

République Algérienne Démocratique et Populaire
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
Département de géographie et aménagement des territoires
Faculté science de la terre et de l'univers



Mémoire de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de master en
Changement Climatique et adaptation

Thème :

**LA PRISE EN COMPTE DE L'ADAPTATION AU CHANGEMENT
CLIMATIQUE EN MILIEU URBAIN À TRAVERS
L'UTILISATION DE L'OUTIL DE SIMULATION CFD FLUENT
EXEMPLE : DEUX SECTEURS URBAIN
DE L'AGGLOMÉRATION ORANAISE**

Présenté par :

Hayat BELHORMA

Sous la direction :

Encadreur : **Mr . Mustapha CHACHOUA**
Co-encadreur : **Mr. Khaled MAHDI**

Jury :

President du jury : **Mr. Abdelaziz KOUTI**

Examineur : **Mr . Sayah MENHOUDJ**

Encadreur : **Mr . Mustapha CHACHOUA**

Co-encadreur : **Mr.Khaled MAHDI**

Oran 2016



Remerciement

Sommaire

Nomenclature

Introduction Générale1

Problématique de recherche.....3

Méthodologie d'approche.....4

***Chapitre I : le climat dans la ville à l'heure des
changements climatiques***

I.1 Introduction.....5

I.2 Les changements climatiques à l'échelle planétaire.....5

I.2.1 Causes du changement climatique.....5

I.2.2 Un réchauffement climatique sans équivoque.....6

I.3 Les changements climatiques en Algérie.....6

I.3.1 Les gaz à effet de serre en Algérie.....7

I.3.2 La problématique des changements climatiques en Algérie.....8

I.3.3 Evolution future du climat en Algérie.....8

I.4 Le climat urbain : une synthèse de microclimats ?.....10

I.4.1 Définition du microclimat.....10

I.4.2 Echelles de climatologie.....10

I.4.3 Types de microclimats.....11

I.4.4 Les éléments qui déterminent le microclimat d'un site.....11

I.5 Les paramètres du microclimat.....12

I.5.1 La température.....12

I.5.2 La course du soleil.....13

I.5.3 Le rayonnement solaire.....15

I.5.3.1 Mouvement apparent du soleil.....15

I.5.3.2 Les types de rayonnements.....	16
I.5.4 Le vent.....	18
I.5.4.1 Les vitesses du vent au niveau microclimatique.....	18
I.5.4.2 Caractéristiques du vent.....	18
I.5.4.3 Les types des vents.....	20
I.5.5 les précipitations.....	21
I.5.6 L'humidité relative de l'air.....	22
I.6 Conclusion.....	23

Chapitre II : Quelle adéquation entre la morphologie urbaine et le microclimat urbain ?

II.1 Introduction.....	24
II.2 Les principaux éléments qui affectent le climat urbain.....	24
II.3 L'îlot de chaleur urbain.....	26
II.3.1 Caractéristiques de l'îlot de chaleur urbain.....	26
II.3.1.1 Caractéristiques temporelles et spatiales.....	26
II.3.1.2 Formalisation du bilan énergétique à l'échelle d'une ville.....	28
II.3.1.3 Conditions optimale de développement du phénomène.....	28
II.4 Causes du phénomène d'îlot de chaleur urbain.....	29
II.4.1 Rôle des propriétés radiatives et thermiques des matériaux.....	29
II.4.2 Rôle de la géométrie des rues.....	29
II.5 La morphologie urbaine.....	29
II.5.1 Qu'est-ce qu'une morphologie urbaine ?.....	29
II.5.2 La couche limite urbaine.....	30
II.5.2.1 La couche limite de surface.....	30
II.5.2.2 La sous-couche de rugosité (RS – RoughnessSub-layer).....	31
II.5.2.3 La canopée urbaine.....	31
II.5.3 Caractérisation de la morphologie urbaine à travers des indicateurs.....	32

II.6 Un exemple d'étude : Le vent urbain et la morphologie urbaine.....	34
II.6.1 L'effet canyon.....	36
II. 6.2 L'implantation d'un bâtiment de grande hauteur dans un tissu urbain.....	36
II.6.3 les ensembles de bâtiments élevés.....	37
II.7 Conclusion.....	39

Chapitre III : Méthodes numériques et présentation du code "FLUENT"

III.1 Introduction.....	40
III.2 Présentation du code de calcul.....	40
III.3 Les grandes méthodes pour formuler un problème continu sous forme discrète..	42
III.3.1 Méthodes des différences finies.....	42
III.3.2 Méthodes des éléments finis.....	42
III.3.3 Méthodes des volumes finis.....	42
III.4 Maillage.....	43
III.4.1 Qualité du maillage.....	43
III.4.2 Indépendance du maillage.....	44
III.4.3 Traitement près des parois.....	45
III.5 Étapes de résolution du problème.....	45
III.5.1 La création de la géométrie.....	45
III.5.2 Schéma de discrétisation.....	46
III.5.3 Identification des conditions aux limites.....	49
III.5.4 Le choix du modèle mathématique.....	50
III.5.5 Le choix de l'algorithme.....	51
III.5.6 Résolution numérique.....	53
III.6 Génération des calculs par FLUENT.....	54

III.7 Modélisation de l'écoulement d'air.....	54
III.7.1 L'équation de conservation de la masse.....	55
III.7.2 L'équation de bilan de quantité de mouvement.....	55
III.7.3 Les équations de la thermique.....	55
III.8 Modélisation de la turbulence.....	56
III.9 conclusion.....	56

Chapitre IV : Résultats et Interprétations

IV.1 Introduction.....	58
IV.2 Fonctionnement du logiciel Fluent.....	58
IV.3 Application du logiciel FLUENT à l'espace urbain oranais.....	59
IV.4 Climatologie de la ville d'Oran.....	59
IV.4.1Le vent.....	59
IV.4.2Le rayonnement solaire.....	61
IV.4.3La température.....	62
IV.5 Présentation du domaine d'étude des HLM.....	63
IV.5.1 Conception de la géométrie par Gambit 2.4.....	64
IV.5.2 L'effet du vent.....	64
IV.5.3 L'effet de la température.....	67
IV.5.4 L'effet de rayonnement.....	75
IV.6 Application du logiciel CFD Fluent à un espace urbain projeté : l'Eco quartier du nouveau pôle urbain d'urbain	83
IV.6.1 Définition d'un éco-quartier.....	83
IV.6.2 L'éco quartier, un concept en construction.....	83
IV.6.3 Critères à intégrer en amont de la conception.....	84
IV.6.4 la situation du projet du nouveau pôle d'Oran.....	85
IV.7 Maillage.....	86
IV.7.1 Conditions initiales et conditions aux limites.....	87

IV.7.2 Etude du rayonnement.....	88
IV.7.3 Effet de température.....	91
IV.7.4 Effet de la vitesse du vent.....	92
IV.8 Conclusion.....	94
Conclusion général.....	95
Annexe A.....	96
Annexe B.....	101
Bibliographie	

Symbole	Description
φ	Grandeur intensive
Γ_φ	Coefficient de diffusion
S_φ	Terme de source
ϕ'	Correction
a_p et a_{nb}	Contributions convectives et diffusives
ρ	Masse volumique du fluide en kg m^{-3}
$\bar{\sigma}$	Tenseur des contraintes en $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$
$\overrightarrow{q''}$	Flux de chaleur
ε	Dissipation visqueuse
G	Production d'énergie cinétique turbulente
Pr_t	Nombre de Prandtl turbulent
μ_t	Viscosité turbulente en $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$
$\bar{\Omega}_{ij}$	Taux moyen de rotation
ω_k	Vitesse angulaire
S_{ij}	Taux moyens de déformation
Ω_{ij}	Taux moyens de rotation
V_h	Vitesse du vent horizontal
u_*	Vitesse de friction en m/s
κ	Constante de Von-Karman
L	Longueur de Monin-Obukhov en m
ψ_m	Fonction de stabilité
m	Masse volumique de l'air en kg/m^3
C_{mp}	Chaleur massique de l'air à pression constante en J/kg.K
T_p	Température de l'air en °K
g	Constante de gravité en m/s^2
q	Flux moyen de chaleur en W/m
α	Exposant de friction
z_0	La rugosité

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

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

L'étude morphologique en relation avec l'analyse et la caractérisation du confort thermique sera une aide à la décision quant à la planification et l'aménagement urbain. La compréhension du confort thermique dans les espaces extérieurs est un paramètre de base pour la conception durable de la ville.

Ensuite, cette décennie a été marquée par l'avènement d'une nouvelle génération de configurations urbaines connue sous l'appellation d'«éco-quartier». Dans ces nouveaux espaces, les aménageurs ont favorisé l'émergence d'une nouvelle façon de concevoir, construire, faire évoluer et gérer l'espace urbain.

Pour concevoir un environnement thermique extérieur (climat extérieur) confortable, les concepteurs ont besoin d'outils robustes qui permettent de prédire de façon correcte la distribution des paramètres physiques (température de surface, rayonnement solaire, vitesse du vent) dans un milieu urbain. Les modèles de simulations numériques CFD (Computational

Fluid Dynamics) permettent d'aider les concepteurs et les décideurs de projets urbains à évaluer la qualité d'un espace public réel ou projeté et ainsi guider leurs choix d'aménagement.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres

Dans le premier chapitre nous présenterons le climat dans la ville à l'heure des changements climatiques et dans le deuxième chapitre nous exprimons la relation entre la morphologie urbaine et le microclimat urbain. Nous donnons une explication détaillée dans le troisième chapitre du code de simulation Fluent CFD (Computational Fluid Dynamics). Les résultats de simulation issus du code Fluent seront présentés dans le quatrième chapitre.

Les grandes agglomérations sont de plus en plus souvent accusées de provoquer des modifications microclimatiques dont la plus importante et connue sous le nom de l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Le développement urbain, qui s'est accélérée les dernières décennies, entraîne la modification des conditions microclimatiques. La géométrie urbaine et les activités humaines réalisées dans le milieu urbain interagissent avec les paramètres microclimatiques (rayonnement solaire, écoulements du vent, température de l'air et de surface), transformant ainsi le climat de la ville. Les bilans thermiques et énergétiques des surfaces urbaines sont aussi modifiés entraînant ainsi un impact direct sur le confort des citoyens.

Il s'agit pour nous d'étudier l'impact des facteurs géométriques et morphologiques sur les conditions microclimatiques et par conséquent sur le confort thermique dans les espaces extérieurs. **Toute la question dans notre présente étude est à la fois de savoir et en même temps d'appréhender et au-delà de montrer l'influence de la morphologie urbaine sur le microclimat et l'ambiance thermique.**

Aussi à l'aide d'un outil intitulé modèle de simulations numériques **CFD (Computational Fluid Dynamics)** nous essayerons de montrer comment la géométrie urbaine interagit avec les paramètres microclimatiques (rayonnement solaire, écoulements du vent, température de l'air et de surface), transformant ainsi le climat de nos villes.

Appliqué à l'agglomération oranaise sur un secteur urbain existant ainsi que sur un secteur projeté dans le cadre du nouveau pôle urbain nous tenterons de montrer la forte corrélation entre les défaillances et les erreurs de conception urbaine et l'augmentation et la généralisation de l'effet d'îlot de chaleur en milieu urbain

La présente recherche vise à étudier la relation entre la morphologie urbaine et les éléments microclimatiques inscrite dans une problématique d'adaptation des villes au changement climatique. Pour ce faire, nous avons opté pour une agglomération : Oran, dont le poids et les diversités à l'intérieur du tissu urbain militent pour une attention continue aux questions liées au climat urbain.

L'observation du phénomène va s'effectuer sur deux portions de l'espace urbain de l'agglomération oranaise. Il s'agit dans un premier temps d'un quartier existant : les HLM et ensuite d'un quartier projeté : l'ECO QUARTIER dans le cadre du projet du nouveau pôle urbain d'Oran.

Pour répondre à la problématique identifiée précédemment. Le travail comprend les étapes suivantes :

- Une étude bibliographique effectuée sur le changement climatique et les microclimats urbains.
- Une analyse du climat urbain et la morphologie urbaine qui permettrait d'identifier les interrelations et les adéquations entre les deux dimensions.
- Description du code de simulation CFD (ComputationalFluid Dynamics) utilisé pour estimer l'influence de certains éléments météorologiques (vent, température, rayonnement solaire) en milieu urbain.
- Une application du code de simulation CFD sur les deux quartiers et interpréter les résultats de simulations.
- Montrer l'importance de l'utilisation des outils techniques et scientifiques dans les démarches qui consistent à appréhender le phénomène d'ilot de chaleur urbain.

I.1 Introduction

La ville est un système complexe particulièrement affecté par le changement climatique, ses bâtiments consomment une grande quantité de l'énergie par l'utilisation de climatisation ou de chauffage), et émettent des gaz à effet de serre vers l'atmosphère ; ce qui engendre une modification du climat locale de nos villes [1].

Ce chapitre est composé de deux parties ; la première possède à des généralités sur les changements climatiques à l'échelle planétaire et à l'échelle nationale , en deuxième lieu nous parlerons du climat urbain : une synthèse de microclimats ?, en définissant les échelles de climatologie et les types de microclimat, en suite nous citons les éléments qui déterminent le microclimat d'un site et en dernier temps nous évaluerons les paramètres microclimatiques locaux en milieu urbain.

I.2 Les changements climatiques à l'échelle planétaire

Le changement climatique est en cours et ses conséquences se manifestent déjà aux quatre coins du globe : réchauffement planétaire, élévation du niveau de la mer, augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes et altération de la distribution des précipitations. Il correspond à une « variation de l'état du climat, que l'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus »(GIEC2007). Il s'agit donc d'un phénomène de long terme, mesurable, et source de perturbations dans l'équilibre des systèmes naturels et humains [2].

I.2.1 Causes du changement climatique

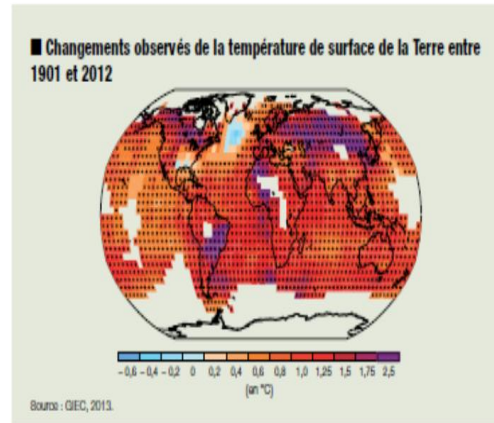
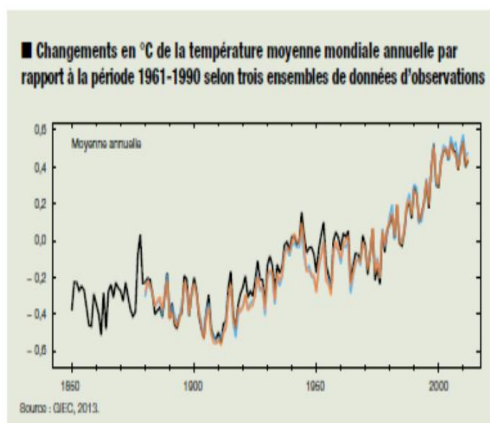
- Le changement climatique peut résulter de modifications du bilan énergétique de la terre sous l'effet de processus naturels et anthropiques.
- Selon le GIEC, c'est l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre (GES) issus des activités humaines qui, en piégeant plus d'énergie dans l'atmosphère, est la cause majeure du changement climatique récent. Le dioxyde de carbone, le méthane, les hydrocarbures halogénés et le protoxyde d'azote sont les principaux gaz contributeurs.

Le GIEC conclut ainsi dans le premier volume de son 5e rapport d'évaluation qu'il est extrêmement probable que l'influence de l'homme soit la cause principale du réchauffement observé depuis le milieu du XXe siècle [2].

I.2.2 Un réchauffement climatique sans équivoque

Beaucoup de changements observés depuis les années 1950 sont sans précédent depuis des décennies, voire des millénaires. Un ensemble d'observations donne une image cohérente d'un réchauffement du système climatique [2] :

- Augmentation conséquente des températures moyennes de surface : + 0,85°C entre 1880 et 2012 ; 19 des 20 dernières années figurent au palmarès des 20 années les plus chaudes depuis 1850.
- Réchauffement des océans et augmentation de leur niveau : entre 1901 et 2010, le niveau moyen mondial des mers a augmenté de 17 à 21 cm, principalement sous l'effet de la fonte des glaciers continentaux et de la dilatation due à l'augmentation de la température de l'eau.
- Réduction de la cryosphère (eau à l'état solide) : la banquise arctique a notamment diminué à une vitesse de 3,5 et 4,1 % par décennie sur la période 1979-2012 »



I.3 Les changements climatiques en Algérie

Selon le rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement publié en l'année 2000 par le Ministère de l'aménagement du territoire et l'environnement, l'Algérie a ratifié, par décret n° 93-99 du 10 Avril 1993, la Convention Cadre sur les Changements Climatiques (CCCC). Cette dernière se rapporte particulièrement à la stabilisation des émissions des gaz à effet de

serre pour empêcher une interférence de l'homme avec le système climatique. (N.Achour Bouakkaz 2006).

Les deux principes directeurs de la convention sont :

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

I.3.1 Les gaz à effet de serre en Algérie

Parmi les activités humaines émettrices des gaz à effet de serre (GES) en citant :

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

Les émissions variables liées aux activités gazières et pétrolières sont loin d'être négligeables (figure II.1). Néanmoins, l'absence de coefficients d'émissions spécifiques à l'Algérie a fait que dans la majeure partie des calculs, ce sont les facteurs d'émissions par défaut, proposés

Par le manuel de référence de l'inventaire (GIEC), qui ont été utilisés (N.Achour-Bouakkaz 2006).

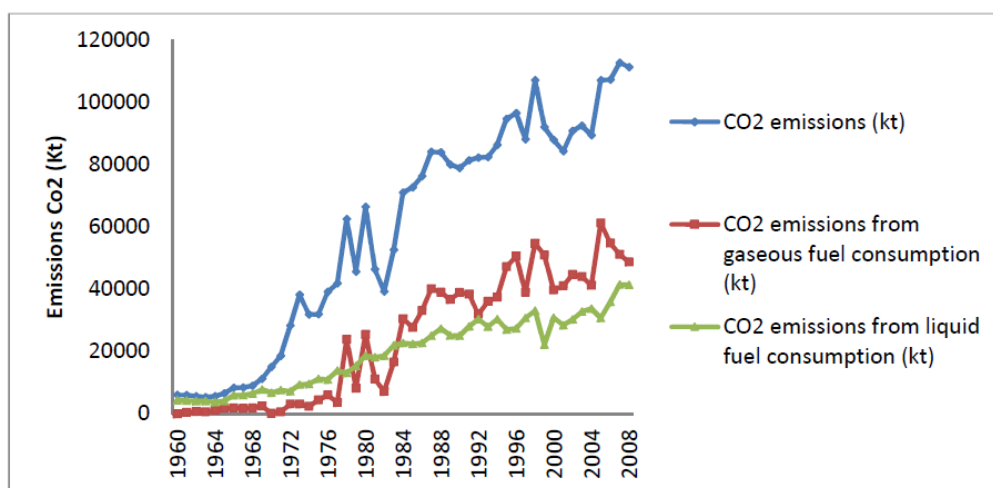


Figure I.1 : Emissions de CO₂ en Algérie (Source : <http://www.data.un.org>).

L'Algérie, par sa position géographique, climatique et écologique ressentira d'avantage les changements climatiques qui s'exprimeront à travers la diminution quantitative et qualitative

des ressources en eau, la baisse des rendements agricoles, la dégradation des écosystèmes, l'assèchement des Oueds...

I.3.2 La problématique des changements climatiques en Algérie

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

Le principe de précaution dans le cadre des changements climatiques vise deux objectifs :

- ❖ l'atténuation des émissions dues aux activités humaines, des gaz à effet de serre
- ❖ l'adaptation, pour limiter les impacts potentiels de ces changements » (N.Achour-Bouakkaz 2006).

I.3.3 Evolution future du climat en Algérie

La grande variabilité naturelle des éléments du climat méditerranéen, qui caractérise l'Algérie, rend assez difficile la détection d'un changement climatique. Néanmoins, des études récentes menées par le service climatique de l'ONM (office nationale de la météorologie) d'Alger, stipulent qu'il y a un changement bien marqué dans notre climat, pas seulement à l'échelle national, mais aussi à l'échelle régionale notamment au niveau des villes. Les graphes suivants indiquent clairement l'évolution en question (N.Achour-Bouakkaz 2006) :

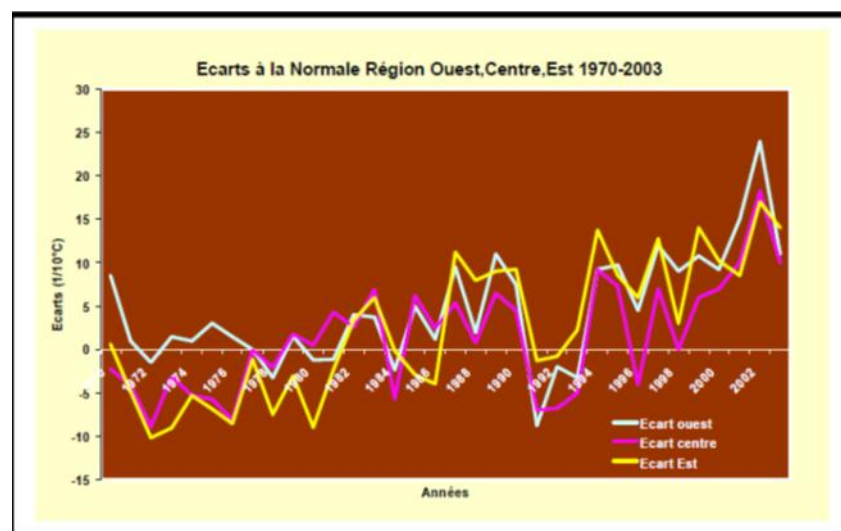


Figure I.2 : Les écarts par rapport à la normale des températures : Région Ouest, Centre, Est- Algérie 1970-2003. (**Source** : D.Boucherf, ONM Alger 2004)

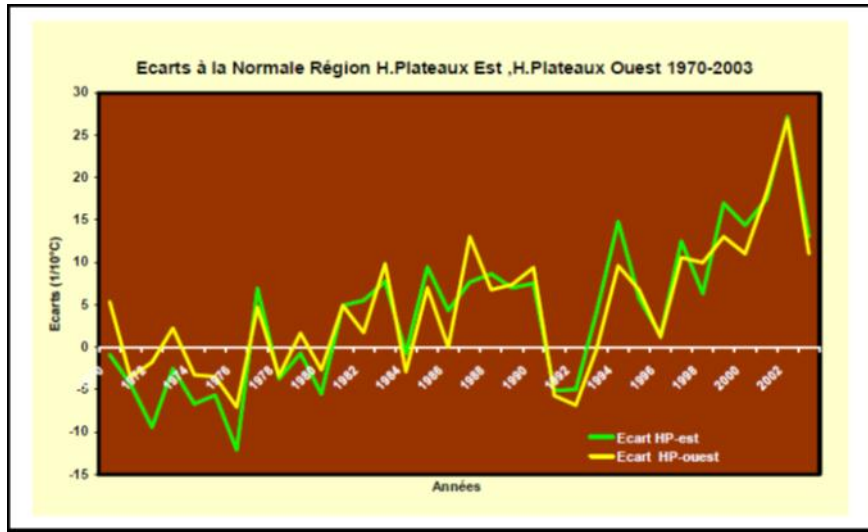


Figure I.3 : Les écarts par rapport à la normale des températures : Région Hauts plateaux Est, Hauts plateaux Ouest- Algérie 1970-2003. (**Source** : D.Boucherf, ONM Alger 2004)

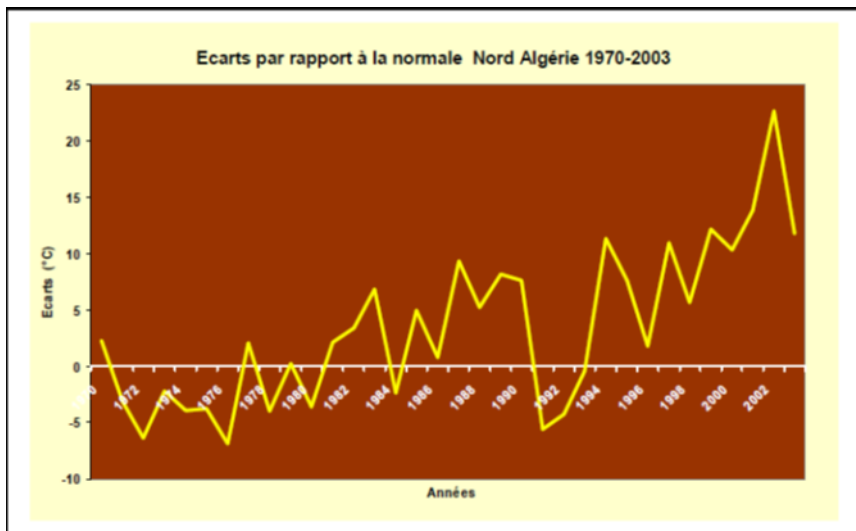


Figure I.4 : Les écarts par rapport à la normale des températures : Région Nord Algérie 1970-2003. (**Source** : D.Boucherf, ONM Alger 2004)

Dans la région Ouest, Centre et Est, ou encore pour les Hauts plateaux et le Nord Algérien, l'Evolution des écarts de température par rapport à la normale est très claire. A partir des

graphes, on peut distinguer deux périodes. La première commence de 1970 à 1983 et la seconde est comprise entre 1984 et 2003 (N.Achour-Bouakkaz 2006) :

- **De 1972 à 1983** : On constate que pour les trois régions, les écarts sont négatifs et varient entre 0 et -10 °C et ne commencent à prendre une valeur positive qu'à partir de 1983 pour les régions Est, Ouest, Centre et Hauts plateaux, tandis que pour la région Nord, le passage aux valeurs positives s'est effectué 2 ans plutôt, à savoir en 1981.
- **A partir de 1984 jusqu'à 2003** : La tendance est aux valeurs positives pour les écarts de température variant entre 0 et 15 °C jusqu'en 2002 et atteignant une valeur maximale de 25°C en 2003. Cependant, il y a eu un léger retour vers les valeurs négatives entre 1992 et 1994.
- Les écarts de températures étaient négatifs entre 1970 et 1983, ces derniers ont commencé à prendre des valeurs positives en moyenne à partir de 1981 pour l'ensemble des régions du territoire Algérien, à partir de là, ils n'ont fait qu'augmenter d'année en année, jusqu'à atteindre une valeur maximale de 25°C en 2003. Ceci, démontre clairement qu'il y a un changement climatique à long terme (N.Achour-Bouakkaz 2006).

