

Université Mohamed Khider – Biskra  
Faculté des Sciences et de la technologie  
Département : Architecture  
Ref : .....



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم: الهندسة المعمارية  
المرجع: .....

Mémoire présenté en vue de l'obtention  
Du diplôme de  
**Magistère**

**Option : Architecture, forme, ambiances, et développement durable.**

**Impact de la morphologie du bâtiment sur la  
dispersion des polluants atmosphériques  
Cas d'étude : ville d'Annaba**

Présenté par :

**ABDELJOUAD Meriem**

Soutenu publiquement le : 26 /06 /2014.

**Devant le jury composé de :**

**BENABBAS Moussadek  
BOULKROUNE Heddy  
BELGHAR Noureddine  
ZEMOURI Noureddine**

**MC 'A' Université de Biskra  
MC 'A' Université d'Annaba  
MC 'B' Université de Biskra  
Prof Université de Biskra**

**Président  
Examineur  
Invité  
Rapporteur**

## **REMERCIEMENTS**

Je souhaite exprimer ici toute ma reconnaissance et mon estime au Pr ZEMOURI Nourredine pour avoir accepté de diriger ce travail, en me faisant bénéficier sans restriction aucune de son savoir, ses compétences, son expérience, ainsi que sa confiance, sa gentillesse et sa compréhension.

Que HODA Sadok, soit également remercié pour sa disponibilité, ses nombreux conseils tout au long de ma réflexion et de la rédaction.

Que BELGHAR Nouredine, soit également convaincu de toute ma gratitude, qu'il soit remercié pour son soutien tout au long de cette recherche.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury qui ont accepté d'être présents lors de cette soutenance.

Je tiens également à remercier tout nos enseignants pour leurs précieuses recommandations, et toutes les personnes avec qui j'ai eu l'occasion d'interagir, durant ce travail de recherche.

Merci également à mes amies KABA Imen et ATTAF Yasmine pour tous les moments partagés et qui resteront gravés à jamais.

Mes plus grands remerciements vont à mes parents exceptionnels, mes adorables petites sœurs qui m'ont encouragé à me lancer dans cette aventure et ont su m'apporter un soutien sans faille.

Enfin, un immense remerciement à celui sans qui ces années auraient paru bien longues, sans qui le courage m'aurait sans doute parfois manqué, avec qui j'ai pu partager les doutes et les joies de ce travail de recherche : BENCHALEL Amir

# RESUME

Cette recherche s'inscrit dans l'univers des investigations portant sur la diversité environnementale en milieux urbains. Elle vise à étudier et analyser le rapport entre la morphologie urbaine, les microclimats et la dispersion de la pollution atmosphérique dans les espaces publics extérieurs par la simulation.

En milieu urbain, les paramètres microclimatiques tels que la température, l'écoulement de l'air, peuvent varier en fonction de l'espace et du temps. Ces variations générées par la morphologie urbaine affectent d'une manière significative la répartition des polluants dans l'air et engendrent ainsi des nuisances urbaines.

La compréhension des interactions de ces différents paramètres nécessite une approche de nature pluridisciplinaire. Les outils d'évaluation de la dispersion de la pollution atmosphériques autour des bâtiments que nous avons élaborés à l'aide de nos simulations sous le code Fluent du modèle CFD eulérien permettent de quantifier et de comprendre les effets dus au vent et leurs impacts sur la pollution atmosphérique.

La concentration des polluants à la micro échelle dans deux quartiers choisis situés à l'ouest de la ville, le quartier des orangers et le quartier Belaid Belgacem conçus à partir des années 70, qui sont connus par l'étalement urbain accru, ont fait l'objet de notre étude afin de mesurer leurs effets sur la caractérisation microclimatique d'une aire urbaine ainsi que leur impact sur la concentration et les directions des courants de polluants dans l'atmosphère.

L'application de l'analyse comparative aux deux quartiers, a permis d'observer qu'au niveau du quartier Belaid Belgacem la concentration des polluants est plus élevée à cause du ratio H/L qui crée le phénomène de la rue canyon, et la hauteur des bâtiments  $h < 14\text{m}$  qui a permis le transfert des polluants au niveau de tout le tissu et ainsi notre étude nous a permis de cerner les paramètres et les indicateurs morphologiques urbains (la densité, le ratio H/L des rues et les espacements entre les bâtiments ...etc) les indicateurs liés à la morphologie des bâtiments (forme, longueur, largeur, hauteur) et les paramètres climatiques (température de l'air, la direction et la vitesse du vent) responsables de l'accumulation ou de la dissipation des oxydes d'azote (NOx) et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

**Mots clés** : morphologie urbaine, microclimat urbain, pollution, dispersion, concentration, modélisation numérique, simulation, CFD.

## الملخص

هذا البحث هو جزء من التحقيقات المختصة في دراسة التنوع البيئي في المناطق الحضرية. انها تهدف الى إبراز وتحليل العلاقة بين مورفولوجيا الحضرية، المناخات و تشتت تلوث الهواء في الأماكن العامة في الهواء الطلق من خلال المحاكاة.

في المناطق الحضرية، يمكن للمعلمات المناخ مثل درجة الحرارة وندفق الهواء، أن تتغير حسب المكان والزمان. هذه التغييرات التي تنشأها مورفولوجيا الحضرية تؤثر تأثيرا كبيرا على توزيع الملوثات في الهواء وتوليد المضايقات الحضرية.

فهم التفاعلات بين هذه المعايير يتطلب اتباع نهج متعدد التخصصات من خلال المحاكاة و هي الأداة المستعملة في دراستنا و لتي سمحت لنا تقييم تشتت الثالوث في الغلاف الجوي حول المباني و تحديد الآثار الناتجة عن المناطق الحضرية وفهم هذه الآثار بسبب الرياح وتأثيرها على تلوث الهواء.

تركيز الملوثات في النطاق الصغير في اثنين من أحياء مدينة عنابة التي تم اختبارها في غرب المدينة، وهما حي البرتقال و حي بلعيد بلقاسم المصممة من السنة 70، والتي تعرف من قبل زيادة الزحف العمراني، وكانت الغرض من دراستنا إبراز تأثيرها على توصيف المناخ المحلي في المناطق الحضرية وتأثيرها على التركيز والاتجاهات الحالية للملوثات في الغلاف الجوي للمنطقة.

تطبيق القياس في منطقتين لمقارنة النتائج وقد لوحظ على مستوى حي بلعيد بلقاسم تركيز الملوثات بنسبة على بسبب  $H / L$  الذي يخلق ظاهرة الوادي الشارع، و ارتفاع المبنى ح >14م سجلت الذي يسمح بنقل الملوثات في جميع النسيج وبالتالي تسمح لنا دراستنا بتحديد المعايير والمؤشرات المورفولوجية الحضرية (الكثافة، والمساحات دخلت المباني ... الخ) المؤشرات المتعلقة مورفولوجية المباني (الشكل، الطول، العرض، الارتفاع) والمعلمات المناخ (درجة حرارة الهواء والتوجيه وسرعة الرياح) المسؤولة عن تراكم أو تبديد أكاسيد النيتروجين (أكسيد النيتروجين) وثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ).

**الكلمات الرئيسية:** مورفولوجيا الحضرية، المناخ، والتشتت، وتركيز، والنمذجة العددية، المحاكاة.



# ABSTRACT

The spatial form, or morphology, of urban areas may significantly affect the anthropogenic production of air pollutants. This dissertation explores the relationships between air quality and urban form.

In urban areas, the microclimate parameters such as temperature, air flow, can vary depending on space and time. These changes generated by urban morphology affect significantly the distribution of pollutants in the air and generate urban nuisances.

Understanding the interactions of these parameters requires a multidisciplinary approach, the evaluation of the dispersion of atmospheric pollution around buildings we have developed tools using our simulations with the Fluent CFD Eulerian model used to quantify and understand such effects due to wind and their impact on air pollution.

the concentration of pollutants in the micro scale in two selected neighborhoods located to the west of the city, the district orange and Belaid neighborhood Belgacem designed from the 70s, which are known by the increased urban sprawl, have been the purpose of our study to measure their effects on the microclimate characterization of an urban area and their impact on concentration and current directions of pollutants into the atmosphere .

the application of the comparison to two urban fragments, has observed that the concentration of pollutants in the area Belaid Belgacem is higher because ratio  $H / L$  creates the phenomenon of street canyon, and building height  $h < 14m$  which allowed the transfer of pollutants at all the fabric and thus our study allowed us to identify the parameters and urban morphological indicators (density, the ratio  $H / L$  of streets,... ) indicators related to the morphology of buildings (shape, length, width, height) and climatic parameters (air temperature, direction and wind speed) responsible for the accumulation or dissipation of oxides nitrogen (NOx) and carbon dioxide (CO2).

**Keywords:** urban morphology, urban microclimate, dispersion, concentration, numerical modeling, simulation, CFD

## **TABLE DES MATIERES**

Résumés	I
Table des matières	IV
Table des figures	XIII
Liste des tableaux	XIX
Nomenclature	XXI

### ***INTRODUCTION GÉNÉRALE :***

1.	INTRODUCTION	4
2.	PROBLEMATIQUE	4
3.	HYPOTHESE	4
4.	OBJECTIFS	5
5.	L'ANALYSE CONCEPTUELLE	5
6.	STRUCTURE DU MEMOIRE	6

### ***CHAPITRE I : LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE***

	INTRODUCTION	8
I-	LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE	9
I-1-	Définition	9
I-2-	Histoire de la problématique de la pollution de l'air	10
I-2-1-	L'antiquité ou la prise de conscience	10
I-2-2-	Le moyen âge : le luxe de respirer l'air sain	11
I-2-3-	L'époque des lumières : le développement des relations entre hygiène et santé	11
I-2-4-	La révolution industrielle : les accidents historique, et la définition de la pollution de l'air	11
I-2-5-	Le développement durable : la dimension planétaire de qualité de l'air	12
I-3-	La pollution atmosphérique en Algérie	13
I-4-	Les effets de la pollution atmosphérique	14
I-4-1-	La perception de la pollution sensible et les risques sanitaires	14
1-4-1-1-	Les incidences sanitaires restreintes directes	15
1-4-1-2-	La perception de la pollution sensible	15
I-4-2-	La dégradation du patrimoine bâti commun et historique	16
I-4-2-1-	Les types d'affectation qui caractérise la dégradation des bâtiments	16
I-4-2-2-	L'altération des matériaux liées a la pollution atmosphérique	17
I-4-2-3-	Les changements observés associés à la dégradation du patrimoine bâti	17
II-	LES POLLUANTS DANS L'ATMOSPHERE	18
II-1-	L'atmosphère	18
II-1-1-	La composition chimique de l'atmosphère	18
II-1-2-	La structure verticale de l'atmosphère	19
II-2-	Les polluants atmosphériques	19
II-2-1-	La typologie du polluant atmosphérique	19
II-2-1-1-	La nature des espèces rejetées	20

II-2-1-2-	Les types d'émetteurs	20
II-2-1-2-1-	Les sources non-anthropiques ou naturelles	20
II-2-1-2-2-	Les sources anthropiques	20
II-2-1-2-3-	La nomenclature Corinair	21
II-2-1-3-	Les échelles spatiaux-temporelles	21
II-2-1-3-1-	Les échelles spatiales	21
II-2-1-3-2-	L'échelle temporelle	24
II-2-1-3-2-	La qualité de l'air	25
II-2-1-4-	Réactivité avec l'atmosphère	26
II-2-2-	Les catégories des polluants	27
II-2-2-1-	Polluants primaires	27
II-2-2-	Les principaux polluants considérés de l'air ambiant	27
III-	DISPERSION DES POLLUANTS:	29
III-1-	Mécanismes de la pollution atmosphérique	29
III-1-1-	Les émissions:	29
III-1-2-	Le processus de transport-dispersion	30
III-1-3-	Les transformations physico-chimiques	31
III-1-4-	Les concentrations	31
III-1-5-	L'immission :	31
III-1-6-	La déposition atmosphérique :	32
III-1-6-1-	Processus de dépôts et de ré-émissions des polluants atmosphériques	32
III-2-	Processus de dispersion atmosphérique	35
III-2-1-	Le transport	35
III-2-2-	La diffusion	31
III-2-3-	Le dépôt sec a la surface du sol	32
III-2-	Les facteurs affectant la dispersion des polluants :	36
III-2-1-	Facteurs indirects liés aux paramètres de rejet :	36

III-2-1-1	Rejets instantanés versus continus	36
III-2-1-2	Rejets ponctuel versus diffus	37
III-2-1-3	La dynamique et thermique des polluants	38
	CONCLUSION	40

## ***CHAPITRE II : LE CLIMAT URBAIN***

	INTRODUCTION	41
I-	LE CLIMAT	42
I-1-	Définition :	42
I-2-	Les éléments météorologiques du climat	42
I-2-1-	Le vent	42
I-2-1-1-	Les paramètres du vent	43
I-2-1-2-	Les caractéristiques du vent	43
I-2-3-	La pression atmosphérique	44
II-	LE CLIMAT URBAIN	44
II-1-	Facteurs affectant directement le climat urbain:	44
II-1-1-	La morphologie propre à l'espace	44
II-1-2-	Eléments contenus par l'espace	45
II-1-2-1-	Les activités humaines (anthropiques):	45
II-1-2-2-	Les matériaux :	45
II-1-2-3-	L'albédo	45
II-1-2-4-	La densité et taille de la ville	45
II-1-2-5-	L'absence de végétation et d'eau	46
II-1-2-6-	La topographie (l'orographie)	46
II-1-2-6-1-	Le rôle des versants montagneux	46

II-1-2-6-2-	L'influence des régions encaissées	47
II-1-2-6-3-	Les brises thermiques : des phénomènes locaux imbriqués à des phénomènes d'échelle supérieure	47
II-2-	Les échelles horizontales du climat urbain	50
II-2-1-	La micro-échelle ( $10^{-2}$ à $10^3$ m)	50
II-2-2-	L'échelle locale (102 à $5 \times 10^4$ m)	50
II-2-3-	La méso-échelle (104 à $2 \times 10^5$ m)	51
III-	LES COUCHES VERTICALES ASSOCIEES AUX ECHELLES SPATIALES	51
III-1-	La couche limite planétaire ou couche limite atmosphérique (CLA)	51
III-1-1-	Décomposition de la couche limite atmosphérique CLA	52
III-1-1-1-	La couche de surface	52
III-1-1-2-	La couche d'Ekman (de transition)	52
III-1-2-	Structure de la couche limite atmosphérique CLA	53
III-1-3-	La turbulence dans la CLA	53
III-1-3-1-	La turbulence thermique	54
III-1-3-2-	La turbulence dynamique	54
III-1-4-	La Stabilité de la (CLA)	55
III-1-4-1-	Le degré de stabilité atmosphérique	55
III-1-4-2-	L'état de la couche limite atmosphérique :	55
III-1-4-2-1-	La CLA neutre	55
III-1-4-2-2-	La CLA instable	55
III-1-4-2-3-	La CLA stable	56
III-1-5-	Le phénomène d'inversion thermique	57
III-2-	La couche limite urbaine (UBL – Urban Boundary Layer)	58
III-3-	La canopée urbaine	58
III-4-	La sous-couche de rugosité (RS – Roughness Sub-layer)	59
III-5-	Le canyon urbain	59

IV-	LE MICROCLIMAT URBAIN	60
IV-1-	Aspect dynamique	60
IV-1-1-	Influence de la nature des sols : notion de rugosité aérodynamique	60
IV-1-2-	Effet d'un changement de rugosité sur le champ de vent	61
IV-1-3-	L'Effet de la présence des bâtiments	61
IV-1-3-1-	la présence d'un obstacle isolée	61
IV-1-3-2-	La présence de plusieurs bâtiments	63
VI-2-	L'Aspect thermique : L'ilot de chaleur	65
IV-2-	Les causes de l'ilot de chaleur (IC)	66
	CONCLUSION	68

### ***CHAPITRE III : LA MORPHOLOGIE URBAINE***

	INTRODUCTION	69
I	LA MORPHOLOGIE URBAINE	70
I-1-	Sur la notion de la morphologie urbaine	70
I-2-	Les approches de la morphologie urbaine via l'histoire urbaine	70
I-2-1-	L'approche synchronique	71
I-2-2-	L'approche diachronique	71
II-	LA FORME URBAINE	72
II-1-	La forme urbaine, une notion complexe	72
II-2-	Les concepts substituant la forme urbaine	73
II-2-1-	Tissu urbain et forme urbaine : contradiction ou antonyme ?	73
II-2-1-1-	Le système bâti	75
II-2-1-1-1-	La typologie des bâtiments	75
II-2-1-2-	Le volume des bâtiments	76
II-2-1-3-	L'organisation du bâti et tissus urbains	77
II-2-1-4-	La composition urbaine	77

II-2-1-5-	Projet urbain, l’outil de développement urbain durable	78
II-3-	les registres de la forme urbaine :(les approches)	79
II-3-1-	Approche forme urbaine comme forme du paysage urbain	79
II-3-2-	Approche forme urbaine comme forme social(ou morphologie sociale)	79
II-3-3-	Approche forme urbaine comme forme des tissus urbains	80
II-3-4-	Approche forme urbaine comme forme des tracés urbains	80
II-3-5-	Approche typo-morphologique	80
II-3-5-1-	Objectifs de l’approche :	81
II-3-6-	L’approche forme urbaine forme complexe	81
II-3-7-	Approche forme urbaine comme forme bioclimatique	81
II-3-7-1-	La problématique générale des ambiances urbaine	82
II-3-7-2-	Forme urbaine dense	83
II-3-7-2-1-	Densité mesurable : indicateurs	83
II-3-7-2-2-	Modularité des formes urbaines et densité	85
II-3-7-3-	L’étalement urbain	86
II-3-7-4-	La rugosité urbaine	86
II-3-7-5-	La porosité urbaine	86
II-4-	Les méthodes d’analyse urbaine	87
II-4-1-	Analyse séquentielle	87
II-4-2-	Analyse pittoresque	88
II-4-2-1-	Principes d’analyse	90
II-4-2-2-	Méthode d’analyse	90
II-4-3-	L’analyse paysagère	90
II-4-4-	Analyse spatiale selon Pinon :	91
II-5-	Les méthodes en la morphologie urbaine :	91
II-6-	La dimension de l’analyse de la forme urbaine	92
II-6-	Les outils de l’analyse spatiale	92



II-6-1-	Cartes photos et images	92
II-6-2-	Le cadastre	93
II-6-3-	Représentation 3D	93
	CONCLUSION	94

## ***CHAPITRE IV : ETAT DE L'ART***

	INTRODUCTION	95
I-	ETAT DE L'ART DES APPROCHES ET DES METHODES	96
I-1-	L'expérimentation de Katzschner (1988)	96
I-2-	L'expérimentation de Golany (1996)	96
I-3-	L'expérimentation de Givoni (1998)	96
I-4-	L'expérimentation de Scherer et al. (1999)	97
I-5-	L'expérimentation de Meroney et al. (1999)	97
I-6-	L'expérimentation d'Adolphe, (2001)	97
I-7-	L'expérimentation d'Adolphe et al. (2002)	98
I-8-	L'expérimentation d'Ait-Ameur (2002)	98
I-9-	L'expérimentation de Benzerzour et al. 2003	99
I-10-	L'expérimentation d'A.T. Chan et al (2003)	100
I-11-	L'expérimentation de Vardoulakis (2003)	101
I-12-	L'expérimentation de Mills (2003)	101
I-13-	L'expérimentation de Benzerzour (2004)	102
I-14-	L'expérimentation de Baumüller et al. (2005)	104
I-15-	L'expérimentation de Márton Balczó et al (2005)	104
I-16-	L'expérimentation de Sakhraoui et Premat (2005)	104
I-17-	L'expérimentation de Gilles Maignant, (2007)	106
I-18-	L'expérimentation de G.Faval et al (2007)	107
I-19-	L'expérimentation de Christof Gromke et al (2008)	108
I-20-	L'expérimentation de Jian Hang et al (2009)	109

I-21-	L'expérimentation de XIE Xiao-min, et al (2009)	110
I-22-	L'expérimentation de Riccardo Buccolieri et al (2010)	111
I-23-	L'expérimentation de M. Borysiewicz, et al 2010	112
I-24-	L'expérimentation de Nicolas Klein et al (2010)	113
II-	CARACTERISATION DES APPROCHES ET DES MODELS	114
II-1-	Dispersion de la pollution atmosphérique : approches interdisciplinaire	114
II-1-1-	Approche physico-morphologique : La contribution des climatologues	114
II-1-2-	L'approche morpho-climatique : La contribution des architectes et urbanistes	114
II-1-3-	Approche pluridisciplinaire	114
II-2-	Méthodes d'évaluation de la dispersion de la pollution atmosphérique	115
II-2-1-	La caractérisation des indicateurs : la méthode du model simplifié	115
II-2-1-1-	Les indicateurs « morpho-physique »	115
II-2-1-2-	Les indicateurs « physico-morphologique »	116
II-2-1-3-	Des indicateurs « morpho-physico-sensibles »	117
II-2-2-	L'opposition analyse synchronique/ diachronique	117
II-2-2-1-	L'analyse synchronique	117
II-2-2-2-	L'analyse diachronique	117
II-2-3-	L'opposition analyse bidimensionnelle/tridimensionnelle	118
II-2-4-	Analyse multi-physique	118
II-2-5-	Quantification des paramètres microclimatique dans un cadre bâti	118
II-2-5-1-	Expérimentation in situ ou essai en grandeur réelle	119
II-2-5-2-	Simulation physique de la dynamique des phénomènes	119
II-2-5-3-	Les contraintes de la maquette	119

II-2-5-4-	Simulation mathématique numérique	120
II-2-5-5-	Les modèles gaussiens	120
II-2-5-6-	Les modèles lagrangiens	120
II-2-5-7-	Les modèle de la mécanique des fluides CFD ou approche eulérienne	120
II-2-5-8-	Le couplage: modèle sous mailles	121
II-2-5-9-	Les modèles simplifiés	121
II-2-5-10-	La modélisation inverse	122
II-3-	Les convergences et les divergences des études sur la dispersion de la pollution atmosphérique.	122
II-3-1-	Les convergences ou complémentarités : méthodes de recherche, outils	122
II-3-2-	Les divergences : les données, les échelles spatiales, les échelles temporelles	123
II-3-2-1-	Les données	123
II-3-2-2-	L'échelle spatiale	124
II-3-2-3-	L'échelle temporelle	124
II-4-	Récapitulation	125
III-	POSITIONNEMENT EPISTEMOLOGIQUE	125
III-1-	Choix des approches	125
III-2-	Choix des méthodes	126
III-3-	La caractérisation des indicateurs	126
III-3-1	Indicateurs morphologiques	127
III-3-1-1-	Le bâtiment	127
III-3-1-2-	L'espace public	127
III-3-1-3-	L'organisation urbaine	128
III-3-2-	Indicateur sphysique du climat	129
III-4-	L'analyse tridimensionnelle : La modélisation de la géométrie	129
III-4-1-	Le lasermètres PD4 HILTI : La prise de mesure	129

III-4-2-	Le modeleur « bonzaï 3D »	130
III-4-3-	Le logiciel Magics 11.1 : Le nettoyage de la géométrie	130
III-4-5-	Le model eulérien (CFD) pour la quantification de la dispersion de la pollution atmosphérique	130
III-5-	L'approche comparative	131
III-6-	Le cas test	131
	CONCLUSION	133

## ***CHAPITRE V: CAS D'ETUDE***

	INTRODUCTION	134
I-	ANALYSE TYPO- MORPHOLOGIQUE	135
I-1-	Ville d'Annaba : présentation de la ville	135
I-2-	Secteur d'étude	136
I-2-1-	Le quartier des Orangers	137
I-2-1-1-	Identification	137
I-2-1-2-	description de l'opération	138
I-2-1-2-1-	Eléments du contexte	138
I-2-1-2-2-	Morphologie urbaine	139
I-2-1-2-3-	Description fonctionnelle	145
I-2-1-3-	Les indicateurs	146
I-2-2-	Le quartier Belaid Belguassem	147
I-2-2-1-	Identification	147
I-2-2-2-	description de l'opération	147
I-2-2-2-1-	Eléments du contexte	147
I-2-2-2-2-	Morphologie urbaine	148
I-2-2-2-3-	Description fonctionnelle	153
I-2-2-3-	Les indicateurs	154
I-2-3-	Récapitulation des paramètres morphologiques	155
II	ANALYSE DU CLIMAT URBAIN LOCAL DE LA VILLE	156

	D'ANNABA	
II-1-	La température	156
II-2-	L'humidité relative	156
II-3-	Le vent	157
II-3-1-	Le profil horaire moyen de la vitesse du vent	157
II-3-2-	Fréquence des classes de vitesse du vent	158
II-3-3-	La rose du vent (Fréquence en % des secteurs du vent pour année 2006	158
III-	LA POLLUTION ATMOSPHERIQUES A ANNABA	159
III-1-1-	La situation et la topographie de la ville	159
III-1-2-	Les Pollutions causées par l'industrie.	159
III-1-2-1-	Complexe des Engrais Phosphaté et Azotés « ASMIDAL »	159
III-1-2-2-	Complexe Sidérurgique d'El-Hadjar « ex : SIDER »	159
III-1-2-3-	Centrale Electrique la centrale thermique	160
III-1-2-4-	Ferphos	160
III-1-3-	Le parc automobile d'Annaba	160
III-2-	Classification des polluants	162
III-2-2-	Pollution par les poussières PM10	162
III-2-3	Pollution par l'ozone O <sub>3</sub>	163
	CONCLUSION	165

## ***CHAPITRE VI : MODELISATION ET SIMULATION DU CAS D'ETUDE***

	INTRODUCTION	166
I-	LA MODELISATION DES GEOMETRIES EN 3D	167
II-	LA MODELISATION ET LA SIMULATION DE LA DISPERSION DES POLLUANTS CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>	171
II-1-	La réalisation du maillage sous le code Gambit2.4.6	171

II-1-1-	La création de la géométrie du problème et le domaine d'étude	171
II-1-2-	Le maillage du domaine	172
II-1-3-	Le choix du type de maillage sous Gambit2.4.6 :	172
II-1-4-	Nombre total d'éléments	173
II-1-5-	Le raffinement du maillage	173
II-1-5-	La définition des frontières : types de conditions aux limites	174
II-1-5-1-	Conditions en vitesse	174
II-1-5-2-	Conditions en pression	174
II-1-5-3-	Conditions outlet	174
II-1-5-4-	Parois solides (condition type "wall")	174
II-2-	La simulation sous le solveur Fluent6.3.26 (volumes finis)	177
II-2-1-	Importation de la géométrie	177
II-2-2-	Choix du solveur	177
II-2-3-	Choix du régime d'écoulement	177
II-2-4-	Equations régissantes	177
II-2-4-1-	Equation de continuité	177
II-2-4-2-	Equations de transport de quantité de mouvement	178
II-2-4-3-	Le modèle k- $\epsilon$ Réalisable	178
II-2-4-4-	Equation de conservation de l'énergie	178
II-2-4-5-	Equations de transport des espèces	179
II-2-4-6-	Le modèle Eddy Dissipation	179
II-2-5-	Définition des caractéristiques du fluide	179
II-2-2-1-	La pression atmosphérique	180
II-2-2-2-	Velocity inlet:	180
II-2-6 -	Choix des critères de convergence	180
II-2-7-	Initialisation du calcul	180
II-2-8-	Lancement de la simulation	180

III-	ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS	181
III-1-	Relation entre morphologie urbaine et microclimat urbain	181
III-1-1-	Les indicateurs morphologique vs l'écoulement de l'air	182
III-1-1-1-	L'écoulement de l'air pour le quartier des orangers :	182
III-1-1-2	L'écoulement de l'air pour le quartier Belaid Belgassem	197
III-1-2-	Les indicateurs morphologique vs les données météorologique	210
III-1-2-1-	La pression atmosphériques	211
III-1-2-2 -	la densité de l'air	212
III-2-	la Relation entre microclimat urbain et la dispersion des polluants atmosphériques	213
III-2-1-	les Indicateurs microclimatique vs les polluants atmosphérique	213
III-2-1-1-	Le dioxyde de carbone CO <sub>2</sub>	213
III-2-1-2-	Les oxydes d'azote NO <sub>x</sub>	214
III-2-1-3-	La température	215
III-2-2-	le Processus de dispersion de la pollution atmosphérique	215
III-2-2-1-	Le transport	216
III-2-2-2-	La diffusion	217
III-2-2-3	Le dépôt sec au sol	218
III-3-	Relation entre la morphologie urbaine et la dispersion des NO <sub>x</sub>	218
III-3-1-	la dispersion des NO <sub>x</sub> dans le quartier des orangers	219
III-3-2-	la dispersion des NO <sub>x</sub> dans le quartier BelaidBelagassem	220
	CONCLUSION	226

## ***CONCLUSION GÉNÉRALE :***

1.	CONCLUSION	227
----	------------	-----

2.	LES LIMITES DE LA RECHERCHE	227
3.	LES RECOMMANDATIONS ARCHITECTURALES ET URBAINES	228
4.	LES PISTES DE TRAVAIL	229
	Bibliographie	230



# TABLE DES FIGURES

## *INTRODUCTION GÉNÉRALE :*

- Figure 1 :** Les trois catégories de variable.
- Figure 2 :** La démarche adoptée pour l'étude du phénomène de la dispersion atmosphérique.

## *CHAPITRE I : LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE*

- Figure I.1 :** Structure verticale de l'atmosphère
- Figure I.2 :** Origines et effets de la pollution atmosphérique
- Figure I.3 :** Emissions et immissions en milieu urbain
- Figure I.4 :** Résumé de l'ensemble des processus intervenant dans la dispersion des polluants de l'atmosphère
- Figure I.5 :** Les processus de transport et de diffusion
- Figure I.6 :** Emissions, transformation et dépôts de polluants
- Figure I.7 :** Rejet instantané d'un produit
- Figure I.8 :** Rejet continue d'un produit
- Figure I.9 :** Dispersion d'une bouffée de gaz dense

## *CHAPITRE II : LE CLIMAT URBAIN*

- Figure II. 1 :** Turbulence du vent autour d'une vitesse moyenne  $V_0$
- Figure II. 2 :** Ecoulement au-dessus d'une colline
- Figure II. 3 :** Schéma simplifié brise de mer
- Figure II. 4 :** Schéma simplifié brise de terre
- Figure II. 5 :** Les bises de pente le jour (brise anabatique)
- Figure II. 6 :** Les bises de pente la nuit (brise catabatique)
- Figure II. 7 :** Exemples de vent synoptique et de brises (littorales et orographiques) interférant les uns avec les autres
- Figure II. 8 :** Représentation des différentes couches de la troposphère)
- Figure II. 9 :** Structure de la couche limite atmosphérique
- Figure II. 10 :** Visualisation de la turbulence sur une maquette en soufflerie sous le vent d'un bâtiment
- Figure II. 11 :** Comparaison entre le gradient de température de l'atmosphère et le gradient thermique de l'adiabatique
- Figure II. 12 :** Les états de la couche limite atmosphérique.
- Figure II. 13 :** Situation normal
- Figure II. 14 :** Situation d'inversion thermique
- Figure II. 15 :** Représentation schématique de la couche limite urbaine (CLU) à méso-échelle (a), à l'échelle locale (b) et à micro-échelle (c)
- Figure II. 16 :** Situation de la canopée urbaine par rapport à la couche limite urbaine
- Figure II. 17 :** Présentation simplifiée de la couche limite urbaine et la canopée urbaine
- Figure II. 18 :** canyon naturel
- Figure II. 19 :** canyon urbain
- Figure II. 20 :** Ecoulement sur une surface à rugosité variable
- Figure II. 21 :** Ecoulement en présence d'un obstacle isolé
- Figure II. 22 :** Influence d'un obstacle sur l'écoulement du vent
- Figure II. 23 :** L'effet de trou
- Figure II. 24 :** L'effet de liaison des zones de pression différente entre immeubles
- Figure II. 25 :** L'effet Wise
- Figure II. 26 :** L'effet Venturi

- Figure II. 27 :** L'effet de canalisation
- Figure II. 28 :** L'effet de maille
- Figure II. 29 :** Profil d'un îlot de chaleur urbain et ses relations avec les paramètres de surface
- Figure II. 30 :** Recirculations dans un canyon avec (à droite) et sans (à gauche) différence de température entre les deux bâtiments

### ***CHAPITRE III : LA MORPHOLOGIE URBAINE***

- Figure III. 1 :** Représentation schématique de deux visions différentes du rapport « histoire-projet »
- Figure III. 2 :** Les éléments physiques qui font le tissu urbain
- Figure III. 3 :** Bâti ponctuel
- Figure III. 4 :** Bâti linéaire
- Figure III. 5 :** Bâti planaire
- Figure III. 6 :** Principaux types de volume
- Figure III. 7 :** La densité bâtie
- Figure III. 8 :** Assiette de calcul de densité
- Figure III. 9 :** Les multiples formes urbaines denses
- Figure III. 10 :** Typologie du bâti et densité nette
- Figure III. 11 :** L'analyse séquentielle de Panerai
- Figure III. 12 :** La vision sérielle par Cullen

### ***CHAPITRE IV : ETAT DE L'ART***

- Figure IV. 1 :** Le modèle de rue utilisé dans « OSPM ».
- Figure IV. 2 :** l'écoulement de l'air et la dispersion des polluants pour un prospect de la rue  $h/w=0.33$  sous le code fluent
- Figure IV. 3 :** L'écoulement de l'air et la dispersion des polluants (a)  $h/c= 0:5$
- Figure IV. 4 :** L'écoulement de l'air et la dispersion des polluants (b)  $h/c= 2:0$
- Figure IV. 5 :** La simulation de la dispersion des polluants atmosphérique dans la configuration urbaine Mongkok. Source (CHAN, 2003).
- Figure IV. 6 :** La géométrie de l'ensemble de bâtiments dans le modèle CFD.

- Figure IV. 7 :** Répartition de la pollution a 1,65 m de hauteur à la direction du vent W
- Figure IV. 8 :** Champs de concentration des NOx au long de la voie
- Figure IV. 9 :** Comparaison des résultats de la simulation avec les données de la soufflerie
- Figure IV. 10 :** La rue canyon étudiée
- Figure IV. 11 :** modèle de configuration de rue canyon et une plantation d'arbre dans une soufflerie
- Figure IV. 12 :** Quelques model de ville utilisés pour l'expérimentation numérique dans une soufflerie.
- Figure IV. 13 :** Variation de la forme urbaine globale et le renforcement de la densité surfacique pour des villes compactes de forme ronde et carrée avec une hauteur uniforme
- Figure IV. 14 :** La hauteur des bâtiments dans la ville de forme ronde augmente uniformément de l'extérieur (banlieue) vers le centre.
- Figure IV. 15 :** Croquis des sites de mesure
- Figure IV. 16 :** Schéma montrant l'augmentation de la densité du bâti par le tassement des géométries. Le vent souffle de la gauche le long de la direction x.
- Figure IV. 17 :** les résultats de l'écoulement de l'air dans les différentes géométries étudiées
- Figure IV. 18 :** les résultats concernant la moyenne d'âge de l'air au niveau des piétons.
- Figure IV. 19 :** l'écoulement de l'air modélisé dans le model de trois bâtiments identiques en 2D
- Figure IV. 20 :** Utilisation couplée de plusieurs modèles de simulation. Extrait du projet Terra Magna
- Figure IV. 21 :** Les différentes approches
- Figure IV. 22 :** Les différentes méthodes
- Figure IV. 23 :** Les divergences des études sur la dispersion de la pollution atmosphérique
- Figure IV. 24 :** Schéma synthétisant les approches, et méthodes utilisées dans notre étude
- Figure IV. 25 :** Laser mètre PD4 HILTI

## ***CHAPITRE V : CAS D'ETUDE***

- Figure V. 1 :** Situation de la ville de Annaba
- Figure V. 2 :** Situation de la ville de Annaba

- Figure V. 3 :** la ZHUN plaine ouest I et les périmètres de calcul
- Figure V. 4 :** les lotissements de Sidi Harb et les périmètres de calcul
- Figure V. 5 :** Périmètre de l'échantillon de tissu étudié la cité des orangers
- Figure V. 6 :** L'espace tampon comme stratégie temporelle
- Figure V. 7:** Quartier des orangers
- Figure V. 8 :** Catégorie n° 01 des îlots du quartier des orangers
- Figure V. 9 :** Catégorie n° 02 des îlots du quartier des orangers
- Figure V. 10 :** Catégorie n° 03 des îlots du quartier des orangers
- Figure V. 11:** Catégorie n° 04 des îlots du quartier des orangers
- Figure V. 12:** Catégorie n° 05 des îlots du quartier des orangers
- Figure V. 13:** Typologie et largeur des rues
- Figure V. 14:** Rue principale
- Figure V. 15:** Rue secondaire
- Figure V. 16 :** Rue tertiaire
- Figure V. 17:** Photos du quartier des orangers
- Figure V. 18:** Périmètre de l'échantillon de tissu étudié quartier Belaid Belkacem
- Figure V. 19 :** Quartier Belaid Belgassem
- Figure V. 20 :** Catégorie n° 01 des îlots du quartier Bellaid Belkassem
- Figure V. 21 :** Catégorie n° 02 des îlots du quartier Bellaid Belkassem
- Figure V. 22 :** Catégorie n° 03 des îlots du quartier Bellaid Belkassem
- Figure V. 23 :** Catégorie n° 04 des îlots du quartier Bellaid Belkassem
- Figure V. 24 :** Typologie et largeur des rues
- Figure V. 25:** Rue principale
- Figure V. 26 :** Rue secondaire
- Figure V. 27 :** Rue tertiaire
- Figure V. 28 :** Rue piétonne
- Figure V.29:** Photos du quartier Belaid Belgassem
- Figure V. 30:** Profils longitudinaux du quartier des Orangers
- Figure V. 31:** Profils longitudinaux du quartier Belaid Belgassem

- Figure V. 32:** Evolution des températures moyennes mensuelles 2006
- Figure V. 33:** Evolution de l'humidité relative moyenne mensuelles 2006
- Figure V. 34:** L'évolution du profil horaire moyen des vitesses du vent enregistre des valeurs très modérées
- Figure V. 35:** Fréquence des classes de vitesse du vent
- Figure V. 36:** La rose du vent
- Figure V. 37:** évolution des teneurs en poussière obtenu par la station de la ville d'Annaba..
- Figure V. 38:** Evolution du teneur en poussière par rapport à la température et l'humidité relative
- Figure V. 39:** Evolution moyenne mensuelle de l'ozone O3

## ***CHAPITRE VI : MODELISATION ET SIMULATION DU CAS D'ETUDE***

- Figure VI-1 :** Schéma des différentes étapes de la modélisation des cas d'études.
- Figure VI- 2** Création des surfaces des bâtiments en poly ligne sous Autocad (Quartier des Orangers)
- Figure VI -3** Création des surfaces des bâtiments en poly ligne sous Autocad (Quartier Belaid Belguassem)
- Figure VI -4** La modélisation de la géométrie en 3D avec le logiciel Bonzai (Quartier des Orangers)
- Figure VI -5** La modélisation de la géométrie en 3D avec le logiciel Bonzai (Quartier Belaid Belguassem)
- Figure VI -6** La modélisation de la géométrie en 3D avec le logiciel Bonzai (Quartier des Orangers)
- Figure VI -7** Nettoyage de la géométrie avec le logiciel Magix (Quartier des Orangers)
- Figure VI -8** Les étapes de la modélisation et de la simulation de la dispersion des polluants atmosphériques (CO<sub>2</sub> , NO<sub>x</sub>).
- Figure VI -9** Estimation du coût machine en fonction du nombre de mailles et du type de maillage
- Figure VI -10** Les types de maillage structuré et non structuré
- Figure VI -11** l'indépendance des résultats de la densité du maillage
- Figure VI -12** Schéma synthétisant les étapes du maillage sous Gambit

- Figure VI -13** Le maillage du domaine d'étude pour le quartier des Orangers
- Figure VI -14** Le maillage du domaine d'étude pour le quartier Belaid Belkassem
- Figure VI -15** Schéma synthétisant les étapes de la simulation sous le code fluent
- Figure VI-16** Les variables de la recherche et leur système d'interaction
- Figure VI -17** Digramme de la relation entre la morphologie urbaine et le microclimat urbain
- Figure VI -18** Digramme de l'analyse morphologie urbaine vs écoulement de l'air
- Figure VI -19** La configuration initiale du quartier des orangers et le domaine de simulation
- Figure VI -20** Ecoulement de l'air pour une vitesse de 2m/s a une hauteur h=1.5m
- Figure VI -21** Ecoulement de l'air pour une vitesse de 4m/s a une hauteur h=1.5m
- Figure VI -22** Ecoulement de l'air pour une vitesse de 8m/s a une hauteur h=1.5m .
- Figure VI -23** Le découpage obtenu par l'interaction de trois éléments
- Figure VI -24** La partie I et partie II du cas d'étude 1 avec leurs simulations sous fluent
- Figure VI -25** Les ilots face au vent et en aval de la partie I et sa simulation sous Fluent
- Figure VI -26** La disposition des bâtiments dans l'ilot 01
- Figure VI -27** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 01.
- Figure VI -28** La disposition des bâtiments dans l'ilot 02
- Figure VI -29** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 02.
- Figure VI -30** La disposition des bâtiments dans l'ilot 09
- Figure VI -31** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 09.
- Figure VI -32** La disposition des bâtiments dans l'ilot 03
- Figure VI -33** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 03.
- Figure VI -34** La disposition des bâtiments dans l'ilot 04
- Figure VI -35** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 04.
- Figure VI -36** Les ilots face au vent et en aval de la partie I et sa simulation sous Fluent.
- Figure VI -37** La disposition des bâtiments dans l'ilot 08
- Figure VI -38** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 08
- Figure VI -39** La disposition des bâtiments dans les ilots 7 et 10
- Figure VI -40** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour les ilots 7 et 10
- Figure VI -41** La disposition des bâtiments dans l'ilot 05

- Figure VI -42** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 05
- Figure VI -43** La disposition des bâtiments dans l'ilot 06
- Figure VI -44** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 06
- Figure VI -45** agrandissement de la vectrice vitesse au niveau du hiatus.
- Figure VI -46** La configuration initiale du quartier Belaid Belgassem et le domaine de simulation
- Figure VI -47** la partie I et partie II du cas d'étude 2 et l'orientation du vent.
- Figure VI -48** Ecoulement de l'air pour une vitesse de 2m/s a une hauteur h=1.5m
- Figure VI -49** Ecoulement de l'air pour une vitesse de 4m/s a une hauteur h=1.5m
- Figure VI -50** Ecoulement de l'air pour une vitesse de 4m/s a une hauteur h=1.5m
- Figure VI -51** la partie I et partie II du cas d'étude 2 avec leurs simulations sous fluent.
- Figure VI -52** les ilots face au vent et en aval de la partie I et sa simulation sous Fluent.
- Figure VI -53** La disposition des bâtiments dans l'ilot 10
- Figure VI -54** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 10
- Figure VI -55** La disposition des bâtiments dans l'ilot 01
- Figure VI -56** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 01
- Figure VI -57** La disposition des bâtiments dans l'ilot 02
- Figure VI -58** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 02
- Figure VI -59** La disposition des bâtiments dans l'ilot 03
- Figure VI -60** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 03
- Figure VI -61** La disposition des bâtiments dans les ilots 4 et 5
- Figure VI -62** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour les ilots 4 et 5
- Figure VI -63** La disposition des bâtiments dans l'ilot 11
- Figure VI -64** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 11
- Figure VI -65** les ilots face au vent et en aval de la partie II et sa simulation sous Fluent
- Figure VI -66** La disposition des bâtiments dans l'ilot 08
- Figure VI -67** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 08
- Figure VI -68** La disposition des bâtiments dans l'ilot 07
- Figure VI -69** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 07
- Figure VI -70** La disposition des bâtiments dans l'ilot 06



- Figure VI -71** Agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 06
- Figure VI -72** digramme de l'analyse morphologie urbaine vs les données météorologique
- Figure VI -73** la pression atmosphérique dans le quartier des orangers sous Tecplot 360
- Figure VI -74** la densité de l'air dans le quartier des orangers sous Tecplot 360
- Figure VI -75** digramme de l'analyse microclimat urbain vs la dispersion des polluants atmosphériques
- Figure VI -76** la dispersion des CO<sub>2</sub> dans le quartier des orangers sous Tecplot 360
- Figure VI -77** la dispersion des NO<sub>x</sub> dans le quartier des orangers sous Tecplot 360
- Figure VI -78** la température dans le quartier des orangers sous Tecplot 360
- Figure VI -79** Mécanisme global des impacts des polluants atmosphériques émis par les transports source
- Figure VI -80** le comportement du gaz CO<sub>2</sub> est gaz NO<sub>x</sub> dans le quartier des orangers
- Figure VI -81** le transport des NO<sub>x</sub> en rapport avec le champ du vent
- Figure VI -82** la diffusion des CO<sub>2</sub> (a) la façade face au vent, (b) et (c) les façades en aval.
- Figure VI -83** la diffusion des NO<sub>x</sub>(a) la façade face au vent, (b) et (c) les façades en aval.
- Figure VI -84** digramme de l'analyse morphologie urbaine vs les NO<sub>x</sub>
- Figure VI -85** la dispersion de la pollution atmosphérique dans le quartier des orangers
- Figure VI -86** la dispersion de la pollution atmosphérique dans le quartier Belaid Belgacem

# LISTE DES TABLEAUX

## *CHAPITRE I : LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE*

**Tableau I. 1 :** Composition de l'air

**Tableau I. 2 :** Les valeurs limites admissibles d'émissions de polluants en Algérie

## *CHAPITRE II : LE CLIMAT URBAIN*

**Tableau II. 1 :** Evolution de la quantité de polluants en fonction de la taille des villes

**Tableau II. 2 :** Valeurs typiques de rugosité

## *CHAPITRE IV : ETAT DE L'ART*

**Tableau VI. 1 :** Variation de la concentration en polluants selon différentes largeurs de rue

**Tableau VI. 2 :** Résumé des outils (diagonale en gris) utilisés aux échelles du bâtiment, du groupe de bâtiment, de l'implantation urbaine, pour répondre aux objectifs climatiques à ces échelles

**Tableau VI. 3 :** tableau synthétique des modes d'intervention sur la forme urbaine visant la régulation du microclimat urbain et l'air.

**Tableau VI. 4 :** synthèse des indicateurs morphologique déterminants

**Tableau VI. 5 :** Classification des modèles de dispersion couramment utilisés

**Tableau VI. 6 :** Indicateurs morphologiques

## *CHAPITRE V : CAS D'ETUDE*

**Tableau V. 1** Typologie et orientation des rues du quartier des Orangers

**Tableau V. 2** Indicateurs du quartier des orangers

<b>Tableau V. 3</b>	Typologie et orientation des rues du quartier Belaid Belgassem
<b>Tableau V. 4</b>	Indicateurs du quartier Belaid Belgassem
<b>Tableau V. 5</b>	Récapitulation des paramètres morphologiques
<b>Tableau V. 6</b>	Le parc automobile de la wilaya d'annaba source : direction des transports terrestre d'Annaba
<b>Tableau V. 7</b>	Classification des polluants
<b>Tableau V. 8</b>	Normes (OMS) pour NO2 concentration en µg/m3
<b>Tableau V. 9</b>	Valeurs mensuelles des maximums journaliers de PM10 obtenues par le réseau

## ***CHAPITRE VI : MODELISATION ET SIMULATION DU CAS D'ETUDE***

<b>Tableau VI. 1</b>	Nombre de nœud et de face de la simulation
<b>Tableau VI. 2</b>	Les indicateurs morphologiques de l'ilot 01
<b>Tableau VI. 3</b>	Les indicateurs morphologiques de l'ilot 02
<b>Tableau VI. 4</b>	Les indicateurs morphologiques de l'ilot 09
<b>Tableau VI. 5</b>	Les indicateurs morphologiques de l'ilot 03
<b>Tableau VI. 6</b>	Les indicateurs morphologiques de l'ilot 04
<b>Tableau VI. 7</b>	Les indicateurs morphologiques de l'ilot 08
<b>Tableau VI. 8</b>	Les indicateurs morphologiques des ilots 7 et 10
<b>Tableau VI. 9</b>	Les indicateurs morphologiques de l'ilot 05
<b>Tableau VI. 10</b>	Les indicateurs morphologiques de l'ilot 06
<b>Tableau VI. 11</b>	Les indicateurs morphologiques de l'ilot 10
<b>Tableau VI. 12</b>	Les indicateurs morphologiques de l'ilot 01
<b>Tableau VI. 13</b>	Les indicateurs morphologiques de l'ilot 02
<b>Tableau VI. 14</b>	Les indicateurs morphologiques de l'ilot 03
<b>Tableau VI. 15</b>	Les indicateurs morphologiques des ilots 4 et 5
<b>Tableau VI. 16</b>	Les indicateurs morphologiques de l'ilot 11
<b>Tableau VI. 17</b>	Les indicateurs morphologiques de l'ilot 8

<b>Tableau VI. 18</b>	Les indicateurs morphologiques de l'ilot 7
<b>Tableau VI. 19</b>	Les indicateurs morphologiques de l'ilot 6
<b>Tableau VI. 20</b>	la relation entre les forme urbaine, les effets types du au vent, et la dispersion des NOx

## NOMENCLATURE

### CARACTERES USUELS

A et B		constantes empiriques du modèle Eddy dissipation.
$C_p$	(j /kg K)	Chaleur spécifique à pression constante
D	(m)	diamètre
E	(j/kg)	énergie totale
$G_k$		Terme de production de l'énergie cinétique turbulente
$G_b$		Terme de génération de la turbulence par la Buoyancy
I	(%)	intensité de turbulence
k	( $m^2/s^2$ )	énergie cinétique turbulente
m	(kg)	masse
$M_{w,j}$	(g/mole)	masse molaire de l'espèce i
$P_r$		Nombre de Prandtl
r	(m)	rayon
R	( $R = 8.314 \text{ j } mole^{-1} K^{-1}$ )	constante universelle des gaz
$R_\epsilon$		Nombre de Reynolds
$R_i$	( $kg/m^3.s$ )	Taux net de production par réaction chimique
$S_c$		Nombre de Schmidt
$Sc_t$		nombre de Schmidt turbulent.

$S_{ij}$	$(s^{-1})$	Taux de déformation moyen
$S_s$		Terme source de $\emptyset$ par unité de volume
T	(K)	température
$T_0$	(K)	Température des gaz frais
$T_i$	(K)	Température d'inflammation
$T_f$	(K)	Température finale
t	(s)	temps
u, v	(m/s)	vitesses axiale et radiale moyennes
$\vec{v}$		Vecteur de vitesse
$Y_i$		Fraction massique d'une espèce i.
$Y_p$		Fraction massique d'une espèce P dans les produits.
$Y_r$		Fraction massique d'une espèce R dans les réactifs.

### ***LETTRES GRECQUES***

$\alpha$	$(m^2/s)$	diffusivité thermique
$\delta$		épaisseur de la zone de réaction
$\varepsilon$	$(m^2/S^3)$	taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente
$\lambda$		conductivité thermique.
$\mu$	(kg/m.s)	viscosité dynamique
$\mu_t$	(kg/m.s)	viscosité dynamique turbulente

$\nu$	$(m^2/s)$	viscosité cinématique
$\nu_t$	$(m^2/s)$	viscosité cinématique turbulente
$\nu', \nu''$		coefficients stœchiométriques pour réactifs et produits
$\rho$	$(kg/m^3)$	masse volumique
$\tau$	$(s)$	temps de réaction
$\overline{\Omega_{ij}}$	$(s^{-1})$	Taux de rotation moyen

## Introduction générale

## INTRODUCTION

La pollution, ce terme est récent dans le lexique de nos sociétés, et ce n'est qu'au cours de ces dernières décennies que l'humanité prend conscience de la variété et de la profondeur des significations qu'il recouvre en termes de dégradation du cadre de vie, de déséquilibres des écosystèmes et des perturbations des milieux terrestres.

L'industrialisation massive et l'explosion démographique du début du 20<sup>ème</sup> siècle, ont engendré des nuisances urbaines. La pollution que génèrent ces dernières est souvent une véritable « bombe à retardement » (cas de l'amiante, des déchets nucléaires, les déchets domestiques)

En Algérie, l'environnement malsain, est principalement celui du monde urbain. La santé des individus est directement influencée par leur environnement immédiat, La qualité de l'air, de l'eau, l'environnement sonore, olfactif et esthétique, autant de paramètres qui agissent sur la qualité et la durée de la vie humaine.

Pour saisir la complexité de cette situation, nous proposons, à travers cette étude, le répertoire de pollution atmosphérique dans l'agglomération de Annaba "Classée parmi les wilayas les plus polluées d'Algérie" ; Les principales sources génératrices de pollution et de nuisances sont les grands complexes industriels (Complexe des Engrais Phosphaté et Azotés « ASMIDAL », Complexe des Engrais Phosphaté et Azotés « ASMIDAL » Complexe Sidérurgique d'El-Hadjar « ex : SIDER ».

## PROBLEMATIQUE

Les problèmes d'environnements urbain recouvrent divers aspects le plus spectaculaire est celui de la pollution atmosphérique. Elle est définie par La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 en France « l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels. ». La pollution de l'air découle de la topographie et des conditions météorologiques. Notre étude consiste à déterminer si **l'existence des bâtiments peut modifier la dispersion des polluants atmosphériques? Comment les indicateurs liés à la morphologie urbaine et aux bâtiments affectent la dispersion des polluants? Quels sont les zones les plus exposées dans le bâtiment ? ou les polluants semblent s'accumuler dans un bâtiment ? La densification du tissu urbain est souhaitable ou pas ? Comment la morphologie urbaine freine, accélère ou bloque la dispersion de polluants ?.**

## HYPOTHESE

Dans cette optique, plusieurs recherches démontrent que les paramètres microclimatiques sont de prime importance du point de vue des activités qui ont lieu sur le site et jusqu'à un certain point, déterminent l'usage que l'on en fait la pollution atmosphérique est aujourd'hui imprégnée dans tout le tissu de notre vie moderne.

Comme un sous-produit de nos activités, Les atteintes à la qualité de l'air sont aujourd'hui un problème dans le monde entier et elles sont devenues un problème public puisque chacun d'entre nous a besoin d'un air suffisamment "propre" pour vivre.

L'influence aérodynamique des bâtiments est très importante pour la dispersion des polluants. La présence de bâtiments peut modifier la structure de la Couche Limite Atmosphérique, en altérant les champs de vent qui affecte fortement la dispersion des polluants.

Il ya une modification de l'écoulement autour du bâtiment donc la concentration des polluants autour du bâtiment et fortement influencé par la morphologie urbaine et architecturale.

## **OBJECTIFS**

Dans notre recherche on a plusieurs objectifs visés on peut citer :

1. Identifier les variables clés de l'environnement qui influencent la dispersion de la pollution atmosphérique, et ce pour des zones résidentielles
2. Comprendre la complexité de la pollution atmosphérique.
3. l'impact de la pollution sur l'environnement.
4. Etudier la relation entre la morphologie du bâtiment et la pollution de l'air.
5. Déterminer la manière dont la morphologie du bâtiment induit des différenciations dans la concentration des polluants.
6. Repérer les zones protéger et ce qui présente plus d'importance les zones ou les polluants semblent s'accumuler.
7. Faire des recommandations qui prennent en considération les facteurs polluants.
8. Nous chercherons ainsi des configurations spatiales urbaines optimales pour la dispersion de polluants (largeur des artères, hauteurs des immeubles...etc.).

## **L'ANALYSE CONCEPTUELLE**

Cette recherche s'inscrit tout d'abord dans l'univers des investigations portant sur la diversité environnementale en milieux urbains. Elle vise à étudier et analyser le rapport entre la morphologie urbaine, les microclimats et dispersion de la pollution atmosphérique dans les espaces publics extérieurs par la simulation.

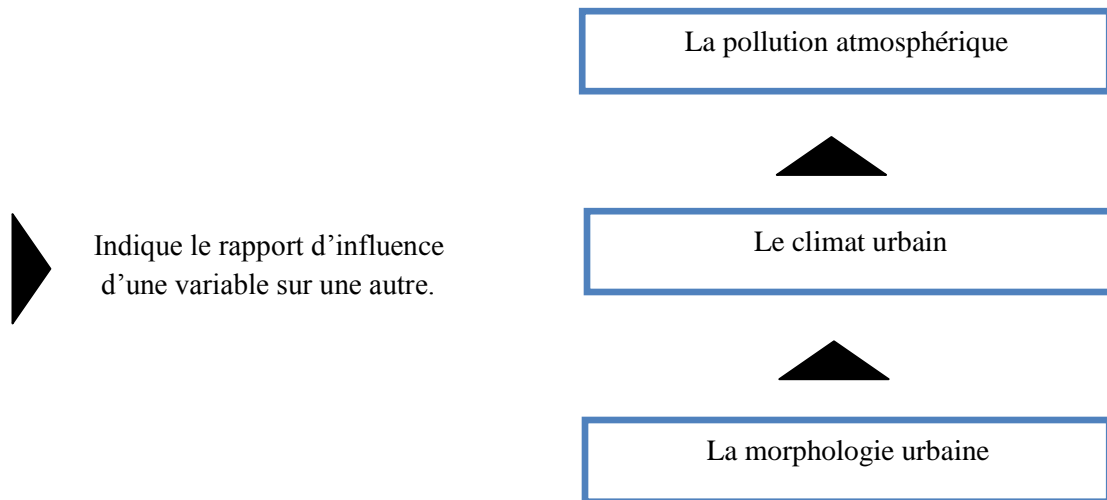
Pour apporter des réponses a notre problématique, notre travail sera structuré selon un modèle triadique nous mettrons au jour au cours de cette étude la relation de causalité entre trois concepts clés : la morphologie urbaine, le climat urbain, la pollution atmosphérique (Figure 1).

Les variables sont classées en 03 catégories selon le cadre de notre recherche et la relation entre les variables :

- variable indépendante : la morphologie urbaine;



- variable intermédiaire : le climat urbain (le microclimat urbain);
- variable dépendante : la pollution atmosphérique. (le processus de dispersion).



*Figure 1 : Les trois catégories de variable.  
(Source : l'auteur)*

## STRUCTURE DU MEMOIRE

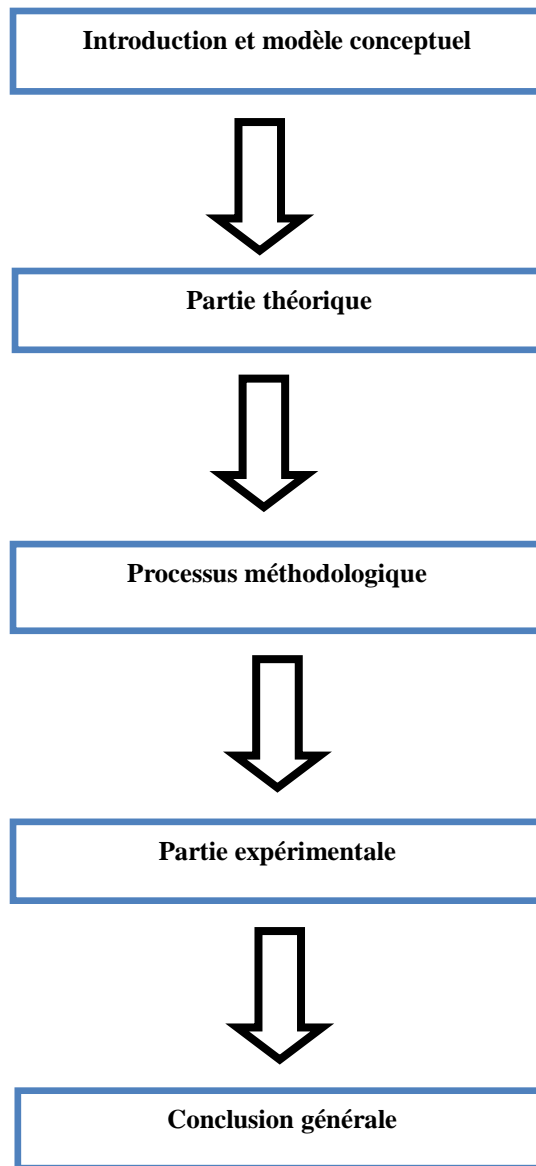
La validation de notre hypothèse, et la réponse à toutes les questions posées, ont nécessité l'élaboration d'une investigation. Ainsi, la présente recherche a été structurée en cinq principales étapes (Figure 2).

La première étape présente une introduction en la matière. Elle donne un apport théorique, concernant les 03 concepts de notre hypothèse qui sont : la pollution atmosphérique, le climat urbain et la morphologie urbaine.

La deuxième partie donne l'explication du processus méthodologique. Elle présente la méthodologie utilisée dans les revues des littératures concernant l'étude du processus de dispersion de la pollution atmosphérique ainsi que les techniques mises en œuvre dans cette recherche et le positionnement épistémologique.

La troisième décrit les étapes du travail expérimental réalisé dans cette étude, les analyses et les interprétations des résultats obtenues.

Enfin, la conclusion générale résume les propositions de la problématique posée, et énonce les limites et les perspectives de cette recherche.



*Figure. 2 : La démarche adoptée pour l'étude du phénomène de la dispersion atmosphérique. (Source : l'auteur)*

# **Chapitre 1**

## **La pollution atmosphérique**

## **INTRODUCTION :**

Les gaz rejetés par une ville créent une pollution atmosphérique. Ils stagnent au-dessus de cette ville, on parle de dôme de pollution. Selon la température, la hauteur du dôme varie, la visibilité diminue. La pluie ou le vent peuvent faire disparaître ce dôme. La pollution atmosphérique provoque soit par ses actions immédiates, soit par ses effets dans l'avenir, des atteintes à l'environnement.

Ce présent chapitre tentera de clarifier les notions liées à la pollution atmosphérique, de donner un aperçu historique sur la problématique de la pollution atmosphérique et la qualité de l'air, les problèmes engendrés par la pollution atmosphérique en premier lieu, par la suite on c'est centré sur les polluants atmosphérique qui seront classés selon des critères tel que la nature de ces derniers, la nature de rejets, afin de mieux comprendre les nature des espèces existant dans l'atmosphère qui nous entoure, et enfin la dernière partie de ce chapitre qui est le cœur de notre sujet de recherche et notre problématique consiste à déterminer les phénomènes liées au processus de dispersion atmosphérique.

## **I- LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE :**

### **I-1- Définition :**

La pollution recouvre une multitude de mécanisme et d'actions dont les conséquences sont une dégradation de notre environnement. Il n'est, du fait pas aisé de la définir. Aujourd'hui, c'est une notion qui fait l'objet de différentes exceptions selon les pays et les divers organismes. Voici ci-dessous quelques-unes des définitions recensées dans la littérature.

- Selon Le Petit Robert, le terme pollution vient du latin polluere (1440) signifiant « souiller en rendant malsain, la pollution est définie comme la dégradation d'un milieu donné par l'introduction d'un agent physique, chimique ou biologique (polluant). Par extension, la pollution est définie comme la dégradation des conditions de vie » (Le Petit Robert, 1989)

-Pour le Conseil de l'Europe: « Il y a pollution atmosphérique lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion de ses composants est susceptible de provoquer un effet nocif, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer une nuisance ou une gêne » (Ce, 1968).

- L'organisation de Coopération et de Développement Economique définit la pollution comme étant « L'introduction par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans l'atmosphère qui entraîne des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes écologiques, à porter atteinte aux agréments ou à gêner les autres utilisations légitimes de l'environnement » (Ocde, 1994).

-L'organisation Mondiale de la Santé: « La présence de substances contaminantes ou polluantes dans l'air à une concentration qui affecte la santé humaine ou son bien-être, ou qui produit d'autres désagréments » (Oms, 2000).

- La loi n°83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement définissait la pollution de l'atmosphère comme « l'émission dans l'atmosphère de gaz, de fumées ou de particules solides ou liquides, corrosifs, toxiques ou odorants de nature à incommoder la population, à compromettre la santé ou la sécurité publique ou à nuire aux végétations, à la production agricole et aux produits agroalimentaires, à la conservation des constructions et monuments ou au caractère des sites »

- La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie adoptée le 30 décembre 1996 par le Parlement français (loi n°96-1236, article 2) en donne cette définition : « Constitue une pollution atmosphérique l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux

écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives ».

Les conséquences de la pollution atmosphérique autrement dits les impacts (qualifiés de négatifs dans les définitions recensées) revêtent par ailleurs, tantôt un caractère objectif (impacts physiques, écologiques, biologiques, économiques...), tantôt une connotation plus subjective (gêne). La présence de polluants d'origine naturelle (volcans, érosion,...) peut aussi, selon certains organismes, être considérée comme une pollution atmosphérique tandis que d'autres préfèrent réserver le terme de polluants aux seules émissions issues de l'activité humaine.

Toutes les sources de polluants atmosphériques sont d'une façon implicite prises en compte dans les définitions, qu'il s'agisse des sources comme les activités industrielles, domestiques et agricoles, les systèmes de chauffage... ou des sources mobiles avec principalement les transports de marchandises et de personnes. La pollution atmosphérique s'applique en outre aussi bien à l'air extérieur qu'à l'air intérieur des bâtiments. Nous signalons enfin, que le Conseil de l'Europe et l'OCDE insistent sur l'importance des connaissances scientifiques du moment. La notion d'incertitude est donc au cœur des définitions de la pollution atmosphérique.

On remarque que dans ces six définitions présentées, que la pollution atmosphérique recouvre non seulement les modifications (dégradations) de la qualité de l'air mais aussi les conséquences des changements de la composition de l'air sur le fonctionnement des écosystèmes et des anthroposystèmes. Le Conseil de l'Europe définit d'ailleurs une substance polluante comme « une substance étrangère ou non dont la variation du taux dans l'atmosphère est susceptible, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, de provoquer un effet nocif ou de créer une nuisance ou une gêne » (Ce, 1968).

## **I-2- Histoire de la problématique de la pollution de l'air :**

L'environnement et le cadre de vie sont devenus des sujets au cœur des préoccupations de chaque individu et du monde entier. Les nuisances urbaines représentent une agression à la qualité de vie, en particulier la pollution atmosphérique est une problématique qui a traversé toutes les époques. Dans notre travail de recherche, on a essayé de résumer les étapes de manière non exhaustives en citant les principales époques du développement de cette notion.

### **I-2-1-L'antiquité ou la prise de conscience :**

Depuis la découverte du feu l'homme n'a pas cessé d'agresser son environnement, et abusé inconsidérément des ressources de la nature et de ces capacités d'autorégulation. La préoccupation face aux nuisances environnementales n'est pas récente puisque la prise de conscience remonte à l'antiquité dès que les hommes se sont groupés dans un espace restreint c'est-à-dire, dans des villes, ils ont souffert et semblent l'être, de nuisances occasionnelles par leur semblables (Festy, 2002). Des auteurs comme l'auteur japonais LAO Tseu s'inquiète des impacts de l'activité humaine sur l'environnement et souligne l'importance de la qualité de l'air.

### I-2-2- Le moyen âge : le luxe de respirer l'air sain

Au début de cette époque la qualité sanitaire de l'air n'était pas une priorité, la ville était réputée pour son humidité et sa puanteur. Des auteurs ont nommé la ville de cette époque "ville puante" car les sites marécageux étaient préférés pour l'implantation des villes. L'ensemble des activités de productions économiques, se développant, à l'intérieur des remparts. Ces productions, qui dépendaient exclusivement des avancées de la chimie organique, ne pouvaient trouver dans l'air humide et statique des villes que des avantages (A. Guillerme).

Il existait tout de même des quartiers moins malsains que d'autres. Face à l'impuissance, qui conduisit les habitants des villes à se confiner dans une atmosphère humide, sombre, puante et malsaine, dans le côté intra-muros des villes.

Deux types d'adaptations ont eu lieu en réaction à l'état malsain de l'air des villes :

- a- Une adaptation à l'atmosphère malsaine que l'on peut qualifier de perceptible par la nécessité d'habiter à l'intérieur des remparts ainsi que par les limites des techniques de production liés à la chimie organique.
- b- une adaptation qui tente d'échapper aux propriétés malsaines de l'air. Les espaces les moins pollués pour les religieux et les riches, et les abords des sources malsaines pour les ouvriers. Les européens mais surtout les anglais ont édicté des réglementations depuis Edouard I qui a interdit l'usage du charbon à proximité du palais royal.

### I-2-3- L'époque des lumières : le développement des relations entre hygiène et santé

Le siècle des Lumières, expression souvent utilisée comme synonyme de XVIII<sup>e</sup> siècle européen, désigne plus spécifiquement l'arrivée d'une conscience critique des traditions, Historiquement, le développement des relations entre l'hygiène et la santé est annoncé à l'époque des lumières, parce qu'il s'appuie sur ces institutions progressistes, le legs du siècle des Lumières est alors considérable.

Le rôle de grands pionniers de l'hygiène, qui évoluent dans la mouvance de ces institutions scientifique, et médicales, s'exprime à l'époque par la notion de « Bien Public », que l'on relève notamment dans les procès-verbaux de l'Académie Royale des Sciences. La notion recouvre des enjeux vitaux de la vie urbaine : l'insalubrité du tissu urbain est l'une de leurs préoccupations. L'air était tellement immobile dans les rues médiévales, que changer l'air n'était pas seulement considéré dans le contexte hygiéniste comme une aide à la guérison mais « *C'est véritablement guérir* » (Perrot 1975).

La maîtrise de la qualité de l'air devient une nécessité, que les médecins et les architectes tentent de résoudre. Les premiers en situant les causes d'insalubrité et en trouvant quelques remèdes, et les deuxièmes en proposant des solutions préventives matérielles. Le but est de trouver toutes sortes de moyens permettant de purifier et renouveler l'air.

### I-2-4-La révolution industrielle : les accidents historique et la définition de la pollution de l'air

La révolution industrielle apporte une autre culture. Quand l'industrie arrive, elle forme des ingénieurs qui mettent au point des processus reproductibles, quelque soit la

localisation de l'outil productif. La pollution de l'air intéresse des chercheurs dont les travaux révèlent des domaines très divers : science physique et biologique, technique, architecture et urbanisme ...etc.

L'intérêt croissant porté aux divers aspects de la pollution atmosphérique s'explique par les multiples facteurs : au premier plan les événements dramatiques qui ont entraîné des morts (l'accident de la vallée de la Meuse en Belgique 1930 , la catastrophe de Donora aux Etats-Unis 1948, et la « purée de pois » qui s'abattait régulièrement sur Londres en 1952) et qui ont servi à la fois de révélateurs et d'accélérateurs; dangers des retombées radioactives, soucis du public pour les effets chroniques de la pollution de l'air, développement de l'industrie, nouveau type de pollution ou libération ont des points nouveaux de contaminants connus, perfectionnement de la science de la technique et des moyens de lutte.

Le passage à l'appellation de « ville polluée » de l'époque s'opère lentement par toute une série de prises de conscience politique, culturelle, symbolique, et quotidienne, scientifique, technique, économique et écologique » (Guillerme 1990).

#### I-2-5-Le développement durable : la dimension planétaire de la qualité de l'air :

La pollution atmosphérique n'est pas seulement une donnée abstraite, mais elle est aussi une nuisance perçue comme une atteinte à la qualité de vie. Cependant, le temps de l'hygiénisme a vécu et la gestion de l'environnement urbain, sous le sceau de la durabilité, change complètement les perspectives (Theys, 2001).

Le développement durable est un concept très récent par rapport à l'ancienneté des préoccupations liées aux pollutions de l'air, c'est lors de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement, tenue à Stockholm en 1972, que la communauté internationale s'est réunie pour la première fois, afin d'examiner l'environnement mondial et les impératifs du développement.

Dans les années 80, la préoccupation croissante concernant les effets du développement économique sur la santé, les ressources naturelles et l'environnement a mené les Nations Unies à définir un nouveau concept de développement qualifié de durable. Le rapport Brundtland définit le développement durable comme le « développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins » (Wced, 1987).

Le développement durable élargit ainsi la notion de développement économique en intégrant dès lors, au sein des modèles de développement, l'environnement, l'économie, la demande sociale et l'équité. Le développement durable encourage alors la protection la préservation des ressources naturelles et de l'environnement, ainsi que la gestion de l'énergie, des déchets et du transport. Le concept implique du reste le partage équitable des avantages de l'activité économique à travers toutes les composantes de la population générale.

Cinq ans après le rapport Brundtland, en juin 1992, l'Assemblée Générale des Nations Unies a réuni durant 12 jours plus de 30 000 personnes comprenant plus de 100 chefs d'Etat lors du Sommet de la Planète Terre de Rio de Janeiro. Les pays développés ont



proposé un développement durable tandis que les pays en voie de développement l'ont refusé du fait qu'ils devaient leur donner la chance de rattraper socialement et économiquement le monde développé. Cinq accords ont néanmoins été ratifiés au Sommet de la Planète Terre de Rio. Ceux-ci sont la Convention sur la Diversité Biologique, la Convention-Cadre sur le Changement Climatique, les Principes de la Gestion des Forêts, la Déclaration de Rio sur l'Environnement et le Développement et l'Agenda 21.

L'Agenda 21 est un modèle opérationnel du développement durable au 21<sup>ème</sup> siècle qui fournit un cadre pour aborder les problèmes sociaux et écologiques parmi lesquels la pollution atmosphérique, les problèmes de transport, le déboisement, la perte de la biodiversité, la santé, le surpeuplement, la pauvreté, la consommation d'énergie, et la production de déchets figurent au premier plan. Les nations qui ont accepté de participer à l'Agenda 21 sont surveillées par la Commission Internationale sur le Développement Durable, et sont encouragées à favoriser l'Agenda 21 au niveau local et régional dans leur propre pays. Les gouvernements, les organisations non gouvernementales (ONG), l'industrie et le public en général sont encouragés à s'impliquer. Depuis la conférence de Rio, 180 pays ont signé en décembre 1997 le protocole de Kyoto. Dans ce protocole, 38 pays s'engagent à réduire d'ici 2008 à 2012 leurs émissions de gaz à effet de serre (GES) en moyenne de 5,2% pour l'ensemble des émissions de 1990.

Ainsi le développement durable a contribué à renouveler la problématique de la qualité de l'air qui s'est élargie aux dimensions de la planète et a bénéficié des incitations en faveur de la maîtrise des énergies fossiles. Cette stratégie planétaire s'est appuyée sur la mise en œuvre d'une réglementation mondiale et sur le développement de recherches et d'innovations dont la qualité de l'air a beaucoup bénéficié. En alertant le monde entier sur les dangers d'un développement fondé sur l'utilisation massive des matières premières et énergétiques à bas prix, le développement durable a encouragé les économies d'énergies fossiles pour limiter les émissions polluantes puisque la plupart des polluants atmosphériques sont issus de processus de combustion.

Il semble qu'actuellement, l'urgence du changement climatique et les grandes crises qui affectent notre société, imposent de réconcilier la prévention de la santé humaine avec les préoccupations environnementales. La santé de l'homme est étroitement dépendante de celle de la planète. Le risque environnemental est projeté sur une échelle spatio-temporelle. Selon U.BECK (2001) : « la conscience que l'on a du risque ne se situe pas dans le présent, mais essentiellement dans l'avenir, dans la société du risque le passé perd sa fonction déterminante pour le présent. L'avenir devient une cause projetée de l'action présente proportionnelle au contenu de la menace ».

### **I-3-La pollution atmosphérique en Algérie**

En Algérie le développement économique et social, a été important depuis l'accession du pays de l'indépendance et ces développements ont été suffisants pour bouleverser l'équilibre entre l'algérien et son patrimoine vital.

Le problème de pollution est posé dès le début des années soixante-dix avec le démarrage des grandes unités industrielles. L'industrie était de loin la principale source de pollution. Suite à la première conférence mondiale sur l'environnement à Stockholm en 1972, le

gouvernement algérien a pris conscience de la nécessité d'intégrer la dimension environnementale dans la démarche de planification du développement et l'utilisation durable des ressources naturelles du pays.

Puis avec le sommet de Rio en 1992 l'Algérie a pleinement contribué pour orienter le développement dans une perspective durable. Les efforts ont abouti à une forte réduction de la concentration en dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), principalement polluant à l'époque, simultanément, le secteur des transports s'est largement développé.

La pollution atmosphérique affecte à des degrés différents toutes les villes algériennes. La pollution de l'air constitue une préoccupation parmi les priorités inscrites dans la stratégie du ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. La pollution atmosphérique, dans bon nombre d'agglomérations algérienne, a désormais pour origine majeure les transports routiers.

La Loi N°43 du 20 Juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable consacre des dispositions spéciales à la pollution de l'air que nous respirons. Elle stipule :

- Que les industries polluantes doivent prendre toutes les dispositions nécessaires pour réduire ou supprimer leurs émissions.
- Que l'état doit définir les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité pour l'air ainsi que les dispositifs de surveillance de l'atmosphère.

Pour être en conformité avec les objectifs réglementaires définis, il été nécessaire de mettre en place des réseaux de mesures de surveillance de la qualité de l'air «SAMASAFIA», au niveau des agglomérations d'Alger et de Annaba depuis Avril 2002. C'est réseaux en pour rôle :

- Surveiller en continu les niveaux de pollution atmosphérique en zones urbaines.
- Détecter les pics de pollution et les périodes durant lesquelles les seuils limites sont dépassés
- Etablir des prévisions de qualité de l'air en utilisant des modèles de simulation...
- informer les populations des mesures pour minimiser les impacts sur la santé.
- Programmer et mettre en œuvre les mesures requises pour améliorer la qualité de l'air à moyen terme.

#### **I-4-Les effets de la pollution atmosphérique :**

##### **I-4-1-La perception de la pollution sensible et les risques sanitaires**

Actuellement, la qualité de l'air et la santé sont incontournables dans le cadre de la gestion du territoire à toutes les échelles.

##### ***1-4-1-1-les incidences sanitaires restreintes directes :***

Les impacts sanitaires restreints directs correspondent à l'ensemble des impacts sanitaires affectant la santé de l'homme, Les liens entre les pollutions atmosphériques et l'état de

santé d'une population sont difficiles à établir. Cela tient aux multiples expositions à faibles doses, aux latences plus ou moins longues entre celles-ci et la survenue des effets de nature aiguë ou chronique, peu ou pas spécifiques, et à l'existence de risques individuels faibles (Cassadou & Coll., 2004a; b; Cassadou & coll., 2003; Chiron, 2004b; Cshpf, 1996).

La compréhension des effets de la pollution atmosphérique sur la santé nécessite une prise en compte de données toxicologiques consacrées aux effets nuisibles à court terme et à long terme d'une substance sur la vie, le développement ou la reproduction de tout organisme vivant, et d'analyse épidémiologique décrivant et mesurant les effets sur la santé de l'homme pris dans son environnement naturel en fonction de différentes expositions.

Pendant longtemps la question des effets sanitaires de la pollution atmosphérique s'est résumé à celle de l'impact des pics de pollution (Deloraine & coll., 2001). Certaines études montrent qu'il y a une relation entre les niveaux d'aéropolluants et le taux de mortalité en Algérie, le Rapport National sur l'Etat et l'avenir de l'Environnement (RNE 2000) a montré qu'à la wilaya d'Annaba : 40% de la mortalité nationale infantile (enfants de moins de 1 an) sont causées par des maladies respiratoires aiguës. A titre d'exemple, en 1995, il a été enregistré 1283 décès. La morbidité respiratoire aiguë est évaluée à 42.3%, alors que la morbidité cardio-vasculaire atteint 5 à 18%. Dans la région d'Annaba, il convient de comparer ces statistiques aux valeurs moyennes nationales qui sont respectivement de 37.7 et 2.1%. Le taux de prévalence de l'asthme (environ 9000 asthmatique) est supérieur au taux national qui est de 0.8%.

#### ***1-4-1-2-La perception de la pollution sensible:***

La pollution sensible est définie, comme son nom l'indique, par nos sens. Les constituants de la pollution atmosphérique sensible sont les fumées et les cendres ainsi que les odeurs.

Elle est principalement perceptible par notre vue et par notre odorat. Il s'agit typiquement d'une pollution de proximité caractérisée par la gêne provoquée (Dictionnaire, 1989).

L'évaluation de la pollution de l'air est souvent associée à différentes modalités sensorielles comme la vue, notamment à travers l'opacité de l'air, voire sa couleur (Evans et al., 1987) ou encore la quantité de particules en suspension dans l'air, la visibilité, l'ensoleillement (Rotton, 1987). De même l'odorat est souvent sollicité lorsqu'on évoque la perception de la pollution de l'air (Moch, Bonnefoy, 1997) bien que l'odeur perçue ne soit pas nécessairement un critère de toxicité de certains polluants. Selon G. Evans (1987), la pollution sensible détectable par certains indices visuels et olfactifs semble être assimilée à un risque sanitaire.

En effet, la perception de la gêne et la peur des risques pour la santé semblent également corrélées positivement. Ainsi, parmi les populations proches de décharges d'ordures ménagères, ceux qui croient aux effets négatifs de cette pollution sur leur santé sont également ceux qui s'en plaignent le plus et qui évoquent davantage de troubles d'ordre physiologique. C'est également ce qui a été constaté dans l'étude sur la perception de la nuisance olfactive du métropolitain parisien (Moch, 1997), ou de manière très nette, les voyageurs ont été significativement plus sévères sur la qualité olfactive de cet espace public dès lors qu'ils croyaient à un impact négatif sur la santé. De même, les liens peuvent être forts entre les dimensions olfactives et l'évaluation de la pollution de l'air, comme nous

l'avons vérifié dans cette même étude où les individus associent nettement odeur et pollution de l'air. Il semble que la perception de la pollution atmosphérique soit influencée par des facteurs d'ordre psychologique, les campagnes médiatiques voire les phénomènes de mode ou l'état de santé de chacun. (Credoc, 1998).

#### I-4-2-La dégradation du patrimoine bâti commun et historique

La pollution atmosphérique participe à la salissure et dégradation du patrimoine bâti. Ceci concerne des bâtiments directement exposés à la circulation routière mais aussi des façades dégradées par une pollution de fond.

La détérioration des façades directement exposées se manifeste par la salissure provoquée par les dépôts de particules issues des véhicules diesels, de l'usure des pneumatiques, des freins et du revêtement de la route. Les autres impacts causés par la pollution sont l'effritement des pierres, la corrosion des peintures et des métaux par les NOx et le SO2. Une étude suisse montre que les façades proches de routes supportant un trafic important ont une durée de vie plus courte d'environ 20 à 30% par rapport à une zone rurale.

Dans le cas d'une exposition indirecte, on constate un noircissement des surfaces accompagné d'un développement de croûtes noires sulfatées constituées d'un ciment gypseux contenant des particules issues du chauffage, des transports et d'industries

##### ***I-4-2-1-Types d'affectation qui caractérise la dégradation des bâtiments :***

La dégradation du patrimoine bâti s'applique aussi aux dégradations des objets contenus à l'intérieur des bâtiments. On observe dans ce cas des problèmes de salissures et corrosion, affectant les objets de différentes matières (papier, toile...) (Baer & coll., 1985; Miles, 1986; Thomson, 1954; 1986).

La dégradation des bâtiments se caractérise par trois types d'affectations : les salissures, la corrosion, et les épaufrures.

- Les salissures correspondent à la fixation de poussières sur la paroi des bâtiments et/ou à la non lixiviation de ces dernières par la pluie. Elles sont principalement dues aux particules issues des procédés de combustion, et en particulier aux transports. Elles engendrent des coûts de nettoyage pouvant être très élevés.
- La corrosion des bâtiments se traduit par une corrosion physique ou chimique des matériaux. La corrosion physique correspond à une érosion de la paroi des bâtiments se produisant par le passage d'un vent chargé de particules abrasives (sable par exemple). La corrosion chimique peut être sèche lorsque le métal est attaqué par un gaz (par exemple,  $\text{Fe} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{FeCl}_2$ ), ou humide lorsque l'oxydation s'effectue dans une solution. Lorsque la corrosion est humide, on distingue la corrosion chimique et la corrosion électrochimique. La corrosion chimique s'observe principalement dans l'atmosphère où des acides HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ..., et d'autres résidus de combustion, peuvent attaquer les métaux ( $\text{Fe} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2$ ). L'oxygène de l'air, en présence d'eau, oxyde le fer et forme la rouille [Fe(OH)<sub>3</sub>, nH<sub>2</sub>O]. Cet oxyde est poreux et ne protège pas le fer 54. La corrosion électrochimique se manifeste dans une solution. Elle se caractérise globalement par

une réduction de l'oxygène et une oxydation du métal. Selon le CEFRACOR (Centre Français de l'AntiCORrosion), le coût de la corrosion (toutes corrosions confondues : réseaux et structures métalliques) des bâtiments peut être évaluée à environ 4% du PNB. Au sein de ce coût, la contribution des transports n'est pas estimée.

- Les épaufrures correspondent à un éclatement du béton avec chute de fragments, laissant souvent les armatures oxydées apparentes. Les épaufrures sont généralement la suite logique d'un écaillage lié à la corrosion des armatures.

#### ***I-4-2-2-L'altération des matériaux liées a la pollution atmosphérique***

Les effets de la pollution atmosphérique sur les pierres peuvent être de différents ordres et se présentent par conséquent, sous différents aspects : L'observation des façades et des statues montre que ces dégradations, se manifestent par des zones blanches, grises, ou noires sont généralement réparties de façon non uniformes.

La dégradation du patrimoine bâti résulte principalement des émissions de particules et de produits corrosifs. Au sein des particules ce sont surtout les particules de grandes tailles (suies, particules abrasives...) qui interviennent majoritairement. Au sein des produits corrosifs, les gaz aux propriétés acides ou oxydantes (HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, O<sub>3</sub>...) sont les principaux acteurs de la corrosion des matériaux [Baer & coll., 1985; Miles, 1986; Thomson, 1954; 1986].

De nombreux polluants induisent des effets sur les matériaux, avec des effets différents selon la nature des matériaux. Quelques exemples d'effets visibles :

- l'ozone qui oxyde les plastics,
- la pollution acide soufrée ou azotée qui corrode les matériaux métalliques,
- ou encore les effets les plus visibles principalement sur les pierres avec le phénomène des salissures ou des croûtes noires dus à l'impact des particules

#### ***I-4-2-3-Les changements observés associés à la dégradation du patrimoine bâti***

Suite aux émissions des polluants atmosphériques cités ci-dessus, le patrimoine bâti commun perd de la valeur économique et le patrimoine bâti historique perd de la valeur culturelle. Pour maintenir en état les bâtiments, des dépenses de nettoyage et de restauration sont entreprises. Ces actions permettent de « réparer » les dégâts causés par la pollution de l'air, car ces impacts sont réversibles.

Les effets liés à la présence de composés soufrés (issus de la pollution industrielle et du chauffage) sont directement observés sur les façades des monuments, outre les effets mécaniques, desquamations, exfoliations, alvéolisations ..., se circonscrivent : Il s'agit d'ailleurs de l'une des préoccupations majeures des conservateurs, des restaurateurs et des scientifiques) à la formation de sulfocalcin ou croûtes noires. La présence de ces dépôts se limite essentiellement aux zones protégées des pluies battantes (zones noires).

L'aspect de ces croûtes noires est très variable. Leurs couleurs vont du gris au noir, leurs épaisseurs s'étendent de quelques millimètres à plusieurs centimètres. Dans la plupart des cas, lorsque ces couches restent peu épaisses, les reliefs originels de la pierre sont conservés. Par contre, lorsque leur épaisseur atteint plusieurs centimètres, elles prennent des formes irrégulières, dentritiques, qui modifient complètement l'aspect de la surface.

Dans le cas du tuffeau, ces plaques se décollent en laissant apparaître une surface pulvérulente. Il se reforme très rapidement une nouvelle croûte noire et le processus recommence

Les matériaux sont également des témoins de la qualité de l'air, garant d'une mémoire historique des effets de la pollution de l'air au cours des siècles passés. Des impacts lourds et parfois irrémédiables, dont la question des coûts de restauration et des effets à long terme se pose

## II- LES POLLUANTS DANS L'ATMOSPHERE

### II-1-L'atmosphère :

#### II-1-1-La composition chimique de l'atmosphère :

L'atmosphère représente la couche gazeuse qui constitue l'enveloppe de corps céleste comme la Terre et Mars l'atmosphère terrestre correspond à une couche d'air dont l'épaisseur est de l'ordre de 500km, alors que le rayon de la terre est de 6730 km (Ademe, 2003 a).

Les propriétés de l'atmosphère vont jouer un rôle plus ou moins moteur dans la dispersion d'un produit. Du point de vue de la composition chimique on a l'habitude de considérer que l'air atmosphérique se compose d'un mélange d'air sec et de vapeur d'eau dont le rôle est très important en météorologie. On peut classer ce mélange en deux catégories ( tableauI-1).

- a. les constituants permanents qui sont toujours présents dans l'air, et ce en proportions fixes.
- b. les constituants variables présents en proportions variant avec le temps et avec le lieu.

CONSTITUANTS	
Constituants permanents (l'air pur sec)	Constituants variables
Gaz principaux	Eau (extérieur) (H <sub>2</sub> O) Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> ) Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ) Ozone (O <sub>3</sub> ) Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )
Azotes (N <sub>2</sub> )	
Oxygène (O <sub>2</sub> )	
Argon (A)	
Dioxyde de Carbone (CO <sub>2</sub> )	
Gaz traces	
Neon (Ne)	
Helium (He)	
Krypton (Kr)	
Xénon (Xe)	
Hydrogène (H <sub>2</sub> )	
méthane (CH <sub>4</sub> )	
monoxyde d'azote (N <sub>2</sub> O)	

*Tableau I-1 : composition de l'air (Source : UVED, 2005)*

On estime que 99% de la masse d'air atmosphérique se situe entre le niveau du sol et l'altitude de 40 km. Les phénomènes météorologiques courants dans cette tranche sont qualifiés d'atmosphère météorologique.

#### II-1-2-La structure verticale de l'atmosphère :

La structure verticale de l'atmosphère peut être conventionnellement découpée en quatre zones selon l'altitude et le profil vertical de la température qui donnent le plus souvent les

répartitions des différentes couches (figure I-1). La troposphère, La stratosphère, la mésosphère, la thermosphère, sont les couches principales qui composent l'atmosphère. De toutes ces couches, la troposphère est la couche où les polluants sont généralement émis tout près de la surface terrestre. C'est la couche qui est située juste au-dessus de la surface terrestre et qui s'étend en altitude sur 9 km à 16 km verticalement dépendamment de la latitude et dans laquelle la température décroît avec la hauteur.

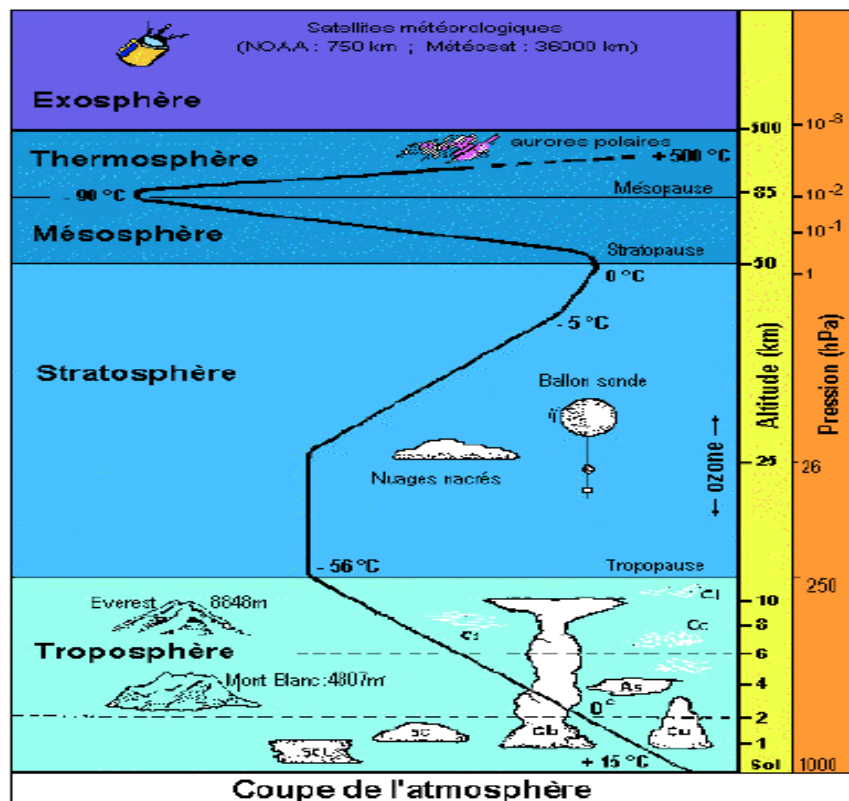


Figure I-1: Structure verticale de l'atmosphère. (Source : Goger, 2006)

## II-2-Les polluants atmosphériques :

### II-2-1-La typologie du polluant atmosphérique :

Les scientifiques ont recensé plus d'une centaine d'espèces polluantes dans l'atmosphère. Selon la littérature la classification des espèces dépend des objectifs des domaines d'étude de la pollution atmosphérique, globalement la classification se fait selon ces principaux critères :

- La nature de l'espèce rejetée
- Type d'émetteur
- Les échelles spatio-temporelles
- Réactivité avec l'atmosphère

#### II-2-1-1-Nature des espèces rejetées

Les substances peuvent se trouver sous la forme :

- d'un gaz,
- d'un liquide,
- d'un gaz liquéfié.

L'atmosphère contient également des aérosols qui se composent de particules liquides et solides en suspension présentant une vitesse de chute négligeable. Dans l'air et dans des conditions normales, ceci correspond à des particules de dimension inférieure à 100 µm, les plus fines faisant quelques fractions de nanomètres, (Seinfeld, 1986). Ces particules peuvent être :

- Viables : pollens, bactéries, champignons, spores, insectes,
- Non viables : sables fins et autres poussières de sol, poussières volcaniques, embruns marins,
- Générées sous l'action du rayonnement, de la chaleur et de l'humidité.

D'un point de vue réglementaire, les particules d'un diamètre aérodynamique moyen inférieur à 10µm sont appelées PM10.

### ***II-2-1-2-Les types d'émetteurs :***

Les inventaires d'émissions posent le problème de l'exhaustivité. L'exhaustivité du recensement des émetteurs de polluants en est un aspect. Bien souvent, les inventaires recensent les émetteurs qui contribuent le plus significativement aux émissions d'une substance donnée. Parmi tous les émetteurs potentiels de polluants, on a tendance à distinguer différentes catégories d'émetteurs :

- ***II-2-1-2-1-*** Les sources non-anthropiques ou naturelles

Il s'agit des sources induisant des rejets de substances polluantes mais qui ne sont pas liées à l'activité humaine. Parmi ces sources, on peut également distinguer les sources biogéniques (liées à la présence d'organismes vivants) des autres sources. L'éruption volcanique (dégagement très important de produits soufrés) est un exemple de source naturelle, de même que la production d'embruns marins (particules). Pour les sources biogéniques, il n'est pas toujours évident de classer le type de sources (cas de l'élevage d'animaux).

- ***II-2-1-2-2-*** Les sources anthropiques

Parmi les sources anthropiques, on oppose souvent les sources fixes, émises par des installations ne se déplaçant pas, des sources mobiles liées aux transports. Une autre notion est également importante pour la caractérisation des sources et de leur distribution géographique : c'est la notion de source ponctuelle, qui caractérise plutôt les grands sites industriels (points sources) : elles sont étudiées en conjonction avec des données concernant leur localisation, leur capacité, leur activité...

Les sources ponctuelles définies par Corinair (voir cidessous) sont : les usines de production ayant une capacité thermique supérieure à 300 MW, les raffineries, les fabriques d'acide sulfurique, d'acide nitrique, les unités de production de fer ou d'acier supérieures à 3 Mt/an, les usines de pâtes à papier de capacité supérieure à 1000 kt/an, les usines de peinture de voitures ayant une production supérieure à 100000 veh/an, les aéroports de plus de 100000 LTO1 anding Take Off : cycle normalisé de tests des moteurs d'avions cycles /an, toutes les usines émettant plus de 1000 t/an de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ou COV et celles émettant au moins 300000 t/an de CO<sub>2</sub>.



Elles peuvent être opposées aux sources diffuses, qui correspondent à de petits émetteurs très distribués dans l'espace (area sources). Ces sources ne peuvent être décrites que sur la base de surfaces importantes et sont très difficiles à caractériser à un niveau local. Enfin, on parle parfois de sources linéiques (lines sources) : ces sources concernent essentiellement le transport (routier, fluvial ..). Là, les émissions sont déterminées le long d'un axe. Par exemple, une grande installation de chauffage urbain desservant un petit quartier sera plutôt répertorié en tant que source ponctuelle, alors que l'ensemble des chaudières individuelles servant au chauffage des logements constitue plutôt un exemple de source diffuse. Ces sources sont le fait de l'activité humaine. Cependant, la frontière entre les sources anthropiques et naturelles n'est pas toujours bien délimitée.

- **II-2-1-2-3-La nomenclature Corinair**

La nomenclature Corinair permet de classer les émetteurs en fonction de 11 catégories. Cette nomenclature a été baptisée SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution). Elle contient près de 400 items mais les 11 catégories principales.

**II-2-1-3-Les échelles spatiaux temporelles :**

- **II-2-1-3-1-Les échelles spatiales :**

Les différentes typologies de pollution atmosphérique peuvent s'analyser selon 3 catégories, associées à des échelles spatiales spécifiques : la pollution à l'échelle planétaire, la pollution à l'échelle régionale et la pollution de proximité à l'échelle locale

- Les pollutions à l'échelle planétaire ou globale : L'échelle « globale » s'applique comme son nom l'indique à l'ensemble du globe, c'est-à-dire que la concentration du polluant résulte des émissions de polluants provenant de tout point de la terre. Elles affectent l'ensemble des équilibres planétaires, mais présentent parfois de fortes hétérogénéités zonales. Elles se manifestent sur des pas de temps longs (pluri annuel, décennal, séculaire...).

*La destruction de l'ozone atmosphérique*

Cette fine couche agit comme un filtre en absorbant le rayonnement ultraviolet solaire nuisible aux êtres vivants (UV-B). Or, depuis la fin des années soixante-dix, elle est attaquée par les CFC et les halons, ceci dans la plupart des régions de la planète (sauf les régions tropicales). Les fluorures sont notamment rejetés dans l'air par diverses industries, surtout celle de l'électrochimie de l'alumine.

*L'effet de serre*

Ce phénomène naturel de piégeage par l'atmosphère de la fraction du rayonnement solaire ré-émis par la Terre est amplifié par les rejets excessifs de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone, le méthane, le protoxyde d'azote. A la fin du XIXème siècle, l'atmosphère contenait environ 235 Gt de carbone. A partir de 1970, la combustion d'énergies fossiles a émis 4,5 Gt de carbone par an, 6 Gt en 1990 et 8 Gt actuellement. En conséquence, on observe une croissance continue de la teneur de l'air en CO<sub>2</sub>, au

rythme actuel de 1,5 ppm par an. Les mesures effectuées à l'observatoire de Mauna Loa (Hawaii) et l'étude des bulles d'air emprisonnées dans les calottes polaires, montrent que la concentration est passée d'environ 270 ppm dans les années 1850 (début de la civilisation industrielle) à 380 ppm en 2005. En outre, cette augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> atmosphérique est susceptible de provoquer d'importantes modifications climatiques. Ce qui devrait perturber les systèmes climatiques comme en témoignent peut-être déjà les multiples catastrophes "naturelles" et les anomalies météorologiques des dernières années, à travers le monde (enecloopadia universalis 1998).

### *Les aérosols*

L'atmosphère contient de toutes petites particules solides ou liquides en suspension, appelées aérosols. Ce sont des particules insédimentables car elles ne peuvent pas se déposer sur le sol sous l'effet de la gravitation. Leur taille varie de quelques nanomètres à presque 100 microns, soit l'épaisseur d'un cheveu. En moyenne globale, environ trois milliards de tonnes d'aérosols sont émis chaque année par une multiplicité de sources à la fois naturelles (cendres volcaniques, poussières désertiques, embruns marins) et humaines (fumées d'industrie, gaz d'échappement, poussières issues de feux agricoles), ce qui induit une très grande diversité de leurs propriétés.

Dans la stratosphère, les aérosols, principalement d'origine volcanique, sont rares mais ils peuvent résider plusieurs années. Dans la basse troposphère, où ils sont en général beaucoup plus abondants, les aérosols séjournent quelques jours seulement, cette durée variant essentiellement selon les précipitations (CNES,04/2006).

#### - Les pollutions de l'air régionales :

Celles-ci sévissent dans un rayon compris entre 100 et 1 000 kilomètres et exercent leurs effets sur des pas de temps mensuels à pluriannuels.

### *La pollution acide*

Ce sont les dépôts acides dus aux émissions anthropiques de dioxyde soufre (SO<sub>2</sub>) et d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) notamment. Ainsi, le dioxyde de soufre peut se transformer en trioxyde de soufre (SO<sub>3</sub>) et acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en association avec les particules, à l'origine des fameuses pluies acides. "Les pluies acides sont dues d'une part à l'inclusion de gaz et d'aérosols lors de la formation de la gouttelette de brouillard à l'intérieur du nuage (rain-out), et d'autre part à la captation d'aérosols et de gaz lorsque les gouttes de pluie tombent (wash-out), il s'en suit une diminution du PH des précipitations" (K. PAJOT, 1994).

La combustion dans les centrales électriques thermiques, l'industrie (avec les émanations de l'industrie chimique) et les transports sont les principaux responsables de ce type de pollution.

Les émissions de SO<sub>2</sub> ont été réduites de manière significative. En Europe grâce à la législation de l'UE qui exige l'utilisation de technologies d'épuration des émissions et une plus faible teneur en soufre des carburants. 2010 a été la première année où la population urbaine de l'UE n'a pas été exposée à des concentrations de dioxyde de soufre supérieures à la valeur limite de l'UE.

