناخي وهو درجة الحرارة وعامل عمراني وهو كثافة المخطط المبني.

وكان الهدف من دراسة الحالة الخاصة بمدينة الجزائر العاصمة إعطاء نظرة من جهة حول درجات الحرارة المسجلة ما بين سنة 1990 و 2000 ومن جهة أخرى تقديرات الفرق الفعلي بين درجات الحرارة المسجلة على مستوى ثلاث محطات بمعنى بين وسط المدينة وضواحيها. وأنجزت في هذا الإطار جداول بيانية تمثل التغيرات المناخية لتسهيل قراءة معطيات علم الأرصاد الجوية، انطلاقا من معطيات شهرية وسنوية بمحطة الأرصاد الجوية للدار البيضاء ومحطة بوزريعة ومحطة الجزائر العاصمة ميناء بالنسبة للالتقاط درجات الحرارة. ومن جهة أخرى فإن كثافة المخطط على مستوى محطات الأرصاد الجوية المختارة محسوب انطلاقا من صور جوية لمدينة الجزائر العاصمة مع الأخذ بعين الاعتبار عينة بنسبة 10/1 من مساحة الصورة الجوية وانتقاء داخل هذه العينة مجموعات سكنية مختلفة تقاس كثافتها بشكل منفصل للحصول على متوسط كثافة لكل محطة.

وكشفت النتائج المتعلقة بدراسة حالة مدينة الجزائر العاصمة عن وجود فرق سواء من ناحية درجة الحرارة بين المواقع الثلاثة للجزائر العاصمة وهي دار البيضاء، بوزريعة والجزائر ميناء أو من جانب عامل القياس الحضري المجسد من خلال كثافة المخطط. وكذلك فإن توفر أو عدم توفر العنصر النباتي يؤثر بشكل مباشر على المعطيات الخاصة بدرجات الحرارة وإن القرب من البحر يلطف من درجات الحرارة شتاء مثلما هو موضح في المثالين المتعلقين بموقعي بوزريعة والجزائر ميناء.

الكلمات

تغير مناخي، مجموعة سكنية حضرية حارة، كثافة المخطط المبني، درجة الحرارة، تعمير، علاقة، بيئة.