En conclusion, que ce soit à l'échelle mondiale ou à l'échelle régionale, les projections climatiques prévoient une amplification du réchauffement climatique, potentiellement exacerbée en milieu urbain. L'Algérie, n'échappe en aucun cas à ce phénomène, ce dernier peut avoir des conséquences écologiques, sanitaires, et économiques dramatiques à l'échelle des villes qui concentrent la population.

I.4 Le climat urbain : une synthèse de microclimats ?

I.4.1 Définition du microclimat

Le microclimat indique généralement des conditions climatiques limitées à une région géographique très restreinte, significativement distinctes du climat général de la zone où se situe cette région. Un microclimat est le climat distinctif d'un secteur à petite échelle, comme un jardin, un parc, une vallée ou une partie d'une ville (A.BALLOUT 2010).

I.4.2 Echelles de climatologie

Avant d'analyser les éléments du microclimat, il est important de citer les différentes échelles d'étude en climatologie [Vinet 00, CSTB 95] :

- **L'échelle global ou échelle « macro »** : qui se situe en quelques 103 kilomètres loin de la surface terrestre qui correspond aux phénomènes définitifs pour les principales variations climatiques et saisonnières.
- **L'échelle régional ou l'échelle « méso »** qui se prolonge jusqu'à quelques centaines de kilomètres. Les reliefs et l'emplacement de la région par rapport aux déplacements d'air affecte le climat à ce niveau.
- **L'échelle locale** qui se prolonge à quelques dizaines de kilomètres correspond aux changements climatiques régionaux créés par la présence d'une vallée et de la mer. C'est l'échelle des modifications de régime du vent et des brises thermiques.
- **L'échelle microclimatique** est limitée à quelques centaines de mètres. C'est l'échelle où l'intervention de l'homme peut impacter les conséquences climatiques.

I.4.3 Types de microclimats

Il existe plusieurs types de microclimat en citant :

- le climat d'une étendue limitée résultant de la modification du climat général sous l'effet de différences locales d'altitude (falaise, vallée) et/ou d'exposition (exemple : pente ou ombres portées), d'albédo ou de végétation, de présence ou absence d'eau ou de vent, etc.
- une série de variations climatiques à l'intérieur d'une très petite région (terril en combustion...).
- une modification du climat liée à la proximité d'une source de chaleur (une modification induite par la présence d'un milieu particulier (et donc d'espèces particulières).
- microclimat urbain, contribuant au phénomène de « bulle de chaleur urbaine »

I.4.4 Les éléments qui déterminent le microclimat d'un site

La topographie, la nature du sol, la végétation et l'urbanisme influencent entre autres les données microclimatiques d'un lieu. Dès lors, la conception des espaces publics nécessite de prendre en compte non seulement les données climatiques mesurées à la station météorologique la plus proche mais aussi les composantes de l'environnement construit et naturel du site étudié (S.Reiter 2007).

Au niveau local, les paramètres climatiques dépendent de:

- la topographie du site et de ses environs,
- la nature du sol sur le site et ses environs (mer, forêt, ville,...),
- l'aménagement du site et de ses environs (bâtiments, arbres, ...).

I.5 Les paramètres du microclimat

I.5.1 La température

Le relief influence la répartition des températures, les possibilités d'ensoleillement ainsi que les phénomènes de nébulosité et de régime des vents. Selon leur orientation et inclinaison) que par son influence sur le régime des vents. Les faces exposées au vent sont plus froides que les faces masquées et si le relief protège certains sites, il en surexpose d'autres (A.BALLOUT 2010).

La figure suivante montre l'évolution spécifique des températures extérieures sur 24 heures en trois points d'un relief montagneux (S.Reiter 2007) :

- Le premier étant situé dans la vallée,
- le second au milieu de la pente,
- Le troisième au sommet

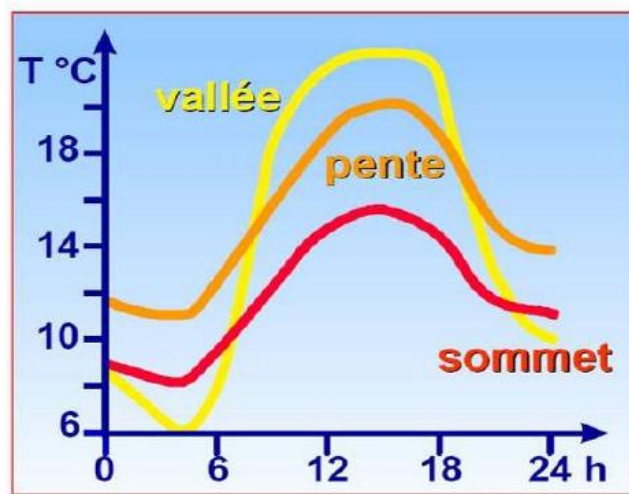


Figure I.5 : Variation des températures suivant la situation dans le relief. (**Source :** Alain Liébard , André De Herde 2006)

On remarque que

- Les vallées sont plus chaude que les sommets dans le jour, par contre pendant la nuit, l'air se refroidit et sera plus lourd que l'air chaud et coule donc vers la

vallée, tout en remplissant les dépressions locales, et s'accumule au fond de la vallée.

- pendant la nuit, Les pentes sont les zones où la température est la plus élevée et dans les vallées les températures sont les plus froides.

L'altitude influence aussi la température. La pression diminuant avec l'altitude, l'air se détend et se refroidit. Cette diminution de température est de l'ordre de $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ par accroissement de 100 m (S.Reiter 2007).

La figure I.6 explique les problèmes d'exposition d'ombrage mutuel et de ceinture chaude. La topographie peut constituer un ombrage important à l'ensoleillement en hiver, où les vallées orientées est-ouest risquent d'être en permanence à l'ombre. Les variations d'ensoleillement induisent une variation de température entre le haut et le bas des vallées. Cette situation provoque des fluctuations de pression et un mouvement des masses d'air. Les brises remontent les vallées pendant la journée lorsque les sommets bénéficient d'un ensoleillement et d'un réchauffement supérieur à celui de la plaine (A.BALLOUT 2010).

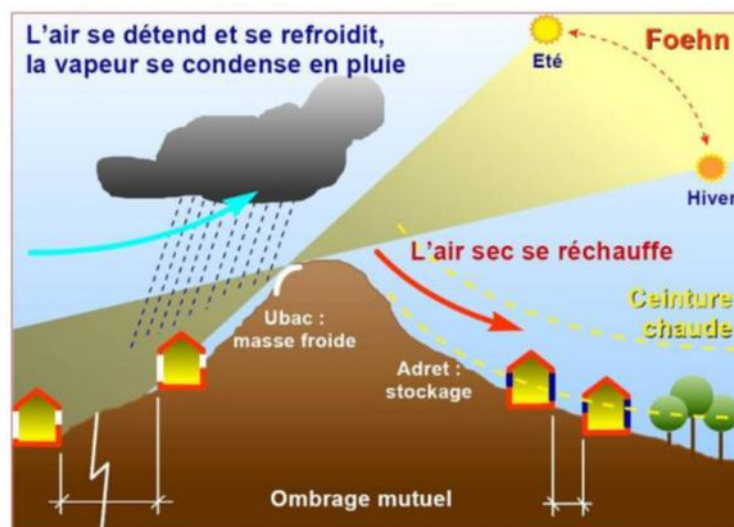


Figure I.6 : Influence du relief. (**Source** : Alain Liébard , André De Herde 2006)

I.5.2 La course du soleil

Le soleil suit une course dont chaque point est déterminé, en un lieu, par sa hauteur angulaire et son azimut. Cette hauteur est maximale au solstice d'été, minimal au solstice d'hiver (voir Figure I.6) (LIEBARD, A. & DE HERDE, A. (2005) :

- L'azimut est l'angle horizontal formé par un plan vertical passant par le soleil et le plan méridien du point d'observation.
- La hauteur angulaire du soleil est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan de l'horizon.

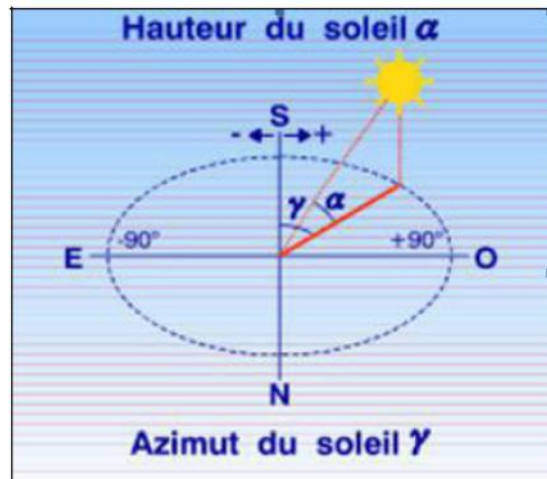


Figure I.7 : Coordonnées solaires (**Source** :LIEBARD, A. & DE HERDE, A. 2005)

La figure I.8 représente les courbes solaires en projection cylindrique à Paris sur une période de six mois. Ces courbes permettent de repérer la position du soleil par son azimut (axe horizontal) et sa hauteur angulaire (axe vertical).

Les courbes rouges représentent la course solaire en un lieu donné. Les courbes en pointillés représentent le lieu des équihoraires. L'ensoleillement est caractérisé par la trajectoire du soleil et la durée d'ensoleillement. La figure I.7 illustre les coordonnées solaires. Les conditions géométriques du système terre-soleil déterminent la position relative du soleil, qui est repéré par son azimut γ et sa hauteur angulaire α (M.DJAAFRI 2014).

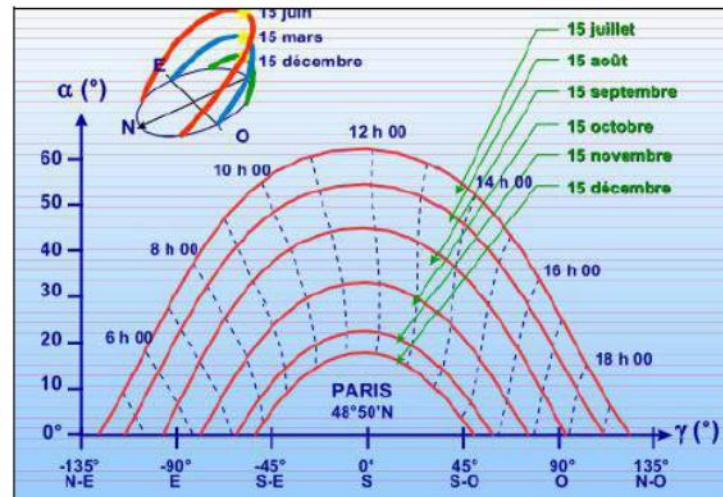


Figure I.8 : Courbes solaires en projection cylindrique (Paris), (**Source** : LIEBARD, A. & DE HERDE, A.2005)

I.5.3 Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est une radiation électromagnétique émise par le soleil exprimée en Wh/m^2 . La quantité du rayonnement disponible sur le sol dans un lieu donné dépend de : (chap I climat et microclimat) :

- L'altitude du lieu.
- La saison et de l'heure de la journée.
- La qualité du ciel (ciel clair, semi couvert ou bien couvert).
- de l'environnement direct du site considéré, c'est-à-dire le relief du terrain, les obstacles (bâtiments et arbres....)

I.5.3.1 Mouvement apparent du soleil

Le mouvement apparent du soleil (figure I.9), peut être important pour la conception d'un bâtiment, en particulier dans la mise en place des fenêtres qui captent la chaleur du soleil. Dans un climat ensoleillé, chaud, il vaut mieux avoir le plus possible de fenêtres au nord, pour éviter le soleil. Les revêtements sud des murs doivent d'autre part, être bien isolés, avec de petites fenêtres, autorisant une éventuelle ventilation mais n'admettant que peu la lumière du soleil (Des volets en bois à l'extérieur des fenêtres sont également utiles).

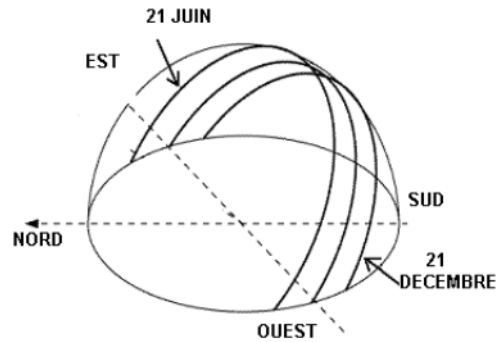


Figure I.9 : Mouvement apparent du soleil

(**Source** : Benjamin,DESSUS et François,PHAROBOD,1996)

Dans les pays du nord, de latitude moyenne (par exemple ceux de l'Europe), le trajet quotidien du soleil nous apparaît comme un arc dans le ciel méridional. (Naturellement, c'est la terre qui en fait se déplace.) La plus grande hauteur du soleil, au-dessus de l'horizon, se produit à midi, et dépend de la saison de l'année. Elle est maximale au milieu de l'été, minimale en plein hiver. Les rayons du soleil d'été, hauts dans le ciel, arrivent sous un angle abrupt et chauffent la terre beaucoup mieux que ceux de l'hiver, qui frappent le sol avec un angle peu marqué (F.BOUCHERIBA p :31).

I.5.3.2 Les types de rayonnements

Le rayonnement solaire peut être reçu soit par un rayon direct du soleil, soit par un rayon diffusé par le ciel, soit par un rayon réfléchi par une surface terrestre

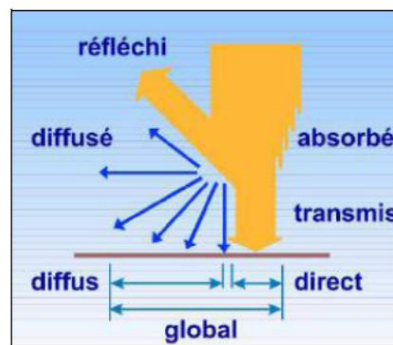


Figure I.10 : Composantes du rayonnement solaire global (**Source** : G. LIEBARD, A. & DE HERDE, A. 2005)

◆ **Le rayonnement solaire direct**

Le rayonnement solaire direct correspond au flux solaire qui atteint directement une surface quand celle-ci est exposée au soleil. Elle dépend de la hauteur du soleil et de l'angle d'exposition de la surface au soleil à l'instant considéré. La hauteur du soleil est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan horizontal. L'angle d'incidence correspond à l'angle avec lequel le rayon solaire frappe la surface : c'est l'angle entre la normale à la paroi et le rayon solaire à l'instant considéré (S.Tsoka 2012).

◆ **Le rayonnement solaire diffus**

La composante diffuse représente le flux, en provenance du ciel. Il résulte de la diffusion des rayons solaires par les particules de l'atmosphère et il est émis par la voûte céleste. On évalue l'énergie solaire diffuse sous l'hypothèse que toutes les parties du ciel émettent le même rayonnement. Dans ce cas, seule l'inclinaison de la surface pondère le flux diffus incident. Cette hypothèse est correcte pour un ciel couvert où le flux diffus est plus important que le direct (S.Tsoka 2012).

◆ **Le rayonnement solaire réfléchi**

La composante réfléchie correspond à la partie du flux qui arrive à la surface suite aux réflexions solaires produites par l'environnement proche. Les formes urbaines qui se trouvent autour de la surface étudiée renvoient vers elle une part du flux global incident (direct et diffus). La part réfléchie dépend de l'albédo des surfaces alors que le flux intercepté par la surface dépend de son inclinaison (S.Tsoka 2012).

◆ **Le rayonnement du ciel**

Une partie du rayonnement solaire est absorbée par l'atmosphère, les océans et les continents, qui transforment une partie de l'énergie lumineuse en rayonnements infrarouges et renvoient ceux-ci vers l'espace. Ensuite, les composantes de l'atmosphère comme l'ozone, la vapeur d'eau, le gaz carbonique et d'aérosols absorbent le rayonnement de grande longueur d'onde en les émettant ensuite vers toutes les directions (S.Tsoka 2012).

La quantité du rayonnement atmosphérique de grande longueur d'onde reçue par la surface terrestre dépend de la stratification verticale de la température ainsi que des concentrations des gaz exposés [Oke 87]. La nébulosité joue également un rôle important quand à l'émission du rayonnement de grande longueur d'onde. Lorsqu'un nuage attrape les

rayons infrarouges il réémet une partie de cette énergie vers l'espace et une partie vers la surface de la Terre, ce qui la réchauffe (S.Tsoka 2012).

I.5.4 Le vent

Le vent est un déplacement horizontal d'air, d'une région de haute pression vers une autre de basse pression, il se caractérise par trois paramètres : sa vitesse, sa direction et sa fréquence. Ces derniers sont représentés sur un même diagramme qui s'appelle "rose des vents". Pour le concepteur des bâtiments, il ne faut pas prendre en considération uniquement une rose des vents annuelle, mais on utilise les roses des vents saisonnière et même mensuelles car le régime des vents est très variable (chap. I climat et microclimat).

I.5.4.1 Les vitesses du vent au niveau microclimatique dépendent de différents facteurs (S.Reiter 2007):

- **la localisation**, en fonction de la proximité de la station météorologique de référence.
- **la topographie**, c'est-à-dire le type de paysage essentiellement défini par le relief. Les paramètres essentiels sont la hauteur et le contour de l'horizon.
- **la rugosité du terrain**, est un paramètre qui exprime le type de couverture du terrain : campagne, suburbain, urbain,....
- **les obstacles**, c'est-à-dire les obstructions au vent (bâtiments, arbres,...). Les paramètres à prendre en compte sont la position et les dimensions de ces éléments.
- **la hauteur** à laquelle on évalue la vitesse du vent. Cet élément est essentiel pour tenir compte du fait que les valeurs de vent aux stations météorologiques sont toujours évaluées à 10m de hauteur alors que pour le confort des piétons en ville on prend en compte les vitesses du vent à 1.5m du sol.

I.5.4.2 Caractéristiques du vent :

Le vent est le résultat de la mise à l'équilibre d'un ensemble de forces qui sont :

- **Les forces de pression** : ces forces génèrent les déplacements des masses d'air constituant le vent. Elles proviennent des différences locales de pression dues aux différences de température en fonction de la latitude, et des influences continentales et océaniques. Elles sont perpendiculaires aux surfaces isobares et dirigées des hautes vers les basses pressions.

- **La force de Coriolis** : cette force est liée à la rotation de la Terre sur son axe. Elle est perpendiculaire à la vitesse du vent et orientée vers l'est dans l'hémisphère Nord. Elle n'est significative que pour les déplacements atmosphériques de haute altitude en raison de la faiblesse relative des autres forces en présence.
- **Les forces de frottement** : ces forces traduisent la friction turbulente de l'air sur le sol. Généralement appliqués aux mouvements d'air présents dans l'atmosphère, les vents sont produits par les différences de pressions atmosphériques engendrées principalement par les gradients de température. Les variations de la distribution des pressions et des températures sont dues essentiellement à une distribution inégale de l'énergie solaire sur la surface de la terre, et aux différences des propriétés thermiques des surfaces des continents et des océans.

La puissance du vent est sensiblement constante à chaque instant pour l'ensemble du globe, en un lieu donné et sur une période solaire. Par contre, la vitesse du vent est très variable suivant les jours et les lieux [22]. Le Tableau I.1 donne la classification des vents avec l'échelle de Beaufort qui décrit les différentes natures du vent en fonction de leurs vitesses.

Tableau I.1 : Echelle Beaufort [23,24]

Nombre de Beaufort	Terme générique	Vitesse du vent à 10 m de hauteur
(degré)	(descriptif)	en km/h
0	Calme	Inférieure à 1
1	Très légère brise	1 à 5
2	Légère brise	6 à 11
3	Petite brise	12 à 19
4	Jolie brise	20 à 28
5	Bonne brise	29 à 38
6	Vent frais	39 à 49
7	Grand frais	50 à 61
8	Coup de vent	62 à 74
9	Fort coup de vent	75 à 88
10	Tempête	89 à 102
11	Violente tempête	103 à 117

12	Ouragan	Supérieure à 18
----	---------	-----------------

I.5.4.3 Les types des vents

- ◆ Au niveau mésoclimatique, on peut citer quelques vents régionaux comme :
 - ✓ le mistral, d'orientation nord, il souffle violemment sur les régions du Rhône et de la Provence.
 - ✓ la tramontane, très irrégulière, est un vent d'origine nord-ouest qui souffle sur le Roussillon.
 - ✓ le foehn, apparaît dans les Alpes perpendiculairement aux pentes montagneuses.
 - ✓ le sirocco, d'orientation sud à sud-est est chaud et méditerranéen.
- ◆ A l'échelle microclimatique il existe différents types de vents locaux créés par la topographie et la nature du sol environnant (S.Reiter 2007) :
 - les brises de mer et brises de terre,
 - les brises de montagnes (ou de vallées),
 - les brises dues à l'urbanisation.

1. Les brises de mer et de terre

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) (M.Abdeldjouad 2014).

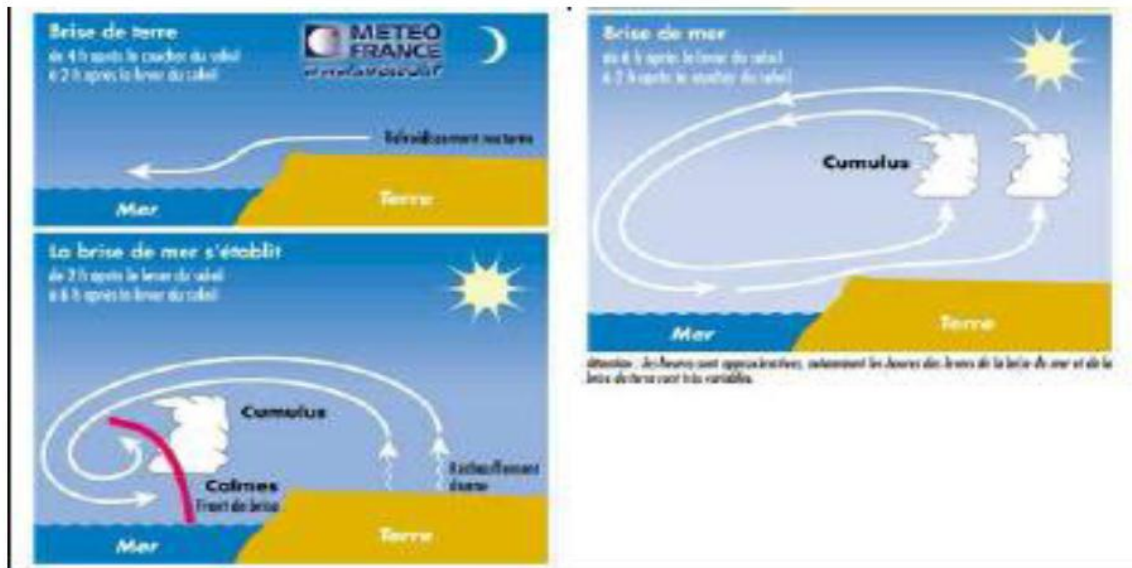


Figure I.12 : La brise de terre et la brise de mer, (**Source** :Météo-France)

2. Les brises des montagnes ou des vallées

Causés par les différences de températures entre l'air situé au-dessus des pentes ensoleillées et celui qui se tient à la même altitude au-dessus des vallées.

3. Les brises dues à l'urbanisation

Ces 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 spécifiquement 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 (M.Abdeldjouad 2014).

I.5.5 les précipitations

En milieu urbain, Le mouvement vertical ascendant dû au réchauffement différentiel et au frottement accru favorise la formation de nuages et de précipitations .On attribue également ces phénomènes à l'accroissement du nombre de noyaux de condensation provenant de sources anthropiques. De plus, on a signalé à plusieurs endroits une augmentation des quantités de précipitations en aval des régions urbaines, ce qui est probablement causé par le transport des noyaux de condensation par les vents en altitude jusqu'aux régions rurales (figure I.13) (M.Abdeldjouad 2014).

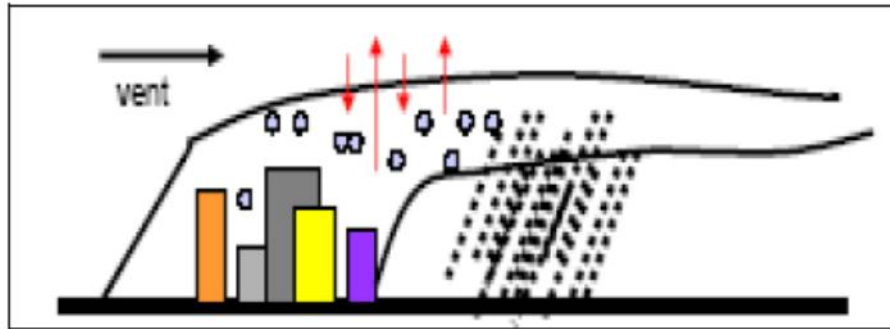


Figure I.13 : Formation des précipitations en milieu urbain

(**Source** : Joëlle Goyette Pernot et Raphaël Compagnon,2003)

I.5.6 L'humidité relative de l'air

L'humidité relative (HR) est le rapport entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la quantité d'eau que l'air saturé peut contenir à une température donnée.