### *La pollution photochimique*

Elle est générée dans la troposphère (jusqu'à 12 km d'altitude) sous l'effet du rayonnement solaire qui implique des réactions chimiques avec divers polluants primaires comme les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), le monoxyde de carbone (CO) et les Composés Organiques Volatils non-Méthaniques (COVNM). Cette pollution se forme sous certaines conditions climatiques et météorologiques : en été avec une température supérieure à 25°C et sous l'effet du déplacement des masses d'air. Le résultat, c'est la formation de composées photo-oxydants dits "secondaires" dont les indicateurs principaux sont le NO<sub>2</sub> et l'O<sub>3</sub>, et dans une moindre mesure le PAN (PéroxyAcétylNitrate).

#### - La pollution de proximité

Cette pollution représente une inertie de la concentration d'un polluant, c'est-à-dire que la variabilité spatiale de la concentration se manifeste sur une distance de l'ordre de la centaine de mètres au kilomètre, depuis le lieu d'émission, elle connaît un renouveau marqué depuis une quinzaine d'années

Dans le champ de la pollution atmosphérique, une pollution de proximité s'entend comme une pollution ambiante qui ne résulte pas majoritairement de transferts atmosphériques à longue distance et qui est déterminée par le voisinage de sources d'émissions fixes ou mobiles. (I.Roussel, 2006)

Les outils de la proximité se sont affinés. La finesse des modèles utilisés à l'heure actuelle permet, non sans incertitude toutefois, de définir des zones dans lesquelles la pollution atmosphérique est plus concentrée, les "hot spots". L'évaluation des expositions est encore difficile à généraliser tant est grande l'hétérogénéité des situations ce qui est une caractéristique spécifique de la proximité.

Le développement des techniques d'identification des sources permet, grâce à la reconnaissance des signatures des différentes émissions (véhicules, usines, chauffage...) de mettre en lumière des responsabilités particulières au sein de la pollution mesurée qui intègre des contributions effectuées à différentes échelles mais rend plus difficile la définition de territoires de gestion. Si la pollution atmosphérique étend du logement jusqu'à la planète, les différentes échelles peuvent se superposer et ainsi, le niveau de pollution mesuré peut rendre compte de la pollution liée à des sources proches et responsables de ce qu'il est convenu de nommer des « points noirs », mais il intègre également le niveau des « bruits de fond » issus de la ville ou de la région. La diminution des émissions urbaines qui demande des investissements énormes, en particulier pour généraliser les transports en commun, ne se traduit pas par une amélioration immédiate et locale de la qualité de l'air urbain qui continue à être détériorée par les conditions régionales.

La pollution de l'air est un phénomène dynamique et multi - scalaire. Ces phénomènes d'échelles sont imbriqués et rétroagissent ensemble. Si la pollution régionale ou de fond est assez bien connue des scientifiques, la pollution urbaine l'est beaucoup moins. En effet

à l'échelle urbaine ou intra-urbaine, il est difficile d'estimer les concentrations car celles-ci sont très hétérogènes.

#### **II-2-1-3-2-L'échelle temporelle :**

De même que pour l'échelle d'espace, l'échelle de temps est extrêmement variable selon le problème étudié. L'échelle la plus fréquente est néanmoins l'année car elle correspond bien à la fréquence de remise à jour des statistiques (par exemple, statistiques de vente de carburant ...) qui permettent de caractériser l'activité des émetteurs. Néanmoins, les facteurs unitaires d'émission sont extrêmement variables dans le temps : ils présentent souvent une grande variabilité au cours des saisons : par exemple, les facteurs d'émission de composés volatiles sont sensibles à la température et donc à la saison.

Les émissions naturelles des écosystèmes forestiers vont également dépendre de l'état de la végétation, et donc de la saison. Les émissions liées au chauffage correspondent surtout aux périodes de froid ... La dépendance des facteurs d'émission aux conditions extérieures est assez délicate à prendre en compte, notamment parce que la caractérisation de toutes les activités sur des périodes de temps assez courte est assez difficile à mettre en oeuvre.

Parfois, on applique des profils d'activités forfaitaires qui permettent de caractériser l'évolution des émissions au cours du temps. La plupart du temps, les inventaires sont réalisés sur la base d'une année, puis les émissions sont temporalisées à l'aide d'un profil d'activité. C'est l'approche top-down, qui à partir d'une émission agrégée, jugée fiable, permet d'estimer des valeurs d'émissions horaires, mensuelles ... Des moyens automatisés sont mis en place pour augmenter la fréquence de remise à jour des inventaires et les outils les plus modernes permettent de connaître la situation du trafic heure par heure pour actualiser les émissions et réaliser des prévisions de qualité de l'air, par exemple sur la région parisienne.

En ce qui concerne l'échelle temporelle :

- Le « court terme » représente une inertie de la concentration d'un polluant de l'ordre de la minute à la journée, c'est-à-dire que la variabilité temporelle de la concentration d'un polluant opérera sur une durée de l'ordre de la minute à la journée (pic de pollution pendant une heure par exemple),
- Le « moyen terme » représente une inertie de l'ordre du mois à quelques années,
- Le « long terme » traduit une inertie de l'ordre du siècle.

#### **- II-2-1-3-2-La qualité de l'air :**

Dans le modèle général de la pollution de l'air, les teneurs en polluants constituent l'un des deux éléments, avec les impacts, qui permet de mesurer l'état de la qualité de l'air. Les mesures peuvent être effectuées de différentes manières. Le plus souvent les réseaux de mesures effectuent des mesures discrètes ou continues au niveau de chaque point de relevé. Les données sont ensuite traitées dans le temps (moyennes, maximum, percentile...) de telle manière à aboutir à une information homogène, avant d'être intégrées aux résultats issus des autres points de mesures (traitement spatial des données) (figure I-2).

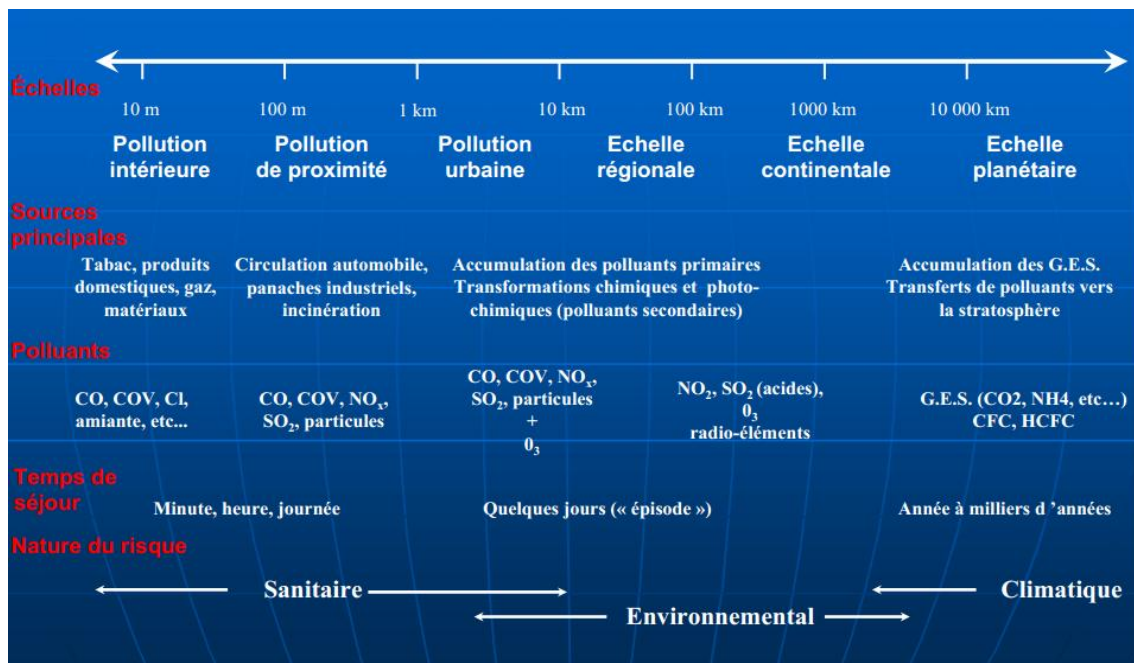


Figure I-2 : Origines et effets de la pollution atmosphérique. (Source : Actu-Environnement, 2011)

L'évaluation de l'état de l'air ambiant selon une échelle du taux de concentration des polluants. La qualité de l'air qui est considérée aujourd'hui comme un élément essentiel du bien-être et de la qualité de vie des citoyens. Ces derniers sont d'ailleurs soumis à une exposition délicate à évaluer pendant la journée lors de leurs déplacements, mais aussi à l'intérieur des bâtiments. La perception individuelle de cette pollution durant ses activités quotidiennes, apporte un éclairage intéressant sur le comportement des citoyens face à la pollution et à ses interactions avec le bien-être et la qualité de vie individuels.

#### II-2-1-4-Réactivité avec l'atmosphère :

Dans la plupart des cas, les produits rejetés sont des produits inertes ou stables, c'est-à-dire ne subissant pas ou peu de transformations ou d'altération d'origine chimique en contact avec l'atmosphère. A l'inverse leur présence modifie les caractéristiques physico-chimiques de l'atmosphère, relâchées dans l'environnement, ils peuvent recouvrir des phénomènes bien distincts. On classifie ces thèmes selon le produit considéré, le type de stockage, l'importance et la position du point de rejet les échelles spatiales et temporelles de l'impact d'émission dans l'atmosphère. À titre d'exemple et de façon non exhaustive, on peut citer :

- *L'effet de serre* provoqué par les gaz à effet de serre ce sont les gaz qui contribuent aux changements climatiques à l'échelle de la planète. Les principaux gaz à effet de serre sont le dioxyde carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>) et l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O). et qui est un phénomène naturel assurant le maintien de la température moyenne de surface et d'un climat auxquels l'homme et les écosystèmes sont adaptées. Les émissions anthropiques de gaz à effet de serre en augmentant la capacité de captation de l'énergie par la troposphère induisent un effet de serre additionnel et risquent de modifier les équilibres climatiques naturels. C'est typiquement un

phénomène global concernant la troposphère et la stratosphère avec des échelles de temps de l'ordre de plusieurs dizaines d'années.

- *La destruction de l'ozone stratosphérique* (on parle communément du « trou de la couche d'ozone ») est corrélé à des concentrations excessives de radicaux Cl et ClO. Ces composés sont naturellement présents dans la stratosphère suite aux émissions par les océans de chlorure de méthylène (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>). Les émissions anthropiques de chlorofluorocarbures (CFC), des molécules très stables, constituent un apport supplémentaire de chlore dans la stratosphère qui accentue la baisse naturelle des concentrations d'ozone (O<sub>3</sub>). Les échelles de temps et d'espace caractéristiques sont similaires à celles envisagées précédemment pour l'effet de serre.
- *Les pluies acides*, qui sont reliées aux émissions anthropiques de gaz acidifiants. Ces phénomènes de pollution ont été mis en évidence par l'acidification des eaux des lacs Scandinaves en lien avec les émissions soufrées de l'Europe continentale. On parle souvent de « pollution transfrontière », les polluants pouvant être transportés sur des milliers de kilomètres avant d'être ramenés au sol et de provoquer des dommages sur les écosystèmes.
- *Les polluants organiques persistants* (POP) constituent une famille d'espèces chimiques présentant pour caractéristiques communes d'être toxiques, résistantes aux dégradations biologiques naturelles, capables de bioaccumulation et susceptibles d'être transportées sur de longue distance. Pour les étudier on se place également dans le cadre de la « pollution transfrontière ».
- *La pollution photo-oxydante* fait intervenir des échelles de temps et d'espace très variées. Le monoxyde d'azote (NO) émis entre autre par le trafic routier a une durée de vie ne dépassant pas quelques heures et concerne donc principalement les zones géographiques proches des émissions. L'ozone (O<sub>3</sub>) possédant une durée de vie plus conséquente et n'étant pas directement émis (polluant secondaire) peut impacter des zones relativement éloignées des principales sources de ses précurseurs.

#### II-2-2-Les catégories des polluants :

Les polluants atmosphériques peuvent être classés en deux catégories :

##### **II-2-2-1-Polluants primaires**

Ce sont les polluants qui sont émis directement de la source sans subir une transformation physique ou chimique.

Les activités humaines de production industrielle et énergétique sont, avec les transports, les principales sources de polluants primaires parmi lesquels le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), les hydrocarbures, les métaux lourds, le Plomb, le chlore et les poussières sont émis dans les plus grandes quantités et, surtout sont les mieux connus. En effet, c'est en réalité un cocktail de centaines de substances diverses qui se retrouvent dans l'atmosphère dont certaines en très faible quantité.

##### **I-2-2-2-Polluants secondaires**

D'autres polluants nommés polluants secondaire sont formés de réactions chimiques entre les polluants primaires et les constituants présents dans l'atmosphère, comme l'ozone (O<sub>3</sub>)

résulte de la transformation par photochimie de plusieurs polluants dont principalement les oxydes d'azote et les hydrocarbures (COV en particulier).

## II-2-2-Les principaux polluants considérés de l'air ambiant:

Les pollutions atmosphériques vont se distinguer selon les espèces considérées. Parmi les polluants on recense :

- **Les oxydes d'azote (NO<sub>2</sub> et NO)** :Gaz très irritants recouvrent le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) dérive de l'oxydation du monoxyde d'azote (NO).. Etant donné que le NO s'oxyde rapidement en NO<sub>2</sub>, la totalité des émissions est exprimée en dioxyde d'azote.

**Source** : véhicules à moteur (trafic routier) consommation de carburants et de combustible, particulièrement a des températures élevées.

- **Monoxyde de carbone (CO)** :C'est un gaz toxique inodore et incolore. C'est l'aéropolluant le plus fréquent dans la Pollution atmosphérique. Heureusement, il ne persiste pas dans l'atmosphère; il se transforme naturellement par un processus inconnu en CO<sub>2</sub>.

**Source** : Combustion incomplète de carburants et de combustibles

- **Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)**

**Source** : oxydation rapide du CO avec l'oxygène de l'air

- **Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)** : Gaz très irritant.

**Source** : Le dioxyde de soufre provient principalement de la combustion des combustibles fossiles (charbon, fioul...), au cours de laquelle les impuretés soufrées contenues dans les combustibles sont oxydées par l'oxygène de l'air O<sub>2</sub> en dioxyde de soufre SO<sub>2</sub>.

Ce polluant gazeux est rejeté par de multiples petites sources (installations de chauffage domestique, véhicules à moteur diesel...) et par des sources ponctuelles plus importantes (centrales de production électrique ou de vapeur, chaufferies urbaines...). Certains procédés industriels produisent également des effluents soufrés (production d'acide sulfurique, raffinage de pétrole, métallurgie des métaux non ferreux...).

- **Ozone (O<sub>3</sub>)** : C'est la forme toxique de l'oxygène (O<sub>2</sub>) pur et le principal composant du smog des grandes métropoles. Contrairement aux autres polluants, l'ozone n'est pas émis directement par une source particulière. L'ozone proche du sol est un polluant secondaire qui se forme par réaction chimique dans la troposphère (basse altitude) à partir d'oxyde d'azote et de composés organique volatils sous l'action de la lumière du soleil.

**Source** : trafic automobile, industrie (polluant secondaire).

- **Particule fine PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>** Les particules en suspension constituent un ensemble très hétérogène, compte tenu de la diversité de leur composition, de leur état (liquide ou solide) et de leur taille (de 0,005 à 100 µm).

Alors que les grosses particules se déposent rapidement sous l'effet de leurs poids, les petites particules restent en suspension dans l'air, leur vitesse de chute résultant d'un équilibre entre l'action du champ de pesanteur terrestre ou de la force électrique qui agit sur elles et la résistance du milieu. Les particules de diamètre inférieur ou égal à 10 µm, appelées PM<sub>10</sub>, peuvent rester en suspension dans l'air pendant des jours, voire des semaines, et être transportées par les vents sur de très longues distances.

-Si les émissions de particules ont baissé depuis quelques années, du fait du traitement des rejets industriels, du développement des chauffages à l'électricité et au gaz, et des centrales électriques nucléaires au détriment des centrales thermiques, la part du transport routier a fortement augmenté avec l'extension du parc des véhicules diesel, émetteurs notamment de particules fines de diamètre inférieur ou égal à 2,5 µm, appelées PM2,5.

**Source :** L'activité humaine émet des particules fines. Ces particules, constituées de cendres, de composés organiques, de métaux..., proviennent de la combustion de combustibles fossiles, de l'essence et du gazole (transport, installations de chauffage, industries, usines d'incinération des ordures ménagères, centrales thermiques...), ainsi que du revêtement des routes et des chantiers de construction.

- **Composés organique volatiles (COV)** Molécules constituées principalement d'atomes de carbones et d'hydrogène. Ils sont multiples et s'évaporent relativement facilement. Ils ne comprennent pas le méthane et les CFC.

**Source :** Evaporation des solvants (dans les peintures, les encres, les produits de nettoyage et de vitrification des sols, etc.), de carburants (lors du transvasement de produits pétroliers ou d'hydrocarbure pour les véhicules à moteur) et lors de la combustion incomplète.

Polluants	Valeurs limites: (Base moyenne horaire)	Objectifs de qualité	Seuils d'alerte:
NO2	200 microgr/Nm3 (centile 98)	135	600 microgr/Nm3
SO2	350 microgr/Nm3 (centile 99,9)	150	600 microgr/Nm3
O3	200 microgr/Nm3 (moy. Annuelle)	110	360 microgr/Nm3)
PM10	80 microgr/Nm3 (moy. Annuelle)	50	/

**Tableau I-2: Les valeurs limites admissible d'émissions de polluants en Algérie**  
(Source : Le Décret 06-02 du 07/01/ 2006)

-La teneur d'un polluant dans l'air en un endroit donné est définie par la concentration des polluants. On l'exprime généralement sous la forme d'un rapport entre le poids du polluant et le poids de l'air dans un volume donné, et l'unité consacrée est alors le ppb (partie par milliard), ou sous la forme d'une concentration massique classique, en microgramme par mètre cube (µg/m3).

### III- DISPERSION DES POLLUANTS:

#### III-1-Mécanismes de la pollution atmosphérique

La littérature sur la pollution atmosphérique évoque régulièrement des noms de polluants. On parle aussi de la dispersion et de la transformation de ces polluants. Les impacts et les cibles sur lesquels se manifestent les impacts sont également très souvent mentionnés. La pollution de l'air apparaît ainsi comme une boîte noire aux yeux d'un lecteur non averti. On cherche ainsi à décrire, dans cette partie, le mécanisme global de la pollution atmosphérique.



Seule la pollution de l'air extérieur est étudiée dans cette thèse dans la mesure où les transports qui constituent notre sujet d'étude interviennent majoritairement au niveau de la qualité de l'air extérieur. Cette pollution se manifeste essentiellement dans la couche de l'atmosphère comprise entre 0 et 30 km d'altitude. Elle est caractérisée par les concentrations en polluants atmosphériques et les impacts résultant de l'exposition des cibles à la qualité de l'air.

### III-1-1-Les émissions :

Les polluants atmosphériques qui contribuent à la dégradation du patrimoine bâti sont principalement des particules et des produits corrosifs [Diren & coll.]. Au sein des particules, ce sont surtout les particules de grande taille (suies, particules abrasives...) qui interviennent majoritairement dans les salissures. Au sein des produits abrasifs, les gaz aux propriétés acides ou oxydantes ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{O}_3$  ...) sont les principaux acteurs de la corrosion des matériaux (Baer & coll., 1985; Miles, 1986; Thomson, 1954; 1986). Parmi les polluants contribuant à la dégradation du patrimoine bâti, aucun n'est réglementé. D'après [Citepa], le secteur des transports émettrait 9 % du total des émissions sectorielles annuelles de particules en suspension, 23 % de  $\text{PM}_{10}$ , 20 % de  $\text{PM}_{2,5}$  et 15 % de  $\text{PM}_1$ , 54 % de  $\text{NO}_x$ , (plus %) 29 % de COV, et 6 % de  $\text{SO}_2$ .

L'activité de transport et principalement le trafic, comme d'autres secteurs d'activités anthropiques, constituent une source importante d'émissions de polluants primaires dans l'atmosphère. Parmi ces polluants, on recense par exemple les poussières ou les particules, le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), le monoxyde de carbone (CO), les métaux lourds, les composés organiques volatils (COV), le fluor, l'acide chlorhydrique, le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), le méthane ( $\text{CH}_4$ ), le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ), les chlorofluorocarbures (CFC), les hydrofluorocarbures (HFC), les perfluorocarbures (PFC), les hexafluorures de soufre ( $\text{SF}_6$ ), les organochlorés (dioxines et furannes), les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)... (Ademe, 2003a).

Les émissions de polluants atmosphériques sont ponctuelles et instantanées, c'est-à-dire qu'à chaque instant un système peut émettre de nouvelles molécules d'un même polluant, à un endroit donné. Etant donné que l'émission ponctuelle d'une molécule à un instant donné est forcément distincte d'une autre molécule émise au même instant et/ou au même endroit, ou à un instant différent et/ou à un endroit différent, les molécules émises peuvent être sommées sur un intervalle de temps donné ou pour une activité donnée, et sur un espace donné (grandeur extensive<sup>16</sup>). Elles sont ainsi mesurées pour un polluant donné et une source donnée.

#### ***Type d'émission***

Il existe principalement deux types d'émissions :

- *Les émissions biogéniques*, provenant de sources naturelles telles que les volcans, les feux de forêts, l'émission de sels de mer ou l'érosion du sable, ou encore les composés organiques volatils (COV) émis en particulier par la photosynthèse,
- *Les émissions anthropiques*, dues à l'activité humaine, c'est-à-dire au transport (routier et aérien), aux émissions industrielles, au chauffage et à l'agriculture.

### III-1-2-Le processus de transport-dispersion:

Les particules d'origine automobile qui interviennent dans la dégradation du patrimoine bâti sont transportées sur des distances assez faibles. Les gaz corrosifs peuvent être transportés sur des distances bien plus grandes (1000 à 2000 km) (Luiset, 2000).

Lorsqu'un polluant primaire est émis dans l'atmosphère, il est soumis aux processus de transport et de dispersion dont le calcul repose sur le principe de la continuité-conservation [Martin & coll., 1988]. La dispersion et le transport des polluants dans l'air sont très variables dans le temps et dans l'espace, et dépendent de l'état de l'atmosphère, des conditions météorologiques, des facteurs topographiques, des facteurs anthropiques et des éléments propres aux polluants.

### III-1-3-Les transformations physico-chimiques :

Les polluants qui interviennent dans la dégradation du patrimoine bâti sont des particules (polluants primaires) ou des polluants secondaires dont les processus de transformation ont déjà été présentés au niveau de l'acidification ou de la pollution photochimique.

Dans le cas de certains polluants et sous des conditions atmosphériques particulières, il existe des processus de transformation physico-chimiques des polluants primaires émis, en polluants dits secondaires, car non émis directement par les sources (Ademe, 2003a; Federation Atmo, 2002). Les transformations sont plus ou moins rapides et ont lieu dans la troposphère et la basse stratosphère. Dans le cas de la formation d'ozone troposphérique à partir des émissions de COV et de NOx, les transformations chimiques sont assez rapides, de l'ordre de l'heure. En revanche, dans le processus de formation des précurseurs de diminution de la couche d'ozone, les réactions chimiques sont beaucoup plus longues (quelques mois) dans la mesure où elles nécessitent des conditions atmosphériques (physiques) particulières. Les facteurs qui interviennent le plus dans les processus de transformations sont la stabilité physico-chimique du polluant et les facteurs météorologiques

### III-1-4-Les concentrations :

La concentration des polluants atmosphériques émis par les transports et impliqués dans la dégradation du patrimoine bâti commun est suivie par les réseaux de mesures de la qualité de l'air (pollution de fond : Particules, O3) (Baer & coll., 1985; Diren & coll.; Miles, 1986; Thomson, 1954; 1986).

L'exposition aux polluants affectant le patrimoine bâti commun est globalement plus grande dans les zones urbaines et suburbaines que dans les zones rurales.

La dégradation du patrimoine bâti commun peut être caractérisée par :

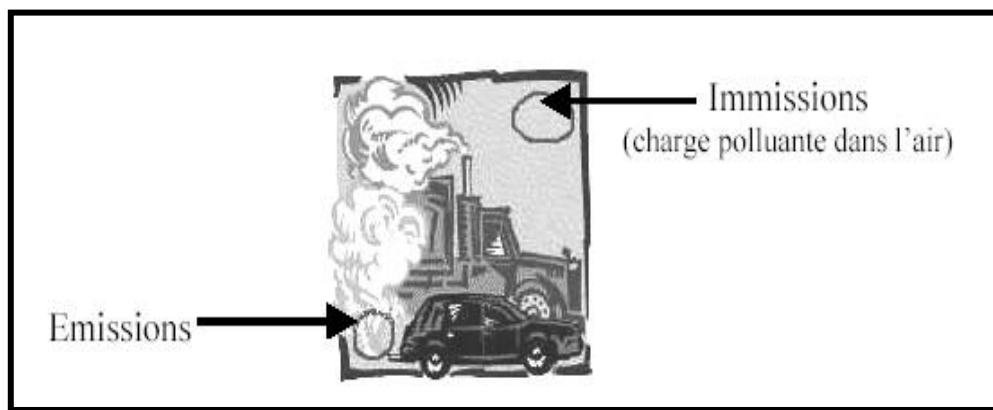
- l'émission de particules, de NOx, de COV, de SO2, et de CO ;

- la dégradation du patrimoine bâti (impact réversible), dont le mécanisme d'impact est un impact physique et non linéaire.

### III-1-5-L'immission :

La teneur ou la concentration désigne en règle générale la présence de polluants dans l'air extérieur. Plus précisément, la concentration d'un polluant représente la présence d'un certain nombre de molécules du polluant dans un volume d'air déterminé, sur une zone donnée (pouvant être réduite à un point), et à un instant donné. Elle est normalement exprimée en unité de masse par unité de volume, par exemple en mg/m<sup>3</sup>.

Dans la littérature, on trouve souvent le terme d'immissions (d'origine allemande) pour caractériser la teneur ou la concentration. Ce terme désigne la résultante des émissions après dispersion, c'est à dire après modification par la morphologie urbaine et par des paramètres météorologiques, comme le vent, eux aussi influencés par la présence du bâti (Figure I-3).



**Figure I-3-Emissions et immissions en milieu urbain.** (Source : Maignant, 2007)

Les concentrations ne dépendent que très peu du récepteur et de la couverture du sol (Martin & coll., 1988). Elles dépendent principalement des émissions du polluant considéré et des conditions de dispersion et de transformation (durée de vie) dans l'air.

Les molécules présentes à un instant donné et à un endroit donné peuvent correspondre par exemple à l'ensemble des molécules émises :

- à cet instant donné et à cet endroit donné
- à un instant antérieur à ce même endroit
- à un instant antérieur et à un endroit différent.

Contrairement aux émissions qui ont un caractère instantané, les concentrations (mesurées en instantané) disposent ainsi d'une inertie temporelle d'une part, et d'une inertie spatiale d'autre part.

Cette double inertie permet de définir l'échelle temporelle et l'échelle spatiale de la pollution atmosphérique. Les deux échelles peuvent être divisées en trois niveaux. Avec principalement l'ensoleillement et les précipitations. Les transformations physico-chimiques font l'objet de modélisations plus ou moins complexes et de mieux en mieux déterminées.

### III-1-6-La déposition atmosphérique :

La déposition atmosphérique se réfère à l'ensemble des processus de transfert d'interface qui concourent à diminuer la teneur d'une substance présente dans l'air (Ademe, 2003a; Martin & coll., 1988). La déposition sèche correspond au transfert d'un aérosol ou d'un gaz entre l'air et un réservoir tel que le sol, la végétation, l'eau ou un élément anthropique. La déposition humide est un transfert qui s'effectue par les précipitations et, dans certains cas, par les brouillards et la rosée. La déposition est habituellement mesurée dans une unité de masse rapportée à une unité de surface et une unité de temps (mg/m<sup>2</sup>/jour par exemple)

### **III-1-6-1-Processus de dépôts et de ré-émissions des polluants atmosphériques**

- Dépôts humides : Le processus de la déposition atmosphérique intervient majoritairement dans le mécanisme d'action des impacts « dégradation du patrimoine bâti commun » car les polluants impliqués ont principalement une action par contact direct sur les parois des bâtiments et sur la surface des objets à l'intérieur des bâtiments (Baer & coll., 1985; Diren & coll., ; Miles, 1986; Thomson, 1954; 1986).

Les dépôts humides comprennent plusieurs processus et on distingue généralement les dépôts humides associés aux précipitations (pluie, neige, grêle) et les dépôts humides occultes associés à l'impact de gouttelettes de nuage sur une montagne ou la sédimentation de gouttelettes de brouillards. Les dépôts humides par précipitation sont dans l'ensemble les plus importants. Lors d'une précipitation, deux processus principaux contribuent au dépôt humide. D'une part, des particules jouent le rôle de noyaux de condensation pour des gouttes de nuage (qui peuvent ensuite devenir des gouttes de pluie) et les polluants présents dans ces particules sont donc incorporés dans ces gouttes. D'autre part, des polluants gazeux ou particuliers sont captés par les gouttes de nuage ou de pluie dans le nuage.

Les polluants gazeux sont captés par dissolution dans la phase aqueuse. Les polluants particuliers sont captés lorsque la particule entre en collision avec une goutte de nuage ou de pluie. Par ailleurs, la précipitation va lessiver une partie des polluants présents entre la surface terrestre et la base du nuage. Ce lessivage a lieu pour les polluants gazeux qui sont solubles dans l'eau et pour les particules qui entrent en collision avec les gouttes de pluie. Plus un polluant gazeux est soluble, mieux il sera lessivé.

Pour les particules, les collisions avec les gouttes de pluie peuvent résulter d'une diffusion brownienne des particules (le processus le plus important pour les particules ultra fines, c'est-à-dire celles de moins de 0,1 micron de diamètre environ), d'un impact par interception d'une particule par une goutte (ce processus qui est fonction de la taille de la particule domine pour les particules entre environ 0,1 et 1 micron) ou d'un impact par inertie (ce processus qui dépend de la masse de la particule domine pour les particules de taille environ supérieure à 1 micron). Dans le cas de l'impact par inertie, une particule légère suivra plus facilement l'écoulement du fluide autour d'une goutte de pluie alors qu'une particule lourde pourrait ne pas pouvoir totalement contourner la goutte et donc entrer en collision avec cette goutte.

- Dépôts secs : Les polluants atmosphériques peuvent se déposer sur les surfaces bâties, la végétation, les sols et les eaux de surface par des processus « secs », c'est-à-dire des processus qui ne dépendent pas de précipitations. Les processus fondamentaux qui mènent à des dépôts secs sont la sédimentation, les impacts par inertie ou interception et la diffusion.

Les trois premiers mécanismes concernent seulement les particules alors que la diffusion concerne les polluants gazeux et particulaires. La sédimentation correspond à l'effet de la gravité terrestre sur les particules. Toutes les particules, quelque soit leur taille, sont soumises à la sédimentation. Cependant, seules les particules grossières, celles qui ont un diamètre supérieur à environ 10 microns (PM10), ont une vitesse de sédimentation suffisante pour que le processus de sédimentation devienne commensurable avec celui d'impact par inertie (pour des particules de quelques dizaines de microns, la sédimentation est le processus dominant). En effet, la vitesse finale de chute d'une particule résulte de l'équilibre entre la force de gravité et la force de friction de la particule dans l'air. Cet équilibre est représenté mathématiquement par la loi de Stokes. Par exemple une particule sphérique de 10 microns et de masse volumique de 1 g/cm<sup>3</sup> a une vitesse de sédimentation d'environ 0,3 cm/s.

La diffusion d'un gaz ou d'une particule de l'atmosphère vers une surface est généralement décomposée en plusieurs étapes. Pour tous les polluants (gazeux et particulaires), on considère deux étapes qui correspondent: premièrement, transfert de l'atmosphère vers la surface par la turbulence atmosphérique, deuxièmement, transfert du polluant dans une couche très fine en contact avec la surface.

Les vitesses de dépôt sec varient selon les polluants (molécules gazeuses et particules de différentes tailles), les conditions météorologiques (qui affectent la turbulence) et le type de surface (sol, végétation, bâti, eau...). Une espèce très soluble comme l'acide nitrique peut avoir une vitesse de dépôt de plusieurs cm/s pendant la journée (c'est-à-dire quand la turbulence atmosphérique est importante). Des particules fines auront une vitesse de dépôt de l'ordre de 0,1 cm/s pendant la journée. Pendant la nuit, les conditions atmosphériques stables peuvent réduire les vitesses de dépôt d'un ordre de grandeur ou plus. En général, les vitesses de dépôt sont plus élevées en milieu forestier qu'en rase campagne car, pour une même superficie au sol, la surface des feuilles des arbres est beaucoup plus importante que la surface du sol.

- Ré-émissions de polluants déposés : Certains polluants qui ont été déposés sur une surface peuvent être ré-émis dans l'atmosphère. Il est important de prendre en compte ces processus de ré-émission si l'on veut établir un bilan net du transfert des polluants de l'atmosphère vers un écosystème.

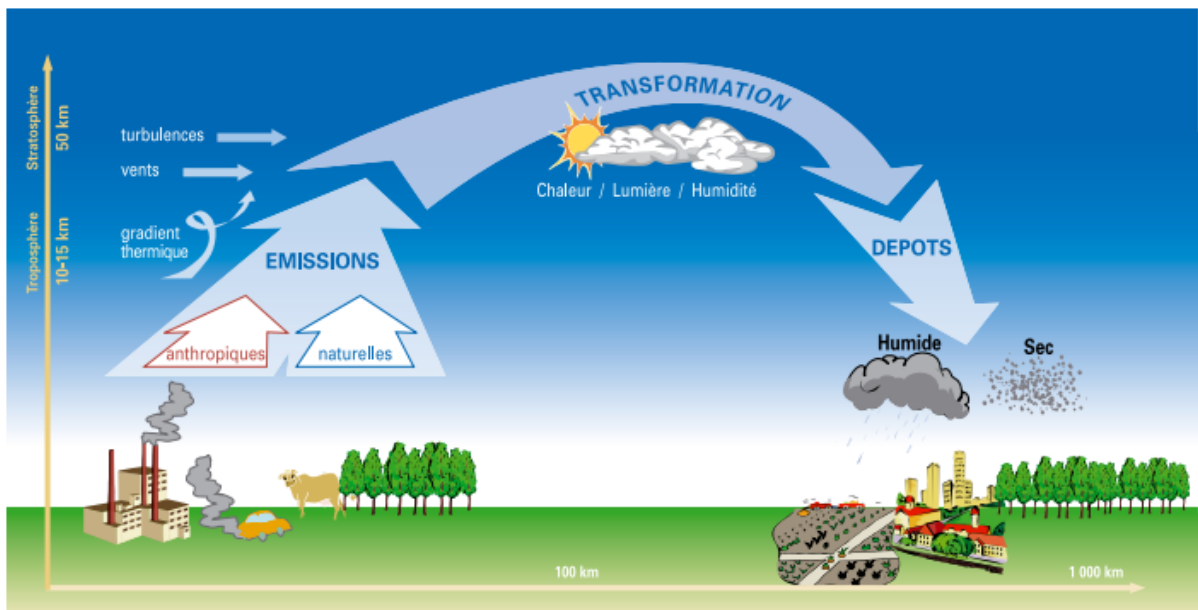
Ce processus de ré-émission peut prendre plusieurs formes. Dans sa forme la plus simple, le polluant est ré-émis sous la même forme que celle qu'il avait lors de son dépôt. Des polluants semi-volatils tels que les polluants organiques persistants sont plus ou moins volatils selon que la température ambiante est plus ou moins élevée. Ils se déposeront donc plus facilement lorsque la température est basse (par exemple sous forme particulaire), mais pourront être ré-émis (par exemple sous forme gazeuse) lorsque la température s'élèvera de nouveau. Une succession de dépôts et de ré-émissions d'un polluant semi-volatile est parfois appelé « l'effet sauterelle » car le polluant peut ainsi parcourir de très

grandes distances (plusieurs milliers de kilomètres) en faisant plusieurs « sauts » successifs dans l’atmosphère.

Des poussières qui ont été déposées peuvent aussi être remises en suspension, soit sous l’effet du vent (re-suspension éolienne), soit sous l’effet d’une perturbation anthropique (par exemple activités agricoles ou trafic routier). La réémission d’un polluant peut aussi avoir lieu après transformation chimique. C’est le cas par exemple pour l’émission d’oxydes d’azote (NO et N<sub>2</sub>O) qui sont émis des sols après dénitrification de composés tels que des nitrates ou l’ammoniac. C’est aussi le cas pour le mercure qui peut se déposer sous forme de mercure oxydé gazeux (par exemple le chlorure de mercure qui est très soluble) et, après réduction dans le sol ou en milieu aquatique, peut être ré-émis sous forme de mercure élémentaire (cette forme de mercure étant très insoluble dans l’eau est très volatile).

## II-2-Processus de dispersion atmosphérique :

Les paramètres météorologiques interviennent au processus de la dispersion atmosphérique ces processus sont (figure I-4) : Le Transport – la Diffusion – le Dépôt au sol



*Figure I-4 Résumé de l'ensemble des processus intervenant dans la dispersion des polluants de l'atmosphère (Source : Ademe, 2010)*

II-2-1-Le transport : Le transport horizontal par le champ de vent, qui explique le déplacement des polluants les plus stables sur de longues distances (voir figure I-5).

I-2-2-La diffusion : le brassage vertical par la turbulence atmosphérique lié aux effets de couche limite. C'est ce mécanisme qui est responsable de la dilution des polluants et donc de la baisse des concentrations en aval des sources (figure I-5).

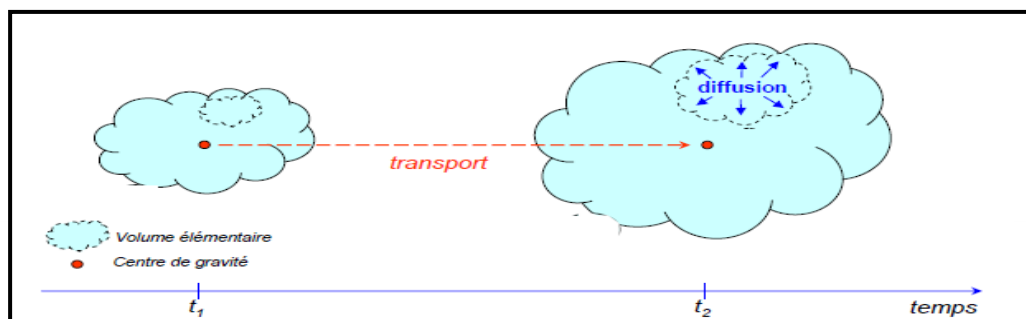


Figure I-5: les processus de transport et de diffusion. (Source : Sourdain, 2006)

II-2-3- Le dépôt sec a la surface du sol : (dû notamment à l'absorption par les végétaux), dépend du type de sol (bâtiments, végétaux) et de la présence de nuages. Dans les deux cas, l'échelle caractéristique de la variabilité spatiale peut être de quelques mètres seulement.

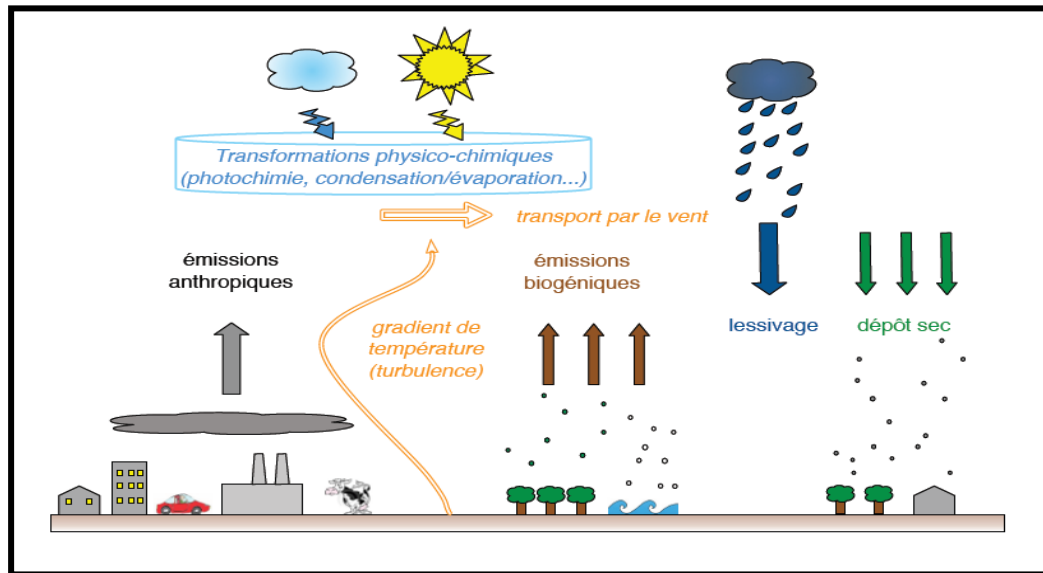


Figure I-6 : Emissions, transformation et dépôts de polluants. (Source : Ademe, 2010)

### III-2-Les facteurs affectant la dispersion des polluants :

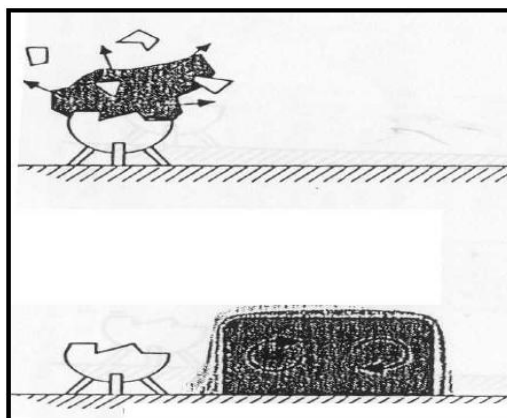
Lorsqu'un polluant est émis dans l'atmosphère, il est soumis au processus de dispersion. Ce processus est très variable dans le temps et dans l'espace. Il dépend principalement de deux facteurs affectant la dispersion dans les basses couches :

- Facteurs « indirects » qui sont liés aux paramètres de rejet.
- Et les facteurs « directs » dont les deux paramètres sont :
  - Les Conditions météorologiques (vitesse du vent, stabilité thermique de l'atmosphérique, turbulence...)
  - L'environnement ou la structure du paysage (nature du sol, bâtiments, reliefs,...etc.).

#### II-2-1- Facteurs indirects liés aux paramètres de rejet :

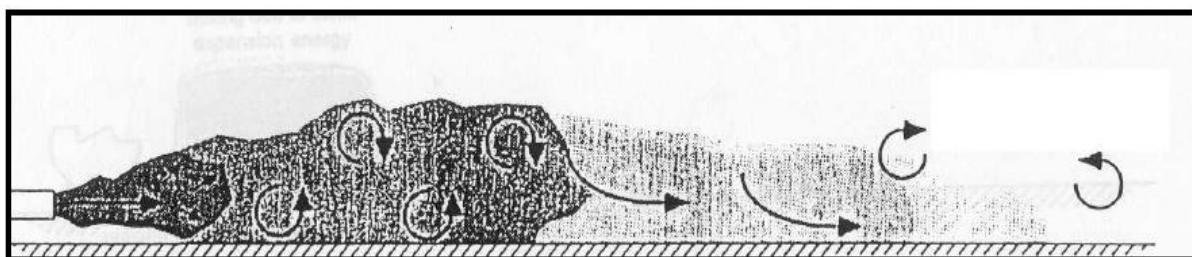
##### II-2-1-1-Rejets instantanés versus continus :

-Les rejets de type **instantané** sont définis par le relâchement immédiat de la totalité d'un polluant, et sont principalement caractérisés par la quantité émise à l'atmosphère et la pression de la capacité au moment de la rupture (éclatement). Le rejet peut être accidentel, avec des émissions à l'atmosphère ponctuelles dans le temps, non désirées comme la fuite d'une cuve ou un dégagement de fumées dû à un incendie (figure I-7).



**Figure I-7 : Rejet instantané d'un produit**  
(Source : INERIS-DRA-25427-2002)

-**La fuite continue** est le relâchement de polluants lié au procédé de l'installation (rejets de routine) et se produit à partir d'une conduite ou d'une cuve de stockage ou de l'émission par une cheminée d'extraction. Le rejet peut être aussi chronique, avec des émissions à l'atmosphère plus ou moins continues ou périodiques dans le temps. Les rejets sont les sous-produits indésirables de toute activité humaine, par exemple, les gaz d'échappement des voitures, les fumées d'usines, de chauffages urbains ou toute forme de pollution diffuse (émission de gaz issu d'une décharge...) (figure I-8).



**FigureI-8 : Rejet continue d'un produit**  
(Source : INERIS-DRA-25427-2002)

### **II-2-1-2-Rejets ponctuel versus diffus**

-**rejet ponctuel** : C'est un rejet de polluants qui peut être bien définie. Une cheminée est un exemple de source ponctuelle. Il est facile de mesure le débit et la nature des polluants émis par de telles sources.



**-rejet diffus :** Il est impossible de suivre les émissions atmosphériques de chaque voiture, de chaque cheminée de maison. Ensemble, ces sources contribuent néanmoins de façon importante au total des émissions.

### II-2-1-3-La dynamique et thermique du nuage

- **Le jet turbulent :** En fonction des conditions de stockage, le nuage peut avoir une quantité de mouvement importante au début du rejet.

On parle alors de jet turbulent quand la différence entre la quantité de mouvement du nuage et celle de l'air environnant provoque une turbulence importante, à l'origine d'un taux important d'entraînement d'air favorisant la dilution du rejet.

Les caractéristiques du jet dépendent de la quantité de mouvement du gaz émis.

L'absence de prise en compte de ce phénomène peut conduire à une surestimation des valeurs de concentration dans l'atmosphère.

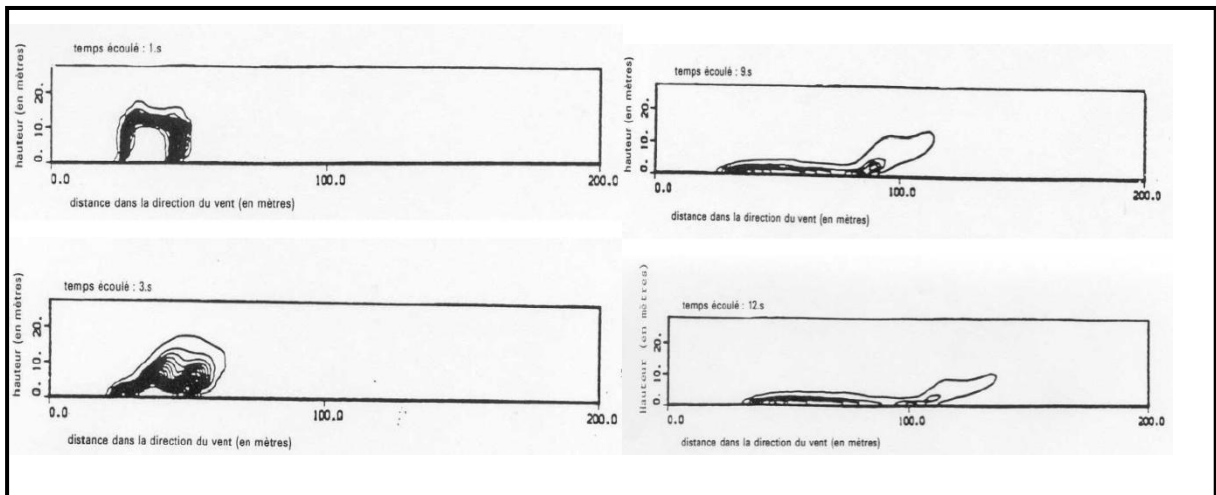
- **La densité du gaz**

- **Le phénomène du gaz dense**

Lorsque le gaz rejeté dans l'atmosphère est plus dense que l'air, il est qualifié de « **gaz lourd** ». Les forces de gravité influencent de façon importante la dispersion du nuage.

-A proximité du rejet, la force de gravité est à l'origine d'un mouvement d'ensemble vers le sol et l'expansion verticale du nuage est réduite.

-En contact avec le sol, le nuage se répand, poursuit son effondrement ce qui favorise son développement transversal (figure I-9).



*Figure I-9: Dispersion d'une bouffée de gaz dense  
(Source : Riou, 1989)*

- **Gaz neutre (ou passif)**

Le gaz est qualifié de « **gaz neutre** », lorsque le gaz :

- n'a pas de quantité de mouvement,
- a la même densité que l'air,
- a la même température que l'air.

Ce type de rejet est rencontré lors des fuites d'un gaz de même densité que l'air ou très dilué quelle que soit sa densité à l'état pur.

Le gaz neutre n'apporte aucune perturbation mécanique à l'écoulement atmosphérique et va se disperser du fait de la seule action du fluide porteur, l'air. Le déplacement et la dilution du gaz vont alors dépendre du vent de la turbulence atmosphérique d'origine mécanique ou thermique.

- **Gaz léger**

Lorsque le gaz est moins dense que l'air, il est qualifié de « **gaz léger** ». Ce type de rejet concerne les fuites :

- d'un produit rejeté à température ambiante de masse volumique moins importante que celle de l'air (hydrogène...) ;
- d'un produit moins léger que l'air à température ambiante, mais rejeté à une température assez importante pour que sa masse volumique soit plus petite que celle de l'air (exemple des fumées d'incendie).

Si la densité du gaz est suffisamment faible, l'effet des forces d'Archimède est susceptible de favoriser l'ascension du nuage de gaz.

Si la vitesse ascensionnelle est suffisante, le frottement des bords du nuage avec l'atmosphère lors de l'ascension peut favoriser la dilution (apparition de turbulence sur les bords du nuage). Enfin, le cœur du nuage plus léger que la périphérie peut s'élever plus rapidement avec pour conséquence un accroissement de la surface de contact entre l'atmosphère et le gaz. Tous ces phénomènes sont susceptibles de favoriser la dilution du nuage (Proust, 1999).

**Cisaillement du champ de vent :** Si le nuage monte ou descend, alors il cisaille le champ de vent horizontal. La différence entre la quantité de mouvement du nuage et de l'air produit des tourbillons favorisant le mélange de l'air dans le nuage.

**Les effets thermiques :** Les effets thermiques jouent un rôle significatif sur la dilution. Pour des gaz dont la température est très différente de celle de l'air et du sol, les échanges thermiques vont accélérer la dilution par convection thermique.

## **CONCLUSION**

Au cours de ce chapitre, nous avons discuté de plusieurs aspects concernant la dispersion des polluants dans l'atmosphère. D'une part, nous avons parlé du problème de pollution atmosphérique. Celui-ci est dû aux différents types de polluants émis des sources naturelles et anthropiques ayant des effets néfastes sur l'être humain et son environnement. Pour contrer ces problèmes plusieurs organisations ont imposé des contrôles et des normes standards, mais plusieurs de ces problèmes subsistent encore.

De l'autre part, nous avons constaté que la dispersion est régie par l'état de l'atmosphère, des facteurs topographiques, des facteurs anthropiques, des éléments propres aux polluants, et les différents systèmes météorologiques couvrant tout le spectre des échelles de grandeurs. Pour cela, il est nécessaire par la suite d'examiner les phénomènes météorologiques qui peuvent amener les polluants atmosphériques à se disperser dans le second chapitre.

# **Chapitre 2**

## **Le climat urbain**

## INTRODUCTION

Dans notre système environnemental, le climat et à travers ses divers éléments, s'avère être d'une très grande influence sur la vie quotidienne de l'être humain, et par delà sur sa façon de concevoir son milieu aussi bien à l'intérieur de son habitation qu'à l'extérieur.

Pour s'abriter de certains effets indésirables de la nature, l'homme, et ce depuis la résolution des problèmes initiaux qui lui faisaient obstacle dans sa vie (manger, s'habiller, s'abriter...) s'est donné la peine de penser à des solutions qui le protègent des conditions climatiques quelques fois dures. Joseph BELMONT a précisé il y a une dizaine d'années que *« l'architecture est déterminée par une série de facteurs dont un seul ne varie jamais, le climat. On s'est toujours protégé du soleil de la même façon soit en construisant des murs épais soit en se mettant à l'ombre »*. A cet effet, une bonne connaissance des phénomènes climatologiques, leurs variations ainsi que leur exploitation d'une manière judicieuse, pourrait être d'un grand apport.

Actuellement, le climat terrestre est entrain de changer. Au 20<sup>ème</sup> siècle, la température de la surface du globe a été clairement plus élevée que pendant n'importe quel siècle au cours des 1000 dernières années. Le climat du 20<sup>ème</sup> siècle a été vraiment atypique. Ce désordre englobe l'ensemble des facteurs d'ordre urbanistiques, environnementaux et même économiques et sociaux pouvant affecter négativement un écosystème qui doit être préservé.

Ce chapitre en procédant par donner les différentes définitions du climat, présente dans une première étape un aperçu sur les facteurs qui influent sur le climat et par la suite le climat urbain qui est aujourd'hui un domaine de recherche investi à la fois par les climatologues et les géographes, mais également par les architectes et les urbanistes. L'objectif est de s'approfondir dans la notion du climat urbain et essentiellement la microclimatique urbaine car le phénomène microclimatique est au sommeil de notre réflexion vu qu'il constitue la réaction de plusieurs facteurs et paramètres spécifiques au milieu urbains. Sa compréhension met en rails le déroulement de notre recherche.

# I- LE CLIMAT

## I-1- Définition :

Le mot climat dérive directement du mot grec *klima* qui veut dire inclinaison et se rapporte soit à l'inclinaison moyenne des rayons solaires, variable suivant la latitude du lieu ou l'en se trouve, soit à la pente variable des terrains vis-à-vis du rayonnement solaire.

Depuis le développement de la météorologie, le climat est considéré comme " l'ensemble des phénomènes météorologiques, qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un point quelconque de la surface de la terre (J.V,Hann, 1908)

Le climat peut être défini comme étant "ambiance atmosphérique constituée par la série des états de l'atmosphère au dessus d'un lieu dans leur succession habituelle" (Max Sorre, 1943). Il est également défini comme l'état moyen de l'atmosphère en un point de la surface terrestre. (Godard et Estienne, 1970).

Le climat est un ensemble de types de temps qui se succèdent habituellement en un lieu au cours d'une longue période, ne peut donc pas être perçu immédiatement par chacun d'entre nous. Il se définit lui à partir des séries d'observations faites dans les stations météorologiques, en établissant des moyennes, des écarts, des totaux sur des périodes pluriannuelles.

Mais aussi la synthèse des conditions météorologiques dans une région donnée, caractérisée par les statistiques à long terme des variables de l'état de l'atmosphère, les conditions moyennes qu'il fait dans un endroit donné (température, précipitations,...) calculées d'après les observations d'au moins 30 ans (défini par l'Organisation Météorologique Mondiale).

## I-2- Les éléments météorologiques du climat :

Parmi les éléments caractéristiques du climat, on distingue d'abord ceux qu'on range habituellement sous le nom d'élément météorologique, à savoir:

- a- **Les éléments permanents:** la pression atmosphérique, la température, le degré hygrométrique de l'air, la vitesse et la direction du vent, la nébulosité, la transparence de l'air, le rayonnement du ciel et du sol;
- b- **Les éléments accidentels:** les précipitations et autres hydrométéores

Les phénomènes météorologiques constituent le vecteur des polluants transportés dans l'atmosphère. Pour comprendre et modéliser la dispersion atmosphérique, il est donc essentiel de décrire les principaux phénomènes météorologiques.

Les variables couramment utilisés pour décrire l'atmosphère qu'on va prendre en considération pour notre étude sont : la vitesse, la direction du vent ; La pression atmosphérique et la température.

### I-2-1- Le vent

Le vent est de l'air qui se déplace des anticyclones (hautes pressions) vers les dépressions (basses pressions). Il est un phénomène météorologique très variable en direction et en vitesse. La vitesse du vent est généralement plus forte le jour que la nuit.

Les conditions de vent dans les milieux urbains sont importantes. Le vent joue un rôle primordial dans tous les phénomènes d'échanges de matière, d'énergie en le sol l'environnement construit et l'atmosphère

Les conditions de vent peuvent servir à transporter des polluants atmosphériques sur l'environnement urbain, de modérer les conditions microclimatiques urbains, s'il est satisfaisant, mais peut compromettre le confort des piétons et la sécurité si elle ne l'est pas. Nous visons à étudier expérimentalement les effets de la morphologie urbaine sur les conditions de vent dans les tissus urbains.

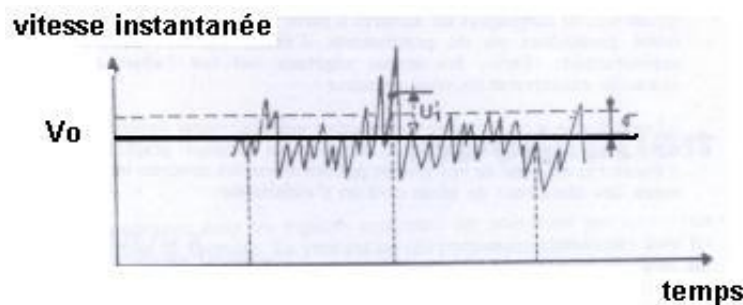
### ***1-2-1-1-Les paramètres du vent***

Le vent est défini par deux paramètres :

- **Sa vitesse moyenne**, compte tenu que près du sol l'écoulement est turbulent, et que sa vitesse fluctue autour d'une moyenne.
- **Sa direction** et son sens

### ***1-2-1-2-Caractéristiques du vent :***

- **L'inertie** : Ce vent qui n'est rien d'autre qu'un flux d'énergie appliqué à un gaz va donc obéir aux principes de la mécanique des fluides. En pratique, il a tendance à suivre sa trajectoire aussi longtemps qu'aucun obstacle ou force ne le perturbera.
- **Le frottement** : L'air en mouvement, comme tout fluide, rencontre une résistance lors du contact avec tout corps dans son chemin. Cela aura pour effet de diminuer son énergie interne (inertie) et de modifier son profil, sa vitesse, son altitude, sa température et sa trajectoire. Ce vent continuera d'exister aussi longtemps que les forces de frottement ne lui auront pas consommé toute son inertie.
- **La propagation** : Le vent étant une énergie appliquée à un gaz se propageant en lui même. La zone de surpression sera localisée à l'interface terre/atmosphère et sera donc fortement influencée par la rugosité du terrain et son relief. L'écoulement général du vent est donc fortement dépendant de l'état du sol qu'il « survole ».
- **La turbulence** : La turbulence est définie comme étant la dispersion de la vitesse du vent autour de sa valeur moyenne (figure II-1). Ou encore, la manifestation du déplacement aléatoire d'un volume d'air. L'écoulement turbulent du vent peut être décrit par la superposition d'une vitesse moyenne  $V_0$  sur une période  $T$  assez longue (10 minutes généralement) et d'une vitesse fluctuante fonction du temps (figure II-1)



**Figure II-1: Turbulence du vent autour d'une vitesse moyenne  $V_0$**

### I-2-2- La température :

L'énergie produite dans le noyau du soleil met 2 millions d'années pour atteindre sa surface, ou elle se transforme en chaleur et en lumière, qui, 8mn plus tard, atteignent la terre. La température est grandeur physique liée à la sensation de chaud et froid d'un corps par rapport à un autre corps.

Deux corps en contact ont tendance à égaliser leurs températures, par échange de chaleur (équilibre thermique).

### I-2-3-La pression atmosphérique :

En un point quelconque de l'atmosphère, la pression résulte du poids de la colonne d'air qui surmonte l'unité de surface. La pression décroît avec l'altitude puisqu'en s'élevant dans l'atmosphère on laisse en dessous de soi une colonne d'air de plus en plus importante. Par ailleurs plus l'air est froid, donc dense, plus la décroissance de la pression est rapide.

L'analyse attentive du champ de pression est particulièrement instructive en météorologie. En effet les mouvements de l'air, c'est à dire le vent, sont directement liés à la répartition des pressions et les fluctuations de la pression à un niveau donné intègrent toutes les modifications de la nature de l'air dans l'épaisseur de l'atmosphère située au dessus

Les situations dépressionnaires (basses pressions) correspondent généralement à une turbulence de l'air assez forte et donc de bonnes conditions de dispersion. En revanche, des situations anticycloniques (hautes pressions) où la stabilité de l'air ne permet pas la dispersion des polluants entraînent des épisodes de pollution.

## II- LE CLIMAT URBAIN

Le climat urbain est l'état de l'atmosphère qui résulte du processus d'urbanisation. (JOËLLE, 2003).

Étant certain que l'impact d'un milieu urbanisé sur le climat d'une région est éprouvé, Jérôme Colin, chercheur à la faculté de Géographie et d'Aménagement de l'université de Strasbourg, a annoncé *qu'on ne peut parler de « climat urbain » que s'il s'agit d'une accumulation ou une non dissipation des polluants atmosphériques.* (JEROME,Colin.2001).

Le climat spécifique aux villes dit : « climat urbain » résulte de ce processus rapide d'urbanisation. Plusieurs facteurs participent à la formation du climat urbain.

### II-1-Facteurs affectant directement le climat urbain:

#### II-1-1- La morphologie propre à l'espace :

La morphologie d'un site peut influencer positivement ou négativement les paramètres suivants :

- Répartition des zones ombrées et ensoleillées.



- Champs radiatifs et thermiques.
- Ecoulement de l'air.

## II-1-2- Eléments contenus par l'espace :

### **II-1-2-1- Les activités humaines (anthropiques):**

L'industrialisation, les activités concentrées des habitants et l'élévation du trafic du moteur augmentent d'avantage la consommation d'énergie, la pollution atmosphérique et abaissent la qualité environnementale et climatique. Les secteurs urbains déjà sans qualité climatique élevée emploient beaucoup plus d'énergie pour la climatisation en été et le chauffage en hiver et beaucoup plus d'électricité pour l'éclairage.

### **II-1-2-2-Les matériaux :**

Les propriétés thermiques de ces matériaux ainsi que leurs albédos ont un impact très important sur le bilan énergétique urbain, entraînant, par conséquent, une hausse rapide des températures qui demeurent élevées pendant une longue période.

### **II-1-2-3-L'albédo :**

L'albédo est défini comme étant le rapport (évalué en %) de la quantité de lumière réfléchie par une surface à la quantité de lumière incidente.<sup>37</sup>

L'albédo, mesure également la quantité d'énergie solaire reflétée par une surface. Un albédo faible implique des températures de surface plus élevées puisqu'une grande quantité d'énergie est absorbée.

### **II-1-2-4-La densité et taille de la ville :**

Lorsque la densité de la population augmente, les activités urbaines vont s'intensifier, et par conséquent la pollution de l'air peut atteindre des valeurs dangereuses. Lors d'une recherche effectuée par T.J.Chandler en 1976 sur l'impact de la taille des villes sur la pollution de l'air, et en faisant ressortir les rapports entre les quantités de polluants solides mesurés dans des villes américaines à celles mesurées sur un site non pollué il a abouti aux résultats suivants (tableau II-1) :

Taille de la ville	Polluants solides
25.000 habitants	3,5
100.000 habitants	3,8
400.000 habitants	4,0
1.000.000 habitants	5,5

**Tableau II-1 : Evolution de la quantité de polluants en fonction de la taille des villes**  
(Source : Bonavitacola M,2001)

### **II-1-2-5-L'Absence de végétation et d'eau :**

Les arbres et les espaces verts contribuent de manière significative à la diminution des températures urbaines pendant la période d'été grâce au processus d'évapotranspiration.

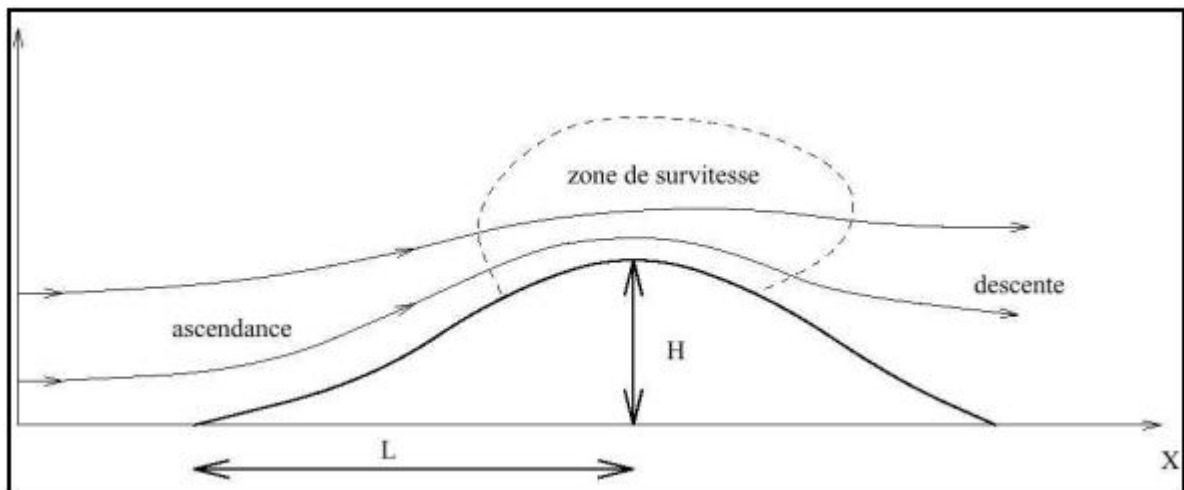
Les arbres jouent également le rôle de filtre aux polluants et de masque aux bruits. Leur effet d'ombre contribue aussi à la diminution des besoins d'énergie pour se refroidir en été. En hiver, les arbres à feuilles caduques laissent tomber ces dernières permettant la pénétration des rayons solaires.

### ***II-1-2-6-La topographie (l'orographie)***

La topographie conditionne l'accumulation en quantités nuisibles des déchets libérés dans l'atmosphère. Les vallées où l'activité industrielle est intense sont réputées pour leur smog. Les reliefs accidentés (vallées, falaises, collines etc.) canalisent les écoulements atmosphériques modifiant de fait ses caractéristiques physiques (grandeurs moyennes et turbulentes). L'importance de ces modifications est liée à la taille et à la forme de l'obstacle.

#### ***- II-1-2-6-1-Le rôle des versants montagneux***

Le relief en général exerce une action dynamique sur l'écoulement de l'air. Lorsque le vent heurte un obstacle, son écoulement se trouve perturbé et certains filets d'air contournent la barrière qui leur est opposée, tandis que d'autres tendent à épouser plus ou moins le profil du relief, de sorte qu'une montagne engendre une zone d'ascendance de l'air sur sa face « au vent » suivie d'une zone de subsidence sur sa face « sous le vent » (figure II-2).



***Figure II-2 : Ecoulement au-dessus d'une colline (Turbelin, 2000)***

- En atmosphère instable ou neutre: Le panache suit les variations du relief donc en tout point de l'axe du panache la distance verticale au sol est constante et égale à la hauteur effective du rejet.
- En atmosphère stable : Le panache reste approximativement dans le même plan horizontal et contourne le relief si la hauteur de celui-ci est supérieure à la hauteur du rejet.
- ***II-1-2-6-2- L'influence des régions encaissées***

Les inversions de températures peuvent résulter de circonstances géographiques particulières, comme dans les régions encaissées où l'air froid plus dense des sommets s'écoule, la nuit, vers les fonds de vallées dans lesquels il s'accumule, provoquant des brouillards qui accentuent le refroidissement.

Ainsi, il n'est pas rare de mesurer des gradients anormaux de température : il peut alors faire plus chaud sur les sommets qu'au fond de la vallée. Cette situation est assez fréquente. Elle entraîne une extrême stabilité des couches d'air inférieures et provoque de fortes concentrations de polluants au sol.

En ville, la configuration « encaissée » des bâtiments, l'étroitesse des rues et un vent réduit peuvent contribuer à la concentration des polluants atmosphériques près du sol. C'est également le cas pour les parkings souterrains, les tunnels...

- *II-1-2-6-3*-Les brises thermiques : des phénomènes locaux imbriqués à des phénomènes d'échelle supérieure

La brise est un vent alternant journalier de la couche limite qui découle du contraste thermique entre deux surfaces contiguës et qui se manifeste par un changement de direction et de vitesse du vent. La circulation des brises thermiques est due à la différence d'échauffement ou de refroidissement, à l'échelle intra-quotidienne, entre deux surfaces voisines de nature différente (forêt/champ labouré, littoral/plan d'eau, surface urbanisée/surface végétalisée, etc.).

Comme la température des surfaces influence celle de l'air sus-jacent, la différence de température des deux volumes d'air voisins génère un gradient thermique et donc une circulation atmosphérique locale dans les basses couches de l'atmosphère.

Ce phénomène, mesurable lorsque le vent d'échelle spatiale supérieure est relativement faible, se manifeste par un changement de la direction de la vitesse du vent entre le jour et la nuit, ce qui a des répercussions sur les températures de l'air parfois aussi sur la nébulosité et la pluviométrie.

Les brises peuvent avoir des répercussions sur divers domaines concernant les rapports entre le milieu physique et la société (diffusion ou concentration de la pollution d'origine industrielle ou urbaine, ventilation et rafraîchissement de l'air dans une rue, déplacement ou blocage de l'air froid au-dessus d'un espace ...).

- La brise littorale

Le long des côtes ou des grands lacs, la différence de température entre la terre et l'eau suffit à établir des courants d'air locaux de la mer vers la terre le jour ce phénomène est défini par la brise de mer, les vents les plus forts se produisent en après-midi lorsque le contraste de température est le plus élevé, et de la terre vers la mer la nuit brise de terre.

- **le jour** : la brise de mer ramène les polluants sur les côtes. Les plus petites villes aux alentours peuvent recevoir les polluants des grands centres urbains à cause de cette brise, aux grands désarrois de la population (figure II-3)
- **la nuit** : la brise de terre disperse les polluants en dehors de la ville. Ce phénomène profite aux citoyens des grandes villes côtières la nuit. (figure II-4)

Sous les latitudes tempérées, les vents côtiers n'apparaissent nettement que l'été car ils sont masqués par le régime général des vents pendant les autres saisons. Dans certaines agglomérations industrielles littorales, les polluants épargnent la ville lorsque le vent

souffle de la terre vers la mer ; en revanche, les lieux habités sont particulièrement touchés quand le vent souffle de la mer vers la terre.

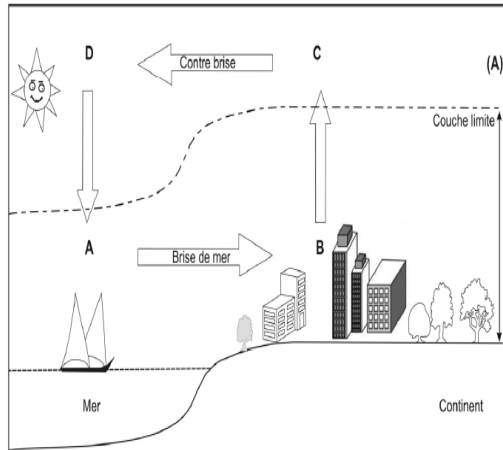


Figure II-3- Schéma simplifié brise de mer

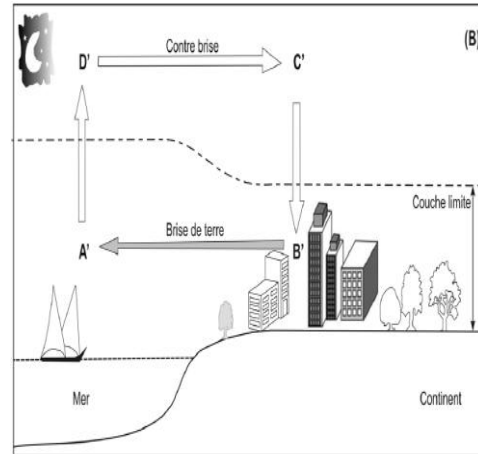


Figure II-4- Schéma simplifié brise de terre

- Les brises de pentes

Les brises de pente sont dues à la différence de température entre le sol incliné d'un relief et l'air libre au même niveau.

- **Le jour**, sous l'influence du rayonnement solaire, le sol se réchauffe plus vite que l'air libre. L'air au contact du sol devient plus léger et tend donc à s'élever le long de la pente : c'est la brise montante ou anabatique. (figure II-5)
- **La nuit** au contraire, l'air se refroidit au contact du sol, devient plus dense et s'écoule le long de la pente : c'est la brise descendante ou catabatique. Plus la vallée sera large et la pente bien exposée au soleil, plus la brise de pente sera accentuée. (figure II-6).

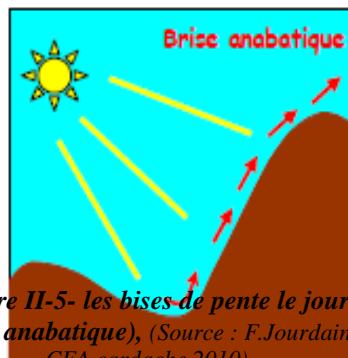


Figure II-5- les brises de pente le jour (brise anabatique), (Source : F.Jourdain, CEA cardache 2010)

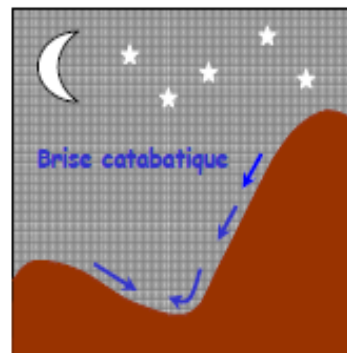


Figure II-6- les brises de pente la nuit (brise catabatique) (Source : F.Jourdain, CEA cardache 2010).

- Les brises urbaines : des contraintes multiples

Les brises sont plus difficiles à mettre en évidence et surtout à expliquer lorsque le milieu est caractérisé par une grande variabilité spatiale dans la nature, la rugosité ou encore la forme des surfaces. C'est typiquement le cas des agglomérations urbaines, même lorsqu'elles sont implantées sur un site plat et qu'elles ne subissent pas l'influence de la mer ou d'un vaste plan d'eau à proximité.

La mosaïque des matériaux qui constituent les espaces urbains, avec des surfaces imperméables à l'eau (bitume, toiture...) et d'autres plus perméables (jardins, parcs...),

explique grande variabilité des flux énergétiques et radiatifs (réflexion et absorption souvent plus importantes).

Le phénomène de l'îlot de chaleur est clairement et il génère des brises allant de la périphérie vers ce centre plus chaud. Mais dans ces milieux complexes, les bilans radiatifs et énergétiques sont fortement variables dans le temps et dans l'espace pour plusieurs raisons :

- la pollution diminue le rayonnement solaire directe et augmente le rayonnement solaire diffus ainsi que le rayonnement infrarouge atmosphérique ; saisonnièrement le chauffage ou la climatisation anthropique interviennent à différentes échelles dans les bilans thermiques.

- Les brises thermiques qui se forment en ville sont aussi contraintes par les constructions et influencées par des facteurs d'échelle microclimatiques, tels les effets d'ombre, la présence de verdure, la couleur des façades, etc.

Il est malgré tout possible de détecter, dans certaines agglomérations, des brises convergent de la périphérie vers le centre. Cette brise de campagne est aussi un vent à caractère local, généré par la discontinuité thermique entre le centre densément bâti d'une agglomération sa périphérie environnante dominée par les surfaces moins imperméabilisées, plus végétales et donc plus froides (les villes oasis, sous climat chaud, ne sont pas concernées).

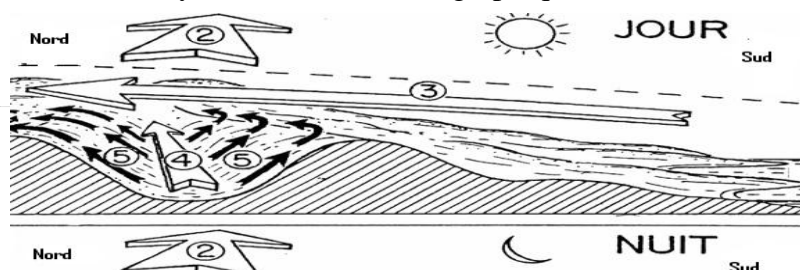
À une échelle spatiale intra urbaine (rue, îlot d'habitation...), des mouvements de l'air sont également observés, par exemple entre un espace végétalisé, un espace imperméabilisé à proximité (l'absence d'eau à évaporer modifie la part respective des transferts de chaleurs latente et sensible) ou encore à l'intérieur d'un canyon urbain entre une façade à l'ombre et une exposée au soleil.

- Les interactions entre la brise et les autres mouvements de l'air

D'autres phénomènes atmosphériques à des échelles parfois très différentes qui peuvent se combiner à la brise pour l'intensifier ou l'affaiblir, voire pour modifier fortement la direction des vents selon les cas.

La figure montre les interférences entre trois flux à échelles différentes en fonction de la topographie : un vent d'échelle synoptique (pas très fort mais pouvant souffler plusieurs jours de suite), une brise de mer (jour), de terre (nuit) qui se développe le long du littoral et enfin des brises orographiques : brise de vallée (ascendante) le jour, brise de montagne (subsidence) la nuit. Les flux les plus forts peuvent affaiblir, accélérer ou même cisailier ceux qui sont moins actifs, ce qui est le cas des brises orographiques sur la figure II-7. (Figure II-7).

- Les flèches n° 2 indiquent un vent synoptique qui ne change pas de sens entre le jour et la nuit
- La flèche 3 montre la brise de mer (jour) ou de terre (nuit),
- Les flèches 4 et 5, le système des brises orographiques



*Figure II-7 : Exemples de vent synoptique et de brises (littorales et orographiques) interférant les uns avec les autres (source : Carrega, 1989)*

## **II-2- Les échelles horizontales du climat urbain**

Le climat urbain s'analyse aussi à différentes échelles et par la mise en évidence de certaines relations de cause à effet. L'étude du climat urbain nécessite de distinguer différentes échelles horizontales et verticales (Oke, 2004, 1978).

A l'horizontal, trois échelles d'étude peuvent être distinguées en climatologie (urbaine ou non) : la micro-échelle, l'échelle locale et la méso-échelle (Oke, 2004).

### II-2-1-La micro-échelle ( $10^{-2}$ à $10^3$ m)

Elle permet de distinguer le microclimat qui existe au niveau d'un bâtiment, d'une rue, d'un arbre, d'un jardin, d'une cour, etc. En effet, à faible distance il peut être observé des différences de températures de quelques degrés et le flux d'air est également perturbé par le moindre objet. Dans l'idéal, les stations urbaines devraient éviter ces influences microclimatiques mais, en réalité, ceci est difficilement réalisable.

Les principaux mécanismes physiques mis en jeu concernent les écoulements de l'air – fortement perturbés par le milieu urbain –, l'évapotranspiration – en nette diminution –, les apports anthropiques de chaleur, ou encore les perturbations radiatives et thermiques, dues principalement à la géométrie de la ville, aux propriétés radiatives des matériaux de construction.

### II-2-2-L'échelle locale (102 à $5 \times 10^4$ m)

Correspond à l'échelle pour laquelle sont conçues les stations météorologiques, c'est-à-dire que les caractéristiques de la zone étudiée, comme la topographie, sont prises en compte mais pas les effets micro. Dans le cas d'une zone urbaine, l'échelle locale correspond à un quartier pour lequel il peut être trouvé une unité dans le développement urbain (unité architecturale, taille et espacement des bâtiments, activité, etc.).

### II-2-3-La méso-échelle (104 à $2 \times 10^5$ m)

Correspond à la zone influencée par exemple par la présence d'une agglomération. Une unique station ne peut pas représenter cette échelle.

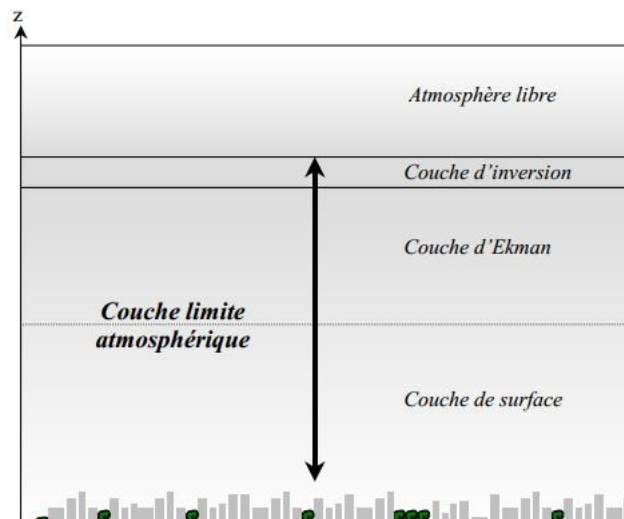
### III-LES COUCHES VERTICALES ASSOCIEES AUX ECHELLES SPATIALES

#### III-1-La couche limite planétaire ou couche limite atmosphérique (CLA)

Les phénomènes météorologiques à prendre en compte dépendent de la dimension du domaine étudié. Dans notre étude l'échelle spatiale ne dépasse pas quelques kilomètres, Le suivi du nuage de polluant et la dispersion d'un produit n'est que dans la partie de la troposphère qui interagit directement avec le sol, dite **couche limite atmosphérique** (appelée ensuite CLA ou juste « Couche limite »). A l'échelle de la journée, cette influence de la surface terrestre est restreinte à la CLA – 1 à 2 km d'épaisseur –, en particulier au travers des variations de sa stratification thermique et de son épaisseur.

Selon Météo- France : La couche limite planétaire est « La plus notable des couches limites qui se constituent au contact de l'atmosphère avec le sol ou l'eau couvrant la surface de la Terre provient de l'apparition et de l'influence de forces de frottement horizontales : celles-ci, en s'opposant au mouvement de l'air [...], modifient fortement les déplacements horizontaux et verticaux, les échanges de matière et d'énergie à l'intérieur d'une couche limite planétaire (encore dite couche limite de frottement) dont l'épaisseur, est assez variable suivant la nature de la surface sous-jacente, reste de l'ordre de 1 500 mètres ». Plus précis, Menut (1997) signale que « son extension verticale va de la surface à quelques centaines de mètres d'altitude dépend directement de tous les paramètres météorologiques (vent, température, humidité, insolation), mais aussi de la topographie et du type d'environnement (océan, continental rural ou urbain) ».

Au-dessus de la CLA se situe l'atmosphère libre où les champs météorologiques sont déterminés par la dynamique et la thermodynamique de grandes échelles (Figure II-8).



*Figure II-8 : Représentation des différentes couches de la troposphère*

### III-1-1- Décomposition de la couche limite atmosphérique CLA

#### *III-1-1-1- Une couche de surface*

Elle se situe juste au-dessus du sol, elle est présente à la base de la couche limite atmosphérique de quelques dizaines de mètres dans laquelle les caractéristiques de l'atmosphère varient de moins de 10%.

- La force de cisaillement et les flux de chaleur y sont quasiment constants en fonction de l'altitude. Le principal moteur du flux radiatif est le rayonnement solaire.
- La distribution verticale de température (stratification thermique de l'air) induit aussi des mouvements verticaux des masses d'air chauffées et refroidies à proximité du sol.
- Le vent résulte de l'équilibre entre les forces de pression<sup>5</sup>, les forces de frottement et de la stratification thermique de l'air. Dans cette région la force de Coriolis est négligeable.
- **La sous couche rugueuse :** La couche de surface est composée d'une couche rugueuse dont l'épaisseur est de l'ordre de 1 à 3 fois la hauteur de la rugosité et dont les caractéristiques très irrégulières sont fortement influencées par les dimensions et la répartition des éléments rugueux. Celle-ci est donc une zone à fort gradient de vitesse de vent.
- **La couche laminaire :** Au-dessous de la couche rugueuse, se trouve la couche laminaire qui n'a que quelques centimètres d'épaisseur : elle se trouve en contact direct, avec la surface. Elle est dominée par les effets visqueux.

#### *III-1-1-2- Une couche d'Ekman (de transition)*

Surmontant la précédente et s'étendant jusqu'à la limite supérieure de la couche limite atmosphérique.

- La force de cisaillement et flux de chaleur y décroissent avec l'altitude, ils deviennent négligeables au sommet de la couche.
- Le champ de vent résulte de l'équilibre entre les forces de pression, les forces de frottement et la force de Coriolis ainsi que de la stratification thermique de l'air. Cette dernière provoque une rotation de la direction du vent à travers la couche (spirale d'Ekman) vers la direction du vent géostrophique propre à l'atmosphère libre.

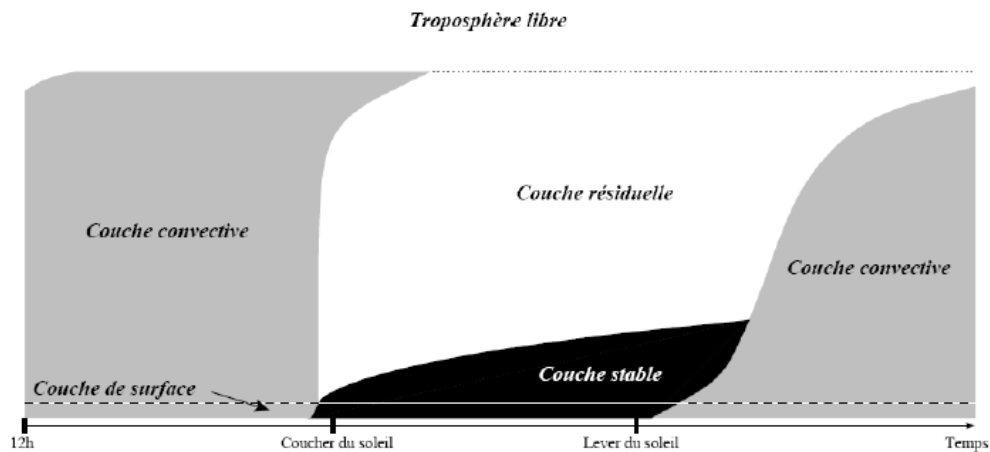
Plus haut en altitude, dans l'atmosphère libre, les forces de frottement n'ont plus d'effet, le vent résulte uniquement de l'équilibre entre les forces de pression et la force de Coriolis. Le vent dit géostrophique, est uniforme, horizontal et très peu turbulent.



Au niveau des réseaux d'observation météorologique, ce sont les caractéristiques du vent synoptique qui sont disponibles.

### III-1-2-Structure de la couche limite atmosphérique CLA

La CLA pour les zones à hautes pressions est variable selon l'heure de la journée et se compose le jour d'une couche de mélange (**couche convective**) dominée par les phénomènes turbulents favorisant les mélanges des quantités étudiées, la nuit d'une **couche résiduelle** moins turbulente de stratification neutre et d'une couche nocturne rendue stable par le contact d'un sol froid, elle est peu turbulente. Les forces déterminant le vent dans cette zone sont les forces de pression, de frottement, de Coriolis et d'Archimède. (Figure II-9)



**Figure II-9: Structure de la couche limite atmosphérique**  
(Source : Mallet V. CEREÀ)

### III-1-3-La turbulence dans la CLA

La couche limite atmosphérique est un milieu extrêmement turbulent. La turbulence est une discontinuité dans l'écoulement de l'air, pour qu'il y ait turbulence il faut un mouvement d'air horizontal et vertical. Les écoulements turbulents se caractérisent par une apparence très désordonnée, un comportement aléatoire difficilement prévisible, visualisés par des « tourbillons » qui participent à la dispersion des polluants dans l'atmosphère, les mouvements à l'intérieur de l'air conduisent à augmenter les propriétés de brassage de l'écoulement en transférant de l'énergie cinétique des grandes échelles vers les petites échelles, où cette énergie est dissipée en chaleur.

La turbulence de petite échelle est influencée par différents facteurs comme les conditions météorologiques, le gradient thermique vertical, la vitesse moyenne du vent, la rugosité des sols (végétation, bâtiments), etc. (Figure II-10).



*Figure II-10 : Visualisation de la turbulence sur une maquette en soufflerie sous le vent d'un bâtiment (Source : MEJEAN P, 2003)*

Les effets de couche limite induisent la forte turbulence. On distingue en réalité deux types de turbulence :

- turbulence thermique due à la distribution de température dans l'atmosphère et liée aux cycles de température du sol
- turbulence dynamique générée par le cisaillement du vent en contact avec le sol.

#### ***III-1-3-1-La turbulence thermique***

-Les conditions météorologiques ne vont jouer que sur l'aspect thermique de la turbulence en influençant le gradient vertical de température.

-L'air sec se refroidit de 0,98°C pour une élévation de 100 m (gradient de l'adiabatique sèche). L'air saturé en eau se refroidit de 0,55°C pour une élévation de 100 m (gradient de l'adiabatique saturée).

L'évolution de la température de l'atmosphère avec l'altitude peut s'écarter de ces conditions.

#### ***III-1-3-2-La turbulence dynamique***

Lorsque le nuage est en contact avec le sol, les effets de rugosité dus à la nature de la surface créent une zone de turbulence à l'interface d'origine mécanique.

L'intensité de la turbulence va être proportionnelle à la force du vent, dépendre de la forme de l'obstacle. Plus celui-ci formera une barrière, plus elle sera forte.

- **Les turbulences du coté au vent :** Il est capital de distinguer les zones au vent (du coté où vient le vent) et les zones sous le vent, car les turbulences du coté au vent n'auront lieu qu'en cas de discontinuité du relief, et seulement dans la proximité de celui-ci. Par contre, sous le vent la turbulence sera beaucoup plus intense elle peut aller jusqu'à une distance de dix fois la hauteur de l'obstacle en aval d'un vent fort
- **La turbulence de cisaillement :** elle est provoquée par la proximité de deux vents contraires.

#### **III-1-4-La Stabilité de la (CLA)**

Selon l'importance d'un type de turbulence par rapport à l'autre, l'atmosphère peut être stable, neutre ou instable. Le mouvement d'une particule d'air soumise à une impulsion sur la verticale se voit amplifié ou amorti. Ces trois situations types jouent un rôle dans la diffusion et le transport des polluants.

#### ***III-1-4-1-Le degré de stabilité atmosphérique***

Le degré de stabilité atmosphérique peut être caractérisé en comparant :

- Le gradient vertical de température  $\frac{\delta T}{\delta Z}$  et
- Le gradient de température adiabatique  $-T$ .

Cette comparaison s'effectue généralement au moyen du nombre de Richardson de gradient, qui intègre à la fois le paramètre lié au gradient de température et celui lié à la vitesse du vent

$$R_i = \frac{g}{T} \frac{\left(\frac{\partial T}{\partial Z} + T\right)}{\left(\frac{\partial U}{\partial Z}\right)^2} \text{ avec :}$$

$R_i < 0$ , une atmosphère instable ;

$R_i = 0$ , une atmosphère neutre ;

$R_i > 0$ , une atmosphère stable.

### III-1-4-2-Etat de la couche limite atmosphérique :

#### III-1-4-2-1-La CLA neutre

- Par **vent fort ou par vent modéré et ciel couvert** : la décroissance verticale de la température dans l'air étudié est égale au gradient adiabatique ; Il s'agit de la situation la plus fréquente en zone tempérée  
Le nombre de Richardson est nul
- Pour **des vents faibles** : la turbulence d'origine thermique prédomine et va influencer de façon appréciable la stabilité atmosphérique.  
Ces situations permettent la dispersion des polluants.

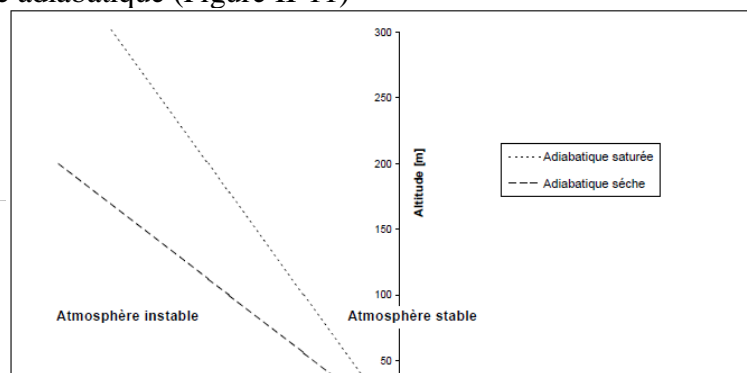
#### III-1-4-2-2- La CLA instable

- **L'ensoleillement** : au cours d'une journée ensoleillée, avec des vents faibles, le sol s'échauffe par rayonnement beaucoup plus rapidement que l'air.
- Le gradient de température vertical négatif est inférieur au gradient de température adiabatique. Des tourbillons convectifs apparaissent introduisant une instabilité qui a tendance à amplifier les mouvements verticaux.
- Le nombre de Richardson est négatif
- les polluants sont fortement brassés par la turbulence ; Dans de telles situations, la dispersion des polluants est facilitée.

Un faible ensoleillement engendre généralement l'amélioration de l'indice de qualité de l'air sauf si la température est constante élevée. Par contre un fort ensoleillement donne une dégradation dont l'importance est à corrélérer avec la hausse de la température.

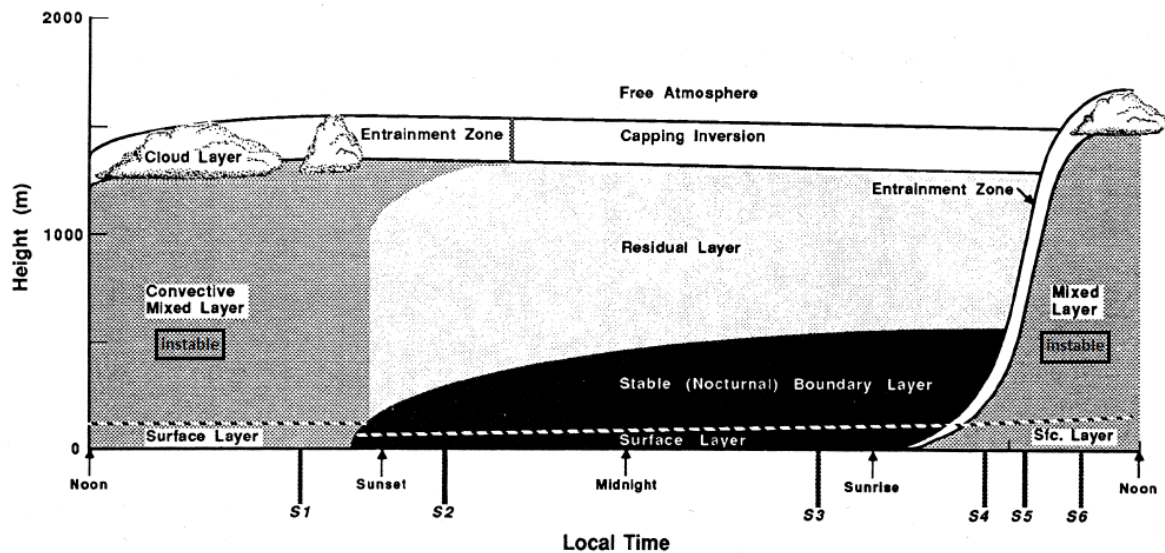
#### III-1-4-2-3-La CLA stable

- Souvent **nocturne par vent faible** ou lors de la présence d'anticyclone
- Le sol se refroidit par rayonnement plus rapidement que les couches d'air adjacentes. Le gradient de température vertical est supérieur au gradient de température adiabatique (Figure II-11)



*Figure II-11-Comparaison entre le gradient de température de l'atmosphère et le gradient thermique de l'adiabatique*

- Les transferts turbulents sont faibles, particulièrement dans la direction verticale.
- Le nombre de Richardson est positif.
- Les polluants restent accumulés au niveau du sol.



*Figure II-12 : Les états de la couche limite atmosphérique. (Source : Stull, 1988)*

### III-1-5-Phénomène d'inversion thermique

La CLA est variable selon l'heure de la journée :

#### - En situation normal :

Le jour une couche de mélange (couche convective) dominée par les phénomènes turbulents dû au sol qui est réchauffé. A proximité du sol, le gradient de température vertical est inférieur au gradient de température adiabatique (Figure II-13).

La température de l'air diminue normalement de 1.8 °C environ par tranche de 300m d'altitude (gradient de température vertical supérieur au gradient de température adiabatique), favorisant les mélanges des quantités étudiées. L'air chaud contenant les polluants s'élève naturellement.

Au cours de la journée à mesure que le soleil se lève, le sol se réchauffe davantage la couche convective va croître. L'atmosphère est donc instable près du sol et stable plus haut en altitude.

#### - En situation d'inversion :

La nuit le rayonnement calorifique nocturne de la surface terrestre modifie souvent le gradient de température, le sol se refroidit plus vite que l'atmosphère ce qui induit des inversions thermiques près du sol et on observe alors :

- La formation au-dessus du sol d'une couche dense d'air froid surmontée d'air chaud plus léger. Une augmentation de température avec l'altitude
- La couche convective de la journée devient une couche résiduelle moins turbulente, de stratification neutre qui contient des polluants mélangés de la veille, c'est une couche stable qui limite la dispersion des polluants.
- L'accumulation de fumée et d'autres contaminants aggrave ultérieurement la pollution en empêchant les rayons solaires de réchauffer le sol et l'air avoisinant.
- Le brouillard s'observe couramment en conditions d'inversion, parce que la température de l'air, au niveau du sol, descend au-dessous du point rosée.
- Lors de la destruction de l'inversion thermique (souvent entre 10h et midi, avec le réchauffement des couches atmosphériques) des mouvements de turbulence, peuvent rabattre au sol les polluants dont la dispersion était bloquée. (Figure II-14)

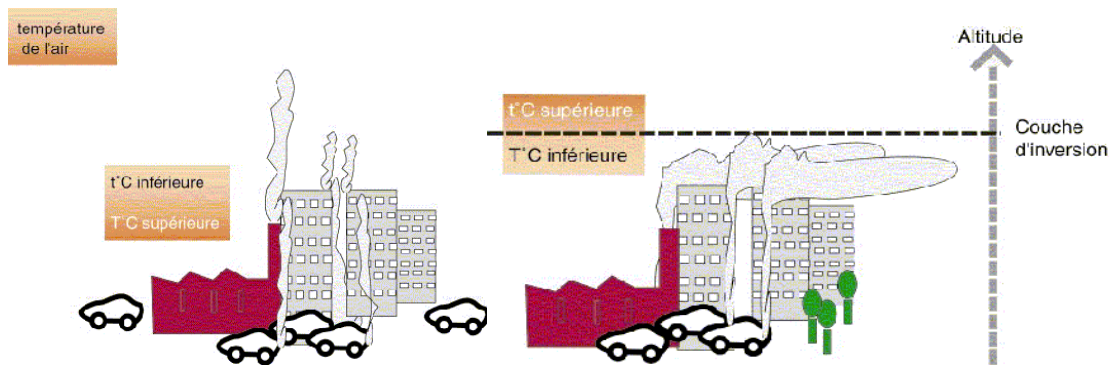


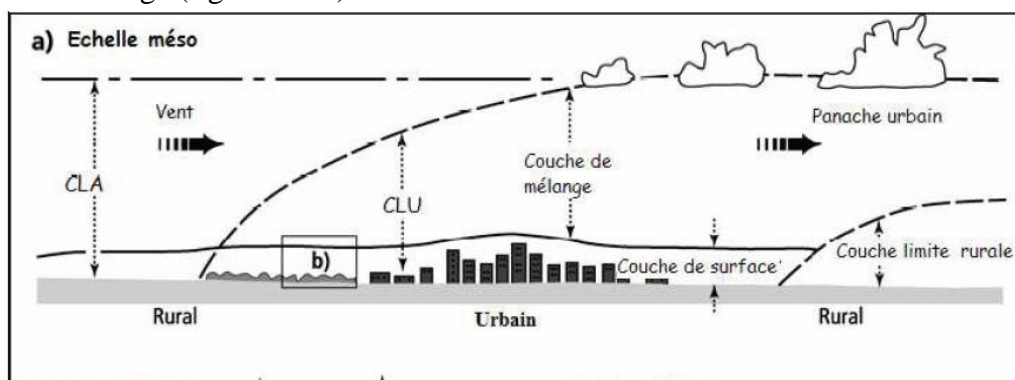
Figure II-13 : Situation normale

Figure II-14 : Situation d'inversion thermique

### III-2-La couche limite urbaine (UBL – Urban Boundary Layer)

Elle se distingue de la couche limite de la planète par sa complexité due à des caractéristiques et processus particuliers. Les principaux éléments et causes de perturbation au sein de l'environnement urbain sont les bâtiments de formes et de hauteurs variables. Ceux-ci introduisent une grande quantité de surfaces verticales, des éléments à forte rugosité, des matériaux artificiels, et des surfaces imperméables.

Lors de ses premières études Oke (1978) distingue deux couches atmosphériques différentes au-dessus des villes : la couche de canopée urbaine, qui correspond à la couche atmosphérique située entre le sol, le niveau des toits, et la couche limite interne qui se superpose à la couche de canopée urbaine. Ses études l'amènent à distinguer trois autres sous-couches (Oke, 2004(a)) : la sous-couche rugueuse, la sous couche inertielle et la couche de mélange (figure II-15).

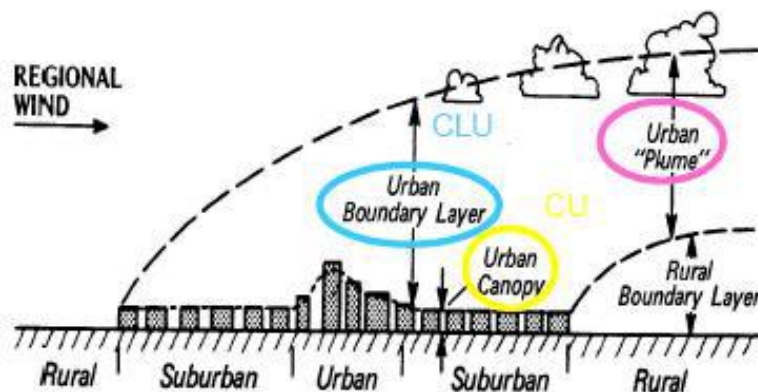


*Figure II-15 : Représentation schématique de la couche limite urbaine (CLU) à méso-échelle (a), à l'échelle locale (b) et à micro-échelle (c) (Leroyer (2006), d'après Oke (1987)).*

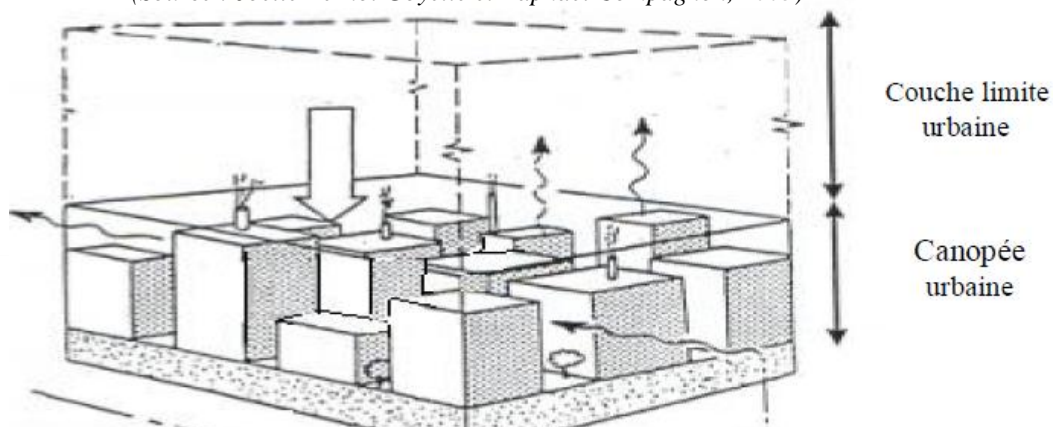
### III-3- La canopée urbaine

C'est la couche où se situe la plupart des sources de polluants et des récepteurs (hommes, végétations et matériaux). La couche de canopée urbaine (UCL – *Urban Canopy Layer*) est composée majoritairement de rues canyon de divers arrangements de bâtiments de grande hauteur, de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres. La disposition des rues canalise une partie des flux alors que les éléments de forte rugosité induisent la formation d'une fine sous-couche de rugosité au-dessus de l'UCL (Piringer et Joffre, 2005).

Au sein de la couche séparant le sol de la canopée urbaine, les recherches portent sur la dispersion des polluants et sur le confort des espaces extérieurs (figure II-16 et figure II-17)



*Figure II-16: Situation de la canopée urbaine par rapport à la couche limite urbaine (Source : Joëlle Pernot Goyette et Raphaël Compagnon, 2003)*





*Figure II-17: Présentation simplifiée de la couche limite urbaine et la canopée urbaine*  
(Source : BOURBIA, 1999)

### **III-4-La sous-couche de rugosité (RS – Roughness Sub-layer)**

De hauteur  $z_0$ , avec une extension plus importante que pour les couches limites classiques, occupent les premières dizaines/centaines de mètres au-dessus de la surface. Au-dessus de cette RS inhomogène se trouve le reste de la couche de surface, c'est-à-dire la sous-couche inertielle où les flux turbulents verticaux sont approximativement constants avec la hauteur (Piringer et Joffre, 2005).

### **III-5-Le canyon urbain**

Le mot « canyon » est un concept anglais qui détermine une vallée profonde creusée par un cours d'eau (figure III-18). En milieu urbain, Le canyon est un espace étroit limité par deux parois verticales très proches. Jean Louis Izard définit le canyon urbain comme étant une rue bordée d'immeubles et où la hauteur de ceux-ci est supérieure à deux fois la largeur de la rue ( $H > 2W$ ) (figure III-19).



*Figure III-18: canyon naturel*  
(Source: Wypych, S 2003)



*Figure III-19: canyon urbain*  
(Source : Wypych, S.2003)

## **IV-LE MICROCLIMAT URBAIN**

La présence de bâtiments peut modifier la structure de la Couche Limite Atmosphérique en altérant les champs de vent, de température et de turbulence. Ces altérations affectent fortement la dispersion des polluants en ville

La compréhension des détails de la dispersion d'un polluant autour des bâtiments est très importante pour estimer l'effet de la présence de ces derniers sur l'évolution des différents contaminants.

Il existe dans les zones urbaines des microclimats tels que, indépendamment des phénomènes de pollution de leurs conséquences (brouillards, couches d'inversion plus fréquente par ex)

L'environnement ou la structure du paysage influence la dispersion de polluants dans l'atmosphère. On distingue des perturbations mécaniques liées à la nature des sols, la présence d'obstacles ou la topographie des perturbations liées à de fortes discontinuités du sol conduisant à des effets thermiques (brise de mer, brise de pente, etc.)

#### IV-1-Aspect dynamique

##### IV-1-1-Influence de la nature des sols : notion de rugosité aérodynamique

La longueur de rugosité, exprimée en mètre, caractérise l'influence globale de la sous-couche rugueuse (couche de surface) sur le profil de vent. On parle également de taille caractéristique des tourbillons au niveau du sol. Cette rugosité est corrélée à la hauteur des obstacles au sol (tableau IV-2).

Sites caractéristiques	Classes de rugosité	Z0 (m)
Grandes étendues d'eau (mer, océan, lac)	I	De 0.001 à 0.01
Rases compagnes, aéroports	II	De 0.01 à 0.1
Zones faiblement urbanisées, bocages	III	De 0.1 à 0.5
Zone urbanisées, industrielles forestiers	IV	De 0.5 à 1.5
Centres des villes	V	De 1.5 à 2.5

**Tableau II-2 : Valeurs typiques de rugosité**  
(Source : Turbelin G. 2000)

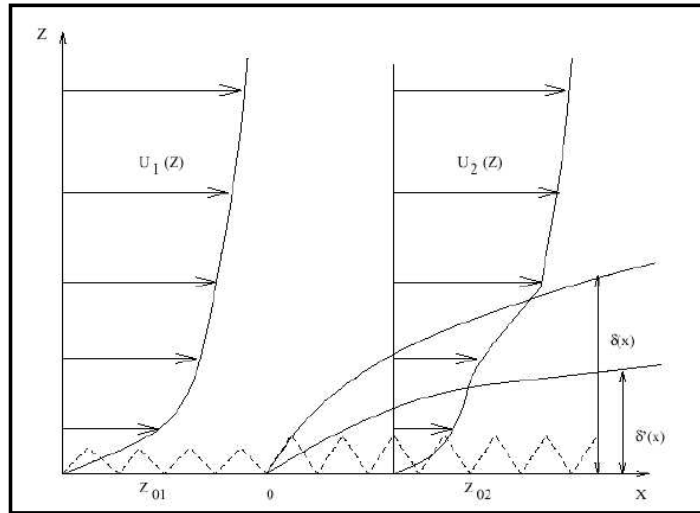
Il est intéressant d'analyser la perturbation induite par ces éléments sur le champ de vent au travers de trois cas généraux avec :

- un site présentant un changement de rugosité ;
- un site avec une topographie accentuée ;
- un site avec un obstacle.

##### IV-1-2-Effet d'un changement de rugosité sur le champ de vent

Si la nature du sol présente une discontinuité et que la hauteur de rugosité passe brusquement de la valeur  $z_1$  à  $z_2$ , alors la structure du vent se trouve profondément perturbée en aval du changement de rugosité (Turbelin G, 2000). (Figure II-20).





**Figure II-20 : Ecoulement sur une surface à rugosité variable**  
(Source : Turbelin, 2000)

#### IV-1-3-L'effet de la présence des bâtiments

##### **IV-1-3-1- la présence d'un obstacle isolée**

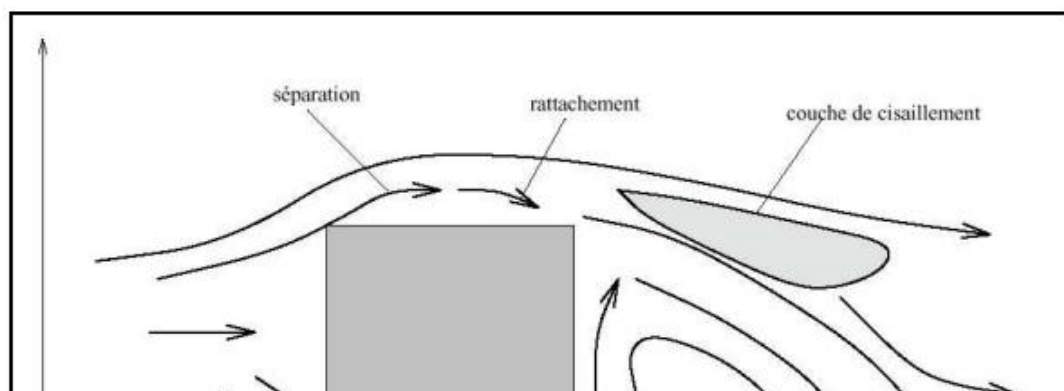
La perturbation du champ de vent par la présence d'obstacles isolés va dépendre :

- de la géométrie et des dimensions de l'obstacle ;
- de son état de surface ;
- des caractéristiques du vent incident ;
- de l'environnement proche.

L'étude de la dispersion des polluants est très complexe. Elle nécessite, en premier lieu, la compréhension du comportement de l'écoulement en présence d'un bâtiment ou de plusieurs bâtiments.

L'écoulement autour d'un bâtiment, malgré une géométrie des plus basiques, est d'une grande complexité (figure II-21). Il a été notamment étudié expérimentalement par Castro et Robins (Castro & Robins, 1977) ainsi que par Martinuzzi et Tropea (Martinuzzi & Tropea, 1993).

- au niveau de la face au vent, se forme un écoulement descendant qui, à proximité du sol forme un rouleau tourbillonnaire (un tourbillon en forme de fer à cheval s'entoure autour de lui), Ce rouleau se prolonge en aval en contournant latéralement l'obstacle.
- au niveau des parois de l'obstacle, se forment des couches limites qui se séparent et se rattachent, créant des zones de recirculation ;
- au niveau de la rencontre de l'écoulement décollé et du sillage, se forme une couche de cisaillement



**Figure II-21 : Ecoulement en présence d'un obstacle isolé**  
(Source : Turbelin, 2000)

En effet, l'étendue de la zone de recirculation, la nature de la couche cisailée, tout comme celle des tourbillons qui se détachent du bâtiment, vont interagir avec le polluant et influencer ainsi sa dispersion.

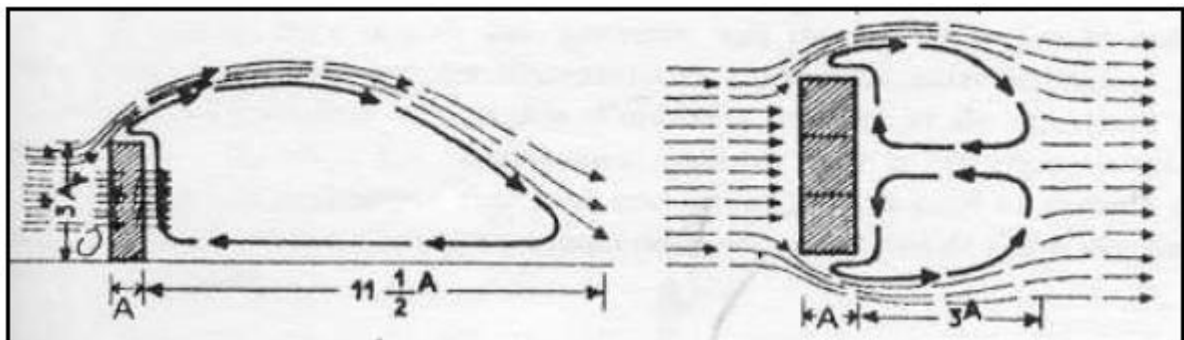
Relativement à l'étude de la dispersion des polluants elle permet la détermination des zones, plus particulièrement au niveau du sol, où la vitesse du vent est accélérée par la présence d'obstacles environnants. On peut observer

- 1) En amont du bâtiment :
  - Accroissement des concentrations
  - Augmentation du temps d'exposition
  - Présence de zones de recirculation
  
- 2) En aval :
  - Décroissement des concentrations
  - Augmentation du temps d'exposition
  - Diminution de la largeur du panache
  - Homogénéité verticale des concentrations.

La vitesse du vent et la densité du polluant rejeté dans l'atmosphère jouent des rôles particulièrement importants.

Ainsi, plus le vent est fort et le gaz léger, moins la présence de l'obstacle se fait sentir.

Les mécanismes de dispersion peuvent être considérés comme dégagés de l'influence de tout obstacle au sol à des distances supérieures à 10 fois la dimension caractéristique de cet obstacle dans la direction du vent, ou à 2,5 fois perpendiculairement à cette direction à la fois dans le plan horizontal et dans le plan vertical (figure II-22) (Hug, 1975).



**Figure II-22: Influence d'un obstacle sur l'écoulement du vent** (Hug, 1975).

#### IV-1-3-2-La présence de plusieurs bâtiments :

Plusieurs effets du cadre bâti peuvent être distingués dont voici une liste non exhaustive (Guyot. Sacré, 1983) (Les illustrations proviennent de l'ouvrage de Chatelet *et al.* (1998) :

- **L'effet de trou** (ou de passage sous immeuble) correspond à une accélération localisée du vent entre deux façades. L'effet sera d'autant plus limité que le vent est perpendiculaire à l'axe du passage. (figure II-23)

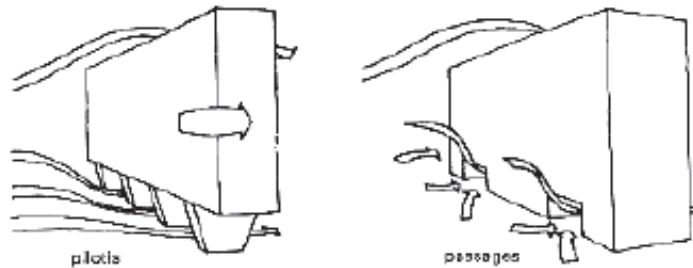


Figure II-23:L'effet de trou (Source : chatelet et al, 1998)

- **L'effet de liaison des zones de pression différente entre immeubles** a lieu entre deux bâtiments qui sont décalés, créant ainsi un couloir de liaison. L'importance du phénomène dépend de la hauteur des constructions. Il se met en place quand les immeubles ont une hauteur supérieure à 15m, un écartement pas trop important ( $d < h$ ) et un décrochage latéral face au vent suffisant ( $> h$ ). (figure II-24)

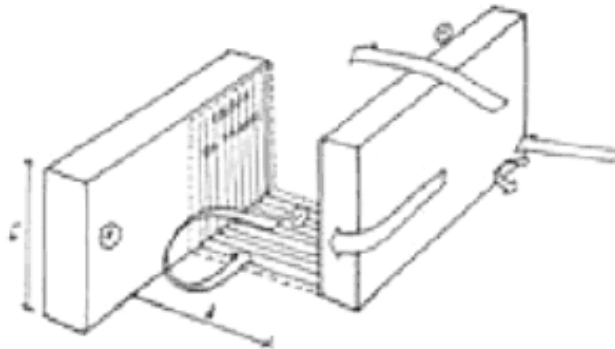


Figure II-24 : L'effet de liaison des zones de pression différente entre immeubles (Source : chatelet et al, 1998)

- **L'effet Wise** est un rouleau tourbillonnaire qui se crée au pied du bâtiment sous le vent. Il est essentiellement dû à l'association de bâtiments de tailles différentes et implantés en parallèle. (figure II-25)

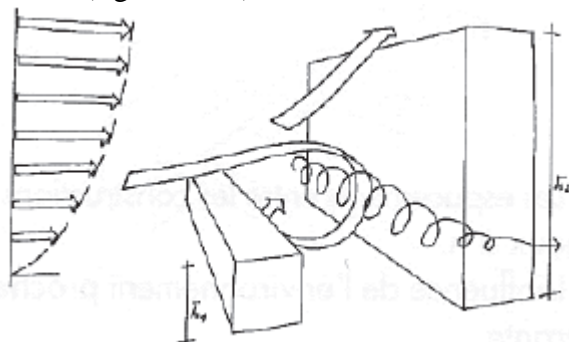


Figure II-25 : L'effet Wise (Source : chatelet et al, 1998)

- **L'effet Venturi** est un effet d'entonnoir (ou de collecteur) dû à la disposition des bâtiments formant un rétrécissement du passage. Cela provoque une augmentation de la vitesse du vent. L'accélération est d'autant plus importante que la zone de convergence est vaste ( $L1 + L2 > 100m$ ), que la hauteur moyenne des immeubles est supérieure à 15 m et que la largeur effective de la sortie est comprise entre  $h/2$  et  $4h$ . (figure II-26)

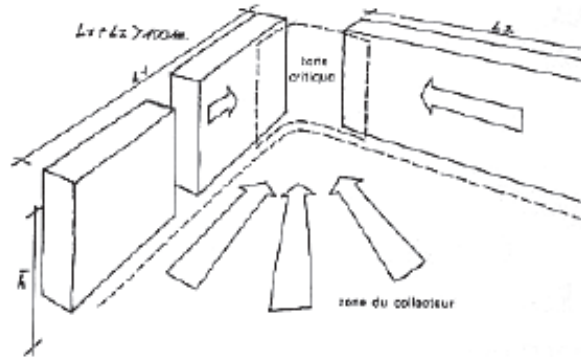


Figure II-26 : L'effet Venturi (Source : chatelet et al, 1998)

- **L'effet de canalisation** se produit dans des rues délimitées par des constructions en continue des deux côtés et prolonge tout phénomène ayant eu lieu au début de la rue. Cet effet a lieu si la hauteur moyenne des bâtiments est supérieure à 6m et que la largeur du couloir est inférieure à  $2h$ . (Figure II-27).

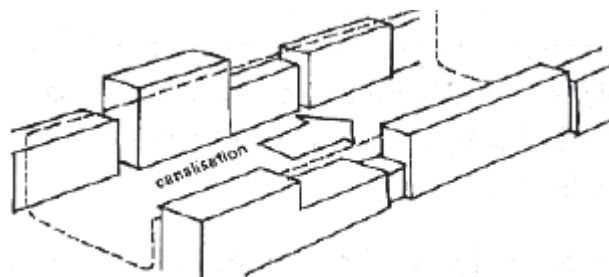


Figure II-27 : L'effet de canalisation (Source : chatelet et al, 1998)

- **L'effet de maille** (ou de cour) améliore en règle générale les conditions locales du vent (effet de protection). Il a eu lieu quand la disposition des bâtiments forme une sorte d'alvéole. Si la hauteur des bâtiments est suffisante ( $h > 15m$ ) et que le rapport de la surface libre  $s$  sur le carré de la hauteur ( $s/h^2$ ) est inférieur à 10, alors un effet de protection est observé. (Figure II-28).

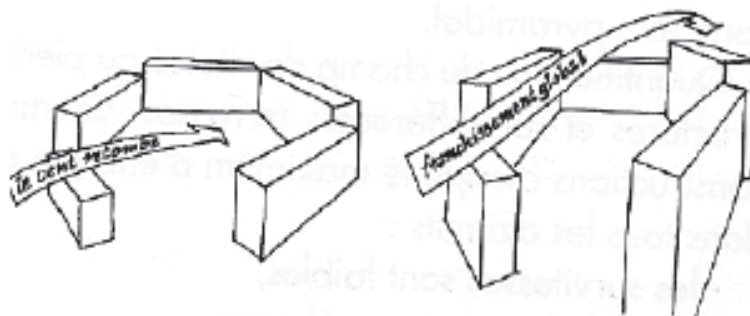


Figure II-28 : L'effet de maille (Source : chatelet et al, 1998)

## VI-2-Aspect thermique : L'îlot de chaleur

Pour se représenter le fait que la température est souvent plus élevée en milieu urbain qu'au sein du milieu rural voisin, le concept d'« îlot de chaleur urbain » a été proposé. Cette notion d'îlot traduit un phénomène homogène peu représentatif de la réalité. En effet, le climat urbain et plus particulièrement l'îlot de chaleur urbain s'apparente beaucoup plus à un archipel avec différents quartiers chauds plus qu'à une couche uniforme (Rosenzweig *et al*, 2005), ce qui est par ailleurs plus en accord avec la complexité et la diversité des environnements urbains.

L'îlot de chaleur est l'un des phénomènes climatiques induits par les zones urbaines les plus connus et les plus étudiés. Il est actuellement bien reconnu que la transformation de l'interface biosphère-atmosphère engendrée par l'implantation des villes crée un îlot de chaleur, c'est à dire que la température de l'air d'une ville est plus élevée que la température qu'aurait cet air sans les constructions urbaines. Le plus souvent, l'îlot de chaleur est mesuré à partir de l'écart de température entre l'air de la ville et l'air de la région rurale qui l'entoure.

Par cette méthode de détermination, l'îlot de chaleur ne dépend pas seulement de la nature de la région urbaine considérée mais aussi de la région rurale de référence qui l'entoure (Grimmond *et al*, 1993). Le Schéma II-27 représente un exemple de variation de la température de l'air au-dessus d'une zone urbaine, de la zone rurale voisine pour des conditions de vent faible et de ciel clair. Les études de l'îlot de chaleur montrent qu'il augmente avec les années, dépend de la taille de la ville : +2°C pour les petites villes à +12°C pour le centre ville des grandes zones urbaines (Mestayer & Anquetin, 1995). Il varie au cours du cycle diurne et dépend des conditions météorologiques, du cycle solaire, des saisons. Le maximum apparaît généralement en fin de journée ou au début de la nuit pour des conditions de vent faible de ciel clair ; il semble donc être élevé lorsque les transferts turbulents sont essentiellement absents (Johnson *et al*, 1991). (Figure II- 29)

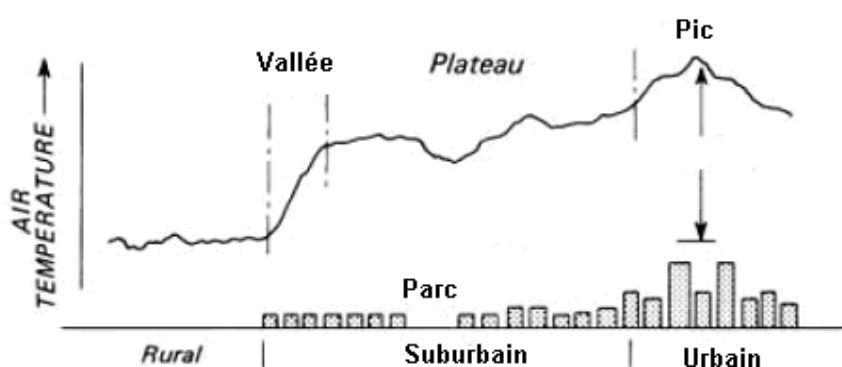


Figure II-29: Profil d'un îlot de chaleur urbain et ses relations avec les paramètres de surface  
(Source : T.R.Oke, 1987)

## IV-2- Les causes de l'îlot de chaleur (IC)

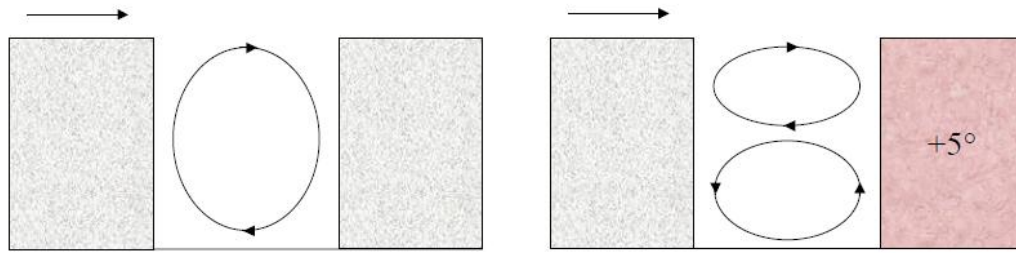
Les principales causes de l'îlot de chaleur sont :

- Le stockage de chaleur par les surfaces urbaines. Cette chaleur stockée s'explique en partie par la grande superficie des surfaces urbaines – surfaces horizontales, verticales. Elle est comparée aux zones rurales, par les multiples réflexions entre les surfaces verticales et horizontales.
- La réduction de l'évapotranspiration des surfaces urbaines. La superficie de sols naturels étant plus faible en zone urbaine, le flux d'évapotranspiration correspondant à l'évaporation de l'eau contenue dans le sol et à la transpiration issue de la végétation, est plus faible que pour une zone rurale.
- Le dégagement de chaleur anthropique. L'îlot de chaleur peut aussi être attribué aux dégagements de chaleur anthropique par la combustion du fuel, par les métabolismes humains, par les chauffages des bâtiments – influence mitigée suivant l'isolation des maisons (Oke et al, 1991)-, par les systèmes de climatisation. Certaines villes créent un îlot de chaleur en été, d'autres le créent en hiver.
- La pollution atmosphérique a pour effet de diminuer le rayonnement solaire atteignant les surfaces urbaines, par absorption, d'augmenter les échanges radiatifs de grandes longueurs d'onde entre les surfaces urbaines et l'atmosphère (effet de serre). Mais, bien que les zones urbaines modifient les valeurs des différents flux intervenant dans le bilan radiatif, le rayonnement net est en moyenne du même ordre de grandeur pour une zone urbaine que pour la zone rurale l'entourant (Mestayer & Anquetin, 1995).

En effet, la diminution du rayonnement solaire au niveau des surfaces urbaines par la pollution atmosphérique est compensée par des albédos des surfaces urbaines en général plus faibles, par le phénomène de piégeage radiatif. Le rayonnement de grandes longueurs d'onde reçu par les surfaces urbaines est plus élevé mais le rayonnement de grandes longueurs d'onde émis par ces surfaces est aussi plus élevé que celui des surfaces rurales, les températures des surfaces urbaines étant plus élevées. L'augmentation des rayonnements thermiques dans les deux directions a donc tendance à s'équilibrer. Oke (1979) considère tout de même que le rayonnement net urbain présente un léger déficit mais le budget radiatif urbain n'est pas la cause principale de l'îlot de chaleur.

Des îlots de chaleur plus faibles sont observés lorsque le sol rural environnant est sec, car l'évapotranspiration issue de la zone rurale est alors aussi faible que celle de la zone urbaine. Myrup et al. (1993) ont observé que certaines banlieues pouvaient aussi être souvent plus froides que leur environnement rural. Cet îlot froid peut être attribué à une augmentation de l'évaporation due au mélange d'air sec à l'intérieur de la canopée urbaine. Par exemple, pendant la saison sèche, l'îlot de chaleur de Mexico est négatif durant la journée et positif la nuit (jusqu'à +10°C), à cause d'un effet oasis durant la journée et par un dégagement de la chaleur stockée la nuit. L'arrosage des banlieues vertes peut également provoquer un effet d'îlot froid notable.

-La convection naturelle : s'y développe, aussi bien à l'échelle du quartier qu'à celle locale. C'est ce qu'a illustré Levi-Alvares (Levi-Alvares, 1991) en simulant les écoulements schématisés sur la figure dans un canyon, d'une part en régime isotherme, d'autre part en chauffant un des deux bâtiments. La recirculation principale est alors scindée en deux en raison des phénomènes de convection qui naissent le long du bâtiment de droite



*Figure II-30: Recirculations dans un canyon avec (à droite) et sans (à gauche) différence de température entre les deux bâtiments (Source : Stéphane GLOCKNER, 2000)*

## CONCLUSION

Ce chapitre a traité la notion du climat, ensuite, ont été présentés les facteurs qui influent sur ce dernier, et une présentation assez explicite des différents paramètres météorologiques appelés aussi « éléments du climat ». L'objectif de ce chapitre était d'assurer une bonne connaissance et une meilleure compréhension des paramètres climatiques afin de pouvoir évaluer leur impact en milieu urbain,

Le climat urbain est un phénomène assez récent, d'une grande complexité et qui nécessite pour qu'il soit maîtrisé la compréhension d'une multitude de facteurs à des échelles variées en partant de l'échelle planétaire comportant l'ensemble des phénomènes atmosphériques, jusqu'à arriver à l'échelle de la plus petite unité de la structure urbaine

Afin d'étudier l'espace urbain dans sa dimension environnementale, comme microclimat urbain dans sa variation géométrique, spatiale, ...etc, l'objet du prochain chapitre est la morphologie urbaine, qui nous permettra de comprendre la forme urbaine, son évolution et sa relation avec l'environnement climatique.





# **Chapitre 3**

## **La morphologie urbaine**

## INTRODUCTION

En ce début de 21<sup>e</sup> siècle, nous sommes confrontés à une situation et des transformations sans précédents dans l'histoire de la planète. L'urbanisation des territoires a atteint un niveau inédit qui ne cesse de s'élever, notamment dans les pays émergents. Les changements globaux, appelant chacun des solutions nouvelles et interdépendantes, sont nombreux : changements climatiques, explosion démographique et migrations, raréfaction et appauvrissement des terres arables, épuisement de certaines ressources naturelles et fossiles, pollution endémique des milieux, diminution de la biodiversité, crises économiques, etc. Les villes ont dépassé leurs limites administratives et étendent leurs influences et leurs impacts sur l'ensemble des territoires alentour et forment les nœuds d'un réseau couvrant l'ensemble de la planète. Les nuisances sonores, la pollution de l'air, la dégradation des conditions de vie urbaines suscitent une forte demande sociale pour l'amélioration du cadre de vie et des services, notamment en matière de mobilité. La densification du bâti, des réseaux et de la population rend par ailleurs les systèmes urbains vulnérables aux aléas et aux changements globaux.

On a assisté, ces dernières années, à un essoufflement de la recherche dans le domaine de la morphologie urbaine, l'intérêt porté à ces études semble, d'une manière générale, régresser. On constate une immobilisation de la réflexion sur les acquis théoriques et méthodologiques passés, les mêmes travaux sont répétés, les mêmes démarches sont reproduites, une stagnation sur le legs laisse par les grands maîtres, pionniers de ce champ de recherche. De plus, l'approche morphologique pratiquée à ce jour est restée surtout historiciste, sous la dépendance exclusive de l'histoire, attachée à l'étude des formes urbaines anciennes, principalement, à la connaissance des formes de la ville du passé, à quelques exceptions près (Mangin, 2004). On peut cependant relever que de nouvelles approches plus transversales tentent d'intégrer différents systèmes urbains en interaction

La notion morphologie urbaine, est la clé de notre recherche car elle représente la grille de fond sur laquelle on s'appuie tout au long de cette étude, ce chapitre s'articule autour de la morphologie urbaine. Dans un premier temps on présente la définition de la morphologie urbaine, dans un second temps, les registres et les méthodes qui traitent la forme urbaine et leurs évolutions, sont définis.

## **I- LA MORPHOLOGIE URBAINE**

### **I-1-Sur la notion de la morphologie urbaine**

- La morphologie urbaine est un terme qui apparaît chez les géographes allemands et britanniques entre les deux guerres mondiales, et qui est développé dans le cadre de l'urbanisme culturaliste et l'architecture régionaliste, les premiers urbanistes attirent l'attention sur l'étude du cadastre pour y lire des formes anciennes d'urbanisation déduites à partir des plans de ville du XIXe siècle. Ils parlent du principe que les formes anciennes se conservent dans le plan (la persistance des plans) autrement dit ; comme premier point pour connaître l'origine de la forme urbaine et les modifications successives appliquées sur le tissu urbain, on doit connaître la forme initiale qu'elle existe dans les anciens plans. (Robert.S, 2003).

- Selon R.Allain : "la morphologie urbaine est l'étude de la forme physique de la ville, de la constitution progressive de son tissu urbain et des rapports réciproques des éléments de ce tissu qui définissent des combinaisons particulières, des figures urbaines (rue, places et autres espaces publics).cette réalité complexe, analysable à différents niveaux d'échelle et de plusieurs points de vue, traverse les cloisonnements disciplinaires. La morphologie urbaine est définie selon lui comme étant la répartition spatiale des bâtiments, leur élévation, la forme et l'orientation du réseau des rues.

-La morphologie urbaine est l'étude de la forme de l'espace urbain, de son évolution en relation avec les changements sociaux, économiques, démographiques, les acteurs et les processus à l'œuvre dans cette évolution. Par extension, configuration formelle et structure de l'espace urbain, ensemble des liens spatiaux et fonctionnels organisant entre eux les édifices, aménagement urbain, etc. (espace urbain)

-La morphologie urbaine signifie simplement la forme tridimensionnelle d'un groupe de bâtiments ainsi que les espaces qu'ils créent autour d'eux (Steemers, 2004).

La morphologie urbaine peut être vue comme une science étudiant le tissu urbain, c'est à dire l'étude de la forme physique de la ville et de la constitution progressive de son tissu urbain et des rapports réciproques des éléments de ce tissu que définissent des combinaisons particulières des formes urbaines comme la forme des éléments bâtis, leurs combinaisons avec les surfaces non bâties. Ainsi, pour les dynamiciens de l'atmosphère, la morphologie urbaine intervient directement dans l'évaluation de l'hétérogénéité aérodynamique des zones urbaines et de la répartition des modes d'occupation du sol, qui sont nécessaires à la simulation de l'atmosphère urbaine.

### **I-2-Les approches de la morphologie urbaine *via* l'histoire urbaine**

La morphologie urbaine a toujours été considérée comme une branche auxiliaire de l'histoire urbaine, elle vise, d'une manière générale, la connaissance de l'histoire de la ville par sa forme. Les géographes eux-mêmes n'y ont pas échappé. Pour renforcer l'autonomie

de la morphologie urbaine comme discipline, il faut alors l'émanciper de l'histoire, non de l'histoire comme signification (historique), mais de l'histoire comme méthode et discipline, pour lui donner ses propres instruments théoriques et analytiques. De même que la linguistique comme étude de la langue, de la forme de la langue, de sa structure, s'est affranchie de l'histoire de la langue, on pourrait distinguer morphologie urbaine comme approche structurale de la forme urbaine, et histoire urbaine comme approche évolutionniste de la ville, de ses changements, selon un point de vue socio-économique, politique, esthétique... Par analogie avec la démarche de la linguistique, on peut dissocier alors deux approches :

#### I-2-1- L'approche synchronique :

L'approche synchronique, ou connaissance de l'objet « forme urbaine », de sa structure, à un moment donné (T1), appelée « période morphologique » par certains auteurs (la périodisation morphologique correspond à une périodisation historique) (Whitehand, 2001).

On peut qualifier cette approche « d'analytique », recherche dans l'histoire la réponse d'un autre temps à un problème qui peut être contemporain. Elle est limitée aux espaces et aux temps auxquels elle se réfère.

La démarche du concepteur du projet urbain dans ce cas serait de constituer des exemples de réponses bâties allant de l'histoire très ancienne aux objets les plus contemporains (qui appartiennent aussi à l'histoire puisqu'ils sont réalisés). «L'information historique» va dans ce cas se juxtaposer à d'autres analyses : sociales, culturelles, économiques, etc., que l'auteur du projet abordera pour « maîtriser » le contexte de son projet. Si on s'inscrit dans ce premier point de vue, notre analyse historique s'arrêterait au stade d'une exemplification des transformations urbaines en rapport avec leur niveau de modification du microclimat urbain. (Benzerzour, 2004)

#### I-2-2- L'approche diachronique :

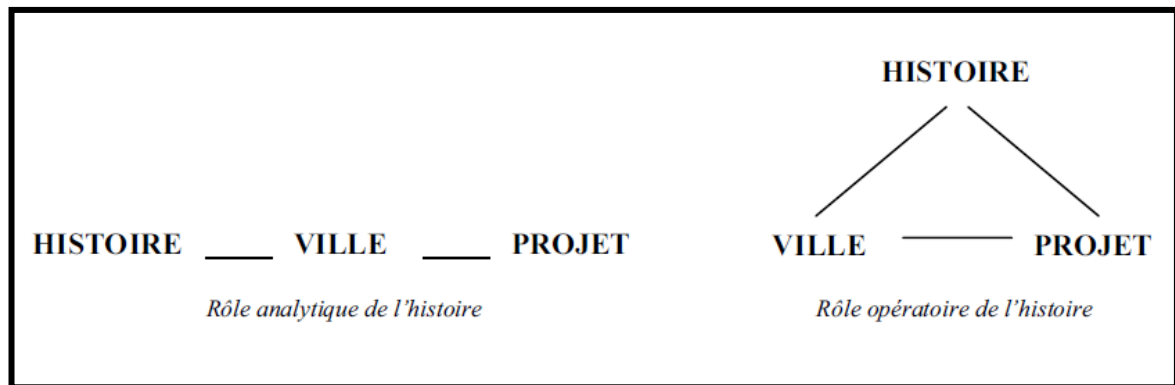
Ou connaissance des règles de transformation de cette forme, de sa structure, et des différents états morphologiques qu'elle peut prendre (T1/T2/T3...), à travers des processus à identifier (morphogenèse, métamorphose, anamorphose...). Caniggia (1979), par exemple, appelait « processus typologique », la transformation des types bâtis engendrant l'évolution de la forme urbaine, en recherchant leurs logiques internes de croissance et de transformation.

Les règles et les modalités de passage d'un état (morphologique) à l'autre constituent la principale question à résoudre.

Simultanément, cette démarche exige aussi une réflexion, achronique cette fois, excluant le temps de la forme urbaine (une définition conceptuelle, théorique, une structure abstraite générale), qui permettra de mieux comprendre les différentes occurrences historiques réelles de la forme comme des cas particuliers, comme des actualisations concrètes de cette structure générale et abstraite, à tel moment donné, et d'expliquer ainsi les états successifs qu'elle peut prendre, avec ses règles de transformation diachroniques.

Cette deuxième approche du rapport « histoire-projet », que l'on pourrait qualifier « d'opérateur », recherche dans le passé non seulement des exemples de réponses, mais s'interroge aussi sur leur rapport avec les productions de l'époque contemporaine. C'est le point de vue de l'approche morphologique (plus connue en France sous l'appellation typo-morphologique) en urbanisme qui a fait émerger des notions comme type, structure, processus, etc.

Cette transposition se fait par une volonté d'observer, au-delà des faits historiques isolés, une certaine continuité du savoir-faire à laquelle les actes contemporains pourraient se greffer. Ce point de vue consiste donc à formuler les éléments traduisant « la continuité diachronique d'un savoir-faire ». (Figure III-1)



*Figure III-1 : Représentation schématique de deux visions différentes du rapport « histoire-projet »  
(Source benzerzour p13)*

## II- LA FORME URBAINE

### II-1- La forme urbaine : Une notion complexe

Le terme « forme urbaine » a été introduit dans les années 1970, à la suite de l'étude typologique de Venise de Muratori (1959), de l'étude typo-morphologique de Padoue conduite par Aymonino et al. (1970). Dès le départ ce terme fut perçu comme un mot ayant un « spectre de significations » assez large, mais dont on pouvait espérer que sa propre histoire lui donnerait un jour des repères plus précis. Rien de tel n'est advenu. La parution de l'ouvrage de Richot, Feltz et al. (1985) a suscité les mêmes doutes quant au contenu de cette notion. « On peut regretter l'absence de définition rigoureuse du concept de forme urbaine », écrit Coudroy de Lille (1988: 332).

Ensuite, les deux articles du Dictionnaire de l'urbanisme, consacrés respectivement à la « forme urbaine » (Lévy) à la « morphologie urbaine » (Merlin) ont déploré les mêmes incertitudes. Merlin signale à ce propos, que « les concepts utilisés ne sont pas toujours clairs » et que ce flottement « traduit un manque certain de rigueur » (1988: 435), opinion d'ailleurs partagée à la même date par Genestier (1988: 5). Enfin, Burgel ne note pas non plus de progrès sensible dans la définition du terme. Il écrit: « Pénétrer dans l'univers des formes urbaines fait entrer dans un monde flou, où se côtoient les constructions matérielles, les pratiques concrètes, les représentations des habitants et les idéologies des concepteurs » (1993: 161).

La notion de “forme urbaine” est employée régulièrement par les urbanistes, architectes, géographes, sociologues urbains. Ces différents domaines ont creusé des traditions d'interprétation, chacune étant liée à un milieu professionnel qui s'en attribue les prérogatives.

Juxtaposées les unes aux autres, ces traditions de lecture présentent un spectre de significations extrêmement large rendent la notion de forme urbaine auto-contradictoire.

Les raisons de cette polysémie selon (d.raynaud 1999) se résument en partie :

- A l'incertitude sur le caractère normatif/descriptif ;
- Incertitudes sur la position causale ;
- Incertitudes sur le caractère matériel/mental ;
- Incertitudes quant aux composantes ;

## **II-2-Les concepts substituant la forme urbaine**

Selon les différentes définitions citées ci dessus de la morphologie urbaine, les explications qu'on retrouve dans la littérature, la morphologie urbaine est la science qui dépend dans son étude d'un point de départ qui est la forme urbaine, ou d'autres concepts alternatifs qui se substituent à cette notion forme urbaine, on parle par exemple (type urbain, tissu urbain, composition urbaine, modèle urbain, ...) ou alors on la définit selon des approches qui étudient cette forme (morphologique, perceptuelle...etc.) ou les méthodes d'analyse (normative, descriptive, typologique, tridimensionnelle...).

### II-2-1-Tissu urbain et forme urbaine : contradiction ou antonyme ?

*« Si la forme urbaine est engagée dans la qualification d'une aire urbaine qui présente des caractères d'homogénéité de continuité, on parlera de tissu urbain. » (D. raynaud)*

Le terme tissu urbain entraîne une double acception. Il s'agit d'une organisation qui présente à la fois une forte solidarité entre les éléments et une capacité à s'adapter, à se modifier, à se transformer. Appliqué à la ville, le tissu urbain est constitué de la superposition de l'imbrication de trois ensembles :

- Les réseaux de voies
- Le découpage foncier
- Les constructions (Philippe panerai and al, 2009)

La forme urbaine est associée tantôt à la totalité de la ville, tantôt à ses parties. Selon Pinon, le tissu urbain « regroupe les trois niveaux de la forme urbaine: voirie, parcellaire, bâti, et désigne la trame de base de la forme urbaine » (1992: 103). Il n'est pas sûr que la forme urbaine s'exprime autrement que par les trois niveaux mentionnés.

Le tissu urbain peut être une simple recombinaison de la forme urbaine : ce seraient alors des doublons l'un de l'autre. Dans le cas contraire, la définition est admissible. Le tissu correspondrait alors à l'expression plane de la forme urbaine. Mais la définition est alors contradictoire avec celle de Merlin (1988: 666), dont les points divergents sont : « [Le tissu urbain] est constitué par [...] la dimension, la forme des bâtiments ». La forme et la

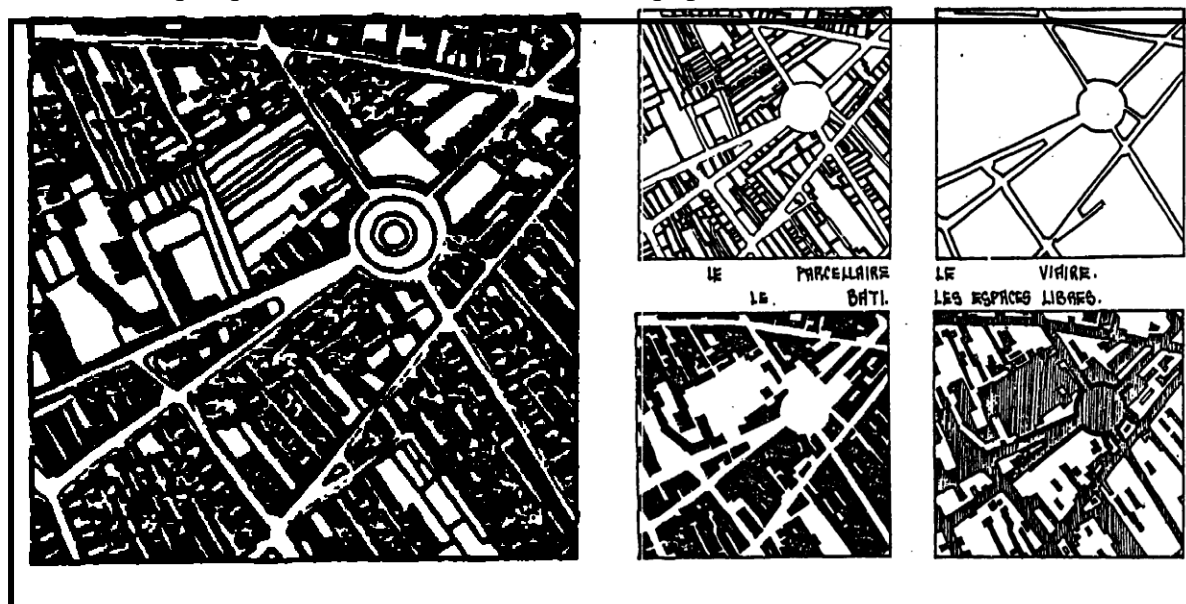
dimension des bâtiments ne sont pas entendues dans leur réduction au plan: il peut s'agir des hauteurs ou des profils de ceux-ci. On cherchera une issue à cette contradiction, en essayant de différencier davantage forme urbaine, tissu urbain.

Contrairement à la notion de forme urbaine, celle de tissu urbain implique toujours un caractère d'homogénéité de continuité, tant dans sa référence métaphorique que dans ses acceptions savantes, biologiques ou urbanistiques.

Merlin écrit: « On peut appeler tissu urbain l'ensemble des éléments du cadre urbain qui constituent un tout homogène. Le tissu urbain est l'expression physique de la forme urbaine » (1988: 665). L'homogénéité ne pouvant être rencontrée que sur des aires urbaines distinctes, le tissu et la forme urbaine sont renvoyés à la ville partielle. Du coup, le terme de forme urbaine devient contingent dans les énoncés référentiels, puisqu'il se réduit à l'ensemble des caractéristiques du tissu. On notera que l'étude du quartier des Halles, conduite par Boudon, Chastel et al. (1977) ne contient pas une occurrence de « forme urbaine ».

Le tissu urbain est le niveau à travers lequel une conformation urbaine se manifeste. Il est l'ensemble des éléments physiques qui font système (figure III-2) qui sont :

- Le parcellaire : le système parcellaire est le système de partition de l'espace du territoire en un certain nombre d'unités foncière, les parcelles.
- La voirie : le système viaire est le système de liaison de l'espace du territoire. Il est constitué par l'ensemble des circulations de fonctions et d'importance variables,
- Les espaces libres : sont l'ensemble des parties non construites de la forme urbaine, que ces espaces soient publics (places, esplanades, rues, etc.) ou privés (cours, jardins)
- Le bâti : le système bâti regroupe l'ensemble des masses construites de la forme urbaine, quelque soit la fonction (habitation, équipement) ou leur dimension.



Chacun de ces systèmes ne possède une totale autonomie, pour cela il existe certains modes de couplage, le premier couple (système viaire / système parcellaire), (système bâti / système libre), ce second couple que les architectes appellent « le plein », « vide » constitue le mode d'occupation du territoire urbain, qui s'exprime en volume, c'est-à-dire en trois dimensions, Dans le cadre de notre étude les deux systèmes de la morphologie urbaine qui ont été pris en considération sont le bâti et l'ensemble des espaces non construits pour la simulation tridimensionnelle .

### II-2-1-1-Le système bâti :

Pour l'analyse du système bâti on fait référence à la typologie des bâtiments, on examine la continuité ou discontinuité de l'ensemble de masse construite par rapport aux autres contigus plus au moins éloigné.

#### II-2-1-1-1- La typologie des bâtiments

La diversification des types bâtis prend différentes formes en fonction des contextes dans lesquels elle s'inscrit : situation urbaine, environnement paysager, accessibilité, densité et typologie des formes bâties existantes. Pour la typologie du bâti on examine la continuité, la discontinuité des bâtiments, le système bâti peut présenter trois grands degrés de continuité ou de discontinuité : bâti ponctuel, bâti linéaire, bâti planaire.

- Bâti ponctuel ou discontinu : Les bâtiments sont séparés les uns des autres par une distance plus au moins grandes, désigne parfois des ensembles d'immeubles collectifs prenant la forme de plots, barre ou tours, plus au moins déconnectés du dessin des espaces publics. Ces îlots ouverts, apparus dans l'entre-deux-guerres, se sont fortement développés dans les grands ensembles d'habitat social des années 60-70. Mais cette typologie inspire aussi des opérations récentes associant fréquemment ouvertures d'îlot et implantations à l'alignement des rues (figure III-3).

Cette typologie correspond principalement aux lotissements, constructions individuelles implantées librement sur des parcelles; il comprend également des maisons individuelles regroupées en petit nombre maisons jumelées que l'on trouve dans certaines cités-jardins ou quartiers de villes nouvelles notamment.

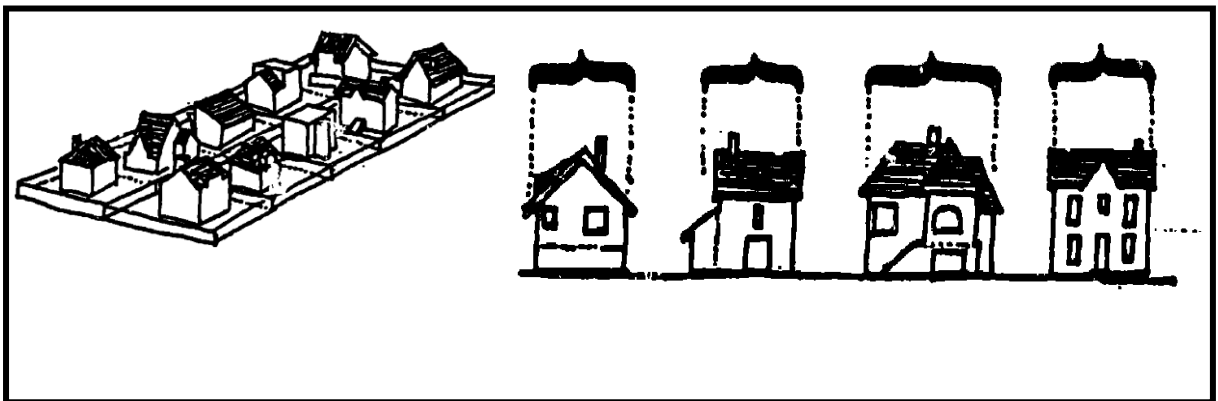


Figure III-3 : Bâti ponctuel (Source : Borie et Denieul, 1984)

- Bâti linéaire ou continu : Les bâtiments sont juxtaposés les uns aux autres en formant une ligne continue, il y'a continuité dans un seul sens de direction de l'espace. Il peut correspondre à des immeubles collectifs mitoyens et linéaires alignés le long de l'espace public, généralement regroupés sous forme d'îlot fermé, ou regroupe des ensembles de maisons de ville ou en bandes. Linéaires et mitoyennes, alignées le long de l'espace public. Suivant les époques ou les modes opératoires, les architectures des maisons peuvent être variées ou répétitives reproduisant le même modèle de base. (figure III-4).

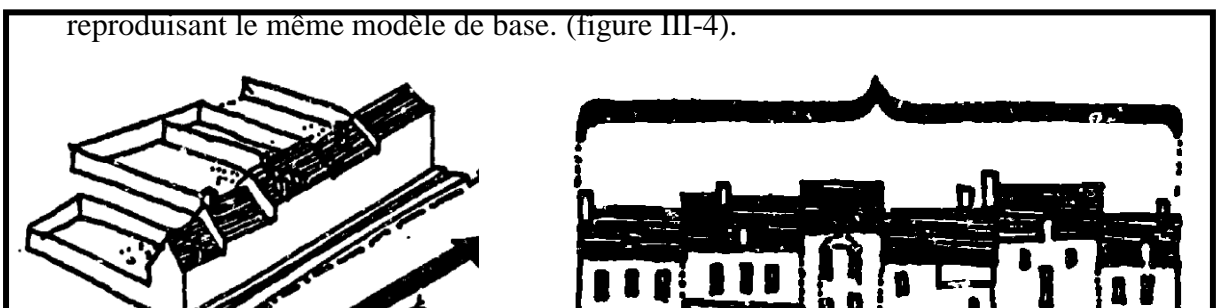




Figure III-4 : Bâti linéaire (Source : Borie et Denieul, 1984)

On peut retrouver ces deux typologies combiné ensemble souvent dans des opérations récentes.

- Bâti planaire : les bâtiments sont accolés les uns aux autres de tous les cotés de manière a formé une masse continue interrompue par la rue. Il est généralement perforé par des cours. (figure III-5).

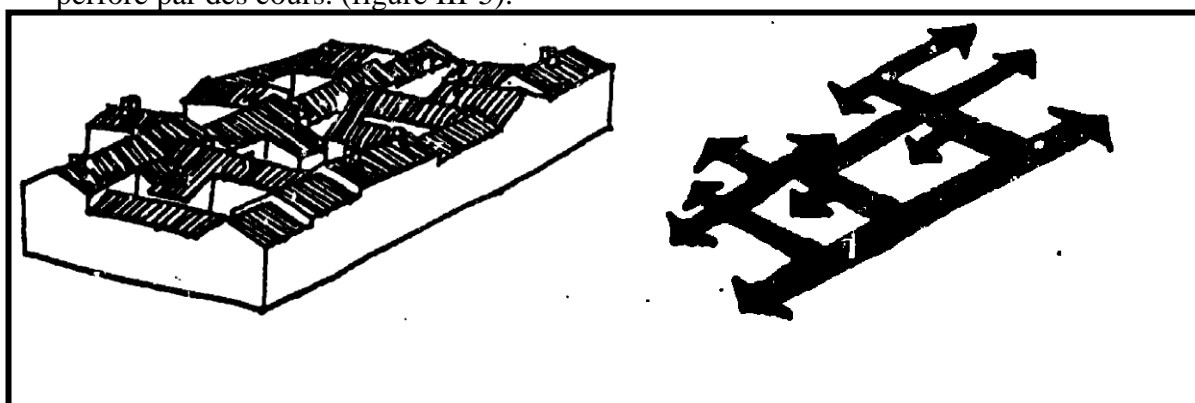


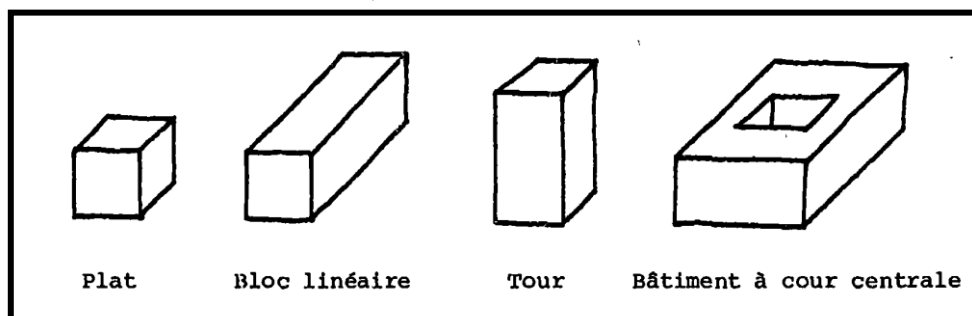
Figure III-5: Bâti planaire (Source : Borie et Denieul, 1984)

- Le tissu "mixte" rassemble plusieurs typologies d'habitat collectif, individuel, continu ou discontinu, au sein de la même opération.

#### II-2-1-2-Le volume des bâtiments

La proportion générale de volumes construits, donne la classification suivante des bâtiments :

- Le plot, qui est le bâtiment présentant le plus de compacité dans les trois dimensions.
- Le bloc linéaire, dont le volume présente un allongement dans une direction horizontale de l'espace.
- La tour, dont le volume présente un allongement vertical.
- Le bâtiment a cour centrale, dont le volume est resserré.



### **II-2-1-3-L'organisation du bâti et tissus urbains**

La morphologie urbaine est d'autant plus complexe que le tissu urbain n'est pas uniforme à l'échelle de la ville – la ville est ainsi divisée en quartiers –, différents d'une ville à l'autre. L'inhomogénéité du tissu urbain à l'échelle de la ville est principalement due à des facteurs socio-économiques – différences d'activité entre les quartiers – historiques – existence de quartiers urbains datant de différentes époques et donc de styles différents. Les différences de tissu urbain entre les villes sont dues principalement à l'histoire propre de chaque ville et à la culture de la population qui les habite. Selon les formes d'organisation du bâti on distingue quatre grands types de tissu urbain :

- Les tissus traditionnels, caractéristiques de la ville traditionnelle : organiques, au bâti artisanal, à l'architecture populaire, aux règles implicites. Ce sont des héritages difficilement reproductibles car les conditions de leur émergence n'existent plus.
- Les tissus programmés ou composés : de la ville classique à la ville haussmannienne. Ils sont plus homogènes, la parcelle est encore l'élément de base.
- Les tissus fordistes. Ce sont des tissus composés (grands ensembles, villes nouvelle) ou spontanés (entrées de villes).
- Les tissus discontinus de la ville émergente : ceux des périphéries urbaines parfois étendus à la ville entières (Los Angeles, Sydney) où les relations entre éléments bâtis sont plus décousues et distendues (lotissement peu dense juxtaposés, corridors commerciaux. (Allain. R)

### **II-2-1-4-Composition urbaine**

« Si la forme urbaine, en tant que configuration spatiale, résulte d'un acte de conception limité à une partie de la ville, on peut s'y référer en parlant de composition urbaine. »

La composition urbaine donne un ordre formel à la ville, elle fait qu'un objet urbain a une forme maîtrisée et appréhendable, qui n'est pas due à un phénomène aléatoire. Elle est à la ville ce que la composition architecturale est à un édifice.

Figuration a deux ou trois dimensions des choix spatiaux d'un projet d'urbanisme, effectués en fonction d'une esthétique urbaine donnée. (Espace urbain livre). Il renvoie à la façon dont l'esthétique de l'urbanisme est conçue à un moment donné, par un groupe donné.

Il a donc pris des formes très différentes dans l'histoire de la cosmologie ( villes indiennes, chinoises, ou roumaines), a la religion ( certaine villes médiévales inspiré par la cité de dieu de st augustin), a la rationalité du tracé (villes colonial de l'époque moderne), au pittoresque ( ville du XIXème siècle et du début du XXème en Europe), a une esthétique développé dans un autre art ( le cubisme des moderne au XXème siècle), a un concept philosophique( la déconstruction), a une figure issue de la description de l'espace (perspective aux XVIème et XVIIème siècle.),etc., sans qu'il soit toujours possible de faire la part entre telle ou telle source, d'autant que la référence a un modèle et une pratique très courante.

Les instruments théoriques de la composition sont:

- Le tracé,
- Les découpages,
- Les traces des occupations.

### ***II-2-1-5-Projet urbain, l'outil de développement urbain durable***

« Si la forme urbaine a une composante mentale non nulle, on pourra la désigner sous le nom générique de représentation urbaine. Si cette représentation urbaine est l'antécédent causal d'une configuration spatiale de la ville, on peut parler de modèle urbain si cette représentation a un caractère exemplaire et reproductible, ou de projet urbain si celle-ci est dénuée de ce caractère. »

Le projet urbain est l'ensemble d'actions permettant la réalisation d'un aménagement urbain, dont l'objectif est de réconcilier la ville et l'architecture qui en s'appuyant sur les conventions urbaines, fournissent un contexte à partir duquel l'architecture puisse produire son plein effet de différence, renouer avec l'idée de projet permanent, dont la forme de départ se réalise dans la longue durée (Pannerai, 2009).

Joe Ravetz identifie le projet urbain comme un projet stratégique de planification intégrée de développement durable. Le but du projet est de voir de manière plus lointaine, plus large

Il ne signifie pas seulement un projet d'urbanisme ou projet d'architecture, il implique, soit comme facteur de réalisation, soit comme objectif poursuivi, la prise en considération du support économique, social, culturel de ses opérations à toutes les échelles urbaines (Bouinot, 1995).

"...Le projet urbain ne relève pas d'une profession, mais d'une compétence, il n'est pas une procédure mais une démarche"... "Il est une pensée de la reconnaissance de ce qui est là, des traces, du substrat, une reconnaissance du mouvement et du flux dans lequel on se situe, des fondations sur lesquelles on s'appuie pour établir des fondations pour d'autres qui viendront après." (Devillers, 1994).

### **II-3-Les registres de la forme urbaine :(Les approches)**

#### **II-3-1-Approche forme urbaine comme forme du paysage urbain**

L'approche de la forme urbaine comme forme du paysage urbain appelée aussi approche perceptuelle, c'est-à-dire l'espace urbain visuellement saisi dans sa tridimensionnalité dans sa matérialité plastique (texture, couleur, matériaux, styles, volume, gabarits... du bâti et des espaces publics), étudiée par G. Cullen (1961), E. Bacon (1965), C. Sitte (1889), K. Lynch Il s'agit là de travaux pionniers d'une approche psycho-spatiale, dans la façon de percevoir la ville.

La recherche de LYNCH.K s'inscrit dans le cadre d'étudier la relation entre la qualité de la ville et son image. Il détermine la manière dont l'espace urbain est perçue par les habitants, il analyse cette image de l'environnement à travers trois composantes: L'identité, la structure, et la signification.

Le contenu que l'on peut rapporter aux formes physiques peut-être classé sans inconvénient suivant cinq types d'éléments :

Les voies : sont les chenaux le long desquels l'observateur se déplace habituellement, occasionnellement ou potentiellement ;

Les limites : sont les éléments linéaires que l'observateur n'emploie pas ou ne considère pas comme des voies ;

- Les quartiers : sont des parties de la ville, d'une taille assez grande ;
- Les nœuds : sont des points, les lieux stratégiques de la ville, pénétrés par l'observateur ;
- Les points de repères : sont un autre type de référence ponctuel, mais ils sont externes .

Dans l'étude la ville de Versailles, les auteurs (Castex, Celeste, Panerai, 1980) ont non seulement mené une étude typomorphologique classique de la formation/transformation de la ville, de son tissu, mais aussi une analyse de son paysage, de ses caractères visuels, son évolution, réunissant ainsi deux registres de forme : tissu et paysage.

### II-3-2-Approche forme urbaine comme forme social(ou morphologie sociale)

Cette approche veut dire que l'espace urbain étudié dans son occupation par les divers groupes sociaux, démographiques, ethniques, les types de famille, ou la distribution des activités et des fonctions dans la ville, dans les travaux de E. Durkheim (1960), M. Halbwachs et l'école de morphologie sociale française (1928), l'École de Chicago (Y. Grafmeyer ; I. Joseph, 1984), R. Ledrut (1968), M. Roncayolo (1996)... Un géographe morphologue anglais, M. R. G. Conzen (1960), proposait de compléter l'analyse du tissu par une analyse fonctionnelle (« land use »), en combinant les deux registres de forme. Les significations de nature socio-économique, attachées à ce registre de forme, renvoient, par exemple, aux différents modes de division sociale de la ville (économique, culturelle, ethnique, religieuse...), aux types de lien social, de sociabilité, qui la caractérisent à une époque donnée. La distinction entre société à morphologie sociale stable (traditionnelle) et instable (moderne) apporte aussi un éclairage sur la façon dont l'espace fonctionne comme système de signification (Lévy, 1993) ;

### II-3-3-Approche forme urbaine comme forme des tissus urbains

Elle consiste, rappelons-le, en l'étude des interrelations entre les éléments composants : parcellaire/viaire/espace libre/espace bâti, constitutifs de tout tissu, en rapport avec le site, ou en focalisant l'analyse sur certains composants particulièrement privilégiés.

Un des objectifs de cette analyse est de vérifier la relation dialectique et non causale entre typologie des édifices et forme urbaine (Aymonino, 1977), relation (systémique) formelle qui a été perdue avec la ville moderne (Charte d'Athènes). La signification, d'une façon générale, a trait à la périodisation historique des tissus, à la culture urbanistique mobilisée pour la conception de ces tissus, mais aussi aux pratiques urbaines de ces formes. Pour (Weil, 2004), par exemple, la forme urbaine est étroitement liée aux modes de déplacement : « La ville conditionne les formes de la mobilité comme les conditions de mobilité influent

sur la forme de la ville » (p. 12), et il appelle « transition urbaine », le passage de la ville pédestre à la ville motorisée (Weil, 1999) ;

#### II-3-4-Approche forme urbaine comme forme des tracés urbains

Cette approche géométrique du plan de la ville (plan organique/plan géométrique ; plan orthogonal/plan radioconcentrique), Lavedan (1926, 1941, 1952) en a fait le centre de ses travaux en proposant une catégorisation des tracés.

Elle renvoie aussi à la notion de composition urbaine et à ses significations (Pinon, 1994, Lévy, 1996b). (Unwin, 1909) a introduit la distinction entre composition régulière et composition pittoresque (Il a mis au point les tracés de composition des cités-jardins). Là également, les significations sont relatives à l'histoire de l'urbanisme, et aux connotations symboliques (autrefois ésotériques) liées à la géométrie des tracés urbains (appelés tracés régulateurs en architecture).

#### II-3-5-Approche typo-morphologique

C'est la connaissance de la forme urbaine par les types d'édifices la composant leur distribution dans la trame viaire. Cette méthode d'analyse est apparue dans les années 1960, et dont la théorie la plus construite a été formulé par l'architecte italien Aldo Rossi dans son livre l'architecture de la ville. Elle manifeste comme critique de modernisme, pour but de revalorisation des anciens tissus (Hassoun, 2009), La typo-morphologie s'intéresse à la configuration physique de la ville, et à sa matérialité. Elle tente à trouver les raisons réelles qui donnent la forme actuelle à une ville. (Convercity, 2006).

La typo-morphologie est la combinaison de la morphologie urbaine et de la typologie architecturale ; elle décrit la forme urbaine (morphologie) sur la base de classifications des édifices et des espaces ouverts par type (typologie)

##### *II-3-5-1-Objectifs de l'approche :*

Selon (Malfroy, 1987) l'objectif essentiel de cette approche est la recherche de cohérence entre les éléments de l'ensemble construit de l'environnement urbain (surtout entre les éléments nouveaux et les structures héritées), ainsi que la revalorisation de patrimoine, et pour but de le rendre sa valeur de convention collective. (Malfroy, 1987). Cette approche :

- Permet l'analyse du cadre bâti à différentes échelles ;
- Révéler la relation dialectique qui existe entre la forme urbaine et les ses acteurs (les producteurs, les usagers...etc) ;
- Analyse la forme urbaine comme une entité dynamique et continuellement changeante ;
- Montrer que la forme urbaine ne peut être comprise que comme un produit du temps.

#### II-3-6-Approche forme urbaine forme complexe

Plutôt que de considérer la forme sociale comme le signifié de la forme physique (tissu), ainsi que semblent l'entendre certains auteurs, cette approche de la forme complexe veut

montrer que chaque registre est défini par sa propre forme, corrélée à ses propres significations. Se pose ensuite le problème de l'articulation de ces registres de forme entre eux pour constituer la forme globale.

La forme urbaine, forme complexe constituée d'une diversité de registres de forme, et de sens, est donc polymorphique et polysémique. Elle présente, en outre, un caractère systémique, les registres de forme, interdépendants entre eux, s'articulent pour produire la forme unitaire globale. La théorie sémiotique, théorie générale du mode de production et de saisie de la signification (Greimas, Courtes 1979, 1986) pourrait contribuer à l'étude de cette articulation entre forme et sens, et à construire une morpho-sémiotique comme approche interdisciplinaire. Quant à la théorie systémique (Durand, 1979), elle pourrait être mise à contribution pour comprendre les modalités d'agencements et d'interrelations qui constituent l'unité de la forme urbaine et sa cohérence

### II-3-7-Approche forme urbaine comme forme bioclimatique

Cette approche veut dire l'espace urbain étudié dans sa dimension environnementale, comme micro-climat (urbain), tant dans ses variations géographiques par quartier, que dans sa diversité liée aux types de tissu (ouvert/fermé/semi-ouvert), selon l'orientation (héliothermique), selon le site (eau, relief, végétation). La répartition (inégaie) des pollutions et des nuisances dans l'aire urbaine, en rapport avec le microclimat (voir le phénomène de la répartition de la pollution par l'ozone) concerne également cette approche : on retrouve ces travaux dans la climatologie urbaine (Escourrou, 1980, 1991), l'écologie urbaine, ou dans les nouvelles approches de l'espace sensible, des « ambiances urbaines ». Voir par exemple, *Espaces et Sociétés*, « Ambiances », en rapport avec les différentes perceptions sensorielles de l'espace culturellement variables (Hall, 1971).

Un important débat sur les formes urbaines du futur et les transports urbains (forme compacte/forme étalée) a été initié à partir de ces questions, autour de l'enjeu du développement durable, ainsi que sur le problème énergétique et ses conséquences sur le climat. Ce registre de forme, comme on le voit, est en étroite relation avec d'autres registres. La prise en compte de ces critères, encore timide, conduirait à une refonte totale de l'architecture comme de l'urbanisme. Outre les enjeux écologiques, ces significations, de nature physico-culturelle concernent, en gros, la sensation de confort, de bien-être, que l'on peut ressentir dans tel espace, telle ambiance (avec une gradation, plus ou moins forte) culturellement codée ; elle renvoie aussi, d'une façon plus globale, à l'attitude d'une culture vis-à-vis de la nature, de son milieu, de ses ressources

La forme urbaine doit de nouveau être repensée. Regarder la ville et observer son métabolisme, c'est-à-dire la manière dont elle vit, c'est une autre analyse : celle de la gestion urbaine de la ville contemporaine. C'est l'art de modifier les flux.

Parler de métabolisme de la ville, autrement dit donner à l'urbanisme une fonction d'être vivant n'est pas qu'une métaphore de langage. Comme dans la cellule biologique, on peut dire qu'il y'a des entrants et des sortants, que les flux s'échangent dans tous les domaines. L'énergie, l'eau, l'air ont un cycle. Après usage, ils deviennent déchets et pollution.

Néanmoins, il est clair que l'expression donne au problème sa véritable dimension. Se contenter de raisonner sur la morphologie ne suffit pas. La ville qui consomme. C'est le métabolisme. Les quantités de calories dépensées, les rejets qui en dépendent.

### ***II-3-7-1-La problématique générale des ambiances urbaine :***

La recherche dans le champ des ambiances urbaines implique, par définition, une connaissance du complexe : « espace construit – paramètres physiques du microclimat urbain – espace perçu » (Augoyard 1998; Peneau 1998). Les ambiances ne sont donc pas uniquement inscrites dans l'objectivité physique des phénomènes : « *Elles comportent un renvoi déterminant à l'usage et au sensible. Elles ont pour caractéristique d'allier l'objectif et le subjectif* » (Peneau 1998).

La perception des phénomènes microclimatiques a en effet du mal à se définir. Il suffit pour cela d'analyser les différents modèles de confort thermiques qui existent déjà depuis plusieurs années, et qui se cantonnaient, jusqu'à récemment, à une approche physiologique. (Benzerzour, 2004)

Cependant, selon la théorie des ambiances, on peut résumer les connaissances nécessaires pour anticiper les « ambiances microclimatiques » à deux niveaux complémentaires : l'objet du premier est de définir les interactions du cadre construit et des paramètres physiques, celui du deuxième concerne les interactions entre les paramètres physiques (tels qu'ils sont régulés par le cadre bâti), leur perception par les usagers des espaces urbains.

*«... dans l'environnement urbain, tout signal physique est instrumenté par un espace de propagation qui lui donne une certaine qualité hic et nunc»* (Augoyard 1998).

Cette qualité « hic et nunc » est annoté dans le texte original par le texte suivant : « Citons les exemples suivants : temps de réverbération et timbrage, pour le son ; réflexion particulière, modification de température de couleur et organisation des ombres, pour la lumière ; turbulences particulières des flux de l'air autour de certaines configurations architecturales, volatilité variable des odeurs en fonction de la vitesse du vent » (Augoyard 1998).

### ***II-3-7-2-Forme urbaine dense***

Une approche sensible de la question de la densité doit nécessairement compléter des approches purement réglementaires et physiques. L'assertion suivante du philosophe Alain va dans ce sens : « une des lois fondamentales de l'architecture est de rendre la grandeur sensible ».

Étymologiquement, le terme de densité est issu du latin *densus*, ce qui signifie épais. En mesures physiques, sa définition est claire : il s'agit d'un rapport entre une masse et un ensemble de référence. Or, en urbanisme, la notion de densité peut avoir de nombreuses significations. Sa caractérisation oscille entre détermination purement technique, approches sociales voire psychosociales (appréhension qualitative) et connotations sensibles (ambiances urbaines à l'œuvre).

#### ***II-3-7-2-1-Densité mesurable : indicateurs***

La densité est le rapport entre un élément quantifiable Divers indicateurs permettent, en se complétant, une appréhension globale du concept de densité : Coefficient d'Occupation du Sol, densité parcellaire, Coefficient d'Emprise au sol, densité bâtie, densité brute, densité nette, densité de contenant, densité de contenu, densité de population, densité résidentielle, densité urbaine, densité territoriale, densité d'emplois, densité d'activité humaine, densité d'occupation globale, densité végétale, densité interne, densité externe... Cette énumération permet de mettre en exergue la diversité des qualificatifs de la densité, tant au niveau de la diversité des échelles d'appréhension que de la pluridisciplinarité des approches. Elle peut être faible ou forte et plus ou moins bien perçue selon qu'un équilibre «subtil» s'établit entre ces différents indicateurs : la concentration de population, l'intensité de l'activité, la densité du bâti, la proportion d'espaces verts publics, etc. En se complétant, ces indicateurs permettent une appréhension plus globale du concept de densité. Dans notre étude on s'intéressera surtout aux indicateurs liés à la densité du bâti.

- **Densité bâtie** : Elle correspond à ce qui existe sur le terrain. En cela, elle reflète la perception que l'on peut avoir d'une densité. Pour plus de pertinence, il est opportun de ne pas la considérer à la seule parcelle, mais à l'îlot afin d'inclure les éventuels espaces publics et l'ensemble des éléments bâtis présents sur le site. La densité bâtie est le rapport entre le coefficient d'emprise au sol (CES) c'est-à-dire le rapport entre l'emprise au sol totale des bâtiments et la surface de l'îlot sur lequel ils sont implantés, multiplié par le nombre moyen de niveaux.

$$\text{densité bâtie} = \frac{\text{coefficient d'emprise au sol} \times \text{le nombre moyen de niveaux}}{\text{surface de l'îlot}}$$

On obtient une image en trois dimensions qui permet d'appréhender l'enveloppe bâtie dans son espace. Cet outil est plus complet plus proche de la perception d'un quartier.

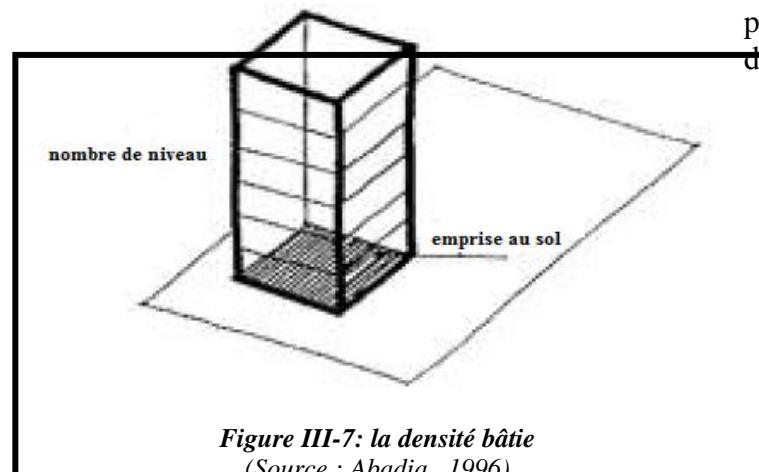


Figure III-7: la densité bâtie  
(Source : Abadia, 1996)

- **Densité brute ou la densité bâtie avec voirie publique interne**: résulte du rapport entre la surface de planchers ou SHON (surface hors œuvre nette) réalisée, la superficie totale du terrain d'assiette de l'opération, voirie publique interne comprise.

La densité brute prend en compte l'ensemble du territoire considéré sans exclusion : équipements collectifs (bâtis ou non), espaces verts, voirie principale et infrastructures. Suivant le type de tissu urbain (largeur des voies, importance des espaces libres).



- **Densité nette** ou la densité sans voirie publique interne: est le rapport entre la surface des planchers ou SHON (surface hors œuvre nette) réalisée, et la superficie totale du terrain d'assiette de l'opération, voirie publique interne de l'opération déduite.

Ne prend en compte que les surfaces des parcelles réellement occupées par l'affectation donnée : emprise du bâti, espaces libres à l'intérieur de la parcelle ou de l'îlot, voies de desserte interne.), la densité peut varier considérablement. D'où la nécessité de choisir avec pertinence la surface sur laquelle le calcul doit être fait. Les densités nettes et brutes sont utilisées à différentes étapes de l'aménagement, selon l'échelle d'intervention.

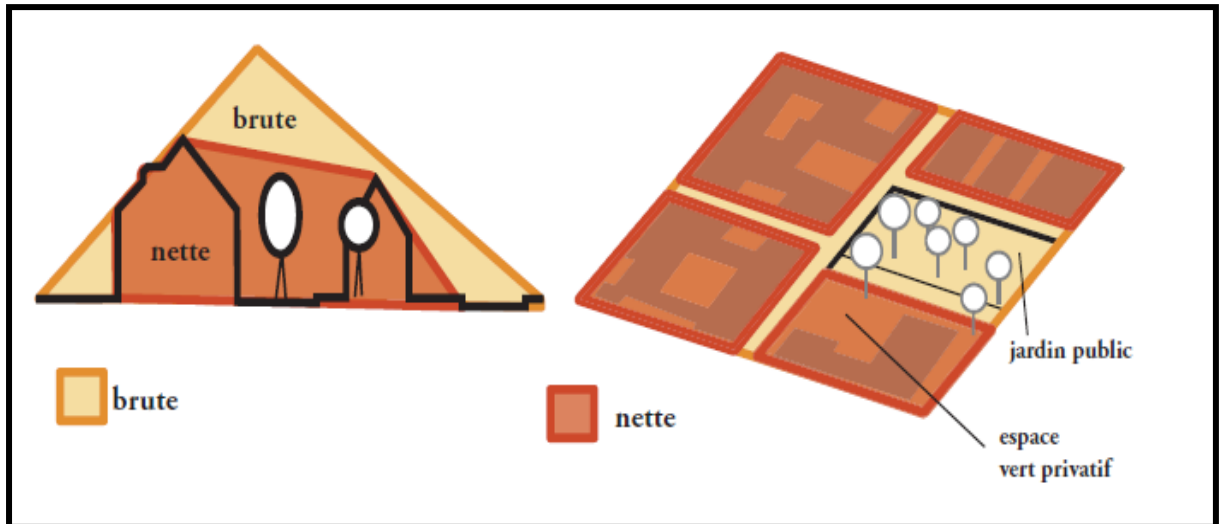
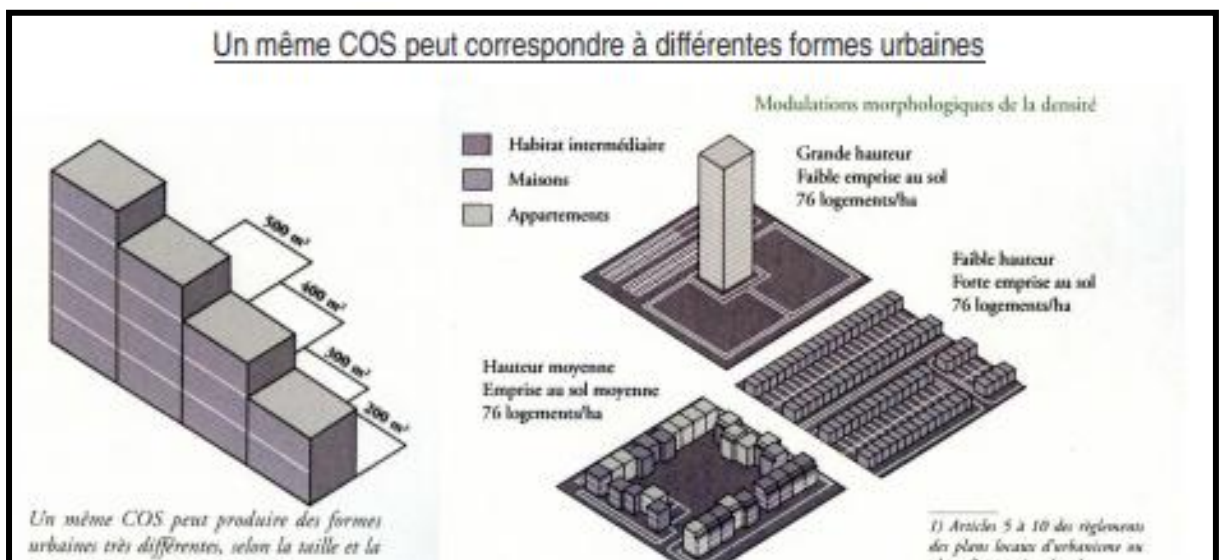


Figure III-8: Assiette de calcul de densité. (Source : IAU-IDF appréhender la densité, 2005)

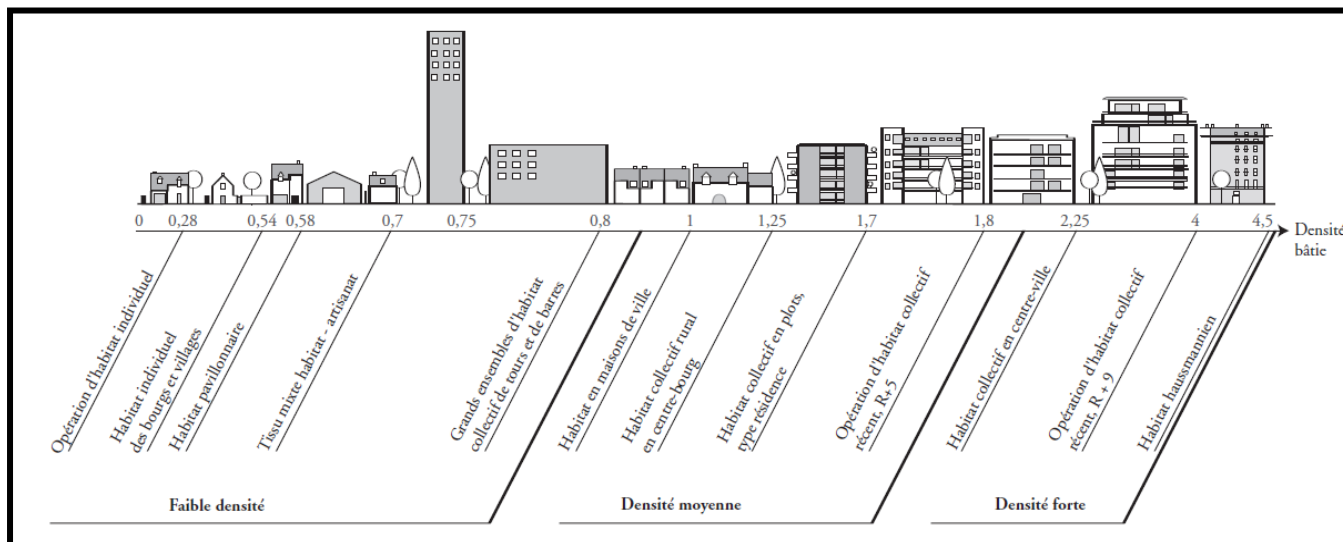
- **Densité de logement:** est exprimée par le rapport entre le nombre connu ou estimé d'habitants dans l'opération hors voirie publique ramené à l'hectare. Cette densité est exprimée en nombre d'habitants par hectare.
- **Coefficient d'emprise au sol:** résulte du rapport entre la SHOB (surface hors œuvre brute) du rez-de-chaussée et la surface du terrain d'assiette hors voirie publique. Il est exprimé en pourcentage.

#### II-3-7-2-2-Modularité des formes urbaines et densité

En effet différentes formes urbaines peuvent avoir la même densité bâtie et nous verrons que de multiples formes urbaines peuvent s'adapter à une densité élevée.



**Figure III-9: les multiples formes urbaines denses** Source : (Moulinie C. Naudin-A. 2005, 4 p)



**Figure III-10: Typologie du bâti et densité nette.** Source : (Moulinie C. Naudin-A. 2005, 4 p)  
**II-3-7-3-Etalement urbain**

Les débats autour de la densité font souvent le lien avec l'étalement urbain, ou l'effet « tache d'huile ». Le processus d'étalement urbain traduit une mutation de la morphologie urbaine traditionnelle. Au niveau des formes, de la morphologie urbaine, l'étalement spatial, qui est la tendance actuelle la plus répandue des grandes villes, il se caractérise par une forte consommation de sol de longs déplacements, est rendue responsable des dégradations environnementales et par corollaire de la dégradation des conditions de la qualité de vie des populations urbaines.

A l'inverse, la forte concentration des hommes des activités sur un espace restreint, peu aussi conduire à de graves problèmes de congestion, contrariant ainsi les objectifs écologiques, la sauvegarde de l'environnement et par là, la qualité de vie urbaine.

L'étalement urbain se définit comme étant un développement dispersé à l'extérieur des centres urbains, le long des routes en milieu rural et dérive d'une expression venant des Etats-Unis : « urban spraw ». Il se caractérise globalement par une consommation abusive du sol, de faibles densités d'occupation, une forte dépendance de l'automobile, une fragmentation des espaces se traduisant par de grandes séparations spatiales entre les zones urbanisées et un paysage de dispersion, une séparation des différentes fonctions en aires distinctes et isolées les unes des autres, une carence d'espaces publics de centres communautaires.

Cet étalement urbain est, en fait, le produit de la croissance rapide de l'urbanisation périurbaine depuis la deuxième moitié du XXe siècle, il résulte de plusieurs facteurs qui en se combinant entre eux, multiplient les effets du phénomène. Parmi ces facteurs, les plus déterminants sont : en définitive, dans la plupart des grandes villes, le développement de l'automobile, la recherche d'un habitat individuel associée à la croissance à l'extension des activités en périphérie urbaine, ajoutés à la croissance urbaine au foisonnement de l'habitat illicite dans certains cas, conduisent vers un nouveau modèle de ville.

#### ***II-3-7-4-La rugosité urbaine***

La rugosité du tissu urbain est caractérisée par la hauteur moyenne de la canopée urbaine, constituée par les surfaces bâties, les surfaces végétales verticales et horizontales, et les surfaces non bâties (Adolphe, 1999).

Comparativement à la densité du bâti, la rugosité du tissu urbain peut être assimilée à une densité verticale car l'élément déterminant est ici la hauteur du bâti.

L'évaluation de cet indicateur nécessite en amont un inventaire de la hauteur des bâtiments de chaque périmètre de calcul.

#### ***II-3-7-5-La porosité urbaine***

La ville est considérée comme un milieu poreux, avec des pleins (les bâtiments) et des vides (hiatus entre les bâtiments). Cette porosité varie graduellement en fonction de l'altitude : le milieu est davantage poreux à proximité du faîtage des toits qu'au niveau de la rue.

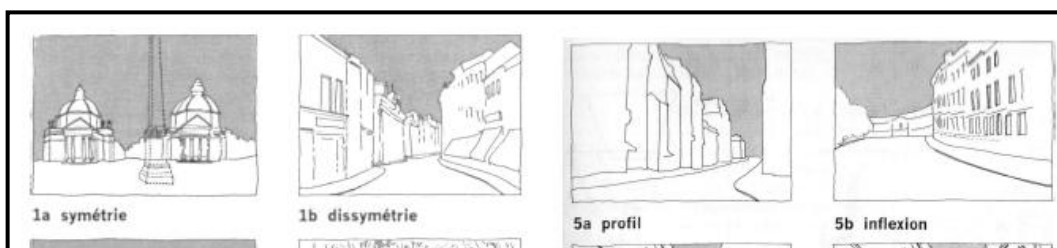
Cependant, l'indice de porosité, défini comme le rapport de la surface construite à la surface totale de la zone ne renseigne pas de manière suffisante sur la complexité de la morphologie urbaine. En effet, nous remarquons une ambiguïté par rapport à notre thématique la disposition, l'orientation, l'écartement entre les bâtiments ne sont pas pris en compte par la porosité, un espace intérieur, comme une cour, est pris en compte de la même façon qu'une rue ; or ces deux espaces libres ne contribuent pas de la même façon au processus de diffusion de polluants. Toutefois, ce calcul permet déjà de différencier des quartiers plus ou moins favorables à l'accumulation de polluants.

$$\text{Indice porosité} = \frac{\text{surface construite}}{\text{surface totale de la zone}}$$

### **II-4- Les méthodes d'analyse urbaine :**

#### **II-4-1-Analyse séquentielle**

PANERAI.P s'est intéressé à l'étude des séquences picturales pour l'analyse des espaces ouverts urbains. Pour lui la ville est appréhendée de l'intérieur par une succession de déplacements, cette approche permet d'étudier les modifications du champ visuel d'un parcours (Panerai.P, 2002). (Figure III-11).



*Figure III-11:l'analyse séquentielle de Panerai.(Source : Panerai, 1999)*

Panerai adapte la notion du plan séquence inspiré du cinéma qui correspond à des dispositions schématiques codifiées du paysage. Il montre que le parcours peut se découper (composé) en un certains nombres de séquences, chacune est constituée par une succession de plans. Le passage d'un plan à l'autre peut se faire d'une manière continue avec une superposition de deux plans dans une partie de parcours. Leur méthode nous permet d'introduire un véritable langage basé sur la notion de plan et de séquence que nous pouvons faire correspondre à ce qui est perçu de l'environnement urbain.

#### II-4-2-Analyse pittoresque

C'est un mode de perception de paysage urbain et en particulier l'espace public. L'étude pittoresque est une analyse des attributs de l'environnement construit par leur décomposition en figures ou bien en tableaux. Elle enregistre en premier lieu ce qui est vu et perçu, puis tenter de l'interpréter. Elle permet de tester le projet urbain dans ses différentes phases par à l'aide des figures et l'évaluation des effets obtenu (par exemple telle figure provoque tel effet), autrement dit c'est un mode de contrôle de projet urbain. Cette méthode d'analyse apparaissait de la volonté de mettre en valeur les formes urbaine irrégulières (celles des villes médiévales et classiques).

A la fin de XIXème siècle au début de XXème siècle et avec la naissance de l'urbanisme moderne, les urbanistes cherchaient de trouver d'autres sources d'inspiration par la prise en compte de leurs patrimoines nationaux, l'analyse pittoresque venait pour aider à analyser les formes médiévales, donc l'analyse pittoresque est un mode logique d'appréhension du pittoresque médiéval. (Ben ammar. A, 2011). Camillo SITTE et Raymond UNWIN s'intéressaient à cette méthode dans le but de s'appréhender de nouveaux modèles, de nouvelles esthétiques. SITTE s'est intéressé par les villes médiévales telles que

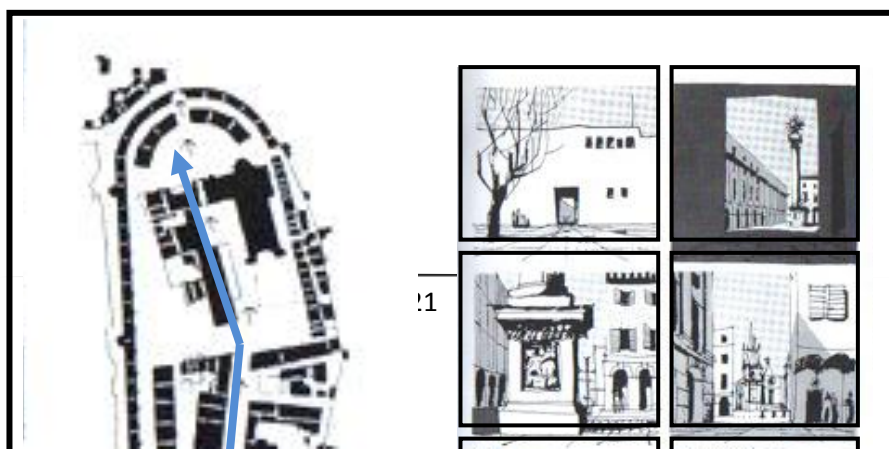
l'Allemagne et l'Italie médiévale, il a cherché de trouver des nouveaux principes de conception urbaine, il a étudié les éléments de l'environnement physique dans son contexte générale, et de cette étude SITTE a tiré des règles de conception urbaine :

- 1- L'espace urbain ouvert comme point central de la ville en termes de conception de fonction.
- 2- La vie publique dans l'espace public est un point crucial en concevant l'espace ouvert.
- 3- Adopter l'irrégularité comme principe de conception de l'espace ouvert.
- 4- Le centre de l'espace ouvert est toujours libre.
- 5- La clôture est importante dans l'espace ouvert.
- 6- L'utilisation d'un passage arqué ou des colonnes pour améliorer le rôle de la clôture.
- 7- On peut déterminer le positionnement des équipements principaux la configuration de ses façades à travers la forme et la taille de l'espace ouvert.
- 8- L'espace grand ouvert avec le bâtiment principal large avec la basse façade sur une rue large.
- 9- L'équilibre des masses bâties résulte un rythme et un calme malgré l'irrégularité de l'espace. (Mazouz.S, 2011).

De sa part UNWIN a pensé qu'à travers cette méthode d'analyse, on peut pénétrer les secrets de la beauté implicites dans les tableaux pittoresques produits de la combinaison des plans des villes médiévales. (Ben ammar.A, 2011).

Après la seconde guerre mondiale, et l'apparition de mouvement moderne, cette méthode a été renouvelée par des architectes anglais plus particulièrement Gordon CULLEN, l'inventeur de la notion « townscape = paysage urbain », cette notion apprécie la continuité urbaine ainsi que la diversité architecturale, elle tente de mettre en valeur les formes urbaines traditionnelles. Cullen s'est basé dans ses études sur la manipulation des éléments qui ont un impact émotionnel sur l'individu, il a essayé de reprendre, de répertorier puis analyser les éléments principaux de paysage urbain, donc de les classer dans des tableaux mise en relation avec des effets psychologiques. Il pense que l'appréhension de paysage urbain passe par trois critères sont :

- La vision séquentielle dans laquelle s'enchaînent les vues existantes et la perception des vues émergentes;
- Le lieu, son site, sa relation au ciel;
- La définition architecturale (le caractère, la matérialité...etc.). (Ben ammar.A, 2011).



*Figure III-12: la vision sérielle par Cullen* (Source : Cullen, 1961)

La vision sérielle de Cullen est une simple proposition qui se constitue d'une série de croquis arrangés dans une séquence tout le long d'un parcours. La séquence est accompagnée avec des plans indiquant les éléments perçus sur la perspective prise.

Les études de Cullen furent un échec car il ne propose pas ses études comme théorie mais il les a présentées juste en images et en croquis,

#### ***II-4-2-1-Principes d'analyse :***

Précédemment défini, l'analyse pittoresque est l'analyse immédiate de l'environnement construit, elle dépend de la mémoire, de l'imaginaire de chaque utilisateur (promeneur). L'appréciation d'un tableau urbain est la compréhension de ce qui est vu dans un moment donné et de ce qui a été vu ou de ce qui devrait être vu (l'analyse de ce qui est perçu et de ce qui est caché). (Ben ammar.A, 2011).

#### ***II-4-2-2-Méthode d'analyse :***

L'analyse pittoresque se base sur la décomposition de paysage urbain en éléments puis la définition du rôle de chaque élément. Les éléments de paysage urbain sont :

- Les plans (les surfaces) : qui constituent les écrans qui ferment les vues d'un part et d'autre part ils sont des guides pour canaliser les vues<sup>1</sup> ;
- Les éléments volumétriques, linéaires et ponctuels qui constituent l'ossature urbaine tel que les rues, les bâtiments...etc ;
- Les derniers éléments sont des éléments exceptionnels tel que les arbres, les monuments...etc. (Ben ammar.A, 2011).

#### II-4-3-L'analyse paysagère:

L'approche paysagère est une approche qui se base sur la qualité de paysage de l'espace public, aussi bien physique que sensoriale, les composantes physiques de cet espace constitue le bon paysage.

Les paysagistes jugent que le confort visuel de l'environnement bâti est relatif aux qualités physiques constituant cet environnement, depuis quelques années leur contribution à l'aménagement et la gestion des espaces public s'est considérablement développé, « ils tentent de contribuer à l'élaboration des politiques pour l'aménagement des espaces publics, par la création de leurs propres outils, ils ont ajouté donc une autre nouvelle lecture de l'espace public « le paysage comme espace public », « *Le rôle du paysagiste n'est pas de contredire l'urbanité volontaire en ponctuant la ville d'îlots de « fausse vraie nature ».* Il doit avec des matériaux propres à l'urbain, recréer de toutes pièces un cadre qui, par référence donne à la ville des capacités émotives identiques à celles rencontrées dans la nature...La ville est un paysage en soi, nouvelle nature qui porte en elle des valeurs d'échange de spectacle comparable à celle des sites naturels. Il faut au paysagiste des valeurs comparables à celle de l'architecte pour les volumes

Les points résultant de cette étude paysagère sont ;

- La distinction, entre l'environnement et le paysage, entre l'ordre factuel de l'écologie et l'ordre sensible et symbolique
- La rupture avec la géographie des territoires : le paysage urbain doit percevoir les catégories du passage, de l'instabilité, de l'espacement et de la mitoyenneté qu'avec celle du site et du lieu. (Salamon.J, 2004)

Après la première guerre mondiale, les dégâts incalculables commis par la guerre ont poussés une profession conservatrice à évoluer vers la ville et l'espace, les paysagistes ont essayé de changer leur réflexion.

#### II-4-4-Analyse spatiale selon Pinon :

PINON.P dans son livre *lier et composer l'espace public* propose trois approches d'analyse spatiale de l'espace urbain, il était conscient d'apporter une partie de la vérité comme une carte d'identité de l'espace public. « Composer l'espace public c'est créer, ménager des relations entre des espaces, compromettre des formes entre elles, c'est le contraire d'imposer des formes ou des objets étrangers aux lieux...Composer un espace public c'est répondre à un usage nouveau ou répondre mieux à un usage existant » (Pinon, 1991), pour lui les trois modes de l'analyse urbaine sont :

- L'analyse morphologique qui permet la compréhension de la forme urbaine par une décomposition de cette forme et une analyse des caractéristiques formelles de ses composants.
- L'analyse pittoresque, mode de perception de paysage urbain et en particulier des espaces publics, par sa décomposition en figures ou tableaux.
- La lecture historique : qui complète les deux précédentes approches. pour fournir des éléments de culture et des références dans la démarche de conception il faut bien connaître les conceptions de l'espace urbain aux différentes époques de leur évolution au cours de l'histoire.

## **II-5-Les méthodes en la morphologie urbaine :**

Ses méthodes sont variées selon la nature et l'échelle des éléments étudiés, (Alain.R, 2004) cite trois méthodes :

- La morphologie historique :

C'est une sorte d'archéologie urbaine elle consiste à la décomposition des extensions des modifications successives des villes. Pour mieux comprendre la mise en place de la forme urbaine actuelle.

- La morphologie fonctionnelle :

Elle consiste sur l'évaluation de la pertinence des formes et leur efficacité du point de vue des activités et de flux.

- La morphologie normative :

Elle touche le côté social par l'étude des liens entre les valeurs humaines ainsi que la qualité de la vie quotidienne des habitants pour mieux déterminer la bonne forme.

## **II-6-La dimension de l'analyse de la forme urbaine**

La forme urbaine est analysée tantôt de façon uni-dimensionnelle, tantôt de façon multi-dimensionnelle (il n'existe pas d'accord sur le nombre de caractéristiques à prendre en considération). Sitte, on le sait, accordait la primauté aux espaces vides (places, rues). Cette position survit encore à travers les positions de Richot, Feltz et al. (1985): « En théorie, la ville c'est d'abord un trou... » À l'encontre de cette tentative d'isoler l'essence de la ville, il existe toute une série de travaux revendiquant une analyse multi-dimensionnelle de la ville.

En ce sens, (Pinon, 1988) rappelle que toute analyse morphologique distingue trois niveaux: le réseau viaire, le parcellaire, le bâti. Mais ces niveaux ne doivent pas être pris pour des éléments objectifs de la forme urbaine. Ce sont plutôt des composantes analytiques, qui émanent en cela d'une méthode, mais qui peuvent être réduits ou augmentés à volonté, en fonction du degré de finesse escompté. Ainsi, Boudon, Chastel et al. (1977) ont plus particulièrement axé leur étude sur la division parcellaire. Merlin indique pour sa part que l'étude morphologique comprend sept composantes.

Il faudrait ajouter à la liste donnée supra, le site, le rapport entre les espaces construits non construits, décomposer le niveau du bâti en trois paramètres: dimension, forme, et style des bâtiments. Toutes ces composantes ont leur importance. Mais on ne sait toujours pas si elles se rapportent à la forme urbaine ou au tissu urbain.

## **II-6-Les outils de l'analyse spatiale**

Il est nécessaire, dans l'analyse de la forme urbaine à partir de technique d'analyses particulières et appropriées (à chaque registre) de s'appuyer sur des outils de description, de formes. Selon la problématique l'objectif de l'étude, qui sont souvent limités à la représentation cartographique, au plan de la ville, le seul document privilégié pour l'analyse morphologique, c'est d'élargir à d'autres modes de représentation (3D, coupe,



photo, vidéo, NTIC...) pour enrichir les matériaux d'étude, pouvoir saisir d'autres dimensions de forme et de sens sur les divers registres.

### ***II-6-1-Cartes photos et image :***

Le premier contact avec la morphologie urbaine est l'étude de la carte topographique (au 1/50000 puis au 1/25000). Celle-ci reste un instrument privilégié. Réalisée à partir de photographies aériennes verticales, elle en est une synthèse épurée simplifiée, et rendu plus lisible.

Le retour aux plans cadastraux aux photographies s'impose cependant pour déterminer certains détails.

- Les progrès de la télédétection ont rendu plus indispensable l'utilisation des images satellitaires.
- Les photographies aériennes verticales et obliques notamment à basse altitude complètent l'analyse détaillées du tissu ; elles peuvent être intégrées à des images ou permettre des simulations.

La combinaison de ces données avec celles d'autre source (models numériques, de terrain, cadastre, documents d'urbanisme...) est traitée par les SIG (systèmes d'information géographique) permet des progrès considérables de l'analyse complexe a différent échelles et représentations en relief, en perspective qui donne au x aménageurs des outils puissants mais couteux.