On distingue l'humidité absolue exprimée en g/m^3 et l'humidité spécifique en g/Kg . La quantité de vapeur d'eau que peut emmagasiner une unité de volume d'air est limitée : sa valeur maximale s'appelle l'humidité saturante.

A pression constante, plus l'air est chaud plus il peut contenir de vapeur d'eau. Si l'on rapporte l'humidité absolue à l'humidité saturante, on obtient l'humidité relative exprimée en %. Le degré d'évaporation au niveau des océans est beaucoup plus important qu'au niveau des continents (figure I.14). Par conséquent, l'air au-dessus des océans est plus humide.

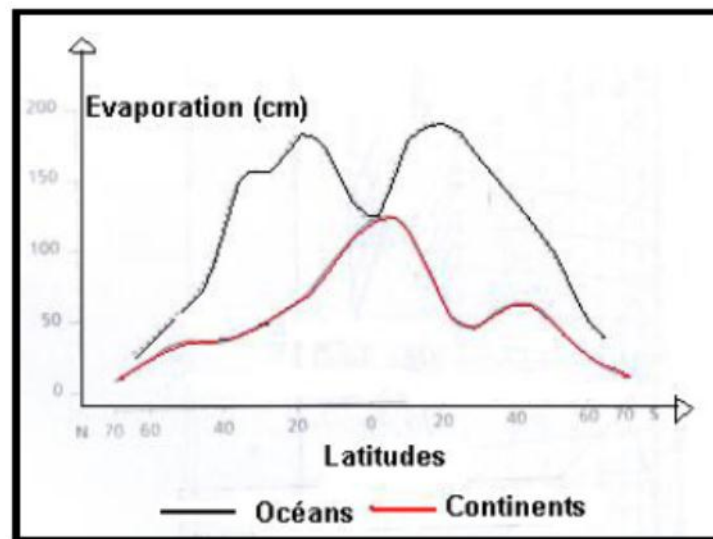


Figure I.14 : Evaporation moyenne annuelle par latitude (en cm) (**Source** : (TABEAUD,Martine,2000))

En ville, une faible évapotranspiration, peu de rosée, la vapeur anthropique et la stagnation de l'air dans les canyons permettent de maintenir une atmosphère plus humide la nuit qu'à la campagne.

En été, le taux d'humidité relative dans les villes est habituellement inférieur de 10 % à celui des régions avoisinantes.

En hiver, la différence est beaucoup moins grande, parce que l'humidité relative dépend de la présence d'eau et de la température (M.Abdeldjouad 2014).

I.6 Conclusion

La complexité du comportement climatique conduit à négliger les qualités intrinsèques du climat (lumière naturelle, vent, ...) au profit de technologies plus adaptables mais peu écologiques (éclairage artificiel, climatisation, chauffage,...), générant des problèmes globaux pour notre planète (augmentation de la température ...etc.) et des problèmes locaux pour le bien-être et la santé des habitants. Ces espaces modernes inadaptés aux cycles naturels génèrent des problèmes microclimatiques importants, souvent visibles dans nos villes, dans ce chapitre on a donné une présentation générale sur le changement climatique et les éléments qui caractérisent le microclimat.

II.1 Introduction

La croissance urbaine est un modificateur des conditions climatiques propres à une région donnée. En effet, l'extension des aires d'habitation, l'assemblage d'immeubles d'habitation, l'absence ou la rareté des espaces verts, les lumières des rues, les systèmes de chauffage, l'imperméabilisation des espaces provoquent toute une série de facteurs qui modifient notablement le climat des villes. L'apparition d'un îlot de chaleur est la manifestation climatique la plus connue de l'influence du milieu urbain sur son climat, ce n'est pas la seule, les vents, le rayonnement solaire reçus par la surface de la terre, l'humidité et les précipitations sont eux aussi modifiés. L'ensemble de ces modifications forme ce que l'on nomme : **le climat urbain** (N.Achour-Bouakkaz 2006).

Dans ce chapitre nous parlerons du climat urbain, ce dernier est défini par l'apparition du phénomène d'îlot de chaleur urbain phénomène du réchauffement climatique, suivit par la modification de certains paramètres météorologique comme le vent. Après nous définissons la morphologie urbaine en montrant les indicateurs qui le caractérisent et en dernier temps nous expliquons la relation qui liée Le vent urbain et la morphologie urbaine.

II.2 Les principaux éléments qui affectent le climat urbain

Les activités spécifiques de la ville et sa configuration générale produisent le climat urbain par rapport au climat rural. La ville se différencie de la campagne par (N.Achour-Bouakkaz 2006) :

- L'existence de bâtiments qui modifient le bilan énergétique, les mouvements d'air.
- Les activités urbaines générant un apport d'énergie supplémentaire.
- Un taux de pollution.
- Des surfaces urbaines imperméables et un drainage rapide des eaux pluviales.
- Une faible végétation.

Les changements les plus importants dus à l'urbanisation concernent le bilan énergétique à travers l'équilibre thermique, les mouvements locaux de l'air et la composition de l'atmosphère (tableau II.1) :

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

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

Ils existent beaucoup de facteurs qui affectent le climat urbain mais les plus importants sont (A.BALLOUT 2010) :

- La situation régionale de la ville.
- La taille et la densité de l'agglomération.
- La largeur des rues et leur orientation par rapport au soleil et aux vents dominants.
- La hauteur des constructions déterminant la rugosité.
- La répartition des espaces verts dans le périmètre urbain.
- La nature et l'albédo de la surface extérieure de la zone urbaine.
- Les Aspects liés à la conception architecturale.

Le climat urbain est caractérisé par les principaux phénomènes suivant : îlot de chaleur urbain, les vents urbains ...etc.

II.3 L'îlot de chaleur urbain

Le réchauffement climatique pratiquement certain et l'augmentation très probable des vagues de chaleur sont particulièrement préoccupants pour les villes déjà affectées par un îlot de chaleur urbain (ICU). Ce phénomène désigne l'excès des températures de l'air observées régulièrement, près du sol, dans les zones urbaines en comparaison avec les zones rurales qui les entourent. Ce phénomène du réchauffement climatique est accentué par l'énergie calorifique générée par le métabolisme urbain et les activités humaines.

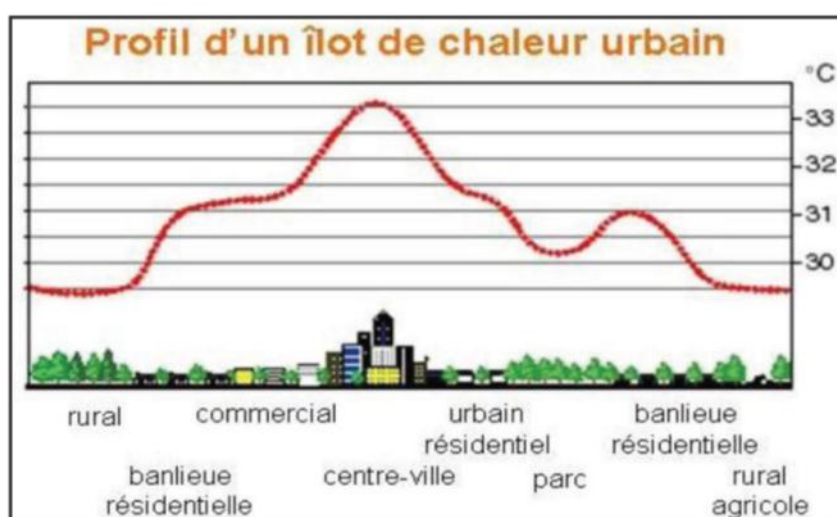


Figure II.1 : Profil d'un îlot de chaleur urbain. (Source: USEPA).

Les différences de température entre la ville et les espaces ruraux l'entourant peuvent alors être considérables, dépassant les 10 degrés pour les grandes agglomérations.

II.3.1 Caractéristiques de l'îlot de chaleur urbain

II.3.1.1 Caractéristiques temporelles et spatiales

La forme et la taille de l'îlot de chaleur urbain varient dans l'espace et dans le temps, en fonction des conditions météorologiques, et des caractéristiques propres à la ville. On définit l'intensité d'un îlot de chaleur urbain par la différence de température de l'air de la zone urbaine étudiée avec la température d'un point de mesure de référence situé dans la périphérie rurale (Oke, 1973). On la note ΔT_{u-r} et elle s'exprime en degré Celsius.

$$\Delta T_{u-r} = T_u - T_r \quad (\text{II.1})$$

T_u : température de l'air de la zone urbaine étudiée

T_r : température de l'air du point de mesure de référence dans la périphérie rurale de la zone urbaine étudiée.

L'îlot de chaleur urbain est le plus marqué dans les parties les plus densément bâties, qui correspondent en général au centre-ville (Figure II.6). L'intensité des îlots de chaleur urbains varie selon les villes. Elle dépend du climat, de la topographie, de la population, de la morphologie et de l'activité des villes (Fan et Sailor, 2005).

En moyenne, sur une année, pour des villes ayant un climat tempéré, l'intensité des îlots de chaleur urbains est de l'ordre de 2°C (Taha, 1997). En été, ΔT_{u-r} peut s'élever jusqu'à 10°C (Lachance et al, 2006). ΔT_{u-r} Augmente avec la superficie et la population de la ville (Arnfield, 2003). La nuit, au moment où l'effet de chaleur urbain apparaît le mieux, la différence de température entre ville et campagne apparaît inversement proportionnelle à la vitesse du vent et à la couverture nuageuse (Oke, 1987). Par ailleurs, l'extension spatiale de l'îlot de chaleur urbain est assez bien corrélée avec la direction et la vitesse du vent (Fischer, 2001).

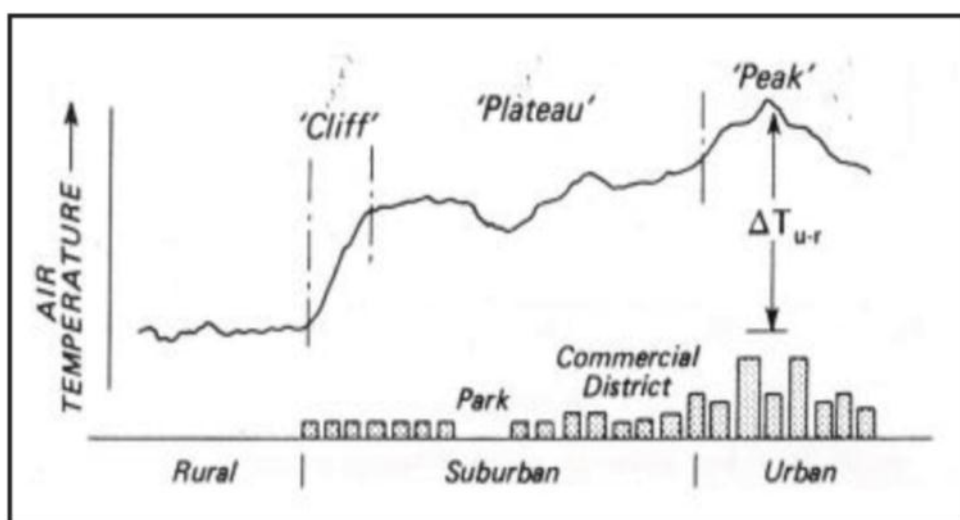


Figure II.2 : coupe d'un îlot de chaleur urbain. (**Source**: Ringenbach Nicolas, 2004, (d'après Oke, 1978).

II.3.1.2 Formalisation du bilan énergétique à l'échelle d'une ville

L'équilibre thermique en milieu urbain est généralement exprimé par le mécanisme de transfert de chaleur favorisant l'équilibre du système. (Santamouris, 2001) propose une équation pour exprimer la balance thermique en milieu urbain.

$$Q_r + Q_t = Q_e + Q_l + Q_s + Q_a \quad (\text{II.2})$$

- **Q_r** = Flux de l'énergie solaire. Ce dernier est la combinaison entre le rayonnement de courte longueur d'onde (rayonnement solaire directe) et le rayonnement de grande longueur d'onde (rayonnement transmis par les éléments opaques tels que les murs, les rues et les bâtiments).
- **Q_t** = Chaleur anthropique, cette forme de chaleur est souvent transmise par le système de transport les industries et autres sources de chaleur.
- **Q_e** = chaleur sensible. Il s'agit de la chaleur transmise par convection.
- **Q_l** = chaleur latente (forme d'énergie libérée dans l'atmosphérique, par exemple durant le processus d'évapotranspiration)
- **Q_s** = l'énergie stockée;
- **Q_a** = l'énergie net transférée vers ou à partir du système sous forme de chaleur sensible ou latente (transfert par l'advection.)

Le bilan thermique en milieu urbain est influencé également par l'advection, c'est-à-dire, par le déplacement d'une masse d'air dans le sens horizontal ou proche. Souvent la chaleur anthropique est alliée aux systèmes de transport, à la production de l'énergie et aux autres sources de chaleur (activités industrielles, éclairage artificiel, chauffage et climatisation des bâtiments) .En environnement urbain, elle influence la température de l'air et amplifie l'intensité d'îlot de chaleur urbain.

II.3.1.3 Conditions optimale de développement du phénomène

Les conditions optimales de développement d'îlot de chaleur urbain sont de nature météorologique. La condition la plus importante permettant au climat urbain de se différencier de celui des zones rurales voisines est une configuration anticyclonique stable (Landsberg, 1981), caractérisée par un ciel dégagé et des vitesses de vents très faibles, inférieures à 3 m/s (Terjung et O'rourke, 1980). Lorsque ces conditions sont réunies, l'intensité des îlots de chaleur urbains atteint sa valeur maximale (Landsberg, 1981). En effet, sous ce type de ciel, c'est en majorité du rayonnement direct (rayonnement solaire

principalement) qui frappe les surfaces. Ce type de rayonnement se caractérise par une plus grande intensité que le rayonnement diffus (Bessemoulin et Oliviéri, 2000).

II.4 Causes du phénomène d'îlot de chaleur urbain

La perturbation du milieu naturel par l'urbanisation engendre des phénomènes microclimatiques à la base des îlots de chaleur urbains. La rétention de la chaleur par le tissu urbain et de par ces caractéristiques structurelles et morphologiques, la ville est capable de stocker et de piéger la chaleur issue du rayonnement solaire.

II.4.1 Rôle des propriétés radiatives et thermiques des matériaux

Les matériaux utilisés dans la construction des bâtiments et le revêtement des sols ont des propriétés optiques et thermiques favorisant la rétention de la chaleur par le tissu urbain. La journée, les propriétés optiques des matériaux de la ville gouvernant le stockage de la chaleur issue du rayonnement solaire incident direct.

II.4.2 Rôle de la géométrie des rues

La géométrie des rues contribue à l'accumulation et à la rétention de la chaleur. La journée, les rayons solaires incidents sont piégés dans les rues par les multiples réflexions qu'ils subissent sur les parois verticales de rue. Ceci participe au Stockage de la chaleur dans les matériaux constitutifs du canyon (Nakamura et Oke, 1988).

II.5 La morphologie urbaine

II.5.1 Qu'est-ce qu'une morphologie urbaine ?

La morphologie urbaine est le résultat des conditions historiques, politiques, culturelles et plus particulièrement architecturales dans lesquelles la ville a été créée et s'est agrandie (K. Athamena 2012).

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 (M. ABDELJOUAD 2014).

L'objet principal de la morphologie urbaine est de permettre la lecture de la ville en comprenant l'évolution de la forme urbaine (Lévy 2005).

La forme urbaine ; cinq approches ou registres peuvent distinguer la définition de la forme urbaine :

- L'approche de la forme urbaine comme forme des paysages urbains,
- L'approche de la forme urbaine comme forme sociale,
- L'approche de la forme urbaine comme forme des tissus urbains,
- L'approche de la forme urbaine comme forme des tracés,
- L'approche de la forme urbaine comme forme bioclimatique,

II.5.2 La couche limite urbaine

A l'échelle de la ville, l'interaction entre la forme urbaine et le climat produit différentes échelles de couches d'air superposées dans l'atmosphère (K. Athamena 2012).

II.5.2.1 La couche limite de surface

La couche limite atmosphérique (CLA) est la couche inférieure de la troposphère de 1 à 2 km d'épaisseur. Cette couche est associée à l'échelle méso climatique. Son épaisseur varie de quelques centaines de mètres jusqu'à quelques kilomètres en fonction de la vitesse du vent, de la rugosité des sols et de l'ensoleillement variable.

La couche limite atmosphérique présente une forte variation pendant le cycle diurne. Le jour, elle varie de 1 à 2 km, en fonction de l'ensoleillement et de la saison. La nuit, elle varie entre 100 et 300 m, en fonction du vent et du refroidissement en surface (CNRM) (voir Figure II.3).

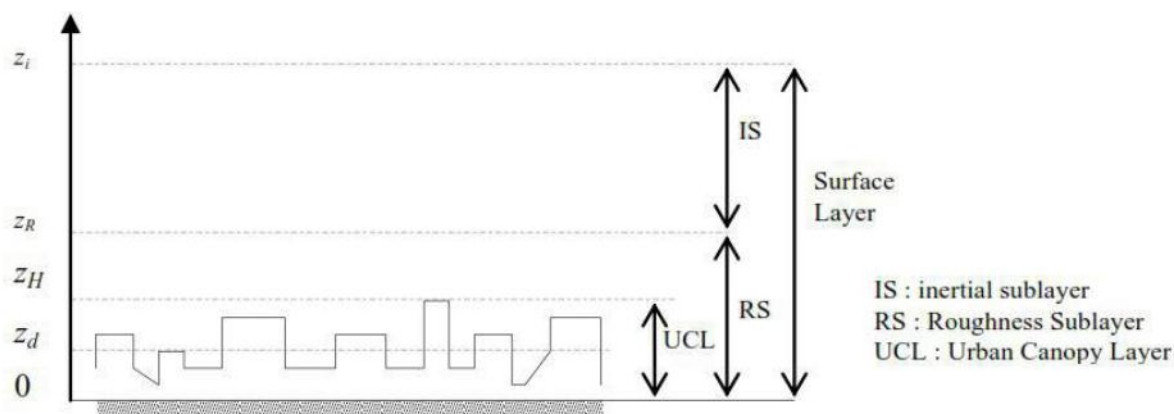


Figure II.3 : Répartition verticale des différentes couches de circulation d'air au-dessus d'un milieu urbain (**Source** : ROTACH, 1999).

II.5.2.2 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 presque constants avec la hauteur (Piringer et Joffre, 2005).

II.5.2.3 La canopée urbaine

La canopée urbaine est une couche qui correspond à la hauteur moyenne des bâtiments qui font obstacle à l'écoulement de l'air dans le milieu urbain. Dans cette couche, le mouvement de masses de l'air est très perturbé et tourbillonnaire du fait de la présence de constructions.

Les variations climatiques qui y ont lieu modifient l'équilibre thermique au niveau du sol. La canopée urbaine correspond à l'échelle microclimatique et elle s'étend sur une hauteur Z_h (voir Figures 4, 5).

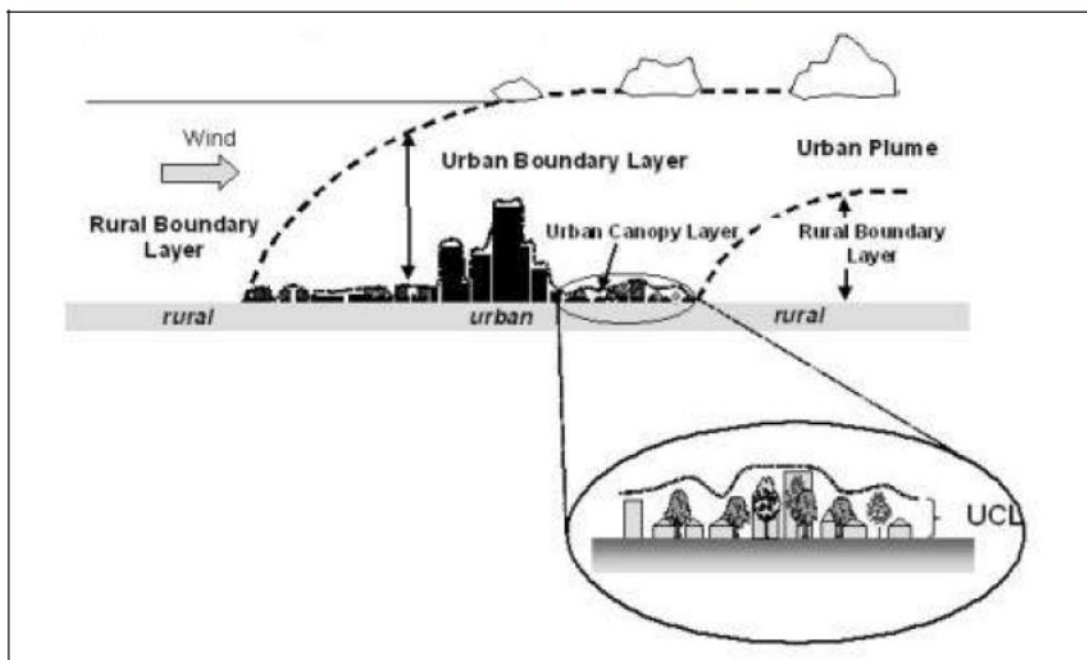


Figure II.4 : Principales composantes de l'atmosphère urbaine (**Source** : BOZONNET, 2006)

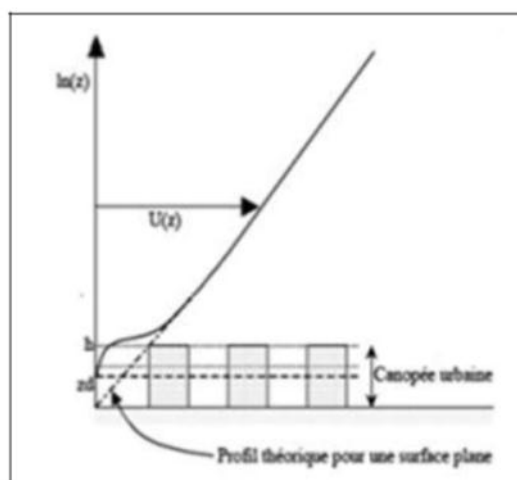


Figure II.5 : Perturbation de l'écoulement du vent en zone rugueuse (canopée urbaine)

(**Source** : COLIN, J.2001).

II.5.3 Caractérisation de la morphologie urbaine à travers des indicateurs

Le tableau suivant représente les caractéristiques morphologiques du milieu urbain à travers des indicateurs : la Densité du bâti et du Végétale, la Rugosité et la Porosité urbaine,

Prospect (Ratio H/L), la Compacité, le Facteur de Vue du Ciel "FVC" (Sky View Factor), l'Albédo moyen des surfaces, la Minéralisation et la Sinuosité.

Tableau II.2 : Synthèse des indicateurs liés à la morphologie urbaine

	Indicateur morphologique de la forme urbaine
Densité du bâti	Informe sur l'occupation des constructions et correspond au rapport entre la surface des toitures et la surface du terrain (entre 0 et 1).
Densité du végétal	La répartition des surfaces végétales dans les tissus urbains a des répercussions sur le bilan des températures et sur celui de l'humidité relative de l'air.
Rugosité urbaine	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.
Porosité urbaine	Traduite par le rapport des volumes utiles ouverts à l'ensemble des volumes du tissu urbain considéré.
Prospect (Ratio H/L)	l'unité structurelle de base d'une entité urbaine, de ce rapport permet de contrôler l'assemblage des bâtiments.
Compacité	exprime la valeur de la surface d'échange de l'enveloppe des bâtiments rapportée au m ² de plancher.
Facteur de Vue du Ciel « FVC »	Correspond à l'angle solide sous lequel le ciel est vu d'un certain point. Il dépend du rapport géométrique des surfaces et varie en fonction de dimensions urbaines (hauteurs des constructions, distance entre les façades).
Albédo moyen des surfaces	L'Evaluation de l'albédo se définit comme étant le rapport du flux d'énergie totale vers

	le ciel sur le flux d'énergie globale incident.
Minéralisation	Permet d'étudier l'impact de la végétation et de la minéralisation sur les conditions micro climatiques.
Sinuosité	L'avantage de ce paramètre est de caractériser les phénomènes aérauliques vient de la simplicité d'évaluation dans un SIG, capable de différencier par exemple une rue, d'un espace fermé ou d'un fond de cour.

II.6 Un exemple d'étude : Le vent urbain et la morphologie urbaine

L'action de l'urbanisation sur les vents est complexe. La ville modifié la vitesse des vents et leur direction par sa rugosité, par la canalisation des vents dans les rues, mais aussi par l'influence de l'îlot de chaleur urbain qui donne naissance à des vents thermiques. Les brises thermiques, dues à la convection de l'air, apparaissent sur l'ensemble d'une ville ou d'un quartier, plus particulièrement quand les vents sont faibles. Ce phénomène s'accroît lorsque l'îlot de chaleur urbain augmente (S.Reiter 2007).

Il n'est pas facile de prouver théoriquement et expérimentalement que la vitesse du vent à une hauteur donnée est systématiquement plus faible en moyenne temporelle que celle enregistrée à la même hauteur en milieu ouvert. Cependant, la vitesse du vent en milieu urbain peut être plus élevée à la condition que l'écoulement du vent dans la couche limite atmosphérique et la direction des rues sont identiques (Figure II.6).

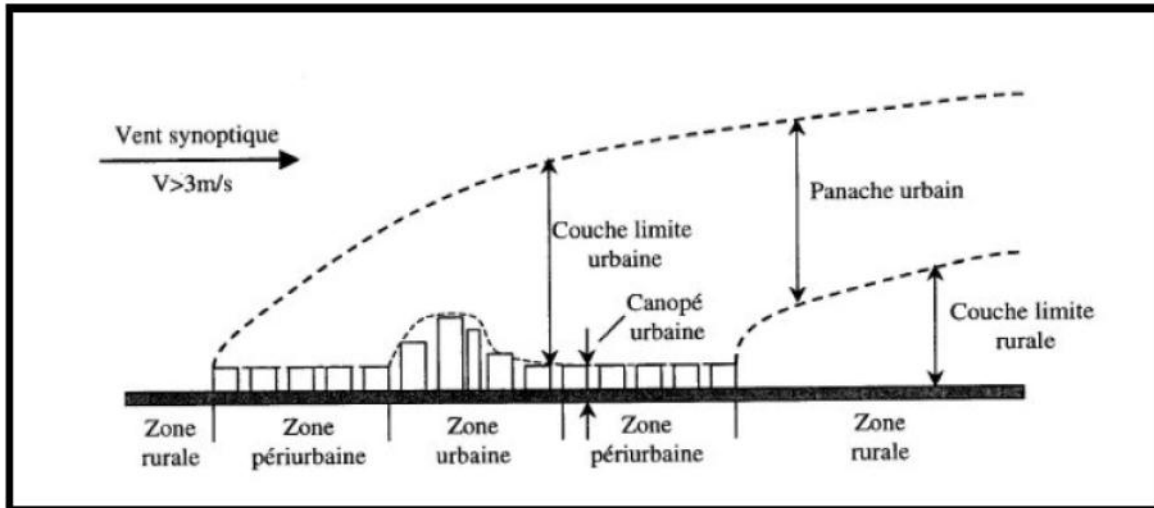


Figure II.6 : Structure verticale atmosphère, Couche limite urbaine et canopée urbaine.

L'augmentation de la rugosité, due à la présence d'une densité de bâti et de bâtiments élevés, cause inversement une augmentation de la turbulence. La direction des vents régionaux peut aussi être altérée. En outre, localement, il peut se produire des effets d'accélération du vent ou de fortes turbulences liées à certaines configurations du bâti plus habituelles en milieu urbain, telles que les bâtiments très élevés. Il faut signaler que la présence de bâtiments de grande hauteur est le facteur principal d'inconfort lié au vent pour les piétons.

Un bâtiment substantiellement plus grand que son entourage crée une déflexion du vent à la fois horizontalement et verticalement. Un effet important de cette déflexion est de causer un accroissement important de la vitesse moyenne du vent au niveau piéton autour de ce bâtiment.

Pour le confort des piétons, les vitesses de vent devraient être inférieures ou égales à 5 m/s dans les espaces publics. Les tissus denses de hauteur homogène relativement faible, tels que les centres des villes traditionnelles, assurent globalement un excellent confort au vent. Les quelques accidents aérodynamiques à appréhender se situent à la périphérie et dans les zones très dégagées. Cependant, les villes contemporaines présentent des constructions très élevées qui entraînent des rafales de vent inacceptables pour le confort des piétons. Il est indispensable d'étudier l'impact du vent au niveau du sol pour les bâtiments dont la hauteur est supérieure ou égale à 40 m mais il est prudent d'étudier cet aspect dès qu'un bâtiment de 15 à 40 m de hauteur (S.Reiter 2007).

L'écoulement du vent en milieu urbain est défini à partir des effets suivants :

- l'effet canyon,
- l'implantation d'un bâtiment de grande hauteur dans un tissu urbain, homogène de faible hauteur,
- les ensembles de bâtiments élevés.

II .6.1 L'effet canyon

En milieu urbain, Le canyon est un espace étroit limité par deux parois verticales très proches. Il s'applique à l'échelle de la rue. Il apparaît lorsque les bâtiments sont de hauteur importante par rapport à la largeur de la rue.

L'effet canyon apparaît pour des rues dont le rapport entre la hauteur des bâtiments et la largeur de la rue est supérieur ou égal à 0.7. (C'est-à-dire pour $H/W \geq 0.7$) .(S.Reiter 2007).



Figure II.8: canyon urbain (**Source** : Wypych, S.2003)

II. 6.2 L'implantation d'un bâtiment de grande hauteur dans un tissu urbain, homogène de faible hauteur

Les bâtiments de petite hauteur entourant un bâtiment élevé diminuent légèrement l'impact inconfortable du vent autour du bâtiment élevé par rapport à un bâtiment de même hauteur en site dégagé.



Figure II.9 : Effet d'un bâtiment de grande hauteur dans un tissu de hauteur homogène et relativement faible (**Source** :Gandemer & Barnaud 1975).

II.6.3 les ensembles de bâtiments élevés

Les flux de vent autour de bâtiments élevés ont un haut degré de complexité. Les effets d'interaction peuvent décroître les vitesses de vent mais en général elles ont plutôt tendance à l'accroître. Les risques d'inconfort pour les piétons y sont élevés.

Les principaux mécanismes critiques du vent sont représentés sur (la figure II.12). En milieu urbain, ces effets apparaissent à la base des bâtiments dont la hauteur est nettement plus élevée que le plan masse moyen et au pied des ensembles de tours. Les dispositifs de correction (brise- vents...) sont toujours moins efficaces qu'une conception appropriée du bâtiment.

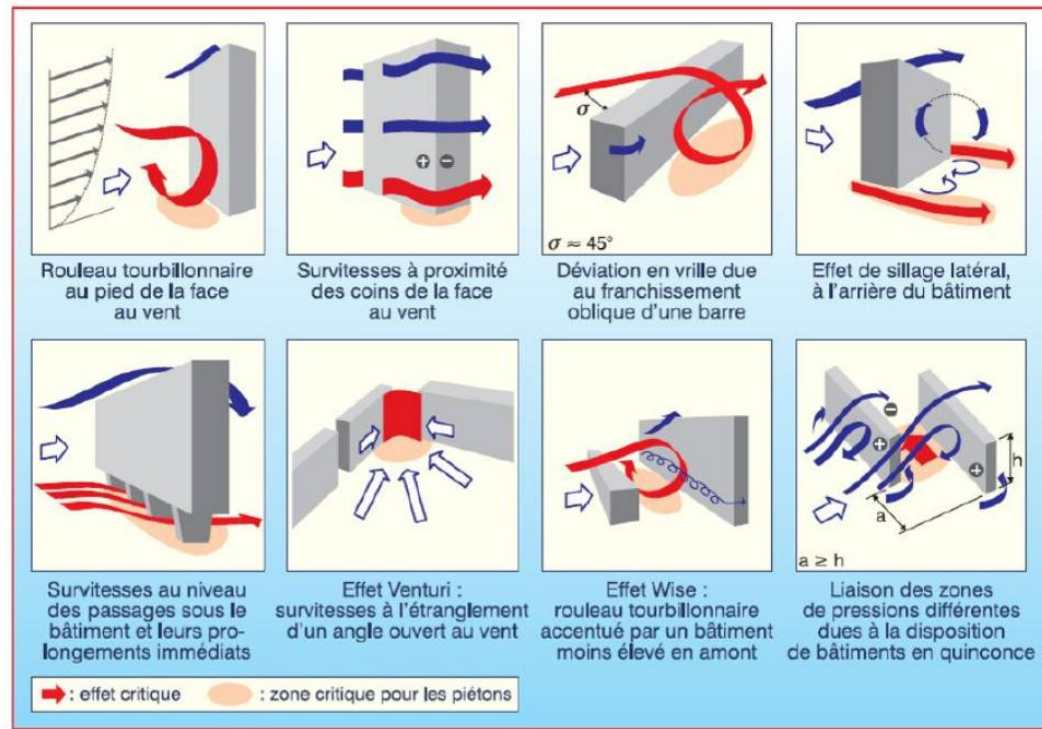


Figure II.10 : Les effets du vent en milieu urbain. (**Source** : Alain Liébard , André De Herde 2006)

Voici quelques règles de bonne pratique qui permettent d'atténuer ces risques :

- réduire la hauteur du bâtiment, ce qui est toujours la meilleure solution.
- créer des décrochements progressifs à partir du cinquième étage.
- augmenter la porosité du bâtiment.
- ceinturer le bâtiment élevé par des constructions plus basses.
- densifier l'environnement.
- prévoir des éléments poreux (végétation) près des coins ou des passages sous le bâtiment.
- augmenter la rugosité des façades par des balcons (>1.5 m de large).

Concevoir des bâtiments ventilés naturellement en ville nécessite donc de prendre en compte précisément les vitesses de vent dans les canyons urbains (et pas les valeurs météorologiques habituelles collectées en espace ouvert) ainsi que les différences de température réelle de l'air à l'extérieur entre le jour et la nuit, également moins favorables en ville qu'à la campagne. (S.Reiter 2007).

Les effets de l'orientation du vent et de la densité du bâti sur la ventilation naturelle d'un bâtiment ne sont pas du même ordre. Par rapport à une situation de départ en terrain ouvert, un changement de densité va globalement réduire les débits mais ne modifiera pas les flux de manière qualitative. Inversement, un changement d'orientation du vent va avoir des effets considérables sur les mouvements de l'air, mais ne modifiera que peu les taux moyens de renouvellement de l'air. (van Moeseke & al. 2005).

II.7 Conclusion

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

III.1 Introduction

Les codes de simulation aéraulique CFD (Computational Fluids Dynamics) peuvent être adaptés suivant les besoins des utilisateurs édités par ANSYS. FLUENT est un outil numérique basé sur un code CFD, il traite tous les types d'écoulements couplés ou non à des transferts de chaleur. C'est un code général de mécanique des fluides pour les écoulements laminaires ou turbulents, incompressibles ou compressibles, en géométrie complexe **2D** ou **3D**. Sa méthode de discrétisation est celle **des volumes finis**. Les écoulements considérés peuvent être laminaires ou turbulents. Les domaines d'application de Fluent sont principalement industriels : aérospatiale, turbomachines, automobiles, échangeurs thermiques (VINET, J 2000).

III.2 Présentation du code de calcul

Il existe un certain nombre de codes industriels, aux meilleurs performants, permettant la prédiction d'écoulements de fluides (FLUENT, CFX, PHOENICS, STAR-CD, TRIO, FEMLAB, CFD-ACE, FLOTRAN, N3S, CFDS-FLOW3D ...).

Le code de calcul "FLUENT" est commercialisé par le groupe FLUENT. Ce groupe est actuellement l'un des pôles de compétence en mécanique des fluides numérique les plus importants. Il développe et commercialise une solution complète sous forme de logiciels de CFD (Computational Fluid Dynamics) généralistes qui simule tous les écoulements fluides, compressibles ou incompressibles, impliquant des phénomènes physiques complexes tels que la turbulence, le transfert thermique, les réactions chimiques, les écoulements multiphasiques pour toute l'industrie. Les produits et services proposés par le groupe "FLUENT" aident les ingénieurs à développer leurs produits, à optimiser leur conception et à réduire leurs risques.

Ce code est largement utilisé dans l'industrie aéronautique, automobile et offre une interface sophistiquée qui facilite son utilisation. Le logiciel "FLUENT" modélise par la méthode des volumes finis des écoulements très variés dans des configurations plus ou moins complexes. Il est composé, comme tout logiciel de type CFD, de trois éléments clés qui sont : le pré-processeur, le solveur et le post-processeur.

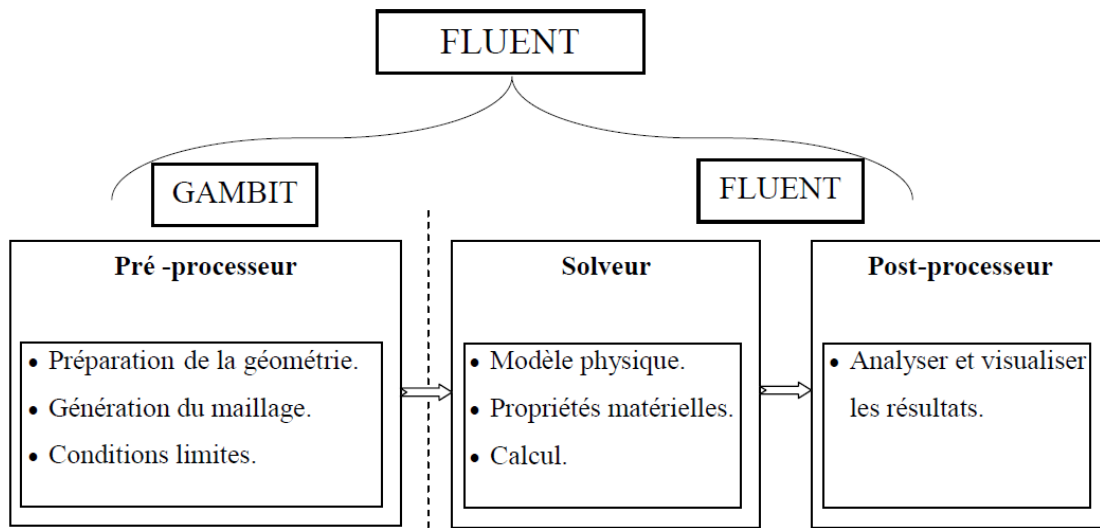


Figure III.1 : Structure de base du code "FLUENT"

❖ Pré - processeur "GAMBIT"

Il permet à l'utilisateur de construire la géométrie du domaine de calcul et de subdiviser ce dernier en petits volumes de contrôle ou cellules de calcul. L'ensemble de ces volumes élémentaires constitue le maillage. La définition des conditions aux limites appropriées, au niveau des cellules qui coïncident ou touchent la frontière du domaine de calcul, se fait également à ce niveau.

❖ Solveur "FLUENT"

Pour des fluides incompressibles, les calculs se font en pression relative. La méthode utilisée est la méthode des volumes finis. Cette méthode a l'avantage d'être conservatrice, c'est-à-dire que tout le flux sortant d'un volume de contrôle entre dans les volumes voisins. Les étapes de calcul dans le solveur sont les suivantes :

- Intégration des équations continues sur chaque volume de contrôle.
- Discrétisation en espace et en temps (pour les écoulements non permanents) des équations : substitution des dérivées partielles par des approximations en différences finies ; transformation du système d'équations en système algébrique.
- Résolution du système algébrique par un processus itératif ; utilisation d'un algorithme pour corriger la pression et les composantes de la vitesse afin d'assurer la conservation de la masse.

❖ Post-processeur "FLUENT"

Le Post-processeur permet de visualiser les différents résultats à l'écran (champs de vitesse, champs de température, ligne de courant ...etc.).

III.3 Les grandes méthodes pour formuler un problème continu sous forme discrète

On distingue trois grandes méthodes pour passer d'un problème aux dérivées partielles continu à un problème discret s'appuie sur les méthodes classiques d'analyse numérique :

III.3.1 Méthodes des différences finies

C'est la méthode la plus ancienne, le principe fondamental de cette méthode consiste au domaine d'étude un maillage en nœuds dont la finesse permet de donner une approximation des contours du domaine. Ensuite, en appliquant le développement dans chaque nœud du maillage, ce qui permet d'obtenir un nombre d'équation algébrique égale au nombre des valeurs d'inconnues des grandeurs étudiées.

III.3.2 Méthodes des éléments finis

La méthode consiste à mailler l'espace en régions élémentaires dans lesquelles on représente la grandeur recherchée par une approximation polynomiale. Le maillage peut être constitué de triangles ou de rectangles aux sommets desquels on recherche des volumes de l'inconnue en supposant que, dans ce domaine, l'inconnue varie linéairement en fonction des coordonnées. Une telle méthode nécessite donc de mailler tout l'espace étudié. Elle conduit à des tailles importantes en mémoire des calculateurs et à des temps de calcul longs qui nécessitent souvent des stations de travail pour la résolution des problèmes industriels.

III.3.3 Méthodes des volumes finis

La méthode des volumes finis est caractérisée par son avantage à satisfaire la conservation de masse, de quantité de mouvement et d'énergie dans tous les volumes finis ainsi que dans tout le domaine de calcul. Elle facilite la linéarisation des termes non linéaires dans les équations de conservation telle que le terme source par exemple. La méthode consiste à partager le domaine de calcul en plusieurs volumes, où chaque volume entoure un nœud.

III.4 Maillage

Le code de calcul "FLUENT" dans sa version 6.2 traite plusieurs types de maillages structurés non-structurés ou hybrides. Un maillage structuré est généralement composé de mailles quadrilatérales en deux dimensions (2D ou maillage surfacique) et hexaédriques en trois dimensions (3D ou maillage volumique), tandis qu'un maillage non-structuré va être composé de mailles quadrilatérales ou triangulaires en 2D et hexaédriques ou tétraédriques en 3D. Dans un maillage hybride les mailles proches des parois sont des quadrilatères en 2D et des hexaèdres en 3D et les mailles du reste du domaine sont des triangles en 2D et des tétraèdres en 3D.

En proche paroi, il est nécessaire d'avoir des mailles les plus petites possibles pour bien modéliser les écoulements à cet endroit, cette particularité est d'autant plus importante en régime turbulent, on l'appelle (l'inflation). En 3D, les mailles qui font les liaisons entre les hexaèdres et les tétraèdres sont des prismes ou des pyramides. La figure III.2 représente les différents types de maillage utilisé par notre code.

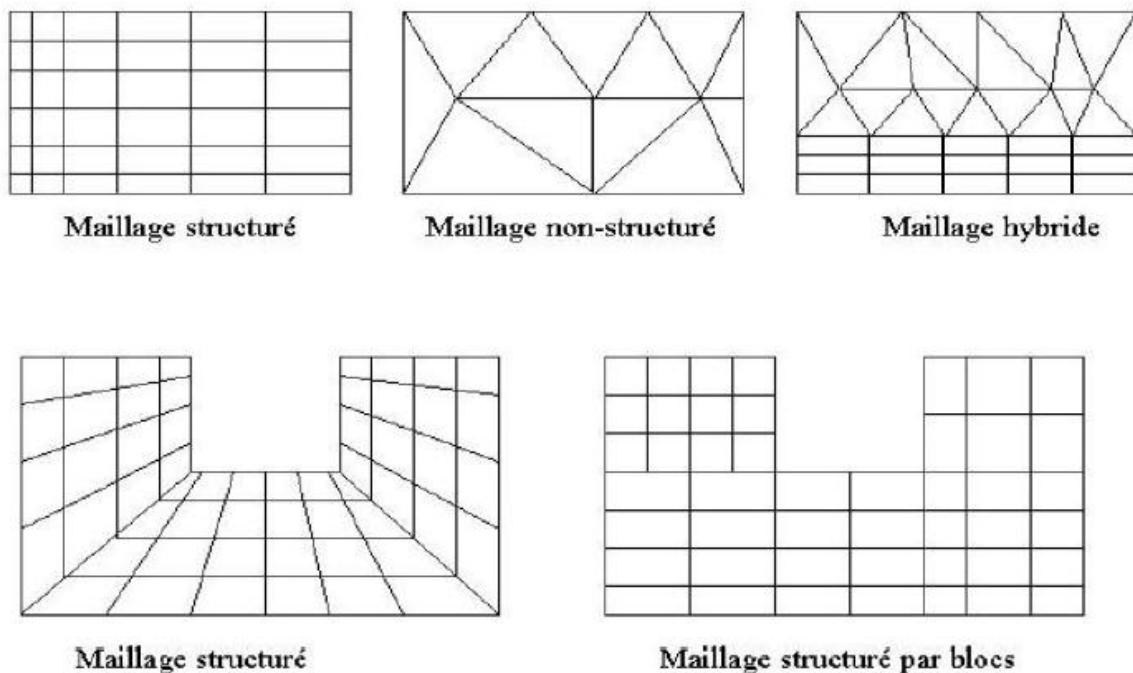


Figure III.2 : Types de maillage utilisé par "FLUENT"

III.4.1 Qualité du maillage

Avant de poursuivre et de simuler des écoulements avec un maillage, il est nécessaire de s'assurer de sa qualité. Ce dernier joue un rôle important dans la précision et la stabilité du calcul numérique.

Sous "GAMBIT", la mesure de l'obliquité équiangle est normalisée comme suit [14] :

$$\max \left[\frac{q_{\max} - q_e}{180 - q_e}, \frac{q_e - q_{\min}}{q_e} \right]$$

Où :

q_{\max} : Le plus grand angle de la face ou de la cellule.

q_{\min} : Le plus petit angle de la face ou de la cellule.

q_e : Angle d'une face ou cellule parfaitement régulière (60° pour un triangle), (90° pour un carré). Notons que par définition $0 < q_e < 180$.

Pour que le maillage soit bien précis il est souhaitable de prendre en considération la variation de tailles entre deux cellules adjacentes n'excède pas 20%. Le maillage doit être réalisé de sorte à minimiser la diffusion de l'erreur numérique.

III.4.2 Indépendance du maillage

Il est tout d'abord important de rappeler que le maillage peut être modifié dans la phase de simulation à l'aide du code "FLUENT". On peut par exemple, faire une adaptation de maillage à l'aide de l'option (adapt), selon divers critères permettant de définir des régions à l'intérieur du domaine de calcul. L'adaptation n'est toutefois permise que sur la base d'une première solution pour l'écoulement. L'indépendance du maillage a été réalisée en utilisant un raffinement de solution adaptatif, puisque des cellules peuvent être rajoutées là où elles sont nécessaires dans la grille après obtention des résultats de simulation.

Le maillage initial a été adapté en mettant plus de cellules dans les régions où le gradient de vitesse est plus élevé qu'un niveau choisi. Ce processus a été répété jusqu'à ce que les résultats soient devenus indépendants du maillage. En effet, il existe une manière pratique dans "FLUENT", qui consiste en la surveillance de la valeur moyenne de certaines variables. Quand cette valeur cesse de changer, on cesse les itérations sans devoir attendre jusqu'à la

convergence itérative, on adapte ensuite le maillage et on relance les itérations. La solution peut être considérée indépendante du maillage quand la valeur moyenne cesse de changer entre les adaptations [15].

III.4.3 Traitement près des parois

Dans le code de calcul "FLUENT", il existe deux approches pour modéliser l'écoulement près des parois (figure III.3), l'une se base sur des formules semi empirique dites fonction de paroi pour lier la couche complètement turbulente et la paroi sans tenir compte les autres couches, l'autre consiste à raffiner le maillage de tel sorte que la distance entre le premier nœud et la paroi soit inférieur à l'épaisseur de la couche visqueuse.

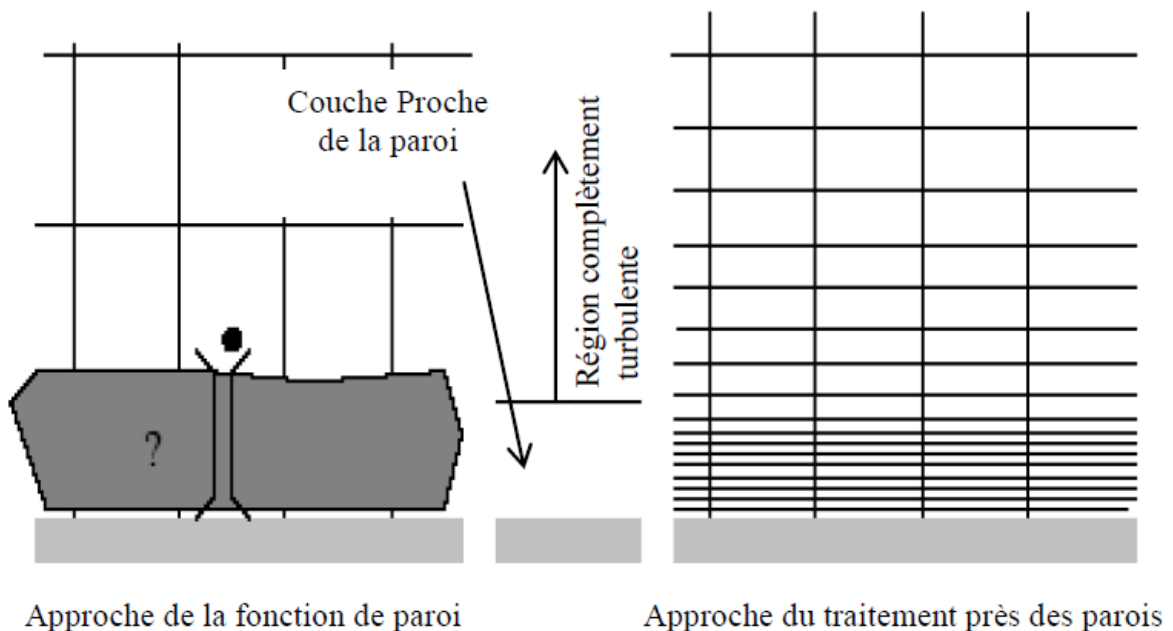


Figure III.3 Traitement près des parois dans le "FLUENT"

III.5 Étapes de résolution du problème

Les principales étapes utilisées dans la simulation par le code FLUENT sont les suivantes : on commence par la détermination du domaine de calcul (construction de la géométrie), ensuite la discrétisation du domaine de calcul (maillage), l'identification des conditions aux limites, le choix du modèle mathématique, après le choix de l'algorithme, résolution du modèle mathématique, enfin la visualisation et interprétation des résultats.