### ***II-6-2-Le cadastre***

Ses matrices, ses plans sont irremplaçables pour visualiser le détail des traces et les structures parcellaires et leur évolution.

Le plan cadastral permet de visualiser la formation des voies, le parcellaire et les emprises bâtis. C'est aussi la seule source fiable pour suivre l'évolution d'un tissu à partir des propriétés initiales jusqu'à la parcellisation en lotissement. Il permet aussi de suivre la transformation du bâti.

### ***II-6-3-Représentation 3D***

Les vues axonométriques donnent une vision globale des formes urbaines en 3 dimensions sur un même dessin : en plan, en coupe et en élévation. Elles se basent sur un dièdre de référence.

La modélisation « 3 D » permet de visualiser sous une forme simplifiée la volumétrie des ilots urbains et des édifices. On peut aussi faire des simulations pour s'assurer de la cohérence spatiale des projets (respect de point de vue, effet d'axe...) ou de déconstruire progressivement le tissu urbain en remontant dans le temps, en supprimant progressivement les éléments de chaque époque.

Enfin la maquette très chère est longue à réaliser n'a toujours pas été égalée, la technique est réalisée pour la représentation des villes des quartiers ou projet d'urbanisme

## CONCLUSION

Ce chapitre a traité la morphologie urbaine d'une façon détaillée. Fût entamé par la définition des notions liées à l'étude de la forme physique de la ville. Ensuite, ont été présenté les différentes approches qui traitent la forme urbaine.

les études de la morphologie urbaine se sont heurtées a une double aporie selon (levy albert,2005) :

- limitation de la forme urbaine a certains point de vus exclusifs uniquement.
- approche cloisonnée et sectorielle des diverses études spécialisées sur la forme urbaine.

C'est a ces contradiction que les chercheurs, on tenté de répondre en introduisant de nouveaux registres de forme qui ont été cité dans ce chapitre, qui vise a élargir le champ de l'étude de la forme urbaine et ne plus se limité a l'étude de système de production de l'objet de la forme urbaine « la ville » a une simple étude descriptive, il faudrait aussi l'articulé a d'autre branches auxiliaires car les villes sont des systèmes ouverts qui interagissent en permanence avec l'environnement pour cette raison il faudrait introduire de nouveau outils dans son analyse . Dans le prochain chapitre on tentera d'exposer les différentes recherches qui traitent l'espace urbain dans sa dimension environnementale, et plus précisément l'interaction de la ville avec le microclimat urbain et les polluants atmosphériques.

# **Chapitre 4**

## **Etat de l'art sur la dispersion des polluants atmosphériques**

## INTRODUCTION

Le milieu urbain est particulièrement sensible à toute forme de pollution parce qu'il concentre sur une petite surface de très nombreuses activités humaines. La densité de population importante de toute ville multiplie de manière quasi intolérable la concentration des polluants de l'air. En particulier, la circulation automobile et le chauffage domestique produisent des quantités importantes de dioxyde d'azote et de soufre, et corollairement d'ozone lors des jours de grande insolation. Il est donc particulièrement important de mesurer de manière précise leur concentration dans l'air des villes.

Les villes sont des systèmes ouverts, c'est-à-dire des systèmes qui interagissent en permanence avec leur environnement, dont les éléments constitutifs sont également en interaction et par conséquent interdépendants. Pour gérer cette complexité, les décideurs, les concepteurs et les gestionnaires de la ville ont besoin de méthodologies, d'outils de représentation et d'évaluation pour comprendre les phénomènes qui sont à l'œuvre, pour comparer des scénarios possibles ou probables, pour faire des choix et pour agir.

A travers ce chapitre, nous allons essayer de présenter quelques études analytiques et expérimentales récentes, qui ont traité l'influence de la ville ou du bâtiment isolé sur la dispersion de la pollution atmosphérique, à travers lesquelles on développera notre méthodologie de recherche dans la deuxième partie de ce chapitre.

## **I- ETAT DE L'ART DES APPROCHES ET DES METHODES :**

### **I-1-L'expérimentation de Katzschner (1988)**

L'étude de Katzschner concernant la ville de Hannoversch-Münden (Allemagne) se focalise sur la ventilation au sein de la ville et par voie de conséquence sur la dispersion des polluants. Une cartographie de la ville avec les zones de faibles ou fortes ventilations et les couloirs de ventilation permet à Katzschner (1988) de conclure que Hannoversch-Münden peut difficilement accueillir des industries polluantes à ses alentours sans risquer une pollution de l'air importante. Cette étude montre que de telles cartographies peuvent être mises en relation avec le zonage effectué régulièrement en aménagement urbain. (M. Colombert, 2008).

### **I-2- L'expérimentation de Golany (1996)**

Dans son article, Golany part du principe que si les spécialistes en climatologie nous pourvoient en grand nombre de données sur le climat urbain, c'est aux professionnels de la ville et non aux spécialistes en climatologie d'appliquer et de traduire ces données en outil d'aménagement. Son article aborde ainsi la relation entre la morphologie urbaine et les performances thermiques de la ville. Pour Golany (1996), chaque région climatique nécessite une forme et une configuration urbaine distincte contribuant à la fraîcheur ou chaleur nécessaire du milieu. Ce sont les urbanistes et architectes qui sont responsables de cette mise en pratique, de cette conception des formes adéquates.

Tout comme Bitan (1992), Golany (1996) note l'importance du choix du site d'implantation de la ville et ses conséquences sur les performances thermiques de la ville, son économie, son confort, la consommation énergétique la qualité de l'air, la santé de ses habitants, et la stabilité communautaire. L'altitude, la température du vent, le refroidissement par évaporation, la ventilation urbaine, la pente, la brise marine, les risques d'inondation, l'orientation, ou encore la forme et la consistance du sol, tout ces aspects ont leur importance dans le choix de l'implantation, et ce avec plus ou moins d'importance selon la région climatique.

### **I-3- L'expérimentation de Givoni (1998)**

Il s'est intéressé aux considérations d'ordre climatique dans le bâtiment et l'aménagement urbain. Son ouvrage, conséquent, aborde à la fois la climatologie du bâtiment (notions de confort intérieur, éléments architecturaux influençant le confort intérieur, propriétés des matériaux et performance thermique des bâtiments, les systèmes de chauffage passif au soleil, le refroidissement passif, ou encore les caractéristiques climatiques de maisons types) et la climatologie urbaine (caractéristiques générales, effets de l'aménagement urbain, ou encore effets des espaces végétalisés) avant de proposer des indications pour la construction des bâtiments et l'aménagement urbain.

La structure d'une ville peut être contrôlée par la planification urbaine et l'aménagement urbain ; il est alors possible selon Givoni (1998) de modifier le climat urbain par le biais des règles d'urbanisme et par la conception des zones périurbaines voisines et des

nouvelles villes. Il met ainsi en avant différents critères tels que la localisation géographique de la ville, sa taille, la densité de constructions, la nature de la surface, la taille des bâtiments, l'orientation et la largeur des rues, etc. Ses indications, qui concernent quatre types de climat (chaud et sec, chaud et humide, froid, et froid en hiver, chaud et humide en été), abordent à la fois le bâtiment et l'aménagement urbain, avec cependant une forte prédominance du premier. Cette dernière partie s'apparente plus à un ensemble de règles de bon sens qu'à une analyse des conséquences d'une transformation du cadre bâti.

#### **I-4- L'expérimentation de Scherer *et al.* (1999)**

Ils se sont intéressés aux concepts et méthodes pour analyser et évaluer le climat urbain dans un but d'optimisation des procédés de planification urbaine. Ils se sont plus particulièrement intéressés à la région de Bâle (Suisse) et ont produit des cartes climatiques de cette région (distinguant plusieurs types de secteurs) pour permettre aux aménageurs de prendre en compte le climat urbain et ses interactions avec les structures urbaines. Pour chaque section climatique, un guide d'aménagement abordant les questions de ventilation, de qualité de l'air et de conditions thermiques a été proposé.

#### **I-5- L'expérimentation de Meroney *et al.* (1999)**

Meroney *et al.* ont évalué les configurations de dispersion et d'écoulement autour de bâtiments de formes variées dans le cadre d'expériences en soufflerie. Les essais de visualisation de l'écoulement ont révélé que les zones de recirculation sont intermittentes, de sorte que la direction de l'écoulement à un point donné sur un toit peut fréquemment passer d'au vent à sous le vent. Les auteurs avancent que l'inexactitude des estimations de dispersion issues de la dynamique des fluides numérique s'explique, du moins en partie, par l'absence d'intermittence dans le modèle numérique.

#### **I-6- L'expérimentation de Adolphe, (2001)**

Se propose de définir des indicateurs qui prennent en compte les variations « microscopiques » d'un fragment urbain. En opposant la régularité apparente des villes de fondation comme les bastides et les établissements coloniaux à « l'organicité » des plans de villes médiévales, l'auteur conclut que la forme urbaine se présente le plus souvent dans des formes complexes et répond rarement à un schéma répétitif.

L. Adolphe, pour définir les indicateurs, assimile le fragment urbain à un milieu poreux contenant un « squelette » solide et rigide constitués par les éléments bâtis. De cette analogie il conclut à la possibilité d'appliquer à la forme urbaine des paramètres simplifiés pour étudier ses caractéristiques macroscopiques, et ce à l'exemple de travaux comme ceux de (Zwicker *et Kosten*, 1949).

Il réduit ainsi la complexité de la morphologie urbaine à un modèle défini par neuf indicateurs classés selon les phénomènes physiques dont ils sont caractéristiques : densité, rugosité (absolue et relative), sinuosité, porosité, compacité, continuité, occlusivité, admittance solaire, et minéralisation. Sans aller jusqu'à valider la pertinence de ces indicateurs ou tenter leur application dans une perspective de prédiction des paramètres microclimatiques (perspectives formulées par l'auteur), l'auteur démontre leurs pertinences à différencier des tissus urbains ou à mettre en évidence les variations dues à une transformation urbaine (par exemple l'effet d'une percée « haussmannienne »). Il prend

pour cela trois échantillons de tissus : organiques, en damier et un tissu aux éléments bâtis assez isolés. (Benzarzour, 2004, p238).

#### **I-7- L'expérimentation de Adolphe *et al.* (2002)**

Ont travaillé sur le projet SAGACités (Système d'Aide à la Gestion des Ambiances urbaines) dont l'un des objectifs était de mettre en relation et perspective les données recueillies par le biais de mesures in situ, celles obtenues par les outils de modélisation physique de la qualité environnementale des espaces urbains (modélisation thermique, thermographies, modélisation aérodynamique, modélisation de la dispersion des polluants atmosphérique etc.) à des échelles plutôt micro, des indicateurs objectifs (densité de bâtiments, taux de minéralisation, densités de sites propres, densités d'espaces verts par habitant, énergie pour le chauffage, etc.) et des indicateurs subjectifs liés à la perception qu'en ont les usagers, et tout cela dans une approche croisant technique, social et environnemental. Le modèle issu de ce projet a été mis en œuvre dans un outil d'aide à la décision pour les gestionnaires urbains, qui s'appuie sur un Système d'Informations Géographiques (SIG).

Ce projet, dont les deux thèmes étaient le microclimat et l'énergie, a nécessité la collaboration entre des architectes, des ingénieurs et des sociologues, permettant ainsi une approche pluridisciplinaire. L'échelle principale était l'échelle locale du quartier mais la relation avec les autres échelles géographiques, de l'espace public à l'agglomération, était également prise en compte. Le projet proposait au final une plate-forme informatique permettant le suivi de projets urbains existants (une forme de tableau de bord environnemental), la comparaison (intra ou inter-urbaine) entre sites, et la construction de scénarii de conception d'espaces urbains prenant en compte des enjeux environnementaux (centrés sur les paramètres énergétiques et microclimatiques), mais aussi sociaux et perceptifs.

#### **I-8- L'expérimentation d'Ait-Ameur (2002)**

A mené une étude paramétrique à Toulouse et Blagnac (France) ou plusieurs échantillons urbains (rues, places,...etc.) ont été analysés ; l'objectif de cette recherche était de développer une méthodologie permettant de matérialiser la relation entre la morphologie urbaine et le climat par des paramètres physique appelés indicateur morpho-physique. Ait-Ameur a présenté dans ce sens, dans son travail de thèse, quatorze indicateurs, appliqués soit à l'espace urbain soit à l'échelle d'un tissu. L'auteur a effectué des mesures sur plusieurs sites de la température de l'air, de l'humidité relative, et de la vitesse de l'air pour tester la sensibilité des variations des indicateurs d'un site à un autre.

A l'échelle du tissu urbain, les indicateurs définis étaient : la densité du bâti, le pourcentage de minéralisation, le taux de percement horizontal d'un tissu urbain et sa rugosité. A l'échelle de l'espace urbain elle définissait comme indicateurs: le prospect équivalent d'un espace, la longueur équivalente, les facteurs d'obstruction minérale, le facteur d'ombre portée, la fraction de masque, la densité minérale, la densité végétale, le taux d'emprise des obstacles urbains dans l'espace, le taux de vitrage de la façade et l'albédo des surfaces. K.Ait-Ameur présenta aussi un état de l'art sur les différents indicateurs morphologiques, définis par plusieurs auteurs, qui illustre bien la diversité qui peut découler d'objectifs liés à divers phénomènes physiques dans la formulation des indicateurs « morphologiques » (Ait-Ameur 2002, pp. 91-115).

### I-9- L'expérimentation de Benzerzour et al. 2003

Pour l'étude de la pollution atmosphérique à la ville de Nantes ont évoqué la possibilité de rapprochement entre l'ouverture directionnelle et les données d'entrée d'un modèle de simulation de la pollution automobile dans les rues, qui est le modèle OSPM « Operational Street Pollution Model » (Berkowitz 1999). Ce modèle se base sur une conception en «canyon» des rues (figure IV-1).

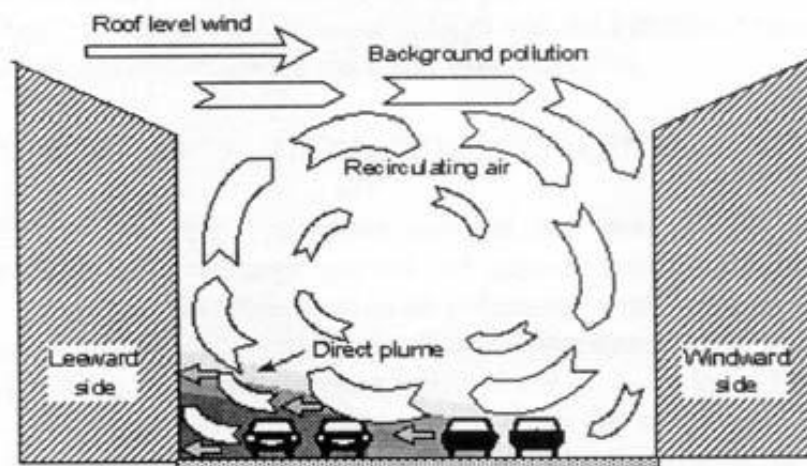


Figure IV-1 : Le modèle de rue utilisé dans « OSPM ». Source : (Berkowitz 1999)

En appliquant le modèle OSPM, cette recherche visait la constitution d'une base de données sur la géométrie des rues, pour l'évaluation de la pollution des rues, on a été confronté à la nécessité de traduire une forme de rue complexe dans les termes du modèle (comme cela fut le cas pour le modèle TEB). Les paramètres géométriques pris en compte par le modèle

OSPM, sont la largeur de la rue, la hauteur moyenne des bâtiments, la largeur et la longueur des vides le long de la rue et la longueur de la rue étudiée. La conclusion principale du travail de simulation des rues de la ville de Nantes a été de constater la grande dépendance de la simulation des polluants à la valeur du prospect des rues (tableau IV-1).

Ce qui prouve l'incidence très importante de l'ouverture des rues sur ce phénomène environnemental. On peut donc émettre l'hypothèse selon laquelle l'ouverture directionnelle peut informer du potentiel de pollution des espaces et des fragments urbains.

Varying widths of the street with bldg. exceptions

	3m	10m	15m	20m	25m
Benzene	4.963	3.245	2.836	2.452	2.317
NO	70.779	37.609	30.016	23.216	20.807
NO2	42.173	33.712	31.236	28.372	27.362
CO	0.903	0.633	0.568	0.508	0.486
NOX	150.744	91.412	77.363	64.085	59.381
O3	37.485	43.219	45.067	47.362	48.17



*Tableau. IV-1: Variation de la concentration en polluants selon différentes largeurs de rue .Source : (OSPM 2003)*

La superposition de l'ouverture directionnelle de plusieurs ensembles bâtis permet de définir (lorsque la source est à l'intérieur de cet ensemble) quel est celui qui présente potentiellement plus de bruit et de pollution atmosphérique. Ainsi plus l'espace est fermé plus il conserve le bruit et la pollution, et plus il est ouvert (et encore plus lorsqu'il est soumis aux vents dominants) moins il conservera cette pollution. Lorsque la source est à l'extérieur de l'ensemble urbain, c'est l'inverse qui se produit.

### **I-10- L'expérimentation A.T. Chan et al (2003)**

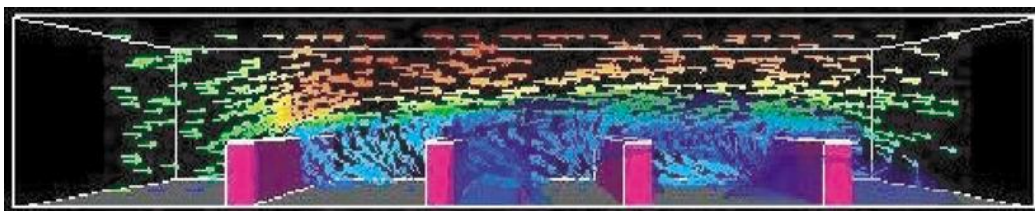
La démarche dans cette étude est d'établir plusieurs configurations de rues canyon et la relation entre bâtiments et rue afin de trouver la meilleure configuration pour améliorer la ventilation et la dispersion de la pollution atmosphérique dans une rue canyon urbaine, appliquer ces modèles sur un cas réel, élaborer des lignes directrices pour la planification urbaine et de proposer des modifications sensibles qui peuvent être effectuées pour exalter d'autres situations. Les simulations sont effectuées numériquement par le code de commerce CFX-5 du modèle de CFD eulérien. Pour la compréhension des paramètres de la canopée urbaine sur la dispersion des polluants atmosphériques différents rapports et aspects de canopées sont étudiés, à savoir:

-Pour les rues canyon (Le rapport hauteur/ largeur des rues (figure IV-2), Le ratio hauteur/ longueur, Le ratio hauteur/ largeur pour un canyon (figure a) et un carrefour (figure IV-3).

-Pour les bâtiments, (la géométrie des bâtiments (h, largeur), la disposition de bâtiments).

Et enfin l'étude sur un quartier existant à Mongkok qui est un quartier pollué et la modification des hauteurs de ses bâtiments (figure IV-4).

-L'étude sur un quartier existant à Mongkok qui est un quartier pollué et la modification des hauteurs de ses bâtiments (figure IV-5)



*Figure IV-2 : l'écoulement de l'air et la dispersion des polluants pour un prospect de la rue  $h/w=0.33$  sous le code fluent (source : Chan, 2003)*

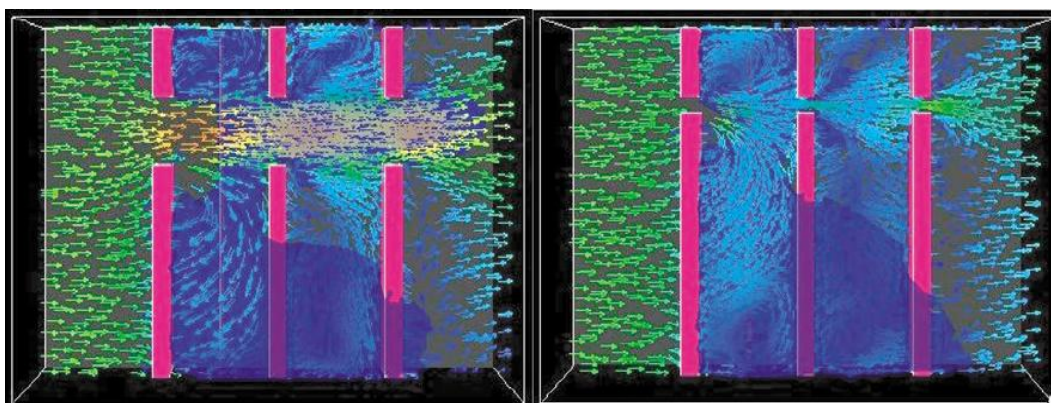
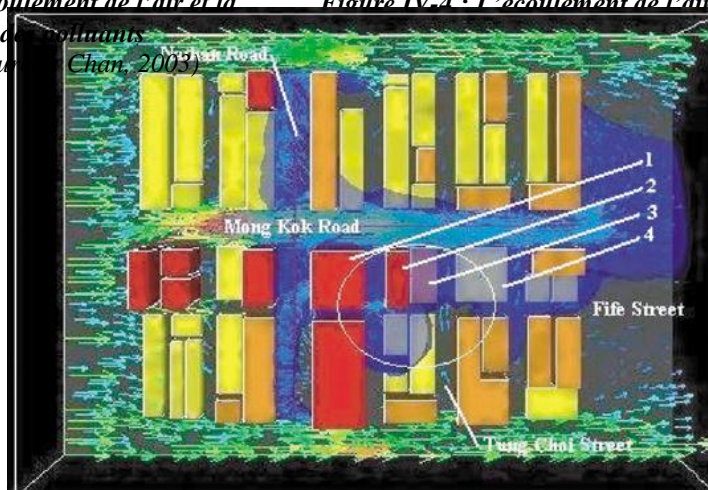


Figure IV-3 : L'écoulement de l'air et la dispersion des polluants  
 (a)  $h/c = 0.5$  (source : Chan, 2003)



2003)

Figure IV-5 : la simulation de la dispersion des polluants atmosphérique dans la configuration urbaine Mongkok. (source : Chan, 2003)

### I-11-L'étude de Vardoulakis (2003)

Dans son article Vardoulakis a déclaré que plusieurs études de modélisation et d'expérimentation sur le terrain, visant à établir la transformation et la dispersion des polluants au sein des rues canyons, d'un quartier, ou même une ville ont été réalisées dans le passé. En fonction de leurs objectifs, différentes techniques ont été adoptées comme la modélisation et les techniques de surveillance. Certaines de ces études ont été purement expérimentales, ce qui signifie la prise de mesure in situ et les mesures à l'échelle réduite et d'autres études selon modèles mathématiques qui peuvent être également trouvées dans la littérature.

Il expose les nouvelles perspectives liées à la dispersion des polluants dans les rues canyon données par le réseau de recherche européens **TRAPOS** (Optimisation des méthodes de modélisation pour la pollution du trafic dans les rues) :

- l'influence de déplacement véhicules sur la dispersion des polluants et de la turbulence dans les rues des zones urbaines (Kastner-Klein et al, 2000, 2001;.. Vachon et al, 2001),
- les effets thermiques sur le flux de dispersion et dans les canyons urbains en particulier dans des conditions de vent faible (Kovar-Pankus et al, 2001a; Louka et al, 2001);
- l'influence de la géométrie des rues sur l'écoulement et la turbulence (Kovar-Pankus et al, 2001b;. Kastner-Klein et Rotach, 2001; Leitl et al, 2001;. Chauvet et al, 2001).;
- la dispersion et la transformation des particules liée à la circulation (Le Bihan et al, 2001;. W (Ahlin et al, 2001).

### I-12- L'expérimentation de Mills (2003)

Selon Mills, la ville durable est décrite comme une ville à forte densité avec une forme compacte, permettant un accès facile aux services et une réduction des ressources

environnementales. Cependant, les fortes densités ont également des effets sur la circulation de l'air et sur la dispersion des polluants au niveau du sol. Il est concevable qu'une ville compacte réduise certes les émissions de polluants mais elle augmente en parallèle l'exposition des citoyens aux polluants.

Dans son article, Mills tente d'évaluer les conflits créés par différentes solutions d'aménagements proposées pour mener à une ville idéale du point de vue météorologique. Il distingue ainsi trois échelles de conception – le bâtiment, le groupe de bâtiment (ou quartier) et l'échelle de l'implantation urbaine – et pour chacune de ces échelles, des objectifs généraux sont assignés (tableau IV-2). Il existe des outils, ou des éléments clés, de conception disponibles pour chacune de ces échelles permettant de répondre aux objectifs. Cependant, des limites existent quant au choix de ces outils et les décisions prises pour une certaine échelle ont un impact sur les autres échelles.

Objectif	Impacts	Limites		
		Bâtiments	Groupes de bâtiments	Implantation
Confort intérieur	<b>Bâtiments</b>	Localisation Matériaux Design (e.g. forme, orientation, etc.)	Accès à la lumière, à l'énergie solaire, au vent Qualité de l'air	Codes du bâtiment
Confort extérieur Santé en extérieur	<b>Groupes de bâtiments</b>	Changement climatique local : Emissions Matériaux/surfaces Dimensions du bâtiment – interférence des flux et zones d'ombre	Emplacement des bâtiments Aménagement, paysage, matériaux et surfaces extérieurs Dimensions et orientation des rues	Guides sur les densités, les hauteurs, les usages, les espaces végétalisés
Utilisation de l'énergie Qualité de l'air Protection contre les extrêmes	<b>Implantation</b>	Efficacité énergétique Qualité de l'air Effet du climat urbain	Mode et intensité des flux du trafic Efficacité énergétique Qualité de l'air Effet du climat urbain	Zonage Etendue et forme globales Politique des transports

*Tableau IV-2 : Résumé des outils (diagonale en gris) utilisés aux échelles du bâtiment, du groupe de bâtiment, de l'implantation urbaine, pour répondre aux objectifs climatiques à ces échelles. (Source :Mills, 2003).*

### I-13-L'expérimentation de Benzerzour (2004)

Dans son étude de la relation existant entre la transformation urbaine et le microclimat urbain, la rue canyon excluait la complexité de la forme urbaine, et ne pouvait inclure, de par sa définition, les possibles variations pouvant exister d'une rue à une autre, comme l'hétérogénéité des parois d'une rue par exemple, alors que la réalité urbaine fait en effet que l'ensemble des modèles de formes urbaines (organique, en damier ou moderne...) coexistent dans un même territoire, pour cela il explique la pertinence dans son étude du centre de Nantes du choix d'une approche qui consiste à étudier des formes urbaines réalisées, non « artificielle », celle-ci est l'approche monographique, propose d'observer les transformations urbaines telles qu'elles se réalisent et non à partir de modèles connus de formes urbaines, et de définir les différents types d'interventions morphologiques qui visaient la régulation de l'air, de l'humidité, du soleil, de la lumière naturelle et de la « pollution » des espaces urbains (Tableau IV-3).

La période historique qu'il a choisi d'analyser s'étend de la fin du Moyen Âge à l'époque contemporaine, qui correspond généralement, mais pas toujours, à quatre périodes successives de l'histoire des villes : la ville médiévale, la période des Lumières, la ville moderne et enfin la ville contemporaine.

Types d'intervention	Périodes	Intentions microclimatiques	Interventions sur la forme urbaine	Modalités
1. Adaptation spatiale	... Jusqu'au XVII <sup>ème</sup> siècle	Eloignement des sources et des espaces malsains	Choix d'une situation spatiale pour habiter dans la ville intra-muros selon : - La hauteur des édifices (abandon des RDC) - La rue (voir toponymie) - Le quartier (ouvriers, religieux...) - La topographie (rivière, hauteurs de la ville)	- Différenciation spatiale de la qualité du microclimat urbain : d'un étage à un autre, d'une rue à une autre, d'un quartier à un autre, ou d'une situation topographique à une autre. - Différenciation foncière des parcelles selon leur qualité microclimatique.
2. Ajustements morphologiques	Siècle des Lumières au XVIII <sup>ème</sup> à la reconstruction des villes au XX <sup>ème</sup> siècle	Améliorer l'accessibilité de l'air.	- Destruction des saillies - Elargissement des rues selon une ligne droite (alignements) - Limitation des hauteurs de rues selon leurs largeurs. (prospects) - Percées de rues nouvelles avec des directions nouvelles	- Ouverture progressive des vides urbains
		Favoriser le rejet de l'air pollué vers l'extérieur des villes	- Pavage des sols - Comblement des fossés - Comblement des cours d'eau malsains (égouts à ciel ouvert) - Enterrement des réseaux d'évacuation d'eau	- Minéralisation et imperméabilisation des surfaces
		Eliminer les sources malsaines	- Densification verticale - Inversion des rapports « plein- vide » - Choix des orientations des parois	- Nouvelle forme d'ouverture du vide urbain (étalement)  - Espaces verts considérables
3. Nouvelles formes urbaines	XIX <sup>ème</sup> et XX <sup>ème</sup> siècle	+ d'air naturel + de logements		
4. La ville contemporaine	XX <sup>ème</sup> siècle	- Réduire l'étalement des espaces bâtis - Economiser l'énergie - Augmenter les surfaces plantées	- Economiser l'espace - Densifier la ville existante - Optimiser la constructibilité des vides urbains existants	- Nécessité d'optimisation - Quels connaissances ? - Quels outils ?

**Tableau IV-3 : tableau synthétique des modes d'intervention sur la forme urbaine visant la régulation du microclimat urbain et l'air. (source : Benzerzour, 2004)**

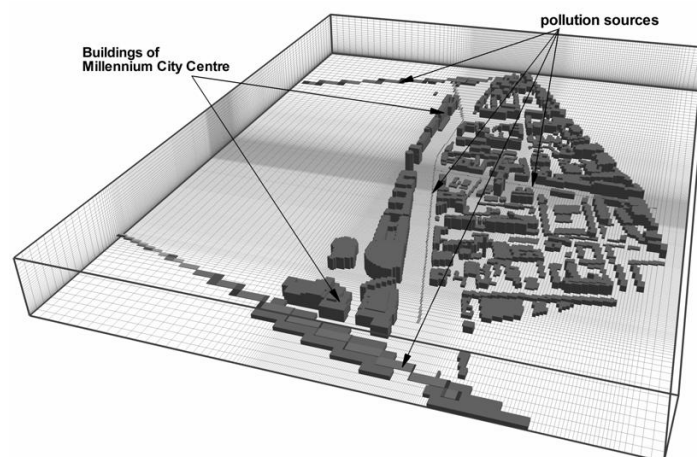
#### **I-14-L'expérimentation de Baumüller *et al.* (2005)**

Ont réalisé une analyse très complète de la formation du climat urbain et de ses conséquences sur la dispersion des polluants. Ils proposent des cartes climatiques et de la qualité de l'air - pour la région de Stuttgart (Allemagne) par exemple - qui s'accompagne de recommandations pour l'aménagement, en relation notamment avec la ventilation. Ce travail s'apparente à celui effectué par Scherer *et al.* (1999) présenté précédemment.

#### **I-15- L'expérimentation de Márton Balczó et al (2005)**

Cette étude traite de l'évaluation numérique et expérimentale de l'effet de l'environnement bâti et la direction du vent sur la dispersion de la pollution atmosphérique. Il s'agit alors de la comparaison entre l'expérimentation à l'aide d'une soufflerie et la simulation numérique par le logiciel MISKAM du model CFD.

L'expérimentation a été effectuée sur deux configurations d'un ensemble de bâtiments ayant des hauteurs importantes se trouvant au centre millenium city à Budapest et cinq principales directions du vent (22,5, 90, 213.75, 270, 326.25 degré N) La vitesse du vent est de 3,1 m / s à une hauteur de 25m. MISKAM génère un profil logarithmique de la couche limite atmosphérique à partir de ces données. D'autres paramètres sont également prédéfinis par MISKAM la source de pollution ont été prises à partir des émissions des véhicules et des données de trafic. Totallement 10 cas ont été simulés: 5 directions du vent (22,5, 90, 213.75, 270, 326.25 degré N) et deux configurations: avec et sans centre de la ville. visant à prédire la moyenne annuelle du niveau de concentration des polluants dans le centre ville et évaluer l'usage CFD sous le code MISKAM. D'une manière générale la correspondance entre les résultats obtenus de la simulation CFD et les résultats expérimentaux est assez acceptable (Figure IV-6).



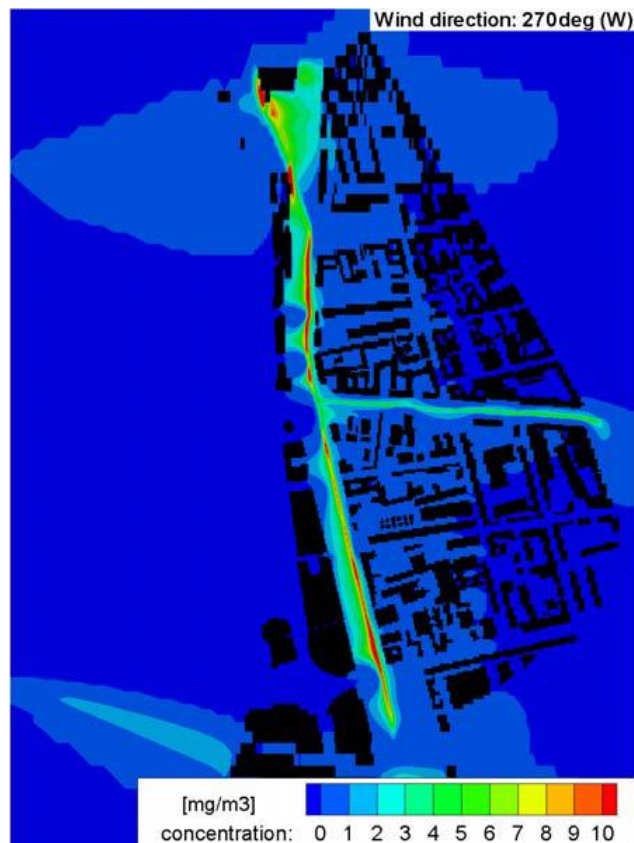
*Figure IV-6 : La géométrie de l'ensemble de bâtiments dans le modèle CFD. (Source : Balczo, 2005)*

#### **I-16- L'expérimentation de Sakhraoui et Premat (2005)**

En milieu urbain et périurbain, les infrastructures routières sont bordées de part et d'autre par des écrans acoustiques afin de lutter contre les effets dus au bruit des transports routiers. Sakhraoui et Premat ont tenté de réaliser une simulation après avoir fait un inventaire des modèles de simulation capables de modéliser une dispersion atmosphérique afin de choisir le modèle le mieux adapté dans le but de reproduire les essais de



dispersion réalisés en soufflerie, leur choix s'est porté sur un des modèles de simulation – Fluent – dans des configurations de terrains complexes (Figure IV-7) et de détecter l'influence des bâtiments sur les conditions météorologiques et au même temps l'influence des différents paramètres (dimension et nature des écrans acoustiques, conditions météorologiques...) sur la dispersion de la pollution.



*Figure IV-7 : Répartition de la pollution à 1,65 m de hauteur à la direction du vent W.  
(Source : Sakhraoui et Premat, 2005)*

Le but du rapport a été d'étudier quelles sont les difficultés à mettre en œuvre des modèles numériques spécifiques permettant d'étudier l'influence des écrans acoustiques. Pour le cas particulier de la traversée de Givors (69) traversée par l'autoroute A47 (Figure IV-8), on a comparé les résultats sur l'état initial (sans écrans) entre une simulation par des essais en soufflerie réalisée par l'école centrale de Lyon avec un modèle numérique avec une relative conclusion sur une certaine similitude entre les résultats obtenus par les deux méthodes (Figure IV-9).

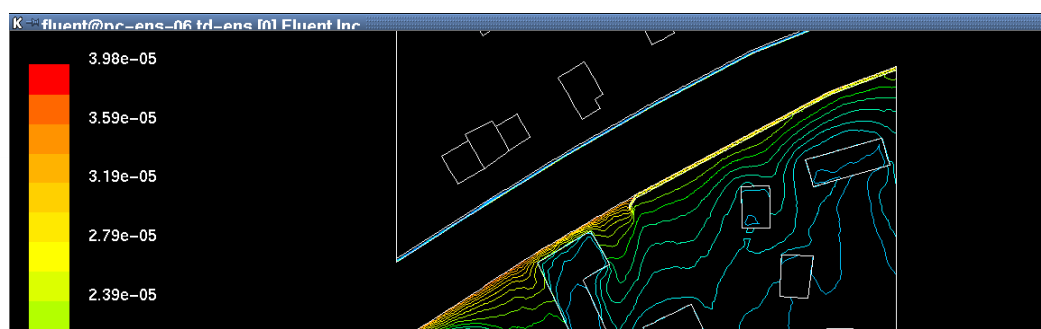


Figure IV-8- Champs de concentration des NOx au long de la voie (Source : Sakhraoui et Premat, 2005)

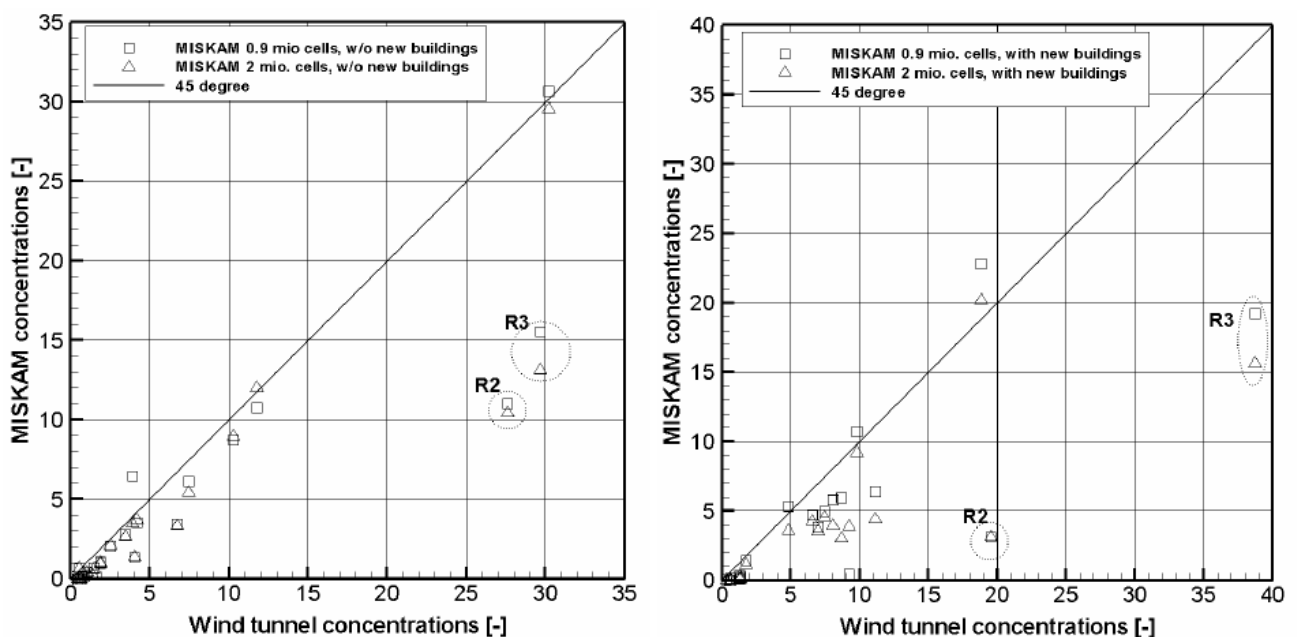


Figure IV-9 : Comparaison des résultats de la simulation avec les données de la soufflerie (Source : Sakhraoui et Premat, 2005)

### I-17-L'expérimentation de Gilles Maignant, (2007)

L'objectif de son étude était de trouver la manière dont la morphologie urbaine induit ces différenciations spatiales grâce à une modélisation en trois dimensions réalisées sous MISKAM, (modèle à échelle locale du climat et de la diffusion) qui est un modèle eulérien. IL a opté pour la méthode dite "méthode des boîtes" quand a évoqué précédemment et qui découpe l'espace en "boîtes" élémentaires, de taille variable, prédéfinie par l'utilisateur, permettent de calculer la dimension fractale. Elles ne sont pas rigoureusement équivalentes. Mais une fois, le choix fixé, la dimension fractale peut servir d'éléments de comparaison.

Le modèle est tridimensionnel et non hydrostatique, c'est à dire qu'ils permet de prendre en compte le bâti dans ses dimensions verticale et horizontale et les phénomènes

d'accélération et de turbulences engendrés par les bâtiments. MISKAM permettant donc de modéliser les champs de vents et les concentrations réelles (après dispersion) à proximité des bâtiments, à l'échelle du micro-quartier. Le but été d'étudier les liens entre forme urbaine et environnement en mettant l'accent sur l'aspect pollution de l'air, climatologie et santé, à travers de nouveaux indicateurs d'exposition personnelle. Et chercher les configurations spatiales urbaines optimales pour la dispersion de polluants (largeur des artères, hauteurs des constructions, espacements, porosité, effet de la compacité urbaine, ...etc.), Pour les quartiers étudiés des quatre villes, Nice, Marseille, Lyon et Paris. Pour cela il a traité trois polluants primaires susceptibles d'être de bons indicateurs de la pollution liée au trafic en milieu urbain qui sont le benzène (Be), le monoxyde de carbone (CO), et les oxydes d'azote (NOx), les deux derniers étant les deux polluants les plus représentatifs de la pollution automobile.

Deux indicateurs permettent de mettre en relation les interactions entre formes urbaines et répartition spatiale des amas de polluants :

- La dimension fractale : de nouvelles analyses, basées sur la géométrie fractale et la morphologie mathématique, en particulier sur l'analyse de l'évolution de la dimension fractale en fonction de la hauteur des bâtiments, sont présentées.
- L'indice surfacique de dépassement de seuil : des indices d'exposition de la population face à la charge polluante quotidienne, à l'échelle de la rue ou d'un quartier, sont créés, ce qui révèle à l'évidence, des préoccupations du géographe. Ces indicateurs, qui sont à la fois qualitatifs et quantitatifs, permettent de rendre compte de l'anisotropie spatiale des immissions et donc des charges polluantes respirées par le citoyen, à l'échelle de la rue. L'indice surfacique de dépassement de seuil qui est à la fois qualitatif et quantitatif possède l'avantage d'intégrer dans sa conception le double caractère spatial et humain.

### I-18-L'expérimentation de G.Faval et al (2007)

Ont utilisé deux différentes techniques de modélisation pour simuler les concentrations du polluant CO à différentes hauteurs dans un profond canyon urbain de Naples, Italie.

Les résultats d'une campagne de surveillance d'une semaine continue (F. Muren et G. Favale ,2007) de monoxyde de carbone CO ont été modélisés en utilisant à la fois le modèle (CFD) et le modèle operational street pollution model (winOSPM).

Les caractéristiques géométriques de la rue canyon sélectionné (Figure IV-10) étaient:

Largeur  $l = 5,8$  m et de hauteur  $h = 33$ m (rapport d'aspect  $H / W = 5,7$ ) pour la rue. Les concentrations de CO ont été mesurées au niveau des piétons ( $h = 2,5$  m) et proche du niveau de toit ( $h = 25$ m). Dans la même période, la circulation dans la rue canyon a été mesuré manuellement et le taux d'émission de CO des gaz d'échappement des véhicules a été estimée en utilisant la procédure COPERT.les conditions (température, pression atmosphérique, rayonnement solaire, la vitesse et direction du vent) ont également été mesurée à toit niveau

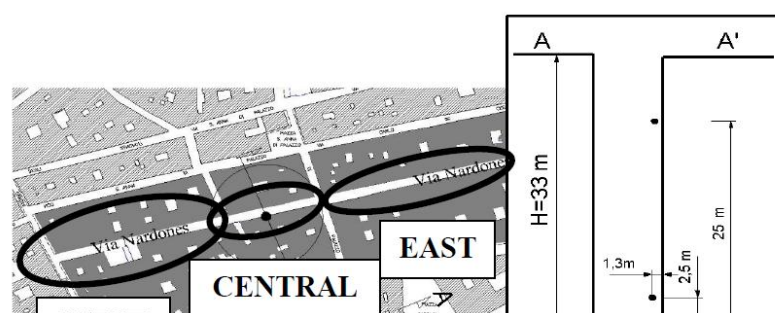




Figure IV-10 : la rue canyon étudiée (Source : Faval et al 2007)

### I-19-L'expérimentation de Christof Gromke et al (2008)

S'intéressent à la dispersion des polluants atmosphérique dans un canyon urbain et en particulier à l'impact des arbres implantés toutes au long d'une rue canyon et la comparaison des concentrations des polluants à proximité des parois protégé et non protégé par la végétation.

Deux approches ont été adoptées dans cette recherche : une étude expérimentale avec des tests en soufflerie et une simulation numérique avec la CFD sous le code fluent en utilisant le modèle de turbulence RSM. L'étude comprend l'implantation de deux rangés d'arbres de différentes porosités au total trois espèces en été utilisé tous le long d'une rue canyon urbaine de longueur égale 180 m, hauteur =18m et largeur égale a 36 m avec un rapport largeur/ hauteur=2, et longueur/hauteur=10, Un gaz traceur l'hexafluorure de soufre ( $\text{SF}_6$ ) est intégré au niveau de la rue pour simuler la libération des échappements du trafic (Meroney et al., 1996). L'expérience s'est déroulée avec l'état de la couche limite neutre et le même profile et vitesse de vent ont été introduit a fin de comparer les résultats obtenu en soufflerie et par la simulation numérique (Figure IV-11).

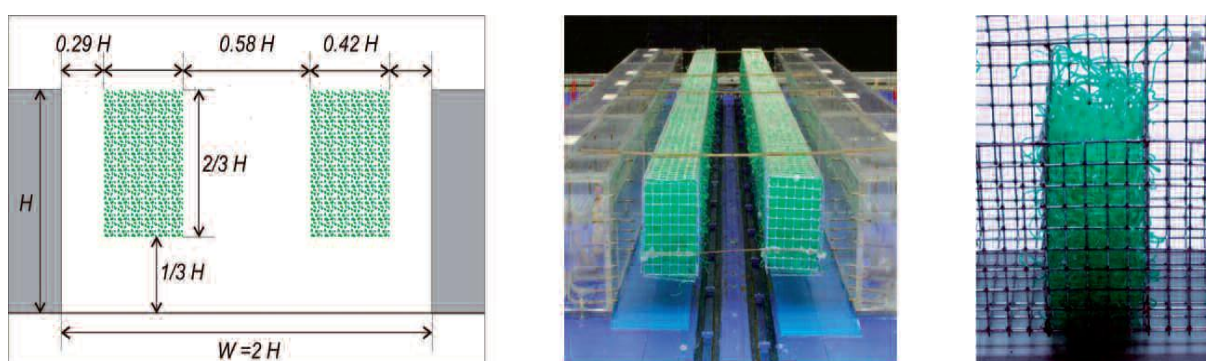


Figure IV-11 : modèle de configuration de rue canyon et une plantation d'arbre dans une soufflerie (Source : Sakhraoui et Premat, 2005)

pour l'évaluation, la planification et la mise en œuvre des mesures d'atténuation d'exposition dans les zones urbaines.

### I-20-L'expérimentation de Jian Hang et al (2009)

En plus de ses expériences sur les rues canyon et l'importance de la typologie des rue (rue principale, et rue secondaire) **Jian Hang et al** ont étudié la problématique de la compacité,

et densité des villes et la problématique de ville idéale ? Pour la qualité de l'air et la dispersion de la pollution atmosphérique au niveau des rues et des toitures. En utilisant la combinaison des deux méthodes qui sont la méthode expérimentale en soufflerie et la simulation avec la méthode CFD sous le code FLUENT.

Pour cela l'étude c'est déroulé en deux étapes, ou il a simplifié les modèles de la ville selon trois catégories de formes géométriques qui sont le carré, le cercle et rectangle.

- Pour la première expérience :

Ils ont étudié l'impact d'une ou deux rues divisant les formes géométriques en deux ou en quatre sections égales et l'indice de landsberg hauteur/ largeur et le rapport hauteur/longueur de ces rue les angles des bâtiments ainsi que l'effet de la direction des vents sur l'écoulement de l'air (Martin Skote et al 2005) et la dispersion des polluants sur 11 cas test au totale (Figure IV-12).

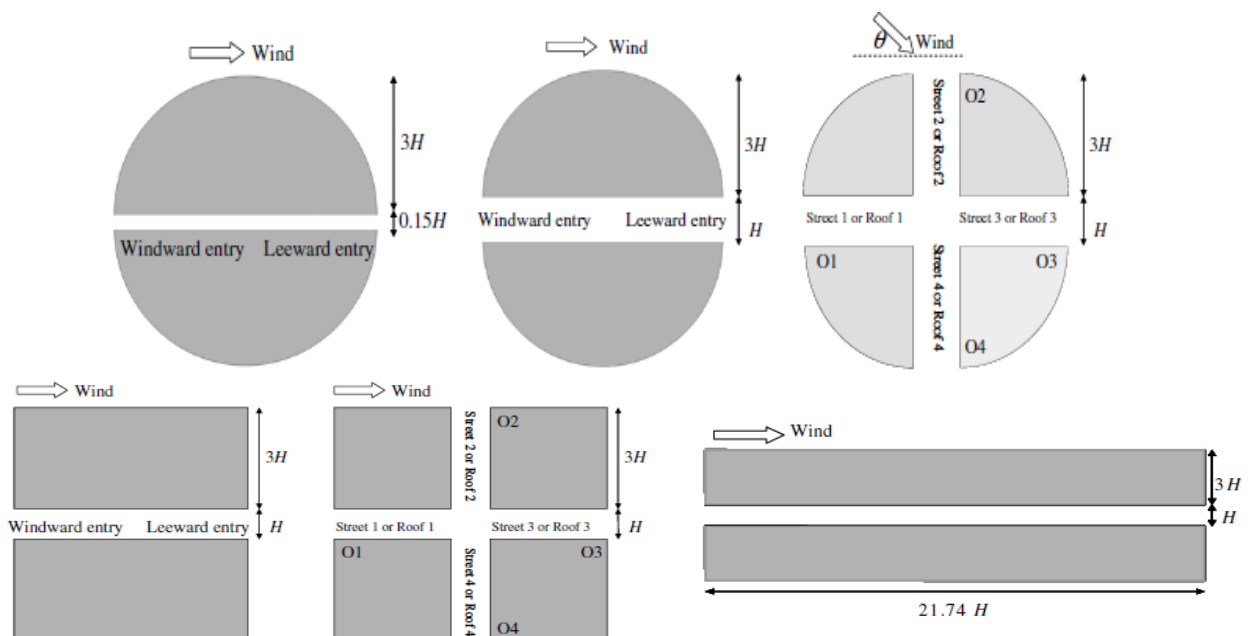


Figure IV-12 : Quelques model de ville utilisés pour l'expérimentation numérique dans une soufflerie. (Source : Hang et al, 2009)

- Pour la deuxième expérience :

Etude de la variation de la forme urbaine et la densité des zones de constructions pour les deux modèles de forme géométrique circulaire et la forme carré (Figure IV-13), ainsi que l'impact de la hauteur des bâtiments qui augmentent uniformément de l'extérieur (représentant les banlieues) vers l'intérieur de la forme circulaire (représentant le centre ville) (Figure IV-14).

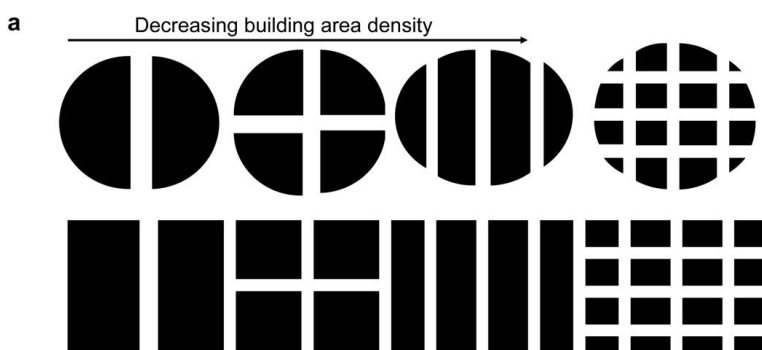


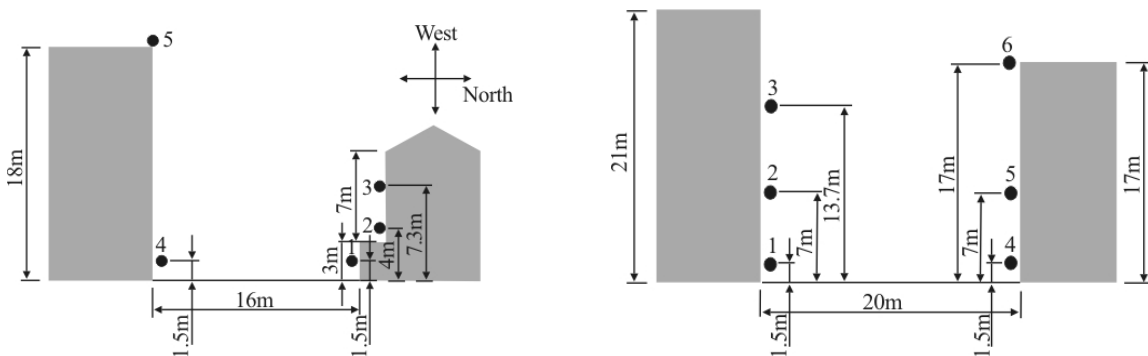
Figure IV-13 : Variation de la forme urbaine globale et le renforcement de la densité surfacique pour des villes compactes de forme ronde et carrée avec une hauteur uniforme (Source : Hang et al, 2009)

*Figure IV-14 : La hauteur des bâtiments dans la ville de forme ronde augmente uniformément de l'extérieur (banlieue) vers le centre. (Source : Hang et al, 2009)*

**I-21- L'expérimentation de Xie Xiao-min, et al (2009)**

Le but de leur travail consistait à étudier les caractéristiques des émissions de transport des véhicules dans le canyon urbain en utilisant l'outil de modélisation CFD. Les distributions spatiales des polluants émis par le trafic liées dans la rue canyons à Shanghai, en Chine. Deux canyons urbains typiques ont été sélectionnés pour le champ de surveillance, dans une rue commerciale la plus importante à Shanghai, avec des volumes de passagers de grande taille, et l'autre cas est un canyon urbain typique avec toiture des bâtiments cloché. La simulation du flux d'air et la dispersion des polluants a été effectuée en trois dimensions, et les résultats ont été comparés avec des mesures in situ sur le terrain.

Huaihai Middle Road est l'un des plus importantes rues commerciales avec des rues et volumes assez important. Il se trouve dans le centre de Shanghai et est orienté est-ouest, avec la largeur et la hauteur des bâtiments uniformes d'environ 21 m (Figure IV-15).



### I-22-L'expérimentation de Riccardo Buccolieri et al (2010)

Leurs étude était consacrée à l'analyse de la ventilation et de "la respirabilité" de la ville c'est-à-dire la capacité des tissu urbain à évacuer les polluants atmosphériques. L'approche comparative est employée pour l'évaluation de l'impact de la densité urbaine sur l'écoulement de l'air dans les rues canyons de la canopée urbaine et au niveau des toits, ensuite l'étude de la longévité de l'air dans les rues pour la compréhension du phénomène de distribution et de dispersion des pollutant ainsi que l'aération des quartiers.

Une simulation numérique a l'aide du logiciel Fluent, a été effectuée pour un ensemble de configurations urbaines, composées de constructions cubiques, celles-ci classées en trois catégories selon l'indicateur de densité. Pour obtenir des forme relativement simplifiées (étalé, compacte, très compacte) la superficie du lot a été maintenu (constante) tandis que la densité du bâti a augmenté par l'ajout et le tassement de bâtiments a la configuration initial, la densité varie de 0.0625 (6.25%) à 0.69 (69%) afin de représenter l'étalement urbain et la compacité des villes. (Figure IV-16)

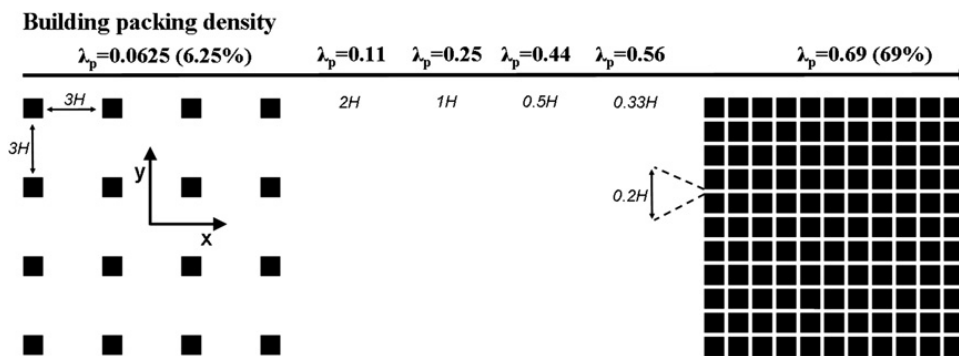


Figure IV-16: Schéma montrant l'augmentation de la densité du bâti par le tassement des géométries. Le vent souffle de la gauche le long de la direction x. (Source : Buccolier et al, 2010)

Les résultats obtenus dans cette étude est que la ville très compacte se comporte comme un seul obstacle, ou il remarque une faible pénétration du vent a l'intérieur des rues et entre les bâtiments donc une mauvaise ventilation (Figure IV-17) , cependant la moyenne d'âge de l'air a été jugée maximale dans cette configuration (Figure IV-18) , cela impliquait l'importance de l'accumulation des polluants a l'intérieur de la ville et l'inverse a été notée pour la forme étalée.

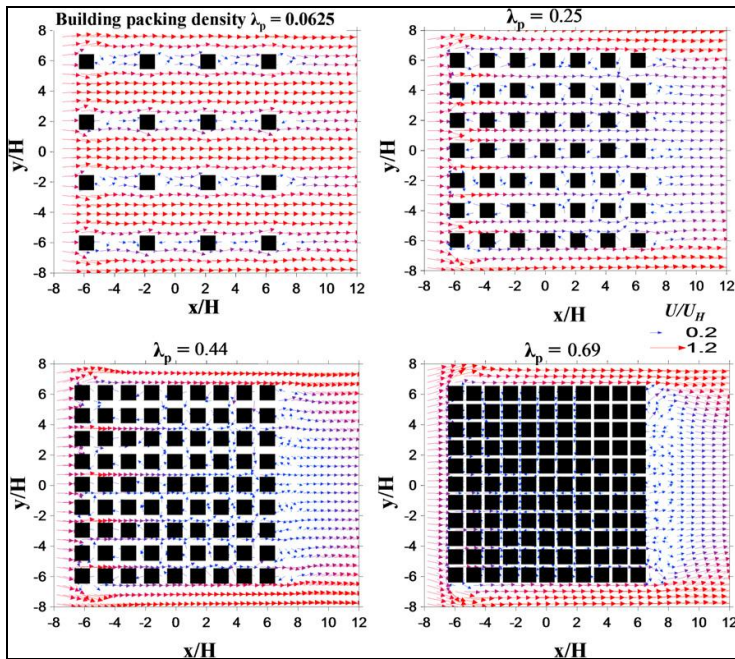


Figure IV-17 : les résultats de l'écoulement de l'air dans les différentes géométries étudiées (Source : Buccolieri et al,2010)

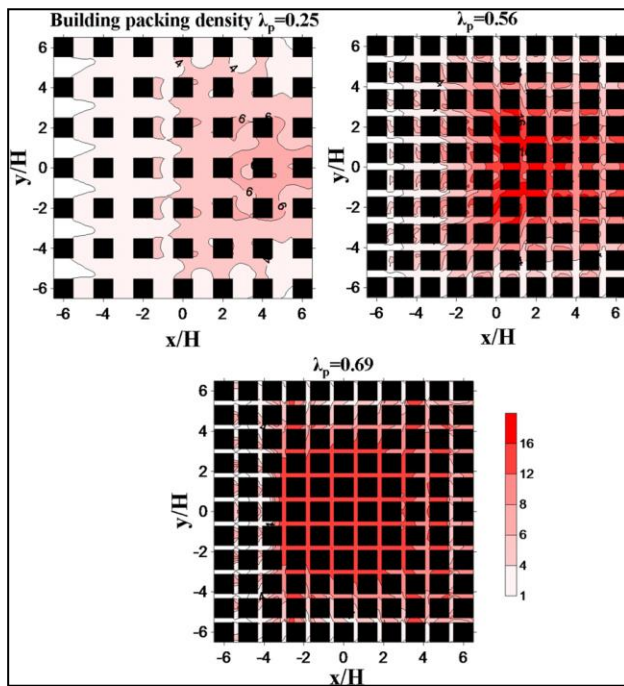
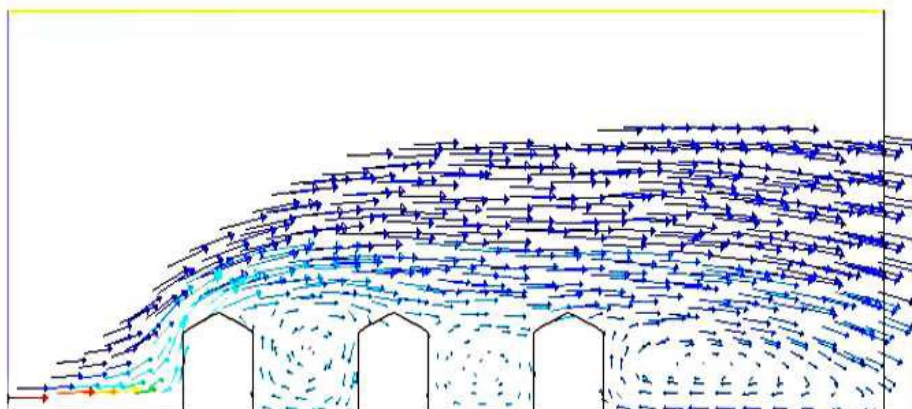


Figure IV-18 : les résultats concernant la moyenne d'âge de l'air au niveau des piétons. (Source : Buccolieri et al,2010)

### I-23- L'expérimentation de M. Borysiewicz, et al 2010

A fin de prédire des situations typiques de la concentration des polluants dans l'air, modélisent la pollution atmosphérique dans les zones urbaines. Trois cas ont été modélisés: un bâtiment isolé pour la modélisation en 2D, trois bâtiments identiques pour le calcul 2D, et un bâtiment isolé en 3D, le code **fluent** a été utilisé pour résoudre les équations (Figure IV-19).



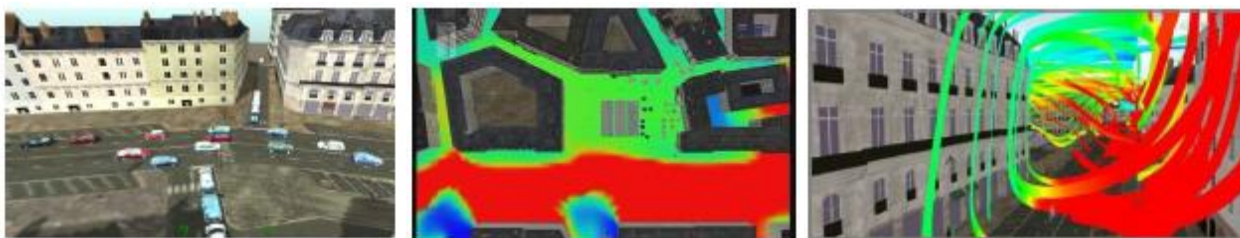


*Figure IV-19: l'écoulement de l'air modélisé dans le model de trois bâtiments identiques en 2D(Source : Borysiewicz et al,2010)*

Dans son étude **Borysiewicz** pointe l'effet de la hauteur, la largeur et la longueur des bâtiments, l'orientation du vent, la taille des régions entre les bâtiments, et la stabilité de l'atmosphère dans la dispersion de la pollution atmosphérique.

#### **I-24-L'expérimentation de Nicolas Klein et al (2010)**

Pour le projet de Terra Magna lancé en 2007, dont Star apic comme animateur de projet, avaient pour objectif Combiner la CAO (3D) avec des lois sur les phénomènes physiques pour évaluer les projets d'une façon interactive et pluridisciplinaire et à différentes échelles. Néanmoins, les simulations deviennent de plus en plus complexes, induisant le besoin de coupler des modèles entre eux. C'est par exemple le cas dans la simulation présentée en Figure IV-20. La ville virtuelle sert alors de support à des modèles de simulation du trafic routier (Figure IV-20-a), de propagation de la pollution (Figure IV-20-b) et du bruit lié à ce trafic (figure IV-20-c).



*Figure IV-20-a: Modèle de simulation du trafic routier*

*Figure IV-20-b: Modèle de simulation des nuisances sonores*

*Figure IV-20-b: Modèle représentant la qualité de l'air (pollution...)*

*Figure IV-20: Utilisation couplée de plusieurs modèles de simulation. Extrait du projet Terra Magna (Source : Klein et al,2010)*

## **II- CARACTERISATION DES APPROCHES ET DES MODELS :**

### **II-1- Dispersion de la pollution atmosphérique : approches interdisciplinaire**

#### **II-1-1-Approche physico-morphologique : La contribution des climatologues**

Les climatologues contribuent à la compréhension de la problématique de dispersion de la pollution atmosphérique et des changements climatiques en ce qui concerne les données climatiques et les connaissances sur l'évolution du climat et ses impacts.ils se sont penchés plus particulièrement sur la formation du climat urbain (Ali Toudert, 2005).

De nombreuses études descriptives concernant les effets climatiques ont été réalisées (Scherer et al 1999, Baumüller et al.2005), à des échelles différentes, mais n'aboutissent pas forcément à des bases de décision fiables, exhaustives et applicables. De ces approches descriptives, la recherche en climatologie urbaine migre peu à peu vers des approches explicatives. De l'observation du climat urbain à la modélisation plus ou moins fine des phénomènes physiques en jeu, les climatologues ont pu décrire et comprendre avec de plus en plus de précision la formation du climat urbain. Si les premiers travaux étaient avant tout consacrés à l'îlot de chaleur urbain observé globalement sur toute l'agglomération, les climatologues se sont progressivement intéressés à d'autres paramètres climatiques puis à des échelles inférieures à la ville mettant ainsi en exergue l'importance de la géométrie urbaine et des matériaux de construction.

### II-1-2-L'approche morpho-climatique : La contribution des architectes et urbanistes

Les architectes (Katzschner 1988, Golany 1996, Givoni 1998) se sont intéressés à l'impact des conditions climatiques et environnementales sur les bâtiments. Focalisés initialement sur les questions de confort intérieur et sur les besoins énergétiques pour le maintenir, se sont ouverts progressivement aux conditions extérieures au bâtiment. Le contexte urbain, modifiant l'apport solaire et le comportement du vent et la dispersion des polluants, a ainsi progressivement intégré les pratiques (Ali Toudert, 2005). L'un des enjeux, est alors de pouvoir quantifier l'impact de projets urbains et de l'aménagement des villes sur les conditions climatiques locales.

Contrairement aux architectes, dont l'intérêt pour la construction bioclimatique est ancien, les urbanistes, qui s'appuient peu sur des principes climatiques et jusqu'à très récemment, l'accent a été peu mis sur l'espace entre les bâtiments, si l'on excepte les cas où ce dernier influençait l'habitation. Ainsi selon Mills et al 2003, la nouvelle utopie urbaine est la ville 'durable', 'soutenable', dont la conception intègre la qualité de l'air et la consommation énergétique, ainsi qu'une panoplie d'objectifs environnementaux et sociaux, culturels et économiques.

### II-1-3- Approche pluridisciplinaire :

Il est nécessaire aujourd'hui, comme l'ont déjà signalé de nombreux auteurs (Bitan, 1988 ; Katzschner, 1988 ; Oke, 1984 ; Oke, 1988 ; Oke, 2006 ; Arnfield, 1990 ; Eliasson, 2000 ; Adolphe et al, 2002 ; Alcoforado et al., 2006) de mettre en place une démarche pluridisciplinaire et d'intégrer à la pratique de l'aménagement urbain et de l'architecture des éléments de climatologie urbaine. Cette ouverture d'esprit de la part des architectes, des urbanistes et des aménageurs à l'intégration de critères climatiques dans leurs pratiques sera bénéfique pour traiter les problèmes plus généraux que sont l'environnement et la qualité de vie.

## **II-2- Méthodes d'évaluation de la dispersion de la pollution atmosphérique**

## II-2-1- La caractérisation des indicateurs : la méthode du model simplifié

Dans le cadre des environnements naturels et construits, nous faisons le plus souvent appel à des modèles qui décrivent les causes des phénomènes physiques qui sont à l'œuvre. Leur complexité naît des interactions qui existent entre les différents milieux, les différentes échelles et également entre l'environnement physique et sa perception par les habitants dès lors que l'on veut caractériser ou qualifier la qualité de vie. On peut ainsi trouver, selon l'approche de l'interaction du physique et du cadre bâti, trois catégories d'indicateurs

### **II-2-1-1-*Les indicateurs « morpho-physique »***

*« Le terme morpho-climatique, vraisemblablement absent dans le langage de la morphologie urbaine et de celui du domaine climatique, semble approprié pour caractériser l'existence d'une incidence entre l'ambiance climatique et le contexte morphologique et urbaine. Ainsi une terminologie nouvelle peut être affectée au systèmes d'indicateurs proposé, sous l'appellation « système d'indicateur morpho-climatique, » ( Ait-Ameur, 2002, p.18).*

Les indicateurs morpho-climatiques sont des descripteurs qui combinent la morphologie urbaine avec les performances climatiques et environnementaux des formes urbaines, l'hypothèse posée ici est que la connaissance de la forme urbaine pourrait, à elle seule, nous informer sur les paramètres microclimatiques, et cela peut se faire sans aucune référence explicite aux paramètres microclimatiques ou environnementaux. L'objectif déclaré est de réduire la complexité de la forme urbaine en intégrant les variations morphologiques de la ville, la définition d'un certain nombre d'indicateurs environnementaux basés sur une lecture morphologique des fragments urbains.

En d'autres termes, l'hypothèse formulée est que l'interprétation de la forme urbaine selon des paramètres morphologiques spécifiques permettrait d'évaluer la qualité des paramètres physiques du microclimat sans procédures de simulation, jugées trop complexes. La volonté de simplification de l'analyse est d'ailleurs affichée comme objectif dans ces travaux.

Parmi ces indicateurs on peut trouver la densité, la compacité, la porosité, la minéralisation des fragments urbains ou encore la sinuosité et l'orientation des rues, etc. (Groleau et al. 1995), (Adolphe 2001),(Ait-Ameur 2002).

Selon (Groleau et al. 1995 ; Ait Ameur 2002 ; Adolphe 2001), l'indicateur ne fait pas de lien explicite entre le phénomène analysé et les éléments du cadre bâti. Il s'agit de trouver dans le cadre bâti, ce qui pourrait influencer sur l'ensemble des phénomènes physiques. Ce qui se traduit par un nombre important d'indicateurs. Certains s'appuient sur des approches purement théoriques de la géométrie urbaine (Adolphe, 2001), alors que d'autres les construisent à partir de données d'études à l'échelle des projets urbains dans l'optique de rendre compte synthétiquement des potentialités bioclimatiques et énergétiques des projets (Groleau et Bourges, 2005). Ces indicateurs peuvent caractériser la ville entière ou des fragments urbains ayant une signature urbanistique et architecturale particulière. A



l'échelle microclimatique, les spécificités morphologiques d'un espace agissent sur les champs de variables physiques par l'intermédiaire d'effet locaux que l'on présente succinctement ci-après.

F. Ahmed Ouamer, en 2007 a synthétisé les différents paramètres climatiques et les indicateurs morphologiques retrouvés dans la recherche bibliographique traitant les indicateurs les plus significatifs et valides à deux échelles spatiales, à l'échelle de l'espace public et à l'échelle du tissu urbain sous forme d'un tableau qu'on retrouve ci-dessous

(Tableau IV-4) :

Paramètres microclimatiques	Indicateurs morphologiques déterminants		Auteurs
	Échelle de l'espace public	Échelle du tissu urbain	
Rayonnement solaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ratio <i>Degree of Enclosure (DoE)</i>;</li> <li>• Ratio Hauteur moyenne des bâtiments/ Largeur moyenne des rues (H/L);</li> <li>• Albédo moyen des surfaces (<math>\alpha</math>).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densité végétale (<math>D_v</math>);</li> <li>• Densité bâtie (<math>D_b</math>);</li> <li>• Porosité urbaine (<math>P_u</math>).</li> </ul>	Adolphe, 2001; Ait-Ameur, 2002; Arnfield, 1999; Bozonnet, 2006; Brown <i>et al</i> 2000; Dimoudi <i>et al</i> , 2003; Elaiisson, 1995 et Santamouris, 2001
Température de l'air	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facteur de ciel vu ;</li> <li>• Ratio <i>DoE</i>;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densité bâtie (<math>D_b</math>);</li> <li>• Densité végétale (<math>D_v</math>);</li> <li>• Porosité urbaine (<math>P_u</math>).</li> </ul>	Givoni, 1998 ; Gómez <i>et al</i> , 2004; Nagara <i>et al</i> , 1996; Potvin, 1997-2004
Température rayonnante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ratio <i>DoE</i>;</li> <li>• Facteur de ciel vu (<math>\Psi_{sky}</math>);</li> <li>• Albédo moyen des surfaces (<math>\alpha</math>).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densité bâtie (<math>D_b</math>);</li> <li>• Densité végétale (<math>D_v</math>);</li> <li>• Porosité (<math>P_u</math>).</li> </ul>	Dimoudi <i>et al</i> , 2003 ; Nikolopoulou <i>et al</i> , 2001; Santamouris, 2001; et Steemers <i>et al</i> , 2004;
Vitesse du vent		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rugosité urbaine (<math>R_u</math>);</li> <li>• Densité bâtie (<math>D_b</math>);</li> <li>• Porosité urbaine (<math>P_u</math>).</li> </ul>	Adolphe, 2001; Ait-Ameur, 2002 et Givoni, 1998.
Humidité relative		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densité végétale (<math>D_v</math>);</li> <li>• Densité bâtie (<math>D_b</math>).</li> </ul>	Ait-Ameur, 2002 et Dimoudi <i>et al</i> , 2003 et Gómez <i>et al</i> , 2004

Tableau IV-4: synthèse des indicateurs morphologique déterminants Source : (F. Ahmed Ouamer 2007)

### II-2-1-2-Les indicateurs « physico-morphologique » :

Bottema 1998 ; Grimmond et Oke 1999, ne caractérisent dans le cadre bâti que ce qui influe sur les modèles physiques. L'objectif de ce type de démarche est de définir un certain nombre de paramètres microclimatiques sur la base de modèles simplifiés et rapportés à la forme des espaces urbains. On peut rencontrer des travaux où on a vu apparaître des notions comme l'intensité de l'îlot de chaleur urbain (Oke 1987).

#### Le modèle d' « un canyon urbain »

Plusieurs études de modélisation (A.T. Chan et al, 2003 ; Vardoulakis, 2003 ; Benzarzur et al 2003, G Faval et al, 2007 ; Riccardo Buccolieri et al 2010 ; Jian Hang et al 2009 ; XIE Xiao-min, et al ,2009...), et d'expérimentation sur le terrain, visant à établir la transformation et la dispersion des polluants au sein des rues canyons, d'un quartier, ou même une ville ont été réalisées dans le passé. En fonction de leurs objectifs, différentes techniques ont été adoptées comme la modélisation et les techniques de surveillance. Certaines de ces études ont été purement expérimentales, ce qui signifie la prise de mesure in situ et les mesures à l'échelle réduite et d'autres études selon modèles mathématiques qui peuvent être également trouvées dans la littérature. (Vardoulakis en 2003).

### II-2-1-3- Des indicateurs « morpho-physico-sensibles »

« Un système d'indicateurs regroupe un ensemble de variables qualitatives et quantitatives caractéristiques d'un effet environnemental. Pour qualifier l'effet on peut dire qu'il n'est ni une forme, ni une intention, ni un objet et ni un discours, il est médiateur qui permet, dans le projet de confronter les formes et les intentions. »

Cette catégorie d'indicateurs vise à caractériser ce qui est ressenti par les usagers des espaces urbains et la caractérisation de l'interaction du physique et du bâti ne constitue pas une finalité en soi (Gilles Maignant, 2007).

## II-2-2-L'opposition analyse synchronique/ diachronique

### **II-2-2-1-L'analyse synchronique :**

L'analyse des interactions entre le cadre bâti et le microclimat urbain en général, ainsi que l'étude de la dispersion des polluants atmosphériques en milieu urbain en particulier ne concerne, dans les travaux de recherches, qu'une dimension synchronique. En effet il s'agit, dans la plupart des cas, de mettre en correspondance, par des mesures in situ, les variations des paramètres microclimatiques pouvant exister entre différents espaces d'un même fragment urbain. Mais les différences, morphologiques et microclimatiques, entre ces espaces étant souvent nombreuses ne permettent pas de conclure sur l'effet induit par telle ou telle variation et entraînent le plus souvent une confusion au sujet du rôle des éléments de la forme urbaine à réguler les paramètres microclimatiques. (Benzarzour, 2004).

### **II-2-2-2-L'analyse diachronique**

La démarche mise en œuvre par Benzarzour en 2004 prend appui sur deux investigations complémentaires :

- une approche historique et monographique : la démarche d'étude d'un phénomène ou d'une situation relatifs à une société ou une ville déterminée, impliquant une enquête de terrain et l'observation directe (in situ) propices à reconstituer ce phénomène ou cette situation dans sa totalité. L'enquête de terrain désigne l'ensemble des interventions pratiques du chercheur dans un milieu donné destinées à saisir empiriquement l'objet de son étude. L'enquête de terrain est certes faite d'observations *in situ* mais elle ne s'y réduit cependant pas puisqu'elle intègre, à divers titres, le recueil de témoignages d'informateurs de terrain et la collecte et le dépouillement d'archives, de journaux, de documents écrits de toutes sortes (S.Dufour et al, 1991). visant à mettre au jour les savoir-faire et les interventions qui ont visé, depuis les premiers temps de l'urbanisme salubrité, l'amélioration de l'environnement urbain;
- une exploration à caractère physique sur la quantification des effets microclimatiques des transformations urbaines: Le but des cette approche est de définir un indicateur morphologique permettant la caractérisation du microclimat urbain dans un projet de transformation urbaine et non pas évaluer une seule situation donnée ou une forme figée. (Benzarzour, 2004).

## II-2-3-L'opposition analyse bidimensionnelle/tridimensionnelle

Des études sur la pollution urbaine sont régulièrement publiées par les agences de surveillance et de contrôle de la qualité de l'air. Pourtant celles-ci fournissent des informations globales à l'échelle de la ville. C'est donc bien la dimension horizontale (extension urbaine, étalement) qui prime dans ce type d'analyse. Or une ville ne peut être perçue dans sa seule dimension d'étalement. Il est donc nécessaire d'avoir recours à une vision tridimensionnelle de la ville permettant de connaître les concentrations de polluants de manière réaliste. (G.Maignant, 2007).

#### II-2-4- Analyse multi-physique

Dans ces modèles qu'on retrouve dans les études de (Christof Gromke et al 2008 ; le projet de Terra Manga...etc), il doit être pris en compte de nombreux phénomènes qui se produisent au sein de différents milieux : l'air, les plantes, l'eau, les sols, les bâtiments, le trafic routier, les phénomènes acoustique.... Ces phénomènes qui mettent en jeu des transferts de masse ou d'énergie sont interdépendants. Par exemple, l'ensoleillement d'une paroi modifie la température de la surface.

Celle-ci influe sur la quantité d'énergie conduite vers les espaces intérieurs des bâtiments, sur la convection à la surface (transfert de chaleur entre la surface et l'air) et sur les échanges par rayonnement qui se produisent entre la surface et celles qui l'entourent. Cette température modifie aussi les échanges hydriques entre la paroi et l'air environnant et l'écoulement de l'air à proximité de la paroi et la dispersion des polluants atmosphérique. Il est nécessaire soit d'écrire tous les phénomènes et d'explicitier les couplages, soit de découpler les modèles, en négligeant des interdépendances quand les approximations sont acceptables compte tenu des objectifs.

#### II-2-5-Quantification des paramètres microclimatique dans un cadre bâti

Cette démarche utilise les unités de mesures pour quantifier numériquement les paramètres physiques du climat. La compréhension des détails de la dispersion d'un polluant autour des bâtiments est très importante pour estimer l'effet de la présence de ces derniers sur l'évolution des différents contaminants. Pour simuler la dispersion des polluants atmosphérique dans la couche limite, les chercheurs font appel à de différentes approches que l'on peut classer en trois familles :

- Expérimentation in situ : campagnes de sondages, expériences de diffusion de traceurs
- Simulation physique de la dynamique des phénomènes : canal hydraulique, soufflerie (conditions contrôlées)
- Simulation mathématique numérique : modèles semi-empiriques de diffusion, modèles numériques de type stochastique ou déterministe
- Techniques étroitement complémentaires dont l'utilisation conjointe permet d'obtenir un degré de fiabilité plus grand.

### ***II-2-5-1-Expérimentation in situ ou essai en grandeur réelle***

Les essais en grandeur réelle ont pour objectif estimer la dispersion sur un site donné ou approfondir les connaissances sur certains mécanismes de dispersion.

### ***II-2-5-2-Simulation physique de la dynamique des phénomènes***

Les simulations physiques se font généralement sur une maquette placée dans une soufflerie ou une veine hydraulique, pour l'étude des effets aérodynamiques autour des bâtiments. La soufflerie permet de reproduire en similitudes des écoulements turbulents très complexes. L'échelle de travail est en général de l'ordre du 1/50. Ces dispositifs sont lourds dans leur mise en œuvre et entraînent un investissement en produits consommables non négligeable.

L'utilisation des modèles réduits dans des souffleries d'essais pour étudier le transport et la dispersion des polluants, a connu un grand essor. Les mesures des concentrations des contaminants issus d'une variété de sources de pollution ont été effectuées par beaucoup d'investigateurs

### ***II-2-5-3-Les contraintes de la maquette***

Parmi les principales contraintes de la maquette on peut citer :

- La maquette ne peut reproduire que les principales caractéristiques du terrain,
- L'atmosphère n'est pas correctement simulée, les gradients verticaux de polluants ne sont donc pas conformes à la réalité.
- les travaux expérimentaux ne fournissent pas une base de données complète pour valider et améliorer des modèles de dispersion dans un terrain complexe, mais se limitent à donner des lois empiriques simples concernant essentiellement l'effet de la forme de l'obstacle et l'épaisseur de la couche limite sur la diffusion du polluant.

### ***II-2-5-4-Simulation mathématique numérique***

Modèles semi empirique, model déterministe...etc. Les trois techniques sont étroitement complémentaires dont l'utilisation conjointe permet d'obtenir un degré de fiabilité plus grand.

### ***II-2-5-5-Les modèles gaussiens***

Sont Les premiers modèles de dispersion utilisés sur ordinateur. Leur origine remonte aux travaux de Sutton (1932), de Pasquill (1961, 1974), de Gifford (1961,1968) et en France, de Le Quinio (1964, 1975) et de Doury (1977, 1986). Ces modèles permettent d'estimer la dispersion des gaz neutres ou passifs (de masse volumique très proche de celle de l'air).

Ils sont basés sur des solutions d'advection-diffusion c'est-à-dire l'équation d'évolution de la concentration couplées avec des para métrisation semi-empirique des principaux phénomènes physiques.

Les modèles gaussiens fournissent une modélisation rapide adaptée aux études opérationnelles mais ne permettent pas de traiter directement des écoulements complexes.

Cette limitation s'est vite avérée inacceptable pour bon nombre d'études faisant intervenir des gaz dont la masse volumique était sensiblement plus importante que celle de l'air.

#### ***II-2-5-6-Les modèles lagrangiens***

L'approche lagrangienne consiste à fixer un repère sur une particule virtuelle représentative du déplacement général des polluants, et à suivre son évolution. Une boîte lagrangienne peut comporter un ou plusieurs niveaux de hauteur (permettant la prise en compte de la diffusion des polluants), elle est ensuite transportée par les vents, passant au-dessus des différentes sources polluantes ou alors les émissions sont injectées dans la boîte. Seule la chimie est résolue de façon précise dans ce cas. c'est pourquoi cette approche comporte des modules chimiques très importants, elle est plus souvent utilisée pour la résolution de modèle de panaches (Janssen 1986, Philippe et al 2000) qui font l'objet d'implantation dans des codes eulériens pour augmenter localement la précision des calculs.

#### ***II-2-5-7-Les modèle de la mécanique des fluides CFD ou approche eulérienne***

Les modèles de mécanique des fluides numériques, dits de CFD (Computational Fluid Dynamics) sont basés sur la résolution des équations de Navier-Stokes de la mécanique des fluides pour les écoulements turbulents. Ces modèles sont précis mais, en contre partie, très coûteux en terme de temps de calcul. Ils sont donc principalement utilisés à de petites échelles. Il existe principalement 3 types de modèles de CFD :

- Les modèles de simulation numérique directe résolvent les équations de Navier-Stokes (DNS, Direct Navier-Stokes) pour toutes les échelles du mouvement.
- Les modèles de simulation des grandes échelles (LES, Large Eddy Simulation) résolvent explicitement la turbulence pour les plus grande échelles du mouvement mais utilisent des modèles simplifiés pour les plus petites échelles.
- Les modèles RANS (Reynolds Average Navier Stokes) modélisent les valeurs moyennes de l'écoulement en utilisant un modèle de fermeture pour calculer la turbulence.

Basés sur la résolution de l'équation d'advection-diffusion sur un maillage, ces approches permettent de prendre en compte la complexité de l'écoulement. Elles ne sont pas adaptées au voisinage des sources, L'approche DNS étant la plus précise, elle est aussi la plus coûteuse en termes de ressources informatiques. C'est pourquoi elle est jusqu'à présent réservée aux très petites échelles.

L'approche LES est moins coûteuse que l'approche DNS tout en étant plus précise que l'approche RANS. L'approche RANS est la moins coûteuse et est donc aussi la plus utilisée (Milliez, 2006).

Le point de vue eulérien consiste à étudier les équations dans un référentiel fixe par rapport à la terre. Cette approche nécessite un maillage, une grille dans laquelle on étudie l'évolution des polluants. Cette grille a l'avantage de permettre de calculer, sur tout le domaine désiré, les différentes grandeurs physiques nécessaires à l'étude de la pollution atmosphérique. Mais elle limite par ailleurs la précision de calcul. En effet, les modèles de grille ne sont pas capables de résoudre la variation des paramètres à une échelle inférieure à

la taille des mailles. Les phénomènes de petites tailles ne sont donc pas pris en considération dans la résolution des équations, ils sont paramétrés de façon statistique.

De plus, les émissions sont uniformes et moyennées dans le volume d'une cellule, ce qui ne permet pas de prendre en compte la taille réelle des sources polluantes, réduire la taille de la grille sur tout le domaine augmenterait considérablement le temps de calcul, et une précision importante n'est pas nécessaire partout. C'est pourquoi une des méthodes employées est le raffinement local pour affiner le calcul aux endroits caractérisés par les plus petites échelles. La plupart des codes de calcul utilisés dans le domaine de la pollution atmosphérique sont de type eulérien.

#### ***II-2-5-8-Le couplage: modèle sous mailles***

Certains modèles choisissent de coupler les deux approches : un modèle lagrangien est utilisé pour les environs proches de la source, puis un modèle eulérien prend le relais lorsque l'on s'éloigne de celle-ci. Plus souvent encore, le calcul de la météo est confié à un modèle eulérien, le calcul de la dispersion étant alors effectué par un modèle lagrangien.

basés sur le suivi des trajectoires d'un grand nombre de particules dans l'écoulement, ils permettent de bien modéliser l'influence de la turbulence sur la dispersion. Le temps de calcul peut néanmoins être important lorsque l'on étudie un grand nombre de sources.

#### ***II-2-5-9-Les modèles simplifiés***

Cette appellation regroupe ici deux types de modèles: les modèles dits « screening » et les « Box models » ou modèles boîte.

Les « screening models » sont des modèles extrêmement simplifiés qui utilisent de simples corrélations ou des équations linéaires empiriques pour calculer la dispersion. Ils ne peuvent donc pas servir dans l'étude d'un cas réel, si ce n'est pour donner une première approximation au stade de la pré-étude.

Les « Box models » Sur le plan numérique, des modèles simplifiés appelés modèles des boîtes ont été utilisés, ces derniers font l'hypothèse que la dispersion atmosphérique peut être représentée par une dilution homogène dans tout le volume de la boîte. Cette dernière pouvant ainsi représenter une portion de vallée, une rue en milieu urbain ou un pays entier. Le modèle d'une seule boîte a été étendu et amélioré par Hussein & Martinuzzi, 1996, qui ont développé un modèle contenant une collection horizontale de boîtes communicantes dans le plan x-y sur le sol, un mélange complet est supposé à l'intérieur de chaque boîte d'où une diffusion verticale efficace des polluants. Ces derniers sont entraînés d'une boîte à une autre par un vent moyen résultant. Reiquam a utilisé le modèle pour estimer les concentrations des contaminants dans la Vallée Willamette et en Europe du Nord.

Les modèles simplifiés sont déterminés à partir d'extrapolations simples. L'utilisateur doit donc être conscient de la simplicité des modèles simplifiés et être prudent quant à l'interprétation des résultats obtenus.

#### ***II-2-5-10-La modélisation inverse :***

La modélisation inverse est un sujet d'actualité dans le monde de la dispersion atmosphérique. Elle permet d'envisager de remonter au terme source et de le caractériser en fonction d'une concentration mesurée par un capteur. Dans un objectif de surveillance de site, cette approche de remontée au terme source constitue un atout majeur dans la détection rapide de fuite.

### II-3-Les convergences et les divergences des études sur la dispersion de la pollution atmosphérique.

En explorant les différentes approches, méthodes, et outils qu'on retrouve dans l'analyse des données bibliographiques qui traitent la problématique de la dispersion de la pollution atmosphérique et la façon dont les différentes disciplines travaillent, on révèle des convergences et complémentarité entre les perspectives disciplinaires au niveau de la météorologie (les méthodes et les outils de quantification), et des divergences à trois niveaux : les données, échelles spatiales, échelle temporelles.

#### II-3-1-Les convergences ou complémentarités : méthodes de recherche, outils

Les méthodes et techniques traitant la qualité de l'air, en particulier les phénomènes liés à la dispersion de la pollution atmosphérique, qui sont en partie cités au-dessus, comme les trois techniques (les mesures in situ, la modélisation à l'échelle réduite et la modélisation numérique) sont étroitement complémentaires dont l'utilisation conjointe permet d'obtenir un degré de fiabilité plus grand.

Dans les méthodes de quantification Vardoulakis et al 2003 ont synthétisé dans un tableau les différents modèles qui concernent notre problématique ainsi que des exemples de codes utilisés, ou les chercheurs qui ont utilisé ces modèles (Tableau IV-5).

Parametric (operational)						Numerical		
Empirical		Semi-empirical				Eulerian		Lagrangian stochastic particle
Statistical	Receptor	Screening	Box	Street canyon	Gaussian	Microscale (CFD)	Urban scale	
Derwent and Middleton (1996)	COPREM]	CAR International	STREET-SRI	CPBM	ADMS-Urban	PHOENICS	MEMO	GEM
	Karim and Ohno (2000)	AEOLUS Screen	MAPS	OSPM	INDIC AIRVIRO	FLUENT	METRAS	Addison et al. (2000)
Stedman et al. (2001)		AEOLIUSQ	STREET BOX	AEOLIUS	TNO-Traffic	STAR-CD	CALGRID	Jicha et al. (2000)
		STREET	Nicholson (1975)	SLAQ	CAR-FMI	CFX-TASCflow		Xia and Leung (2001a, b)
		UK DMRB		OMG	PROKAS-V	PANCHE		
				Hotchkiss and Harlow (1973)	HIWAY-2	MERCURE		
				CALINE4	CHENSI			
				APRAC	MISKAM			
				PUFFER	MIMO			
					MITRAS			
					ADREA-HF			
					FloVENT			

Tableau IV-5: Classification des modèles de dispersion couramment utilisés. (Source : Vardoulakis et al. 2003).

## II-3-2-Les divergences : les données, les échelles spatiales, les échelles temporelles

### **II-3-2-1-*Les données***

La grande variabilité de données dans l'étude de la qualité de l'air qu'on retrouve dans la littérature liées à la multiplicité des sources de polluants existants, des phénomènes étudiés, leurs interactions, les multiples disciplines qu'ils font intervenir, ainsi que les différents niveaux d'étude envisageables, qui impliquent l'utilisation de modèles variés et les objectifs fixés par les chercheurs, il peut s'agir par exemple de :

- prévoir la concentration des polluants dans l'atmosphère ;
- prévoir le dépassement de seuils de concentration au-delà desquels les polluants sont potentiellement dangereux;
- modéliser l'impact d'installations industrielles ou encore du trafic routier ;
- Les modèles peuvent servir d'aide à la décision, en permettant de simuler l'effet des mesures de réduction d'émission ;
- la simulation ou les mesures in situ en situation de crise, et en cas de rejet accidentel de composés dangereux dans l'atmosphère.

La diversité de ces applications montre déjà qu'il existe différentes échelles spatiales et temporelles en jeu.

### **II-3-2-2-*L'échelle spatiale***

Il existe donc de nombreuses échelles spatiales intervenant dans les modèles parmi les échelles couramment utilisés :

- L'échelle de la ville : Etude de l'influence de l'hétérogénéité morphologique du tissu urbain sur la dynamique de l'atmosphère : une approche de modélisation adaptée à l'échelle de la ville.
- L'échelle d'un quartier ou un fragment urbain (place, îlot urbain ou rue canyon) :
- L'échelle d'un seul bâtiment : pour laquelle les approches sont basées sur l'« isolement » d'un bâtiment. L'influence des trois variables (hauteur, largeur et longueur) d'un immeuble sur la dispersion des polluants a été examinée en utilisant des expériences en soufflerie :

Alan H. Huber a étudié dans une soufflerie, l'influence de la largeur et de l'orientation des constructions dans le vent, et a examiné les profils des concentrations dans le sillage des bâtiments. Les rapports considérés de la largeur sur la hauteur de ces derniers sont de 2 à 22 et l'angle d'orientation varie de - 30 à + 60.

Des investigations expérimentales ont été conduites, par M. H. Mirzai et al, dans une soufflerie sur l'écoulement et la dispersion des polluants autour d'un bloc isolé. Une atmosphère stable et neutre à l'échelle 1/75 a été simulée. Une quantité substantielle des données expérimentales a été rassemblée pour produire des images qui montrent la concentration moyenne temporelle du polluant dans un plan prédéterminé derrière les bâtiments. Les résultats sont obtenus pour des déviations dans la direction du vent de (- 10°, - 5°, 0°, + 5° et + 10°), et montrent que les concentrations du polluant sont affectées



par la forme et l'orientation du bâtiment, et aussi par la nature et l'échelle de l'écoulement approché de la couche limite.

Martinuzzi & Tropea (1993) cité au par avant ont étudié l'écoulement de l'air autour d'un bâtiment, d'une géométrie des plus basiques dans une soufflerie, puis Hussein & Martinuzzi détaillent l'écoulement autour de parallélépipèdes avec différents rapports d'aspects (rapport de la largeur de la face au vent sur sa hauteur) placés dans un canal. Hussein & Martinuzzi se sont particulièrement intéressés aux bilans des différentes variables turbulentes.

### II-3-2-3-L'échelle temporelle

Les disciplines opèrent à des échelles de temps différentes. Il étudie le problème sur des échelles de temps courtes (quelques jours) pour les aspects météorologiques, et sont également encouragés, notamment par les décideurs politiques, à réaliser des projections sur le long terme (plusieurs dizaines d'années). Enfin, les chercheurs en sciences sociales et humaines soulignent leur "logique temporelle différente", très fortement liée aux individus.

## II-4-Récapitulation

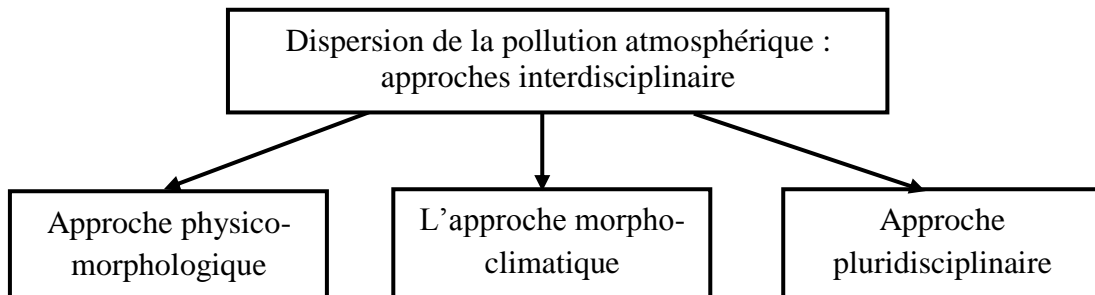


Figure IV-21: Les différentes approches. (Source : l'auteur)

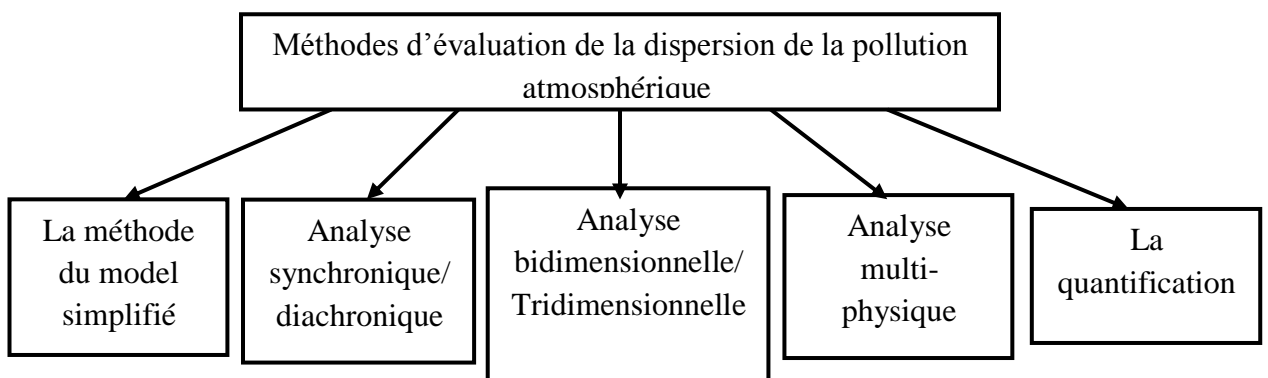


Figure IV-22: Les différentes méthodes (Source : l'auteur)

Les divergences des études sur la dispersion de la pollution atmosphérique.

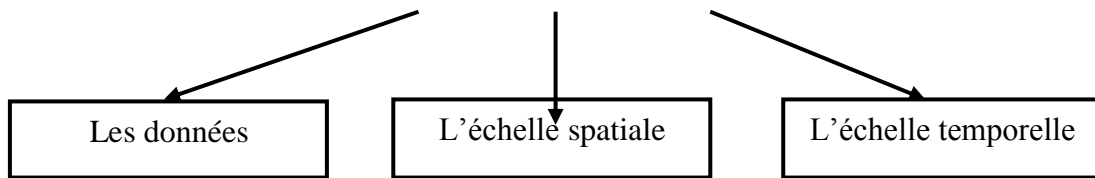


Figure IV-23: Les divergences des études sur la dispersion de la pollution atmosphérique  
(Source : l'auteur)

### III- POSITIONNEMENT EPISTEMOLOGIQUE

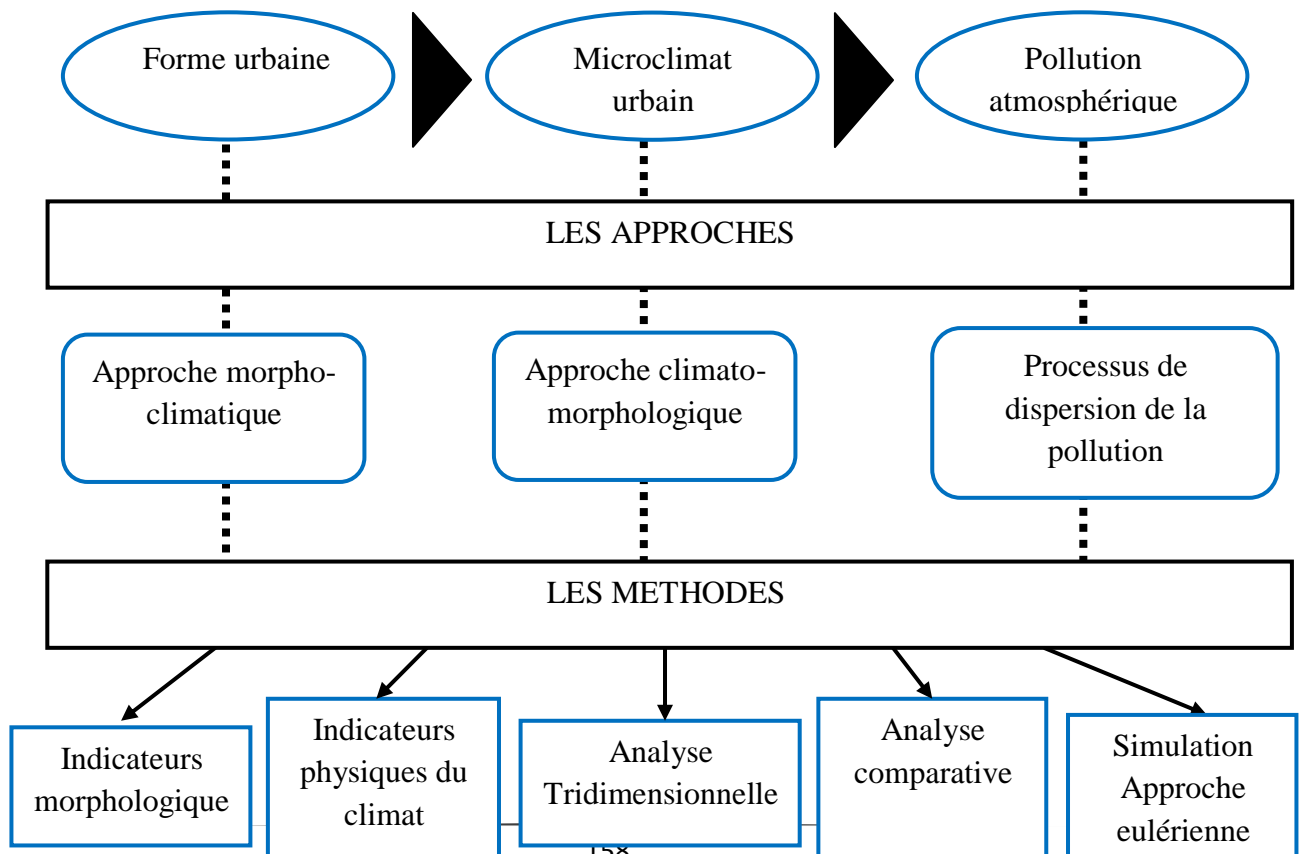
#### III-1- Choix des approches

Ce travail de recherche a pour objectif de contribuer à l'analyse de l'impact de la morphologie urbaine sur la dispersion de la pollution atmosphérique. Cherchant à mettre en correspondance la forme urbaine et les phénomènes liés à la dispersion de la pollution atmosphérique.