III.5.1 La création de la géométrie

La géométrie tridimensionnelle du scénario modélisé est tout d'abord construite, elle est représentée par un ensemble de surfaces qui correspondent au confinement de l'espace.

III.5.2 Schéma de discrétisation

Notre code emploie la méthode des volumes finis pour la résolution des systèmes d'équations utilisés pour modéliser les mouvements des fluides. En fait, avec la méthode des volumes finis, un problème physique donné est résolu suivant trois principales étapes :

- Division du domaine de calcul en volumes de contrôle via un maillage (voir figure III.4).
- Intégration des équations sur chaque volume de contrôle afin de les transformer en équations algébriques.
- Résolution des équations (de transport) ainsi discrétisées.

Ces équations de transport sont mises sous la forme générale suivante :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varphi) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho U_i \varphi) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right) + S_\varphi \quad (\text{III.1})$$

Où :

φ : représente une grandeur intensive.

Γ_φ : est un coefficient de diffusion

S_φ : un terme de source dont les expressions respectives dépend du modèle de turbulence choisi. Sous cette forme générale, tous les termes non-convectifs ou non-diffusifs sont inclus dans le terme source S_φ .

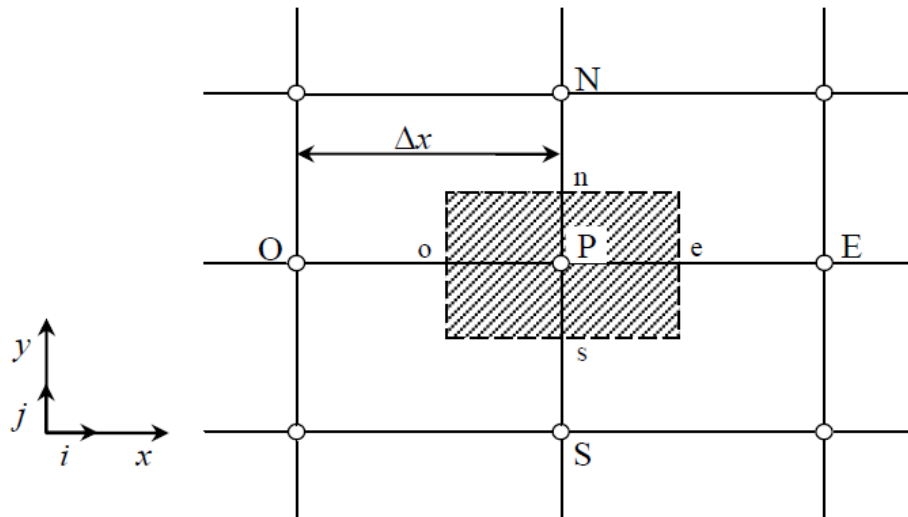


Figure III.4: Volume de contrôle pour la résolution en volumes finis

La figure III.4 représente la discrétisation en volumes finis des équations de transport. Les différentes grandeurs de l'écoulement sont calculées au centre de chaque volume de contrôle, aux points P , E , O , N et S . L'intégration de l'équation III.2 dans un volume de contrôle fait intervenir les valeurs, ainsi que les flux de diffusion et de convection et de convection de ces grandeurs aux frontières du volume de contrôle. Ainsi, pour le calcul des grandeurs au point P , leurs valeurs aux interfaces E , O , N et S sont également nécessaires. Plusieurs méthodes d'interpolation peuvent alors être utilisées connaissant leurs valeurs au centre des volumes de contrôle adjacents.

Les schémas d'interpolation employés dans les codes CFD sont en général basés sur la méthode de différences finies. On note ainsi que bien qu'une approximation par différences finies centrées des termes de diffusion au deuxième ordre soit adaptée à la majorité des problèmes, cette technique ne donne pas de résultats satisfaisants en ce qui concerne les termes convectifs. En effet, la méthode des différences centrées ne prend pas correctement en compte la direction de l'écoulement. La figure III.5 permet d'illustrer ce défaut majeur.

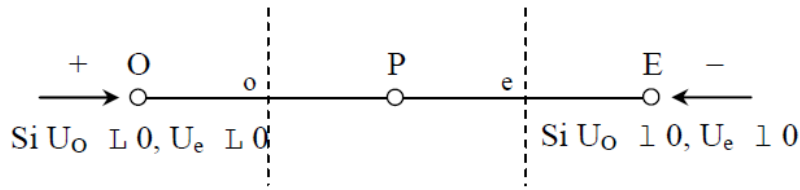


Figure III.5 : Schéma unidimensionnel illustrant un volume élémentaire entourant un nœud P.

Les valeurs d'une entité φ aux interfaces e et o sont déterminées par une approximation linéaire à l'aide des expressions suivantes :

$$\varphi_o = \frac{1}{2}(\varphi_p + \varphi_E)$$

$$\varphi_e = \frac{1}{2}(\varphi_o + \varphi_p)$$

Sur la base de ces deux dernières expressions, on peut noter que les points situés en amont et aval ont le même poids pour le calcul des valeurs à l'interface quelle que soit la vitesse de l'écoulement. Mais il peut exister un fort transport de la gauche vers la droite (ou inversement) de l'interface. Dans un tel cas, cette formulation n'est plus valable parce qu'elle peut générer des instabilités numériques quand le transport à travers une face d'un volume de contrôle est prépondérant par rapport à la diffusion. Le nombre de Peclet de maille permet à cet effet de quantifier l'importance relative des phénomènes convectifs et diffusifs :

$$P_{e_{maille}} = \frac{\rho U \Delta x}{\Gamma_\varphi}$$

Où ρU et Γ_φ sont considérés constants le long de Δx . On a ainsi pu constater que lorsque le nombre de Peclet de maille construit sur la dimension du maillage et de la vitesse à l'interface est supérieur à 2, la discrétisation centrée des termes convectifs, en régime permanent, conduit à des instabilités numériques [16]. Pour éviter ces instabilités numériques, des approximations décentrées sont proposées. Les échanges diffusifs sont modélisés de la même façon que dans le schéma à différences centrées. En revanche, les échanges convectifs n'ont lieu que de l'amont vers l'aval de l'écoulement. Ce schéma amont (upwind) est précis

au premier ordre sur la base d'un développement de Taylor. Il est inconditionnellement stable du point de vue numérique mais susceptible d'introduire une diffusion numérique « artificielle » pouvant affecter la précision du calcul Launder [17].

Pour éviter que la précision du calcul ne soit affectée par les effets de la diffusion numérique, on peut raffiner le maillage et/ou aligner le maillage sur l'écoulement. Malheureusement, le raffinement du maillage reste limité par la puissance de calcul des ordinateurs. De plus, l'alignement du maillage sur l'écoulement n'est possible qu'avec un écoulement simple dont la direction principale peut être alignée au maillage. En effet, lorsque les écoulements sont complexes, il est difficile d'aligner le maillage sur le mouvement. Il faut donc recourir à des méthodes de discrétisation spatiale d'ordre plus élevé pour réduire la diffusion numérique. Ainsi, des schémas d'ordre 3 et plus ont été proposés mais l'implémentation des conditions aux limites s'est avérée difficile à réaliser. Ces derniers schémas sont en outre peu stables. Un compromis satisfaisant entre la stabilité et la précision du calcul prédominant convectif a été trouvé avec les approximations amont (upwind) au second ordre [18].

On peut citer également le schéma d'ordre supérieur, QUICK, proposé par Leonard [19] et qui a été utilisé dans l'étude doctorale de Lepers [29]. Ce dernier a pu noter que comparé à un schéma amont (upwind) au deuxième ordre, le schéma Quick n'améliore pas beaucoup la précision des résultats numériques.

Pour notre étude, le schéma d'interpolation QUICK (Quadratic Upwind Interpolation [20]) est utilisé. Ce schéma calcule la valeur à l'interface d'une grandeur, en fonction de ses valeurs au centre des volumes de contrôle adjacents et de volumes plus éloignés en amont de l'interface considérée.

III.5.3 Identification des conditions aux limites

Les conditions aux limites sont très importantes pour obtenir une solution précise avec une convergence rapide. Ce paragraphe présente de façon succincte les conditions aux limites disponibles. Afin de définir un problème avec une solution unique, on doit fournir des informations sur les variables aux frontières du domaine. Spécifier les flux de masse, quantité de mouvement, énergie, etc.

Définir les conditions aux limites implique :

- ✓ Identifier la position des frontières (entrées, parois, symétrie)
- ✓ Donner les informations sur ces frontières (les conditions de glissement ou d'adhérence du fluide)

Les données dépendent du type de conditions aux limites et des modèles employés. On doit connaître l'information nécessaire aux frontières et positionner ces frontières où l'information est connue ou peut être correctement approchée. Les mauvaises conditions aux limites ont toujours un impact sur les résultats. Les types de conditions aux limites disponibles sur le code de calculs Fluent sont comme suit :

- Types de conditions aux limites pour les surfaces externes 'External Faces'
 - General: 'Pressure inlet, Pressure outlet'
 - Incompressible: 'Velocity inlet, Outflow'
 - Écoulement compressible: 'Mass flow inlet, Pressure far-field'
 - Special: 'Inlet vent, outlet vent, intake fan, exhaust fan'
 - Other: 'Wall, Symmetry, Periodic, Axis'
- Types de conditions limites pour les cellules 'Cell Boundaries'
 - Fluide et Solide

Le logiciel « Fluent » offre la possibilité de changer le type de conditions aux limites et de régler les données suivant nos besoins (ex. définir par des UDFs) aux cellules quadrilatères, d'où le besoin de plus de ressources et de temps de calcul.

III.5.4 Le choix du modèle mathématique

❖ La méthode de couplage Pression-Vitesse

Trois algorithmes sont disponibles dans le logiciel de calcul :

- SIMPLE : le plus robuste.
- SIMPLEC : il donne une convergence plus rapide pour les problèmes simples.
- PISO : il est utile pour des problèmes des écoulements instables.

L'algorithme choisi dans notre étude est l'algorithme SIMPLE [21]. À l'initialisation du calcul, un champ de pression fixé a priori est introduit dans l'équation de bilan de la quantité de mouvement, permettant de calculer un premier champ de vitesse. La combinaison des équations de bilan de masse et de quantité de mouvement permet ensuite de corriger ces premiers champs de pression et de vitesse. Les autres équations de transports sont ensuite

résolues et le champ de pression corrigé est utilisé pour initialiser le calcul à l'itération suivante. Cette succession d'opération est répétée jusqu'à ce que les critères de convergences soient atteints.

III.5.5 Le choix de l'algorithme

❖ Algorithme SIMPLE

La discrétisation d'une équation de transport diffusion sur un volume de contrôle par la méthode des volumes finis fait intervenir les valeurs des vitesses aux interfaces des volumes (U_e , U_w , U_n , U_s). Il est donc intéressant de calculer ces vitesses directement sur les interfaces (sans avoir à effectuer d'interpolations). D'autre part, la discrétisation de l'équation de continuité et du gradient de pression avec l'utilisation d'une interpolation linéaire peut induire des erreurs importantes du fait qu'une répartition de pression ou de vitesse en "damier" est vue comme un champ uniforme. Pour contourner ces difficultés on préfère utiliser des grilles décalées "staggered grid". Une grille principale est construite sur laquelle on calcule la pression, la température et la concentration. Deux grilles décalées vers la droite et vers le haut respectivement sont utilisées pour le calcul des vitesses horizontale et verticale.

L'algorithme SIMPLE, acronyme pour « Semi-Implicit Method for Pressure Linked-Equations » permet de résoudre le système d'équations discrétisées. Cet algorithme stipule l'existence d'une relation entre les vitesses corrigées et les pressions corrigées, en vue de vérifier l'équation de conservation de la masse.

Le schéma représentatif de ce processus itératif est le suivant :

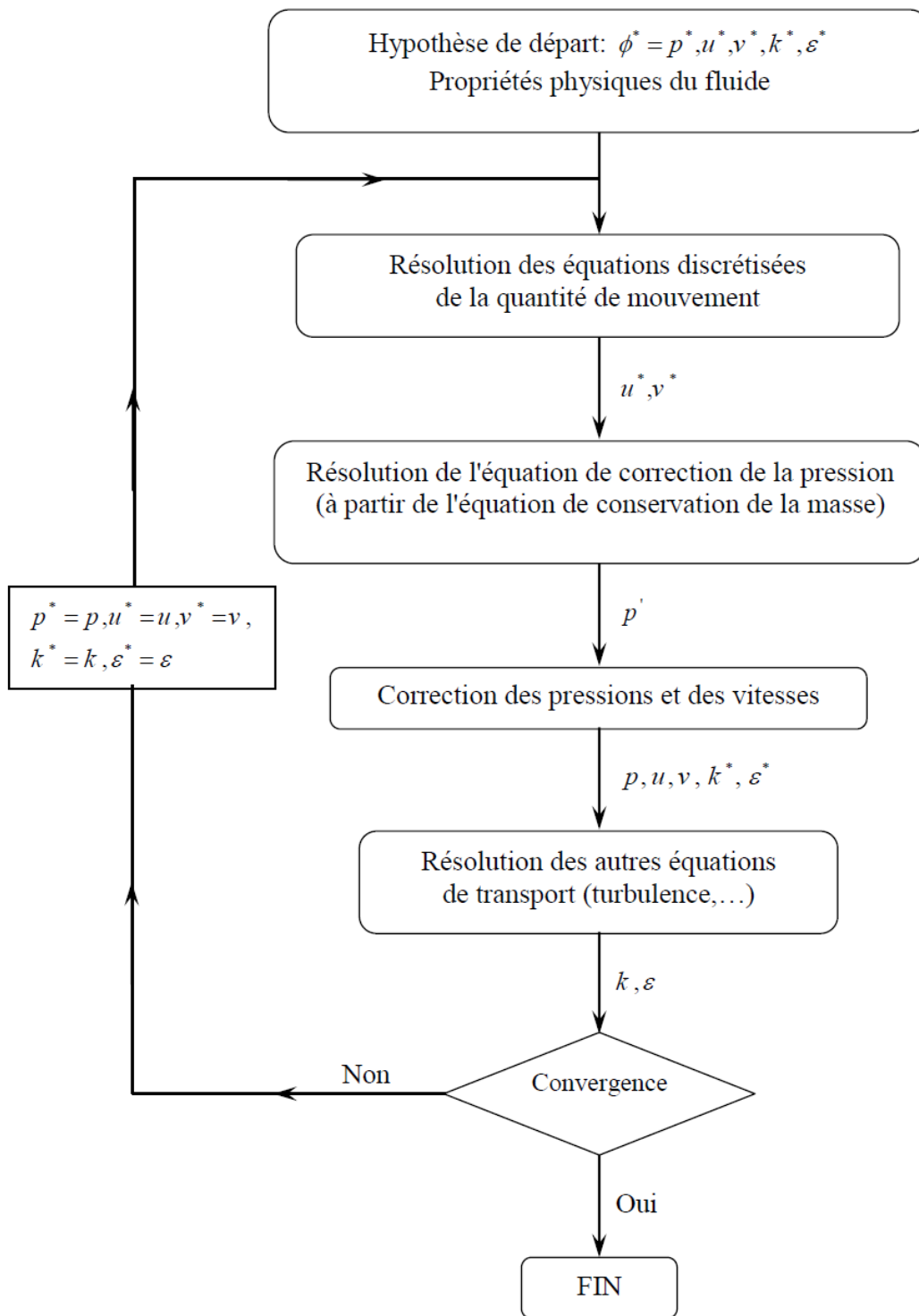


Figure III.6 : Schéma représentatif de l'algorithme SIMPLE

u et v sont les deux composantes du vecteur vitesse, p représente la pression, ϕ^* est défini par : $\phi = \phi^* + \phi'$, ϕ' est une correction.

III.5.6 Résolution numérique

❖ Paramètre de contrôle de la convergence

La façon d'obtenir une solution convergée est un des éléments essentiels de prédiction d'écoulement au moyen des codes CFD. Le code "FLUENT" propose différentes techniques pour accélérer le processus de convergence est augmentée si une bonne estimation de la solution est donnée comme condition initiale. Nous avons recours à plusieurs techniques décrites ci-dessous :

❖ Critère de convergence

La résolution numérique des problèmes de type CFD nécessite un processus itératif. Pour apprécier la convergence du processus itératif, des critères de convergence doivent être pris en compte. Ainsi, la convergence du processus itératif est déterminée par le concept de résidu. Après l'étape de discrétisation, l'équation de conservation d'une variable ϕ donnée sur une cellule de centre P peut s'exprimer comme suit :

$$a_p \phi_p = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b$$

Où : a_p et a_{nb} représentent les contributions convectives et diffusives, l'indice nb est lié aux centre de cellules adjacentes. b représente la contribution de partie constante du terme source.

Ces expressions des résidus sont valables pour toutes les grandeurs sauf la pression, dans le cas de cette grandeur, le résidu est déterminé à partir de l'équation de continuité :

$$R^c = \sum_{\text{Domaine}} |\text{taux de création de matière dans le domaine}|$$

❖ Sous-relaxation

A cause de la non linéarité des équations résolues, il est possible, pour atténuer les fluctuations de la solution, de réduire les variations des variables d'une itération à une autre en introduisant une sous-relaxation. Il n'existe pas des règles générales concernant des

meilleures valeurs des coefficients de sous-relaxation, mais il existe des recommandations pour chacune des grandeurs, généralement basé sur des connaissances empiriques.

III.6 Génération des calculs par FLUENT

La génération du calcul dans «FLUENT» passe par les étapes suivantes :

- 1- Charger la géométrie par Fluent. **File- Read- Case**
- 2- Vérification du maillage. **Grid- Check**
- 3- Afficher le maillage. **Display- Grid**
- 4- Définir le Model de solution. **Define- Solver**
- 5- Définir le Model de Turbulence. **Define- Models- Viscous**
- 6- Définir la Matière. **Define- Materials**
- 7- Définir les conditions aux limites. **Define- Boundary- Conditions**
- 8- Choix du control de solution. **Solve- Controls- Solution**
- 9-Enregistrer les informations liées au problème. **File- write- Case & dat**, Le fichier **Case** (regroupe toutes informations liées à la géométrie). Le fichier **dat** (contient tous les paramètres et données des calculs).
- 10- Initialiser le calcul. **Solve- Initialize- Initialize**
- 11-Vérifier les résidus des calculs. **Solve- Monitors- Residual**
- 12-Choisir du nombre des itérations et lancer les calculs. **Solve- Iterate**
- 13-Post traitement des résultats. (**Display, Plot, Repport** -etc.)

III.7 Modélisation de l'écoulement d'air

Le noyau est composé de trois équations fondamentales de la mécanique des fluides : l'équation de conservation de la masse, l'équation de bilan de la quantité de mouvement et enfin l'équation de bilan de l'énergie. La discrétisation temporelle est basée sur une étape de prédiction des vitesses suivie d'une étape de correction par la pression. Les équations de la turbulence et des scalaires sont résolues dans une troisième étape. La discrétisation spatiale

est de type volumes finis sur un maillage non structuré et toutes les variables sont localisées au centre des cellules.

III.7.1 L'équation de conservation de la masse

L'équation de conservation de la masse est la seule loi qui ne fasse intervenir que des grandeurs fondamentales. L'équation anélastique s'écrit :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (\text{III.2})$$

Où ρ est la masse volumique du fluide (kg m^{-3}), \vec{u} est le vecteur vitesse du fluide et est un terme source ou puits de masse ($\text{kg m}^{-3} \text{s}^{-1}$). Ce dernier est généralement nul.

III.7.2 L'équation de bilan de quantité de mouvement

L'équation de bilan de quantité de mouvement est donnée par :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{u}) + \overrightarrow{\text{div}} (\rho \vec{u} \times \vec{u}) = \overrightarrow{\text{div}} (\vec{\sigma}) + \vec{S}_u \quad (\text{III.3})$$

Où \vec{S}_u représente le terme source de flottabilité, $\vec{\sigma}$ est le tenseur des contraintes appliquées au fluide ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$).

III.7.3 Les équations de la thermique

❖ L'équation de l'énergie interne:

L'équation de l'énergie interne est donnée par :

$$\rho \left(\frac{\partial k}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla k \right) = -\text{div} \vec{q} + \dot{q} - p \text{div} \vec{u} + \mu \Phi \quad (\text{III.4})$$

Où k est l'énergie interne spécifique, q'' est le flux de chaleur exprimé par la loi de Fourier

$\dot{q} = -\lambda \nabla T$ est le terme source volumique radiatif, Φ est la dissipation visqueuse donnée par l'équation :

$$\varepsilon = 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left[\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{2}{3} \text{div} \vec{u} \quad (\text{III.5})$$

❖ L'équation de température

L'équation de la température s'écrit :

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \vec{\nabla} T \right) = \text{div}(\lambda \vec{\nabla} T) + \beta T \frac{dp}{dt} + q + \dot{\mu} \phi \quad (\text{III.6})$$

✓ Le fluide est incompressible, $\beta = 0$

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \vec{\nabla} T \right) = \text{div}(\lambda \vec{\nabla} T) + q + \dot{\mu} \phi \quad (\text{III.7})$$

✓ Si le fluide est adiabatique ($q'''=0$) et isentropique ($\mu\phi=0$)

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \vec{\nabla} T \right) = \text{div}(\lambda \vec{\nabla} T) \quad (\text{III.8})$$

III.8 Modélisation de la turbulence

Pour modéliser la turbulence, une solution consiste à introduire dans les équations de Navier-Stokes la décomposition dite "de Reynolds". Cette décomposition fait apparaître des termes supplémentaires, appelés les "tensions de Reynolds", rendant le système d'équations ouvert avec un excès d'inconnues et posant ainsi le problème de fermeture du système.

Il est possible de fermer le système d'équations grâce à différents modèles de fermeture plus au moins complexes. Plusieurs modèles sont disponibles dans le FLUENT : un modèle de longueur de mélange; le modèle (k-ε), le modèle de tenseur de Reynolds et différents modèles de LES. Le modèle de turbulence (k-ε) est généralement retenu pour des simulations en convection forcée. En effet, ce modèle à deux équations est simple, robuste et constitue le niveau minimum de modélisation physiquement acceptable pour nos applications. Dans cette étude, le modèle (k-ε) standard a été choisi pour modéliser la turbulence,

Pour plus de détails sur les modèles de turbulences voir Annexe A.

III.9 conclusion

Dans ce chapitre, nous avons élaboré les hypothèses considérées dans notre travail. Nous avons ainsi, défini les méthodes numériques d'une part, et la présentation du code de calcul d'autre part.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter les dernières étapes de notre processus CFD, à savoir le calcul numérique de la solution, la visualisation des résultats et la validation.

IV.1 Introduction

La simulation a été réalisée à l'aide du logiciel FLUENT. Ce dernier est un logiciel de simulation qui appartient au groupe CFD (Computational Fluid Dynamics) faisant partie des modèles numériques eulériens.

Dans cette partie nous avons tenté de montrer l'importance de cet outil d'aide à la modélisation numérique, notamment les résultats obtenus dans les domaines de la conception d'un plan d'urbanisme et d'un bâtiment. Appliqué à ces derniers, l'outil nécessite la prise en compte de données climatiques locales, qui devraient être analysées spécifiquement en fonction des applications.

Les thèmes abordés vont de l'évaluation des risques climatiques à l'échelle d'une ville, jusqu'à la caractérisation des microclimats, des interactions et impact au sein d'un espace urbain. Dans notre cas, les données climatologiques de base, sont généralement mesurées dans les stations météorologiques des stations IHFR ou ONM d'Oran.

IV.2 Fonctionnement du logiciel Fluent

Le logiciel utilisé pour la modélisation 3D est CFD FLUENT® [13]. Il est reconnu pour être l'un des principaux logiciels de type CFD (Computational Fluid Dynamics) utilisé pour des calculs multiphasiques complexes. Les logiciels CFD sont destinés à faire une analyse numérique des écoulements de fluide, des transferts de chaleur et des phénomènes qui leurs sont liés.

Le logiciel fonctionne de la façon suivante : le domaine de calcul est divisé en un grand nombre de cellules (ou volumes de contrôle), et dans chacune de ces cellules les équations aux dérivées partielles décrivant l'écoulement (les équations de Navier Stokes) sont intégrées sur chaque volume élémentaire. Elles mettent en relation la pression, la vitesse, la température et d'autres variables telles que la concentration des composants avec les valeurs des cellules voisines. Ces équations sont alors résolues numériquement, donnant une image complète du fluide sur la grille de résolution.

Cet outil de calcul ne nécessite que la connaissance de la géométrie de l'ouvrage, l'étude des conditions aux limites et le choix du modèle de turbulence. Il permet de représenter les écoulements tridimensionnels (champ de vitesse, ligne de courant,...) et surtout la forme de la surface libre dans les ouvrages

IV.3 Application du logiciel FLUENT à l'espace urbain oranais

Dans la présente tentative d'utilisation du logiciel, il s'agit pour nous d'essayer de l'appliquer à un espace urbain qui se caractérise par de fortes densités et un étalement urbain à même de placer Oran parmi les villes les plus importantes d'Algérie et une ville assez dynamique autant sur le plan spatial qu'économique et social.

Pour ce faire nous avons choisi d'appliquer ce logiciel à la fois sur une portion de l'espace urbain existante LES HLM du quartier de Gambetta. Celui-ci a été choisi pour sa proximité avec l'IHFR afin que les données climatologiques de la station soient les plus proches de la réalité.

En outre, il a été choisi d'appliquer ce logiciel à un espace urbain projeté dans le cadre du nouveau pôle urbain d'Oran. La zone choisie est qualifiée d'ECOQUARTIER, soit un espace qui devrait intégrer toutes les propriétés d'un espace durable et adapté au changement climatique.