Ce travail devra prendre appui à la fois sur des connaissances en climatologie urbaine, et morphologie urbaine. Il s'inscrit dans un cadre pluridisciplinaire où les champs distincts mais complémentaires de la climatologie urbaine et de l'urbanisme, nous offres deux approches qui sont l'approche climatique urbaine et l'approche morpho-climatique.

#### III-2-Choix des méthodes

Pour répondre à notre problématique, qui s'inscrit dans la relation triadique et la causalité existante entre la forme urbaine, le microclimat urbain, la pollution atmosphérique et plus particulièrement le phénomène de dispersion atmosphérique on s'est appuyé sur différentes méthodes (figure IV-24).



*Figure IV-24 : schéma synthétisant les approches, et méthodes utilisées dans notre étude (source auteur)*

### **III-3-La caractérisation des indicateurs**

On assiste ces dernières années, dans les domaines opérationnels liés à la question de la qualité environnementale, à une utilisation de plus en plus persistante du terme « indicateur ». Les indicateurs ont pour vocation principale de simplifier les situations complexes et de traduire leurs implications opérationnelles auprès des intervenants sur le cadre bâti. Cette notion s'est imposée dès lors qu'il fallait rendre accessible, à une communauté non spécialisée, des données complexes provenant de disciplines diverses, l'indicateur tente d'évaluer une situation dans un domaine de connaissance par l'intermédiaire de descripteurs liés (soit directement soit par interprétation) à un autre domaine de connaissance.

#### **III-3-1-Indicateurs morphologiques**

Dans l'analyse de la revue de la littérature cinq grands domaines d'action apparaissent pour influencer sur le climat urbain, et par conséquence la dispersion de la pollution atmosphérique : le bâtiment, l'espace public, l'organisation urbaine, (tableau IV-6), les activités industrielles et les transports. Il est à noter que ces cinq domaines ne sont pas indépendants et que des relations existent entre les éléments qui les composent.

Les leviers d'action concernant les activités industrielles et les transports étant plus de l'ordre de l'organisation ou de l'amélioration des équipements que d'une modification du cadre bâti, nous avons quand même choisi de les spécifier dans notre étude, car nous tenons compte de leur influence.

##### **III-3-1-1-Le bâtiment**

Le bâtiment est défini comme une construction destinée à servir d'abri et à protéger des personnes et des biens individuels ou collectifs. Ses caractéristiques techniques et physiques sont avant tout déterminées par ce qu'il va protéger, par sa fonction mais également par les contraintes réglementaires auxquelles il est soumis. (M.Colombert, 2008).

Le levier d'action en relation avec ce domaine apparait suite à l'analyse précédemment effectuée sur la formation du climat urbain est:

- **La forme du bâtiment**, souvent représentative d'une époque et/ou d'une architecture.  
Elle peut se décrire par la taille, le gabarit de l'immeuble, son nombre d'étage, sa surface, etc.

##### **III-3-1-2-L'espace public**

L'espace public trouve de multiples définitions. Comme le signale Dumont (2005), c'est un « terme protéiforme, à la fois « espace métaphysique », « espace d'émergence de la raison », « phénomène sociologique de rencontre », « miroir des comportements », « manière de vivre ensemble » ou encore éléments du « tissu construit » ». Il est ainsi parfois

défini par opposition aux espaces commerciaux, culturels et privés. Par espace public, nous entendons ici uniquement la voirie (terrestre), et les rues principalement.

Il existe un grand nombre de types de rues (Allain, 2004). Dans notre cas nous resterons sur une typologie restreinte contenant simplement des ruelles et rues ordinaires, des rues Principales.

Deux leviers d'actions peuvent être mis en avant :

- **La forme des rues**, qui inclut dans notre expérimentation leur largeur.
- **la géométrie de la rue**, c'est-à-dire leur tracé, rectiligne ou sinueux, leur orientation.

### *III-3-1-3-L'organisation urbaine*

Par organisation spatiale, nous entendons l'agencement spatial des bâtiments et de l'espace public les uns par rapports aux autres et leur importance en termes de surface au sein de la ville. Les techniques de construction des bâtiments sont dans le champ d'étude de l'architecture ; déterminer la manière dont les bâtiments sont organisés à l'échelle de la ville incombe à l'urbanisme.

Les bâtiments constituent les pleins, alors que l'espace public, tel que nous l'avons défini, constitue la majorité des vides. C'est l'agencement de ces pleins et de ces vides qui nous intéressent. C'est à la fois le plan, le maillage, le volume urbain que constitue l'ensemble des deux domaines précédents. ( M.Colombert, 2008).

Concernant ce domaine d'action, deux leviers d'action peuvent être proposés :

- **Les densités**, qui donnent un aperçu synthétique de l'espace urbain. Ces densités comprennent ainsi la densité du bâti brute, la densité du bâti nette, la densité du logement, et le coefficient d'emprise au sol.
- **La forme et le profil de l'espace urbain**, qui comprennent dans notre étude, les rapports entre largeur de rue et hauteur d'immeuble, l'alignement des bâtiments sur la rue.

Domaine	Levier d'action	Critère	Définition du critère	Unité
<b>1-Le bâtiment</b>	Forme du bâtiment	Hauteur (ou gabarit-enveloppe) de l'immeuble	Hauteur verticale (à la sablière) plus couronnement (volume des combles)	m
		Nombre d'étages	Nombre d'étages	-
		Coefficient d'emprise au sol	Pourcentage de surface bâtie au sol pour la ville à la parcelle ou l'îlot.	%
		Largeur du bâtiment	Largeur du bâtiment	m

		Profondeur du bâtiment	Profondeur du bâtiment	m
		Nombre de façades	L'immeuble peut-être à l'alignement et accolé à ses voisins (mitoyenneté) ou en milieu de parcelle	-
		Contacts	Nombre de contact entre bâtiments	-
		Age	Date de construction	date
<b>2- Les espaces publics</b>	Forme de la rue	Largeur de la rue	Largeur de la rue	m
	Géométrie des rues	Tracé (rectiligne ou sinueux)	Projection orthogonale des linéaires des rues sur une direction donnée	-
		Longueur	Longueur moyenne des rues	m
		Orientation	Orientation moyenne des rues	-
<b>3- L'organisation urbaine</b>	Densités	Densité du bâti brute	Le rapport entre la surface de planchers ou SHON (surface hors œuvre nette) réalisée, et la superficie totale du terrain d'assiette de l'opération, voirie publique interne comprise.	-
		Densité nette	le rapport entre la surface des planchers ou SHON (surface hors œuvre nette) réalisée, et la superficie totale du terrain d'assiette de l'opération, voirie publique interne de l'opération déduite.	-
		Densité de logement	le rapport entre le nombre connu ou estimé d'habitants dans l'opération hors voirie publique ramené à l'hectare.	-
		Ratio espace ouvert hors voirie	Le rapport entre l'espace non bâti de l'opération, hors espace affecté à la voiture (stationnement au sol, voirie de desserte interne de l'opération) et la surface du terrain d'assiette de l'opération hors voirie publique.	%
	Forme et profil de l'espace urbain	Prospect	Hauteur moyenne des bâtiments / largeur moyenne des rues	-
		Alignement des bâtiments sur la rue	Retrait ou reculement du bâtiment par rapport à l'alignement	m

III-3-2-Indicateurs physique du climat

**III-4-L'analyse tridimensionnelle : La modélisation de la géométrie**

La modélisation de la géométrie s'est effectuée grâce plusieurs outils

III-4-1-Le laser mètres PD4 HILTI : La prise de mesure

Il est nécessaire que les modèles construits représentent le bâti de manière tridimensionnelle, pour cela, nous nous servi d'un **laser mètres PD4 HILTI** sur le terrain (Figure IV-25), cet appareil est fiable car il a une précision de  $\pm 2\text{mm}$  sur toute la porté.



Figure IV-25: Laser mètre PD4 HILTI (Source : l'auteur)

III-4-2-Le modeleur « bonzai 3D »

Bonzai3d est une des marques d'AutoDesSys, Inc **2010**. Il est l'héritier du célèbre FormZ dont il n'a gardé que le meilleur. Pour la simplicité et la facilité de sa manipulation on a choisi ce logiciel en plus il réunit, tous les outils de modélisation classiques, il propose, surtout, de puissants outils de création de formes complexes à base de surfaces, de solides. Et il propose Plus de 20 formats d'import/export dont le format STL indispensable pour l'étape importante qui est le maillage.

III-4-3-Le logiciel Magics 11.1 : Le nettoyage de la géométrie

**Le logiciel Magics 11.1** est une marque de materialise n.v 2007, le choix de cet outil c'est effectué pour la facilité d'utilisation et l'efficacité lorsqu'on travaille avec des données a facettes, il offre des outils avancés et hautement automatisé de manipulation STL, en plus la correction du fichier STL se fait en quelques minutes avec l'aide d'outils pour interagir directement sur les zones défectueuses.

**III-5-Le model eulérien (CFD) pour la quantification de la dispersion de la pollution atmosphérique**

**Gambit 2.4.6** est un logiciel de maillage 2D/3D; L'éditeur historique de Gambit était la société Fluent, elle a été acquise par ANSYS en 2006; ce logiciel permet de mailler des domaines de géométrie d'un problème de CFD. Il génère des fichiers \*.msh pour fluent.

Gambit regroupe trois fonctions: la création de la géométrie du problème, le maillage et sa vérification ; la définition des frontières (types de conditions aux limites).

**Le logiciel FLUENT** a été notre outil de simulation principal, c'est un logiciel de modélisation en mécanique des fluides édité par la société ANSYS.

Fluent est un logiciel qui résout par la méthode des éléments finis des problèmes de mécanique des fluides, il supporte tous les régimes d'écoulements, Euler ou visqueux, stationnaire ou non. Multiphasique, il résout simultanément les phénomènes thermiques, chimiques, multiphasiques et aéroacoustiques.

**Le logiciel Tecplot 360** est un outil de simulation numérique CFD et logiciel de visualisation qui permet d'analyser des données complexes, organiser plusieurs mises en page, et de communiquer nos résultats avec des images et des animations professionnelles. De tous les outils de visualisation CFD disponibles, Tecplot 360 est le plus facile à utiliser et offre le rendement le plus visuellement puissant, en permettant un gain de temps.

### **III-5-L'approche comparative**

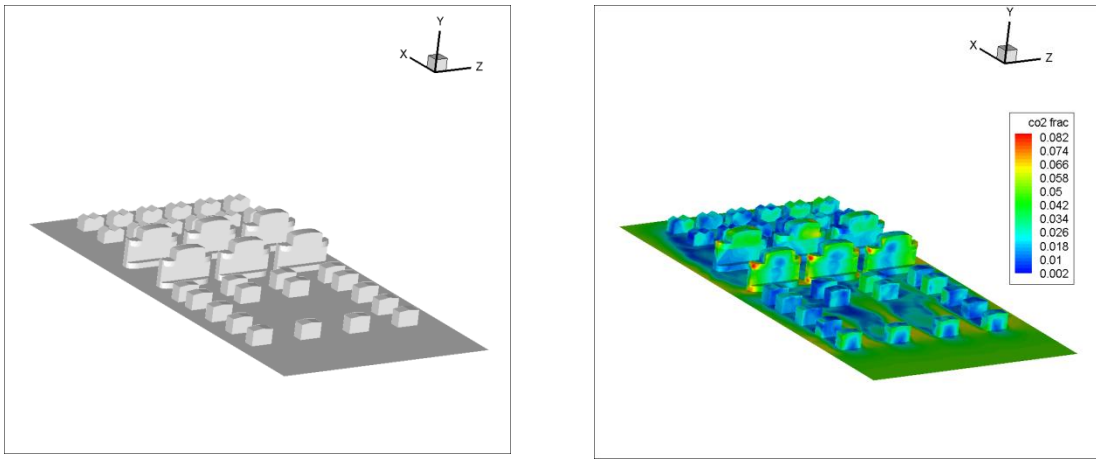
Pour l'étude de la dispersion de la pollution atmosphérique, on utilise souvent l'approche comparative, qui consiste à comparer les résultats obtenus à différentes échelles spatiales (fragments urbains, rues canyons, quartiers,...etc.) dans la même ville ou entre plusieurs villes, ou bien les échelles verticales de l'atmosphère, ou encore les résultats entre plusieurs modèles, ainsi que les méthodes (ex : comparer les résultats obtenus par des mesures in situ et une simulation numérique), les phénomènes influant sur le microclimat urbain qui se caractérise par l'îlot de chaleur urbain obtenu grâce à une étude comparative entre l'écart maximum de température pouvant exister entre les températures des rues d'une ville et celle d'une surface rurale.(OKE, 1987)

Notre axe de recherche s'appuie sur une méthode comparative, à trois niveaux selon les paramètres influant sur les processus de dispersion de pollution atmosphérique, qui sont cités dans le premier chapitre (la pollution atmosphérique) :

- La nature des polluants : Nous avons choisi de traiter deux polluants :
  - Les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), étant parmi les polluants les plus représentatifs de la pollution automobile.
  - Le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ )
- La morphologie urbaine : deux quartiers ont fait l'objet de notre étude, ainsi que la comparaison du résultat au niveau des rues se trouvant au sein d'un même quartier.
- Les données météorologiques : pour évaluer l'influence des données météorologiques sur la dispersion de la pollution atmosphérique, on a varié les données au sein d'un quartier.

### **III-6-Le cas test**

L'expérimentation initiale a été faite sur un cas test en utilisant les données météorologiques de la ville d'Annaba, une fois les résultats obtenus cela nous a permis d'entamer l'étude sur 05 différents fragments urbains choisis au préalable (Figure IV-26),



*Figure IV-26: cas test*



## CONCLUSION

Ce chapitre a exposé les différentes stratégies méthodologiques permettant de mettre en évidence l'effet de la morphologie urbaine sur la variabilité de l'environnement en milieu urbain et la pollution atmosphérique en premier lieu. La modélisation de la ville intégrant les approches systémiques et interdisciplinaires est une démarche qui vise à apporter des réponses à la gestion de cette complexité et de l'incertain. L'autre particularité de cette période contemporaine est que ces questions aiguës se posent de façon concomitante aux praticiens et aux chercheurs favorisant ainsi la mise en œuvre d'un processus de coproduction des problématiques urbaines et de leurs résolutions.

Pour notre étude Il s'est avéré incontournable de combiner plusieurs stratégies méthodologiques notamment : l'analyse typomorphologique développées dans le chapitre de la morphologie urbaine nous a permis la lecture de nos configurations urbaine et d'extraire les indicateurs morphologique, les indicateurs physiques du climat, la méthode de la simulation numérique avec le logiciel de (CFD) FLUENT en 3D qui permettra par la suite l'analyse tridimensionnelle de nos résultats, a fin de mesurer la variabilité de l'environnement en milieu urbain, et d'évaluer les conditions climatiques et morphologiques qui favorise ou bloque la dispersion des polluants atmosphériques en a eu recours a l'analyse comparative .

# **Chapitre 5**

## **Cas d'étude**

## INTRODUCTION

Pour discerner les problèmes de pollutions en milieu urbain et expliquer l'origine des nuisances et la dégradation de l'environnement, nous nous sommes intéressés à la ville d'Annaba. Exposant les caractéristiques qui ont permis de choisir ce territoire comme terrain d'étude pour ensuite l'analyse de chaque échantillon de tissus et d'opérations urbaines existantes dans la ville qui sont représentatifs des grandes catégories d'habitat et d'équipements à Annaba choisi pour notre investigation qui s'intéresse, a priori, à tout ce qui contribue aux modifications du microclimat urbain, à la dispersion de la pollution atmosphérique qui est en particulier la morphologie urbaine.

L'agglomération de Annaba se prête particulièrement bien à notre recherche empirique, elle nous paraît « exemplaire », au delà de la facilité d'accessibilité aux données, elle présente des avantages non négligeable pour en faire notre objet d'étude :

- L'importance des sources de pollution atmosphérique : le parc automobile, les grands complexes industriels,...etc. la ville est classée parmi les villes les plus polluées dans le pays.
- La diversité des formes urbaines.
- La station de mesure et de surveillance de la qualité de l'air « Sama Safia » implantée dans l'agglomération urbaine d'Annaba qui dispose d'une base de donnée fiable pour la recherche sur le microclimat et le taux d'émission de polluants atmosphérique.
- Nous avons choisi de vérifier l'hypothèse sur deux fragments de tissus urbains existants dans la ville d'Annaba, pour avoir des résultats opérationnels et concrets qui peuvent être des recommandations et des solutions pour des tissus déjà existants, qui souffrent d'une multitude de problèmes qui constituent la problématique par rapport au facteur sanitaire tant négligé dans la conception urbaine et architecturale

L'étude des conformations architecturales, par le biais d'une analyse typo-morphologique, vise à mettre en exergue la structuration sous-jacente d'objets architecturaux, qui organise le cadre bâti dans son contexte du cas d'étude des deux quartiers choisies dont le quartier des oranger et le quartier de Belaid Belgassem, suivi d'une analyse climatique, et l'étude de la pollution atmosphérique fera l'objet de ce présent chapitre.

## IV- ANALYSE TYPO- MORPHOLOGIQUE

### I-1-Ville d'Annaba : présentation de la ville

Située au nord est de sa wilaya, au nord est de l'Algérie et couverte sur le littoral méditerranéen sur 80 km ; la wilaya de Annaba s'étend sur 1.415 km<sup>2</sup>. Elle est limitée géographiquement par :

- la méditerranée au nord ;
- la wilaya de Guelma au sud ;
- la wilaya D'El Taref a l'est et
- la wilaya de Skikda a l'ouest

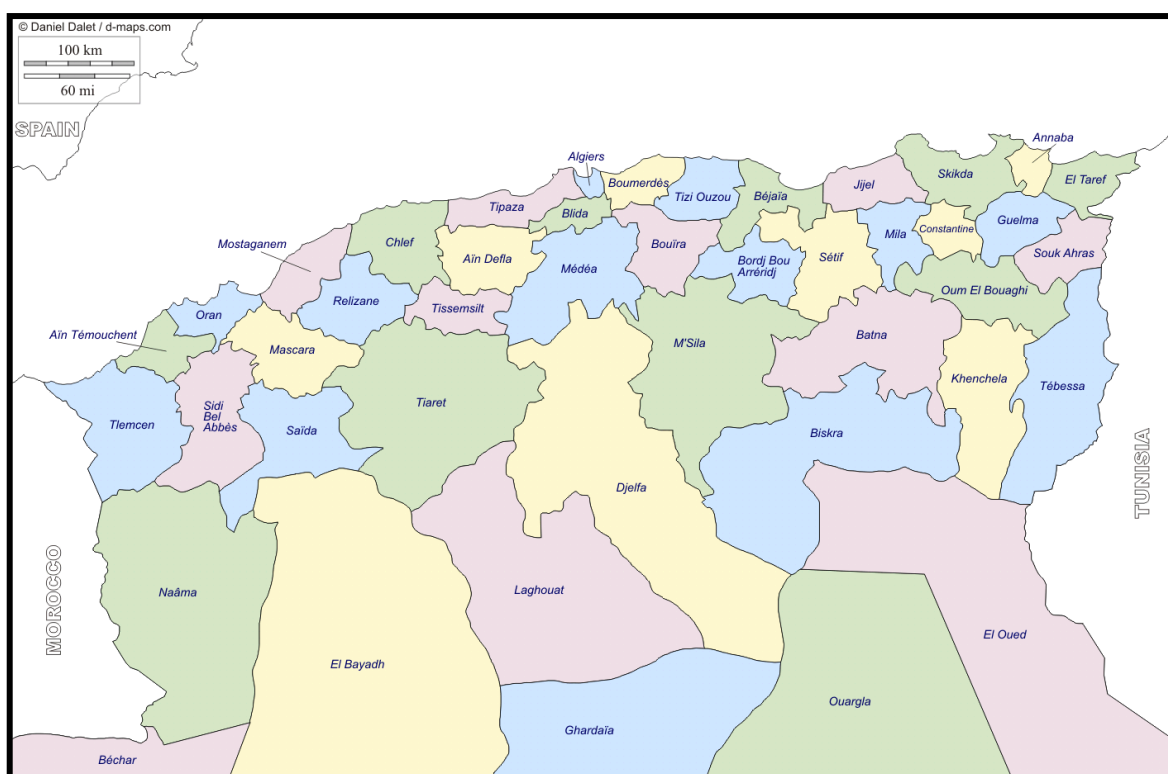


Figure V-1: Situation de la ville de Annaba. (Source : d-maps , 2012)

Géographiquement la région nord-est du pays s'identifie à la métropole Annaba. la wilaya de Annaba est constituée de six daïra au tours desquels gravitent 12 communes, dont 5 urbaines en occurrence Annaba, el Bouni, sidi Amar, el hadjar, berahal.

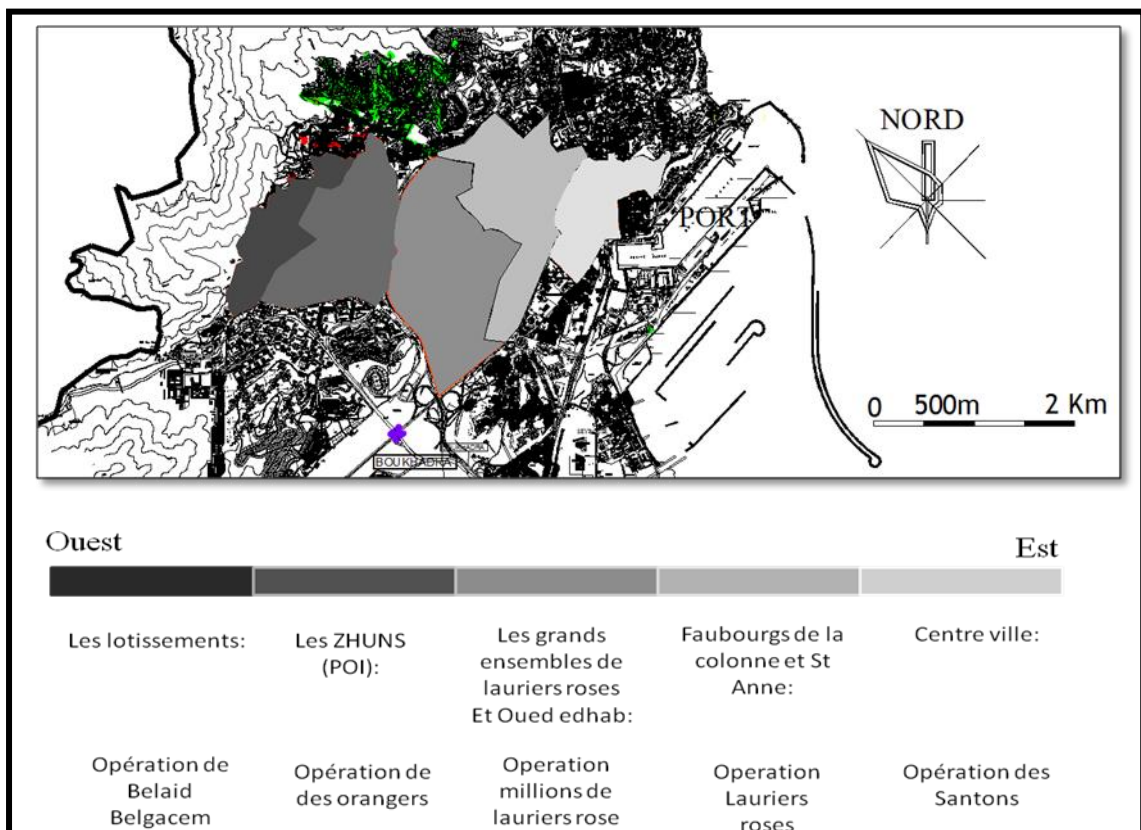
La Annaba se situe sur la rive sud du bassin méditerranéen, au nord-est de sa wilaya, au Nord-Est de l'Algérie, à 420 km de la capitale Alger et à 100 km de la frontière tunisienne. La ville s'élève au fond d'une baie ouverte à l'est sur le golfe d'Annaba. Elle est dominée à l'ouest par la chaîne de montagne de l'Edough (1 008 m d'altitude).elle est l'œuvre du temps un processus long qui s'est étalé sur plusieurs siècles. L'analyse structurelle de la

ville montre que sa structure est composite et constituer de plusieurs types de tissus urbains parmi ces tissus :

- Tissu organique : (vienne ville médina).
- Tissu géométrique : ville européenne
- Tissu lâche : ville a l'ouest de la ville européenne et la ville post indépendance.

**I-2-Secteur d'étude:**

Cinq tissus urbains dans la ville d'Annaba ont été choisi initialement afin de faire l'objet d'une étude comparative en plus d'une analyse diachronique similaire a les études de Groleau 2002 , Benzarzour en 2004 (Figure V-2), pour permettre d'offrir un panel représentatif de la diversité des formes urbaine entre les tissus se trouvant de l'est a l'ouest de la ville et évaluer l'impact de la transformation diachronique de la morphologie urbaine ; le mode d'organisation des éléments de la forme urbaine entre eux ; L'organisation du bâti et le tissu urbain(les tissus programmés ou composés inspiré de la ville haussmannienne ; le tissu fordiste ; tissu lâche.) ; les caractéristiques distinctes de la structure physique (densité bâtie, prospect des rues H/L,...etc.) de chacun des tissus urbains, sur la variation des microclimats et par conséquent la dispersion des polluants .



*Figure V-2: Situation de la ville de Annaba. (Source : l'auteur)*

Mais parmi les difficultés rencontrées dans notre investigation et a cause de la complexité de la géométrie et la taille importante des échantillons choisis on s'est limité a deux tissus urbains situés a l'ouest de la ville d'Annaba, la ZHUN plaine ouest I (POI), les lotissements de sidi Harb(figure). La figure montre les deux tissus urbains et leurs périmètres de calcul.

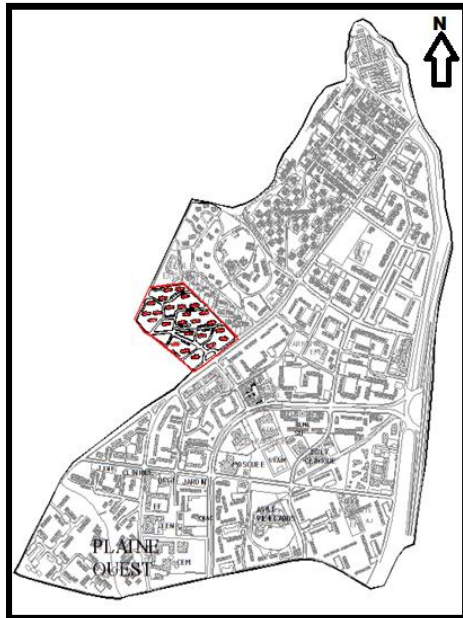


Figure V-3: la ZHUN plaine ouest I et les périmètres de calcul (Source : l'auteur)

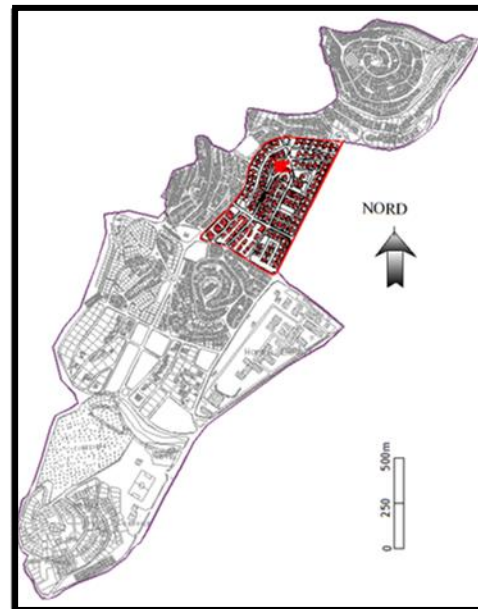


Figure V-4: les lotissements de Sidi Harb et les périmètres de calcul (Source : l'auteur)

Le choix de ces deux tissus urbains est motivé par :

- La périodes de construction des deux opérations entre 1974 et 1990, ou les espaces produits ont été décevants sur le plan architectural avec une dégradation rapide des immeubles, une pauvreté et une monotonie des éléments architecturaux, une mauvaise utilisation et une surconsommation des espaces extérieurs, ....etc, le moteur principal de l'urbanisation produite par l'initiative du pouvoir public et par ricochet un des facteurs majeurs de l'étalement urbain.
- la comparaison entre les deux typologies d'habitat, le collectif discontinu et l'habitat intermédiaire.
- le mode d'organisation des éléments de la forme urbaine entre eux, L'organisation du bâti et le tissu urbain (les tissus programmés ou composés inspiré de la ville haussmannienne ; le tissu fordiste ; tissu lâche.) ;
- La typologie des activités des différents tissus urbains (équipement, habitat.) ;
- les caractéristiques distinctes de la structure physique (densité bâtie, prospect des rues H/L,...etc.) de chacun des tissus urbains.
- les aspects particuliers du cadre bâti, l'alignement, l'élargissement des rues, la hauteur des bâtiments et la complexité de leurs formes.

## I-2-1-Le quartier des Orangers :

### I-2-1-1-*Identification :*

- Nom de l'opération : ZHUN plaine ouest I (POI).
- Adresse : la cité des orangers 200 logements.
- Date de réalisation : 1974 et s'achève vers 1982.
- Typologie d'habitat : collectif discontinu.



70





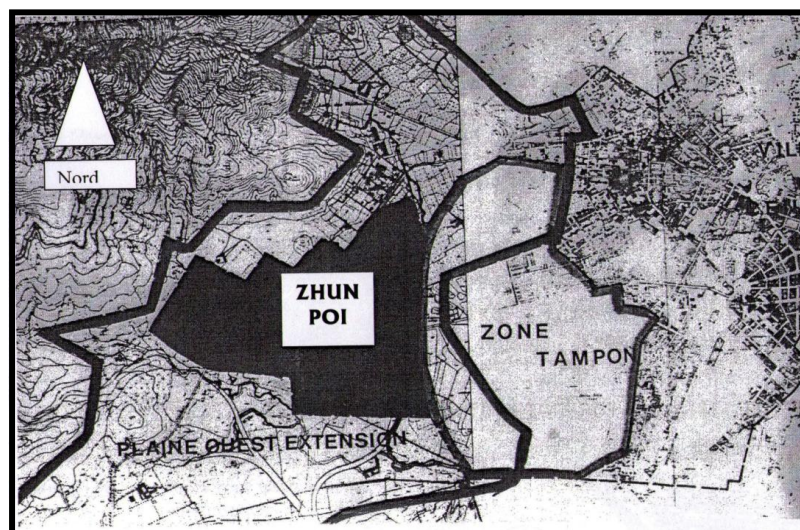
*Figure V-5:Périmètre de l'échantillon de tissu étudié la cité des orangers (Source : Google earth 2002).*

### **I-2-1-2-description de l'opération**

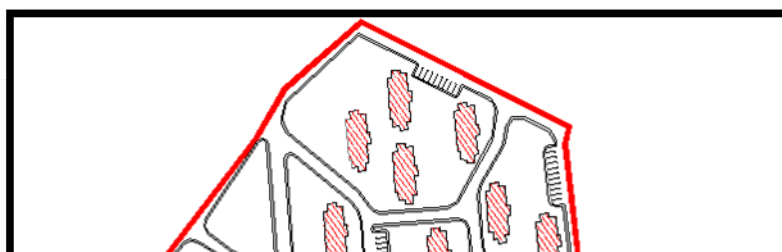
#### **I-2-1-2-1-Eléments du contexte**

Suite à la proposition d'un certain PUD en 1958, appelé plan de Constantine ayant pour projet de repenser ou de compléter l'organisation structurelle de la ville de Annaba et de penser l'extension par rapport à ce qui existait, il fallait répondre rapidement aux besoins d'une population en attente de logements, donnant lieu à la création de 6 ZHUN dont une des plus intéressantes est la PO I, et la production d'échelle des logements type HLM.

Les terrains pentus du nord ne pouvaient intéresser la production urbaine post indépendance, cette dernière était du type technico-économique et social et ne cherchait de ce fait que des terrains plats sans difficultés techniques. La logique du PUD 1975 a été de prévoir des logements collectifs sur les plaines pris en charge par l'état Mais les terrains plats étaient souvent des terrains marécageux et donc d'une faible portance, occupés par une activité agricole (les organes) importante. L'urbanisme de la plaine ouest a commencé par observer un espace tampon (les grands ensembles de lauriers roses, et Oued Edhab de 1950) pour mieux gérer les impératifs du court terme sans compromettre le long terme.

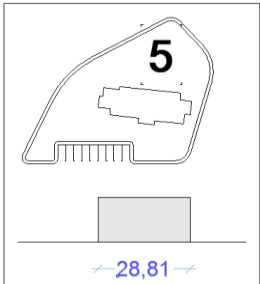
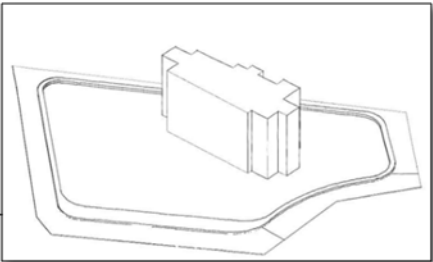


**I-2-1-2-2-Morphologie urbaine.** *Figure V.6: L'espace tampon comme stratégie temporelle. (Source : ZHUN POI, 1975)*

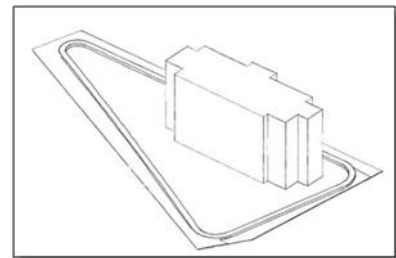
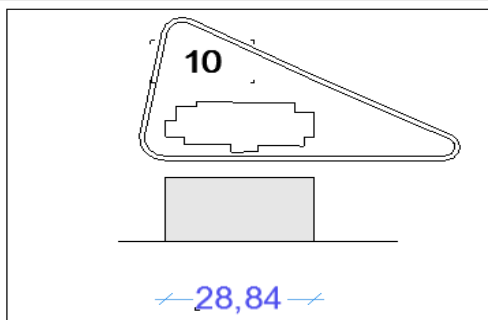
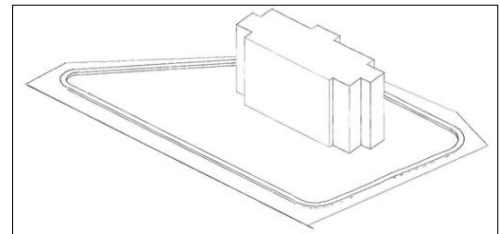
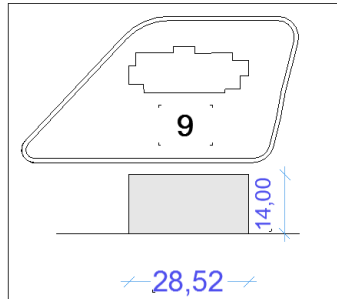
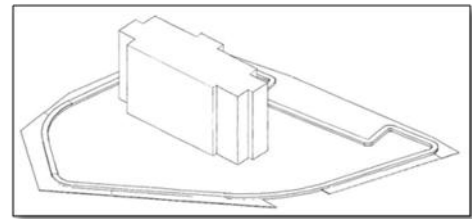
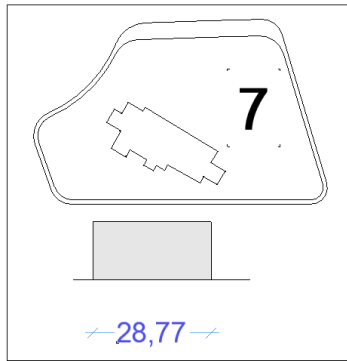


*Figure V-7: Quartier des orangers (Source : l'auteur)*

- Les bâtiments sont posés aléatoirement
- Les immeubles d'habitation ont une volumétrie est architecture similaire.
- Les bâtiments en forme de barre déconnectée du dessin de l'espace public.
- Le quartier partagé en 10 ilots totalement atomisés, ont des modes de compositions différentes et des formes plutôt organiques.
- Les l'architecture est dissociée de la trame viaire ou les blocs d'habitation sont disposés de façon isolée ou passive de la trame viaire, les blocs sont de type ponctuels ramifiés.
- La standardisation des blocs et leur limitation de niveau à R+3
- Le rapport plein/vide : tout est éclaté ouvert et sans végétation tous Les rapports entre édifices ne dégagent aucune forme.

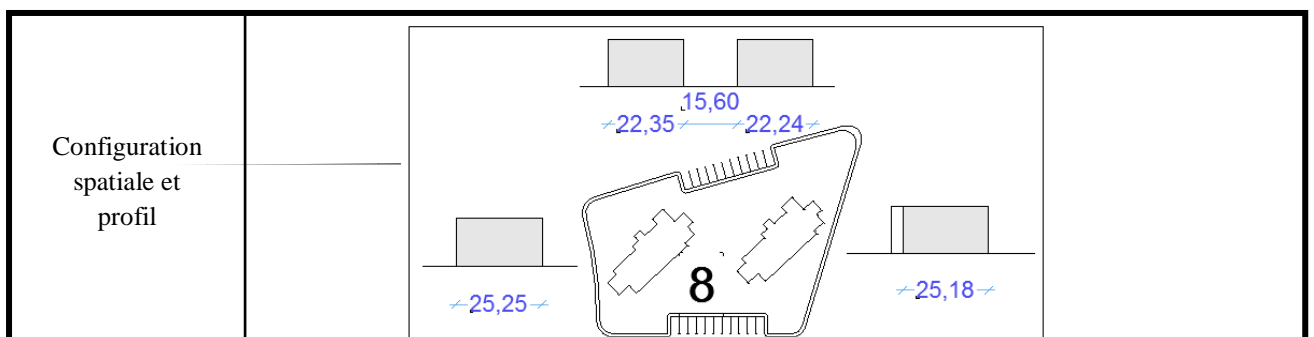
Configuration spatiale et profil	Volumétrie
	



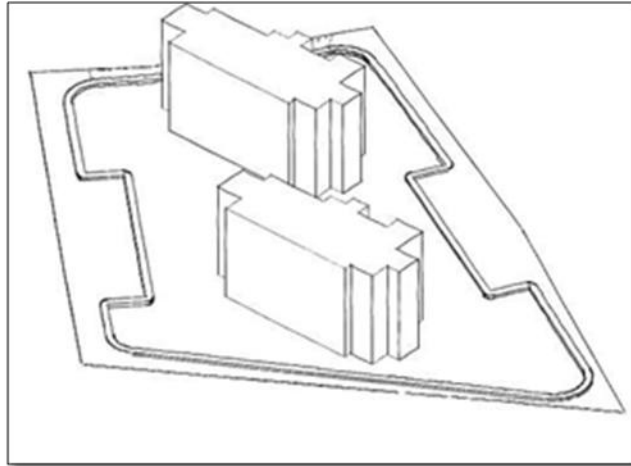


Ilot	Nbr bloc	H (m)	L (m)	I (m)	S assiette (m <sup>2</sup> )	S bâti (m <sup>2</sup> )	S vide hors voirie (m <sup>2</sup> )	D N	Ratio EO hors voirie (%)	Ratio H/L	O
5	01	14	28.81	9.61	1526,73	246,42	1280,31	0,63	83,85	-	Est
7	01	14	30.76	9.09	2208,16	273,63	1934,53	0,48	87,60	-	Sud
9	01	14	28.55	9.33	1539,31	248	1291,31	0,62	83,88	-	Ouest
10	01	14	28.72	9.48	1009,62	250,7	758,92	0,96	75,16	-	Est

Figure V-8: Catégorie n° 01 des îlots du quartier des orangers (Source : l'auteur)

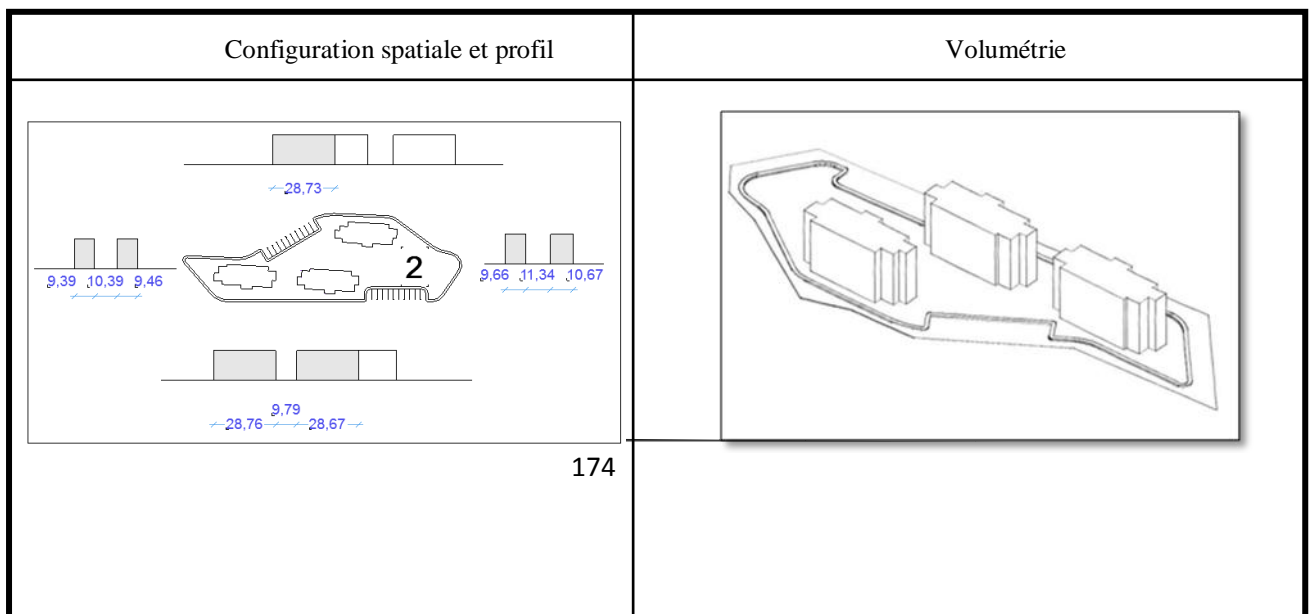


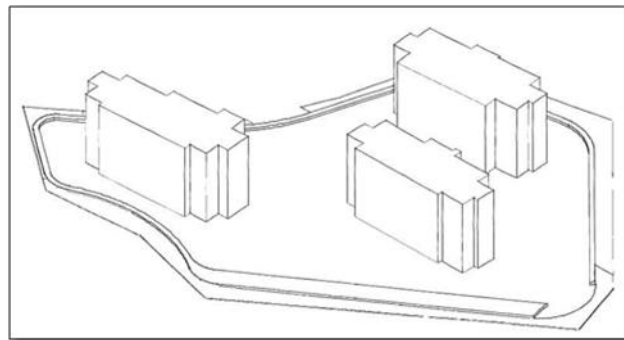
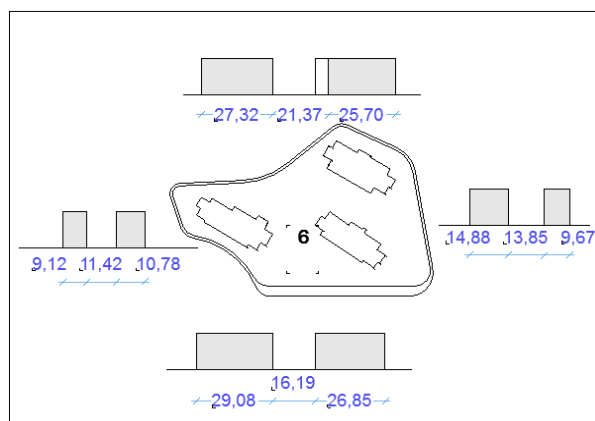
Volumétrie



Ilot	Nbr bloc	H (m)	L (m)	l (m)	S assiette (m <sup>2</sup> )	S bâti (m <sup>2</sup> )	S vide hors voirie (m <sup>2</sup> )	D N	Ratio EO hors voirie (%)	Ratio H/L	O
8	02	14	30.34	9.51	3053,92	567	2486,92	0,72	81,43	1.11	Ouest

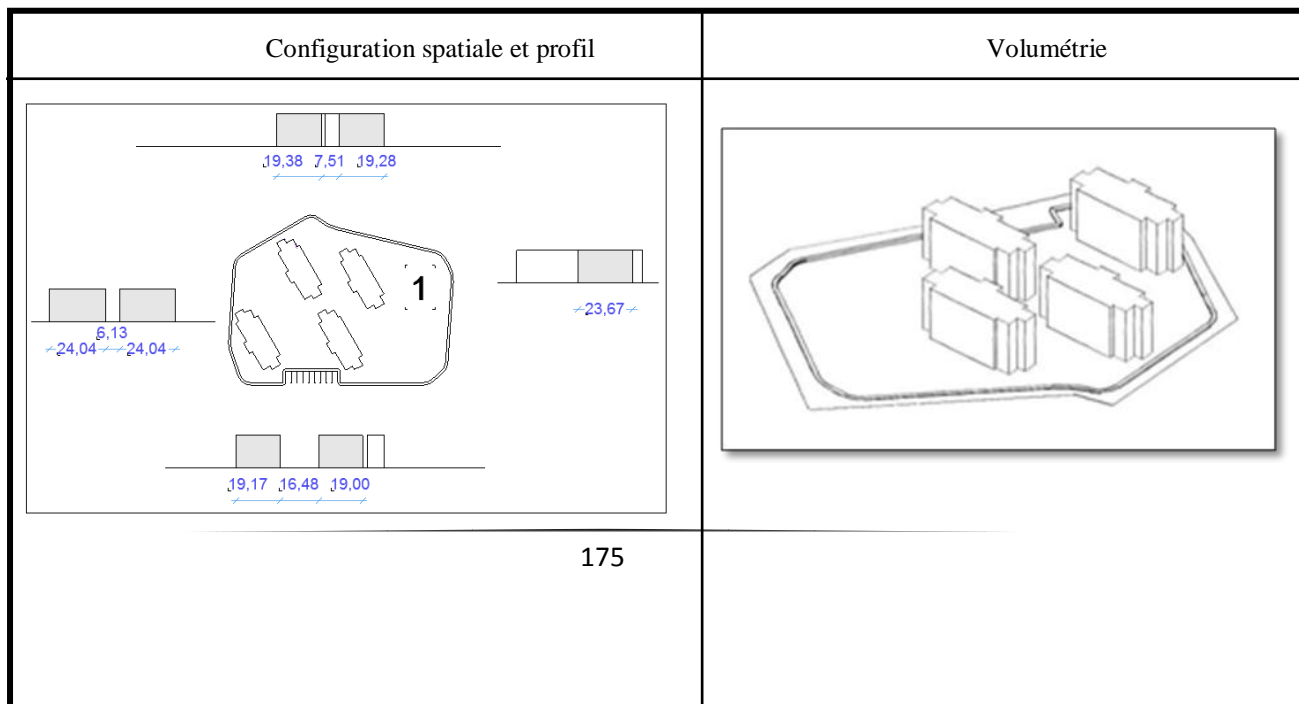
Figure V-8: Catégorie n° 02 des îlots du quartier des orangers (Source : l'auteur)

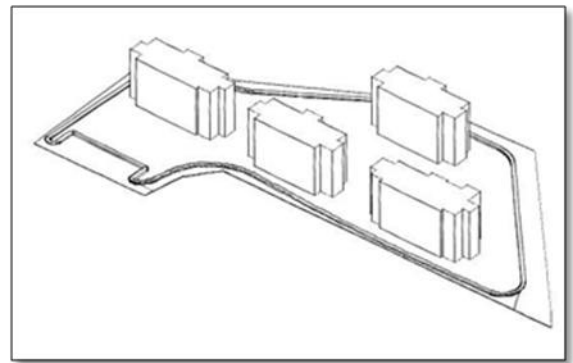
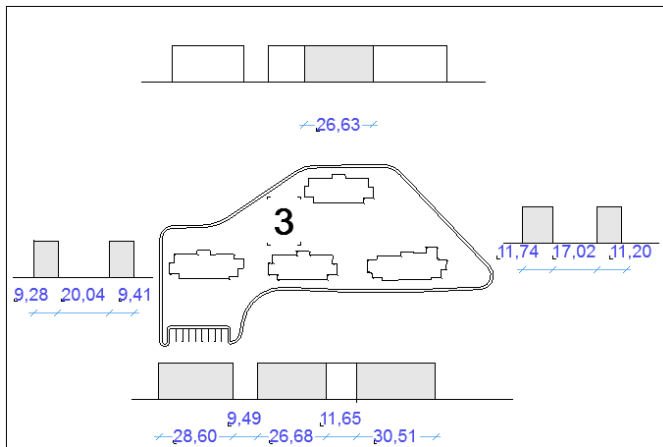




Ilot	Nbr bloc	H (m)	L (m)	l (m)	S assiette (m <sup>2</sup> )	S bâti (m <sup>2</sup> )	S vide hors voirie (m <sup>2</sup> )	D N	Ratio EO hors voirie (%)	Ratio H/L	O
2	03	14	28.60	9.49	3113	763,6	2349,4	<b>0,31</b>	75,47	1.43	<b>Nord-est</b>
6	03	14	29.39	10.41	4077,69	839,61	3238,08	<b>0,26</b>	79,40	1.22	<b>Sud - est</b>

Figure V-8: Catégorie n° 03 des îlots du quartier des orangers (Source : l'auteur)



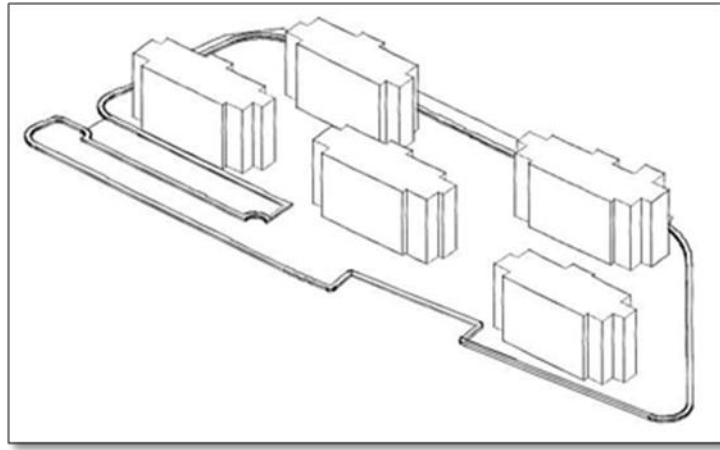


Ilot	Nbr bloc	H (m)	L (m)	l (m)	S assiette (m <sup>2</sup> )	S bâti (m <sup>2</sup> )	S vide hors voirie (m <sup>2</sup> )	D N	Ratio EO hors voirie (%)	Ratio H/L	O
1	04	14	28.57	9.59	5455,82	991,54	4464,28	0,18	81,83	2.72	Nord-ouest
3	04	14	28.12	9.40	4815,04	995,73	3819,31	0,20	79,32	1.47	Nord-est

Figure V-8: Catégorie n° 04 des îlots du quartier des orangers (Source : l'auteur)

<p>Configuration spatiale et profil</p>	
<p>176</p>	

Volumétrie



Ilot	Nbr bloc	H (m)	L (m)	I (m)	S assiette (m <sup>2</sup> )	S bâti (m <sup>2</sup> )	S vide hors voirie (m <sup>2</sup> )	D N	Ratio EO hors voirie (%)	Ratio H/L	O
4	05	14	28.74	9.15	5788,96	1265,9	4523,06	0,17	78,13	1.17	Est

Figure V-8: Catégorie n° 05 des îlots du quartier des oranges (Source : l'auteur)

### I-2-1-2-3-Description fonctionnelle et typologie des rues :

-Les immeubles sont résidentiels du fait de l'inexistence de commerce, seul équipement existant une école au nord-ouest de l'opération.

-les stationnements se font en extérieur, au pied des bâtiments, sur des parkings aménagés, ou non.

-L'infrastructure viaire est hiérarchisé en une voie secondaire 8m, tertiaire desserte interne des îlots et différencié en voies mécanique et allées piétonnes

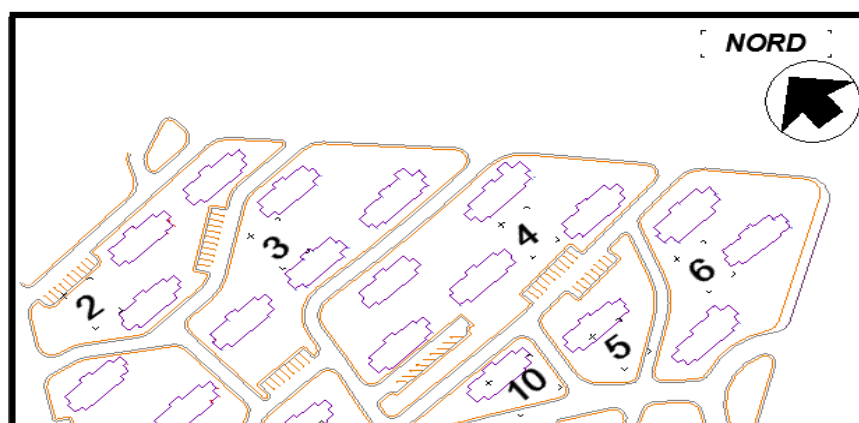
-la structuration urbaine en arborescence s'appui sur des voies courbées on est dans l'anti-perspective

-les axes de circulation ne suivent pas les allées piétonnes et les trottoirs sont minimisés.

Les opérations ZHUN provoquaient des monotonies architecturales et urbaines.

-La voirie se décline selon trois hiérarchies:

- axe principal la route Belaid Belkacem desserte à la route régionale, ou se trouve l'accès de la cité. les acquéreurs ont clôturé la cité le long de cette route.
- la voirie secondaire au sud traversant la cité sert de desserte
- entre les bâtiments des chemins carrossable pour certains permettent un accès à chaque bâtiment.



**Figure V-13: Typologie et largeur des rues (Source : l'auteur)**



**Figure V-14: Rue principale (Source : l'auteur)**



**Figure V-15: Rue secondaire (Source : l'auteur)**



**Figure V-16: Rue tertiaire (Source : l'auteur)**

rue	longueur	largeur	hauteur	H/L	orientation
Rue principale	m	8	14 m	1.75	Sud est- sud ouest
Rues secondaire	m	05	14 m	2.8	Est-Ouest Ou Nord-Sud
Rue tertiaire	m	04	14	3.5	Sud ouest- Nord ouest

**Tableau V-1 : Typologie et orientation des rues du quartier des Orangers (Source : l'auteur)**

**I-2-1-3- Les indicateurs:**



Surface du terrain d'assiette totale:	45328 m <sup>2</sup>
Surface du terrain d'assiette hors voirie publique:	32588,25 m <sup>2</sup>
SHON totale :	25124,31 m <sup>2</sup>
Densité du bâti brute :	0,55
Densité du bâti nette :	0,77
Nombre de logements :	200
Densité de logements :	44 logts/ha
Coefficient d'emprise au sol :	19,77%
Ratio espace ouvert% hors voirie :	80,23%
Nombre de niveau	R+3



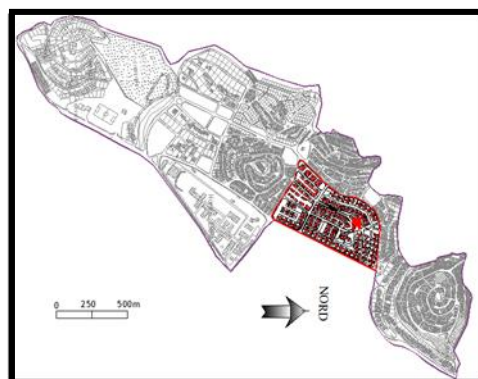
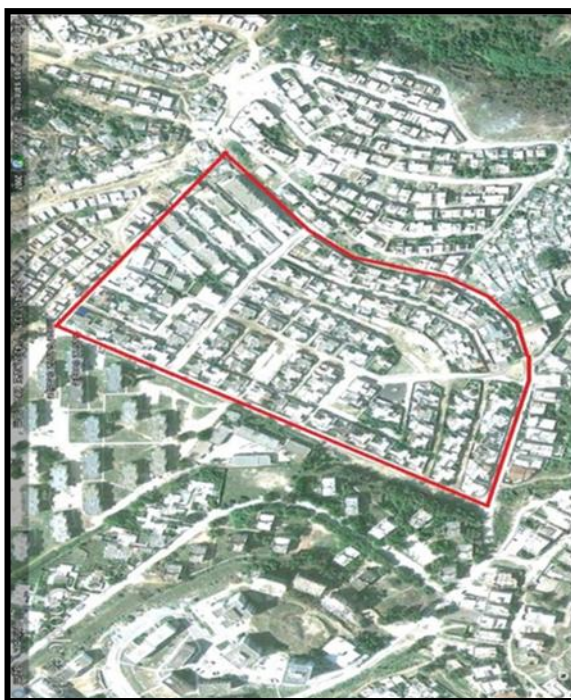
**Tableau V-2: Indicateurs du quartier des orangers (Source : l'auteur)**

**Figure V-17: Photos du quartier des orangers (Source : l'auteur)**

## I-2-2- Quartier Belaid Belkacem

### I-2-2-1- Identification:

- Nom de l'opération : coopérative immobilière en semi collectif
- Adresse : Cité 208 logements EPLF. Belaid Belkacem Annaba.
- Maître d'ouvrage : EPLF et CNEP
- Date de réalisation : 1990.
- Typologie d'habitat : Habitat intermédiaire.



*Figure V-18: Périmètre de l'échantillon de tissu étudié quartier Belaid Belkacem (Source : Google Earth 2002).*

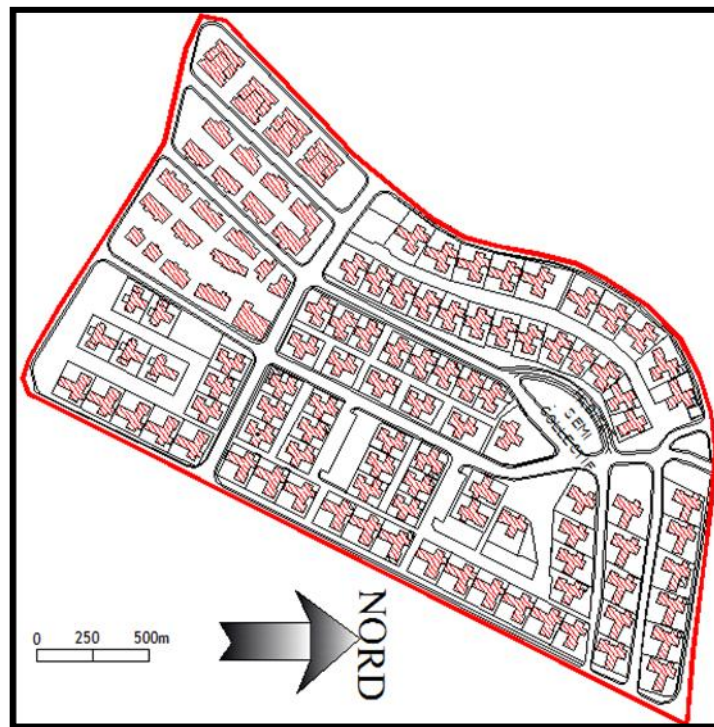
### **I-2-2-2-description de l'opération**

#### **I-2-2-2-1-Eléments du contexte**

Cette opération Implantée à l'ouest de la ville suite a l'urbanisation des années 90 qui a tenté d'occuper les trous et de densifier les programmes d'habitat existant. Les opérations ont été injectées là où les conditions de viabilité existent. De plus la conception aérées laisse de grands espaces verts qui ont subi à partir de 1986, l'assaut des investisseurs et promoteurs suite à la promulgation de la loi 86-07 relative à la promotion immobilière.

C'est les coopératives immobilières en semi collectif qui ont succédé à ces opérations, c'était le temps où l'état s'est désengagé du logement social.(p223) on tente de rompre avec le modèle ensemblier des ZHUN, pour proposer des programmes de plus en plus réduits avec des formes urbaines plus ou moins soignées, ces derniers sont érigées sans respect souvent de la réglementation.

#### **I-2-2-2-2-Morphologie urbaine:**



**Figure V-19: Quartier Belaid Belgassem**

- L'opération est composée d'îlots de formes allongés qui supportent des ensembles d'habitat intermédiaire emboîté ou superposé disposant chacun d'une entrée individuelle accessible directement depuis l'espace extérieur.
- Les îlots ont été découpés en "lots"
- Les rapports entre blocs sont contraignants.
- Disposition des blocs très contraignants les uns par rapport aux autres

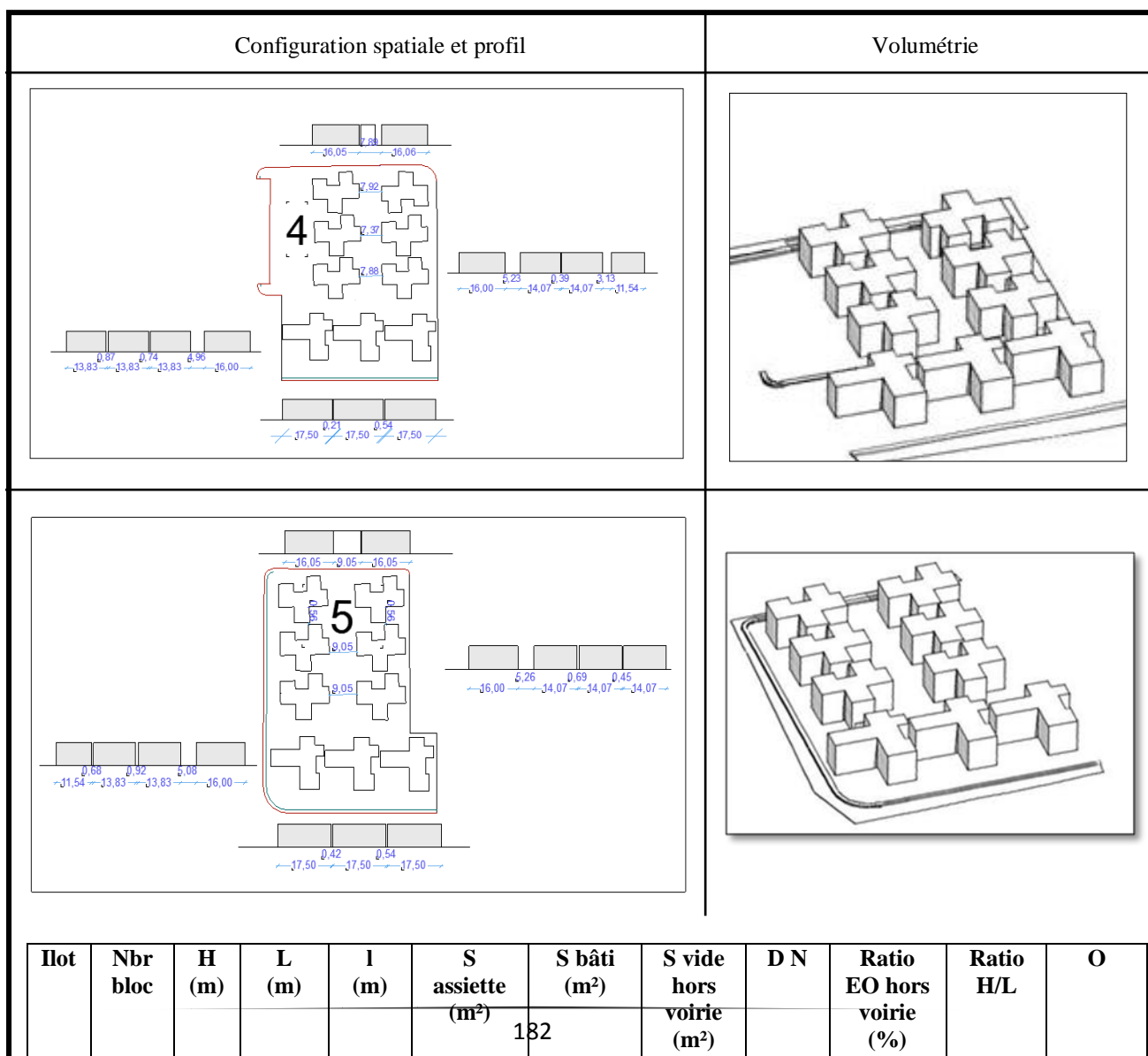


- Les immeubles d'habitation ont diverse volumétrie mais une hauteur similaire faible de R+1
- Système de lotissements.

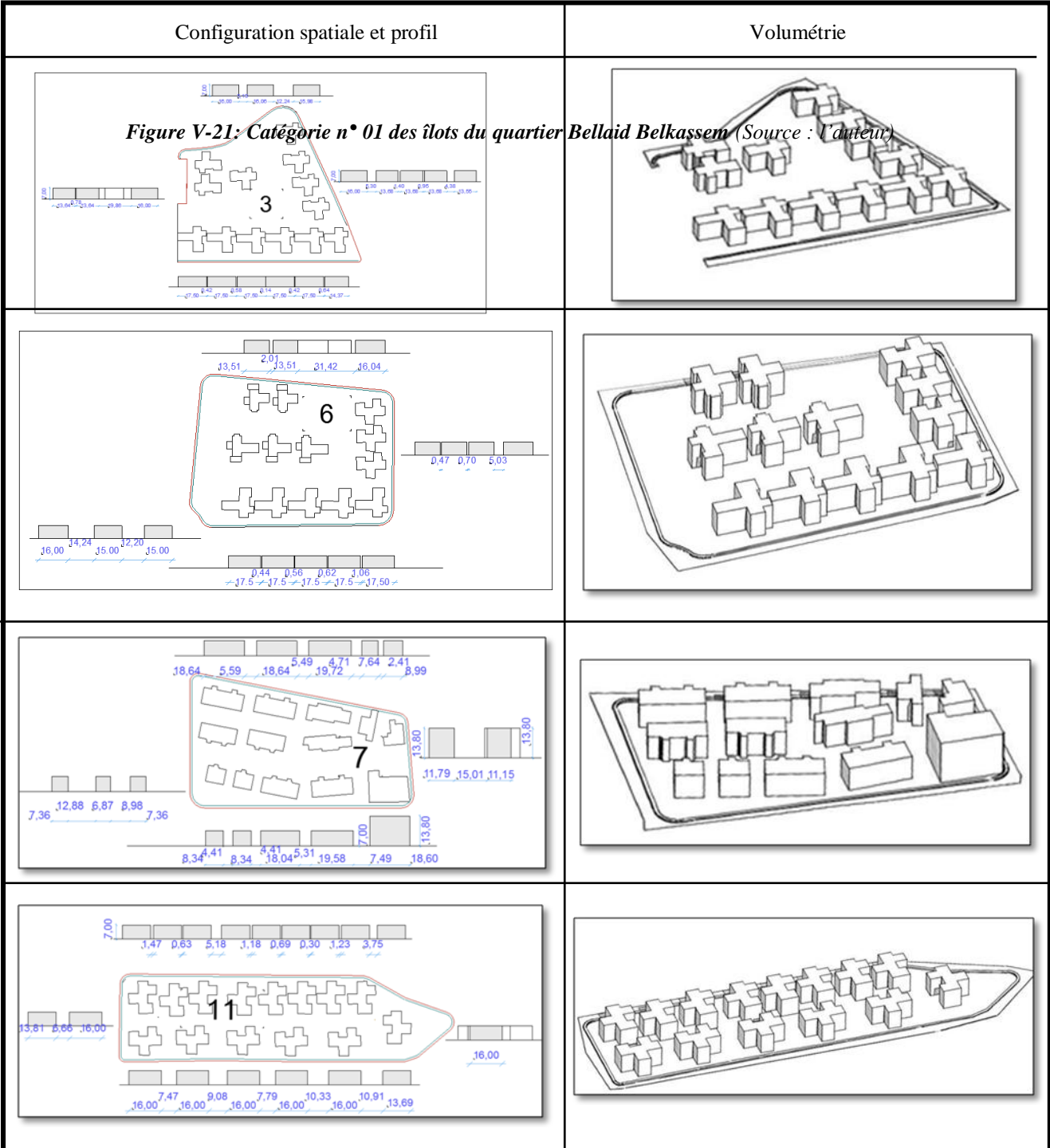
Configuration spatiale et profil	Volumétrie

Ilot	Nbr bloc	H (m)	L (m)	l (m)	S assiette (m <sup>2</sup> )	S bâti (m <sup>2</sup> )	S vide hors voirie (m <sup>2</sup> )	D N	Ratio EO hors voirie (%)	Ratio H/L	O
2	05	07	17.5	16	3258.46	733.12	2525.34	0,68	77.50	2.69	Est
1	06	07	17.5	16	3253.76	887.94	2365.82	0,66	72.71	4.72	Est
8	07	07	17	10	3174.36	1167	2007.36	0,69	63.23	1.4	Ouest
9	08	07	19	13.5	3197.5	1380	1817.5	0,20	56.84	1.16	Ouest

Figure V-20: Catégorie n° 01 des îlots du quartier Bellaid Belkassem (Source : l'auteur)

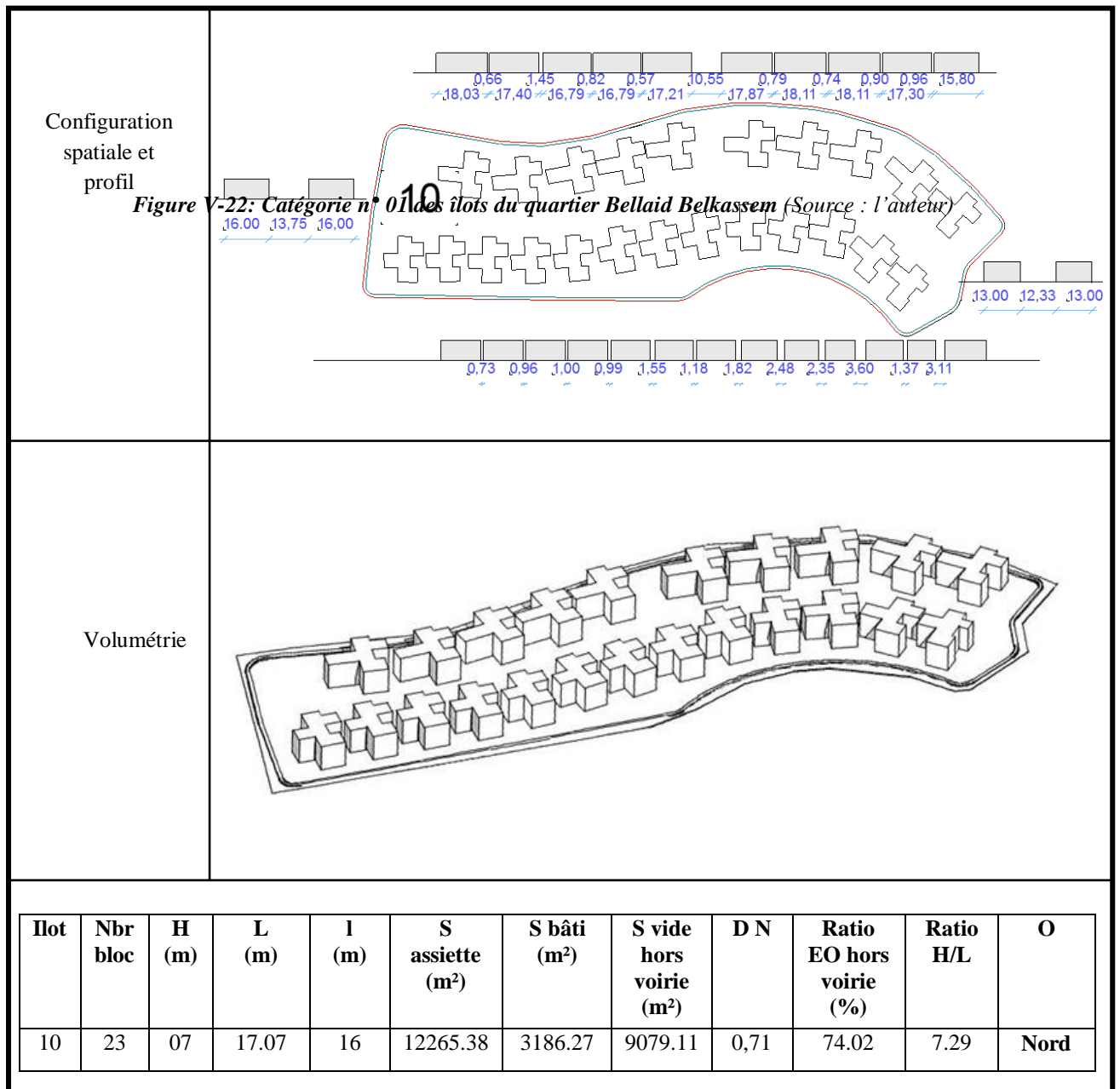


4	09	07	17.5	16	4107.34	1225,86	2881,48	0,063	70,15	33.33	Sud
5	09	07	17.5	16	3475.58	1225,86	2249,72	0,075	64,72	16.66	Sud



Ilot	Nbr bloc	H (m)	L (m)	I (m)	S assiette (m <sup>2</sup> )	S bâti (m <sup>2</sup> )	S vide hors voirie (m <sup>2</sup> )	D N	Ratio EO hors voirie (%)	Ratio H/L	O
						183					

3	13	07	17	14.66	7633.71	1783,59	5850,12	0,31	76,63	50	Est
6	13	07	17	-	8294.19	1759.92	6534.27	0,67	78.78	15.90	Sud
7	13	7.48	17.5	16.64	5086.19	1734.46	3351.73	0,052	65.89	3.51	Sud Ouest
11	14	7	11.66	16	6026,39	1824,34	2249,72	0,074	64,72	23.33	Sud

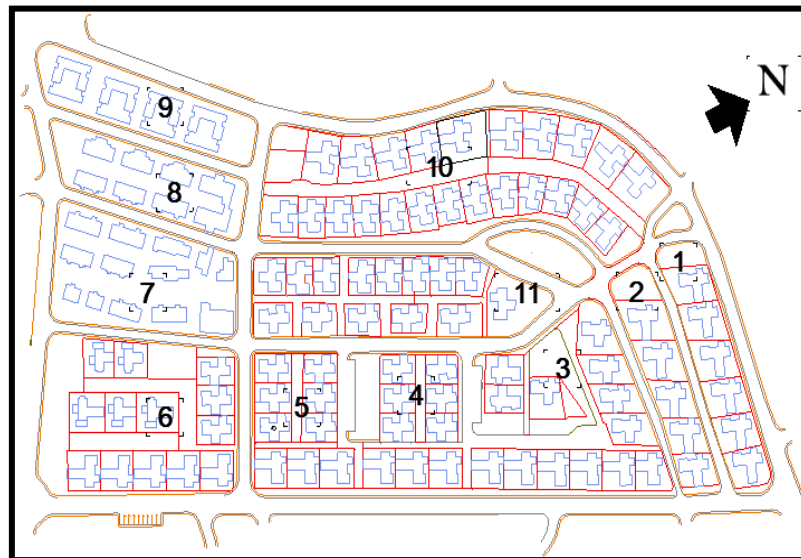


*Figure V-23: Catégorie n° 01 des îlots du quartier Bellaid Belkassem (Source : l'auteur)*

**I-2-2-2-3-Description fonctionnelle :**

- les voies se sont rétrécies par rapport à ce qui devait l'être. Une voie principale (est-ouest) séparant deux groupes d'îlots, au sud des îlots de forme régulière formés par des voies tertiaires orthogonales et au nord des îlots de forme irrégulière.

-l'habitat intermédiaire utilise le volume pour imbriquer plusieurs logements l'un sur l'autre. Cette composition architecturale permet d'offrir une extension extérieure pour le (ou les) logement(s) du dessus, celui du bas conservant un jardin de plain-pied ; elle induit également différents espaces de transition entre public et privé, constituant ainsi une opportunité pour les habitants d'appropriations, d'usages différents.



*Figure V-24: Typologie et largeur des rues (Source : l'auteur)*



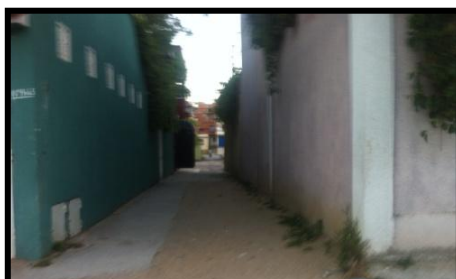
*Figure V-25: Rue principale (Source : l'auteur)*



*Figure V-26: Rue secondaire (Source : l'auteur)*



*Figure V-27: Rue tertiaire (Source : l'auteur)*



**Figure V-28: Rue piétonne** (Source : l'auteur)

rue	longueur	largeur	hauteur	H/L	orientation
principale	189.94 m	8.45 m	7.48 m	0.88	Sud Est- Nord ouest
Rue secondaire (01)	140.05 m	6.55 m	7,00 m	1.06	Nord-sud
Rues secondaires (02)	115.57	05	7.00	1.4	Sud Ouest-Nord Est
	101.70	05	8.5	1.7	Sud Ouest-nord est
Rues tertiaires	113.10	4	7	1.75	Est-ouest
	106.48	4	7	1.75	Sud Ouest-nord est
	192.78	4	7	1.75	Sud Ouest-nord est
Rues piétonnes	202.11	8.75	7	1.25	Sud Ouest-nord est
	144.71	6	7	1.16	Sud Ouest-nord est
	191.15	3.11	7	2.25	Sud Ouest-nord est

**Tableau V-3 : Typologie et orientation des rues du quartier Belaid Belgassem** (Source : l'auteur)

**I-2-2-3- Les indicateurs:**

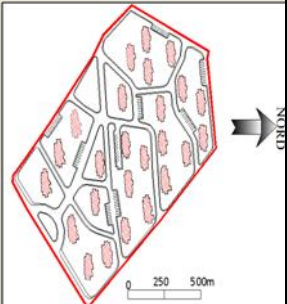

Surface du terrain d'assiette totale:	71105,42 m <sup>2</sup>
Surface du terrain d'assiette hors voirie publique:	24506,66 m <sup>2</sup>
SHON totale :	Figure V-8: Rue principale (Source : l'auteur)
Densité du bâti brute :	0,34
Densité du bâti nette :	0,52
Nombre de logements :	208
Densité de logements :	29 logts/ha
Coefficient d'emprise au sol :	26.83 %
Ratio espace ouvert% hors voirie :	73,16 %
Nombre de niveau	R+1





**Figure V-29: Photos du quartier Belaid  
Belgassem (Source : l'auteur)**

I-2-3- Récapitulation des paramètres morphologiques:

Domaine	Levier d'action	Critère	Cas 01 :	Cas 02
				
<b>1-Le bâtiment</b>	Forme du bâtiment	Hauteur (ou gabarit enveloppe) de l'immeuble	14m	6.79m
		Nombre d'étages	04	03
		Coefficient d'emprise au sol	19.77%	25,86 %
		Largeur du bâtiment	30.58	20.46
		Profondeur du bâtiment	10.55	15.80
		Nombre de façades	02	02
		Contacts	0	0
		Age	1982	1990
<b>2-Les espaces publics</b>	Forme des la rue	Largeur des rues	-	-
	Géométrie des rues	Tracé (rectiligne ou sinueux)	sinueux	Rectiligne -Un ilot se trouvant a l'ouest avec un tracé sinueux
		Longueur	-	-
		Orientation	Est-ouest	-Une voie secondaire Est-Ouest -les ruelles Nord-Sud.
<b>3-L'organisation urbaine</b>	Densités	Densité du bâti brute	0,55	0,39
		Densité nette	0,77	0,50
		Densité de logement	44 logts/ha	29 logts/ha
		Ratio espace ouvert hors voirie	80.23 %	74,14 %
	Forme et profil de l'espace urbain	Prospect	1.32	1.6
		Alignement des bâtiments sur la rue	Ne sont pas alignés	Alignés

**Tableau V-5: Récapitulation des paramètres morphologiques**  
(Source : l'auteur)



Figure V-30: Profils longitudinaux du quartier des Orangers (Source : l'auteur)

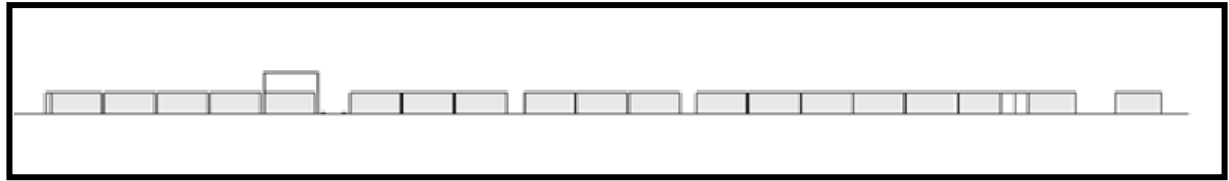


Figure V-31: Profils longitudinaux du quartier Belaid Belgassem (Source : l'auteur)

## II- ANALYSE DU CLIMAT URBAIN LOCAL DE LA VILLE D'ANNABA

La ville d'Annaba présente dans son ensemble les traits d'un climat de type méditerranéen avec des étages bioclimatiques sub-humide et humide, caractérisé par des températures douces en hiver, chaudes en été et des précipitations abondantes.

Une analyse climatique est effectuée dans notre étude, à partir de recueil de données conçu par la station de mesure de la qualité de l'air de Sama Safia de type base se trouvant à Annaba-ville, qui est destinée au suivi du niveau d'exposition moyen de la population aux phénomènes de pollutions atmosphériques.

Certains paramètres météorologiques dont le rôle est particulièrement important dans la diffusion et la dilution des impuretés sont mesurés par la station qui est essentiellement : la température, la direction et la vitesse du vent, ainsi que l'humidité relative.

### II-1-La température :

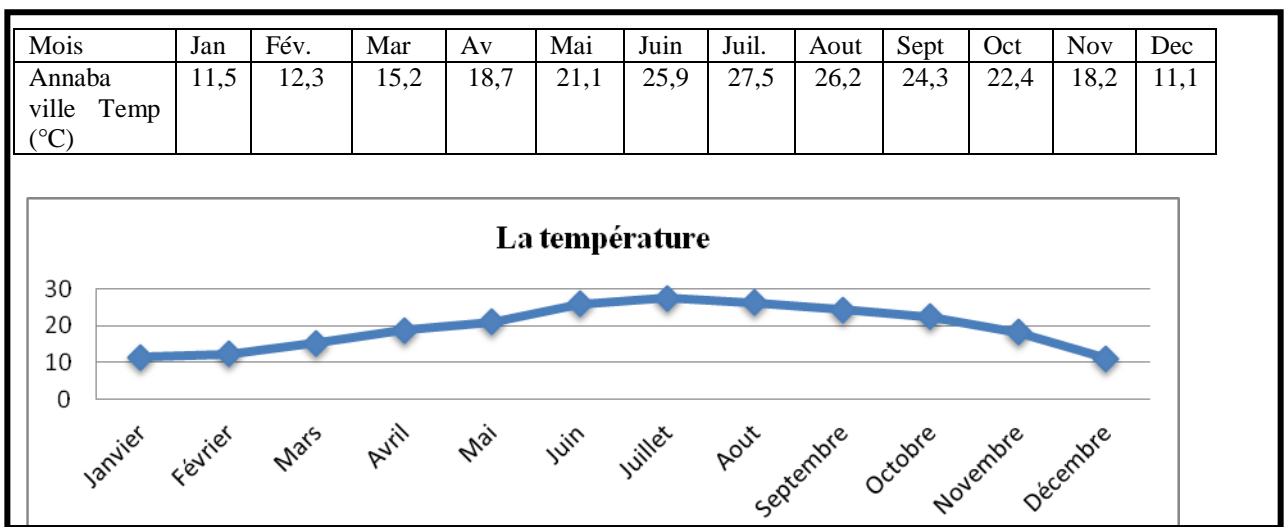


Figure V-32: Evolution des températures moyennes mensuelles 2006 (source : rapport annuel de Sama Safia 2006)

### II-2-L'humidité relative



Mois	Jan	Fév.	Mar	Av	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Moyenne mensuelle l'humidité relative% (Année 2006)	67	69	62	61	65	57	58	61	63	59	61	63

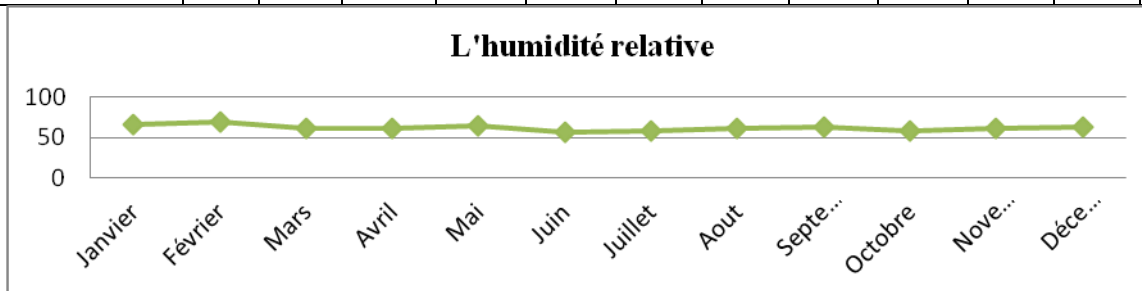


Figure V-33: Evolution de l'humidité relative moyenne mensuelles 2006 (source : rapport annuel de Sama Safia 2006)

Le climat local est constamment humide durant toute l'année. L'humidité relative est de l'ordre de 62% pour la ville de Annaba qui est affecté par la brise de mer durant la période estivale et enregistre des valeurs les plus élevés on note 65% dans le tableau ci-dessus. Ces taux d'humidités ne favorisent pas la dispersion des polluants mais elles contribuent à leur accumulation surtout dans les situations de stabilité atmosphérique qui sont observés périodiquement.

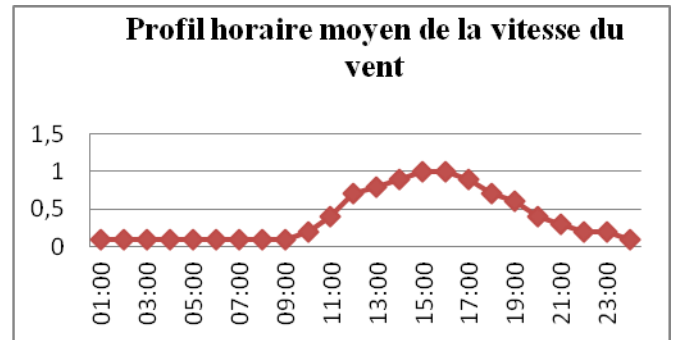
Il faut noter que la période hivernale se démarque par l'apparition des couches d'inversion qui réduisent d'avantage la couche de mélange et par conséquent concentrent les polluants dans la basse altitude.

## II-3-Le vent

### II-3-1-Le profil horaire moyen de la vitesse du vent :

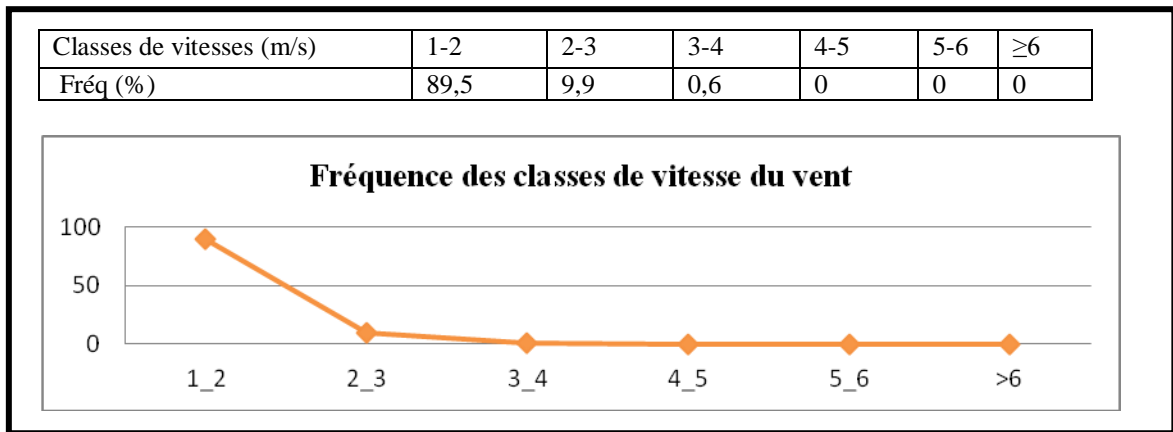
Profil journalier	Station Annaba
01:00	0,1
02:00	0,1
03:00	0,1
04:00	0,1
05:00	0,1
06:00	0,1
07:00	0,1
08:00	0,1
09:00	0,1
10:00	0,2
11:00	0,4
12:00	0,7
13:00	0,8
14:00	0,9
15:00	1
16:00	1
17:00	0,9
18:00	0,7
19:00	0,6
20:00	0,4
21:00	0,3
22:00	0,2
23:00	0,2

00:00	0,1
-------	-----



**Figure V-34:** L'évolution du profil horaire moyen des vitesses du vent enregistre des valeurs très modérées. Elle caractérise une période maximale qui se produit entre 12h et 19h et une période minimale plus longue sur le reste de la période (source : rapport annuel de Sama Safia 2006)

### II-3-2-Fréquence des classes de vitesse du vent

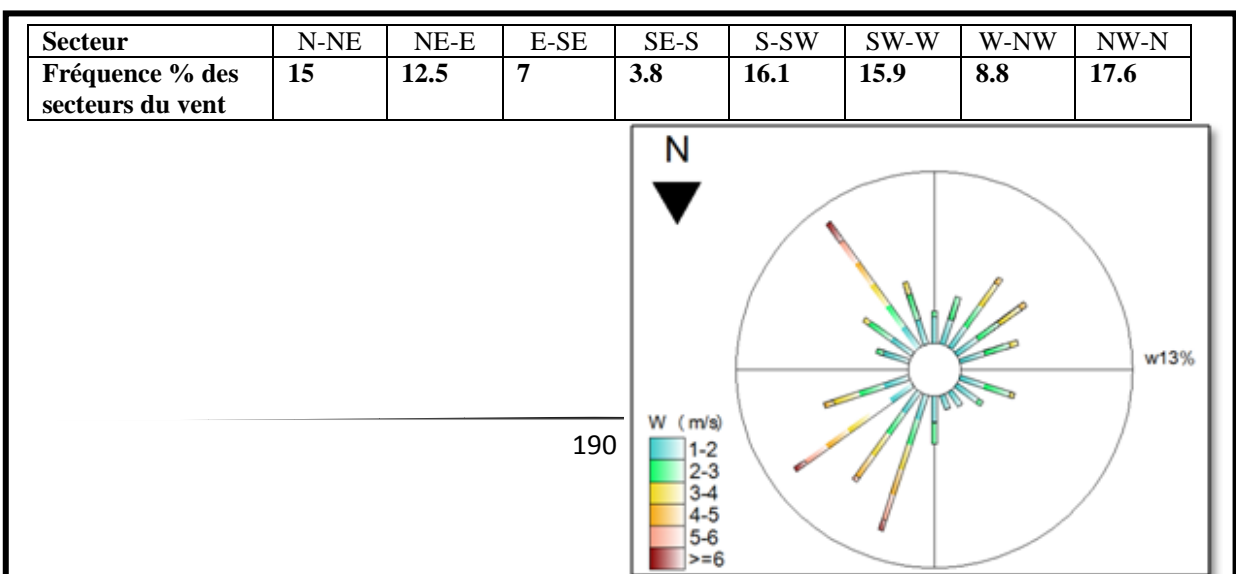


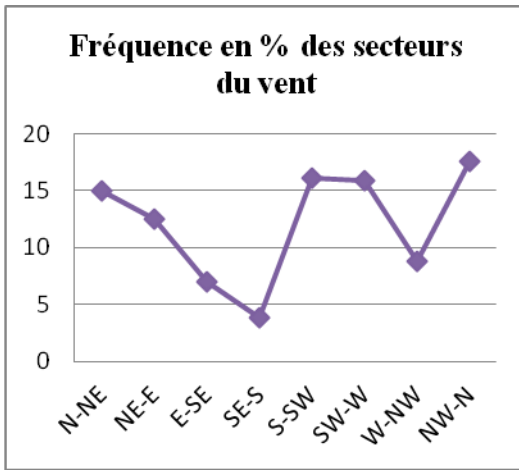
**Figure V-13:** Fréquence des classes de vitesse du vent

**Figure V-36:** Fréquence des classes de vitesse du vent (source : rapport annuel de Sama Safia 2006)

On note a travers ces données, que les vents faibles représentent un taux très élevé. La station d'Annaba à divulguer que la valeur moyenne maximale quart horaire de la vitesse du vent prélevé dans le centre ville de Annaba est de  $W = 4 \text{ m/s}$ .

### II-3-3-La rose du vent (Fréquence en % des secteurs du vent pour année 2006)





La rose des vents de la station de la ville d'Annaba rapporte que les vents dominants sont de nord Est a Sud Ouest. En revanche elle reste variable suite a sa position (a l'intérieur du tissu urbain).

### III- LA POLLUTION ATMOSPHERIQUES A ANNABA

#### III-1-Les sources de la pollution

Les principales sources génératrices de pollution et de nuisances sont les grands complexes industriels, décharges sauvages, activités immanentes aux transports, activités agricoles consommatrices d'engrais et de pesticides, et enfin l'assainissement.

##### III-1-1-La situation et la topographie de la ville

La ville d'Annaba est constituée d'une vaste plaine bordée au Sud et à l'Ouest, d'un massif montagneux au Nord, et par la mer à l'Est d'une façade maritime de 3007.76 m. Sa topographie en forme de cuvette favorise la stagnation de l'air et la formation d'inversions de températures. Ces situations permettent l'accumulation de polluants et l'élévation des taux de concentration qui en résulte.

Les effets des brises de mer, terre, et pente concourent au transport des nuages de polluants. En effet, les nuages de polluants sont entraînés par la brise de terre la nuit vers la mer, et de jour. Ces nuages de polluants retournent sur la ville par effet de brise mer en longeant la montagne de SERAIDI. Les nuages tournent sur la ville sous une forme de cercle. Les polluants se déposent lentement par gravité et l'on assiste à une pollution affectant les trois récepteurs (mer, terre, air).

##### III-1-2-Les Pollutions causées par l'industrie.

###### III-1-2-1-*Complexe des Engrais Phosphaté et Azotés « ASMIDAL »*

- **Situation** Implanté à proximité de la ville à 4 km d'El-Bouni, dégage dans l'atmosphère du Phosphore, du phosphate et du chlore. Le complexe « ASMIDAL » occasionne les insuffisances respiratoires aiguës, des affections de l'appareil locomoteur, des affections oculaires, neurologiques, urinaires, dermatologiques, etc.

A partir de 1995, des mesures de dépollutions ont été prises par l'arrêt de l'exploitation de l'unité acide phosphorique, source de pollution littorale, et l'unité acide sulfurique source de pollution atmosphérique.

- **Polluants**

5160T/an de poussière d'engrais

1281T/an de poussière d'ammonium

### ***III-1-2-2-Complexe Sidérurgique d'El-Hadjar « ex : SIDER »***

- **Situation** Situé à 7km de l'agglomération d'Annaba.

- **Polluants**

35T/an de poussière issue de la préparation du minerai et aggloméré, des hauts fourneaux, de la cokerie et de l'aciérie électrique

1220T/an d'ammoniac

660T/an de phénols

4100T/an d'oxydes de soufre

### ***III-1-2-3-Centrale Electrique la centrale thermique***

- **Situation:** Localisée au niveau de la ville portuaire, la centrale électrique (production de l'électricité) alimente la partie de l'Est. Elle utilisait comme combustible le fioul qui dégage dans l'air des polluants divers (souffre, monoxyde de carbone). Dès les années 1990, la centrale a connu quelques rénovations voire des progrès en termes de combustible par l'adoption du gaz nature comme substitut au fioul afin d'atténuer le taux.

- **Polluants**

Type de combustible: gaz naturel

Quantité: 190 millions de m<sup>3</sup>/ans

### ***III-1-2-4-Ferphos***

- **Polluants**

Activité: manutention et exportation par voie maritime les produits (fer, phosphate)

Dégagement de poussière au cours de ces opérations sur le flan Sud-est du port unité SCRA travaux public

Principaux polluants émis: poussière, CO

### ***III-1-3-Le parc automobile d'Annaba***

Le réseau de transport urbain dans les pays en voie développement se caractérise d'une part par son inégale répartition spatiale et d'autre part par la recrudescence du phénomène de congestion des voies. La ville d'Annaba souffre d'une insuffisance du réseau routier doublée d'une généralisation du système de transport individuel, ce qui provoque des bouchons réguliers rendant difficile la mobilité urbaine. L'incompatibilité du parc automobile avec le linéaire de voirie fait observer des phénomènes de congestion sur plusieurs voies simultanément. Le nombre de véhicules, mais d'avantage la qualité desdits véhicules déterminent le volume de gaz d'échappement émis.

Etudier l'impact du parc automobile sur la congestion du trafic et la pollution de l'air revient à traiter de manière intégrée les questions relatives l'une à la circulation urbaine et l'autre aux facteurs de la pollution automobile. Pour montrer l'impact négatif du parc automobile sur la congestion de la circulation d'une part et la pollution de l'air, d'autre part, il s'avère nécessaire de procéder à une analyse du trafic et des principaux facteurs de pollution de l'air que sont le nombre et la qualité des véhicules motorisés.

PARC AUTOMOBILE DE LA WILAYA D'ANNABA (2009)				
Ages des véhicules  Désignation	00-05 ans	06-10ans	11 et plus	Total
	Véhicules particuliers	8164	6212	39194
camions	234	346	5732	6312
Véhicules spéciaux	10	18	398	426
Bus (grande capacité)	139	140	1086	1365
Bus (petite capacité)	296	58	201	555
Engins	30	82	2835	2947
Remorqueurs	40	137	1603	1780
Tracteurs agricoles	175	499	2020	2694
Cycles motorisés	14	10	267	291
<b>Total selon l'âge</b>	9102	7502	53336	69940
<b>Pourcentage %</b>	13%	11%	76%	

*Tableau V-6: Le parc automobile de la wilaya d'annaba source : direction des transports terrestre d'Annaba (Source : DTT, 2009)*

Dans ce parc on retrouve 76 % des véhicules de première immatriculation âgée de 11 ans et plus, aussi bien parmi les camions que parmi les véhicules particuliers. Ce parc est composé en majorité de véhicules de particuliers on retrouve dans le tableau ci-dessus 53570 véhicules et le minimum pour les cycles motorisés estimés par la direction du transport a 291 motos.

Les problèmes de la circulation urbaine à Annaba ont pour principal causes :

- la centralité des fonctions urbaines qui a des répercussions très significatives sur la demande en transport, la généralisation des transports individuels qui offre un mauvais rapport personnes transportées/surface occupée ;
- l'hétérogénéité des modes de transport qui handicape sérieusement la fluidité de la circulation ;
- l'utilisation non efficiente de la chaussée par manque d'espaces spécifiques aménagés pour le commerce ;
- le stationnement, les arrêts fréquents des taxis, les piétons par exemple, et l'organisation irrationnelle des transports marquée par l'absence de voies périphériques rendant obligatoire le passage par le centre ville. Ceci induit un trafic important toute au long de la journée et pas seulement qu'aux heures de pointe.

### III-2-Classification des polluants

Polluants mesurés par la station 2006	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup>	CO µg/m <sup>3</sup>	PS µg/m <sup>3</sup>
Annaba	/	32	/	/	39

*Tableau V-7: Classification des polluants (source : rapport annuel de Sama Safia 2006)*

#### III-2-1-Polluants par le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

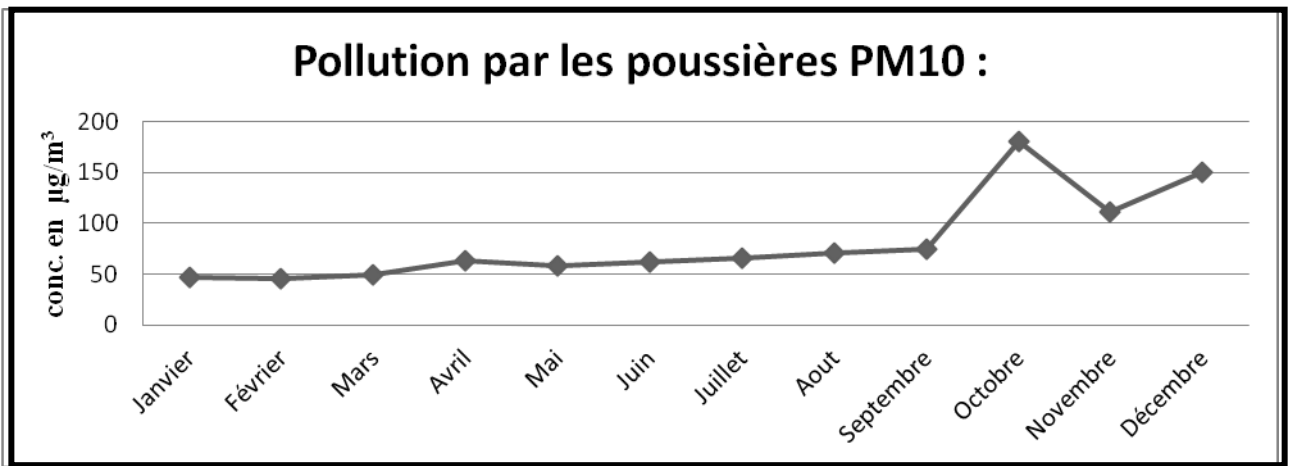
Stations	Moyenne	Ecart type	Percentile 50	Percentile 98	Maximum horaire	Maximum horaire	Date max.Hor	Seuil annuel NA>135 µg/m <sup>3</sup>	Seuil d'alerte NA > µg/m <sup>3</sup>
Annaba	32	30	32	93	175	22/08/06 21 :00	0	0	0

*Tableau V-8- : Normes (OMS) pour NO<sub>2</sub> concentration en µg/m<sup>3</sup> (source : rapport annuel de Sama Safia 2006)*

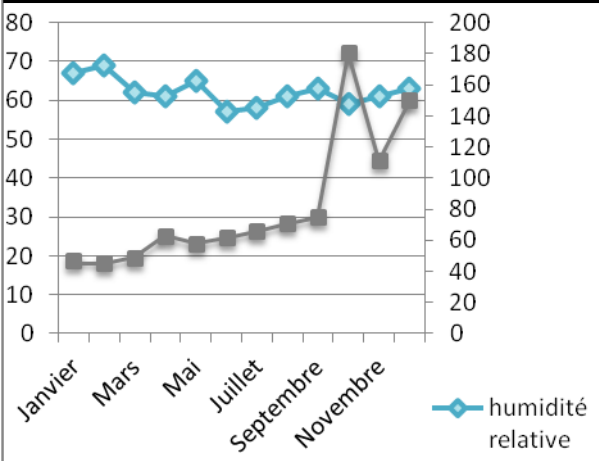
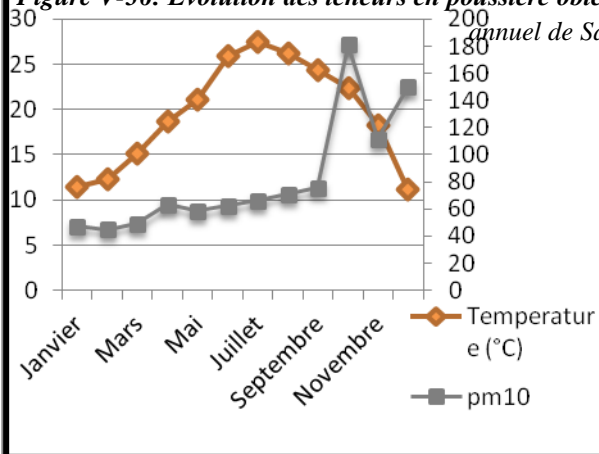
#### III-2-2-Pollution par les poussières PM<sub>10</sub> :

Mois (Année 2006)	Jan	Fév.	Mar	Av	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
valeurs mensuelle de PM <sub>10</sub> concentration en µg/m <sup>3</sup>	47	45	49	63	58	62	66	71	75	181	111	150

*Tableau V-9- Valeurs mensuelles des maximums journaliers de PM<sub>10</sub> obtenues par le réseau (Année 2006)*



**Figure V-36: Evolution des teneurs en poussière obtenu par la station de la ville d'Annaba..** (Source : rapport annuel de Sama Safia 2006)



**Figure V-37: Evolution du teneur en poussière par rapport à la température et l'humidité relative**(Source : rapport annuel de Sama Safia 2006)

Les concentrations en poussières sont relativement élevées en comparaison avec la norme qui est de l'ordre de 30 µg/m<sup>3</sup>. Cette pollution particulière est d'origine d'une part du trafic routier et des activités industrielles a la limites des centres urbains et d'autre part à la faible couverture au sol, entrainant le soulèvement des poussières au vent modéré et les conditions météorologique favorisant l'apparition du sirocco pendant la période sèche.

### III-2-3-Pollution par l'ozone O<sub>3</sub>

Mois (Année 2006)	Jan	Fév.	Mar	Av	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct.	Nov	Dec
valeurs mensuelle de l'ozone O <sub>3</sub> concentration en µg	47	45	49	63	58	62	66	71	75	181	111	150

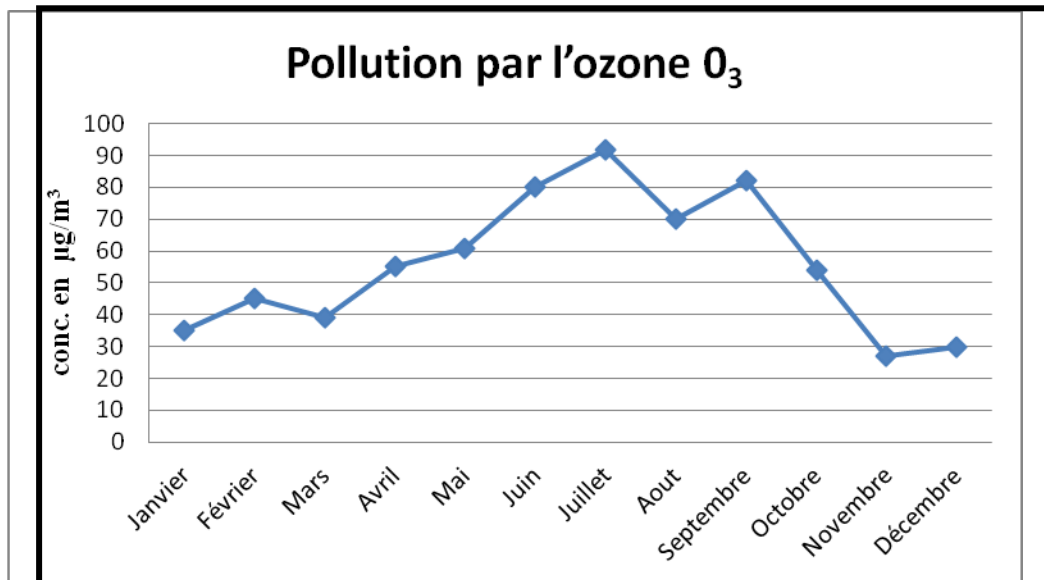


Figure V-38: Evolution moyenne mensuelle de l'ozone O<sub>3</sub> (Source : rapport annuel de Sama Safia 2006)

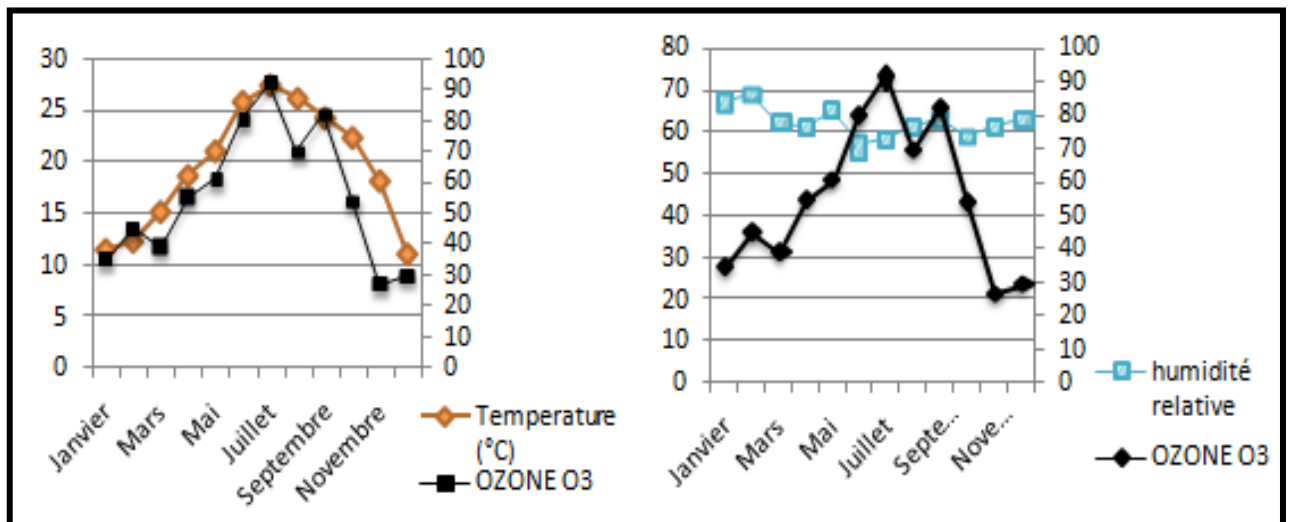


Figure V-39: évolution moyenne mensuelle de l'ozone O<sub>3</sub> par rapport à la température et à l'humidité (Source : rapport annuel de Sama Safia 2006)

La pollution photochimique apparaît au cours de la saison estivale où on enregistre des valeurs très élevées de température qui conjuguées à l'ensoleillement jouent un rôle de catalyseur à la formation de l'ozone par la présence des polluants primaires (NO<sub>2</sub>, HC, CO) la valeur la plus culminante est obtenue en mois de juillet.



## CONCLUSION

En conclusion, le climat d'ANNABA apparaît à travers les chiffres comme un climat type méditerranéen avec des étages bioclimatiques subhumide et humide, caractérisé par des températures douces en hiver, chaudes en été et des précipitations abondantes marquées par des pics de pollution en été dus à la transformation photochimique et la l'importance de sources de pollutions dans la ville. Toutefois, la prise en compte des conditions climatiques aux abords des bâtiments est limitée aux seules données de la station météorologique sans prise en compte du couplage entre climat, bâti, et pollution.

Notre méthodologie dans cette recherche se base sur une observation des formes architecturales dans leurs groupement et dans le but de tester et d'évaluer les conclusions du présent chapitre, et les associer à la réalité de l'espace urbain en l'occurrence les fragments urbains existant situé a l'ouest de la ville d'Annaba qui ont été analysé, on est incité à procéder à un travail expérimental grâce à la simulation numérique a fin de voir les résultats de l'interaction des formes urbaines sur la dispersion des polluants atmosphériques, ce qui fera l'objet de la prochaine partie de l'étude.

# **Chapitre 6**

## **Modélisation et simulation du cas d'étude**

## **INTRODUCTION**

Ce chapitre consiste à présenter d'une manière détaillée les étapes effectuées lors de la simulation numérique de la pollution atmosphérique, qui a débuté par la modélisation de nos configurations urbaine en 3D grâce a de multiple outils afin de reproduire les formes de notre cas d'étude, cette étape préliminaire de notre expérimentation est suivie d'une étape cruciale dans notre étude qui est la réalisation du maillage et la définition des condition aux limites par le générateur de maillage Gambit et enfin la simulation de la dispersion de la pollution atmosphérique sous le solveur FLUENT. Les résultats quantitatifs et qualitatifs de nos simulations CFD en fonction des différentes données météorologiques seront par la suite discutés dans la dernière partie de ce chapitre.

## I- LA MODELISATION DES GEOMETRIES EN 3D

En cherchant à restituer le plus fidèlement possible les formes architecturales, il sera difficile d'effectuer les calculs pour s'en servir dans une étude de CFD, pour notre étude on a simplifié les formes urbaines en éliminant ce que les calculs ne peuvent prendre en compte comme la superposition de blocs, en estimant que des éléments comme les balcons ont une faible influence sur les phénomènes de dispersion des polluants (G.Maignant).

En plus, leur prise en compte engendrerait des calculs considérables qui n'apporteraient que peu d'informations supplémentaires. Pour la modélisation des bâtiments on a procédé en plusieurs étapes (Figure IV-1)

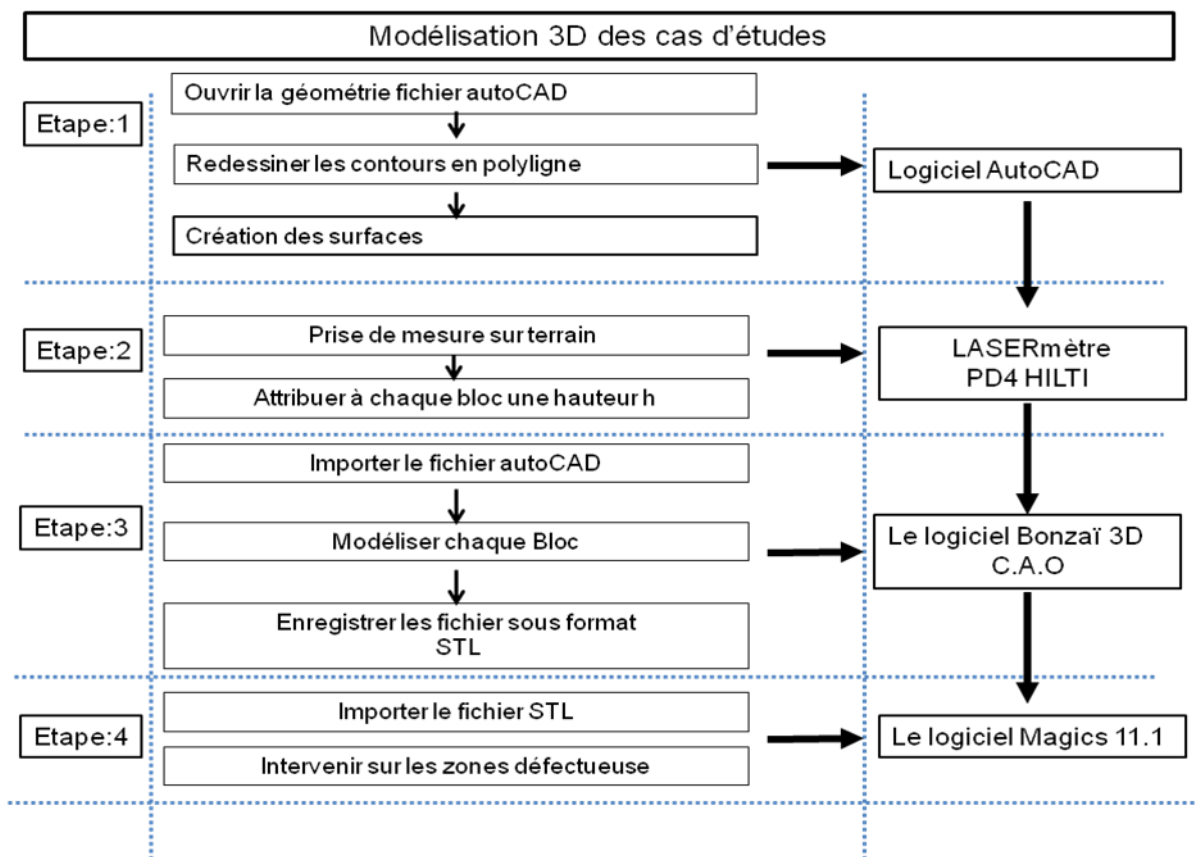
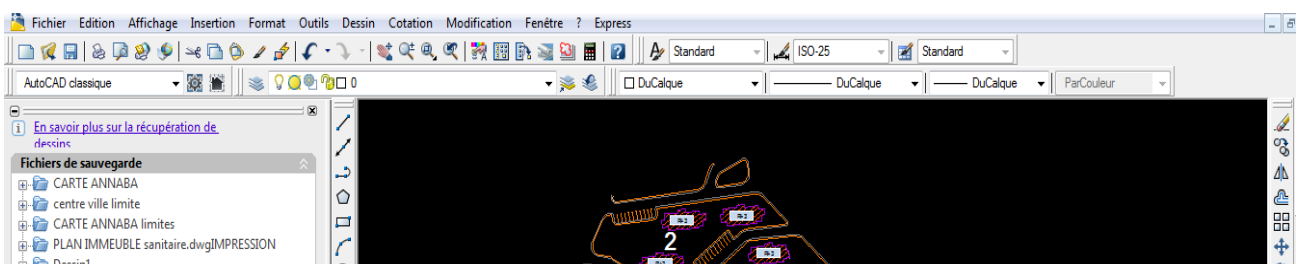


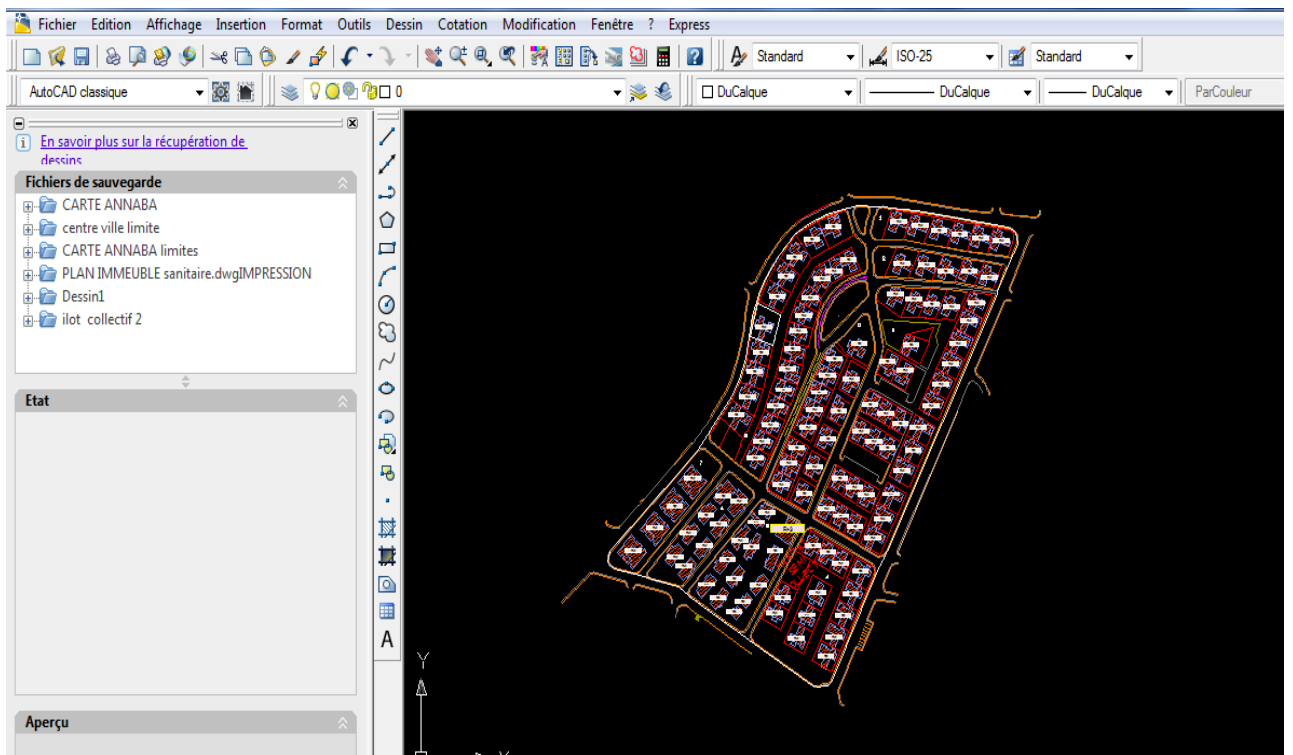
Figure VI-1: Schéma des différentes étapes de la modélisation des cas d'études. (Source : l'auteur)

Grâce à Bonzaï 3D, les constructions sont restituées par des formes régulières (parallélépipèdes) qui présentent l'avantage de faire ressortir les vides urbains. Pour cela, nous avons importé le fichier AutoCAD en deux dimensions redessiné les contours en poly ligne et nous avons par la suite affecté à chaque bâtiment un nombre représentant son élévation (estimée en mètres) et exporté les formes sous format fichier STL.

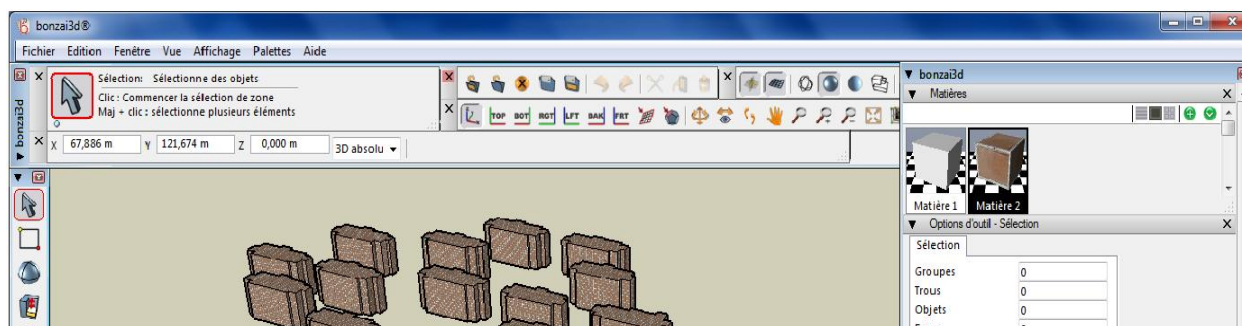
La géométrie est conçu par des logiciels de la CAO Bonzaï 3D dans ce cas on a recours a l'importation de la géométrie donc souvent il est indispensable de nettoyer la géométrie pour cela on a choisi d'utiliser Magics 11.1.



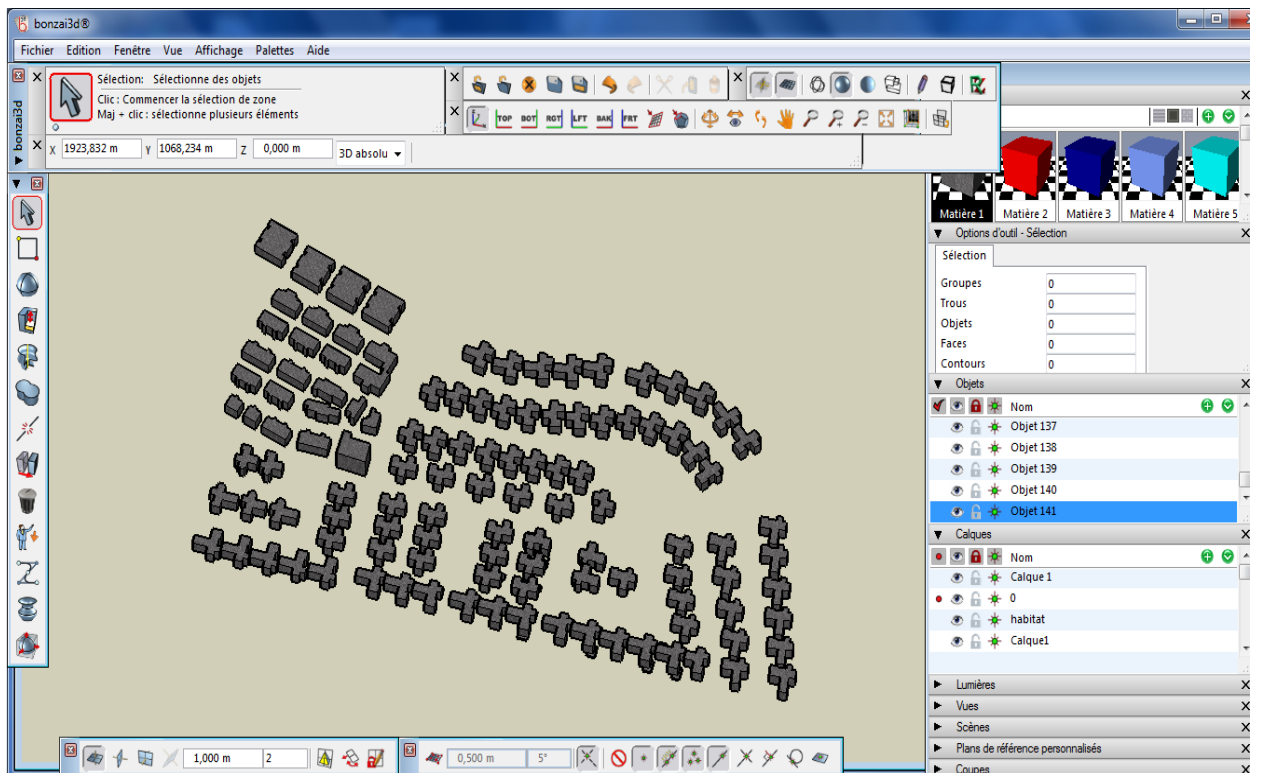
*Figure VI-2: Création des surfaces des bâtiments en poly ligne sous Autocad 2007 (Quartier des Orangers) (Source l'auteur)*



*Figure VI-3: Création des surfaces des bâtiments en poly ligne sous Autocad 2007 (Quartier Belaid Belguassem) (Source l'auteur)*



**Figure VI-4: La modélisation de la géométrie en 3D avec le logiciel Bonzai**  
 (Quartier des Orangers) (Source l'auteur)



**Figure VI-5: La modélisation de la géométrie en 3D avec le logiciel Bonzai**  
 (Quartier Belaid Belguassem) (Source l'auteur)

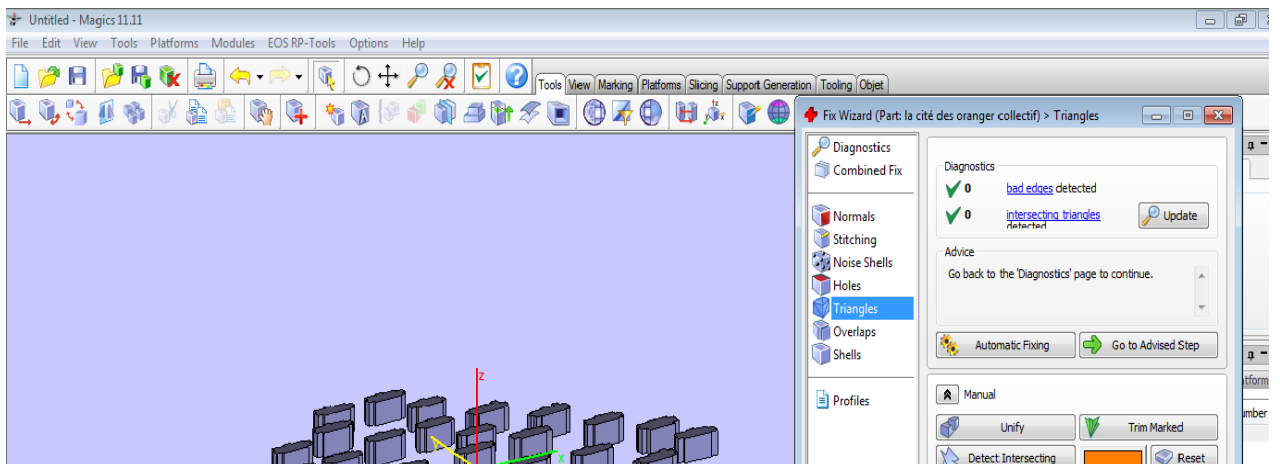


Figure VI-6: La modélisation de la géométrie en 3D avec le logiciel Bonzai (Quartier des Orangers) (Source : l'auteur)

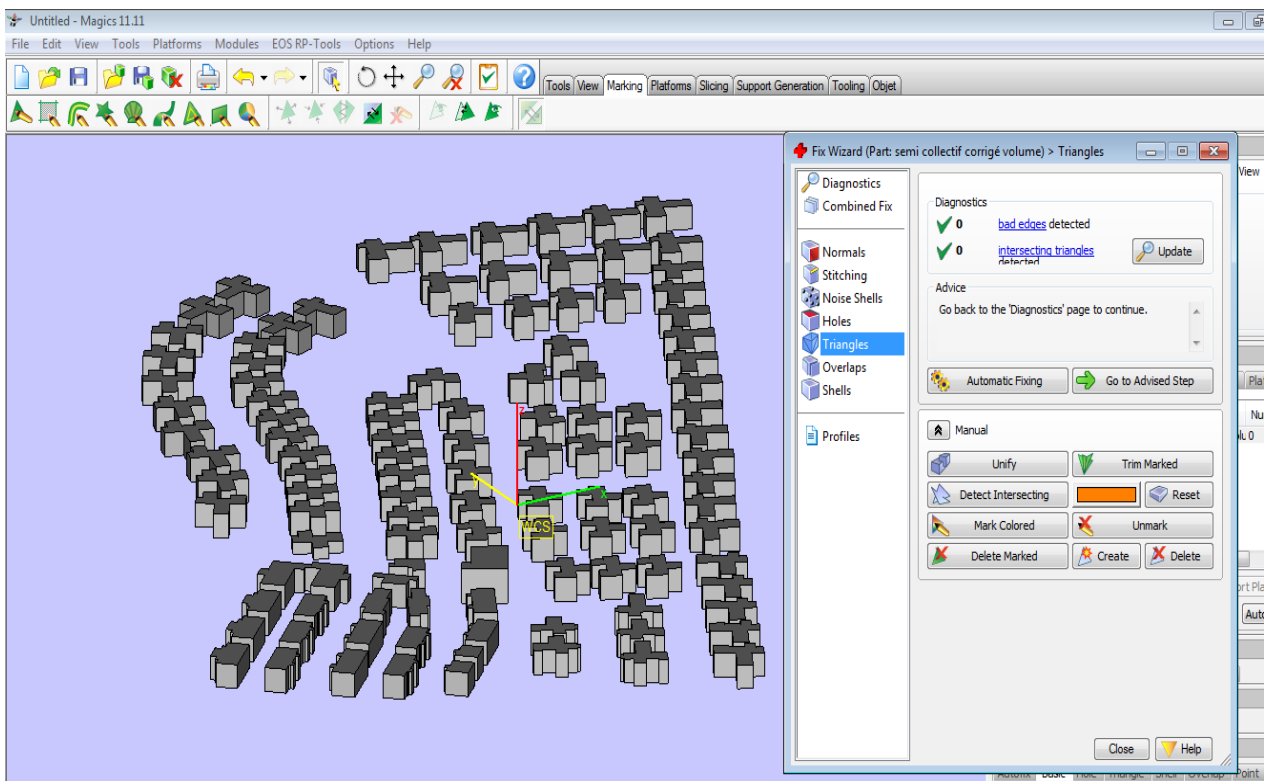
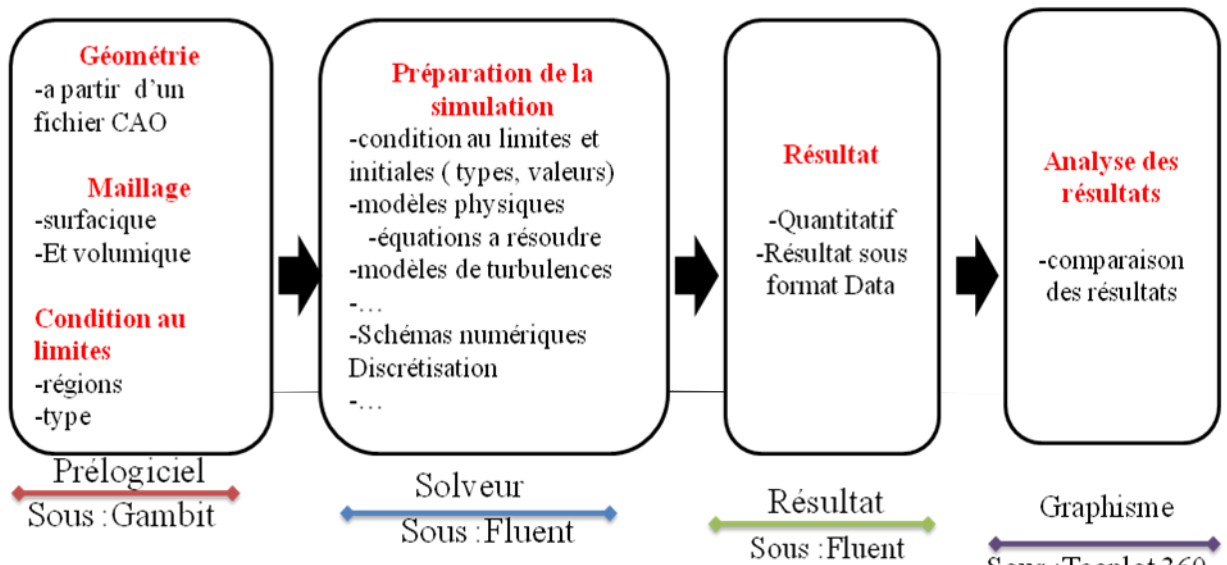


Figure VI-7: Nettoyage de la géométrie avec le logiciel Magix (Quartier des Orangers) (Source : l'auteur)

**I- LA MODELISATION ET LA SIMULATION DE LA DISPERSION DES POLLUANTS CO2, NOX:**



*Figure VI-8: Les étapes de la modélisation et de la simulation de la dispersion des polluants atmosphériques (CO<sub>2</sub>, NOx). (Source : l'auteur).*

## **II-1-La réalisation du maillage sous le code Gambit 2.4.6 :**

Le maillage constitue l'étape la plus délicate et la plus conséquente dans une analyse CFD, vu l'influence de ses paramètres au niveau des résultats. Pour la génération du maillage on a utilisé le logiciel mailleur préprocesseur Gambit

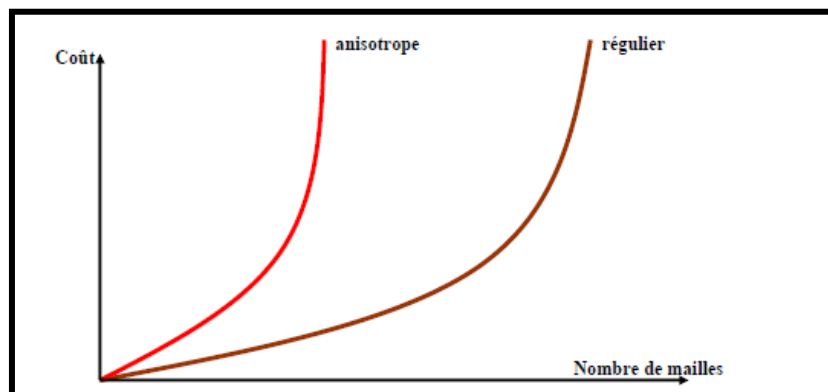
### III-1-1- La création de la géométrie du problème et le domaine d'étude :

Cette fonction consiste à réaliser les géométries des systèmes que l'on veut étudier ; ou bien l'import de la géométrie depuis un fichier (CAO).

Dans notre cas la géométrie sera importée depuis fichier (CAO) sous format STL après avoir été nettoyée

Ensuite, il faut créer le domaine d'étude qui de forme rectangulaire, la résolution du maillage dépend de la taille du domaine, car une grande quantité et la finesse des mailles rendra le temps de calcul très important :

- Plus la complexité du maillage est grande, plus le coût machine est élevé
- Plus le nombre de mailles est important plus le coût machine est élevé
- Plus le maillage est complexe, plus la morphologie de l'objet est bien restituée



*Figure VI-9: Estimation du coût machine en fonction du nombre de mailles et du type de maillage (Source :Fedala, 2007)*

### III-1-2- Le maillage du domaine:



Les surfaces, les volumes, ainsi que le domaine de calcul sont subdivisés en petits volumes de contrôle ou cellules de calcul. L'ensemble de ces volumes élémentaires constitue le maillage effectué automatiquement par Gambit.

### III-1-3- Le choix du type de maillage sous Gambit 2.4.6 :

Celui-ci propose différents types de maillage

- Le maillage structuré (quadra/hexa) :

Il est beaucoup plus facile de le générer en utilisant une géométrie à multi bloc, il présente les avantages suivants:

-Économique en nombre d'éléments, présente un nombre inférieur de mailles par rapport à un maillage non structuré équivalent

-Réduit les risques d'erreurs numériques car l'écoulement est lié avec le maillage

Ses inconvénients

-Difficile à le générer dans le cas d'une géométrie complexe

-Difficile d'obtenir une bonne qualité de maillage pour certaines géométries complexes

- Le maillage non structuré (tri/tétra) :

Les éléments de ce type de maillage sont générés arbitrairement sans aucune contrainte quant à leur disposition

Ses avantages

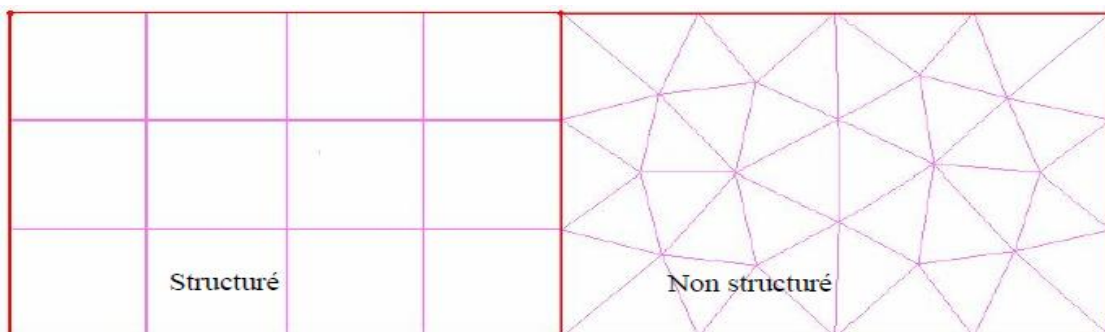
-Peut être généré sur une géométrie complexe tout en gardant une bonne qualité des éléments.

-Les algorithmes de génération de ce type de maillage tri/tétra sont très automatisés.

Ses inconvénients:

-Très gourmand en nombre de mailles comparativement au maillage structuré.

-Engendre des erreurs numériques fausses diffusion qui peuvent être plus importantes si l'on compare avec le maillage structuré.



*Figure VI-10: Les types de maillage structuré et non structuré. (Source :FEDALA, 2007)*

Le maillage par volumes finis (tétraèdres) semble le plus adéquat. Nous l'avons vu précédemment celui-ci est le plus adapté pour mailler les espaces non structurés comme c'est le cas des sites d'études.

### III-1-4- Nombre total d'éléments

Un nombre important d'éléments de maillage permet d'améliorer la précision des calculs mais pénalise les ressources informatiques en terme de mémoire et alourdit le système. Par

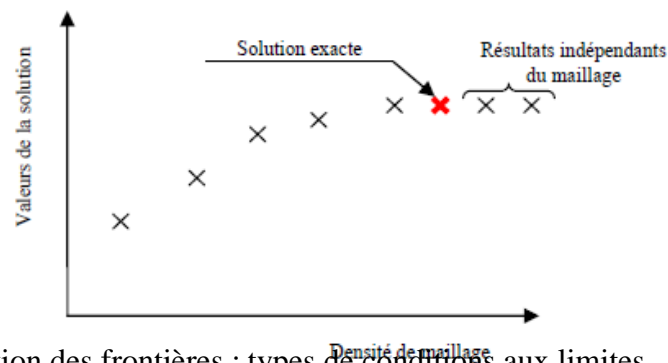
voix de conséquence, un compromis entre précision et temps de calcul s'impose. Le nombre de nœuds et de faces de la simulation sont dans le tableau ci-dessous

	Nbre de nœuds	Nbre de faces
Quartier des oranger	51525	484957
Quartier Belaid Belgacem	70535	648545

Tableau VI-1: Nombre de nœud et de face de la simulation. (Source :l'auteur)

### III-1-5-Le raffinement du maillage

Une des techniques existant pour économiser un certain nombre d'éléments: raffinement du maillage uniquement dans les zones bien précises, le but du raffinement du maillage sous code du mailleur (Gambit), et de l'adaptation de la grille à la solution sous le solveur (Fluent), est d'obtenir une solution indépendante de la résolution et de la qualité du maillage, cela revient à dire que les paramètres de la solution deviennent insensibles au bout d'un certain nombre d'éléments. Nous avons créé un maillage avec un nombre de points plus important sur les surfaces des bâtiments et la toiture et l'espace entre les bâtiments et moins de points vers les limites du domaine



### III-1-5-La définition des frontières : types de conditions aux limites

Figure IV-11 l'indépendance des résultats de la densité du maillage (Source : D.Fedala 2007)

Le mailleur Gambit peut générer des maillages que beaucoup de solveurs peuvent utiliser, ainsi nous devons spécifier le logiciel solveur avec lequel on veut traiter le fichier maillage qui est Fluent 5/6

Nous ne recensons ici que les types de conditions aux limites qui seront cités dans les chapitres suivants

-entrées ou sorties: aux endroits où le fluide entre dans le domaine de calcul ou en sort, les conditions aux limites peuvent être spécifiées comme suit :

#### III-1-5-1-Conditions en vitesse

Les différentes composantes de la vitesse du fluide, ainsi que sa température sont indiquées par le biais d'une intensité de turbulence  $I$  (vitesse fluctuante rapportée à la vitesse moyenne, en %), d'autre part grâce à une longueur caractéristique de turbulence  $L_{turb}$  dont est déduite l'échelle caractéristique de la turbulence  $I$  dans l'écoulement à l'endroit considéré, par l'équation dans le cas du modèle RSM, les composantes du tenseur de Reynolds, sont ensuite déduites par, si  $i$  est la direction orthogonale à la frontière considérée, et  $J$  et  $K$  les 2 autres directions: équations

### III-1-5-2-Conditions en pression

Dans le cas où le fluide sort par la frontière considérée, c'est la pression statique qui doit être spécifiée. Dans le cas contraire, c'est la pression totale qui doit l'être. L'angle d'incidence de l'écoulement, s'il n'est pas perpendiculaire à la frontière, doit également être précisé, ainsi que la température et les caractéristiques turbulentes.

### III-1-5-3-Conditions outlet:

Il s'agit d'une condition de sortie du fluide pour laquelle les flux diffusifs de toutes les variables autres que la pression dans la direction perpendiculaire à la frontière sont supposés nuls, les conditions étant déduites en écrivant un équilibre massique global à l'échelle du domaine de calcul. Aucune autre condition n'est à préciser. Ces différentes conditions ne peuvent être combinées indifféremment entre elles pour que la résolution du problème soit possible. Ainsi, une condition en pression ne peut être associée à une condition "outlet", et un problème ne peut comporter qu'une seule condition de sortie type "outlet".

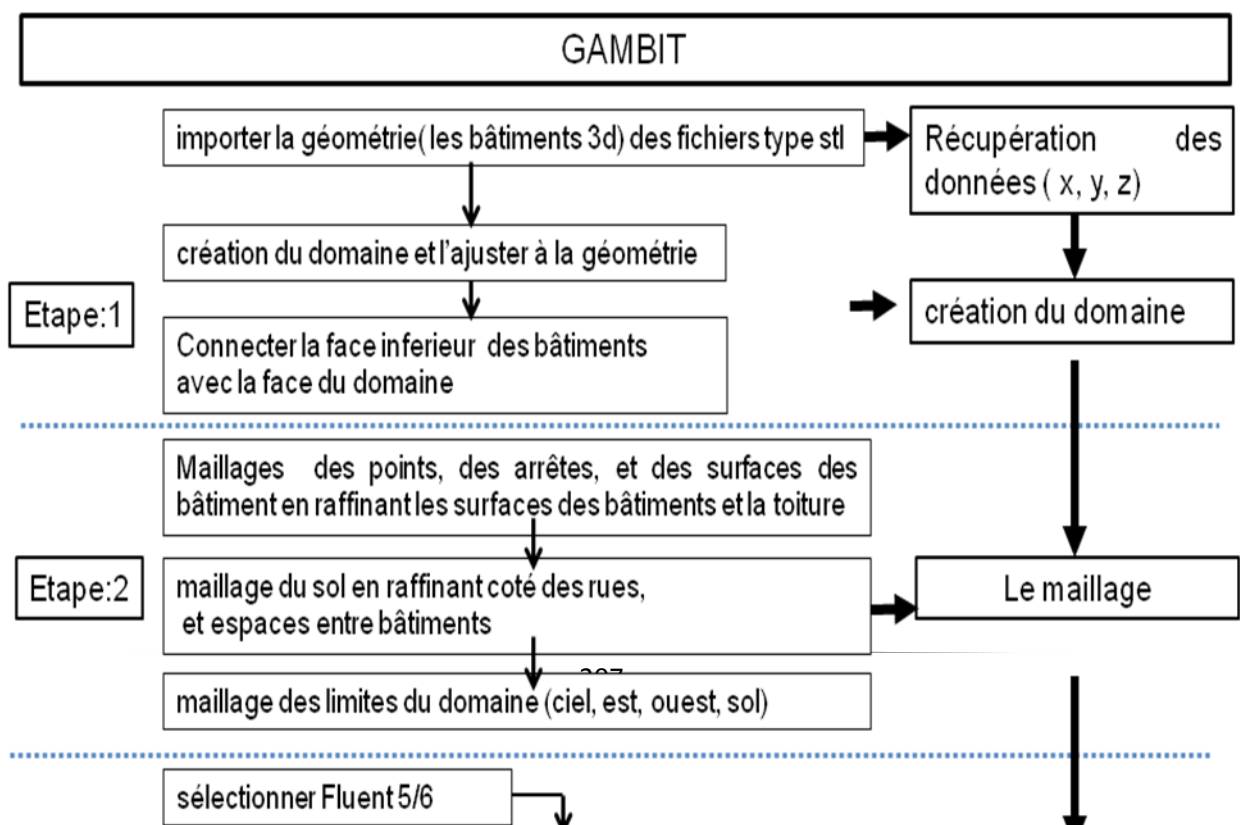
### III-1-5-4-Parois solides (condition type "wall")

Pour chacun des modèles de turbulence nous avons spécifié les lois de parois en vigueur, ou les autres conditions aux limites. De plus, outre la condition de mur glissant à laquelle nous n'aurons pas recours, les conditions thermiques sont à préciser, soit en imposant la température de surface soit en précisant le flux thermique quittant la paroi.

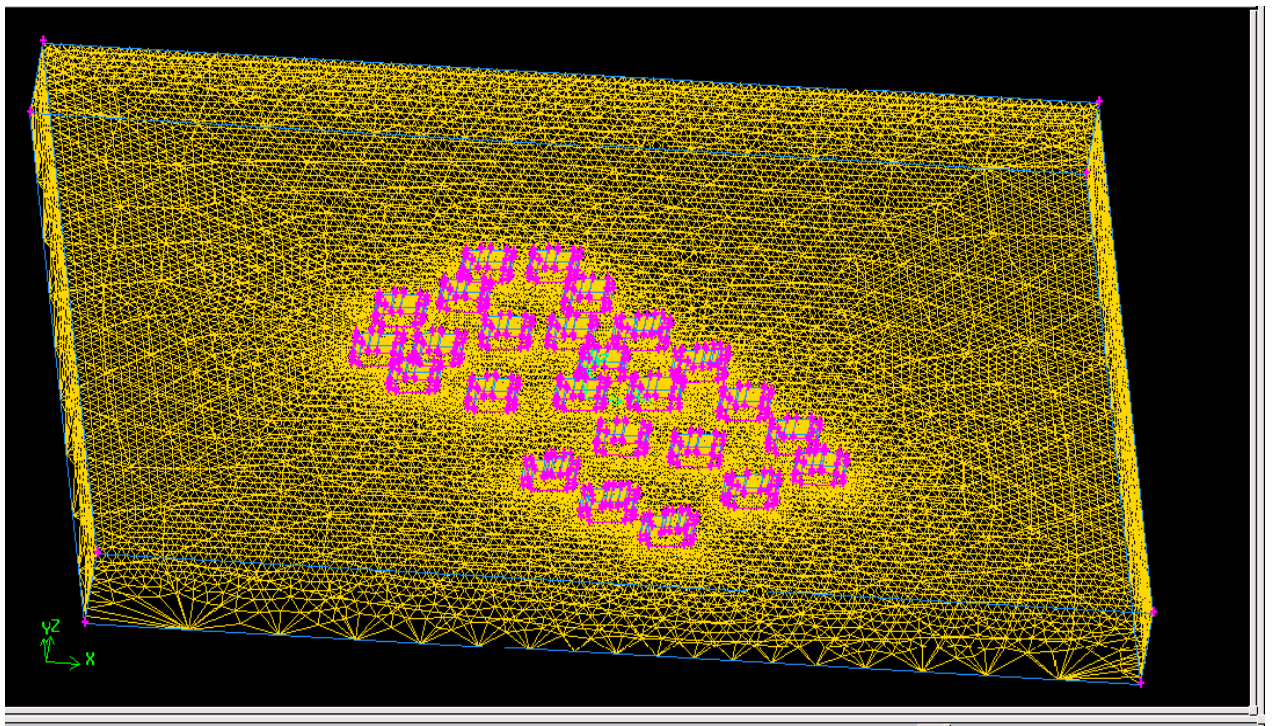
### III-1-5-5- Conditions de symétrie

cette condition consiste à imposer une vitesse normale à la frontière nulle, et des gradients dans le sens de la normale à la frontière nuls pour toutes les variables.

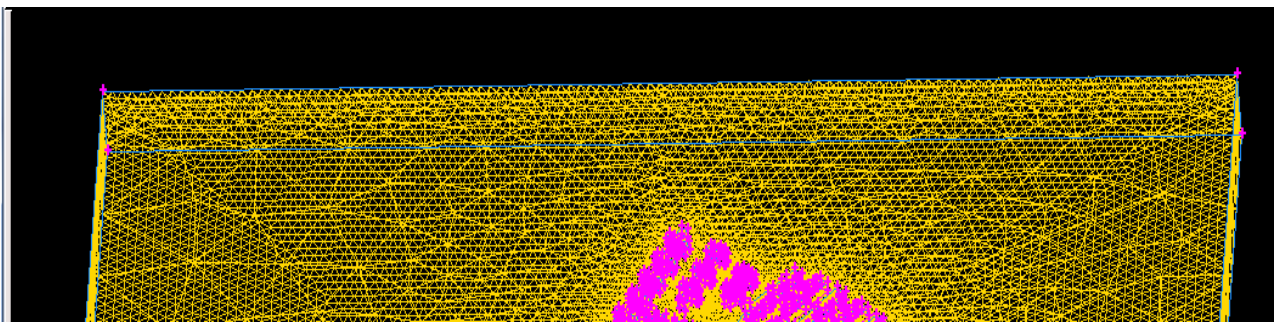
On présente ci-dessous un diagramme qui résume les étapes de fonctionnement du maillage sous Gambit.



*Figure VI-12- Schéma synthétisant les étapes du maillage sous Gambit (Source : l'auteur)*



*Figure VI-13- Le maillage du domaine d'étude pour le quartier des Orangers (Source : l'auteur)*



*Figure VI-14- Le maillage du domaine d'étude pour le quartier Belaid Belkassem (Source : l'auteur)*

## **II-2-La simulation sous le solveur Fluent 6.3.26 (volumes finis)**

Le logiciel FLUENT a été notre outil de simulation principal, c'est un logiciel de modélisation en mécanique des fluides édité par la société ANSYS.

Fluent est un logiciel qui résout par la méthode des éléments finis des problèmes de mécanique des fluides, il supporte tous les régimes d'écoulements, Euler ou visqueux, stationnaire ou non. Multiphasique, il résout simultanément les phénomènes thermiques, chimiques, multiphasiques et aéroacoustiques.

Fluent comporte deux fonctions dont:

- solveur : L'un des intérêts de ce logiciel de simulation généraliste, est qu'il dispose d'un nombre relativement important de modèles, pouvant faire face à divers aspects de la mécanique des fluides, il permet de définir numériquement les conditions opératoires dans lesquelles, est effectuée la simulation, ainsi que la spécification des conditions aux limites, il permet de choisir le processus itératif, en proposant plusieurs schémas numériques pour la discrétisation spatiale et temporelle, et pour le couplage de la vitesse et de la pression
- Le post- processeur : pour l'exploitation des résultats pour notre étude on a utilisé pour cette étape le logiciel Tec plot.

### **II-2-1-Importation de la géométrie**

Pour commencer la simulation il faut importer le fichier (\*.MSH) généré sous GAMBIT, en vérifiant le maillage importé: ceci permet de vérifier si le maillage importé ne contient pas d'erreur

### **II-2-2-Choix du solveur:**

Segregated solver: c'est le plus approprié pour notre études car coupled solver: est plutôt réservés aux écoulements compressibles à grande vitesse.

### II-2-3-Choix du régime d'écoulement :

On choisi le régime d'écoulement qui est permanent ou instationnaire.

### II-2-4-Equations régissant :

Les écoulements réactifs sont régis par les équations de l'aérothermochimie, FLUENT doc (2001). Elles expriment les équations de conservation de la masse totale, de la quantité de mouvement, des équations de bilan des espèces et de l'énergie.

#### II-2-4-1-*Equation de continuité* :

Cette équation exprimant la conservation de la masse est donnée comme suit :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0$$

#### II-2-4-2-*Equations de transport de quantité de mouvement* :

Les équations de quantité de mouvement moyennées de Navier Stokes, connues sous le nom de RANS, sont pour un fluide incompressible et Newtonien données comme suit :

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i u_j}) + F_i \quad (2)$$

$F_i$  : Forces de volume (force de gravité) suivant la direction i.

$-\rho \overline{u_i u_j}$  : Sont les composantes du tenseur des contraintes de Reynolds. Pour les relier à l'écoulement moyen, on a recours au concept de Boussinesq qui permet de les exprimer en fonction des gradients de vitesses moyennes.

#### II-2-4-3- *Le modèle k-ε Réalisable* :

Ce modèle est basé sur le travail de Shih et al. (1995).

- **Equations de transport du modèle k-ε Réalisable :**

Les équations de transport de k et ε sont comme suit

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b \quad (4)$$



Avec :  $C_{1\varepsilon} = 1,44$ ,  $C_{2\varepsilon} = 1,92$ ,  $C_{3\varepsilon} = 1$ ,  $\sigma_\varepsilon = 1,3$ ,  $\sigma_k = 1,0$

• **Modélisation de la viscosité turbulente :**

La viscosité turbulente  $\mu_t$  est obtenue en combinant k et  $\varepsilon$  comme suit :

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

La différence entre ce modèle et le modèle k- $\varepsilon$  Standard réside dans le fait que  $C_\mu$  est considérée non pas comme une constante mais comme une variable Shih et al. (1995).

**II-2-4-4-Equation de conservation de l'énergie :**

L'équation de transport de l'énergie est présentée comme suit :

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i E)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_j} - \sum_k h_k J_k + u_i \tau_{ij} \right) + S_k$$

(6)

Avec

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{u_i^2}{2} \quad \text{et} \quad h = \sum_j m_j h_j$$

$$h_j = \int_{T_{ref}}^T C_{p,j} dT \quad (T_{ref} = 298,15 \text{ °K})$$

$S_h$  est l'énergie due à la réaction chimique

$$S_h = - \sum_j \left( \frac{h_j^0}{M_j} + \int_{T_{ref}}^T C_{p,j} dT \right) R_j$$

**II-2-4-5-Equations de transport des espèces :**

La détermination de la fraction massique pour chaque espèce  $Y_i$ , se fait par la solution de l'équation de transport de la  $i^{\text{ème}}$  espèce, qui a la forme suivante :

$$\frac{\partial(\rho Y_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \vec{v} Y_i) = - \frac{\partial^2}{\partial x_j^2} \left( \left( \rho D_{i,m} + \frac{\mu_t}{Sc_t} \right) Y_i \right) + R_i$$

(7)

$R_i$  : est le taux net de production par réaction chimique.

**II-2-4-6-Le modèle Eddy Dissipation :**

Notre choix s'est alors porté sur le modèle Eddy

Dissipation pour la modélisation des taux de réaction. Ce modèle est basé sur le travail de Magnussen et Hjertager (1976). Le taux de production net  $R_{i,r}$  de l'espèce  $i$  dû à la réaction  $r$  est donné par le minimum des expressions suivantes :

$$R_{i,r} = v_{i,r} M_{w,i} A \rho \frac{\varepsilon}{k} \min \left( \frac{Y_R}{v'_{R,r} M_{w,R}} \right) \quad (8)$$

$$R_{i,r} = v'_{i,r} M_{w,i} A B \rho \frac{\varepsilon}{k} \left( \frac{\sum_p Y_R}{\sum_j v''_{j,r} M_{w,j}} \right) \quad (9) \quad A = 4,0 \quad B = 0.$$

### II-2-5- Définition des caractéristiques du fluide

Les caractéristiques sont chargées à partir de la bibliothèque de données de Fluent

#### II-2-2-1-La pression atmosphérique :

Avant de choisir les conditions aux limites, il faut choisir d'abord la valeur de la pression atmosphérique, conditions aux limites usuelles : ensuite, il faut fixer les valeurs des conditions aux limites:

**II-2-2-2-Velocity inlet:** Donner la vitesse d'entrée qui est connue.

#### II-2-6 - Choix des critères de convergence :

C'est à dire choisir les critères qui doivent être vérifiés pour que les calculs de la simulation s'arrêtent

#### II-2-7 Initialisation du calcul:

Il s'agit d'initialiser les calculs aux conditions de l'entrée

#### II-2-8 Lancement de la simulation :

Le paramétrage étant effectué, il ne reste plus qu'à choisir le nombre d'itérations que Fluent devra réaliser.

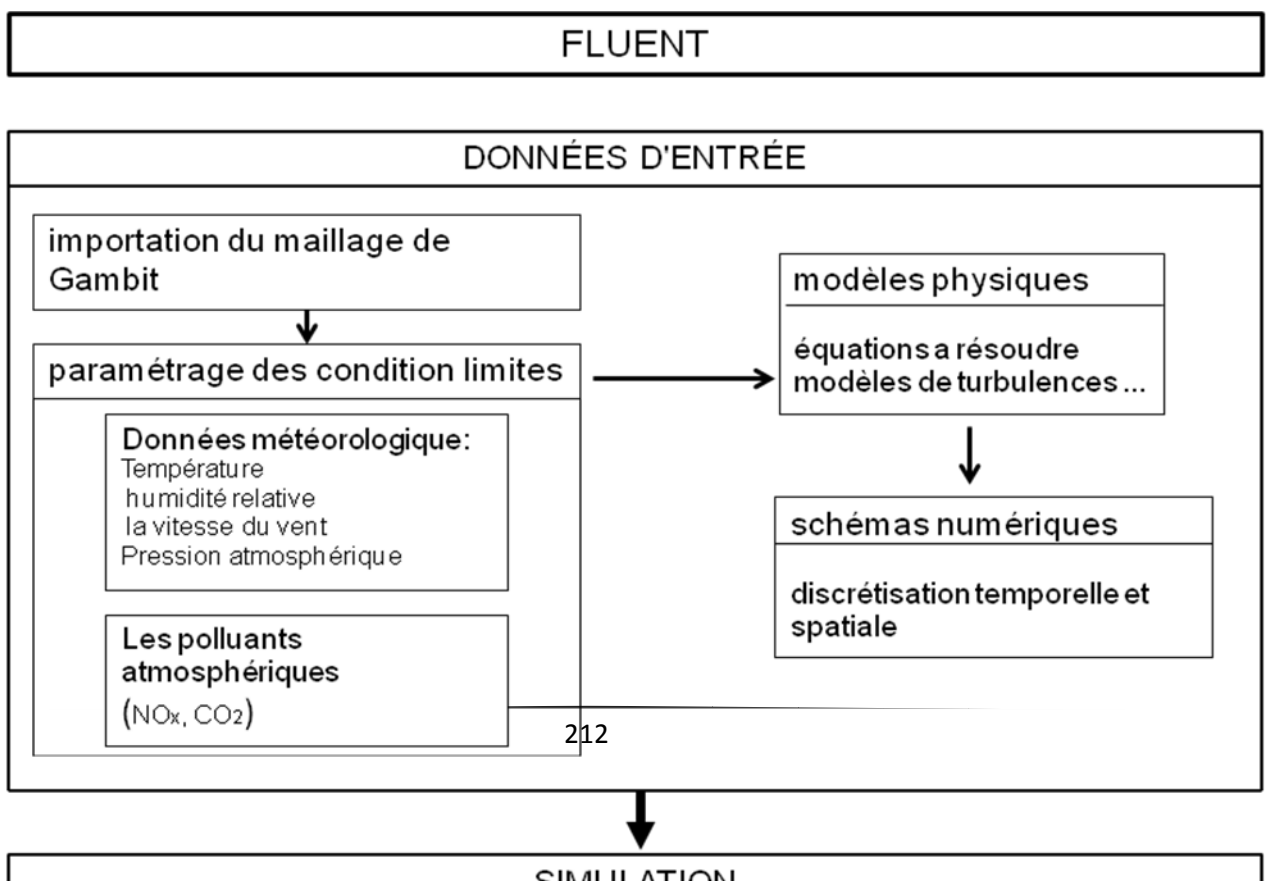




Figure VI-15- Schéma synthétisant les étapes de la simulation sous le code fluent (Source : l'auteur)

### III- ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

A fin d'étudier et analyser la relation entre la morphologie urbaine, le microclimat et le processus de dispersion atmosphérique La recherche bibliographique nous a permis de développer les variables ainsi que leurs système d'interaction

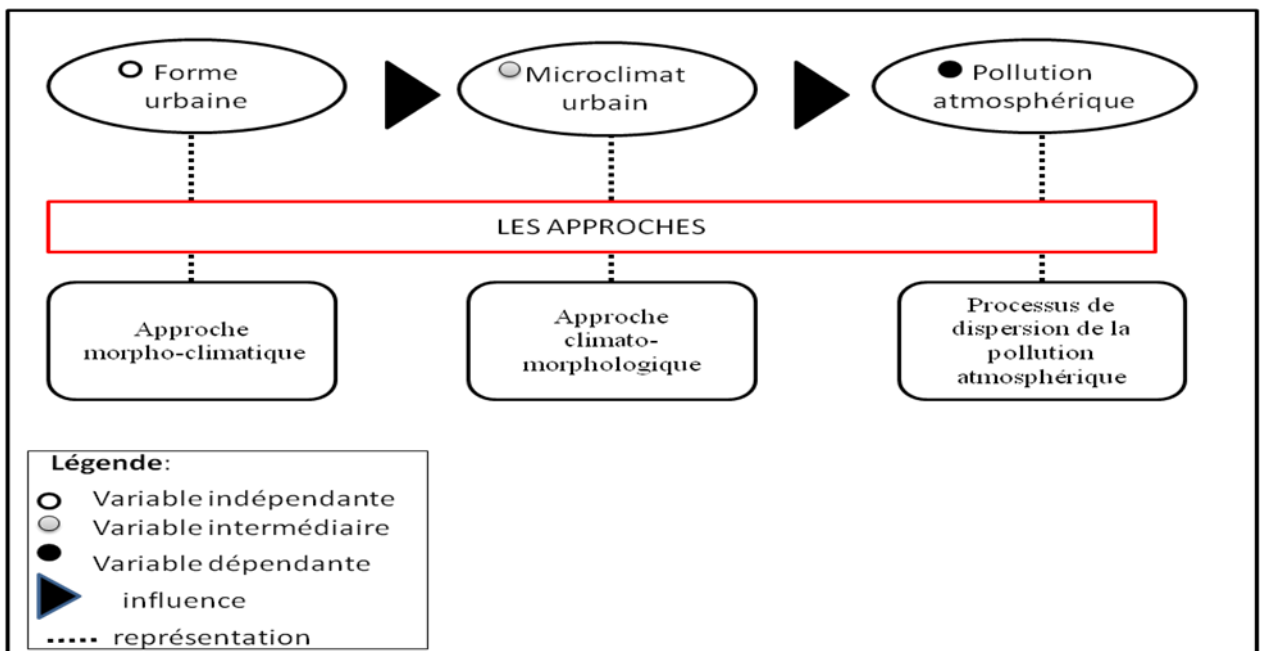


Figure VI-16- Les variables de la recherche et leur système d'interaction (Source : l'auteur)

#### III-1-Relation entre morphologie urbaine et microclimat urbain

Pour respecter l'ordre d'influence posé dans notre problématique, on va commencer notre étude par l'analyse de la relation entre les indicateurs morphologique de la forme urbaine et les paramètres microclimatique comme c'est synthétisé sur la figure VI-17.

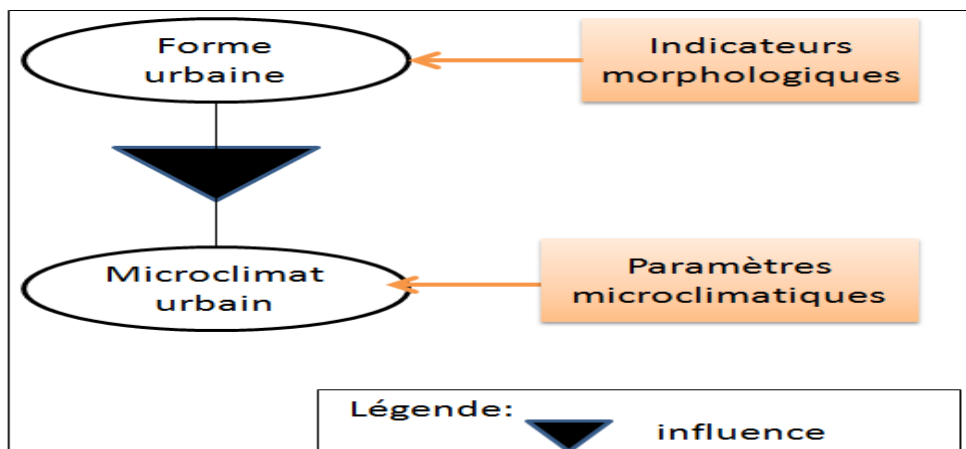


Figure VI-17- Digramme de la relation entre la morphologie urbaine et le microclimat urbain

III-1-1- Les indicateurs morphologique vs l'écoulement de l'air <sup>(Source : l'auteur)</sup>

On a noté auparavant dans le chapitre II que la maîtrise du comportement de l'écoulement de l'air autour d'un seul bâtiment ou plusieurs bâtiments est nécessaire pour la compréhension du processus de dispersion des polluants, pour cela il est primordial de commencer l'analyse des résultats par l'étude de l'environnement aéraulique au niveau des deux configurations choisies d'une manière approfondie, pour cela on a introduit dans notre simulation trois différentes valeurs de la vitesse de l'air  $v_1=2 \text{ m/s}$ ,  $v_2=4\text{m/s}$ ,  $v_3=8\text{m/s}$  le choix s'est porté sur ces valeurs car plus la vitesse du vent est importante et les gaz légers moins la présence de l'obstacle se fera sentir, ainsi que la moyenne de vitesse de vent enregistré par la station de mesure de la ville d'Annaba est de 4m/s. Dans les deux configurations dont le quartier des orangers (cas 01) et le quartier Belaid Belagcem(cas 02), la méthode utilisée pour la simulation et l'analyse des résultats obtenus est synthétisée sur la figure VI-18.

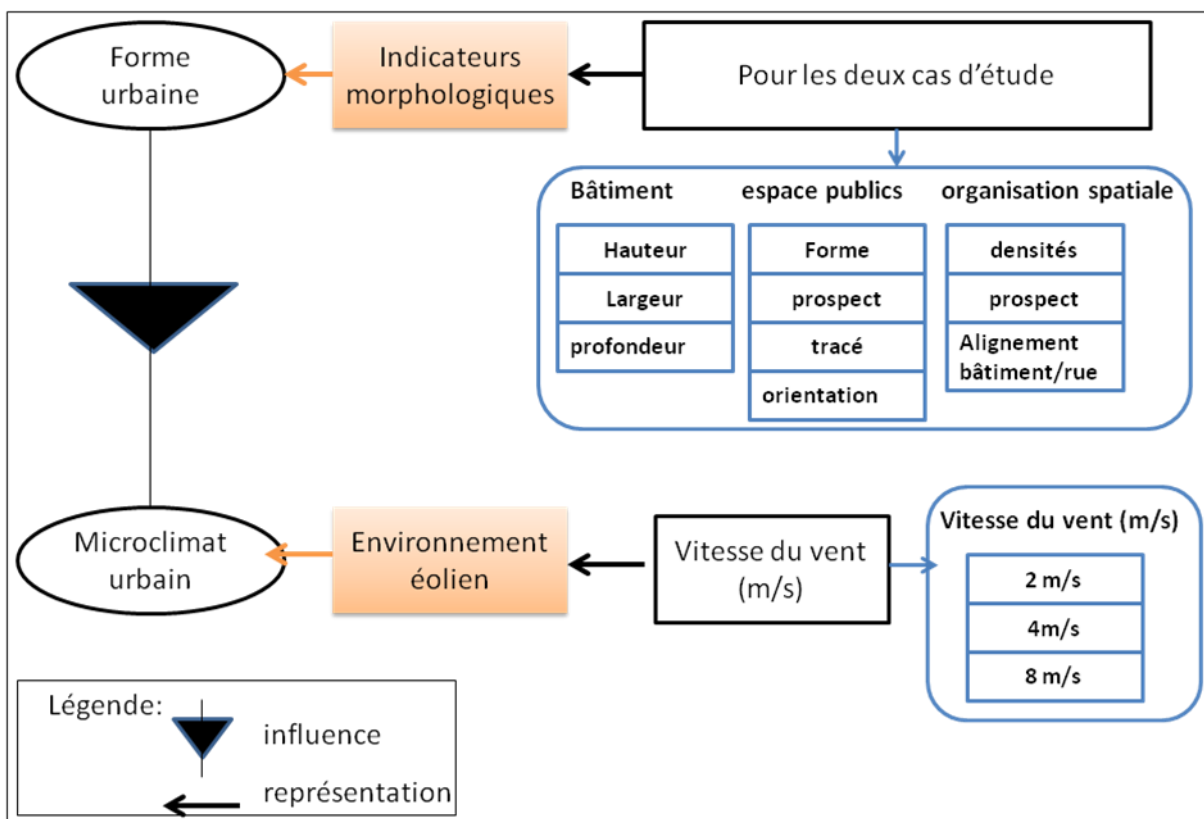


Figure VI-18- Digramme de l'analyse morphologie urbaine vs écoulement de l'air (Source : l'auteur)

### III-1-1-1-L'écoulement de l'air pour le quartier des orangers :

Lors de l'étude morphologique du quartier on a remarqué que les immeubles d'habitation ont une architecture et volumétrie similaire, d'une hauteur  $h=14\text{m}$ , de forme barre disposés d'une façon aléatoire par rapport à l'espace public (rues, ruelles,...etc.), d'une densité faible de 0.55 d'un ratio d'espace ouvert équivalant à 80.23%. Précisant notamment que la simulation sous le code fluent ne prend en considération que le plein qui sont les bâtiments et les vides c'est-à-dire l'espace existant entre les bâtiments. De ce point de vue on arrive à lire que les bâtiments sont dissociés de la trame viaire mais par rapport à la trame plein/vide on remarque que les bâtiments se présentent en bandes alignées et parallèles entre elles, formant deux groupes séparés par un grand espace vide qui peut être représenté par la figure VI-19 :

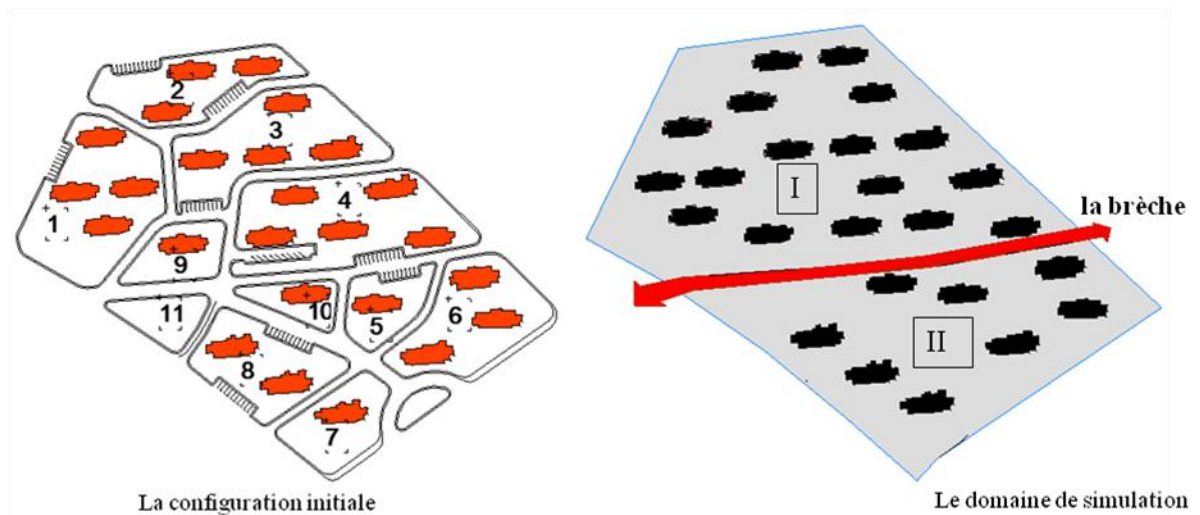


Figure VI-19- La configuration initiale du quartier des orangers et le domaine de simulation  
(Source : l'auteur)

#### - Les résultats de la simulation au niveau du plan de masse

Quant à l'écoulement de l'air la première lecture globale des résultats obtenus pour les différentes vitesses attribuées, on constate des résultats similaires pour les 03 valeurs de vitesse attribuées (figures VI-20, VI-21, VI-22) prises à une hauteur de  $h=1.5\text{m}$  c'est-à-dire au niveau de la hauteur des piétons, on a remarqué :

- un accroissement de la vitesse de l'air au niveau des couloirs créés par les bâtiments alignés et décalés entre eux.
- un accroissement au niveau des bâtiments face au vent et un décroissement pour les bâtiments en aval.

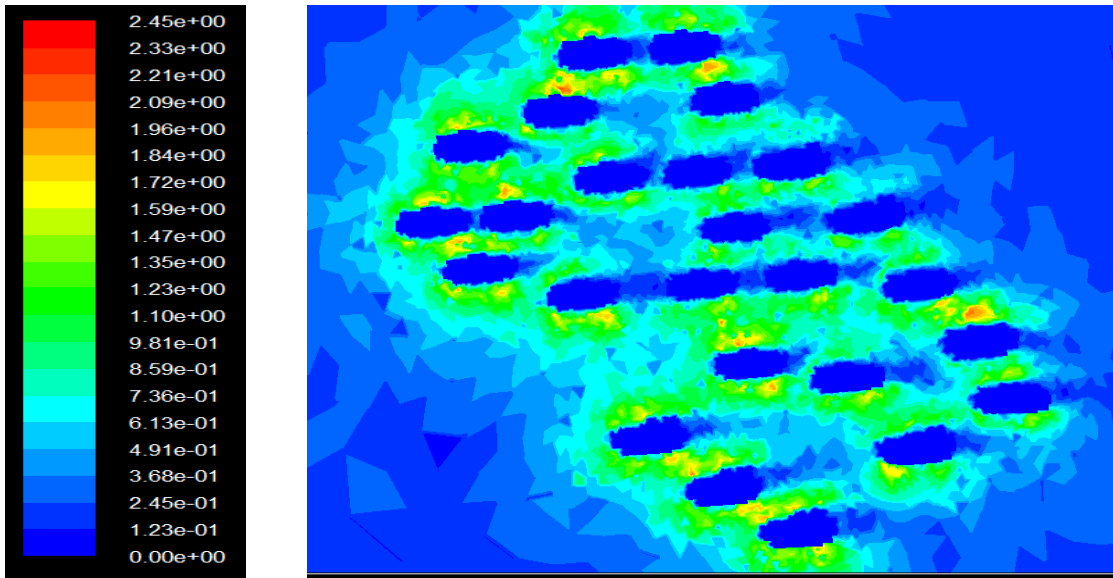


Figure VI-20- Ecoulement de l'air pour une vitesse de 2m/s a une hauteur  $h=1.5m$  (Source : l'auteur)

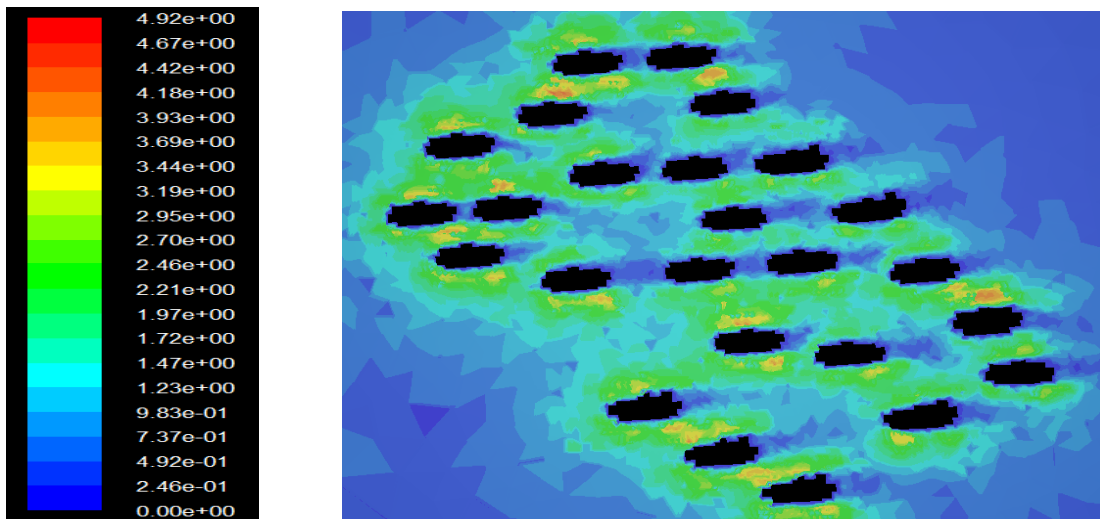


Figure VI-21- Ecoulement de l'air pour une vitesse de 4m/s a une hauteur  $h=1.5m$  (Source : l'auteur)

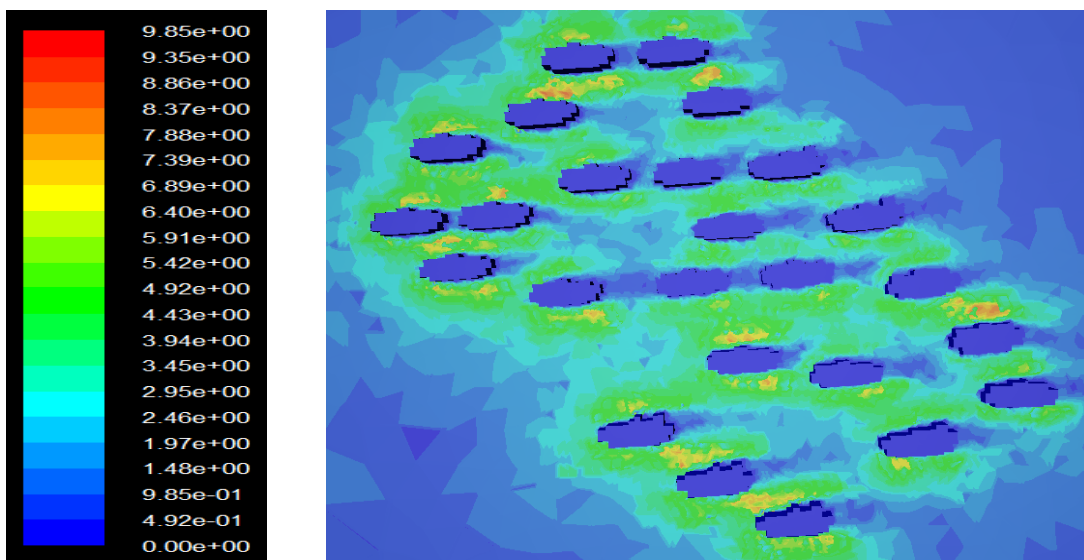


Figure VI-22- Ecoulement de l'air pour une vitesse de 8m/s a une hauteur  $h=1.5m$  . (Source : l'auteur)

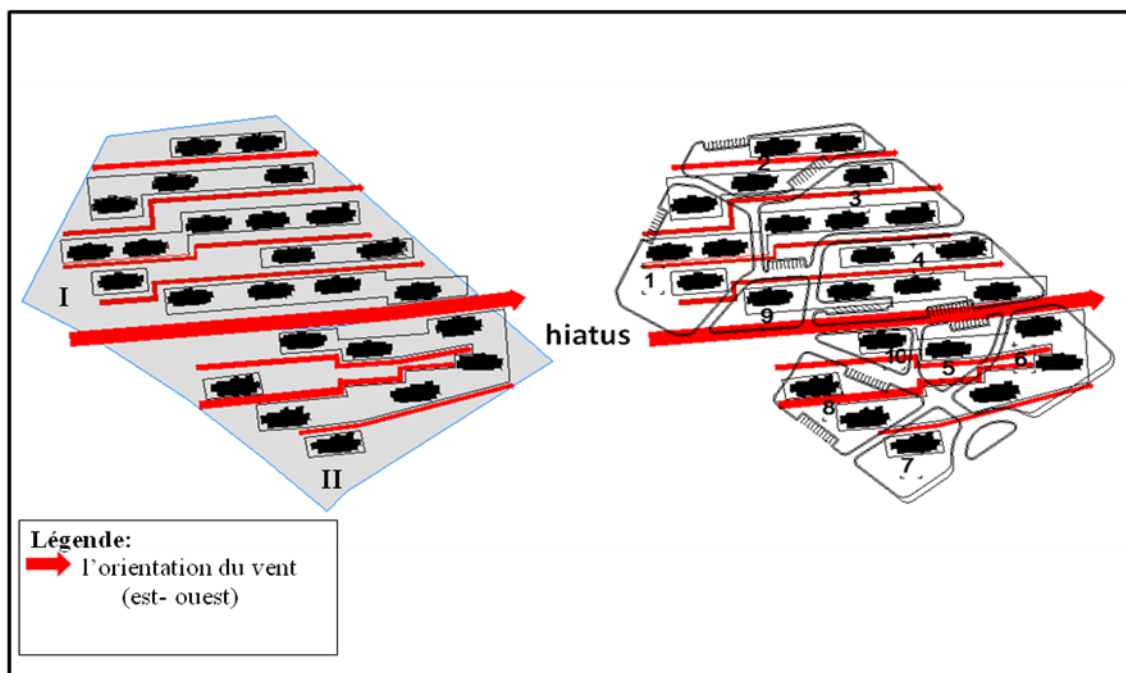
Interprétation :

Parmi les multiples définitions du tissu urbain, et sans préjuger des qualités que l'on peut lui prêter, on a choisi la plus simple. Le tissu urbain est constitué de la superposition ou de l'imbrication de trois ensembles (Philippe Panerai 2009) :

- Le réseau des voies ;
- Le découpage foncier ;
- Les constructions.

La lecture des résultats obtenus nous a permis de dégager un découpage grâce à l'interaction des trois éléments qui sont (figure ...) :

- L'orientation du vent ;
- Les constructions ;
- Le comportement de l'air dans les espaces vides créés par les bâtiments.



*Figure VI-23- Le découpage obtenu par l'interaction de trois éléments (Source : l'auteur)*

Grâce à la superposition des deux points de vue, et afin d'observer en détail le comportement de l'air et de passer dans l'analyse de nos résultats de la lecture globale à la micro-échelle, on a pris en considération le hiatus de ratio  $(H/L)=0.5m$ , séparant l'ensemble de construction en deux parties (partie I et partie II) qui seront analysés séparément selon l'ensemble de bâtiments face au vent et l'ensemble de bâtiments en aval (figure VI-24).



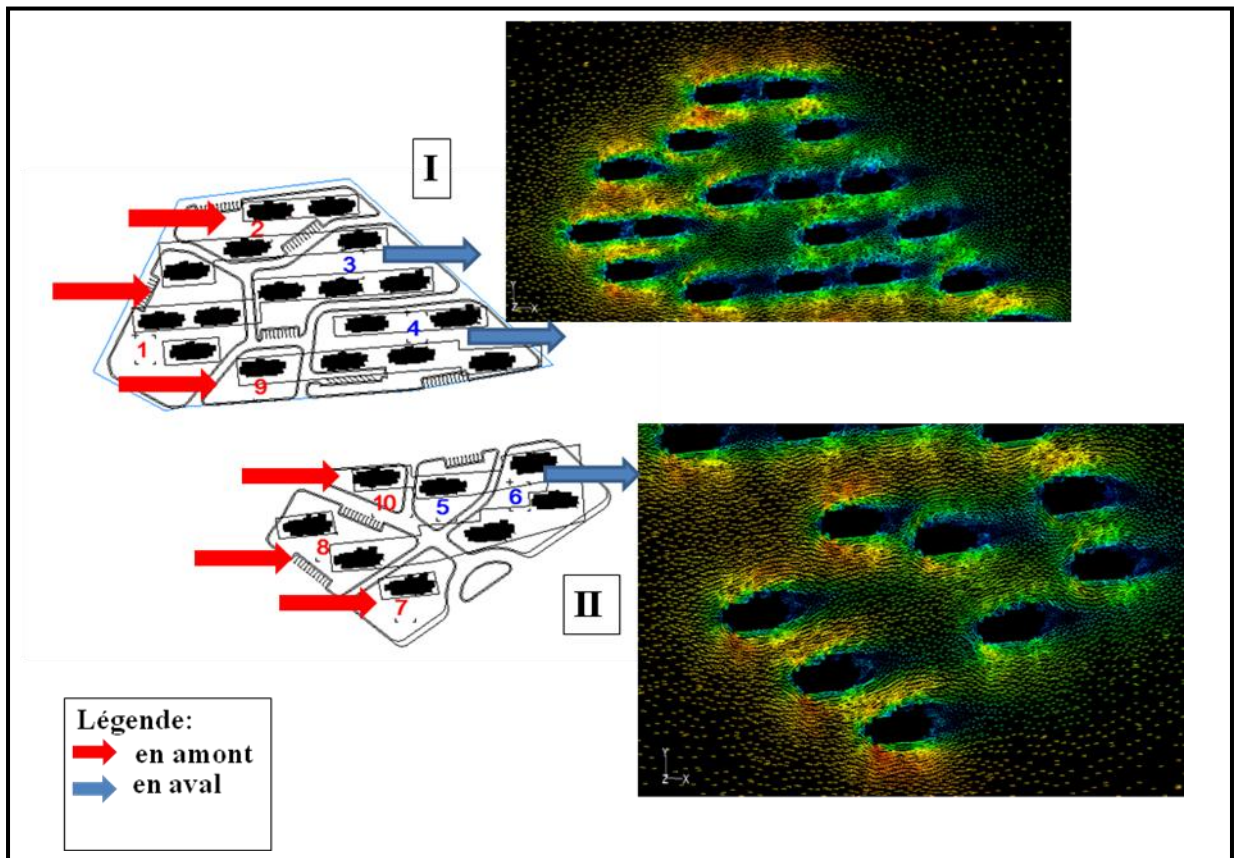
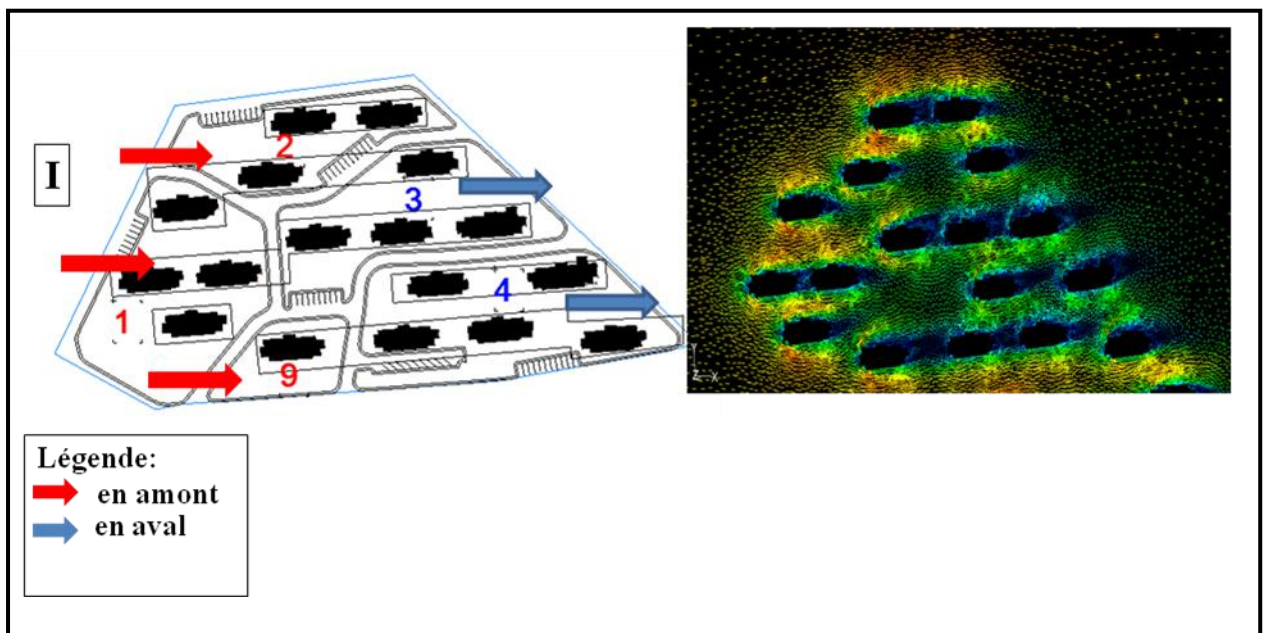


Figure VI-24- la partie I et partie II du cas d'étude 1 avec leurs simulations sous fluent (Source : l'auteur)

Le groupe (I) et les groupe (II) sont tout les deux composés de 5 ilots dans chaque ilots on retrouve des configurations différentes et qui seraient intéressent d'observer de plus près.

- L'écoulement de l'air dans la partie I:

Pour le groupe (I) 3 ilots (ilot 01, ilot 02, ilot 09) leurs bâtiments sont face au vent et deux ilots en aval (ilot 03, ilot 04) figure VI-25.



Les agrandissements les ilots face au vent et de la coupe donne simulation sous fluent (Source : l'auteur) parce qu'ils montrent l'intérêt principal d'utiliser les simulations numériques pour

comprendre les mouvements d'air autour des bâtiments, tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif.

- **Les résultats pour l'ilot 01 :**

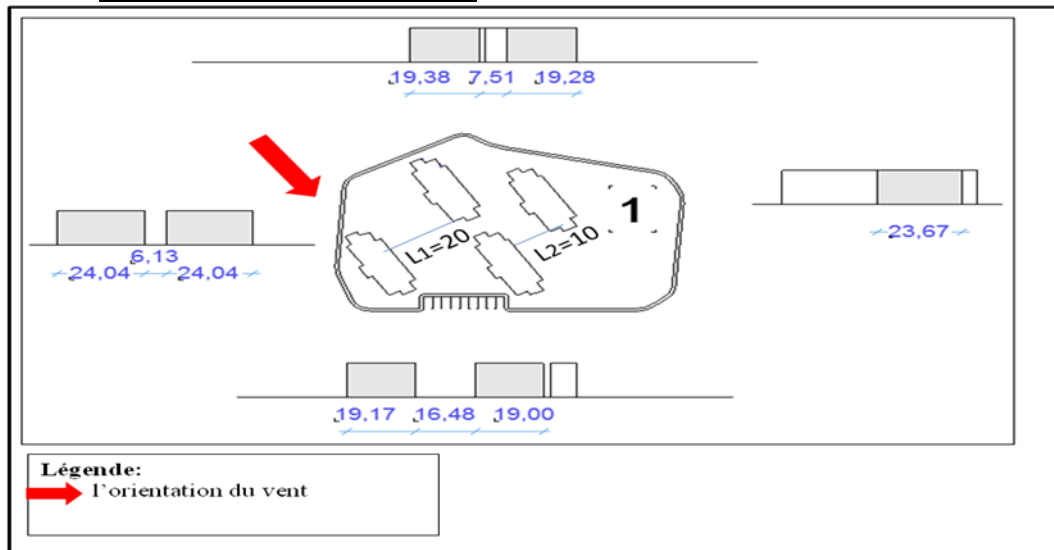


Figure VI-26- la disposition des bâtiments dans l'ilot 01 (Source : l'auteur)

	Nbr	H (m)	long (m)	Larg (m)	Ratio espace ouvert %	Densité nette	Ratio H/L	Orientation
Bâtiments	04	14	28.5	9.59	81.83	0.18	2.72	Nord-ouest

Tableau VI. 2- les indicateurs morphologiques de l'ilot 01 (Source : l'auteur)

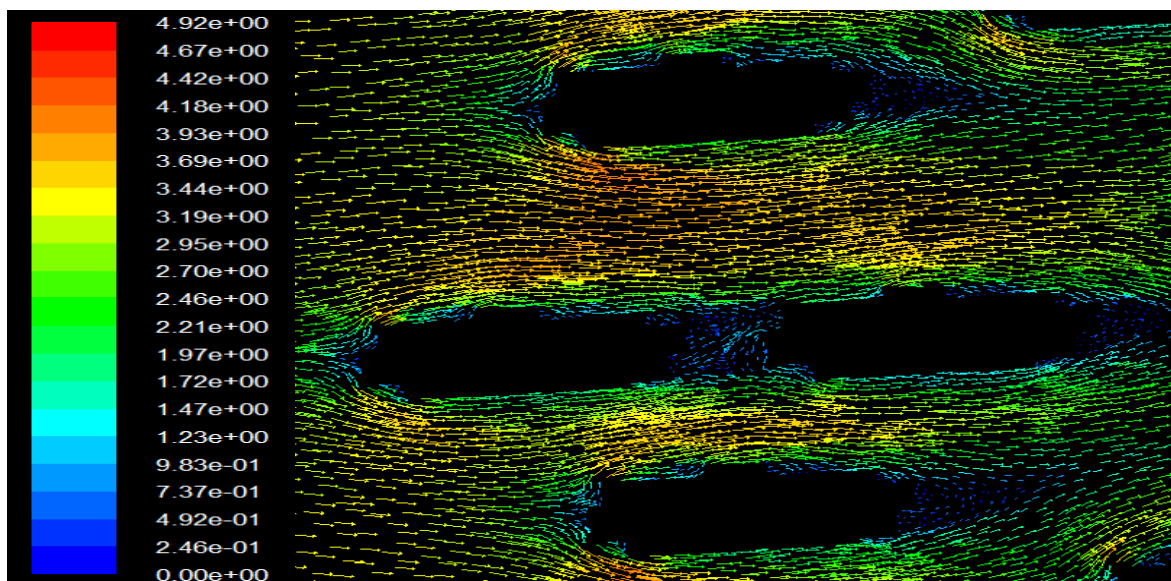


Figure VI-27: agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 01. (Source : l'auteur)

L'ilot 01 est composé de 04 bâtiments deux bâtiments au centre, les autres bâtiments sont posés séparément un bâtiment au nord et un bâtiment au sud qui sont ainsi parallèles aux deux premiers bâtiments, au même niveau du vide qui se trouve entre eux. Tous les bâtiments sont orientés au nord-ouest parallèle à la direction du vent.

Les bâtiments ayant la même hauteur on remarque que c'est la largeur des espaces libres délimités par les bâtiments, qui a une influence sur la vitesse de l'écoulement de l'air, on voit un accroissement au niveau de la rue la plus large  $L_1=2L_2=20m$ .

La façade des bâtiments face au vent a une largeur de 9 m, on remarque accélération du vent se produisant au coin de la construction qui mette en relation la zone de surpression amont et la zone de pression latérale, pour que le vent puisse continuer sa trajectoire.

Décroissement du vent en aval pour les bâtiments isolés, un rouleau tourbillonnaire et recirculation dans l'espace entre les deux bâtiments alignés.

- **Les résultats pour l'ilot 02 :**

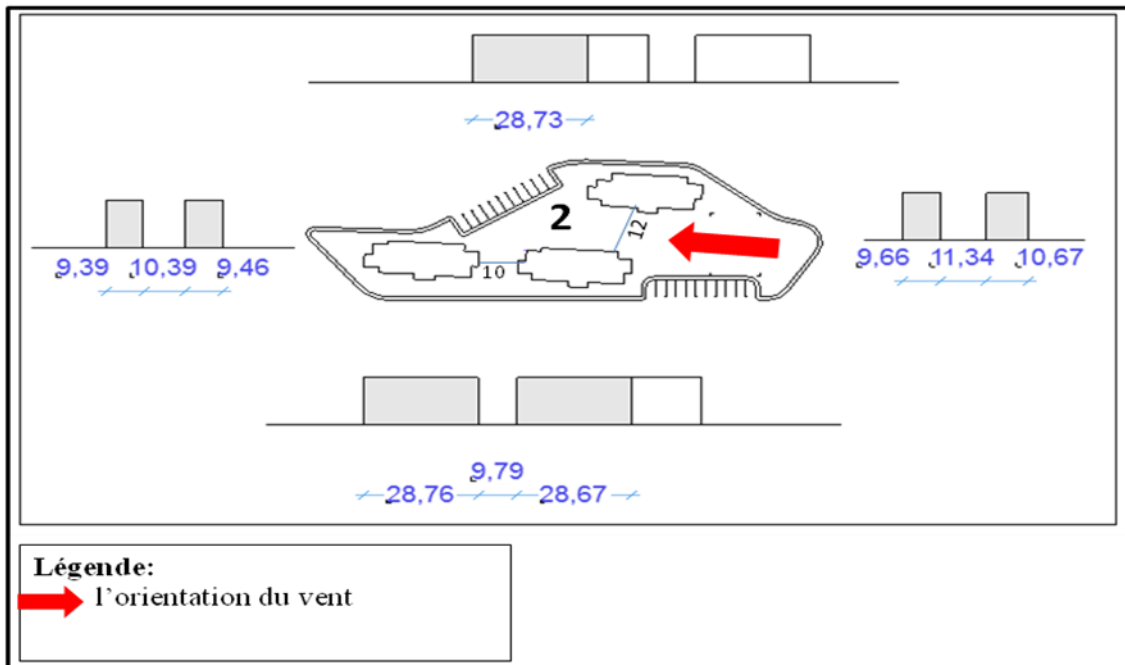
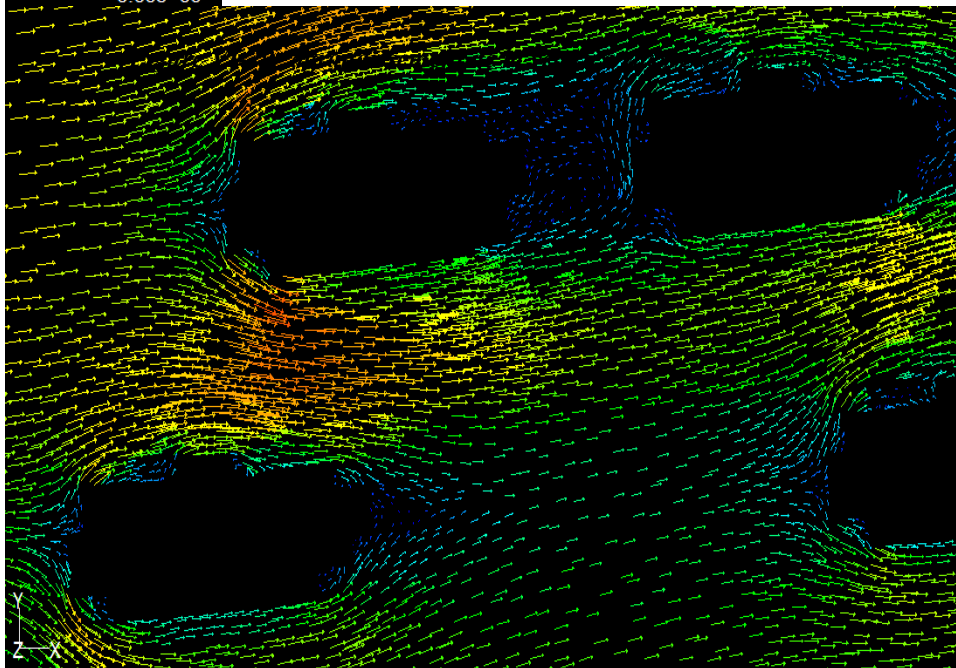
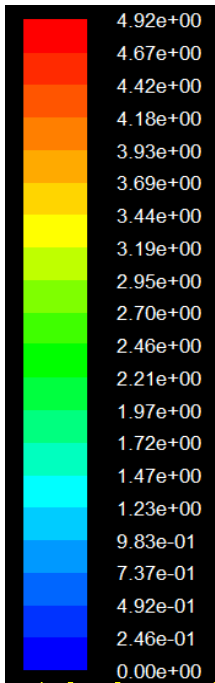


Figure VI-28- la disposition des bâtiments dans l'ilot 02 (Source : l'auteur)

	Nbr	H (m)	long (m)	Larg (m)	Ratio espace ouvert %	Densité nette	Ratio H/L	Orientation
Bâtiments	03	14	28.6	9.49	81.83	0.31	1.43	Nord-est

Tableau VI. 3 les indicateurs morphologiques de l'ilot 02 (Source : l'auteur)





(source : l'auteur)

L'îlot 02 composé de 03 bâtiments dont deux bâtiments alignés l'espace entre eux est de  $L=10\text{m}$ , et un bâtiment en face isolé la distance entre les blocs est de  $L=12\text{m}$  on retrouve les mêmes phénomènes observé dans la configuration du premier îlot.

-un accroissement de la vitesse de l'air quand le vent pénètre en amont grâce a l'ouverture créer par les deux bâtiments de  $L=12\text{m}$  pour un prospect égale a  $H/L=1.16$  et un décroissement en aval.