L'application de ce logiciel à ce futur ECOQUARTIER devrait en principe nous renseigner sur les paramètres urbains intégrés dans l'étude et nous montrer si réellement la géométrie et les morphologies adoptées dans la projection urbaine sont à même de permettre à cette future portion de l'espace urbain du nouveau pôle de s'approprier le terme d'Eco quartier, adapté au changement climatique.

IV.4 Climatologie de la ville d'Oran

Oran, ville côtière, située au Nord-Ouest de l'Algérie, sur une latitude $35,7^\circ$ Nord de Greenwich, et une longitude de $0,6$ Est, Hémisphère Nord. Oran est considérée comme l'une des villes les moins humides et moins pluvieuses de l'Algérie. Elle appartient au climat méditerranéen semi-aride, peu pluvieux et doux en hiver, chaud et humide en été.

IV.4.1 Le vent

En ce qui concerne le régime des vents (Figure IV.1), au cours de la saison hivernale, la vitesse maximale du vent varie entre $20,3$ m/s au mois de Décembre et $17,8$ m/s au mois de Mars. Pour la saison estivale, la vitesse maximale du vent varie entre $14,9$ m/s au mois d'Août et $18,2$ m/s au mois de Septembre. Selon la rose des vents effectuée par les services de la station de l'IHFR, (période du 01/01/2013 au 31/12/2013), on constate que, (Figure IV.1):

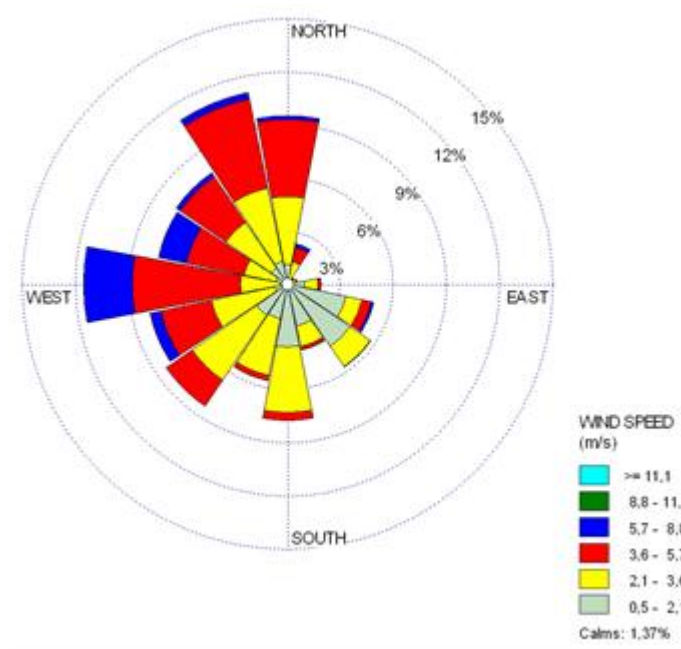
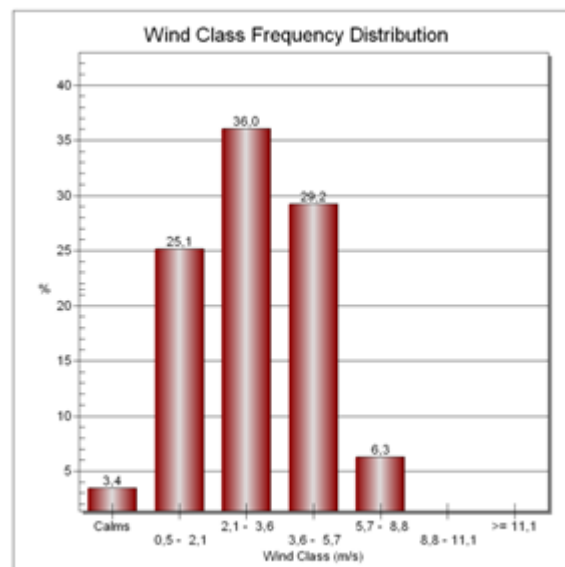


Figure IV.1 : Classes du vent pour l'IHFR (2013)

(**Source**: données de la Station météorologique d'IHFR réalisé par logiciel WRPLOT View -



Freeware)

Figure IV.2 : Histogramme (2013) (réalisé par logiciel WRPLOT View - Freeware)

La fréquence des vitesses du vent se répartit par classes comme suit:

- ✓ 0 m/s: 3,4 % ;
- ✓ de 0,5 à 2,1 m/s: 25,1 % ;
- ✓ de 2,2 à 3,6 m/s: 36 % ;

- ✓ de 3,6 à 5,7 m/s: 29,2 %;
- ✓ de 8,8 à 11,1 m/s: 0,1 %.

La fréquence des vents forts est de 45.45 %

La fréquence des vents calmes est de 1.4 %.

On peut considérer que la probabilité de direction du vent la plus forte (direction dominante) est dans le quadrant **Nord-Ouest**.

IV.4.2 Le rayonnement solaire

L'éclairement solaire est très important en été (990 W/m^2) avec une longue durée, en hiver il est moins important l'après-midi (150 W/m^2).

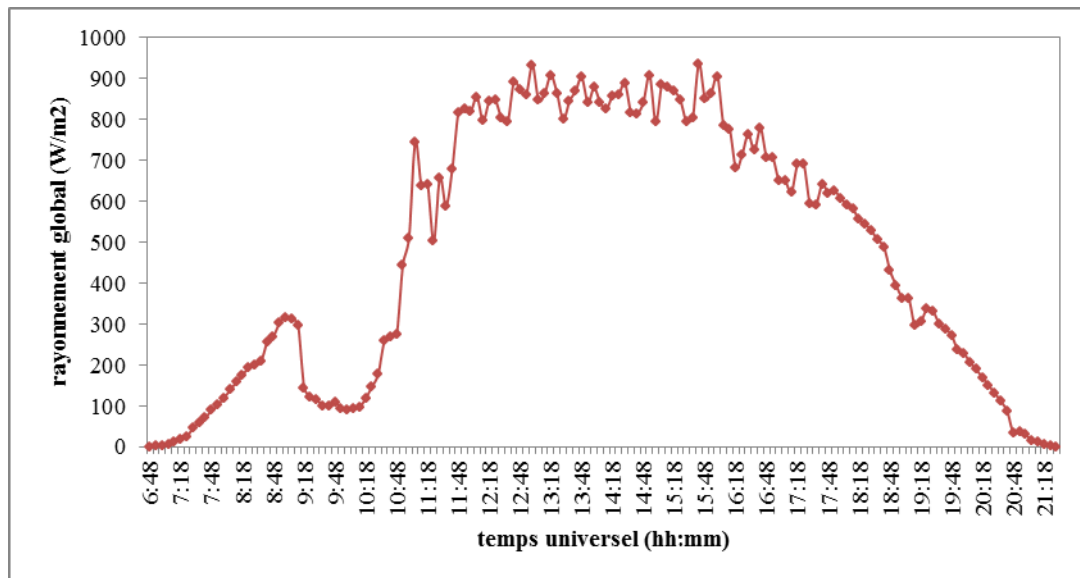


Figure IV.3 : Variation de rayonnement global de site IHFR, le 21 juin 2014

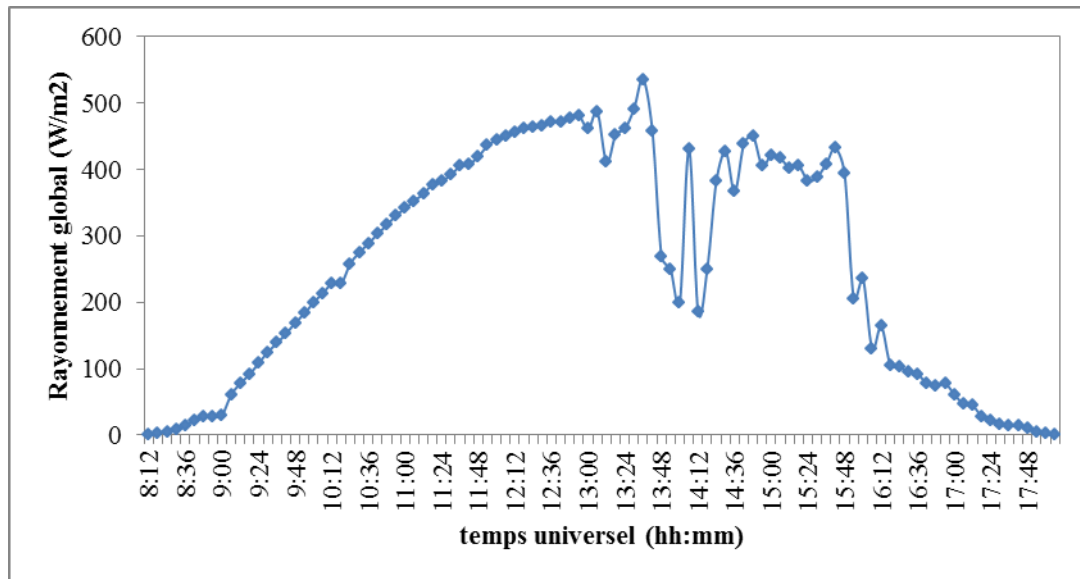


Figure IV.4 : Variation de rayonnement global de site IHFR, le 21 Décembre 2014

IV.4.3 La température

La température est très basse (9°C) dans les premières heures du matin et elle augmente jusqu'à 16°C.

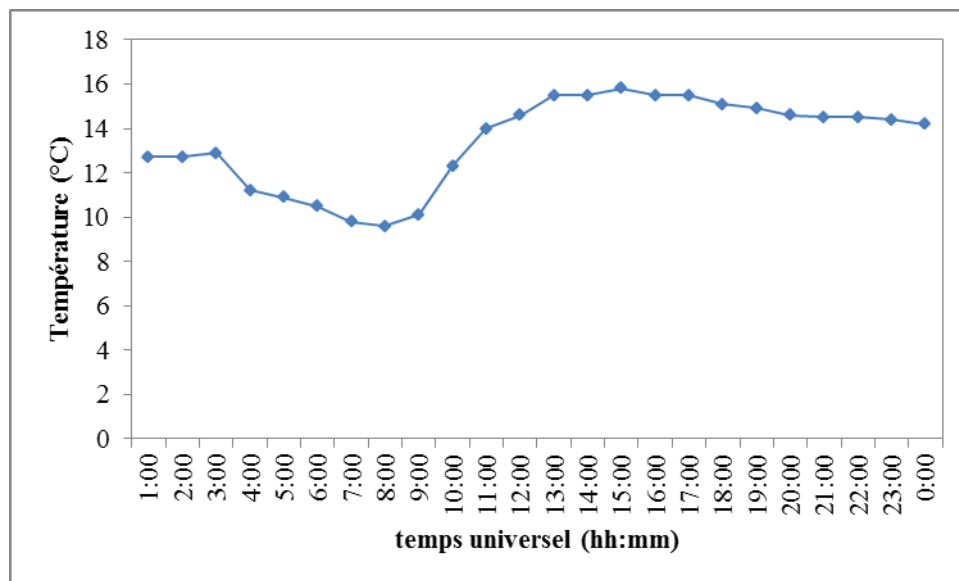


Figure IV.5 : Variation de la température du site IHFR, le 21 Décembre 2014

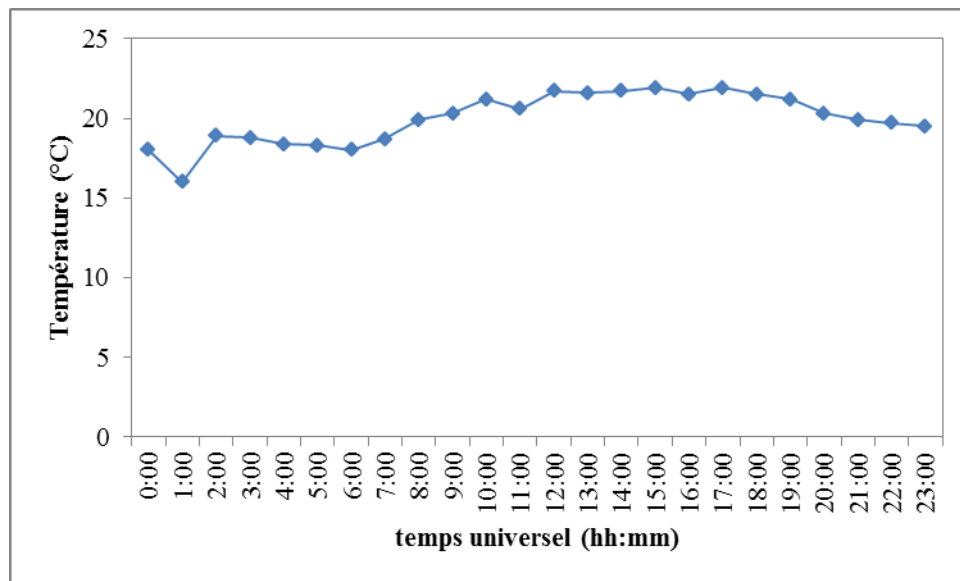


Figure IV.6 Variation de la température du site IHFR, le 21 juin 2014

En été, la température est peu stable durant toute la journée environ 24 °C.

IV.5 Présentation du domaine d'étude des HLM

Le quartier des HLM est situé à l'est de la ville d'Oran. Pendant longtemps, il fut un quartier périphérique constitué d'un certain nombre d'immeubles abritant une nombreuse population. Aujourd'hui, il se caractérise par un réel dynamisme et de fortes concentrations de populations et d'activités.



Figure IV.7 : Photographie satellitaire de la cité des HLM [Google Earth-2014]

IV.5.1 Conception de la géométrie par Gambit 2.4

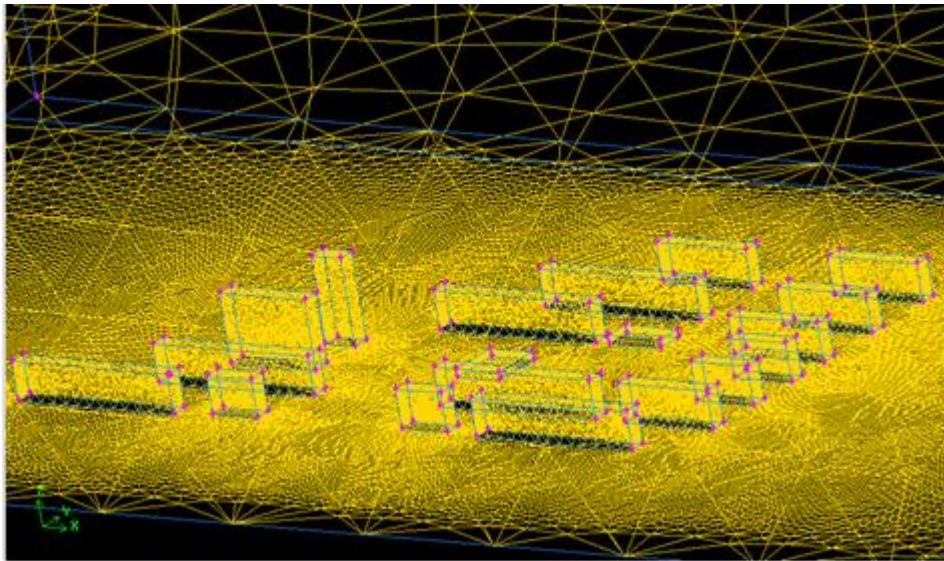


Figure IV.8 : représentation de la conception géométrique du quartier des HLM (ORAN)

en 3D

IV.5.2 L'effet du vent

Au moment de la conception des espaces extérieurs urbains, si la réflexion des aménageurs se porte à l'évidence sur les formes, les volumes, la fonctionnalité, et désormais sur l'impact environnemental, il est encore peu courant de prendre en compte les effets du vent, non pas sur les ouvrages, mais sur les usagers. Ce facteur de confort pourra pourtant grandement conditionner la fréquentation d'un lieu [10].

La disposition des bâtiments dans les espaces urbains, leurs formes, la nature des surfaces qu'ils présentent, les plantations aussi, réagissent aux conditions climatiques locales. Le vent emprunte les couloirs que forment les bâtiments, les angles, les rétrécissements, les dents creuses perturbent les flux aériens.

Imaginer les effets des bâtiments sur l'écoulement du vent au sein d'un projet architectural en milieu urbain suppose de connaître le contexte météorologique local. De plus, il est fort utile de visualiser ces effets qui peuvent être simulés à partir d'images 3D du projet.

Dans notre travail nous avons choisi d'utiliser les modèles de simulation CFD pour l'étude paramétrique des mouvements d'air autour des bâtiments.

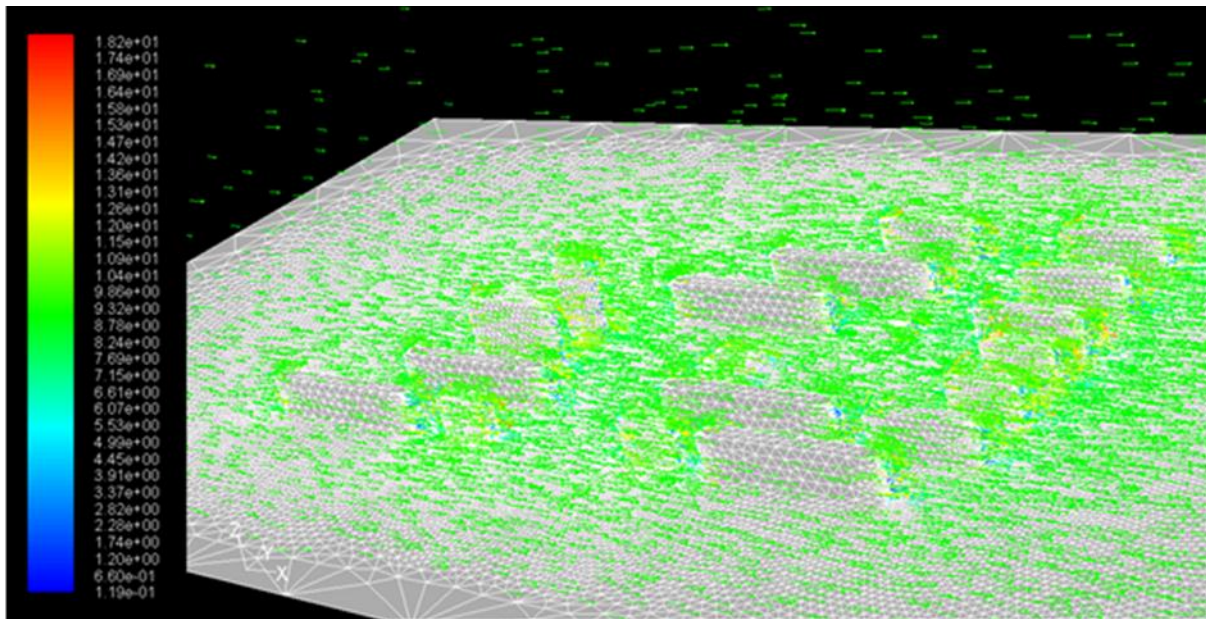


Figure IV.9 : Illustration du champ de la vitesse en 3D avec leur maillage

Les figures ci-dessous montrent les résultats d'une simulation réalisée à l'aide du logiciel FLUENT de l'écoulement du vent autour des bâtiments élevés à différents niveaux ($Z=3\text{m}$, $Z=10\text{m}$, $Z=20\text{m}$) au milieu du quartier HLM. La série des vitesses de l'air sont présentées en bleu (vitesses très faibles) et en rouge (vitesses très élevées).

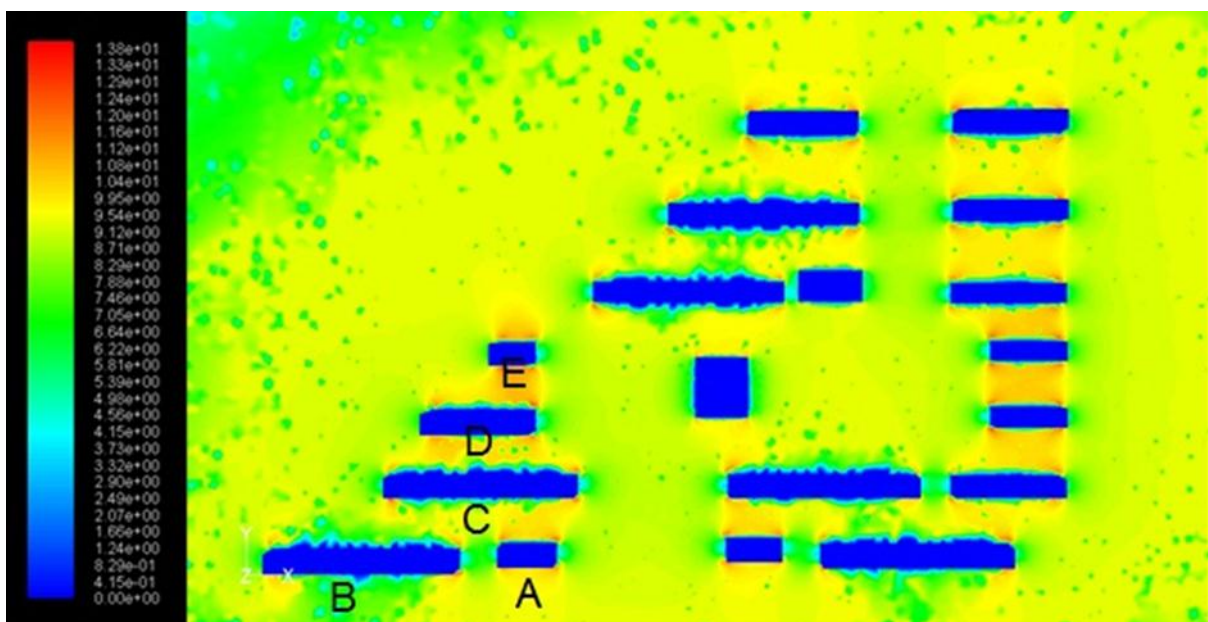


Figure IV.10: Contour du vent (m/s) à $z=3\text{m}$, X : est, Y : nord

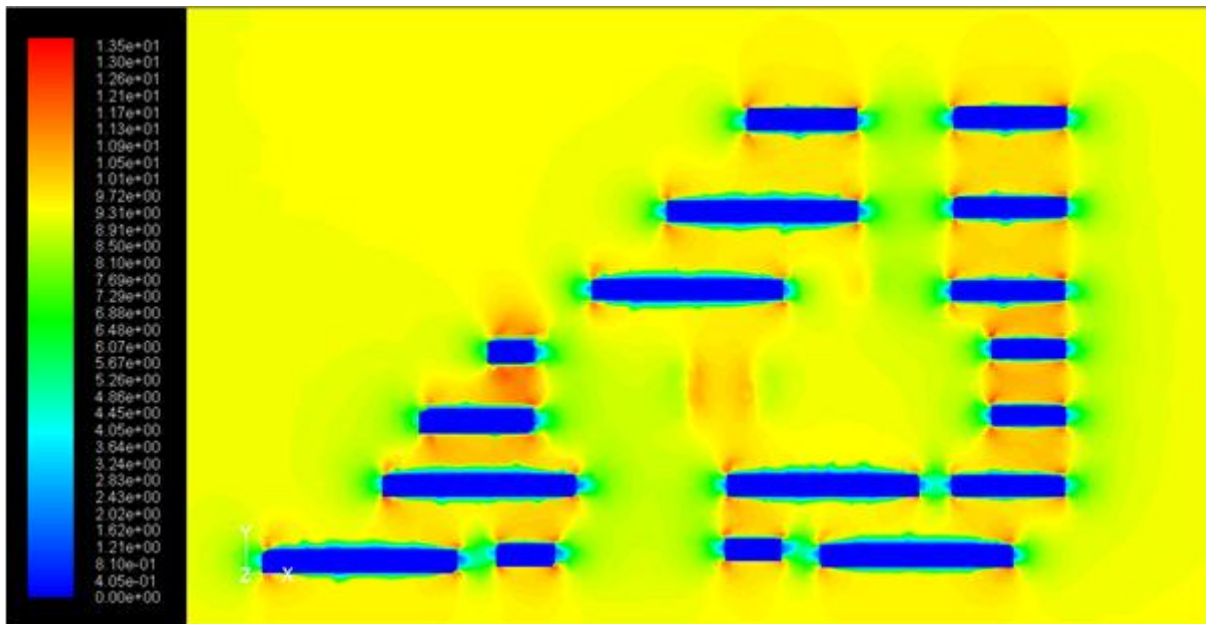


Figure IV.11 : Contour du vent (m/s) à $z=10\text{m}$, X : est, Y : nord

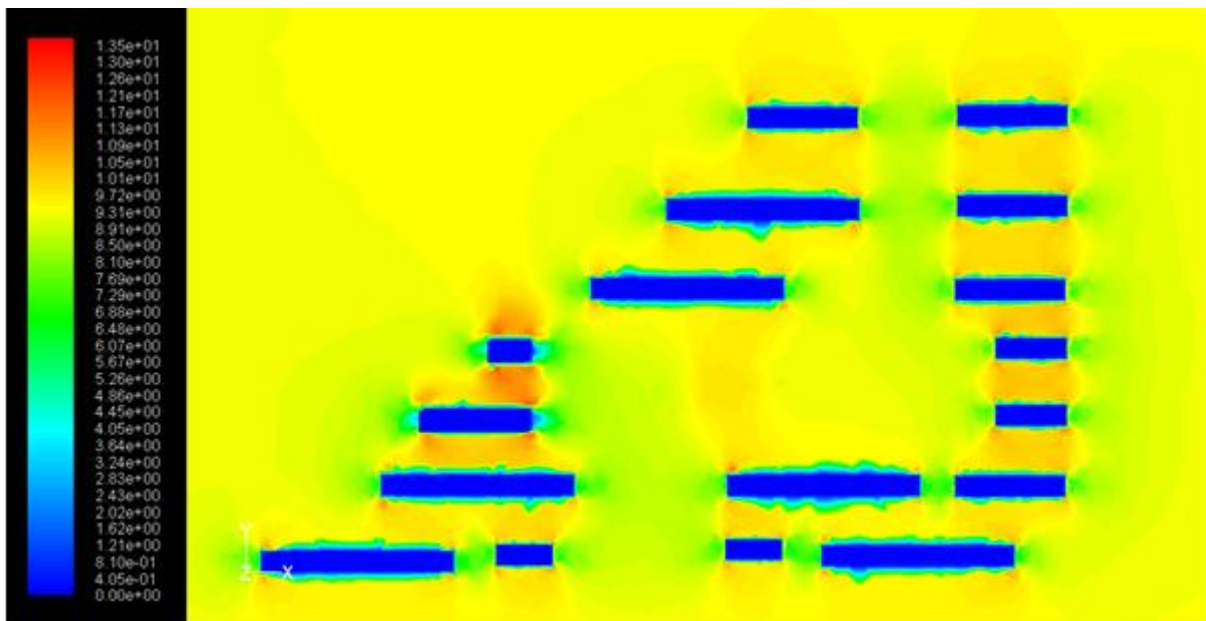


Figure IV.12 : Contour du vent (m/s) à $z=20\text{m}$, X : est, Y : nord

L'écoulement du vent autour des bâtiments est un phénomène très complexe à simuler, lorsque la vitesse du vent est faible, des effets thermiques (température de l'atmosphère, surfaces chaudes,...) peuvent influencer les mouvements d'air, ces effets n'influencent que les faibles mouvements d'air et ils n'ont donc pas vraiment d'impact sur le confort au vent des personnes.

On peut conclure que dans les graphiques ci-dessus qui présentent la distribution des vitesses du vent à 3 m et à 10m et 20m de haut selon nos simulations FLUENT, La même échelle des vitesses est valable pour tous les graphiques, le vent provient de la gauche.

Entre les bâtiments D et E (ces deux bâtiments se trouvent à gauche dans la figures) ,on remarque des vitesses du vent relativement très importante, il Ya une circulation d'air dans cette zone ce qui implique la présence de **l'effet de canyon** (la hauteur des bâtiments D=45m, E=36m, la largeur de la rue= 18 m, le rapport H/W= 2.5), ce dernier à un effet positif dans l'été, permet de rafraîchir la rue.

Signalons toutefois que ces simulations donnent des résultats moyens qui ne rendent donc pas compte de l'amplitude dynamique des mouvements d'air réels et permettront de prédire de manière précise les zones les plus sensibles où les survitesses de vent risquent de se produire régulièrement.

IV.5.3 L'effet de la température

La température de l'air en un lieu dépend de la nature des surfaces environnantes. En effet, la nature du sol est déterminante dans le phénomène de transfert de chaleur entre les surfaces du site et l'air, provoqué par la réémissions ou sous forme de rayonnement de grande longueur d'onde et par convection.

La température d'un lieu est aussi influencée par l'aménagement du sol à cet endroit : bâtiments, arbres, etc. En ville, les apports provenant des activités humaines (véhicules, industries, chauffage, etc...) s'ajoutent à la présence de matériaux à forte inertie pour réchauffer l'atmosphère. La température de l'air en ville est en moyenne sur l'année de 0.5 à 3°C plus élevée qu'en site dégagé. C'est ce qu'on appelle l'effet d'îlot de chaleur urbain (S.Reiter 2007).

❖ En Hiver

Les figures suivantes montrent les résultats des simulations pour la saison hivernale pour la journée du 21 Décembre 2014, en exprimant le contour de température statique sur le quartier HLM à 9h, 10h, 12h, 14h, 16h, 17h.

- ◆ L'axe des abscisses x ; représente la direction est.
- ◆ L'axe des ordonnées y ; montre la direction Nord

Les valeurs les plus élevées exprimés en rouge, les plus faibles en bleu.

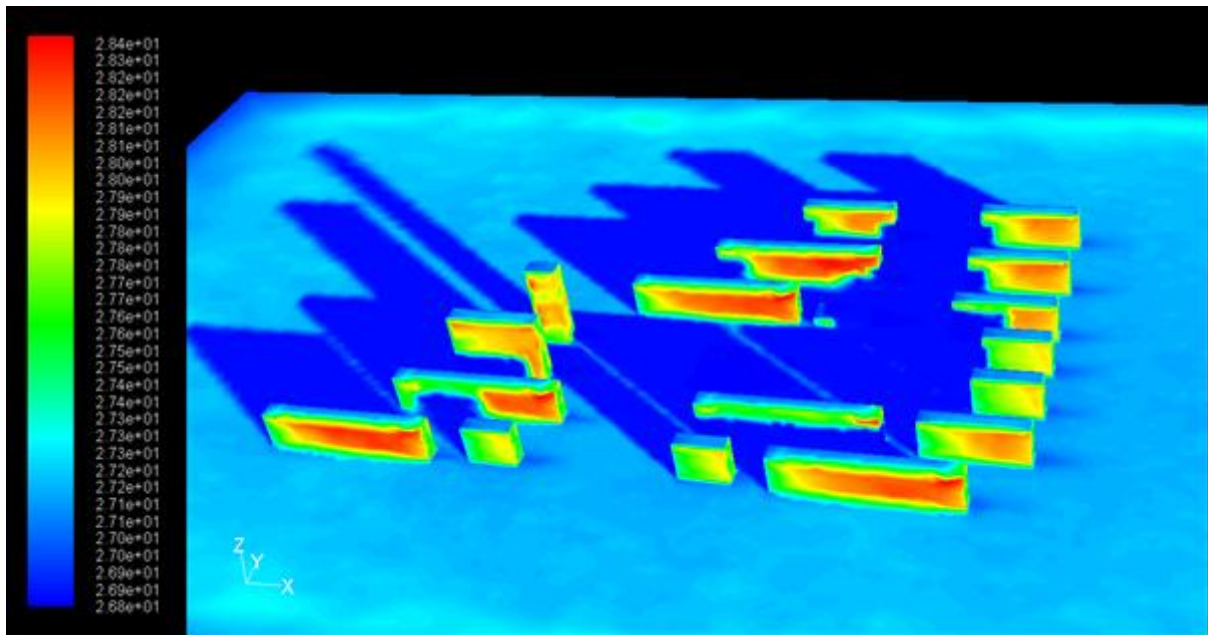


Figure IV.13 : Contour de température statique (°C) pour le 21/12/2014 à 09:00

X : est, Y : nord

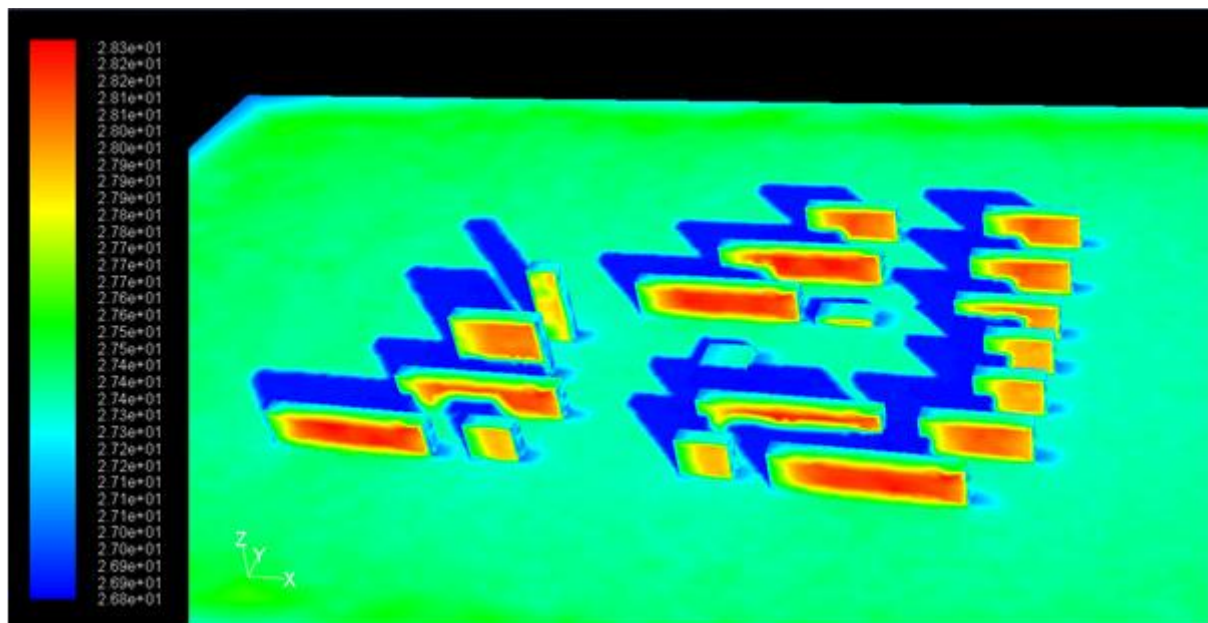


Figure IV.14 : Contour de température statique (°C) pour le 21/12/2014 à 10:00

X : est, Y : nord

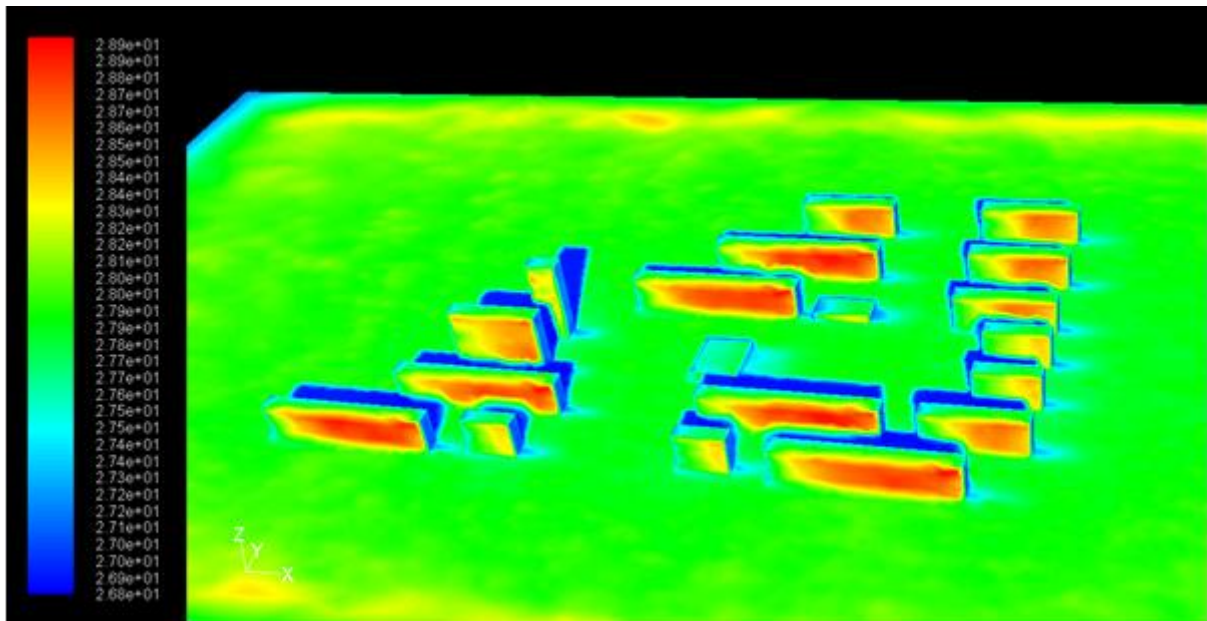


Figure IV.15 : Contour de température statique (°C) pour le 21/12/2014 à 12:00

X : est, Y : nord

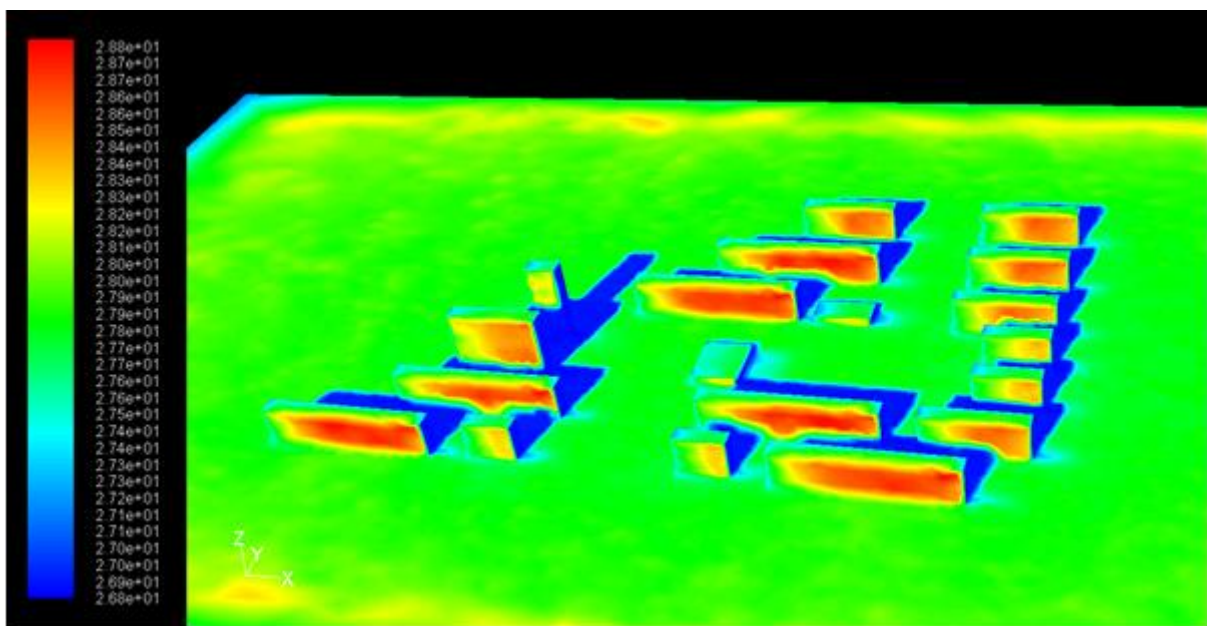


Figure IV.16: Contour de température statique (°C) pour le 21/12/2014 à 14:00

X : est, Y : nord

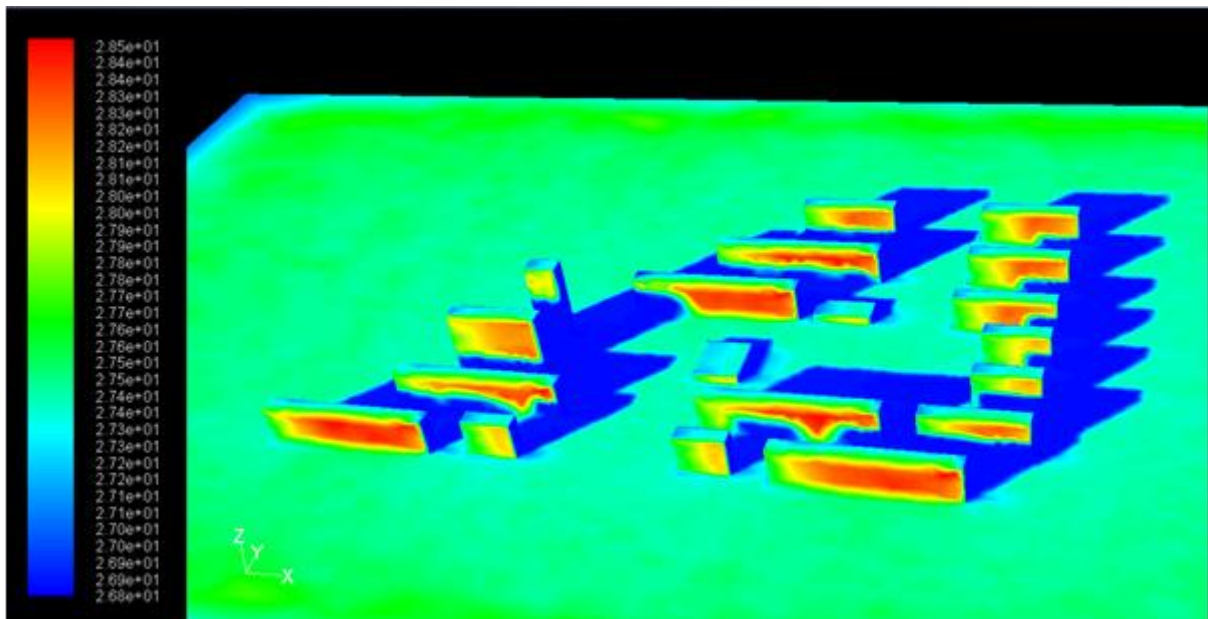


Figure IV.17 : Contour de température statique (°C) pour le 21/12/2014 à 16:00

X : est, Y : nord

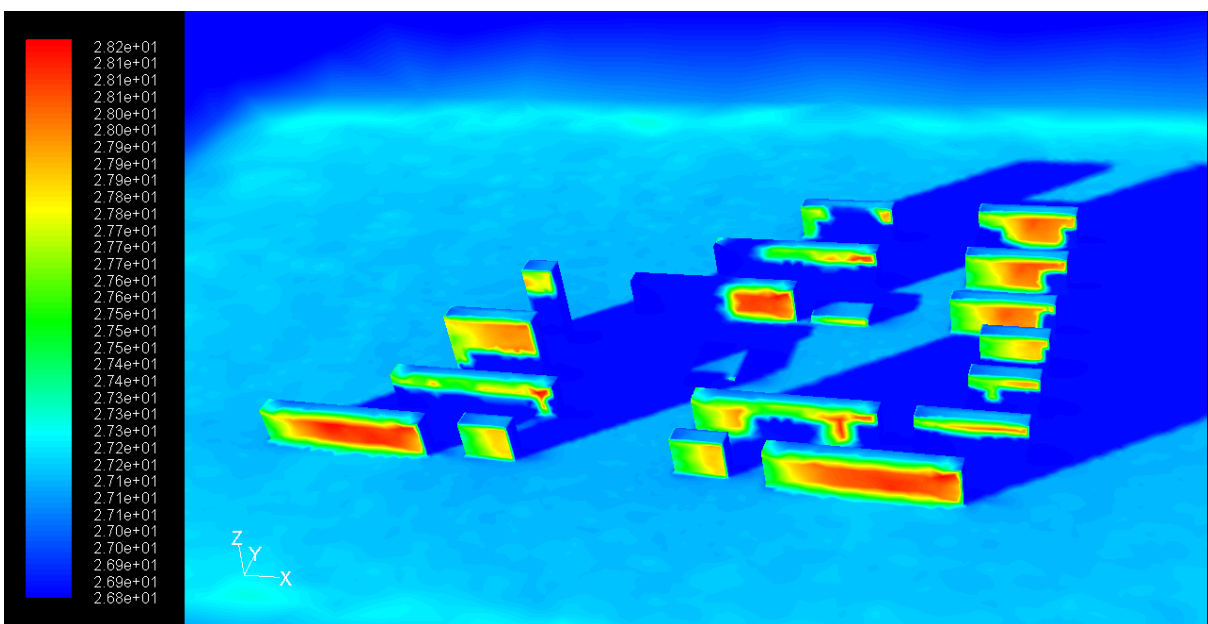


Figure IV.18 : Contour de température statique (°C) pour le 21/12/2014 à 17:00

X : est, Y : nord

Dans le tableau suivant on montre la valeur de la température dans les parois, les terrasses et la surface de la terre :

	9h	10h	12h	14h	16h	17h
--	----	-----	-----	-----	-----	-----

Parois	27.9 °C	28°C	28.9°C	28.8°C	28.3°C	28°C
Terrasse	27.3°C	27.7°C	27.9°C	27.9°C	27.5°C	27.2°C
Surface du sol	26°C	27.4°C	28°C	28°C	27.5°C	27°C

- A 9h et 10h, la température de parois Est étant élevée.
- A 12h, 14h, les parois sud des bâtiments sont plus chaudes car la position du soleil est en face de ces parois.
- A 16h, 17h (Temps local), on remarque l'augmentation de l'ombre des bâtiments à cause de la diminution de la hauteur solaire qui se répercute sur la diminution de la température du quartier.

En conclusion, l'orientation des immeubles montre qu'en hiver les parois orientées sud et ouest demeurent plus chauffées que celles orientées vers le nord. Ce qui explique que le chauffage pièces et espaces orientées vers le nord est plus recommandé.

En été

Les figures suivants montrent les résultats de nos simulations faites par le logiciel Fluent pour la saison estivale pour la journée du 21 Juin, en exprimant le contour de température statique (°C) sur le quartier HLM à 8h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h.

- ◆ L'axe des abscisses x ; représente la direction est.
- ◆ L'axe des ordonnées y ; montre la direction Nord.

La gamme des valeurs les plus élevés exprimés en rouge, les plus faibles en bleu.