- **Les résultats pour l'îlot 09 :**

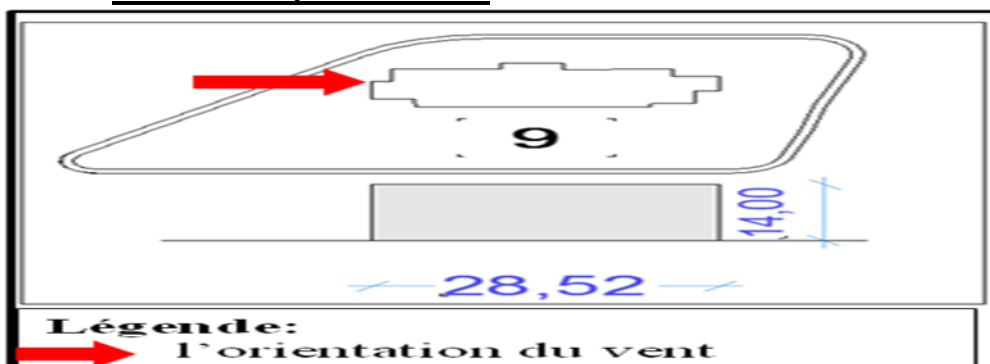


Figure VI-30- la disposition des bâtiments dans l'ilot 09 (Source : l'auteur)

	Nbr	H (m)	long (m)	Larg (m)	Ratio espace ouvert %	Densité nette	Ratio H/L	Orientation
Bâtiments	01	14	28.6	9.49	83.88	0,62	-	Ouest

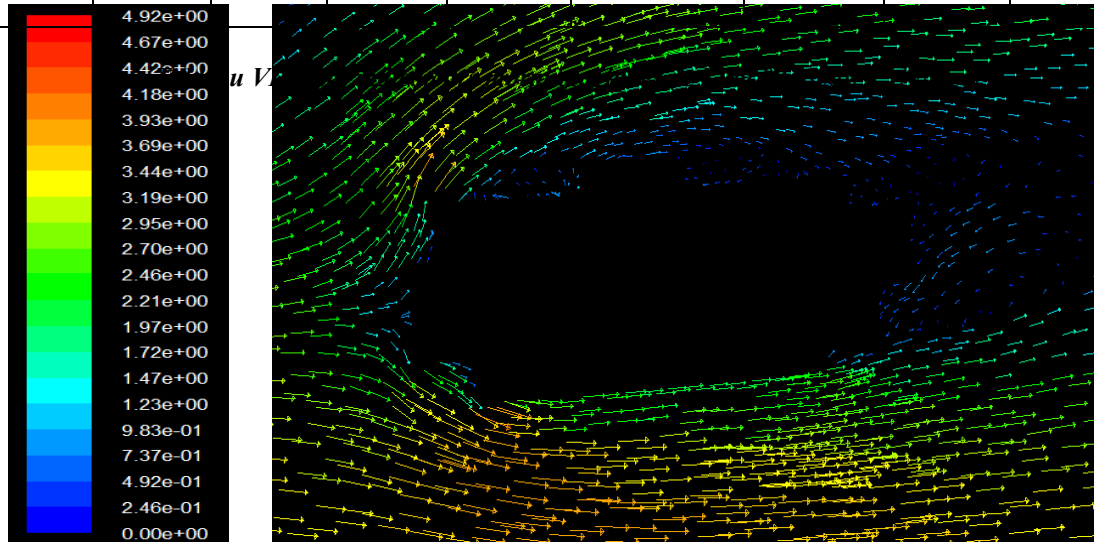


Figure VI-31- agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 9. (Source : l'auteur)

Au niveau de la face au vent, se forme l'effet coin, avec une accélération de la vitesse du vent, c'est le phénomène d'écoulement aux angles des constructions qui mettent en relation la zone de surpression amont et la zone de dépression latérale du bâtiment. on remarque un effet de recirculation dans les zones formées par les décrochements.

• **Les résultats pour l'ilot 03 :**

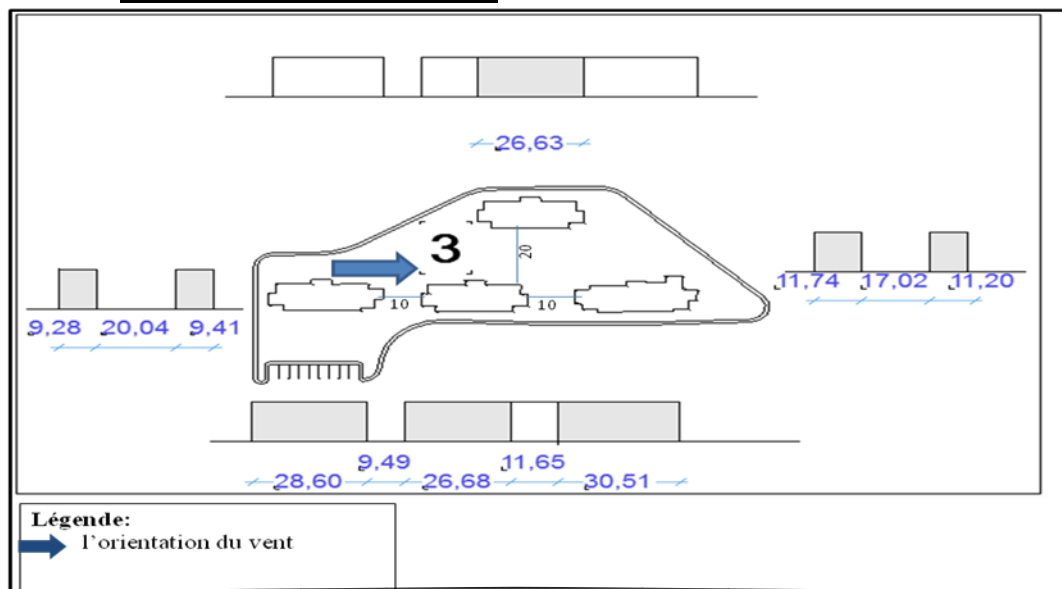


Figure VI-32- la disposition des bâtiments dans l'îlot 03 (Source : l'auteur)

	Nbr	H (m)	long (m)	Larg (m)	Ratio espace ouvert %	Densité nette	Ratio H/L	Orientation
Bâtiments	04	14	28.12	9.40	83.88	0.20	1.43	Nord-est

Tableau VI. 5 les indicateurs morphologiques de l'îlot 03 (Source : l'auteur)

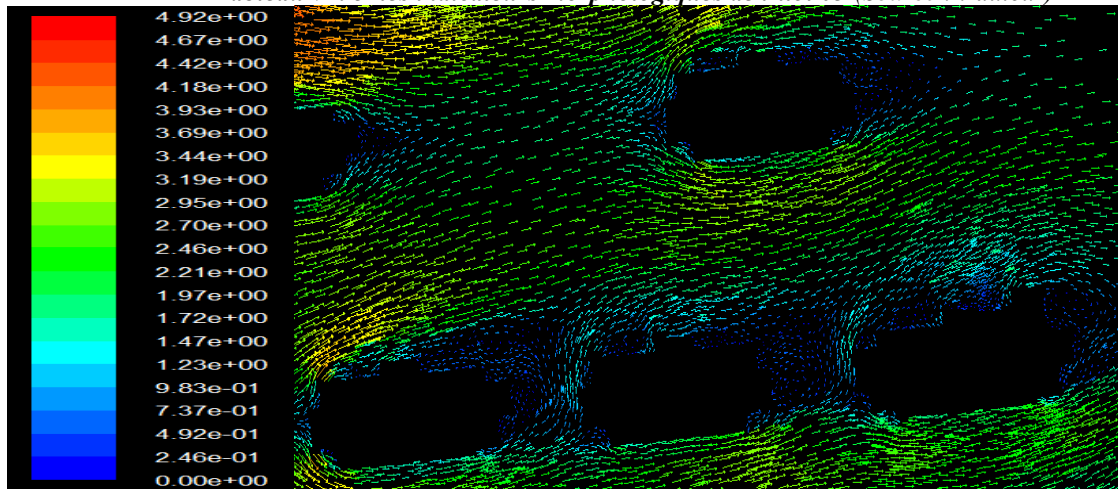


Figure VI-33- agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'îlot 3. (Source : l'auteur)

L'îlot est composé de 04 blocs dont trois alignés, espacés de  $L=10\text{m}$  et un bloc parallèle espacé de  $l=20\text{m}$ , se qui conduit a un rapport  $h/l=0.7$

Le graphe qui résulte de la simulation démontre un décroissement de la vitesse du vent  $=3\text{m/s}$

Les bâtiments alignés est parelle au vent comme pour les configurations vues auparavant l'écoulement est réduit en aval, et il est peu perturbé.

• **Les résultats pour l'îlot 04 :**

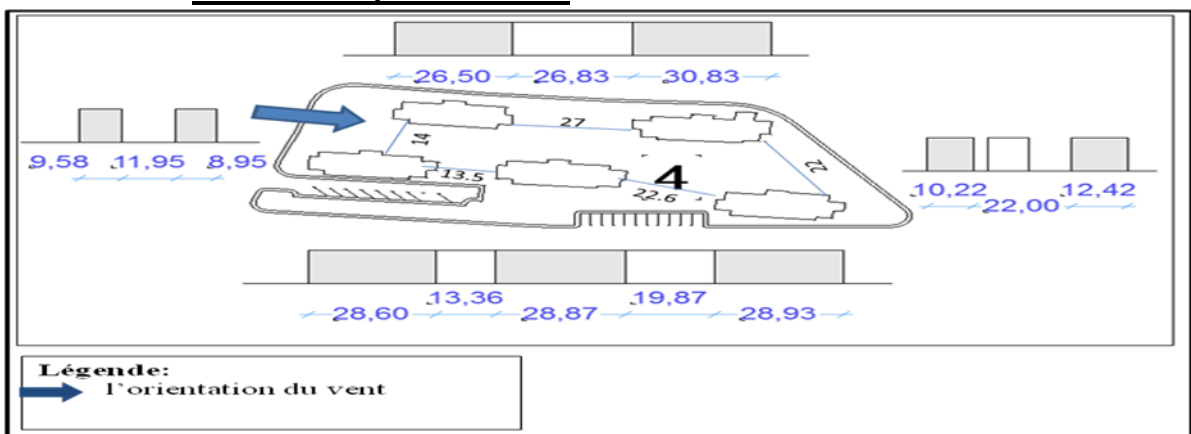


Figure VI-34- la disposition des bâtiments dans l'îlot 04 (Source : l'auteur)

	Nbr	H (m)	long (m)	Larg (m)	Ratio espace ouvert %	Densité nette	Ratio H/L	Orientation
Bâtiments	05	14	28.74	9.15	78.13	0.20	1.17	Est

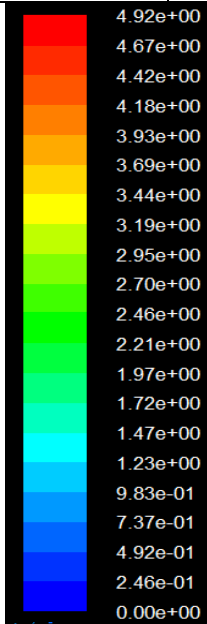
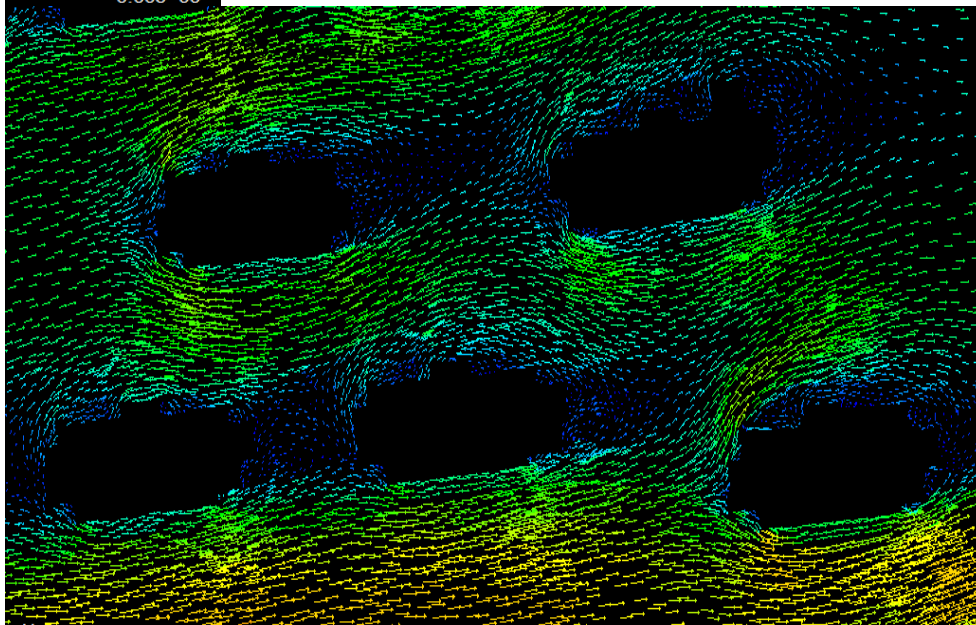


Tableau VI. 6 les indicateurs morphologiques de l'ilot 04 (Source : l'auteur)



(Source : l'auteur)

L'ilot 04 contenant 05 obstacles situés en aval donc la vitesse de l'air diminue par rapport à la vitesse initiale, on remarque toujours une accélération de la vitesse avec l'effet de coin ainsi que l'espace public. Entre les bâtiments de largeur  $l=14\text{m}$ , donc un rapport  $h/l=1$ .

On observe l'existence de l'effet barre de la ventilation qui diminue quand les bâtiments sont assez espacé, les deux bâtiments qui sont en haut sont espacé de  $L=27\text{m}$  se qui donne un ratio  $H/L$  environ 0.5, il est présent quand le rapport  $H/L \geq 1$  dans notre configuration.

- **L'écoulement de l'air dans la partie II :**

Pour le groupe (II) 3 îlots (îlot 10, îlot 08, îlot 07) leurs bâtiments sont face au vent et deux îlots en aval (îlot 05, îlot 06) (figure VI-36)

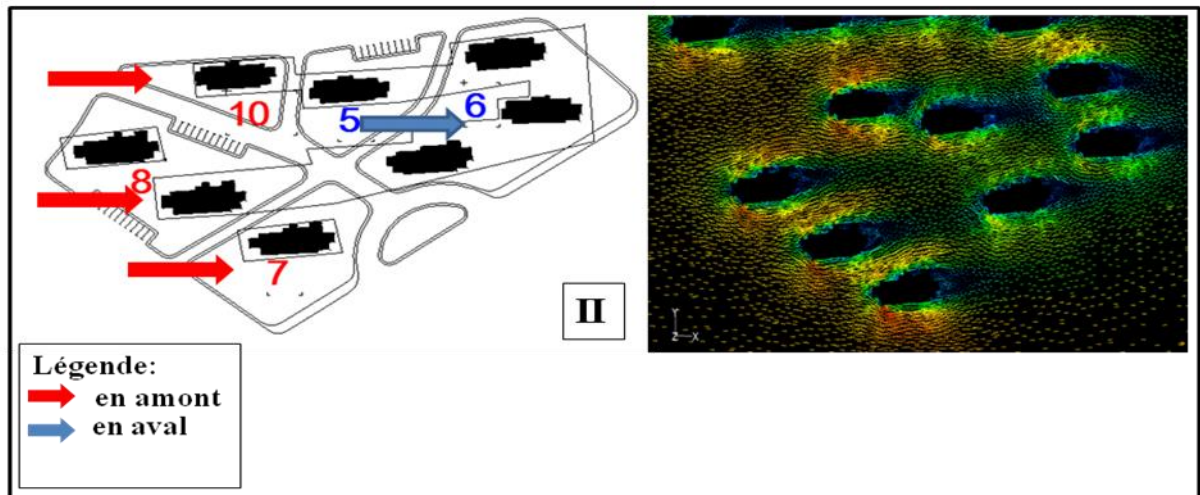


Figure VI-36- les îlots face au vent et en aval de la partie I et sa simulation sous

- les résultats pour l'îlot 08 (Source : l'auteur)

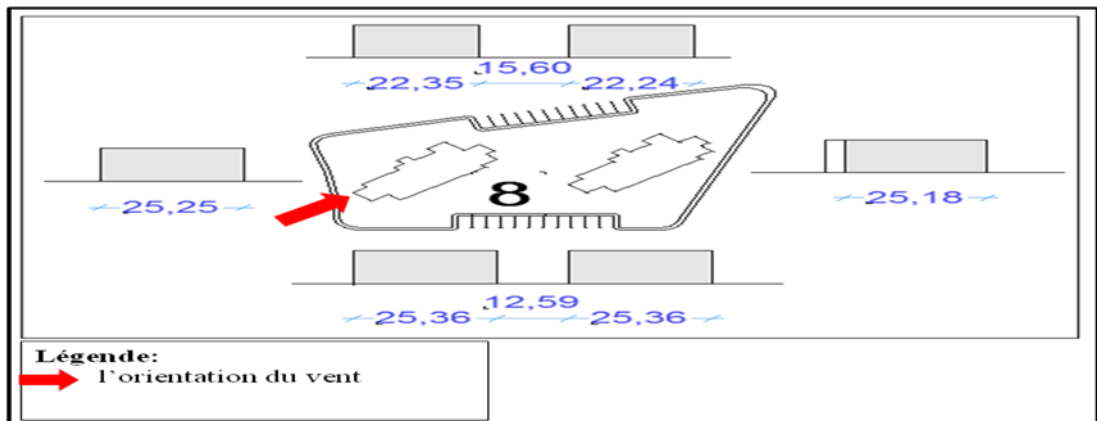
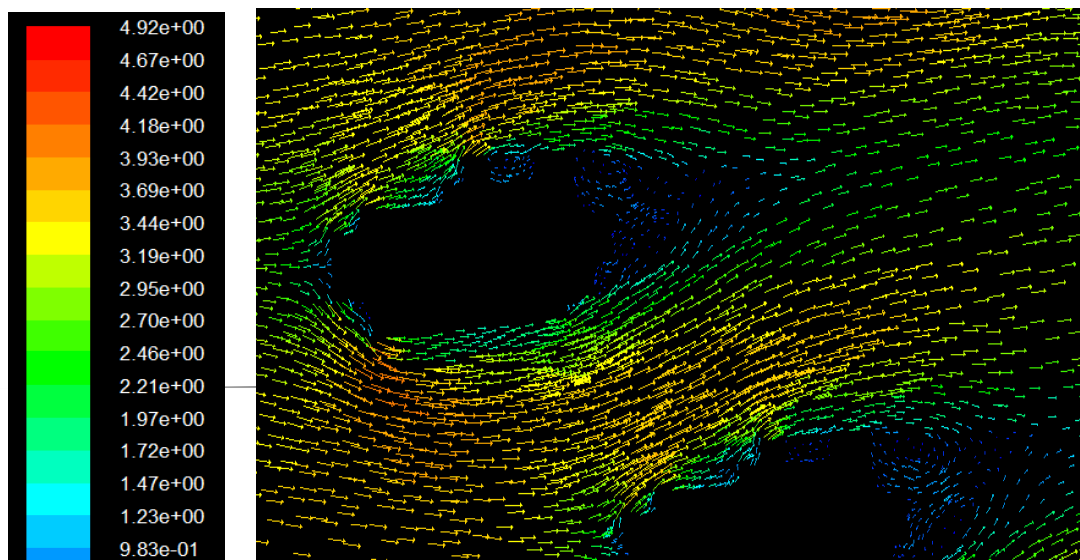


Figure VI-37- la disposition des bâtiments dans l'îlot 08 (Source : l'auteur)

	Nbr	H (m)	long (m)	Larg (m)	Ratio espace ouvert %	Densité nette	Ratio H/L	Orientation
Bâtiments	02	14	30.34	9.51	78.13	0.72	1.11	ouest

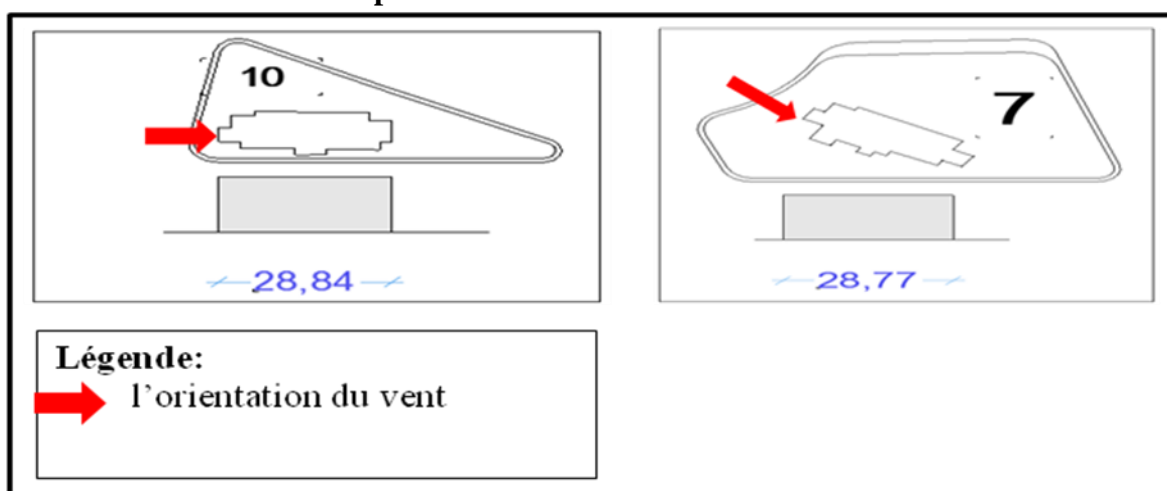
Tableau VI. 7 les indicateurs morphologiques de l'îlot 08 (Source : l'auteur)



*Figure VI-38- agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot 4. (Source : l'auteur)*

La forme des bâtiments est différentes des autres blocs d'habitations du quartier, il y a plus de décrochement la forme n'est pas aussi régulière que les précédentes ce qui favorise le phénomène de coins, et l'accroissement de a vitesse de l'air, le comportement de l'air dans cette configuration et la même que pour le cas d'un obstacle isolé, accroissement en amont et décroissement en aval.

- Les résultats pour les ilots 07 et 10 :



*Figure VI-39- la disposition des bâtiments dans les ilots 7 et 10 (Source : l'auteur)*

	Nbr	H (m)	long (m)	Larg (m)	Ratio espace ouvert %	Densité nette	Ratio H/L	Orientation
Ilots 07	01	14	30.76	9.09	87.60	0.72	-	sud
Ilots 10	01	14	28.72	9.48	75.16	0.96	-	Est

*Tableau VI. 8 les indicateurs morphologiques des ilots 7 et 10 (Source : l'auteur)*



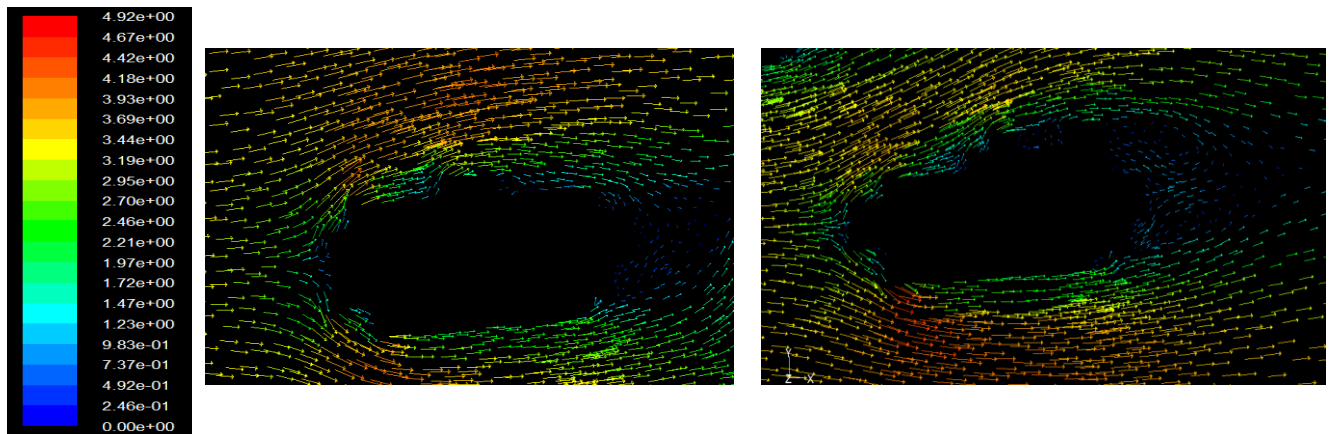


Figure VI-40agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour les ilots 7 et 10. (Source : l'auteur)

Les résultats obtenus pour les deux bâtiments isolés démontrent l'importance et l'influence de la géométrie sur l'écoulement de l'air, de l'effet de coin engendrés par ce dernier jusqu'à 4.5 à 5 m/s au niveau des coins.

- Les résultats de l'îlot 05 :

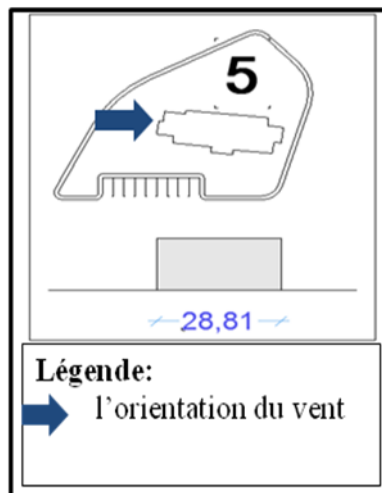


Figure VI-41- la disposition des bâtiments dans l'îlot 05 (Source : l'auteur)

	Nbr	H (m)	long (m)	Larg (m)	Ratio espace ouvert %	Densité nette de l'îlot	Ratio H/L	Orientation
Bâtiments	01	14	28.81	9.61	83.85	0.72	-	est

Figure VI-42- agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'îlot 5 (Source : l'auteur)

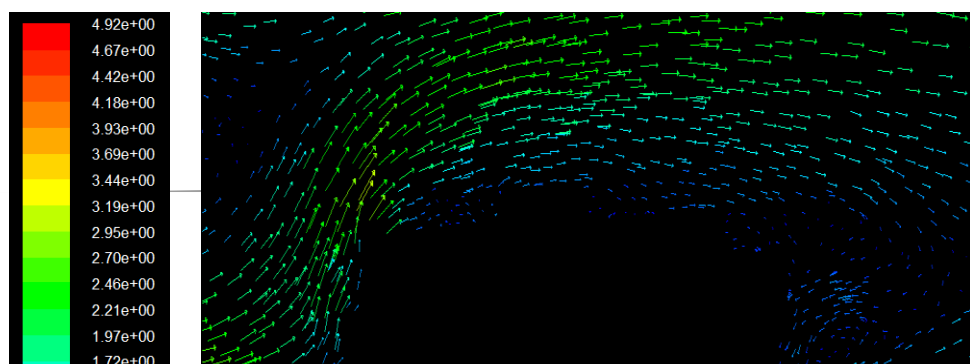


Tableau VI. 9- les indicateurs morphologiques de l'ilot 05 (Source : l'auteur)

L'agrandissement de la vectrice vitesse démontre un comportement identique pour cet ilot à bâtiments isolé, la différence est que la vitesse de l'air en amont réduites par rapport au bâtiment face au vent.

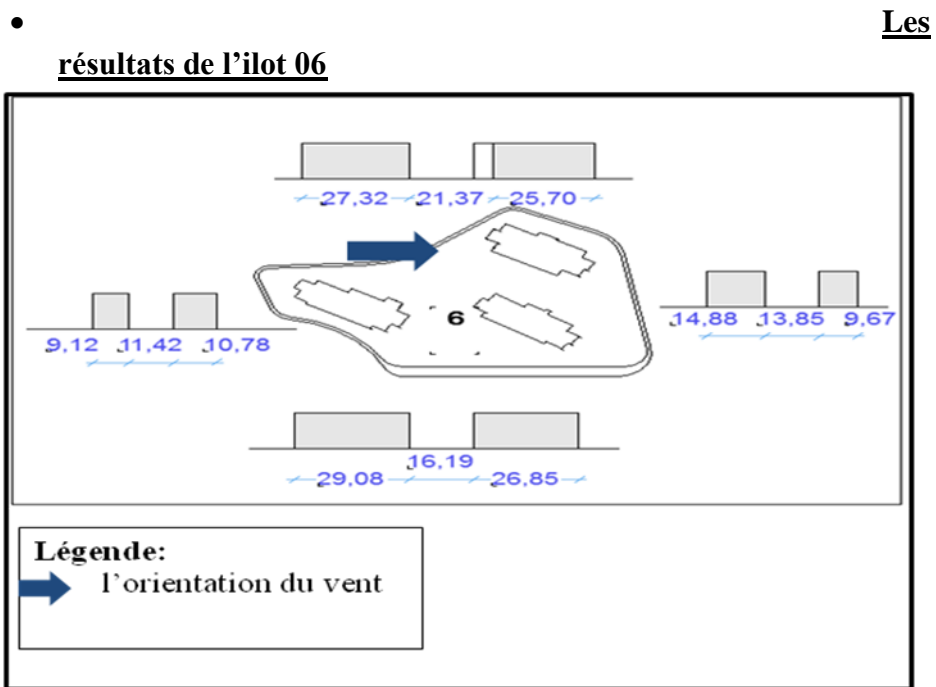


Figure VI-43- la disposition des bâtiments dans l'ilot 06 (Source : l'auteur)

	Nbr	H (m)	long (m)	Larg (m)	Ratio espace ouvert %	Densité nette de l'ilot	Ratio H/L	Orientation
Bâtiments	03	14	29.39	10.41	79,40	1.22	-	est

Tableau VI. 10 les indicateurs morphologiques de l'ilot 06 (Source : l'auteur)

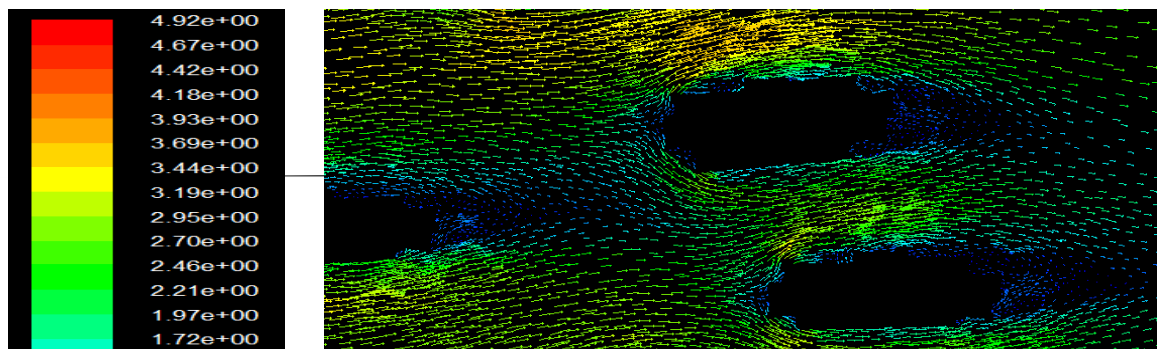
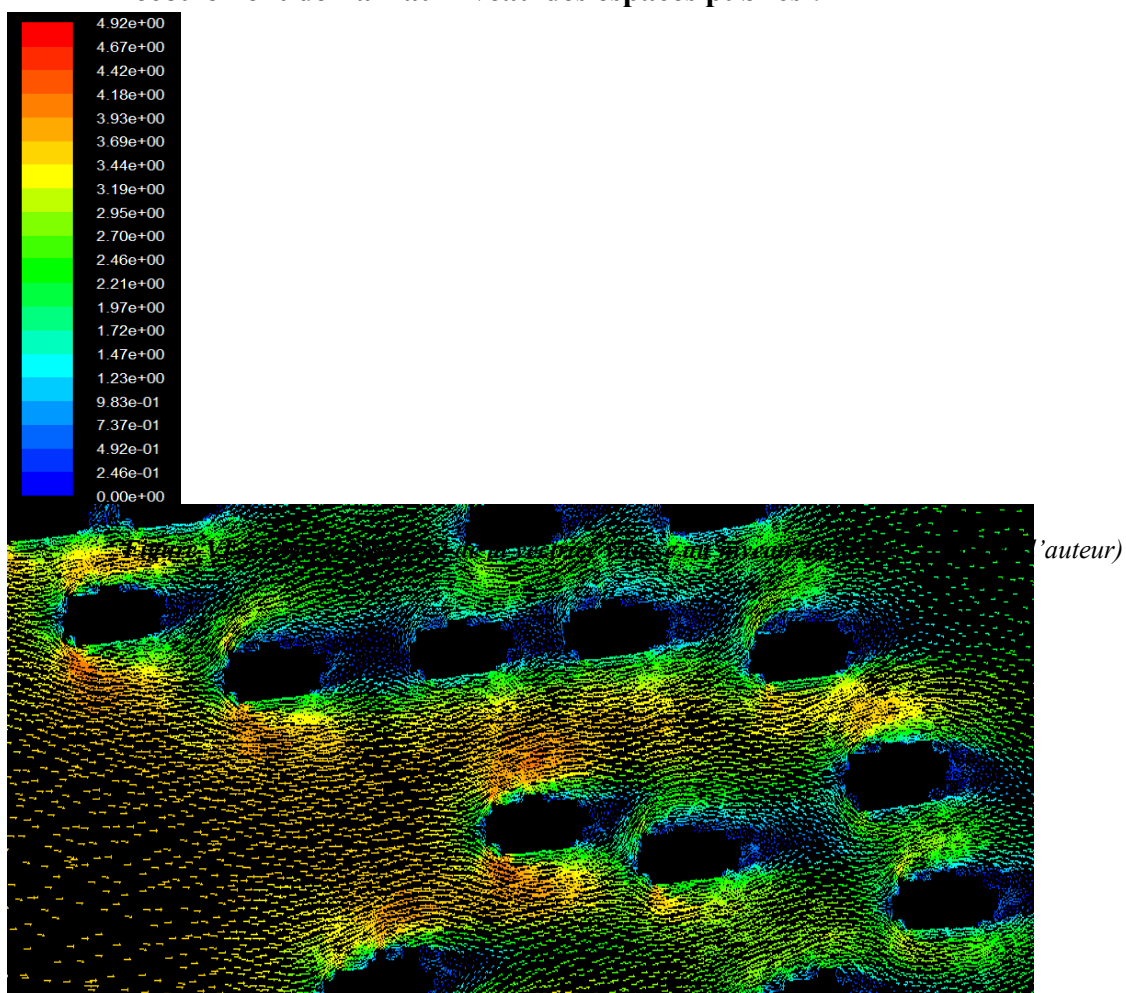




Figure VI-44 agrandissement de la vectrice vitesse de l'air pour l'ilot64. (Source : l'auteur)

Les bâtiments sont décalés et espacés ce qui a perturbé l'écoulement de l'air et accéléré la vitesse du mouvement.

- L'écoulement de l'air au niveau des espaces publics :



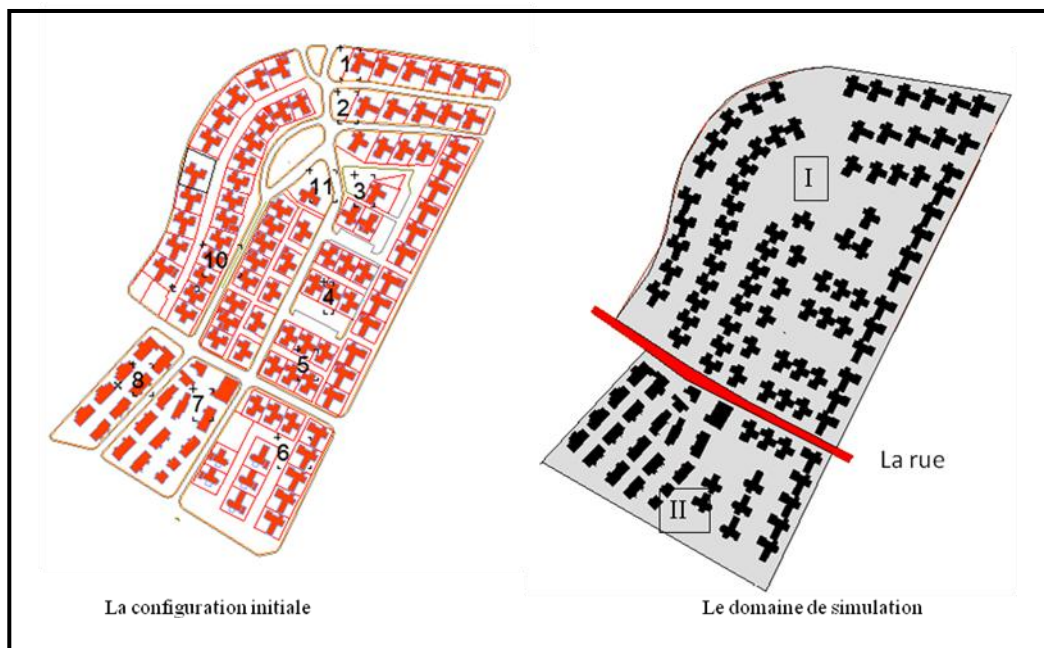
-On remarque à travers les résultats de la simulation que l'accélération de la vitesse se trouvant au niveau de la brèche entre les deux parties la partie I et la partie II et importante se qui est relatif à la largeur de l'espacement

-le rétrécissement de ce grand passage d'air à la fin crée l'effet d'entonnoir qui accélère la vitesse de l'air et devient une zone critique pour le confort des piétons.

### III-1-1-2 L'écoulement de l'air pour le quartier Belaid Belgassem

Le quartier Belaid Belgassem composé d'ilots allongés supporte des immeubles d'habitation ayant diverses volumétries et des géométries plus complexes que le quartier des orangers.

Le domaine étudié avec le logiciel de CFD fluent qui ne prend de la forme urbaine que le rapport plein (le volume)/ vide et vu que les bâtiments pour ce cas de figure sont alignés par rapport au tracé viaire, et sont séparés en deux ensembles, appelé aussi le groupe I et II par une brèche qui représente au même temps la rue, ou le groupe I a une forme organique surtout du côté nord ouest à cause de la forme de ses rues sinueuses et le groupe II de forme régulière grâce à son tracé rectiligne (figure VI-45) :



*Figure VI-46 la configuration initiale du quartier Belaid Belgassem et le domaine de simulation  
(Source : l'auteur)*

Pour la simulation on a retenu la même orientation du vent que les précédentes simulations qui est l'orientation Ouest figure

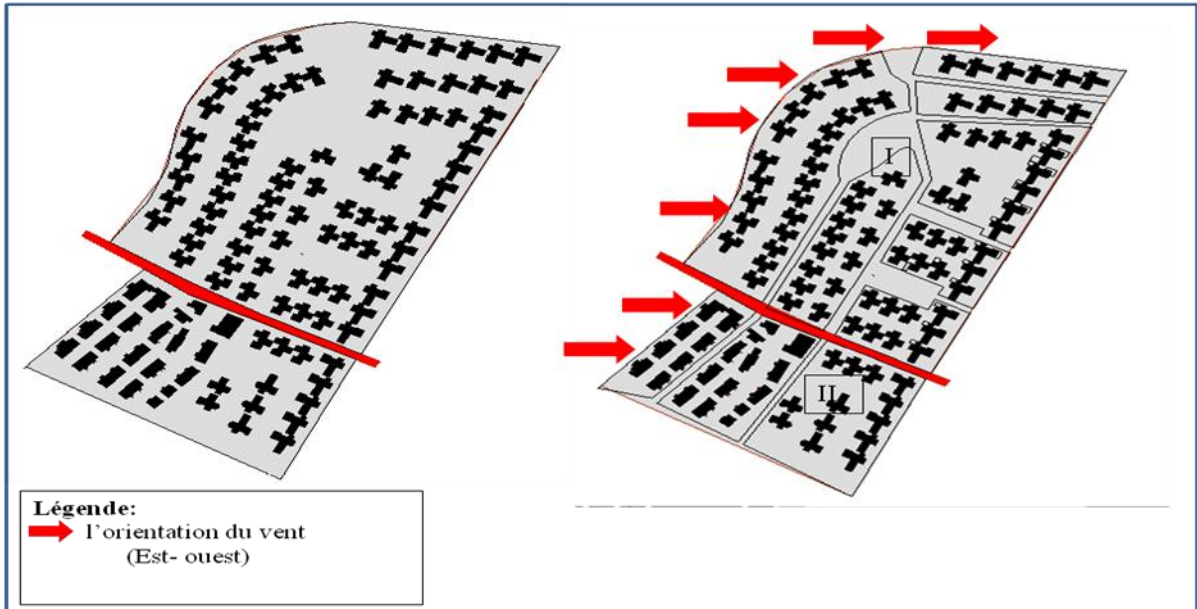


Figure VI-47 la partie I et partie II du cas d'étude 2 et l'orientation du vent. (Source : l'auteur)

- **Les résultats de la simulation au niveau du plan de masse**

Les résultats des contours de l'écoulement de l'air à différente vitesse démontrent que plus la vitesse est grande plus l'écoulement est continu au niveau des rues face au vent ou les espaces dégagés. Mais pour l'analyse de chaque îlot on a retenu les résultats de l'écoulement de l'air à une vitesse du vent de 4m/s.

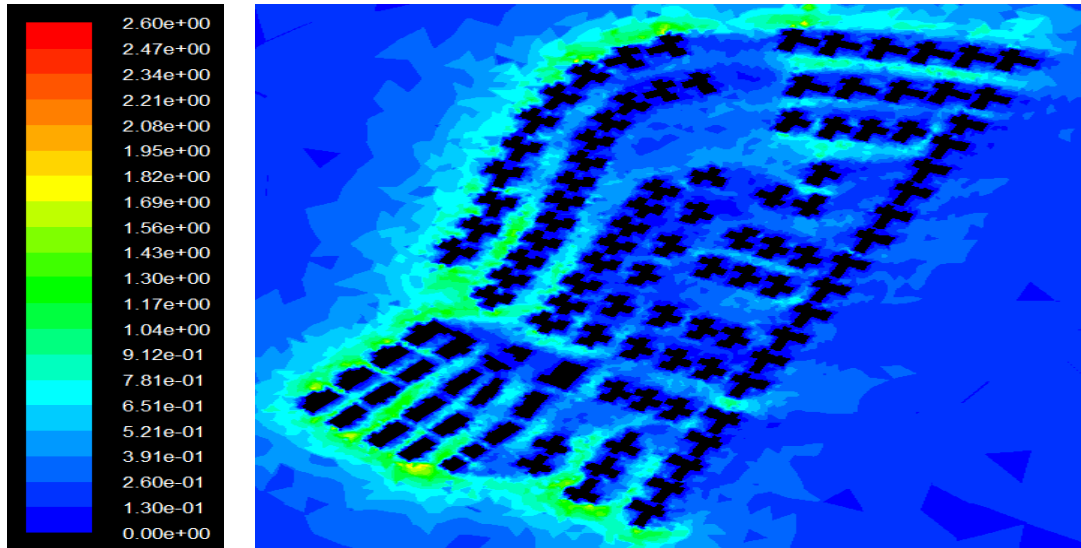


Figure VI-48- Ecoulement de l'air pour une vitesse de 2m/s à une hauteur  $h=1.5m$  (Source : l'auteur)

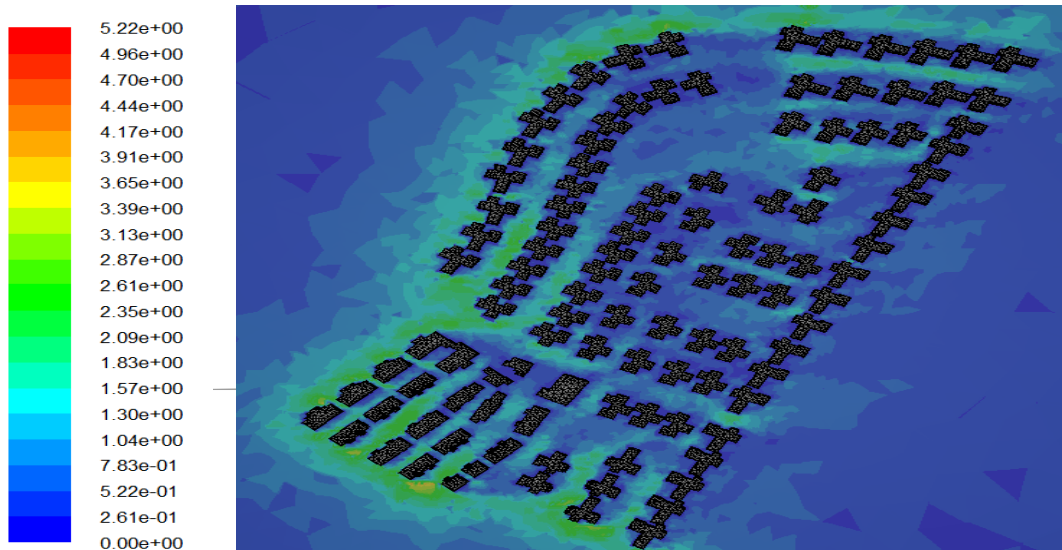
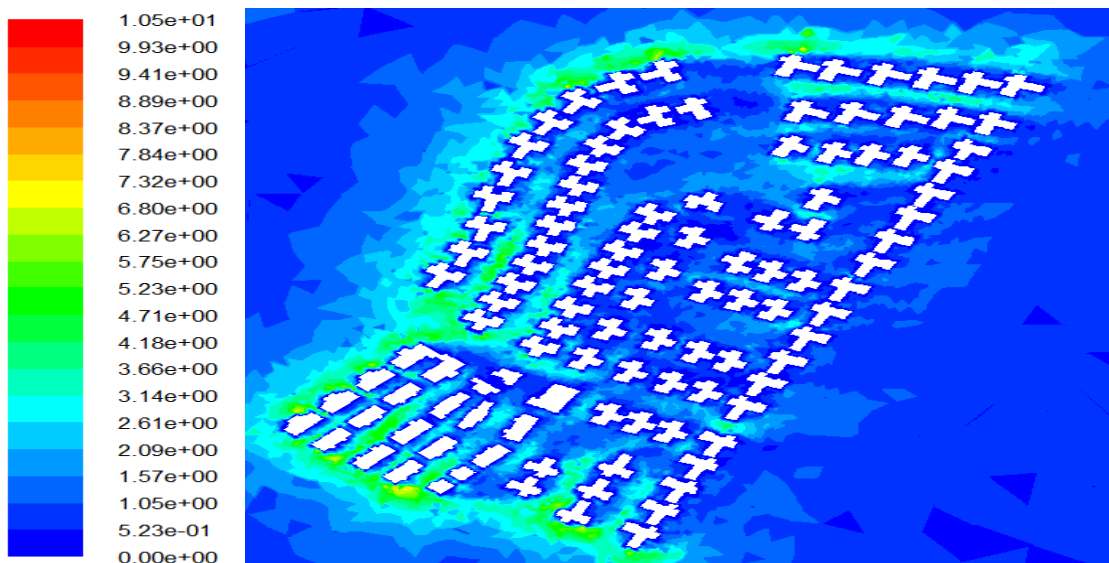




Figure VI-49- Ecoulement de l'air pour une vitesse de 4m/s a une hauteur h=1.5m (Source : l'auteur)



Pour l'analyse de ce quartier, il est recommandé de procéder de la même façon que celle utilisée pour le premier cas c'est-à-dire analyser les deux premières parties séparément, classer les ilots face au vents et en aval de chaque partie, faire un agrandissement des résultats pour comprendre le phénomène de l'écoulement dans chaque configuration.

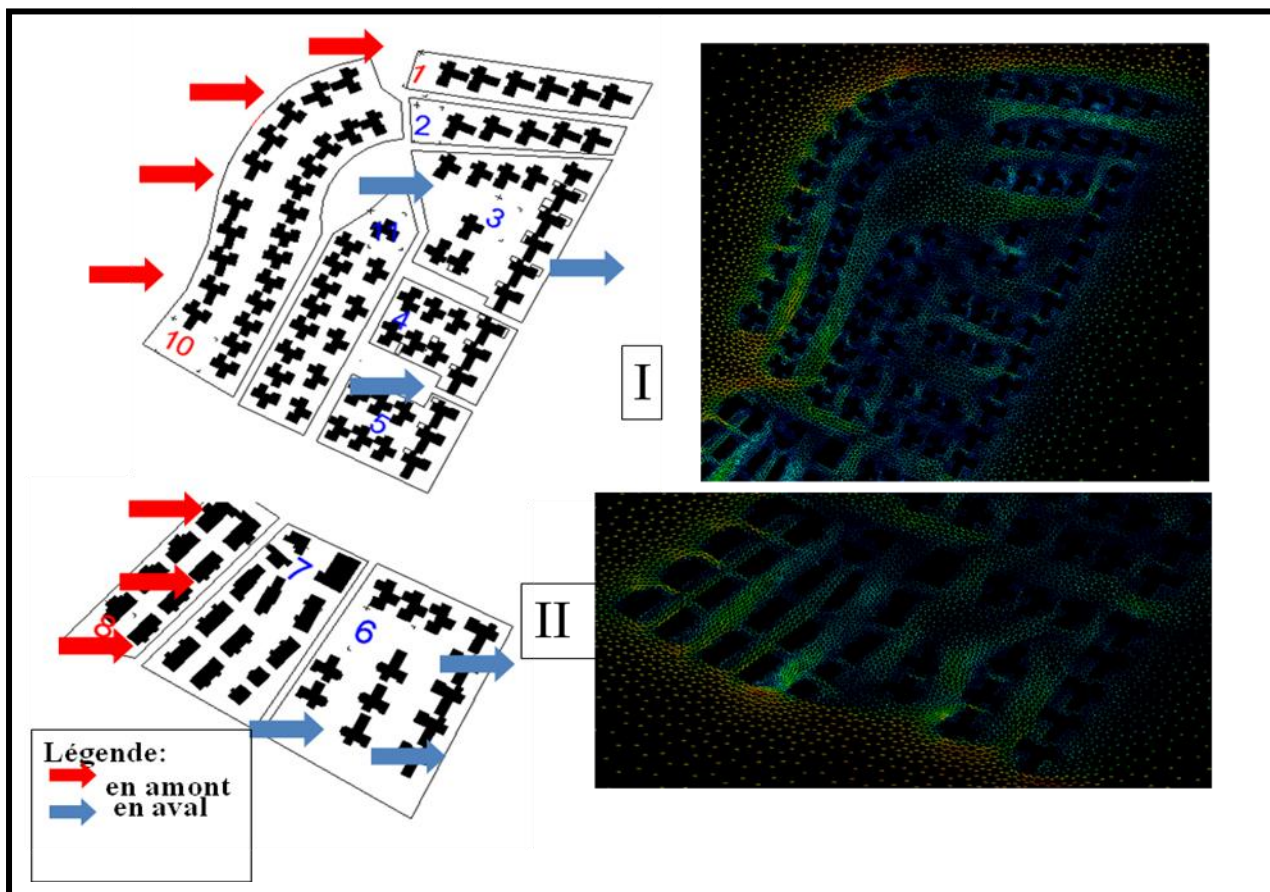
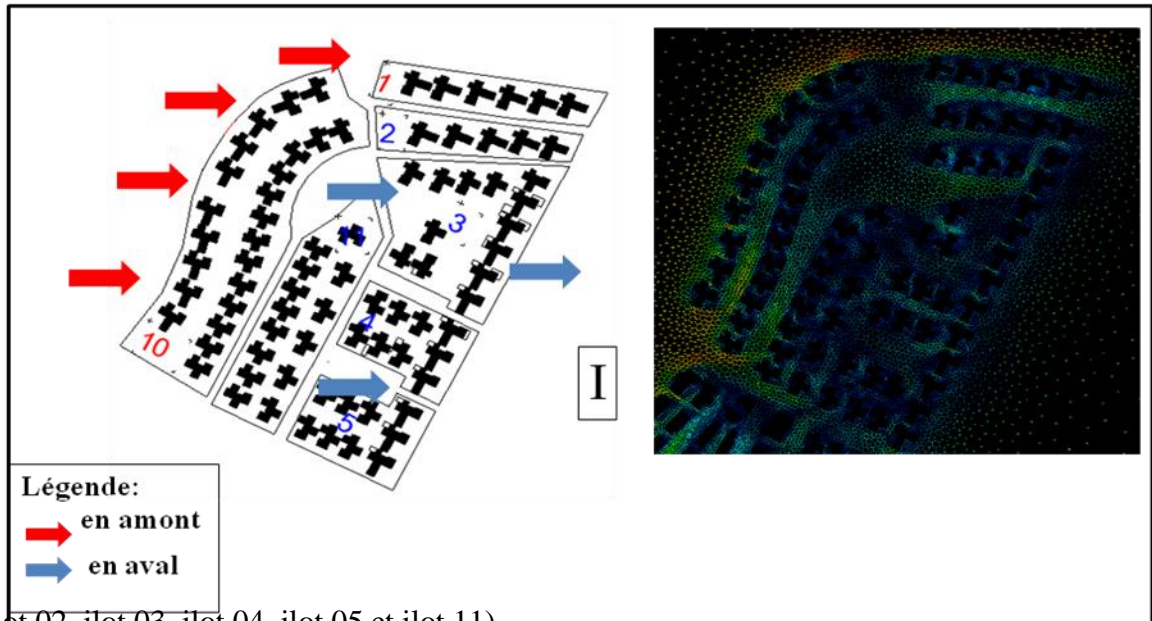


Figure VI-51- la partie I et partie II du cas d'étude 2 avec leurs simulations sous fluent. (Source : l'auteur)

- **L'écoulement de l'air dans la partie I:**



(ilot 02, ilot 03, ilot 04, ilot 05 et ilot 11)

Figure VI-52- les ilots face au vent et en aval de la partie I et sa simulation sous Fluent. (Source : l'auteur)

• **Les résultats pour l'ilot 10**

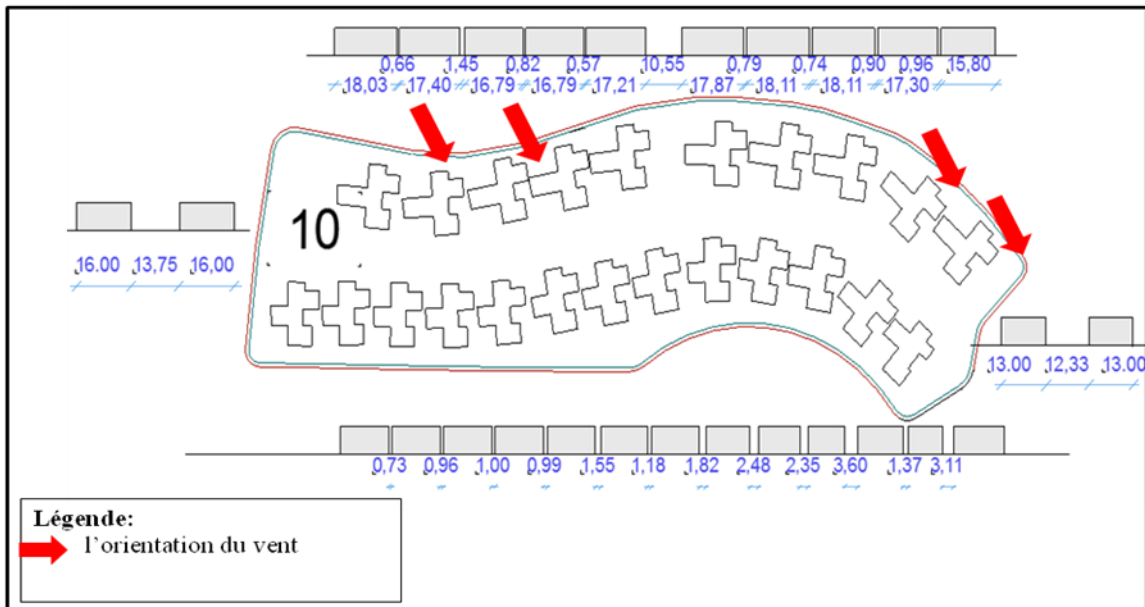
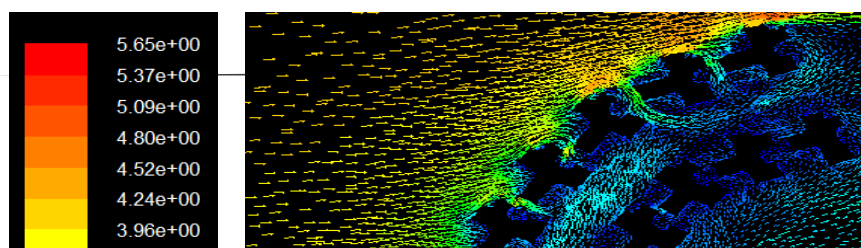


Figure VI-53- la disposition des bâtiments dans l'ilot 10 (Source : l'auteur)

	Nbr	H (m)	long (m)	Larg (m)	Ratio espace ouvert %	Densité nette de l'ilot	Ratio H/L	Orientation
Bâtiments	23	07	17.5	16	74.02	0.71	-	Nord

Tableau VI. 11 les indicateurs morphologiques de l'ilot 10 (Source : l'auteur)



Composé de plusieurs corps de bâtiments, de la même hauteur, des formes similaires en (Y) avec une rangé dont la forme est plus allongé, orienté nord-est sud-ouest par rapport à la direction du vent, les bâtiments en haut sont presque parallèles à la direction du vent et en bas perpendiculaire.

Figure VI-54- agrandissement des vectrices vitesses de l'air pour l'ilot 10 (Source : l'auteur)

L'espace entre les blocs est très étroit pour la première rangé exposé vers l'extérieur le rapport H/L est d'environ 11.6, un plus espacé vers le haut, concernant la deuxième rangé il est de H/L=07 pour la rangé en aval, on obtient dans ces espaces une vitesse plus importante spécialement quand l'ouverture est face au vent, à cela s'ajoute l'effet de coin

Les bâtiments alignés et parallèles formant deux rangés, ou la première rangé et plus courte créant ainsi un parfait canal pour le vent. À l'entrée de ce canal la vitesse est importante n'ayant pas d'obstacle, un accroissement de vitesse est noté juste à l'entrée pour L=20m et H/L=0,35.

- **Les résultats pour l'ilot 01**

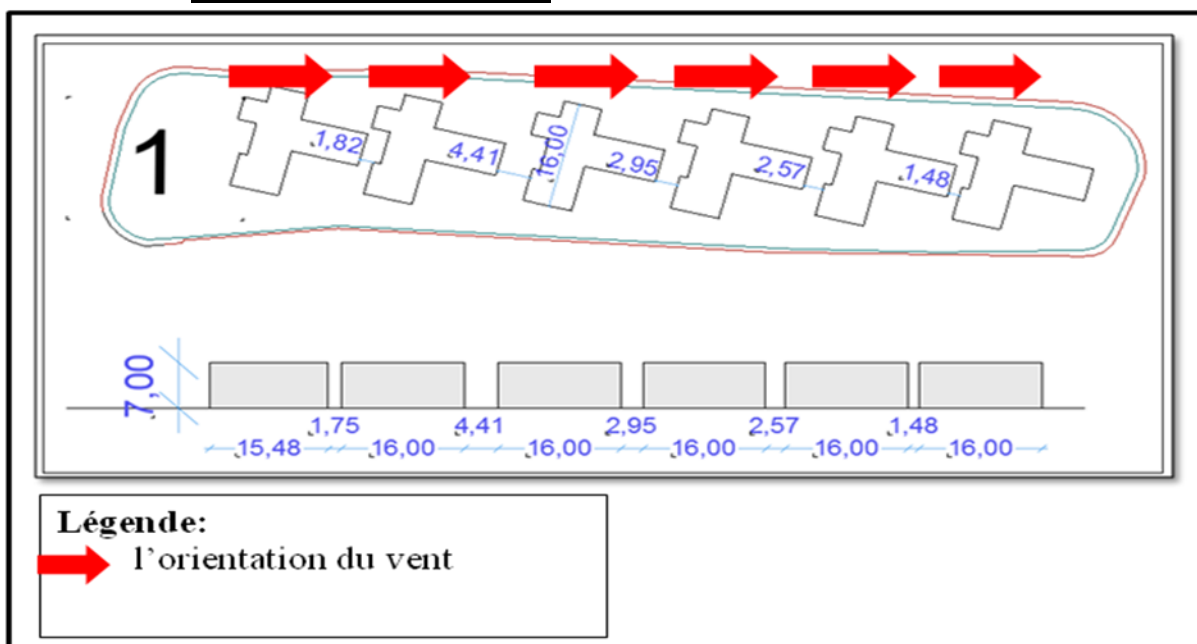
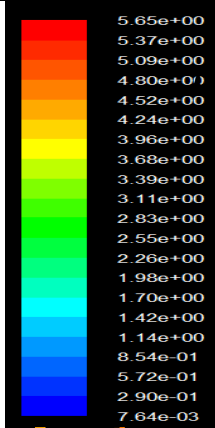
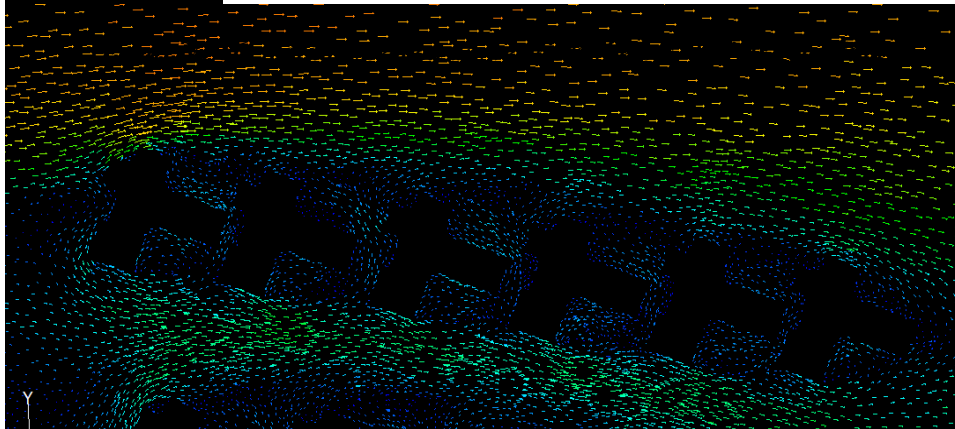


Figure VI-55- 1 la disposition des bâtiments dans l'ilot 01 (Source : l'auteur)

	Nbr	H (m)	long (m)	Larg (m)	Ratio espace ouvert %	Densité nette de l'îlot	Ratio H/L	Orientation
Bâtiments	06	07	17.5	16	72.71	0.66	2.69	EST



bleau VI. 12 les indicateurs morphologiques de l'îlot 01 (Source : l'auteur)



-les bâtiments sont inclinés par rapport a la direction du vent d'un angle de 8.5°, on remarque un accroissement au niveau du coin des premiers bâtiments est l'effet de recirculation entre les bâtiments, mais dans l'ensemble la vitesse de l'air a cet angle d'inclinaison est réduite.

- **Les résultats pour l'îlot 02**

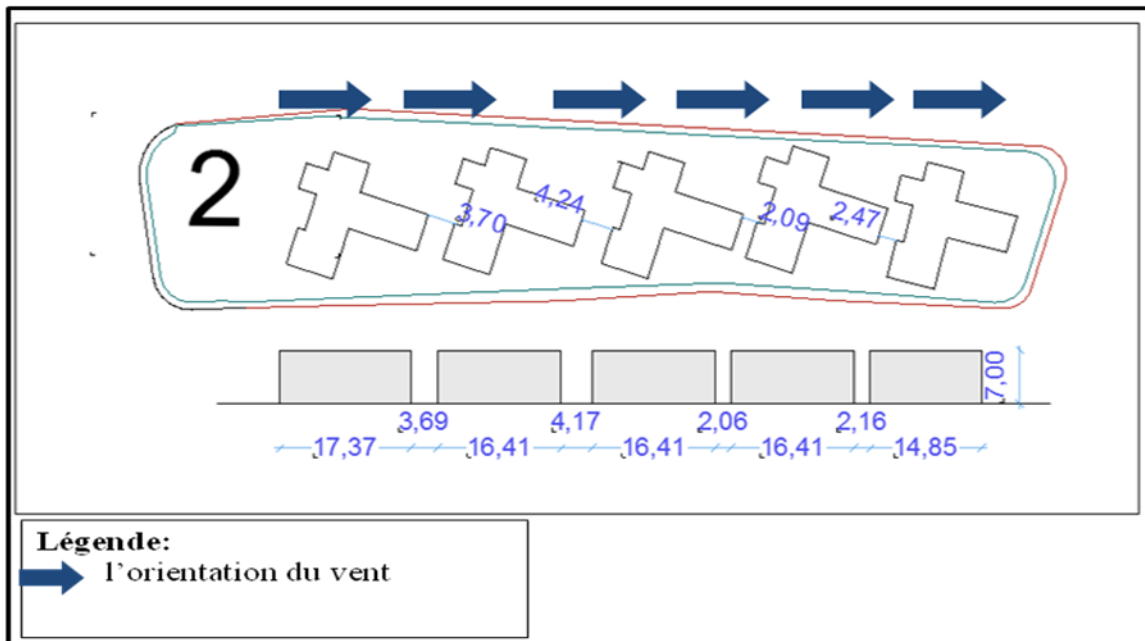


Figure VI-57- 1 la disposition des bâtiments dans l'ilot 02 (Source : l'auteur)

	Nbr	H (m)	long (m)	Larg (m)	Ratio espace ouvert %	Densité nette de l'ilot	Ratio H/L	Orientation
Bâtiments	05	07	17.5	16	72.71	0.68	2.69	EST

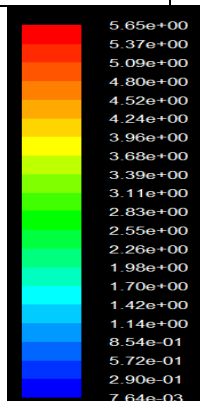


Tableau VI. 13 les indicateurs morphologiques de l'ilot 02 (Source : l'auteur)

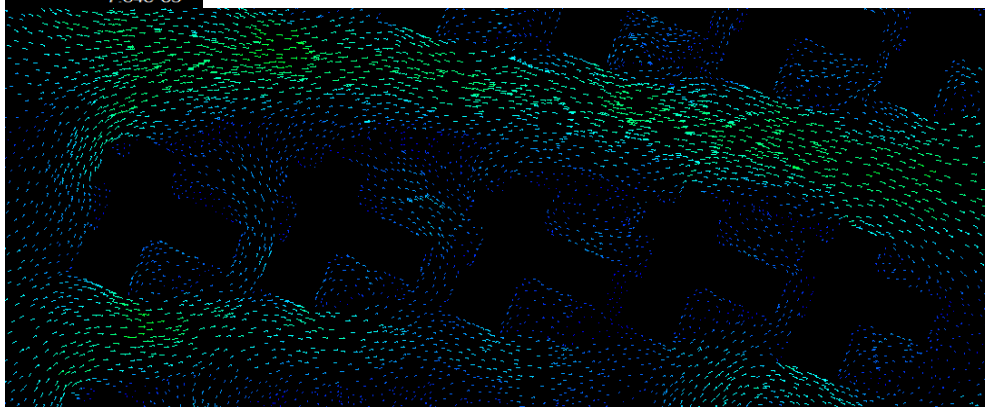


Figure VI-58- agrandissement des vectrices vitesses de l'air pour l'ilot 02 (Source : l'auteur)

-L'ilot 01 est un écran contre le vent pour l'ilot 2 qui est parallèle a ce dernier, ils créent un canal ou la vitesse de l'air et peu croissante.



- **Les résultats pour l'îlot 03**

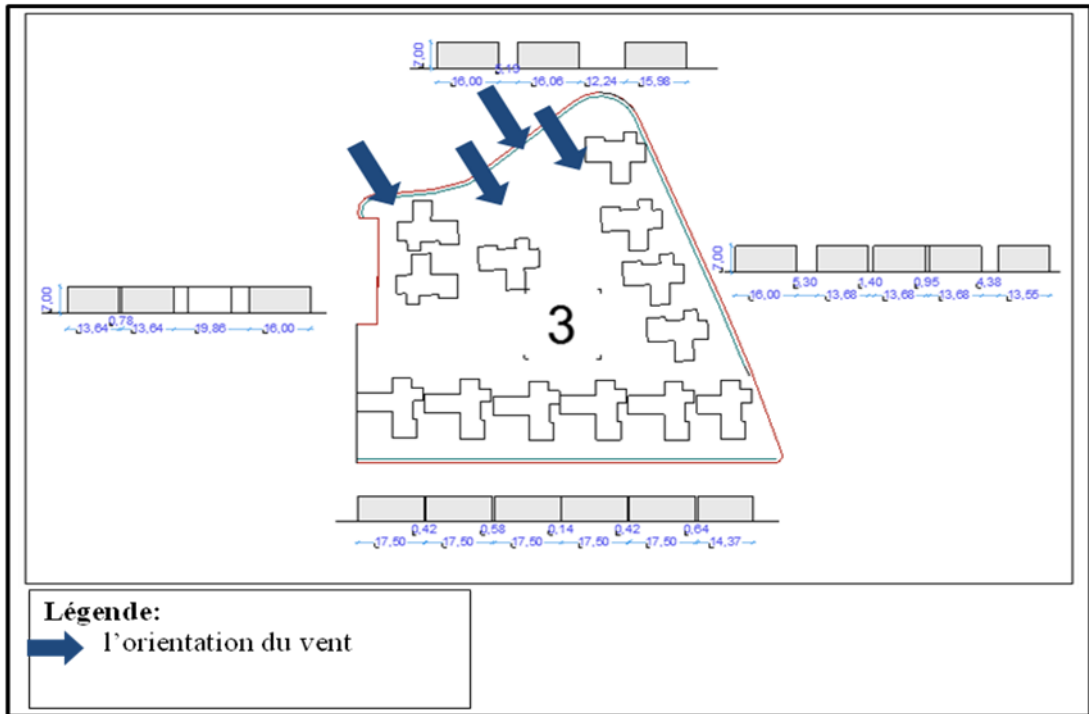


Figure VI-59- 1 la disposition des bâtiments dans l'îlot 03 (Source : l'auteur)

	Nbr	H (m)	long (m)	Larg (m)	Ratio espace ouvert %	Densité nette de l'îlot	Ratio H/L	Orientation
Bâtiments	13	07	17.5	14.66	78.78	0.67	14	EST

Tableau VI. 14 les indicateurs morphologiques de l'îlot 03 (Source : l'auteur)

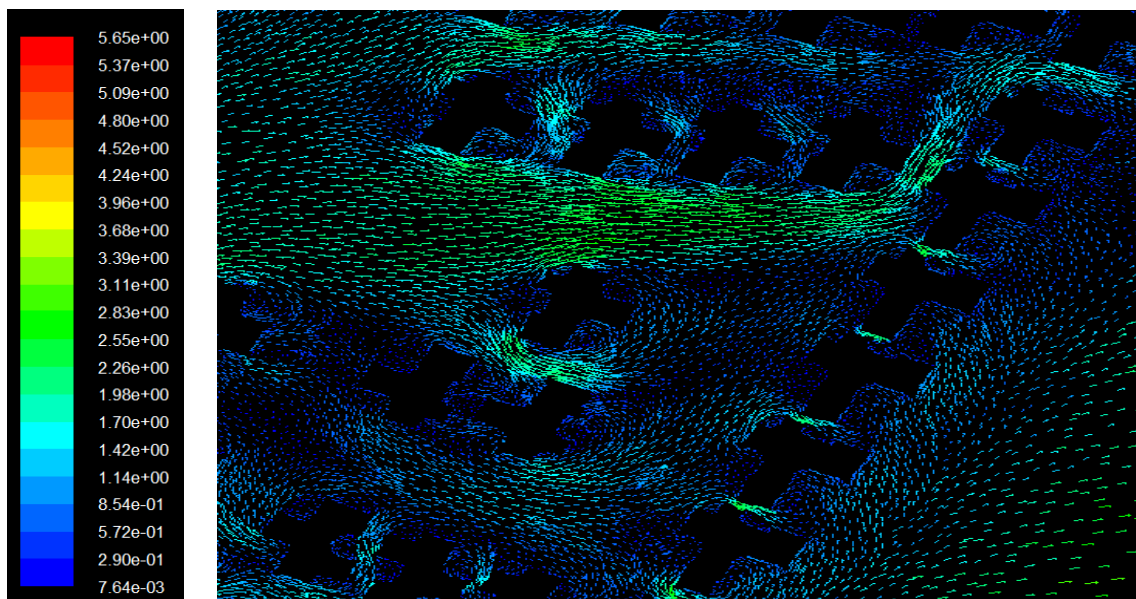


Figure VI-60- agrandissement des vectrices vitesses de l'air pour l'îlot 03 (Source : l'auteur)

Les blocs organisés sur deux côtés de l'îlot, comme des bras alignés à la rue et formant un angle de 70° non fermé qui devient un collecteur ou la vitesse de l'air est accéléré, mais cette accélération est atténuée par les bras poreux.

- Les résultats pour les îlots 04 et 05

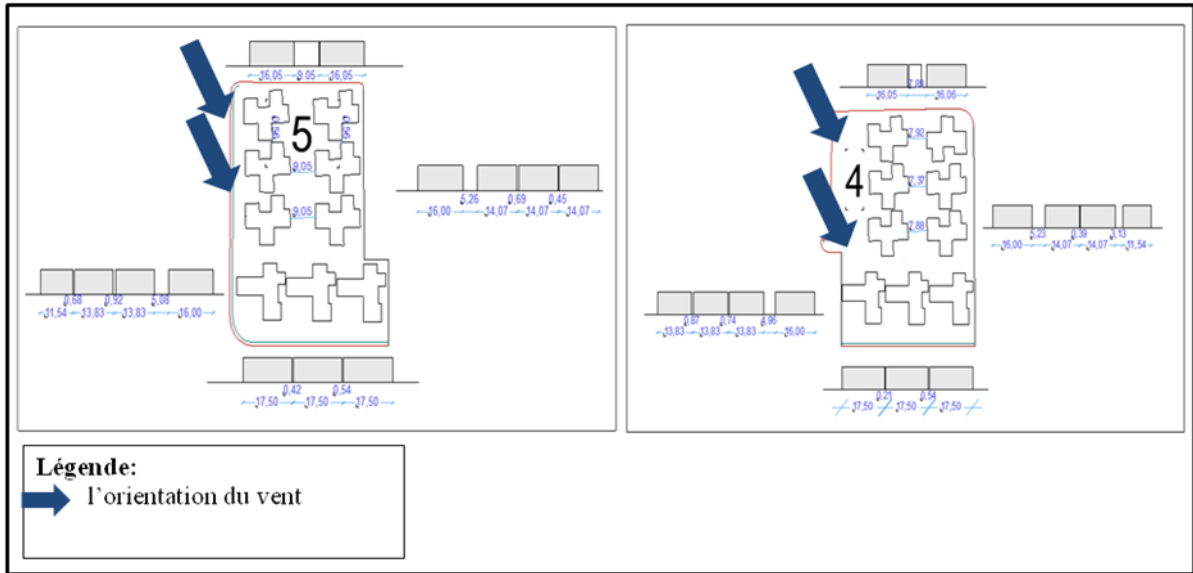


Figure VI-61- la disposition des bâtiments dans les îlots 04 et 05 (Source : l'auteur)

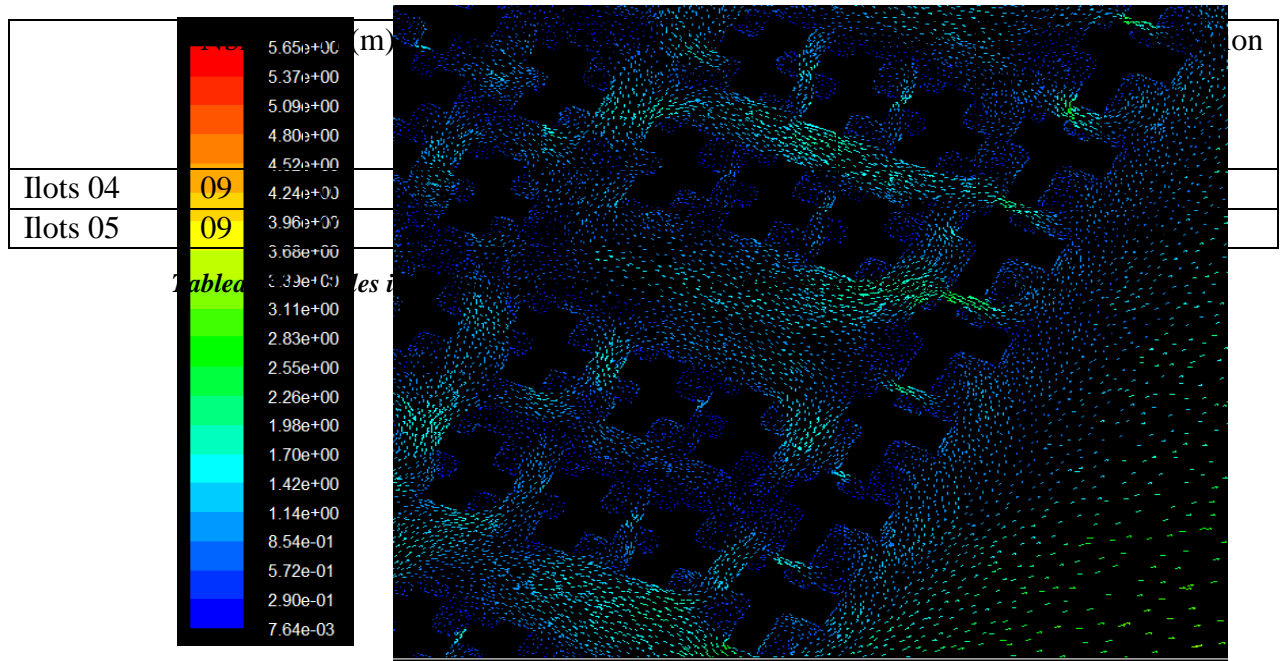


Figure VI-62- agrandissement des vectrices vitesses de l'air pour les îlots 04 et 05 (Source : l'auteur)

L'écoulement de l'air épouse la forme créée par l'organisation en plan de masse des deux îlots en dent de Cie avec un espace centrale de 25 m de large qui atténue les turbulences.

- Les résultats pour l'îlot 11

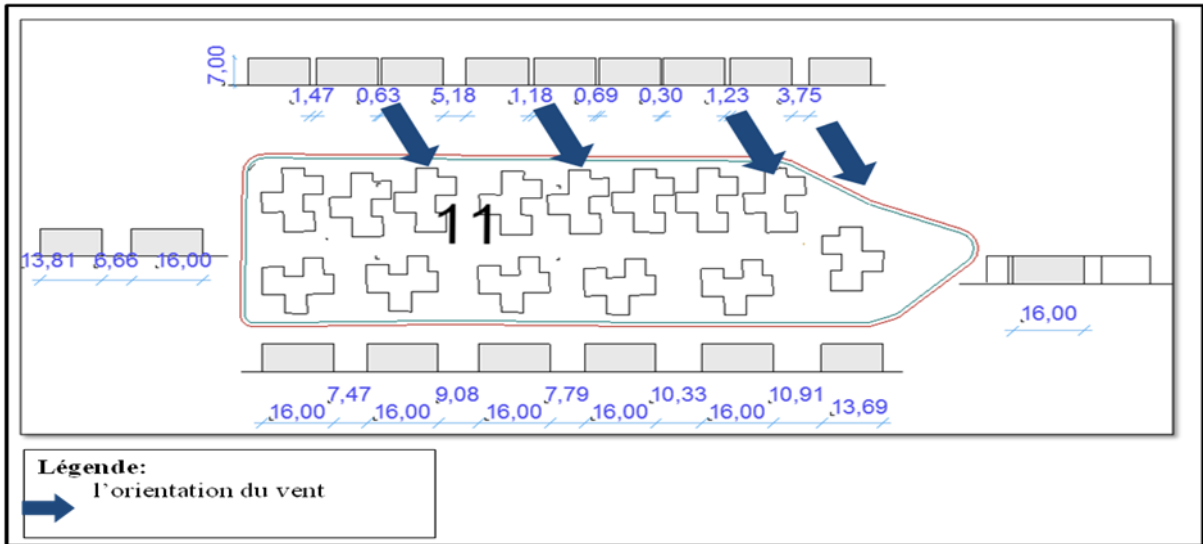


Figure VI-63- 1 la disposition des bâtiments dans l'îlot 11 (Source : l'auteur)

	Nbr	H (m)	long (m)	Larg (m)	Ratio espace ouvert %	Densité nette de l'îlot	Ratio H/L	Orientation
Bâtiments	14	07	11.66	16	-	0.71	3.51	sud

Tableau VI. 16 les indicateurs morphologiques de l'îlot 11 (Source : l'auteur)

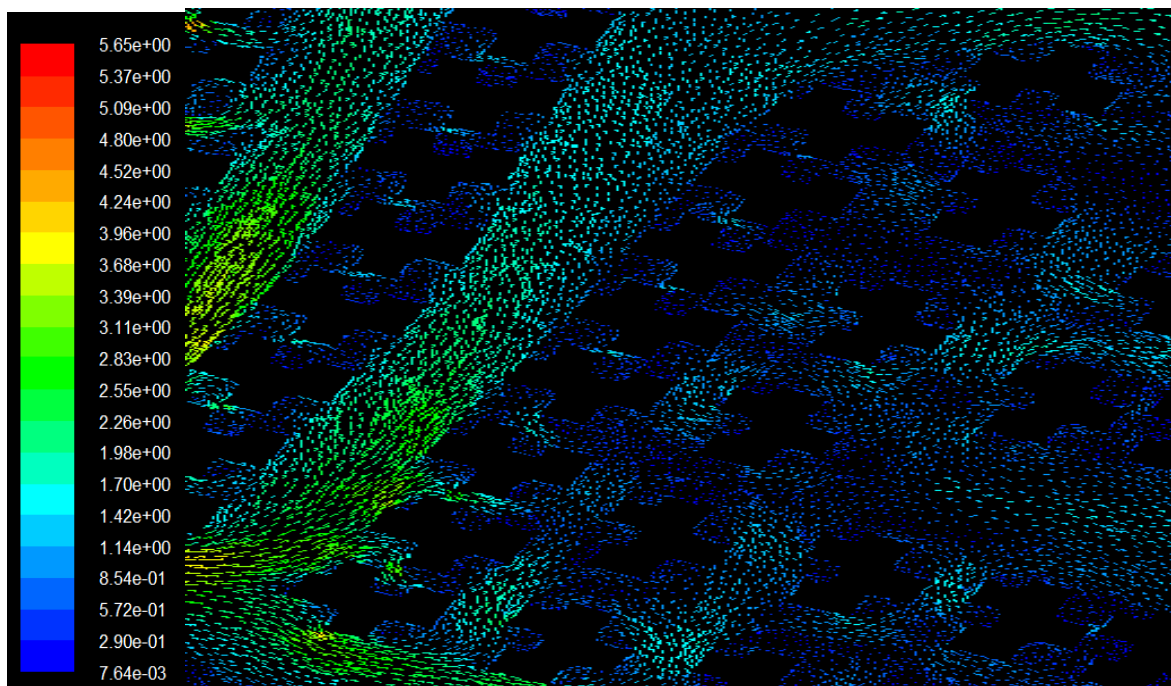


Figure VI-64- agrandissement des vectrices vitesses de l'air pour l'îlot 11 (Source : l'auteur)

Une accélération de la vitesse de l'air à cause de l'effet de coin.

La vitesse diminue car le canal créé par les bâtiments s'élargie vers la fin.

- **L'écoulement de l'air dans la partie II**

Pour la partie (II) composé de 03 îlots dont l'îlot 08 ou les bâtiments sont face au vent et deux îlots en aval (îlot 07, îlot 08) (figure VI-65).

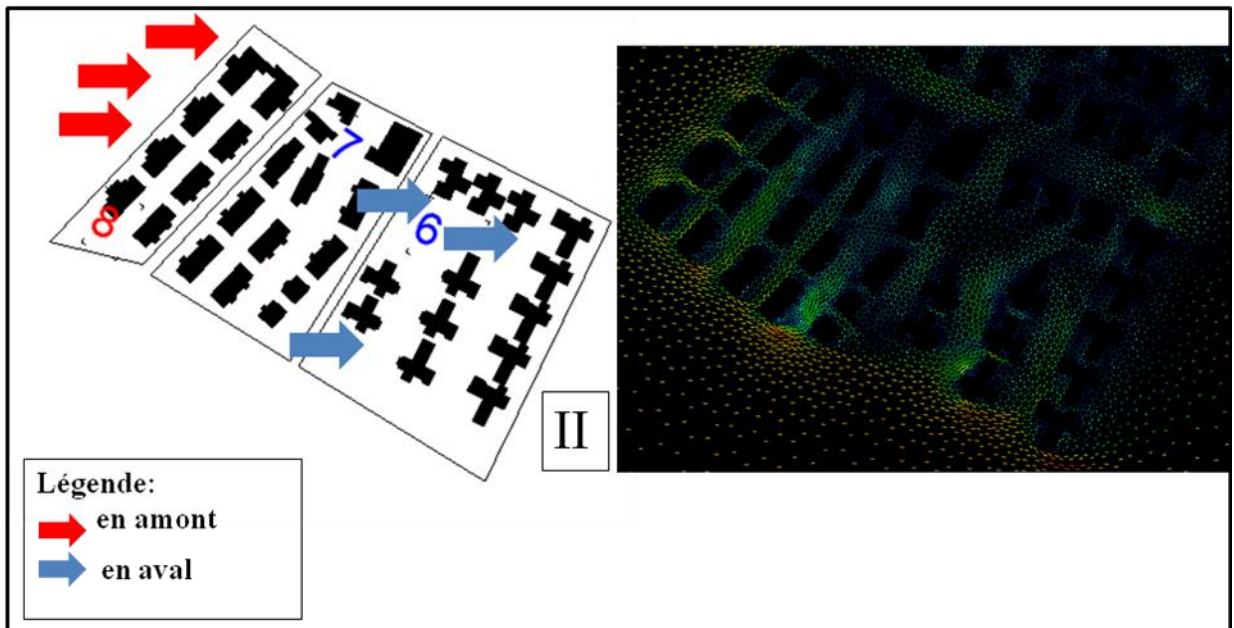


Figure VI-65- les îlots face au vent et en aval de la partie II et sa simulation sous Fluent (Source : l'auteur)

• **Les résultats de l'îlot 08 :**

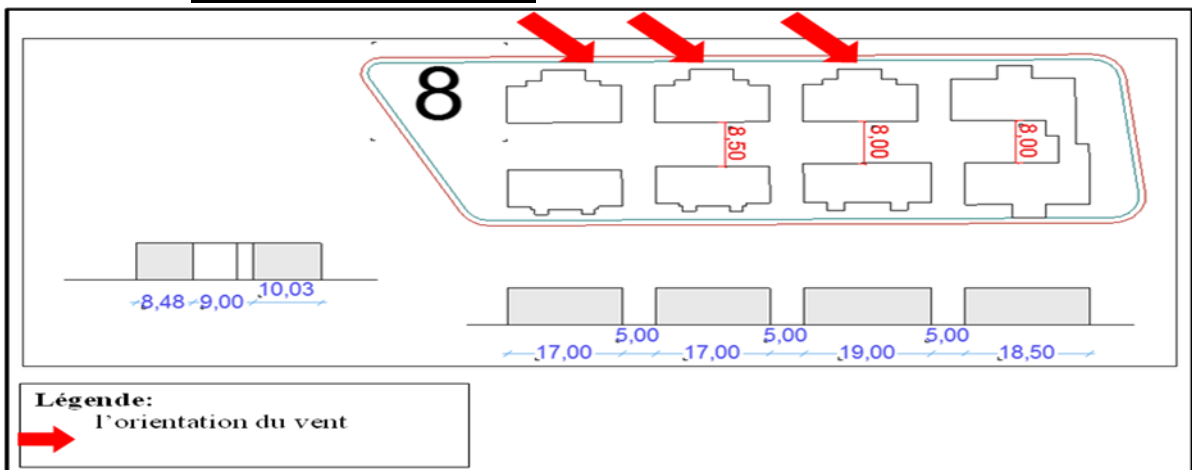


Figure VI-66- 1 la disposition des bâtiments dans l'îlot 8 (Source : l'auteur)

	Nbr	H (m)	long (m)	Larg (m)	Ratio espace ouvert %	Densité nette de l'îlot	Ratio H/L	Orientation
Bâtiments	07	07	17.5	16	72.71	0.71	4.72	EST

Tableau VI. 17 les indicateurs morphologiques de l'îlot 8 (Source : l'auteur)



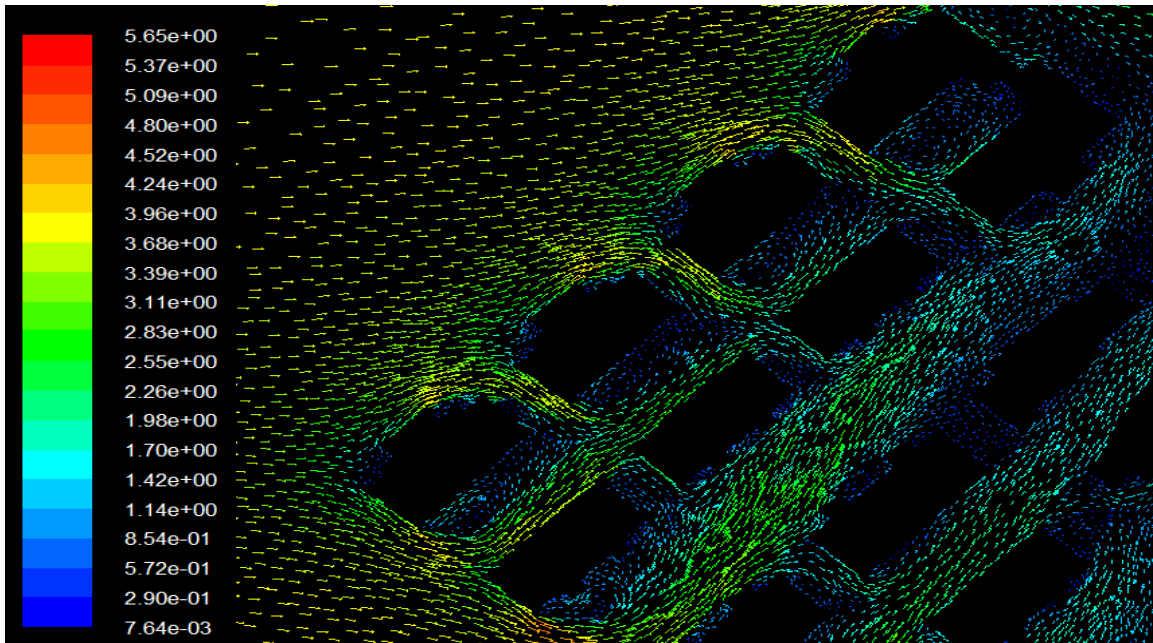


Figure VI-67- agrandissement des vectrices vitesses de l'air pour l'ilot 8 (Source : l'auteur)

-l'espacement entre les bâtiments est de  $L=5$  m on note une accélération importante a leurs niveau,

-un décroissement de l'accélération en aval, et circulation de fluide tourbillonnaire en aval.

• **Les résultats de l'ilot 07 :**

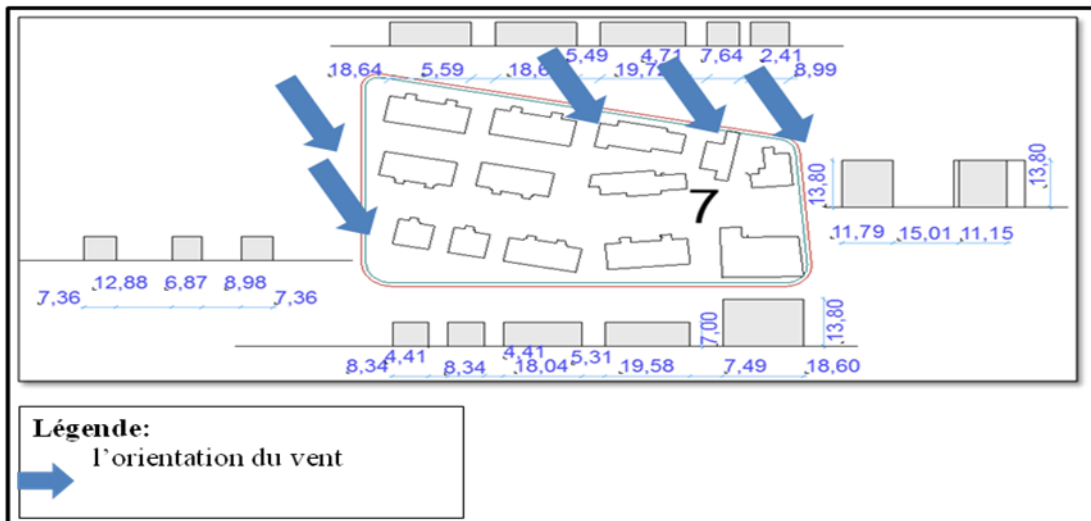


Figure VI-68- 1 la disposition des bâtiments dans l'ilot 7 (Source : l'auteur)

	Nbr	H (m)	long (m)	Larg (m)	Ratio espace ouvert %	Densité nette de l'ilot	Ratio H/L	Orientation
Bâtiments	13	7.48	17.5	16.64	72.71	0.052	3.51	Sud ouest

Tableau VI. 18 les indicateurs morphologiques de l'ilot 7 (Source : l'auteur)

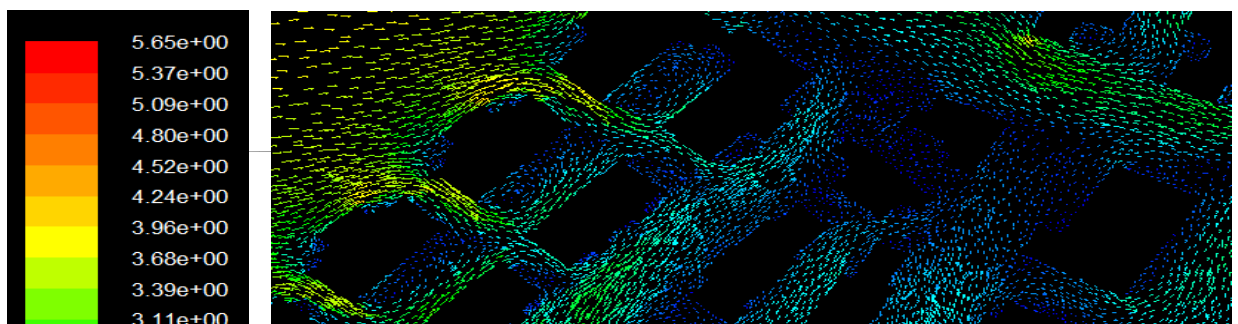


Figure VI-69 agrandissement des vectrices vitesses de l'air pour l'ilot 7 (Source : l'auteur)

-l'ilot se distingue par la géométrie divers des bloc avec des hauteurs différentes, de forme de trapèze allongé les blocs sont disposés sur 03 rangés, dont deux formant un angle fermé par un bâtiment d' hauteur H= 13.8m,

-le comportement de l'air est différent dans les deux espaces vides créés par les rangés de bâtiments :

- Les bâtiments sont alignés on retrouve l'effet canal
- Les bâtiments non alignés avec un décrochement, on note un écoulement tourbillonnaire.

• **Les résultats pour l'ilot 06**

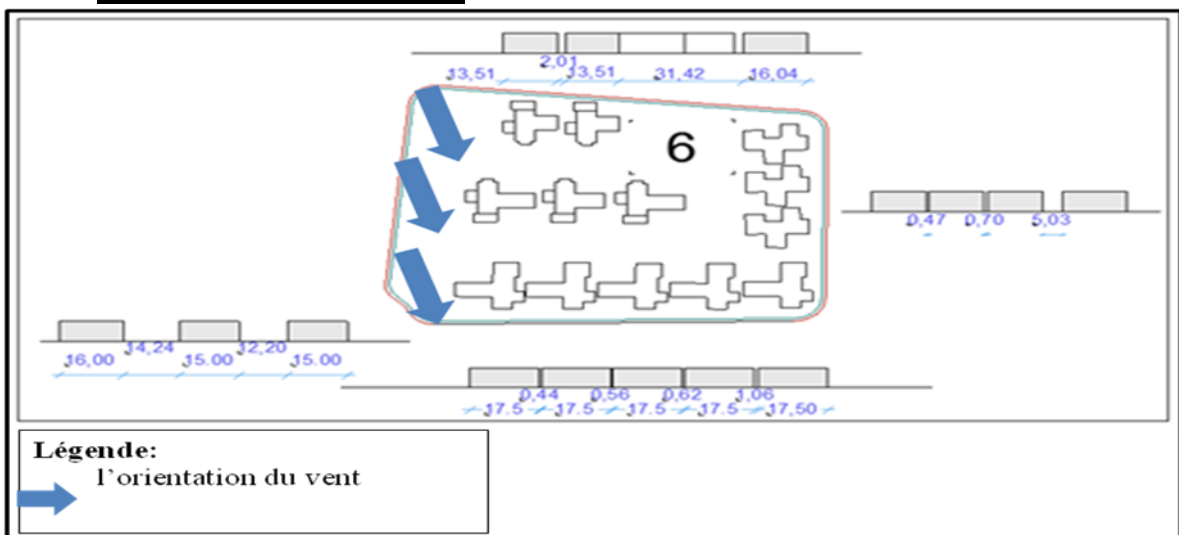
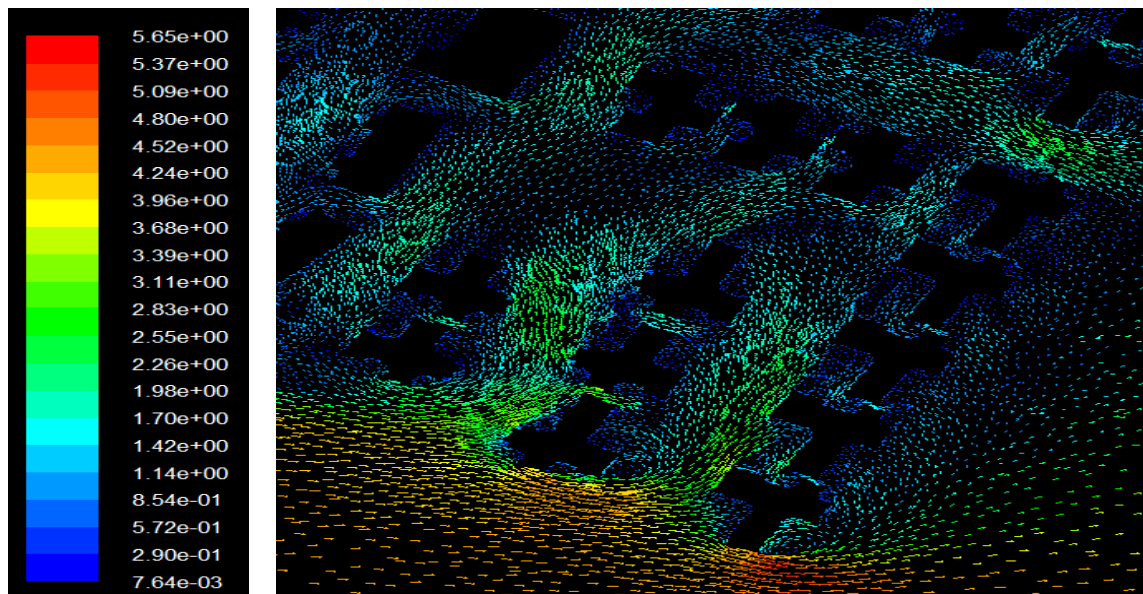


Figure VI-70- la disposition des bâtiments dans l'ilot 6 (Source : l'auteur)

	Nbr	H (m)	long (m)	Larg (m)	Ratio espace ouvert %	Densité nette de l'ilot	Ratio H/L	Orientation

Bâtiments	13	07	17	16	78.78	0.67	14	Sud
-----------	----	----	----	----	-------	------	----	-----

Tableau VI. 19 les indicateurs morphologiques de l'ilot 6 (Source : l'auteur)



Comme pour l'ilot 03 les blocs sont organisés sur deux côtés essentiellement, formant un angle droit ouvert avec un collecteur qui favorise l'effet venturi. La différence est que les trois bâtiments disposés dans l'espace central sont alignés formant une rangée orientées vers le collecteur atténuent l'effet venturi.

### III-1-2-Les indicateurs morphologique vs les données météorologique

Pour mieux assimilé la relation d'influence entre la forme urbaine et la création du microclimat, on a procédé dans notre simulation en rajoutant à la vitesse de l'air d'autres indicateurs météorologiques importants dans l'étude de la dispersion de la pollution atmosphérique comme ces représentés dans le schéma ci-dessous, qui sont :

- La pression atmosphérique de 101300 Pa
- La densité de l'air de  $1.225 \text{ kg/m}^3$ .
- La température de 300 K

Grâce au graphisme 3D obtenu par le logiciel Tecplot 360, on pourra introduire la dimension 3D dans l'analyse des résultats

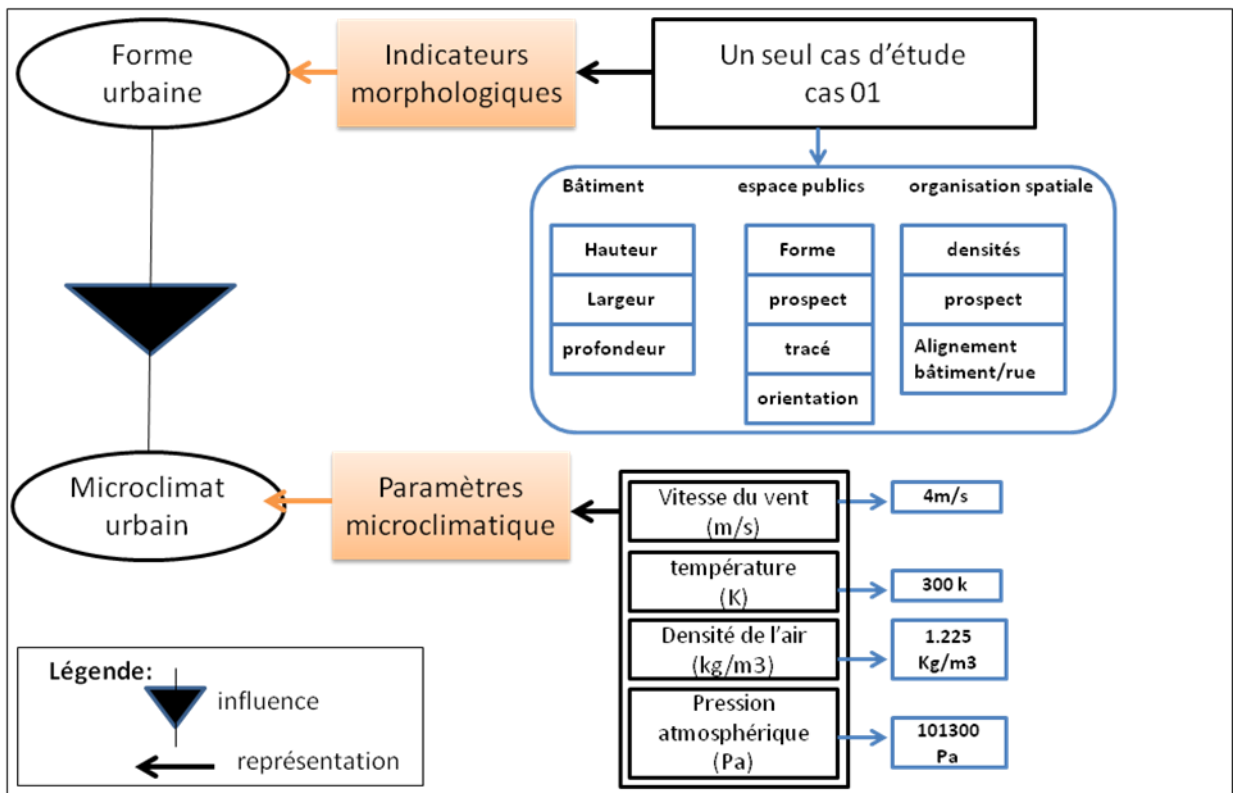
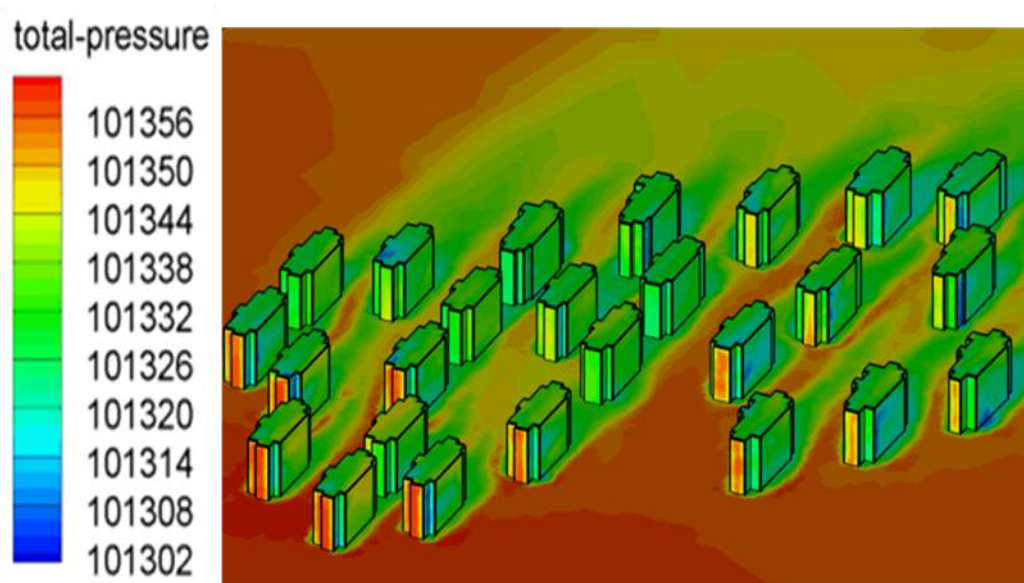


Figure VI-72 digramme de l'analyse morphologie urbaine vs les données météorologique (Source : l'auteur)

### III-1-2-1- La pression atmosphériques

Les résultats dans la figure... démontrent que la pression atmosphériques maximale se trouve au niveau du sol et décroît avec l'altitude, On peut lire clairement sur (Figure VI-73) que la pression atmosphériques est assez élevé au niveau des parois face au vent jusqu'à 101356kg/m<sup>3</sup>, décroît en aval 101332 kg/m<sup>3</sup> et sur les façades latérales, mais surtout au niveau des espaces entre les bâtiments, elle est proportionnelle à l'écoulement de l'air dans notre cas.



Vitesse de l'air=4m/s

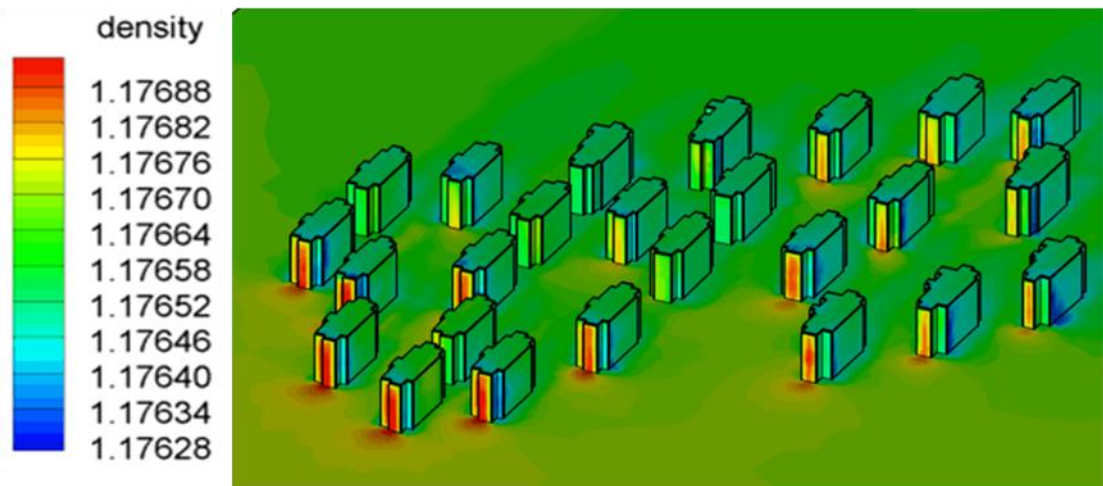
Figure VI-73 la pression atmosphérique dans le quartier des orangers sous Teplot 360 (Source : l'auteur)



### III-1-2-2 la densité de l'air

Une zone de hautes pressions n'implique pas forcément que l'air est dense. En effet, la densité de l'air dépend de la pression et de la température. Plus précisément, la densité est proportionnelle à la pression et inversement proportionnelle à la température car l'air obéit à l'équation des gaz parfaits : densité = pression / ( R x température ) où R est la constante des gaz parfaits pour l'air).

L'air dans une zone de hautes pressions peut ainsi être peu dense si sa température est élevée dans notre cas la température prise pour notre simulation est de 300 k ce qui équivaut à 26°C la température assez élevée. C'est souvent le cas en été, par exemple, pendant lequel l'air chaud s'élève et peut donner naissance à des "cumulus de beau temps" s'il contient suffisamment de vapeur d'eau.



On retrouve sur le graphe ci-dessus que la densité décroît avec l'altitude, elle est proportionnelle à la pression atmosphérique. Dans notre cas (figure 31) (est similaire à la figure 24) la densité atmosphérique est croissante mais c'est surtout en dessous des parois faces aux vents qu'on observe un accroissement formant des poches devant chaque bâtiment.

## III-2 la Relation entre microclimat urbain et la dispersion des polluants atmosphériques

### III-2-1 les Indicateurs microclimatique vs les polluants atmosphérique

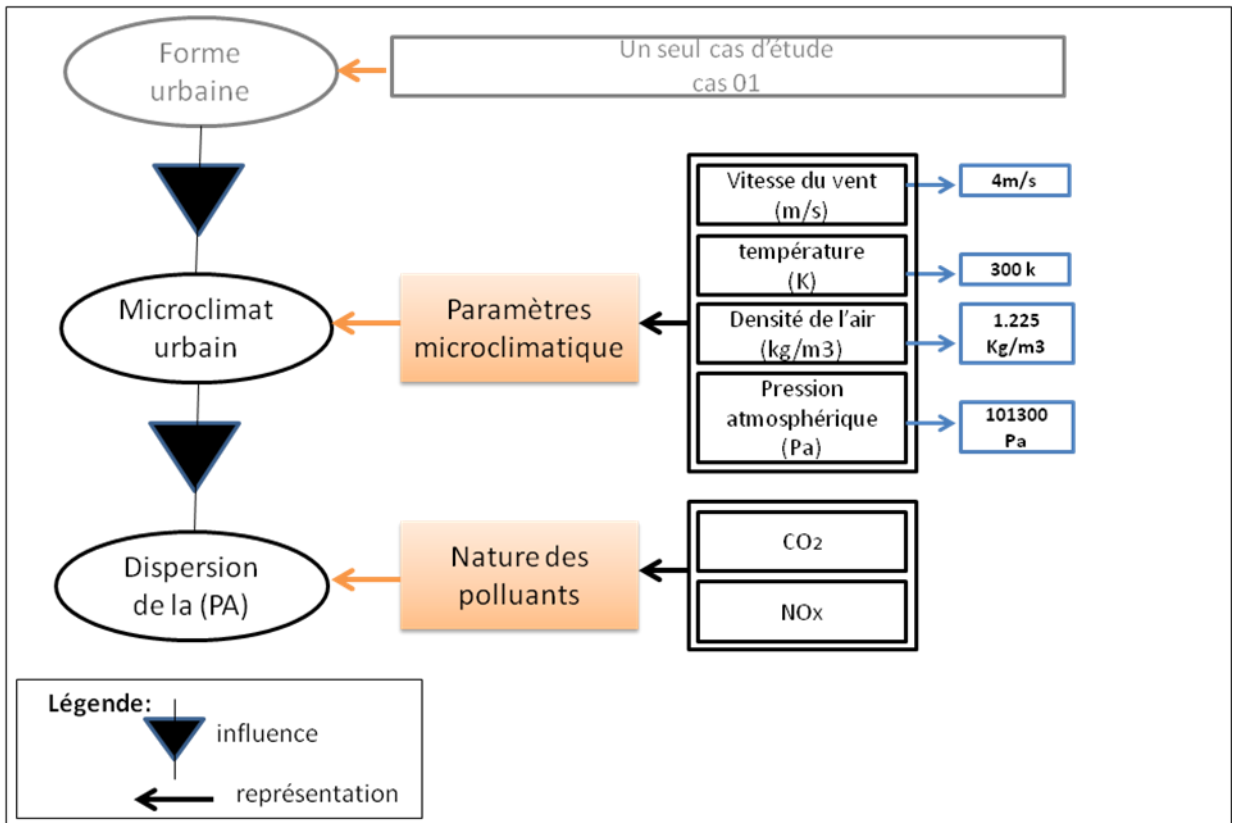


Figure VI-75 digramme de l'analyse microclimat urbain vs la dispersion des polluants atmosphériques (Source : l'auteur)

### III-2-1-1 Le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> :

Le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> est plus dense que l'air ambiant (1.87kg/m<sup>3</sup>) mais il devient plus léger avec la chaleur, la concentration des CO<sub>2</sub> dans notre cas d'étude est proportionnelle a la densité de l'air et la température élevé.

On observe une concentration élevé de 0.9% au niveau des parois face au vent, elle est surtout importante au niveau du sol en amont de l'écoulement de l'air et diminue en aval.

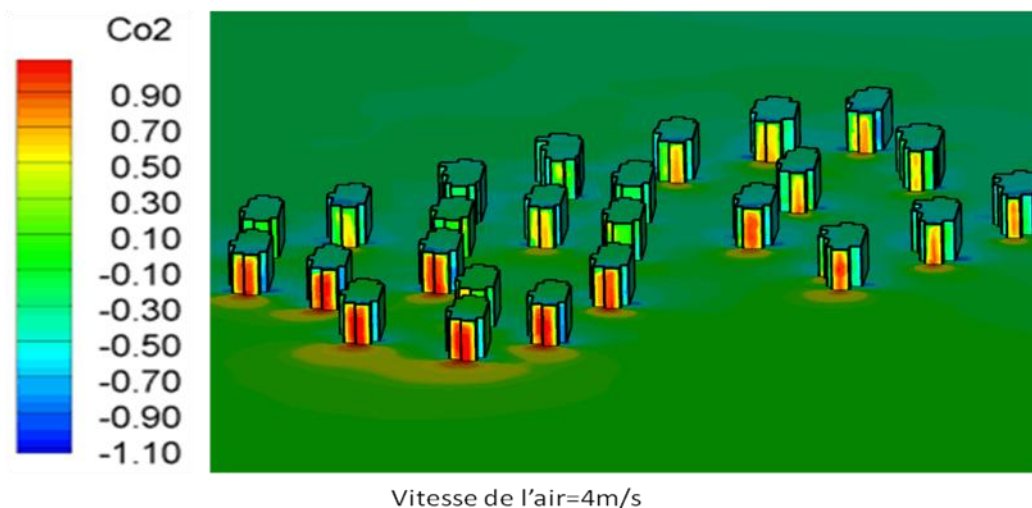


Figure VI-76 la dispersion des CO<sub>2</sub> dans le quartier des oranges sous Tecplot 360 (Source : l'auteur)

### III-2-1-2 Les oxydes d'azote NOx

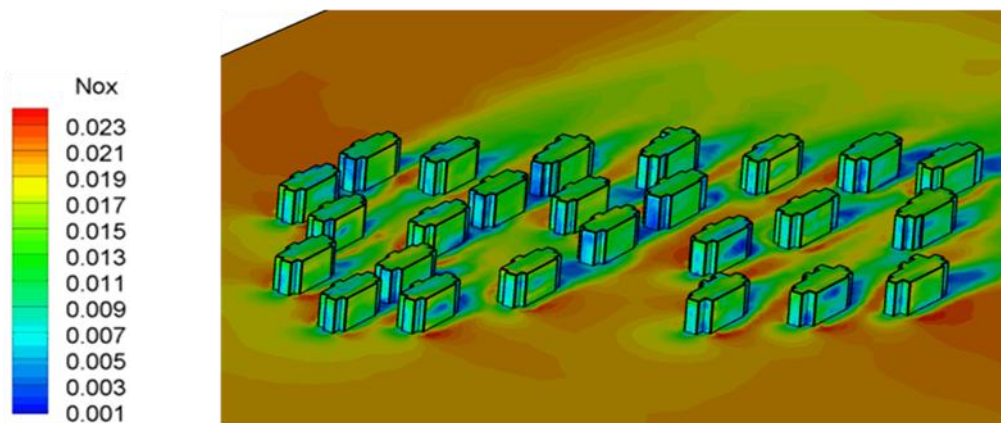
Les oxydes d'azote (NOx) résultent de la combinaison dans l'air à haute température de l'azote et de l'oxygène. Ils regroupent essentiellement deux types de molécules polluantes :

-Le monoxyde d'azote (NO),

-Le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>).

Comme le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>, les NOx sont des gaz légers car leur densité est de 1.34 kg/m<sup>3</sup>, c'est un gaz plus léger que le CO<sub>2</sub>, un peu plus lourd que la densité de l'air qui est de 1.225kg/m<sup>3</sup>

Parmi les paramètres tels que la chaleur et la densité de l'air qui sont des facteurs influents sur la dispersion des NOx, on note à travers le graphe ci-dessous que l'écoulement de l'air et la pression atmosphériques sont aussi importants car ils favorisent la transformation physico-chimique des (NO) et les (NO<sub>2</sub>) pour l'obtention des (NOx), quand la vitesse de l'air augmente la transformation chimique augmente aussi, ainsi cela est confirmé par rapport aux résultats obtenus pour la concentration des gaz.



Vitesse de l'air=4m/s

III-2-1-3 La température. **Figure VI-77** la dispersion des NOx dans le quartier des orangiers sous Tecplot 360 (Source : l'auteur)

La température initiale introduite pour la simulation est de 300Kelvin, c'est-à-dire 26.85°C, il est impératif de classer les résultats de la température avec les polluants malgré que celui-ci est un paramètre climatique, car c'est un indicateur influent sur tous les paramètres cités comme le comportement des polluants, mais à travers les résultats on remarque que la morphologie urbaine, les polluants, les facteurs climatiques favorisent une légère augmentation de la température au amont de l'écoulement de l'air mais surtout au niveau des bâtiments au front et où on a noté une concentration importante des polluants, ce qui pourrait être défini par l'îlot de chaleur.

Les échanges thermiques entre les polluants atmosphériques et la température de l'air vont accélérer la dilution par convection thermique.

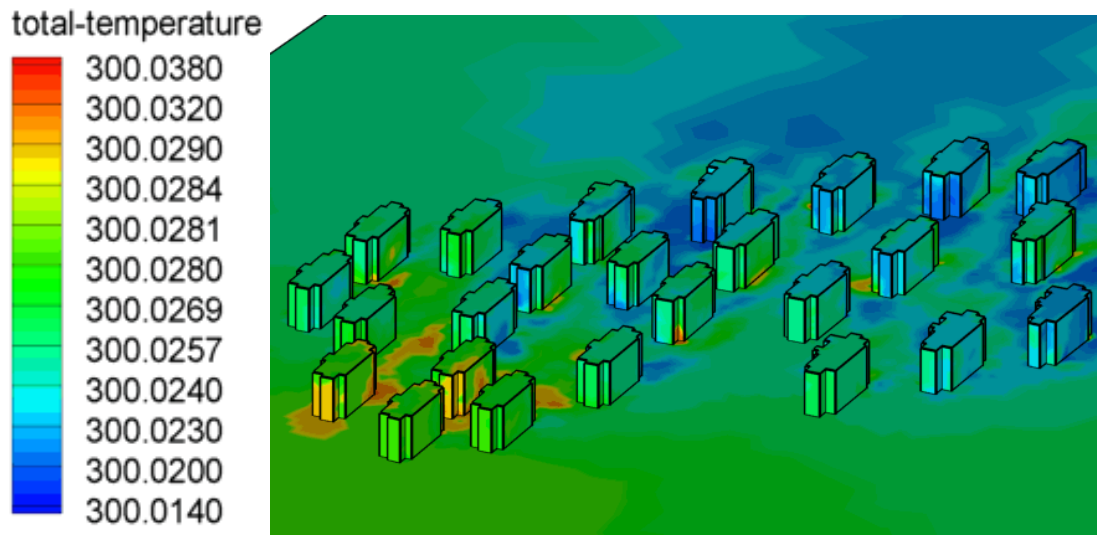


Figure VI-78 la température dans le quartier des orangers sous Teclplot 360 (Source : l'auteur)

### III-2-2- le Processus de dispersion de la pollution atmosphérique

Les polluants émis sont soumis à des phénomènes de transport-dispersion et de transformations physico-chimiques. La concentration en polluant atmosphérique résulte de ces processus, et caractérise un état de la qualité de l'air à un moment donné et à un endroit donné. La pollution atmosphérique fait aussi intervenir plusieurs autres facteurs : les émissions, le transport et la dispersion, les transformations physico-chimiques, la déposition atmosphérique, ainsi que les lois d'impact (Ademe, 2003a; Atmo, 2002; Martin & coll., 1988). T.Goger, 2006 schématise les mécanismes de la pollution selon la figure ci-dessous (figure VI-79).

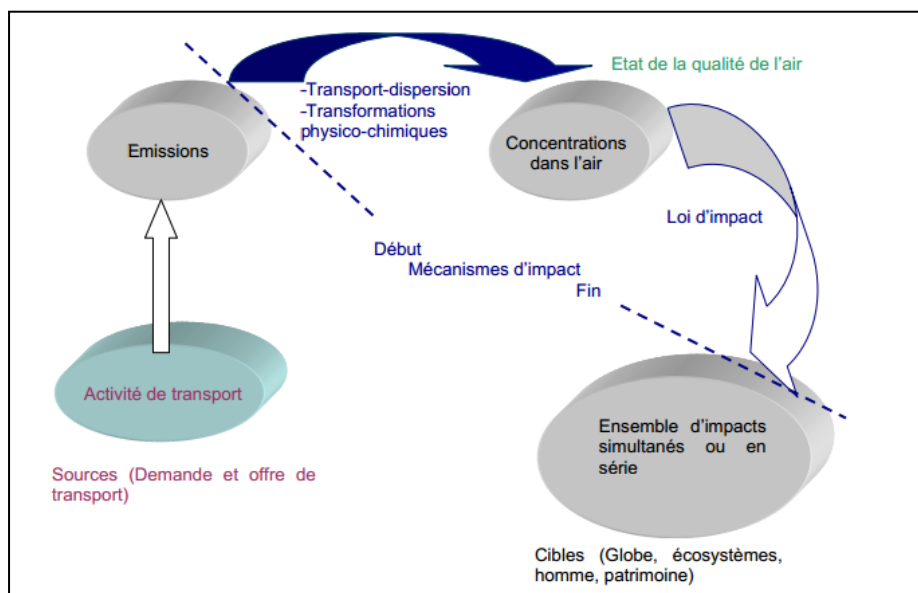
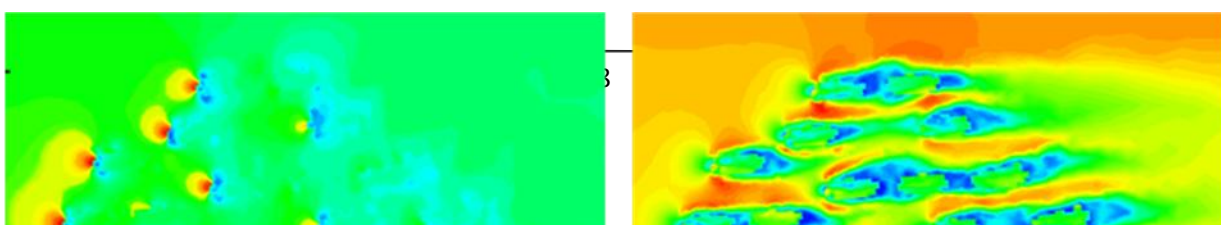


Figure VI-79 Mécanisme global des impacts des polluants atmosphériques émis par les transports (Source : T.Goger. 2006 )

On a choisi dans notre études deux polluants les dioxydes de carbone les  $CO_2$ , les oxydes d'azote  $NO_x$  pour mieux comprendre l'effet de la nature du gaz émis, sur le processus de dispersion dans une même forme urbaine celle du quartier des orangers et pour les mêmes données climatiques

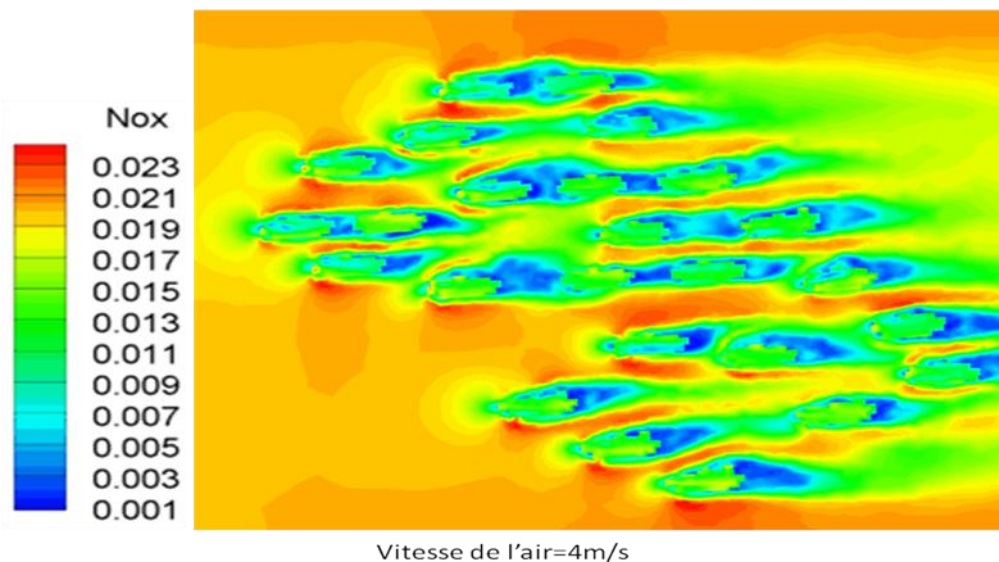


*Figure VI-80 le comportement du gaz CO2 est gaz NOx dans le quartier des orangers (source l'auteur)*

Dans le chapitre de la pollution atmosphériques on a cité que le processus de dispersion est en réalité : Le Transport – la Diffusion – le Dépôt au sol.

### **III-2-2-1 Le transport :**

Le transport horizontal par le champ de vent, qui explique le déplacement des polluants les plus stables sur de longues distances est observé surtout pour les gaz NOx on remarque un déplacement horizontal important.



*Figure VI-81 le transport des NOx en rapport avec le champ du vent (source l'auteur)*

### **III-2-2-2 La diffusion :**

Le brassage vertical par la turbulence atmosphérique lié aux effets de couche limite. C'est ce mécanisme qui est responsable de la dilution des polluants et donc de la baisse des concentrations en aval des sources. Ce phénomène est observé pour les deux polluants :



-les  $\text{CO}_2$  ou en remarque clairement une forte concentration au niveau des parois face au vent, une homogénéité verticale de la concentration, une diminution des concentrations en aval.

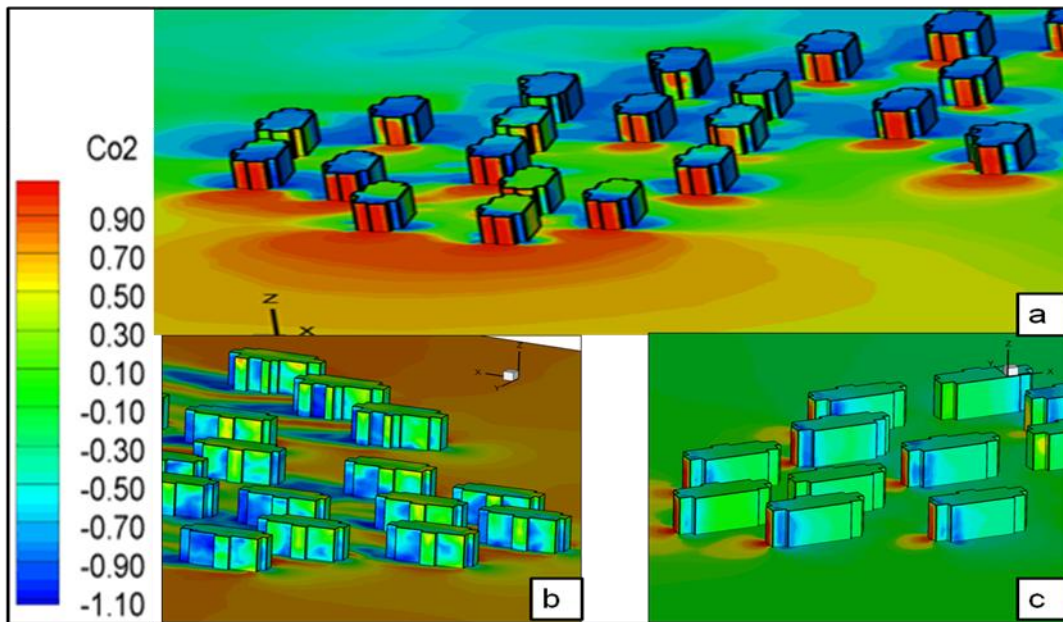


Figure VI-82 la diffusion des  $\text{CO}_2$  (a) la façade face au vent, (b) et (c) les façades en aval. (source l'auteur)

-un peu moins pour les  $\text{NO}_x$  car les concentrations observé au niveau des parois des blocs est de 0.009% et une augmentation sur les faces en aval jusqu'à 0.019% alors qu'il peut provoquer des irritations au niveau des muqueuse du nez a une concentration de 0.0013%.

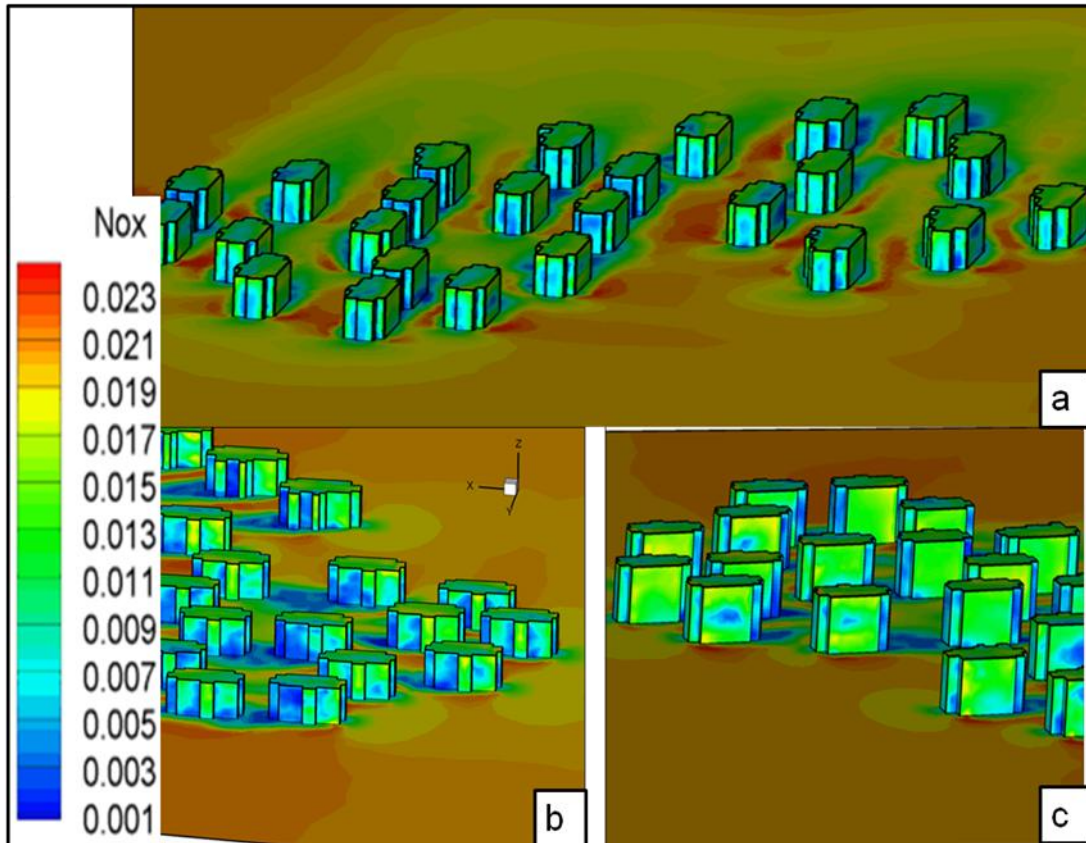


Figure VI-83 la diffusion des  $\text{NO}_x$ (a) la façade face au vent, (b) et (c) les façades en aval. (source l'auteur)

### III-2-2-3 Le dépôt sec au sol :

Les polluants atmosphériques peuvent se déposer sur les surfaces bâties des processus « secs », c'est-à-dire des processus qui ne dépendent pas de précipitations, ce phénomène est plus marquant pour les CO<sub>2</sub>.

### III-3- la Relation entre la morphologie urbaine et la dispersion des NOx

Seule la pollution de l'air extérieur est étudiée dans cette recherche dans la mesure où la morphologie urbaine constitue notre sujet d'étude, et qui intervient majoritairement au niveau de l'écoulement de l'air. Cette pollution se manifeste essentiellement dans la couche de l'atmosphère comprise entre 0 et 50m d'altitude. Elle est caractérisée par les concentrations en polluants atmosphériques.

Afin d'analyser la dispersion des polluants selon la méthode expliquée dans le schéma de la figure ci-dessous on a pris en considération que les NOx, car entre les deux polluants le plus irritant et néfaste pour la santé est ce gaz NOx qui résulte à cause de la transformation physico-chimique qui est liée directement à la vitesse de l'air comme en a déjà vu au paravent. (Figure VI-84)

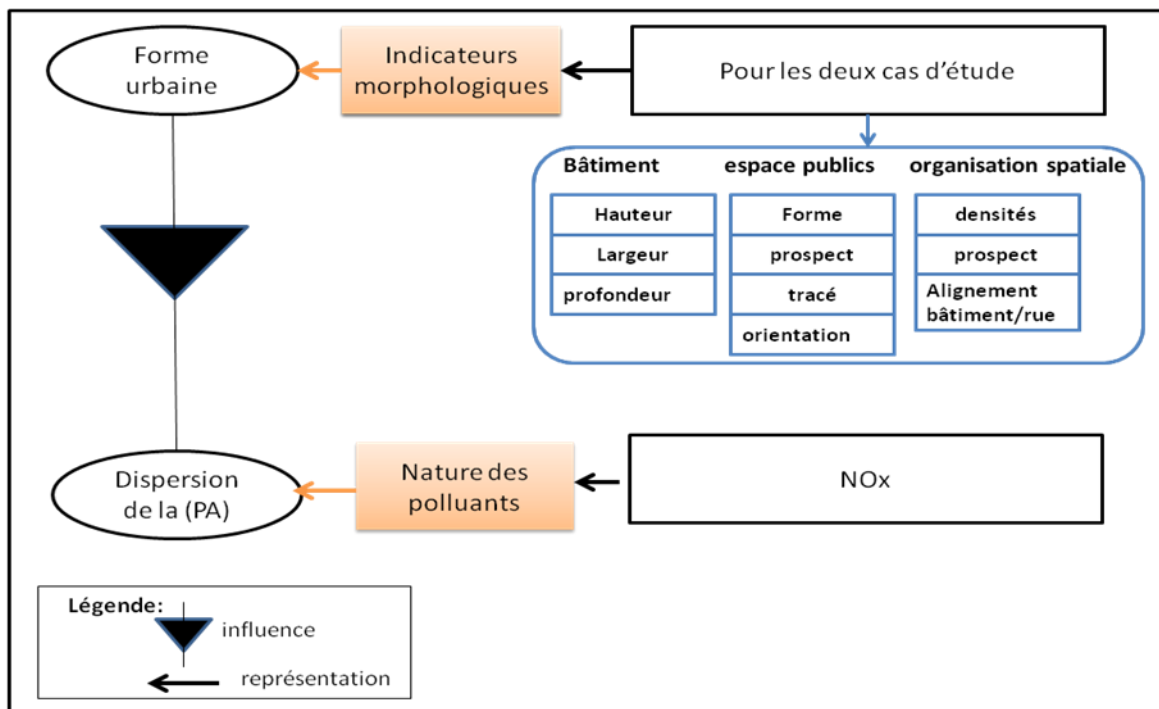
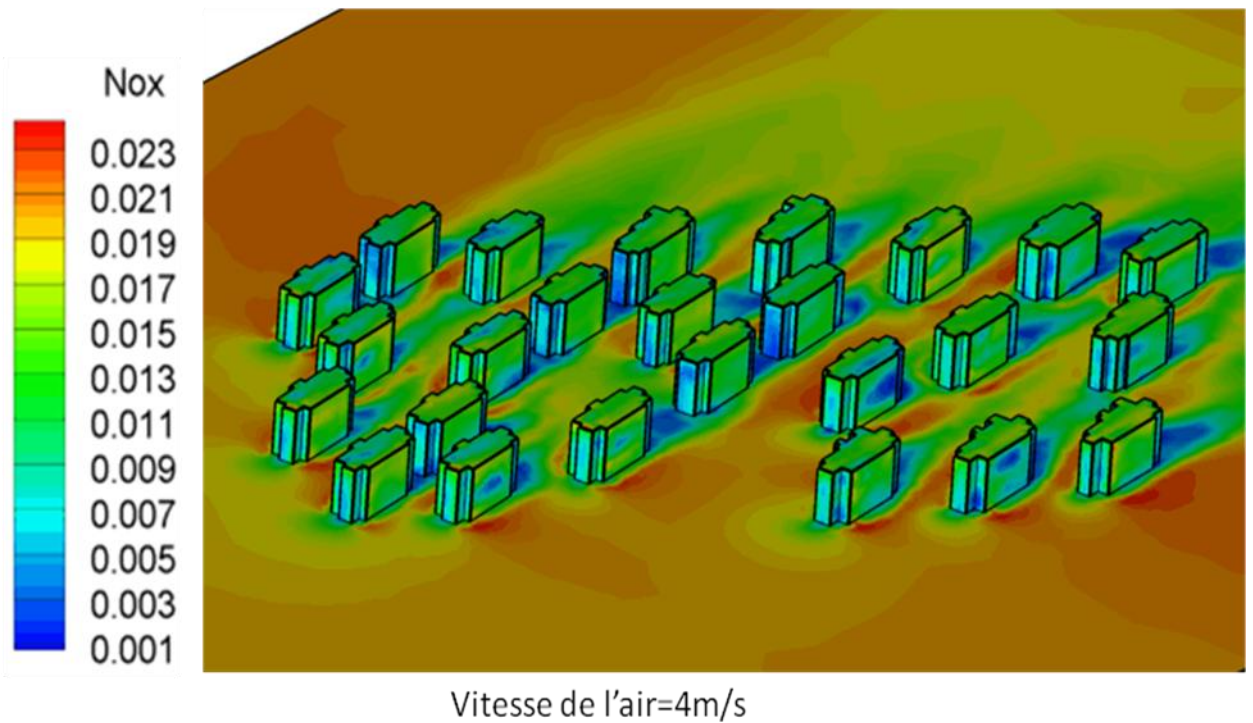


Figure VI-84 digramme de l'analyse morphologie urbaine vs les NOx (source l'auteur)

#### III-3-1- la dispersion des NOx dans le quartier des orangers



*Figure VI-85 la dispersion de la pollution atmosphérique dans le quartier des orangers (source l'auteur)*

L'orientation du vent est de 0° par rapport a tous les bloc de ce quartier.

La concentration maximale est clairement remarquable dans les couloirs créés par les bâtiments au niveau du sol 0.021%

La concentration des polluants est moins importante au niveau des blocs de forme similaires la diffusion gaz est homogène.

La géométrie des rues détermine la profondeur de la zone de dispersion des polluants.

### III-3-1- la dispersion des NOx dans le quartier Belaid Belagasse

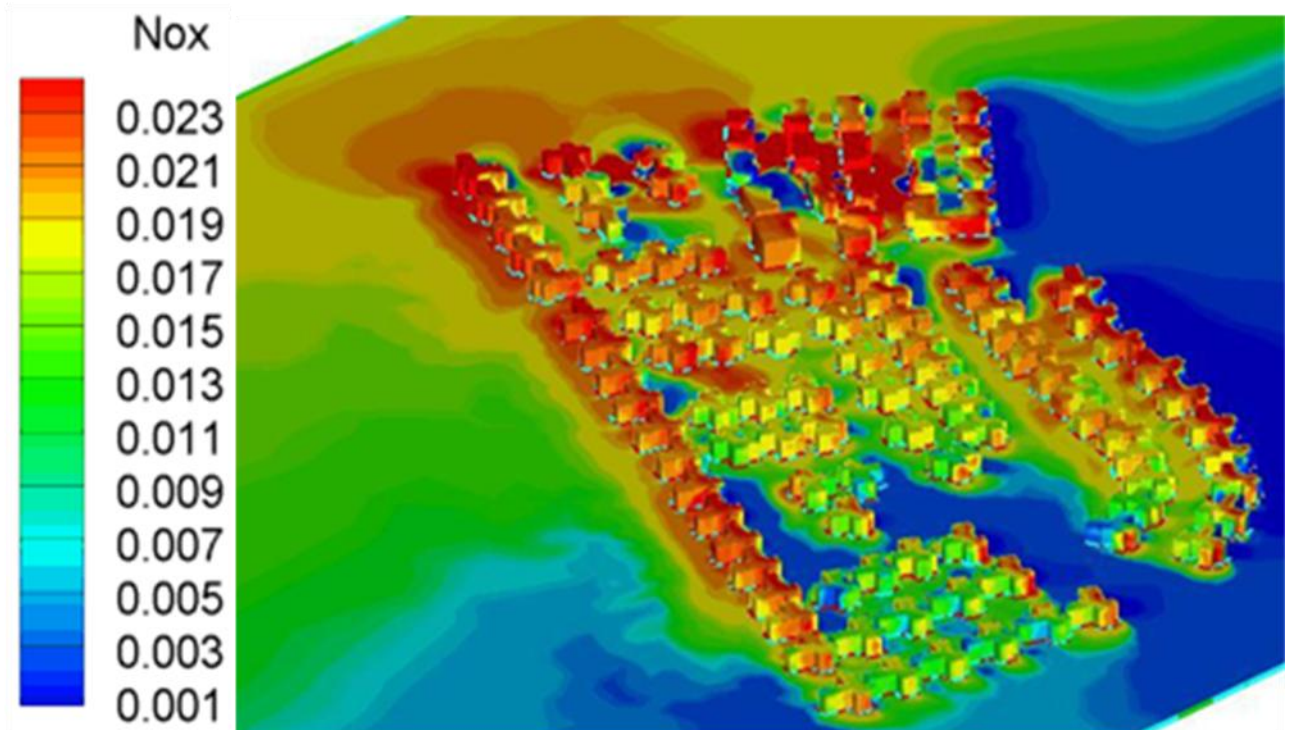
La concentration des NOx est plus importante dans ce cas 0.023 % sur les surfaces faces au vent.

Quand le bâtiment est bas c'est-à-dire inférieur a 15 m environ le vent passe par-dessus pour cette raison on note une forte concentration des NO<sub>x</sub> au niveau des toitures.

Les bâtiments en aval forme une barrière, dont l'espacement est très étroit, qui bloque la dispersion de la pollution atmosphérique, par conséquent on observe une forte concentration des NOx au niveau des immeubles, se qui risque de créer des nuisances pour les habitants.

L'inhomogénéité des hauteurs du bâti influence l'écoulement du vent en milieu urbain. Cette variation d'hauteur semble avoir peu d'effet sur la dispersion des polluants due à la turbulence de l'air.





Vitesse de l'air=4m/s

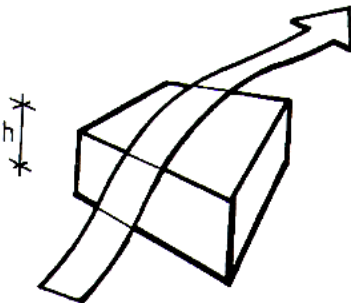
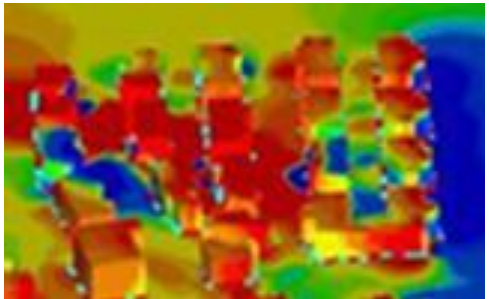
Figure VI-86 la dispersion de la pollution atmosphérique dans le quartier Belaid Belgacem (source l'auteur)

### Synthèse

La morphologie urbaine a une influence notable sur la vitesse du vent, les zones urbaines modifient fortement les conditions de la circulation de l'air et par conséquent le microclimat urbain.

Les constructions par leur actions sur le vent peuvent se protéger mutuellement et, ainsi réduire considérablement le niveau des anomalies aérodynamique c'est ce qu'on appelle l'effet de masque urbain.

A travers le tableau VI. 20 on va essayer de synthétiser de manière non exhaustive les indicateurs morphologiques et leurs interaction avec l'écoulement de l'air qui est le principal facteur de la dispersion de la pollution atmosphérique plus précisément les oxydes d'azote NOx, grace au cas de figures analysé dans ce chapitre ainsi que la revue de la littérature.

Les indicateurs	Écoulement de l'air	Dispersion des NOx
La hauteur du bâtiment : $H \leq 14$	Si le bâtiment est d'une hauteur inférieure à 14 m le vent passe par dessus 	augmentation de la concentration des NOx au niveau de la toiture 
	Source : Cf. Chatelet et Al 1998	Source : auteur

--	--	--

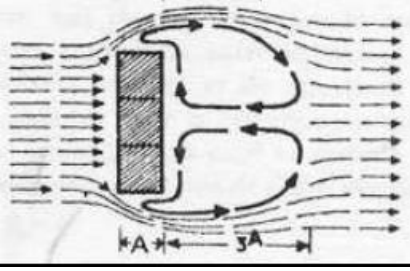
la toiture et en haut des bâtiments

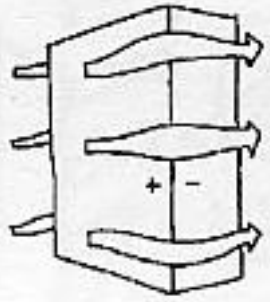


Le quartier des orangers

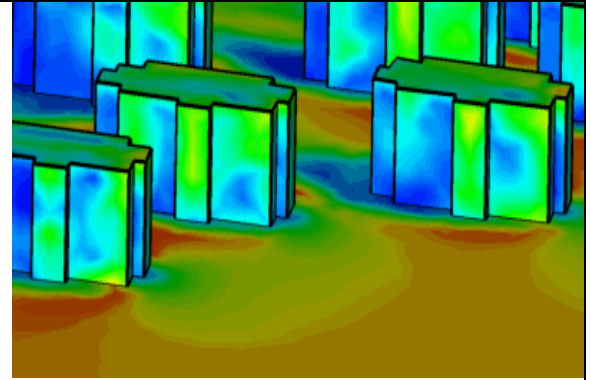


Le quartier belaid belgassem

<p>La longueur du bâtiment : <math>L &gt; 8h</math></p>	<p>Plus le bâtiment est long, ou les blocs sont accolés de façon à former un seul obstacle contre le vent plus il y aura de l'effet barre qui engendre une déviation en vrille de l'écoulement au passage de la barre pour une incidence voisine de <math>45^\circ</math>. -un décroissement de l'accélération en aval, et circulation de fluide tourbillonnaire.</p>  <p>Source : (Hug, 1975).</p>	<p>Les mécanismes de dispersion peuvent être considérés comme dégagés de l'influence de tout obstacle au sol à des distances supérieures à 10 fois la dimension caractéristique de cet obstacle dans la direction du vent, ou à 2,5 fois perpendiculairement à cette direction à la fois dans le plan horizontal et dans le plan vertical</p>
<p>Le bâtiment de forme barre</p>	<p><b>Effet de coin</b> phénomène d'écoulement aux angles des constructions qui mettent en relation la zone de surpression amont et la zone de dépression latérale du bâtiment.</p>	<p>Augmentation de la concentration au niveau des coins des bâtiments</p>



Source : Chatelet et al 1998



Source : auteur

les angles des immeubles (l'effet de coins)

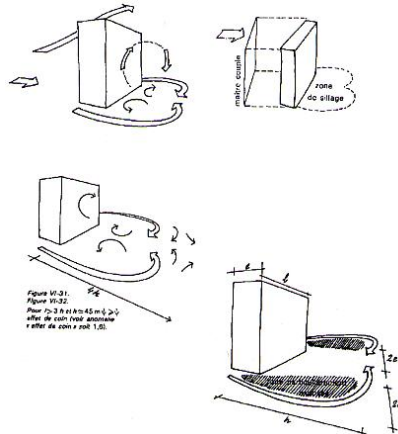


Le quartier des orangers



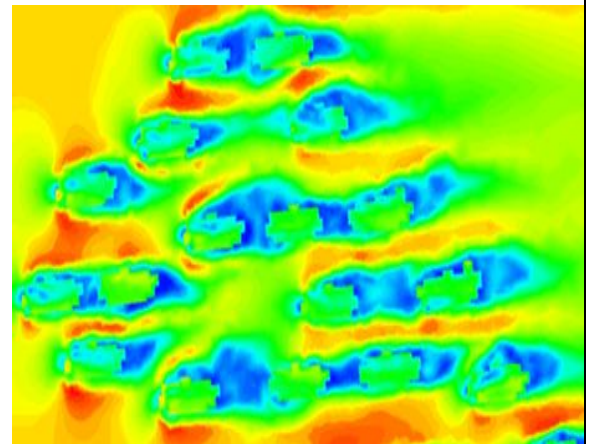
Le quartier belaid belgasse

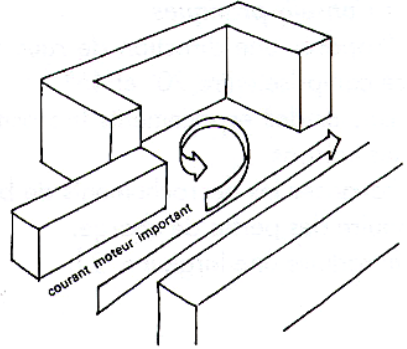
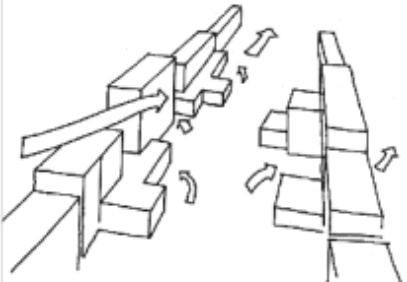
**Effet de sillage**  
circulation tourbillonnaire en aval des bâtiments.



Source : chatelet et al 1998

Réduction de la concentration des polluants en aval des bâtiments.



<p>Le bâtiment de forme (U)</p>	<p><b>Effet de maille</b> Le bâtiment en forme U est fermé au vent, provoque un écoulement tourbillonnaire</p>  <p>Source : Chatelet et al 1998</p>	<p>Dans notre cas le bâtiment qui a la forme U, sa maille n'est pas orientée face au vent, pour cette raison elle n'a pas eu une grande incidence sur l'accumulation des polluants</p>
<p>Le décrochement au niveau des bâtiments et des rues</p>	<p>Le décrochement au niveau des bâtiments ou le non alignement des bâtiments sont favorables car ils introduisent les pertes de charges et atténuent la vitesse de l'air</p>  <p>Source : Cf. Chatelet et Al 1998</p>	<p>Ce cas de figure peut résoudre les anomalies aérodynamiques à l'échelle urbaine, et inversement à l'échelle architecturale il peut en créer, car l'effet de coin sera accentué. l'élément apparent du bâtiments sera le plus exposé à la pollution atmosphériques en amont ou en aval de l'écoulement de l'air et la source d'émission.</p>

**Les décrochements**

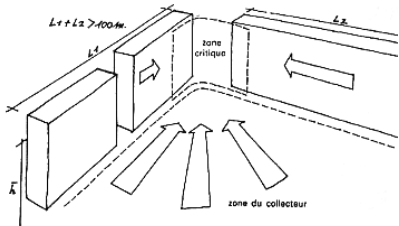
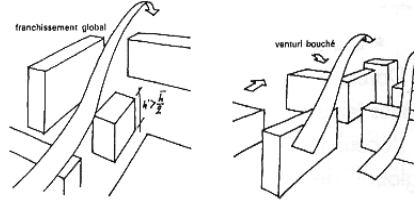
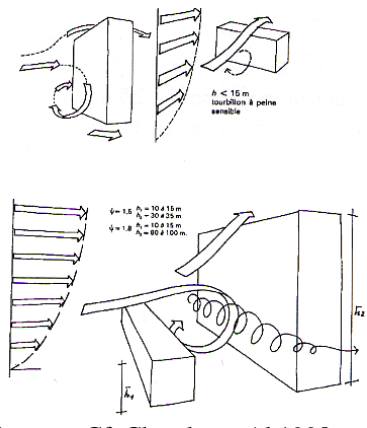
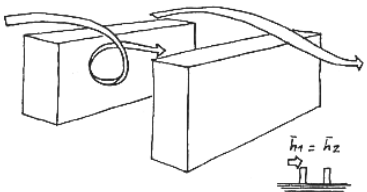


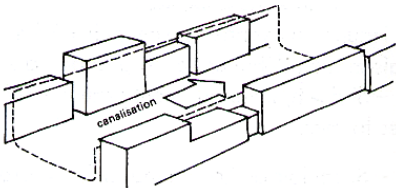
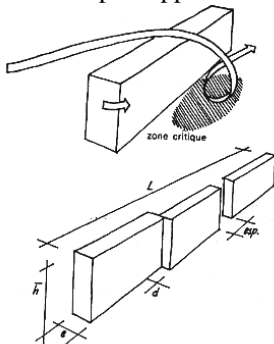
Le quartier des orangers



Le quartier belaid belgassem



<p>Les bâtiments dessinant un angle</p>	<p><b>Effet venturi</b> Phénomène de collecteur formé par des constructions dessinant un angle ouvert au vent. La zone critique pour le confort se situe à l'étranglement.</p>  <p>Source : Cf. Chatelet et Al 1998</p>	<p>Forte concentration des polluants au niveau du collecteur.</p>
<p>L'inhomogénéité des hauteurs de bâtiments</p>	<p>Un obstacle au niveau du collecteur formé par les constructions. Atténuation de la vitesse de l'air au niveau du collecteur</p>  <p>Source : Cf. Chatelet et Al 1998</p>	<p>Il n'y a pas d'effet venturi, réduction des concentrations des polluants car réduction des transformations physico-chimique du NO<sub>x</sub></p>
<p>Des bâtiments parallèle</p>	<p><b>Phénomène du rouleau tourbillonnaire</b> rouleau tourbillonnaire au pied de la face au vent</p>  <p>Source : Cf. Chatelet et Al 1998</p>	<p>Diminution de la concentration des NO<sub>x</sub> au pied de la face au vent, le premier bâtiment crée un écran contre la pollution pour le second bâtiment.</p>
<p>Des bâtiments parallèle</p>	<p>Quand deux bâtiments de la même hauteur sont parallèle l'effet barre se conserve sur le premier bâtiment et qui sera face au vent</p>  <p>Source : Cf. Chatelet et Al 1998</p>	<p>La concentration des polluants est maximale sur la façade face au vent du premier bâtiment et sera atténuer pour le second.</p>

	Source : Cf. Chatelet et Al 1998	
	<p><b>Effet de canalisation</b> Ensemble construit formant un couloir à ciel ouvert</p>  <p>Source : Cf. Chatelet et Al 1998</p>	<p>largeur du couloir <math>&lt; 2h</math> : une forte vitesse de l'air, mais qui permettra au même temps de dégager les polluants le plus loin possible quant le vent est parallèle au canal</p> <p>largeur du couloir <math>&gt; 2h</math> l'effet de canalisation s'estompe provoquant une réduction de la vitesse de l'air, mais la profondeur de la dispersion des polluants au niveau du canal diminuera et va dépendre surtout de l'orientation du couloir par rapport au vent.</p>
L'espacement entre les batiments	<p>Plus l'espacement entre les bâtiments est grand plus la vitesse de l'air sera réduite a condition que le vent soit orienté a <math>90^\circ</math>c ou incliné par rapport au bâtiments</p>  <p>Source : Cf. Chatelet et Al 1998</p>	La réduction de l'espacement entre les bâtiments peut créer un écran qui empêchera la dispersion des polluants a l'extérieur des tissus

**Tableau VI. 20 la relation entre les forme urbaine, les effets types du au vent, et la dispersion des NOx**  
(Source : l'auteur)

## CONCLUSION

L'impact des bâtiments sur la vitesse du vent était notre première préoccupation dans cette étude, nous avons commencé à l'étudier à l'aide de simulations CFD et pour lequel des outils quantitatifs simplifiés ont été élaborés.

Les graphiques présentés dans ce chapitre proviennent en grande partie de l'analyse des simulations réalisées dans sur base des règles élaborées à l'aide du logiciel FLUENT, Ces résultats sont complétés par des références bibliographiques chaque fois que cela s'est avéré utile.

Nos simulations de l'écoulement du vent autour de bâtiments isolés, autour de groupes de bâtiments isolés et au sein d'un milieu urbain constituent un réservoir d'informations quantitatives et qualitatives pour la compréhension de l'écoulement du vent autour des bâtiments et la dispersion des polluants atmosphériques. Ces outils graphiques permettent d'évaluer rapidement les risques d'inconfort, les nuisances sanitaires dues au comportement des polluants dans les configurations bâties étudiées.

La relation entre la morphologie urbaine, les microclimats urbains et la dispersion de la pollution atmosphérique a été analysée via une étude corrélationnelle en trois phases

- La morphologie urbaine et le microclimat urbain : Cette étude permet de démontrer la nature de la relation entre les indicateurs morphologiques et les éléments météorologiques tels que la vitesse de l'air, la température, la pression atmosphérique, et la densité de l'air
- Les éléments météorologiques et la pollution atmosphérique : cette relation nous a permis d'étudier l'impact des éléments météorologique sur la dispersion des polluants atmosphérique et qui dépend entre autre de la nature des polluants.
- Et enfin la morphologie urbaine et la pollution atmosphérique dans cette relation on c'est centré sur l'effet de la forme architecturale et urbaine c'est-à-dire la géométrie des bâtiments et la disposition de groupes de bâtiments ainsi que les espace extérieurs créer

entre les bâtiments sur la vitesse de l'air qui a été jugé facteur principal de la formation des NOx et leurs influences sur les courants des polluants autour de la configuration simulées.

Les outils d'évaluation de la dispersion de la pollution atmosphériques autour des bâtiments que nous avons élaborés à l'aide de nos simulations FLUENT permettent de quantifier et de comprendre les effets type dus au vent et leurs impacts sur la pollution atmosphérique, les effets types aux vents qu'on a retrouvés sont les suivants :

–les mécanismes critiques de l'écoulement du vent autour de bâtiments isolés de formes simples :

- L'effet de coin,
- L'effet de cisaillement,
- Le rouleau tourbillonnaire,
- L'effet de barre.

–trois mécanismes critiques du vent autour de groupes de bâtiments

- L'effet Venturi,
- L'effet de masque urbain,
- L'effet canyon
- L'effet de canalisation,
- L'effet d'écran linéaire.



## **Conclusion générale**

## **CONCLUSION**

La présente recherche a traité l'impact de la géométrie architecturale et l'organisation spatiale des bâtiments sur la dispersion de la pollution atmosphérique.

Nous rappelons que cette recherche a nécessité trois parties précédemment détaillées. La première partie introductive dont l'intérêt était d'assurer une bonne connaissance et une meilleure compréhension des paramètres liés à notre recherche, nous nous sommes intéressés dans la seconde partie aux approches et méthodologies utilisées dans les revues de la littérature qui traitent la problématique de la dispersion des polluants atmosphériques qui nous a permis de nous positionner épistémologiquement, et enfin la dernière décrit les étapes du travail expérimental réalisé dans cette étude, les analyses et les interprétations des résultats obtenus.

L'objet principal de cette recherche a été l'analyse des interactions entre les espaces construits, les phénomènes physiques microclimatiques, et la dispersion des polluants atmosphériques. Cette interaction a été définie, évaluée et quantifiée à travers deux quartiers : le quartier des orangers, le quartier Belaid Belgassem (ville d'Annaba). Le choix d'une approche comparative nous a permis d'observer des bâtiments réalisés et non des formes théoriques construites artificiellement selon les besoins de la recherche.

Quant à l'application de l'analyse comparative aux deux quartiers, elle permet d'observer et de mesurer leurs effets sur la caractérisation microclimatique d'une aire urbaine ainsi que leur impact sur la concentration et les directions des courants de polluants dans l'atmosphère.

La nature pluridisciplinaire de cette exploration, qui touche aux domaines de la physique, de la chimie, de la dynamique des fluides, de la morphologie urbaine et du bâti, ou la complexité du problème nous a induits à un cheminement long et confus.

Pour répondre à notre problématique plusieurs champs d'investigation se sont présentés à nous, ils peuvent être caractérisés comme suit :

-L'approche morpho-climatique : Cette approche a constitué une trame de fond commune à l'ensemble de la recherche. Puisque la forme urbaine a été l'objet principal de notre analyse.

-L'approche climato-morphologique : a traité de l'interaction des espaces construits et du microclimat urbain. Cette approche a permis à la fois de définir, selon les travaux de climatologie urbaine, les éléments les plus déterminants de la forme urbaine qui influent sur le microclimat urbain,

-L'approche physico-chimique de l'atmosphère : qui consiste à mesurer les niveaux de polluants dans l'atmosphère urbaine

### **LES LIMITES DE LA RECHERCHE**

Cette recherche s'est articulée autour d'une analyse tridimensionnelle grâce à la simulation numérique par le logiciel FLUENT du modèle (CFD). L'analyse, au-delà des apports qu'elle a permis en termes de quantification des effets microclimatiques et urbains sur la dispersion des polluants présente un certain nombre de limites qu'il nous faut explorer pour qu'elle puisse être utilisée dans d'autres recherches.

Nos résultats ne peuvent être validés car les essais de terrain et ceux à l'échelle réduite sont très coûteux et nécessitent énormément de moyens financiers et humains. Mais ils restent les plus réalistes, et ils servent comme repères pour les modèles numériques.

La modélisation numérique reste relativement plus abordable mais avec plus de simplification dans les phénomènes considérés.

Le choix du modèle CFD eulérien n'était pas vraiment problématique, puisque les résultats étaient assez représentatifs en climatologie urbaine et pollution atmosphérique. Ce dernier a fait désigner ce qu'il fallait reconstituer pour évaluer l'évolution du microclimat urbain et le comportement des polluants.

La réduction dans notre recherche a concerné la sélection des formes urbaines qui ont visé ou contribué à la modification du microclimat urbain et par conséquent la différenciation des concentrations de la pollution. Cette sélection n'a en effet pas été exhaustive, pour cette raison les résultats obtenus ne peuvent être généralisés.

Le choix des polluants étudiés s'est limité à deux espèces les oxydes d'azote  $\text{NO}_x$  et les dioxydes de carbone  $\text{CO}_2$  qui sont des gaz légers.

La topographie est un facteur important dans la dispersion de la pollution atmosphérique dans notre étude la simulation a été faite pour un terrain plat.

Nous nous sommes appuyés pour préparer nos simulations sur des données physiques de l'atmosphère : la vitesse du vent, la température, la densité de l'air et la pression atmosphérique mais d'autres paramètres climatiques sont à prendre en considération comme l'humidité, l'ensoleillement ...etc.

La longévité de l'air dans l'espace urbain n'a pas été mesurée, l'échelle temporelle étudiée est de temps court.

## **LES RECOMMANDATIONS ARCHITECTURALES ET URBAINES**

À travers les résultats obtenus dans le chapitre précédent, on a prélevé les paramètres influant sur la dispersion des polluants, ces paramètres sont liés aux trois concepts de notre étude c'est-à-dire liés à la morphologie urbaine et architecturale, les paramètres physiques du climat et la nature de l'espèce émise dans l'espace mais surtout de l'interaction entre ces paramètres.

Pour se protéger de la pollution atmosphérique, améliorer son cadre de vie, et préserver sa santé, on doit réintroduire dans l'aménagement des préoccupations liées au microclimat et aux pollutions de l'air.

- Analyser préalablement le site pour tout aménagement urbain.
- préférer les larges percées de type haussmannien.
- Profiter de l'influence des espaces verts pour protéger les bâtiments des expositions à la pollution atmosphérique, Le jeu végétal brise aussi l'effet de sillage.
- Ceinturer le volume par un élément en rez-de-chaussée comme les clôtures, les écrans acoustiques au niveau des autoroutes qui réduisent la concentration des polluants.
- Favoriser les angles arrondis au niveau des bâtiments, car ils diminuent la variation de vitesse aux angles l'effet de coin atténue donc la diminution de la concentration des polluants au niveau des angles droits.
- Proposer une direction de rues sous incidence comprise entre  $90^\circ$  et  $45^\circ$  (attention à l'effet barre)
- Laisser des espacements (porosité) définissant mal les liaisons

-il est difficile parfois a l'échelle urbaine de modifier radicalement la morphologie d'une ville, les aménageurs doivent agir prioritairement en faveur d'une meilleure répartition des flux de trafic soit en les redistribuant plus judicieusement sur le réseau d'artères soit en les diminuant.

- intégrer des préoccupations liées au confort dans la conception des espaces publics.

### **III. LES PISTES DE TRAVAIL**

Dans le contexte actuel où les conséquences du développement urbain doivent être maîtrisées, la connaissance et la modélisation des phénomènes physiques urbains sont devenues un enjeu important car elles peuvent constituer une aide à la décision pour la prise en compte de l'environnement dans la politique d'aménagement urbain.

Le développement des connaissances sur la micro-climatologie urbaine est l'une des composantes clés pour la maîtrise de l'îlot de chaleur urbain, l'étude de la qualité de l'air et du confort des populations.

Si la représentation des phénomènes physiques urbains est relativement aisée, celle des multiples interactions entre eux l'est moins. Il serait intéressant même si c'est complexe, que la modélisation des phénomènes liés a la pollution atmosphérique soit couplés plus fréquemment avec les processus physiques (thermique, aérodynamique, hydrologie, rayonnement...) impliqués dans le microclimat urbain ainsi qu'aux opérations d'aménagement urbain et du comportement des bâtiments qui ne peuvent être considérés indépendamment les uns des autres. Le problème de la pollution de l'air est un problème qui requiert une démarche multidisciplinaire.

# **Bibliographie**

# BIBLIOGRAPHIE

- André J.C., De Moor G., Lacarrère P., Therry G. & du Vachat R. (1978).** *Modeling the 24-hour evolution of the mean and turbulent structures of the planetary boundary layer. J.A.S., vol. 35, p1861-1883.*
- André J.C. & Lacarrère P. (1980).** *Simulation numérique détaillée de la couche limite atmosphérique. Comparaison avec la situation des 2 et 3 juillet 1977 à Voves. La Météorologie VI, 22, p5-49.*
- A.K.M. Chua, R.C.W. Kwokb, K.N. Yua, (2005).** *Study of pollution dispersion in urban areas using Computational Fluid Dynamics (CFD) and Geographic Information System (GIS) Environmental Modelling & Software 20 273–277 [www.elsevier.com/locate/envsoft](http://www.elsevier.com/locate/envsoft)*
- Andy T. Chan, William T.W. Au, Ellen S.P. So. (2003)** *Strategic guidelines for street canyon geometry to achieve sustainable street air quality—part II: multiple canopies and canyons. Atmospheric Environment 37 2761–2772*
- Aulagnier C (2006).** *Comparaison climatologique en île de France : Impact du tissu urbain sur la météorologie locale. Stage effectuée au Laboratoire de Meteorologie Dynamique*
- Adolphe, L (1998).** *Ambiances architecturales et urbaines, Éditions parenthèses, Marseille.*
- Adolphe, L (2001).** *Modelling the link between built environment and urban climate: towards simplified indicators of the city environment, Building Simulation, Proceedings of IBPSA (International Building Performance Simulation Association), pp. 679-684.*
- Ait-ameur, K (2002).** *Characterization of the microclimate in urban public spaces through the validation of a morpho-climatic indicator system, Design with the Environment, Proceedings of PLEA (Passive Low Energy Architecture), pp. 305-311.*
- Ait-ameur, K (2000).** *Vers une méthode multicritère de caractérisation du microclimat dans les espaces publics urbains : validation d'un système d'indicateurs morpho climatique et d'un indicateur de confort, Thèse de Doctorat Ecole Polytechnique de Nantes, France.*
- Blocken, B., Stathopoulos, T., Carmeliet, J. (2007).** *CFD simulation of the Atmospheric Boundary Layer – wall function problems. Atmospheric Environment 41, 2, 238-252.*
- Blocken, B., Carmeliet, J., Stathopoulos, T., (2007).** *CFD evaluation of the wind speed conditions in passages between buildings – effect of wall-function roughness modifications on the atmospheric boundary layer flow, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 95, 9-11, 941-962*

- Blocken B, T. Stathopoulos, J. Carmeliet, (2007).** *CFD simulation of the atmospheric boundary layer: wall function problems, Atmos. Environ. 41 238-252*
- Blocken B, Ted Stathopoulos, Jan Carmeliet (2007).** *CFD simulation of the atmospheric boundary layer: wall function problems. Atmospheric Environment 41(2): 238-252. Elsevier*
- Blocken B, T. Stathopoulos, P. Saathoff, X (2008).** *Wang, Numerical evaluation of pollutant dispersion in the built environment: comparison between models and experiments, J. Wind Eng. Ind. Aerod. 96 1817- 1831.*
- Breil J., (2001).** *Modélisation du remplissage en propergol de moteur à propulsion solide. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I.*
- Baer M. & Nester K. (1992).** *Parametrisation of trace gas dry deposition velocities for a regional mesoscale diffusion model. Ann. Geophysicae, vol. 10, p912-023.*
- Beral-Guyonnet I. (1997).** *Le climat et la pollution atmosphérique de l'agglomération lyonnaise, thèse de doctorat, Université Jean Moulin, Lyon 3, 475 p.*
- Benzerzour M. (2004).** *Transformations urbaines et variations du microclimat : application au centre ancien de Nantes et proposition d'un indicateur « morpho-climatique ». Ecole polytechnique de l'Université de Nantes. Thèse de Doctorat.*
- Bereitschaft, Bradley James Frank, Ph.D (2011).** *Urban Form and Air Quality in U.S. Metropolitan and Megapolitan Areas.*
- Blocken B, J. Carmeliet, T. Stathopoulos, CFD evaluation of wind speed conditions in passages between parallel buildings—effect of wall-function roughness modifications for the atmospheric boundary layer flow,**
- Ben hamouda R (2008).** *Notions de mécanique des fluides Cours et Exercices Corrigés. Tunis*
- Boucheriba F.** *Impact de la géométrie des canyons urbains sur le confort thermique extérieur - cas du couduat de Constantine - pour l'obtention du diplôme de magistère option : bioclimatique. Département d'architecture et d'urbanisme Constantine*
- Boumaouche N-E.** *Prise en compte de l'humidité dans le projet de réhabilitation des maisons vernaculaires cas de la médina de Constantine. Mémoire de magistère. département d'architecture et d'urbanisme de Constantine.*
- Britter, R.E., Hanna, S.R., (2003).** *Flow and dispersion in urban areas. Annual Review of Fluid Mechanics 35, 469e496.*
- Britter, R., Schatzmann, M., (2007).** *Background and Justification Document to Support the Model Evaluation Guidance and Protocol. <http://www.mi.uni-hamburg.de/Official-Documents.5849.0.html>.*
- Bouyer J.** *Modélisation et simulation des microclimats urbains Étude de l'impact de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques des bâtiments. Thèse de doctorat. École polytechnique de l'Université de Nantes*

- Buccolieri R, et al (2011).** *Analysis of local scale tree-atmosphere interaction on pollutant concentration in idealized street canyons and application to a real urban junction. Atmospheric Environment* 45 1702-1713
- Boukroune H (2006).** *L'Expression de deux architectures à travers deux parcours urbains : villes de Constantine et Annaba. Thèse de doctorat au département d'architecture et d'urbanisme de Constantine.*
- Bouyer J (2009).** *Modélisation et simulation des microclimats urbains Étude de l'impact de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques des bâtiments. Thèse de doctorat. École Doctorale Sciences pour l'Ingénieur, Géosciences, Architecture de Nantes.*
- Benzerzour, M et Groleau D (2002).** *Effects of diachronic town surface transformations on the urban microclimate: Application to the city of Nantes, Design with the Environment, Proceedings of PLEA (Passive Low Energy Architecture), pp. 781-786.*
- Chan, A.T (2001).** *Atmospheric turbulent boundary layer development due to a change in surface roughness. International Journal of Engineering Science* 39, 200–2014.
- Chan, A.T., So, E.S.P., Samad, S.C., (2001).** *Strategic guidelines for future development to achieve sustainable air quality in urban area. Atmospheric Environment* 35, 5681–5691.
- Chan, T.L., Kong, G., Leung, C.W., Cheung, C.S., Hung, W.T., (2002).** *Validation of a two-dimensional pollutant dispersion model in an isolated street canyon. Atmospheric Environment* 36, 861–872
- Chatelet A, et Alii (1998).** *Architecture climatique-tome2. Ed edi sud. Aix-en-provence*
- Chang, C.H., Meroney, R.N., (2003).** *Concentration and flow distributions in urban street canyons: wind tunnel and computational data. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 91 (9), 1141–1154.
- Chan T. L., Dong G (2002).** *Validation of a two-dimensional pollutant dispersion model in an isolated street canyon. Atmospheric Environment, 36(5): 861-872.*
- Chan, S.T., Leach, M.J., (2007).** *A validation of FEM3MP with Joint Urban 2003 Data. Journal of Applied Meteorology and Climatology* 46, 2127–2146.
- Chang, C.H., (2006).** *Computational fluid dynamics simulation of concentration distributions from a point source in the urban street canyons. Journal of Aerospace Engineering* 19 (2), 80–86.
- Chen, H., Ooka, R., Huang, H., Tsuchiya, T., (2009).** *Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on pre- sent urban blocks in Tokyo using coupled simulation. Building and Environment* 44, 2290–2299.
- Chen, Q., Srebric, J., (2000).** *Application of CFD tools for indoor and outdoor environment design. International Journal on Architectural Science* 1 (1), 14–29.
- Chen, Q., (2009).** *Ventilation performance prediction for buildings: a method overview and recent applications. Building and Environment* 44 (4), 848–858
- Chen H.C. & Patel V.C. (1988).** *Near-wall turbulence models for complex flows including*



separation. *AIAA J.*, vol. 26, p641-648.

**Chen Y.S. & Kim S.W. (1987).** *Computation of turbulence flows using an extended k- $\epsilon$  turbulence closure model. NASA Contractor Report n° CR-179204.*

**Chen, H., Bai, S., Eisinger, D., Niemeier, D. et Claggett, M. (2009).** *Predicting near-road PM<sub>2.5</sub> concentrations : comparative assessment of CALINE4, CAL3QHC, and AERMOD. Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, 2123(26-37).*

**Chauvet, C., Kastner-Klein, P., Kovar-Panskus, A., Savory, E., Schatzmann, M., (2001).** *The use of wind tunnels in modelling air quality street canyons. Final Report of the TMR Research Network TRAPOS: Optimization of Modelling Methods for Traffic Pollution Streets. European Commission.*

**Chang, J. and S. Hanna, (2004).** *Air quality model performance evaluation. Meteorology and Atmospheric Physics, 87, 167-196*

**Chang, C.H., Meroney, R.N., (2003).** *Concentration and flow distributions in urban street canyons: wind tunnel and computational data. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 91 (9), 1141–1154.*

**Castro I.P. & Robins A.G. (1977).** *The flow around a surface-mounted cube in a uniform and turbulent streams. J. Fluid Mech., vol. 79, p307-335.*

**Cautenet G. (1987).** *Estimation de l'onde de température de surface à partir du flux de conduction thermique dans le sol. Atmos. Res., vol. 21, p7-12.*

**Charney G., Schon J.P., Alcaraz E. & Mathieu J. (1979).** *Thermal characteristics of a turbulent boundary layer with an inversion of wall heat flux. Turbulent Shear Flow 1, Springer- Verlag, p104-118.*

**Chock D.P. & Winkler S.L. (1994).** *A comparaison of advection algorithms coupled with chemistry. Atmos. Env., vol. 28, n° 16, p2659-2675.*

**Costes J.P. (1996).** *Simulations numériques des écoulements atmosphériques sur sols fortement hétérogènes. Thèse de doctorat de l'Université de Nantes – Ecole Centrale de Nantes.*

**Chauvet, C., Leiti, B., Schatzmann, M., (2001).** *High resolution flow measurements in an idealised urban street canyon. Third International Conference on Urban Air Quality, Loutraki, Greece.*

**Calder, L. (1973).** *On estimating air pollution concentrations from a highway in an oblique wind.*

**Cassiani, M., Vinuesa, J., Galmarini, S. et Denby, B. (2010).** *Stochastic \_elds method for subgrid scale emission heterogeneity in mesoscale atmospheric dispersion models. Atmos. Chem.*

**Chang, J. et Hanna, S. (2004).** *Air quality model performance evaluation. Meteorol Atmos*

*Phys*, 87:167{196.

**Chang, J., Jin, S., Li, Y., Beauharnois, M., Lu, C.-H. et Huang, H.-C. (1997).** *The SARMAP air quality model ; \_nal report. Atmospheric Sciences Research Center : Albany, NY, USA,.*

**Ching, J., Herwehe, J. et Swall, J. (2006).** *On joint deterministic grid modeling and sub-grid variability conceptual framework for model evaluation. Atmos. Env., 40:4935{4945.*

**Ching, J., Pierce, T., Palma, T., Hutzell, W., Tang, R., Cimorelli, A. et Herwehe, J. (2004).** *Application of \_ne scale air toxics modeling with CMAQ to HAPEM5. In Proceedings of the 3rd Annual CMAS Models-3 Conference, Chapel Hill, NC, USA,.*

**Cimorelli, A., Perry, S., Venkatram, A., Weil, J., Paine, R., Wilson, R., Lee, R., Peters, W. et Brode, R. (2005).** *AERMOD. : A dispersion model for industrial source applications. Part I : General model formulation and boundary layer characterization, . J. Applied Meteor., 44:682{693.*

**Cook, R., Isakov, I., Touma, J., Benjey, W., Thurman, J., Kinnee, E. et Ensley, D. (2010).** *Resolving local-scale emissions for modeling air quality near roadways. J. Air Waste Manage Assoc., 58:451{461.*

**Csanady, G. (1973).** *Turbulent Di\_usion in the Environment. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, The Netherlands.*

**Chauvet, C., Leidl, B. and Schatzmann, M. (2001).** *'High Resolution Measurements in an Idealised Street Canyon', The 3rd International Conference on Urban Air Quality, Loutraki, Greece, March 2001.*

**Chang J, Hanna S. Air quality model performance evaluation (2004).** *Meteorology and Atmospheric Physics;87:167–96.*

**Chen, Q., (2009).** *Ventilation performance prediction for buildings: a method overview and recent applications. Building and Environment 44, 848e858*

**Castro, I.P., Robins, A.G. (1977).** *The flow around a surface mounted cube in a uniform and turbulent shear flow. Journal of Fluid Mechanics 79(2), 307-335.*

**Colombert, M (2008).** *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville. Thèse de doctorat l'Université Paris-Est.*

**Cristelle P (2004).** *Analyse de la pollution atmosphérique aux échelles locale et régionale. thèse de doctorat à l'INSA de Rouen.*

**Di Sabatino, S., R. Buccolieri, B. Pulvirenti and R. Britter, (2007).** *Simulations of pollutant dispersion within idealized urban-type geometries with CFD and integral models. Atmospheric Environment, 41, 8316-8329.*

**Damian-Iordache V. (1996).** *KPP – Chemistry simulation developpment environment. Thesis of Master of Science degree in Computer Science, University of Iowa.*

- Dargent C. (1996).** *Contribution à la modélisation de la dispersion de polluants – Étude de sillages autour d’obstacles de forme parallélépipédique. Thèse de l’INP de Toulouse.*
- Delboulbé E. (1997).** *Simulation numérique des écoulements de couche limite atmosphérique autour de structures bâties. Thèse de l’Université de la Méditerranée Aix Marseille II.*
- Durbin P. (1991).** *Near-wall turbulence closure modeling without ‘damping function’.* *Theoret. Comput. Fluid Dynamics*, vol. 3, p1-13.
- Durbin P. (1995).** *Separated flow computations with the k-ε-v2 model.* *AIAA J.*, vol. 33 (4), p659-664.
- Dyer A.J. (1974).** *A review of flux-profile relationships.* *Boundary Layer Meteorol.*, vol. 7, p363-372.
- DePaul, F.T., Sheih, C.M., (1985).** *A tracer study of dispersion in an urban street canyon.* *Atmospheric Environment* 19, 555–559.
- DePaul, F.T., Sheih, C.M., (1985).** *A tracer study of dispersion in an urban street canyon.* *Atmospheric Environment* 19 (4), 555–559.
- DePaul, F.T., Sheih, C.M., (1986).** *Measurements of wind velocities in a street canyon.* *Atmospheric Environment* 20 (3), 455–459.
- Di Sabatino S, Buccolieri R, Pulvirenti B, Britter R (2007).** *Simulations of pollutant dispersion within idealised urban-type geometries with CFD and integral models.* *Atmospheric Environment*;41:8316–29.
- Di Sabatino S, Buccolieri R, Pulvirenti B, Britter RE (2008).** *Flow and pollutant dispersion in street canyons using FLUENT and ADMS-Urban.* *Environmental Modeling & Assessment*;13:369–81.
- Draxler, R. et Hess, G. (1998).** *An overview of the HYSPLIT4 modelling system for trajectories, dispersion, and deposition.* *Australian Meteorological Magazine*, 47:295{308.
- Dupont S (2001).** *Modélisation dynamique et thermodynamique de la canopée urbaine : réalisation du modèle de sols urbains pour submeso. Thèse de doctorat à l’Ecole Centrale de Nantes.*
- Doya M (2010).** *Analyse de l’impact des propriétés radiatives de façades pour la performance énergétique de bâtiments d’un environnement urbain dense. Thèse de doctorat à l’université de la rochelle. École Doctorale Sciences pour l’Environnement Gay Lussac (GL).*
- Environ. (2011).** *User's guide, comprehensive air quality model with extensions (CAMx), version 5.40. Available online : <http://www.camx.com>.*
- EPA (2008).** *Risk and exposure assessment to support the review of the NO2 primary national ambient air quality standard. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, USA.*

- Faval G et al, (2007).** *Pollutant dispersion in deep street canyons-comparison between CFD and operational model simulations. Proceeding of the 11th international conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*
- Favre A., Kovaszny L.S.G., Dumas R., Gaviglio J. & Coantic M . (1976).** *La turbulence en mécanique des fluides. Ed Gauthier-Villars*
- Fluent, (2006).** *V6.3 User's Manual. <http://www.fluent.com>.*
- Fluent (2006).** *Fluent 6.3 User Guide. Fluent Inc., Centerra Resource Park, 10 Cavendish Court, Lebanon, NH 03766, USA.*
- Fluent V6.3 (2006).** *user's manual. <http://www.fluent.com>,*
- Gromke C, Ruck B. (2007).** *Influence of trees on the dispersion of pollutants in an urban streetcanyon — experimental investigation of the flow and concentration field. Atmospheric Environment;41:3287–302.*
- Gromke C, Ruck B (2008).** *Aerodynamic modeling of trees for small scale wind tunnel studies. Special Issue on Wind and Trees in Forestry;81:243–58.*
- Gromke C, Ruck B (2009).** *On the impact of trees on dispersion processes of traffic emissions in street canyons. Boundary-Layer Meteorology;131:19–34.*
- Gromke C, Buccolieri R, Di Sabatino S, Ruck B (2008).** *Dispersion study in a street canyon with tree planting by means of wind tunnel and numerical investigations — evaluation of CFD data with experimental data. Atmospheric Environment;42:8640–50.*
- Gromke C, Ruck B (2005).** *Die Simulation atmosphärischer Grenzschichten in Windkanälen. Proc. 13. GALA Fachtagung "Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik", pp. 51-1–51-8.*
- Gromke, C. and B. Ruck, in press (2007).** *On the impact of trees on dispersion processes of traffic emissions in street canyons. UAQ Special Issue in Boundary Layer Meteorology, accepted for publication.*
- Gross, G., (1987).** *A numerical study of the air flow within and around a single tree. Boundary Layer Meteorology, 40, 311-327.*
- Gromke, C. and B. Ruck, B., (2005).** *Die Simulation atmosphärischer Grenzschichten in Windkanälen. Proc. 13. GALA Fachtagung "Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik", September 2005, 51-1 - 51-8.*
- Groleau D. & M C. (1992).** *Évaluation géométrique des facteurs de forme dans une scène avec prise en compte des masques et de l'ensoleillement. Journée d'étude de la SFT du 25 mars.*
- Guilloteau E (1999).** *Modélisation des sols urbains pour les simulations de l'atmosphère aux échelles sub-méso. Thèse de doctorat de l'Université de Nantes, Ecole Centrale de Nantes.*
- Groleau, D. et Bourges, B. (2005).** *Contrat de recherche et de développement relatif à*

*l'approche bioclimatique globale des ambiances urbaines et des stratégies énergétiques, à l'échelle d'un territoire en renouvellement urbain : le gpv malakoff pré gauchet - rapport final - . Rapport technique, Nantes*

**Groleau, D., Fragnaud, F. et Rosant, J.-M. (2003).** *Simulation of the radiative behavior of an urban quarter of marseille with the Solene model. In ICUC'5 Fifth International conference on urban climate, Lodz (Poland). University of Lodz : Faculty of geographical sciences : Department of meteorology and Climatology.*

**Groleau, D. et Marenne, C. (1995).** *Evaluation et simulation de l'ensoleillement dans les projets architecturaux et urbains. ii solene approche numérique de l'ensoleillement les techniques héliodon et masque. CERMA UMR CNRS 1563. 35p.*

**Groleau, D. (2000).** *Solene un outil de simulation des éclairagements solaires et lumineux dans les projets architecturaux et urbains. In Les professionnels de la Construction - Confort intérieur : Outils informatiques d'aide à la conception et à la prévision du confort thermique, acoustique et d'éclairage, Rouen.*

**Gousseau P, B. Blocken , G.J.F. van Heijst. (2011).** *CFD simulation of pollutant dispersion around isolated buildings: on the role of convective and turbulent mass fluxes in the prediction accuracy Accepted for publication in Journal of Hazardous Materials, August 4, 2011*

**Goger T (2006).** *Un indicateur d'impact environnemental global des polluants atmosphériques émis par les transports. Thèse de doctorat. Lyon*

**Glockner S (2000).** *Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes. Thèse de doctorat l'université bordeaux I.*

**Chauvet, C., Kastner-Klein, P., Kovar-Panskus, A., Savory, E., Schatzmann, M., (2001).** *The use of wind tunnels in modelling air quality street canyons. Final Report of the TMR Research Network TRAPOS: Optimization of Modelling Methods for Traffic Pollution Streets. European Commission.*

**Givoni, B et al (2003).** *Outdoor comfort research issues, Energy and Buildings, Vol. 35, pp. 77-86.*

**Givoni, B (1998).** *Climate considerations in building and urban design, John Wiley & Sons, New York.*

**Givoni, B (1978).** *L'homme, l'architecture et le climat, John Wiley & Sons, New York.*

**Gômez, F, Gli, L et Jabaloyes, J (2004).** *Expérimental investigation on the thermal comfort in the city: relationship with the green areas, interaction with the urban microclimate, Building and Environment, Vol. 39, pp. 1077-1086.*

**Hang, J., Sandberg, M., Li, Y., (2009).** *Age of air and air exchange efficiency in idealized city models. Building and Environment 44, 1714e1723.*

**Hang, J., Sandberg, M., Li, Y., (2010).** *Flow mechanisms and flow-capacity in idealized*

*long-street models. Building and Environment 45, 1042e1053.*

**Huang, H., Ooka, R., Kato, S., Jiang, T., (2006).** *CFD analysis of ventilation efficiency around an elevated highway using visitation frequency and purging flow rate. Wind and Structure 9, 297e313.*

**Huang, Y., Hu, X., Zeng, N., (2009).** *Impact of wedge-shaped roofs on airflow and pollutant dispersion inside urban street canyons. Building and Environment 44, 2335e2347.*

**Hang, J., Sandberg, M., Li, Y., (2009).** *Effect of urban morphology on wind condition in idealized city models. Atmospheric Environment 43 (4), 869–878*

**Huang, Y., Hu, X., Zeng, N., (2009).** *Impact of wedge-shaped roofs on airflow and pollutant dispersion inside urban street canyons. Building and Environment 44, 2335e2347.*

**Hang, J., Sandberg, M., Li, Y., (2009).** *Effect of urban morphology on wind condition in idealized city models. Atmospheric Environment 43 (4), 869–878.*

**Holmberg, S., Sandberg, M., Mattsson, M., Nilsson, H., Holmér, I. (2000).** *Indoor air quality and climate control parameters in an office environment CFD calculations and measurements, Proceedings of the Roomvent 2000, 7th Int. Conference on Air Distribution in Rooms, Reading, United Kingdom.*

**Houda S, N. Zemmouri, R. Athmani and R. Belarbi (2011).** *Effect of urban morphology on wind flow distribution in dense urban areas. Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°1 85 – 94*

**Harten. A (1983).** *High resolution scheme for hyperbolic conservation laws. Journal of Computational Physics, 49 :357{393.*

**Hang J, Sandberg M, Li Y (2009).** *Effect of urban morphology on wind condition in idealized city models. Atmospheric Environment;43:869–78.*

**Hang J, Mats Sandberg , Yuguo Li , Leif Claesson (2009).** *Pollutant dispersion in idealized city models with different urban morphologies. Atmospheric Environment 43 6011–6025*

**Hang J, Mats Sandberg, Yuguo Li (2009).** *Effect of urban morphology on wind condition in idealized city models. Atmospheric Environment 43 869–878*

**Hang J, Mats Sandberg, Yuguo Li , Leif Claesson (2009).** *Pollutant dispersion in idealized city models with different urban morphologies. Atmospheric Environment 43 6011–6025*

**Joel H.Ferziger and Milovan Peric (1996).** *Computational Methods for Fluid Dynamics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.*

**Klaus A. Ho\_mann. (1989).** *Computational FLuid Dynamics for Engineers. SciTech Typing Service of Austin, Texas*

**Kurganov A and E. Tadmor.( 2002).** *Solution of two-dimensional riemann problems for*

- gaz dynamics without riemann problem solvers. Numer. Methods Partial Differential Equations*, 18 :584-608.
- Korsakissok I (2009).** *Changements d'échelle en modélisation de la qualité de l'air et estimation des incertitudes associées. Thèse de doctorat de l'Université Paris-Est.*
- Kim, J.J., Baik, J.J., (1999).** *A numerical study of the thermal effects on flow and pollutant dispersion in an urban street canyon. Journal of Applied Meteorology* 38, 1249–1261.
- Kim, J.J., Baik, J.J., (2001).** *Urban street canyon flows with bottom heating. Atmospheric Environment* 35, 3395–3404.
- Launder, B.E., (1989)** *Second-moment closure: present... and future?. International Journal of Heat Fluid Flow*, 10 (4), 282-300.
- Liu, H.P., Zhang, B.Y., (2001).** *A laboratory simulation of plume dispersion in stratified atmospheres over complex terrain. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 89, 1–15.
- Liu, H.P., Zhang, B.Y., (2001).** *A laboratory simulation of plume dispersion in stratified atmospheres over complex terrain. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 89, 1–15.
- Lee, I.Y., Park, H.M., (1994).** *Parameterization of the pollutant transport and dispersion in urban street canyons. Atmospheric Environment* 28, 2343–2349.
- L'UVE de Brest (2002).** *Etude de simulation de dispersion des polluants atmosphériques émis par l'unité de valorisation énergétique du spernot sur l'année. Etude réalisée à la demande de la Communauté Urbaine de Brest. Bénédicte GUIRIEC*
- Lévy A (2005).** *Formes urbaines et significations : revisiter la morphologie urbaine* <http://www.cairn.info/revue-espaces-et-societes-2005-4-page-25.htm> 2005
- Meroney, R.N., Pavageau, M., Rafailidis, S., Schatzmann, M., (1996).** *Study of line source characteristics for 2-D physical modelling of pollutant dispersion in street canyons. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 62, 37–56.
- Meroney, R.N., Leidl, B.M., Rafailidis, S., Schatzmann, M., (1999).** *Wind tunnel and numerical modelling of flow and dispersion about several building shapes. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 81, 1-3, 333-345.
- Meroney, R.N., (2004).** *Wind tunnel and numerical simulation of pollution dispersion: a hybrid approach. Working paper, Croucher Advanced Study Institute on Wind Tunnel Modeling, Hong Kong University of Science and Technology, 6-10, 60 pp.*
- Meroney, R.N., Leidl, B.M., Rafailidis, S., Schatzmann, M., (1996).** *Study of line source characteristics for 2-D physical modeling of pollutant dispersion in street canyons. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 62, 37–56.
- Mahjoub S, H. Mhiri, S. El Golli, G. Le Palec et Ph. Bournot. (2001).** *Influence de l'Orientation de la Vitesse du Vent sur la Dispersion d'un Polluant autour d'un Bâtiment. Rev. Energ. Ren. Vol. 4 107-123*

- Maizi N, Alioua A, Tahar A (2012).** *Jumelage des bio-indicateurs et d'un réseau de surveillance de la qualité de l'air pour la détection de la pollution par le SO<sub>2</sub> dans la région de Annaba (Algérie).* *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 16(2), 149-158
- Muriel Regard (1999).** *Thèse de doctorat à l'institut national des sciences appliquées de Lyon.*
- Mejelekh1 D, El ganaoui M. (2012).** *Evaluation climatique préliminaire à la position des problèmes de transferts de chaleur et de masse rencontrés dans l bâtiment.* XXXe Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie, 6 au 8 juin
- Martin Skote, Mats Sandberg, Ulla Westerberg, Leif Claesson, Arne V. Johansson. (2005).** *Numerical and experimental studies of wind environment in an urban morphology* *Atmospheric Environment* 39 . 6147–6158.
- Oke, T.R., (1988).** *Street design and urban canopy layer climate.* *Energy and Buildings* 11, 103.
- Oke, T. R., (1988).** "The urban energy balance," *Progress in Physical Geography*, vol.12, pp. 471- 508.
- Oke T. R. (1988).** *Street design and urban layer climate* *Energy and Buildings*, 11(1): 103-113.
- Oke T.R. & Fuggle R.F. (1972).** *Comparaison of urban/rural counter and net radiation at night.* *Boundary Layer Meteo.*, vol. 2, p290-308.
- Oke T.R. (1987).** *Boundary Layer Climates.* Methuen and Co. Ltd., London, 2nd edn.
- Oke, T. R. (2006).** *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites.* *Instruments and Observing Methods, Report No. 81, WMO/TD No. 1250.*
- Ouameur A F. (2007).** *Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics Etude comparative entre trois tissus urbains de la ville de Québec. Mémoire pour l'obtention du grade de Maître es Sciences (M.Se.)*
- Peter Moonen, Thijs Defraeye, Viktor Dorer, Bert Blocken, Jan Carmeliet. (2012).** *Urban Physics: Effect of the micro-climate on comfort, health and energy demand.* *Frontiers of Architectural Research* 1, 197–228.
- Pierre Gousseau , Bert Blocken , Ted Stathopoulos , GertJan van Heijst (2010).** *CFD simulation of pollutant dispersion around buildings: comparison between RANS k-ε and LES approaches* *The Fifth International Symposium on Computational Wind Engineering (CWE2010) Chapel Hill, North Carolina, USA*
- Pedro Dinis Gaspar, Rui F. Barroca and R.A. Pitarma. (2003).** *Performance evaluation of cfd codes in building energy and environmental analysis.* *Eighth International IBPSA Conference.*
- Panerai, P et al. (1980)** *Éléments d'analyse urbaine, Archives D'Architecture Moderne, Bruxelles.*
- Panerai, P, Castex, J et Depaule J.C (1997)** *Formes urbaines : de l'îlot à la barre,*



Éditions Parenthèses, Marseille.

**Ries, K. and J. Eichhorn, (2001).** *Simulation of effects of vegetation on the dispersion of pollutants in street canyons. Meteorologische Zeitschrift, 10, 229-233.*

**Riccardo Buccolieri, Christof Gromke, Silvana Di Sabatino, Bodo Ruck (2009).** *Aerodynamic effects of trees on pollutant concentration in street canyons. Science of the Total Environment. Science of the Total Environment 407 5247–5256*

**Riccardo Buccolieri , Mats Sandberg , Silvana Di Sabatino (2010).** *City breathability and its link to pollutant concentration distribution within urban-like geometries. Atmospheric Environment 44 1894e1903*

**Sakhraoui N, Premat E (2005).** *Difficultés rencontrées lors de l'étude de l'influence des écrans acoustiques sur la dispersion de la pollution. Le cas de Givors CETE de Lyon. Certu centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques. Sétra : service d'Études techniques des routes et des autoroutes*

**Sempey A (2007).** *Prise en compte du champ thermo-convectif pour le contrôle thermique des espaces habitables. thèse de doctorat à l'université de la Rochelle.*

**Seigneur C (2009).** « *Modélisation de la pollution atmosphérique* » *Dispersion atmosphérique. Cours SGE*

**Silvana Di Sabatino, Riccardo Buccolieri, Beatrice Pulvirenti and Rex Britter (2007).** *Application and validation of FLUENT flow and dispersion modelling within complex geometries. Developments in Environmental Science, Volume 6 C. Borrego and E. Renner (Editors) Copyright r Elsevier*

**Silvana Di Sabatino, Riccardo Buccolieri, Beatrice Pulvirenti and Rex Britter (2007).** *Application and validation of FLUENT flow and dispersion modelling within complex geometries. Developments in Environmental Science, Volume 6 C. Borrego and E. Renner (Editors) Copyright r Elsevier*

**Sotiris Vardoulakis, Bernard E.A. Fisher, Koulis Pericleous, Norbert Gonzalez-Flesca (2003).** *Modelling air quality in street canyons: a review. Atmospheric Environment 37 155–182*

**Sotiris Vardoulakisa, Bernard E.A. Fisher, Koulis Pericleousa, Norbert Gonzalez-Flesca (2003).** *Modelling air quality in street canyons: a review. Atmospheric Environment 37 155–182*

**Song, C., Chen, G., Hanna, S., Crawford, J. et Davis, D. (2003).** *Dispersion and chemical evolution of ship plumes in the marine boundary layer : Investigation of O<sub>3</sub> NO<sub>y</sub> HO<sub>x</sub> chemistry version. J. Geophys. Res., 108:4143.*

**Tang, W., Huber, A., Bell, B., Kuehlert, K., Schwarz, W., (2005).** *Example application of CFD simulations for short-range atmospheric dispersion over the open fields of Project Prairie Grass, A&WMA Conference, 2005, Paper # 1243.*

**Turner, D.B., (1970).** *Workbook of atmospheric dispersion estimates. Environmental*

*Protection Agency, Environmental Health Series, Air Pollution, 84pp.*

**Thibaut G. (1996) :** *La pollution atmosphérique en milieu urbain, Direction de la protection de l'environnement, service des pollutions atmosphériques, Air et Silence, Mairie de Paris, 57 p.*

**Theurer, W., (1999).** *Typical building arrangements for urban air pollutant modelling. Atmospheric Environment 33, 4057–4066*

**Turbelin G. (2000),** « *Modélisation de la turbulence atmosphérique en vue de l'étude du chargement aérodynamique des structures soumises aux effets du vent* ».

*Thèse soutenue le 14 janvier 2000 à l'Université d'Evry – Centre d'Etudes de Mécanique d'Ile-de-France.*

**Tsoka S.** *Relations entre morphologie urbaine, microclimat et confort des piétons. Application au cas des Eco-quartiers. Master Sciences et Techniques des Environnements Urbains. l'Ecole Supérieure d'Architecture de Nantes, l'Université de Nantes*

**Turner D. B. (1970).** « *Workbook of atmospheric dispersion estimates* ». *Public Health Service Publication n°999-Ap-26.*

**UMR 1563 (2002-05).** *Ambiances architecturales et urbaines. Rapport d'activité. CERMA. CRESSON. TOME 2*

**Vardoulakis, S., Gonzalez-Flesca, N., Fisher, B.E.A., (2002).** *Assessment of traffic-related air pollution in two street canyons in Paris: implications for exposure studies. Atmospheric Environment 36, 1025–1039.*

**Vardoulakis, S., Fisher, B.E.A., Gonzalez-Flesca, N., Pericleous, K., (2002).** *Model sensitivity and uncertainty analysis using roadside air quality measurements. Atmospheric Environment 36, 2121–2134.*

**Van Hooff, B. Blocken, (2010).** *Coupled urban wind flow and indoor natural ventilation modelling on a high resolution grid: A case study for the Amsterdam ArenA stadium, Environ. Modell. Software 25 51- 65.*

**Vardoulakis S, Fisher BEA, Pericleous K, Gonzalez-Flesca N(2003).** *Modelling air quality in street canyons: a review. Atmospheric Environment;37:155–82.*

**W.-W. Li, R.N. Meroney, (1983).** *Gas dispersion near a cubical model building – Part I. Mean concentration measurements, J. Wind Eng. Ind. Aerod. 12 15-33.*

**Xie, X.M., Huang, Z., Wang, J.S., (2005).** *Impact of building configuration on air quality in street canyon. Atmospheric Environment 39, 4519–4530.*

**Xie, X.M., Huang, Z., Wang, J., (2006).** *The impact of urban street layout on local atmospheric environment. Building and Environment 41 (10), 1352–1363.*

**Xie Xiao-min, HUANG Zhen and WANG Jia-song (2004).** *Study on street canyon flows with bottom heating. Journal of Hydrodynamics, Ser. A, 19(Suppl.): 865-870(in Chinese).*

**Xie Xiao-min, HUANG Zhen (2005).** *Thermal effects on vehicle emission dispersion in an urban street canyon. Transportation Research Part D: Transportation and Environment,*

10(3): 197-212.

- Xie, Z.T., Castro, I.P., (2009).** *Large-eddy simulation for flow and dispersion in urban streets. Atmospheric Environment* 43, 2174e2185.
- Xie, X., Huang, Z., Wang, J., (2005).** *Impact of building configuration on air quality in street canyon. Atmos. Enviro.* 39, 4519–4530.
- Xia, J., Leung, D.Y.C., (2001).** *Numerical study on flow over building in street canyon. Journal of Environmental Engineering* 127, 369–375.
- Xie X, Liu CH, (2007).** *Leung DYC. Impact of building facades and ground heating onwind flowand pollutant transport in street canyons. Atmospheric Environment;41:9030–49.*
- Yarwood, G., Rao, S., Yocke, M. et Whitten, G. (2005).** *Updates to the carbon bond chemical mechanism : CB05 \_nal report to the US EPA. RT-0400675. available at [http://www.camx.com/publ/pdfs/CB05\\_Final\\_Report\\_120805.Pdf](http://www.camx.com/publ/pdfs/CB05_Final_Report_120805.Pdf)*
- Yelva Roustan (2005).** *Modélisation de la dispersion atmosphérique du mercure, du plomb et du cadmium à l'échelle européenne. Thèse de doctorat l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées Spécialité : Sciences et techniques de l'environnement.*
- Zhang C.X. (1991).** *Simulation numérique d'écoulements turbulents autour d'obstacles, Thèse de l'Université de Nantes, École Centrale de Nantes.*
- Zhu, Y., Hinds, W., Shen, S. et Sioutas, C. (2004).** *Seasonal trends of concentration and size distribution of ultra\_ne particles near major highways in Los Angeles. Aerosol Sc. and Tech., 38:5{13. 113*
- Zhou, X.H., J.R. Brandle, E.S. Takle and C.W. Mize, (2002).** *Estimation of the three-dimensional aerodynamic structure of a green ash shelterbelt. Agricultural and Forest Meteorology, 111, 93-108.*
- Zhang, Y., Bocquet, M., Mallet, V., Seigneur, C. et Baklanov, A. (2012).** *Real-time air quality forecasting, part I : History, techniques, and current status. Atmos. Env., 60:632655.*