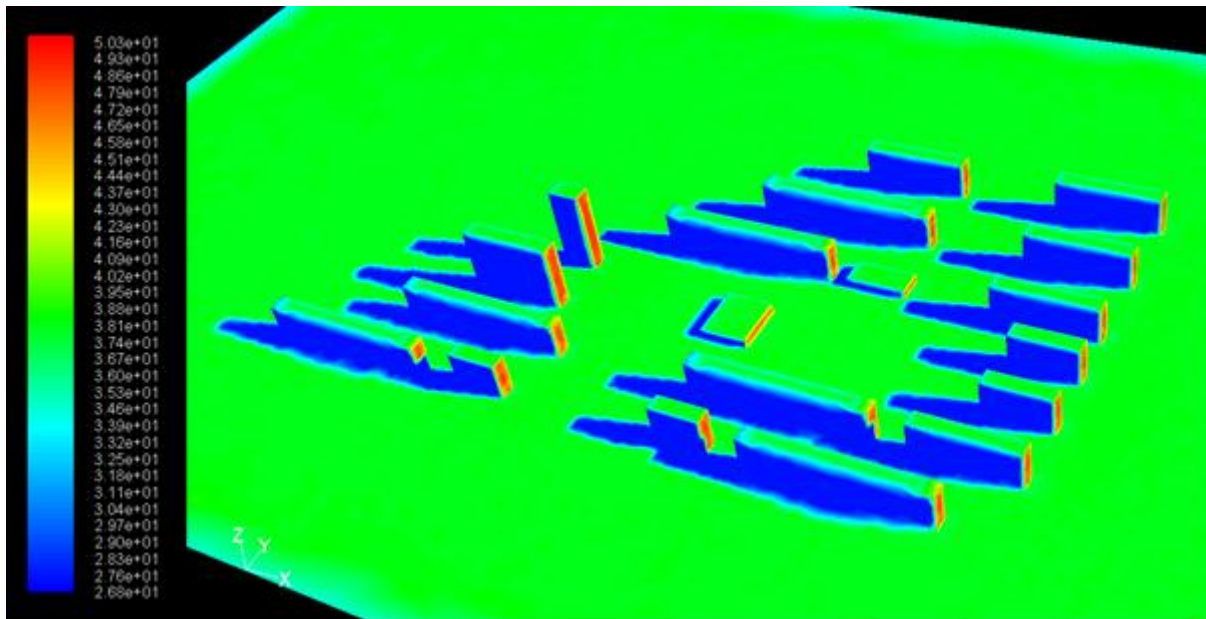


Figure IV.19 : Contour de température statique (°C) pour le 21/06/2014 à 08 :00

X : est, Y : nord

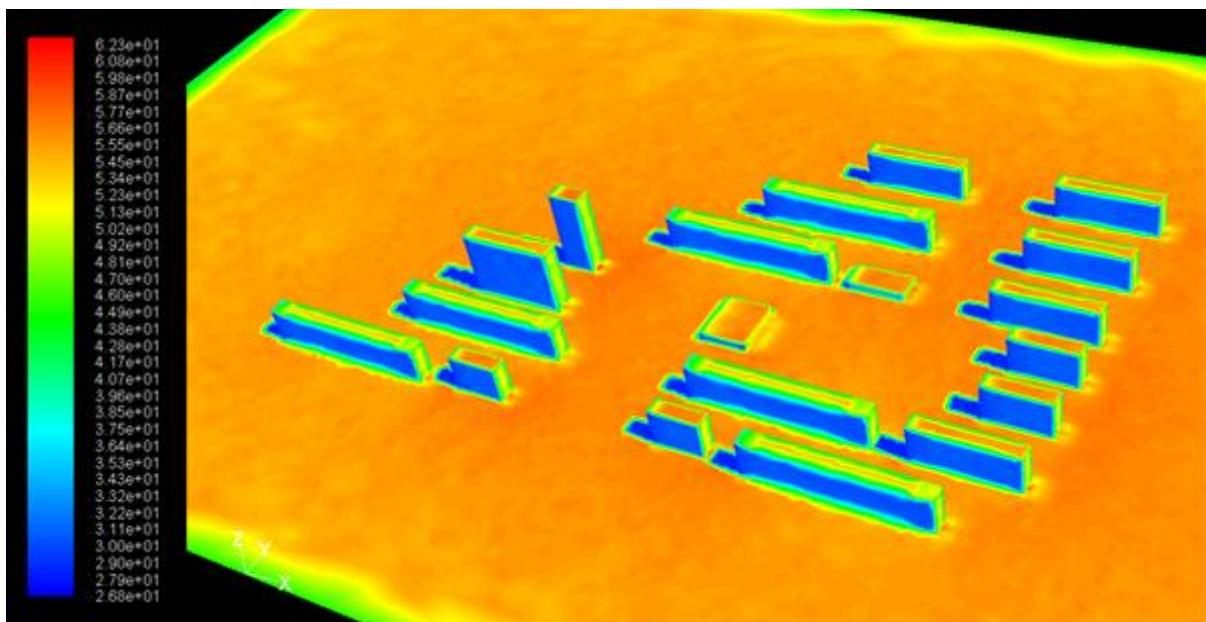


Figure IV.20 : Contour de température statique (°C) pour le 21/06/2014 à 10:00

X : est, Y : nord

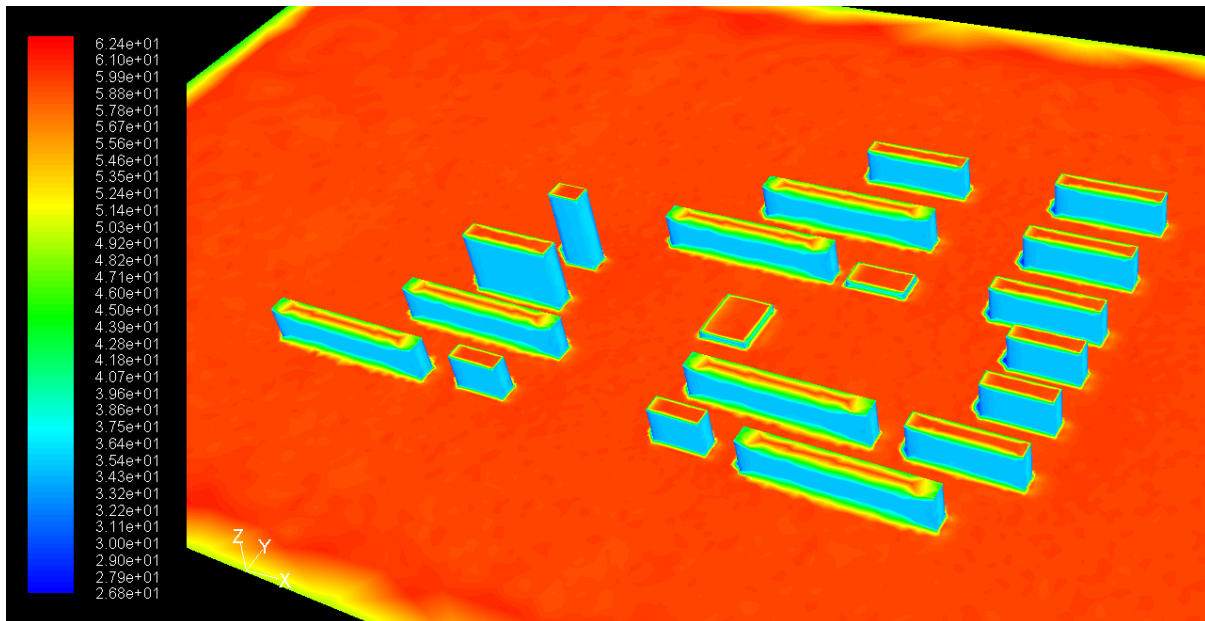


Figure IV.21 : Contour de température statique (°C) pour le 21/06/2014 à 12:00

X : est, Y : nord

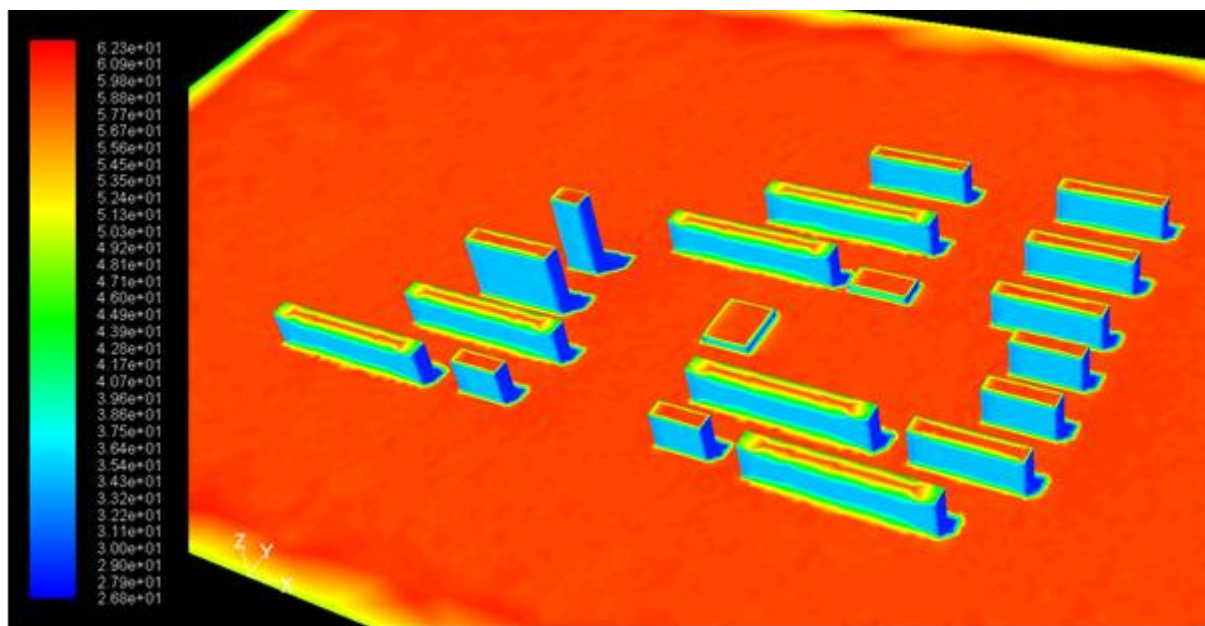


Figure IV.22 : Contour de température statique (°C) pour le 21/06/2014 à 14:00

X : est, Y : nord

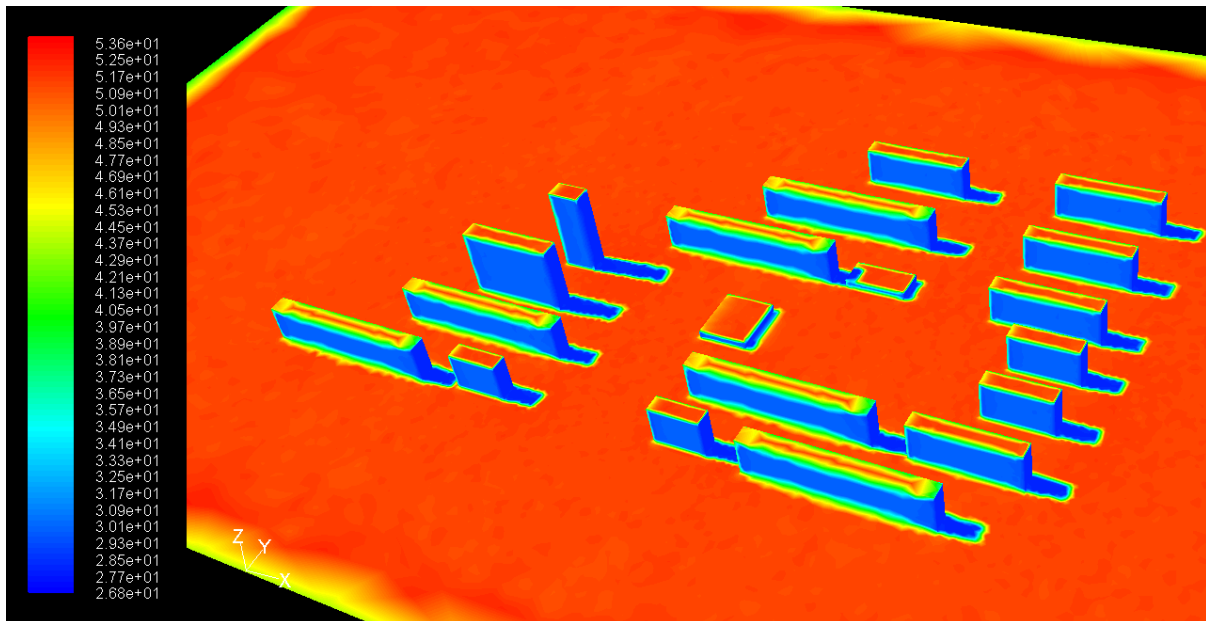


Figure IV.23 : Contour de température statique (°C) pour le 21/06/2014 à 16:00

X : est, Y : nord

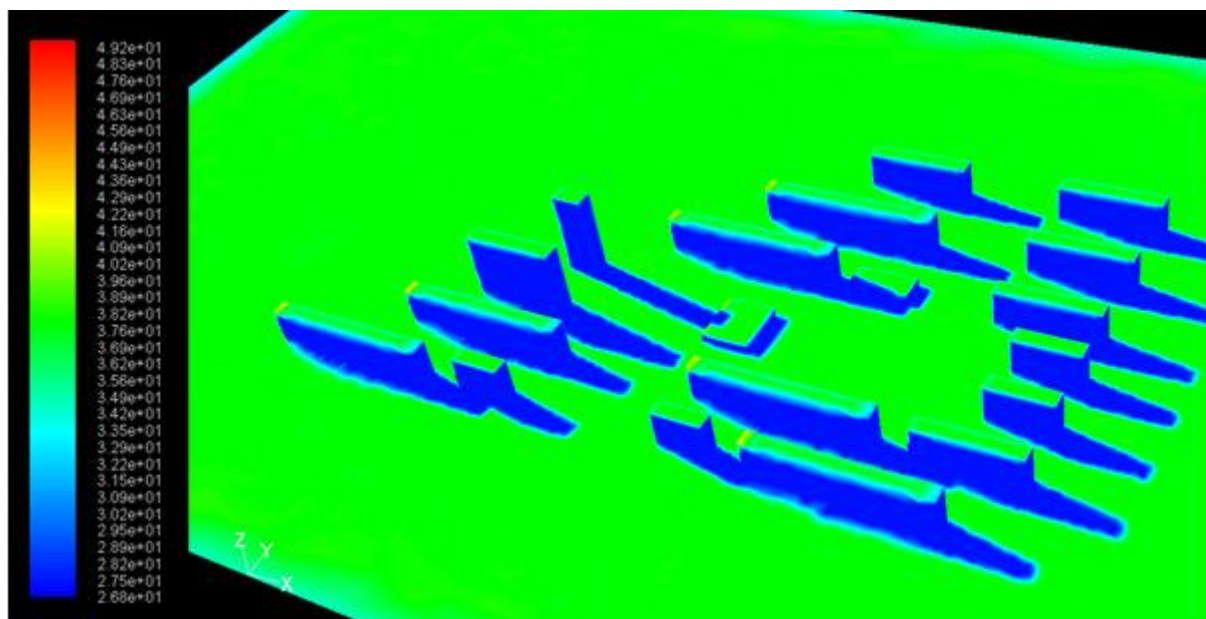


Figure IV.24 : Contour de température statique (°C) pour le 21/06/2014 à 18:00

X : est, Y : nord

On constate que :

	8h	10h	12h	14h	16h	18h
Parois	47°C	40°C	39°C	38°C	29°C	28°C
Terrasse	36°C	54°C	60°C	60°C	52°C	36°C
Surface du sol	38°C	57°C	62°C	62°C	53°C	36°C

- A 8h, la température des parois est des bâtiments est plus importante que celle de l'ouest à cause du soleil.
- De 10h, 12h, 14h, 16h, la température des parois, des terrasses et de la surface du sol sont très élevée dans cette période car la durée d'ensoleillement est longue et la hauteur du soleil est maximale.
- A 18h, ce sont les parois d'ouest qui sont réchauffées.

IV.5.4 L'effet de rayonnement

La quantité de rayonnement solaire reçue par une surface en ville est généralement nettement inférieure à celle captée par une surface équivalente en zone rurale à cause de l'effet d'obstruction des bâtiments. Cependant, la lumière naturelle est une des qualités les plus essentielles qui influencent l'ambiance d'une ville ou d'un espace public. La lumière solaire disponible dans les espaces publics, rues, places, parcs est un élément très important pour le confort des piétons (S.Reiter 2007).

❖ **En hiver**

Les figures ci-dessous représentent les résultats de nos simulations pour la saison hivernale pour la journée du 21 Décembre 2014, en exprimant la variation des flux solaires sur le quartier HLM à 9h, 10h, 12h, 14h, 16h, 17h.

- ✓ L'axe des abscisses x ; représente la direction est.
- ✓ L'axe des ordonnées y ; montre la direction Nord.

Les valeurs les plus élevés exprimés en rouge, les plus faibles en bleu.

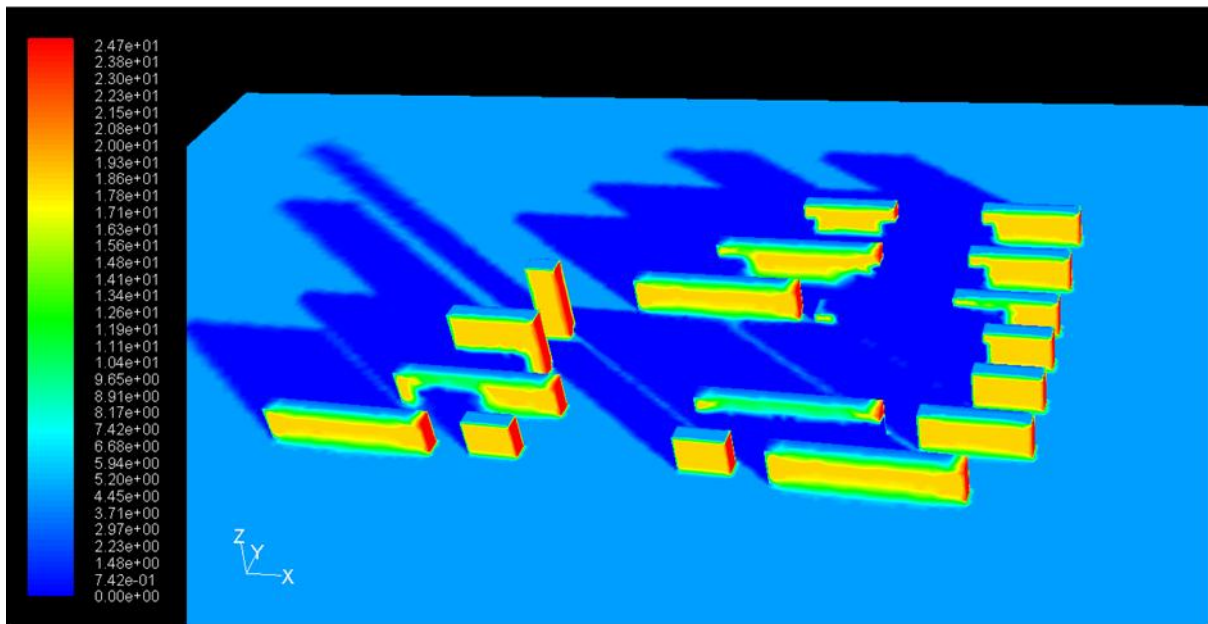


Figure IV.25 : Contour de flux solaire (W/m²) pour le 21/12/2014 à 09:00

X : est, Y : nord,

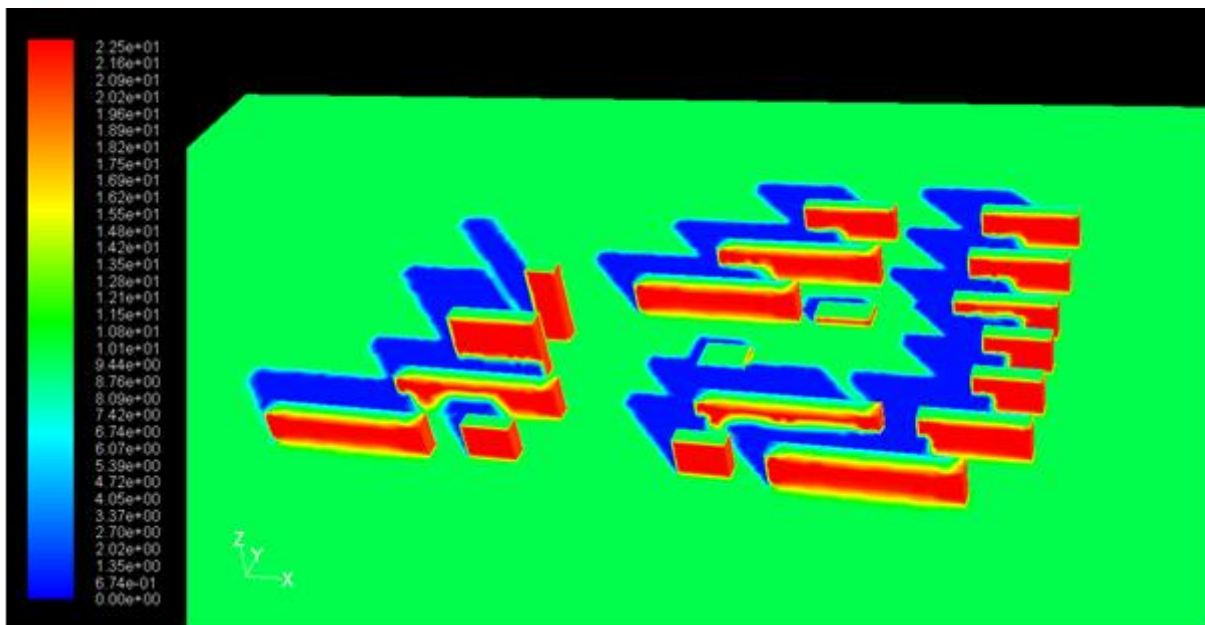


Figure IV.26 : Contour de flux solaire (W/m²) pour le 21/12/2014 à 10:00

X : est, Y : nord,

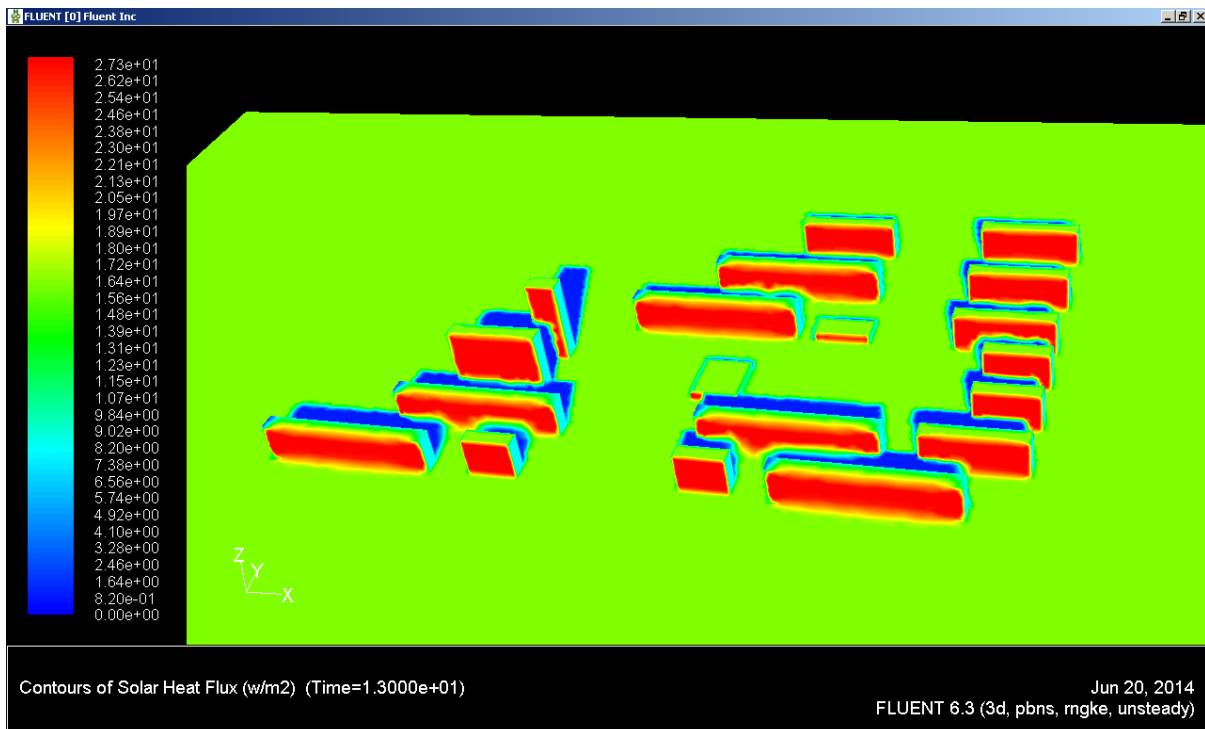


Figure IV.27 : Contour de flux solaire (W/m^2) pour le 21/12/2014 à 12:00

X : est, Y : nord,

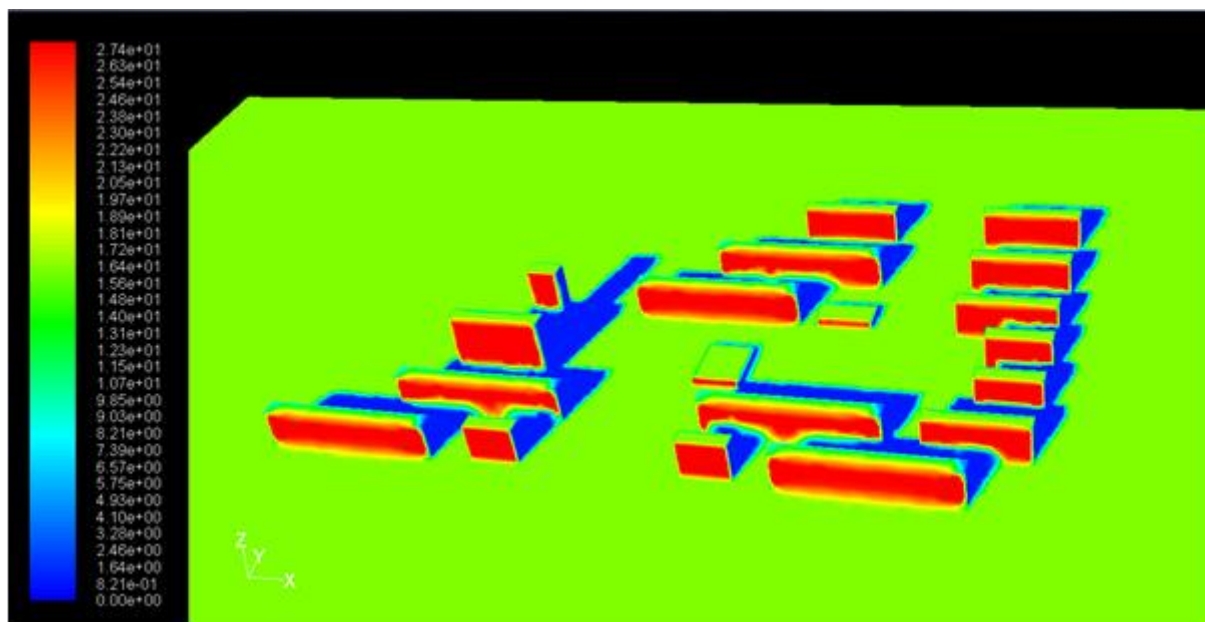


Figure IV.28 : Contour de flux solaire (W/m^2) pour le 21/12/2014 à 14:00

X : est, Y : nord,

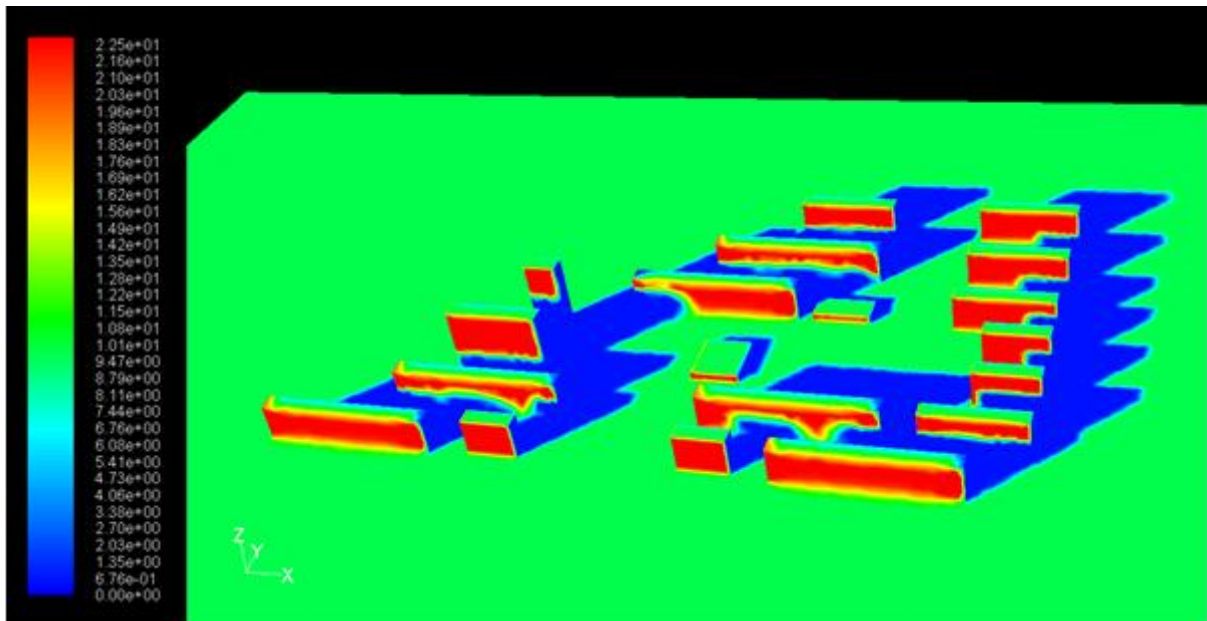


Figure IV.29 : Contour de flux solaire (W/m^2) pour le 21/12/2014 à 16:00

X : est, Y : nord,

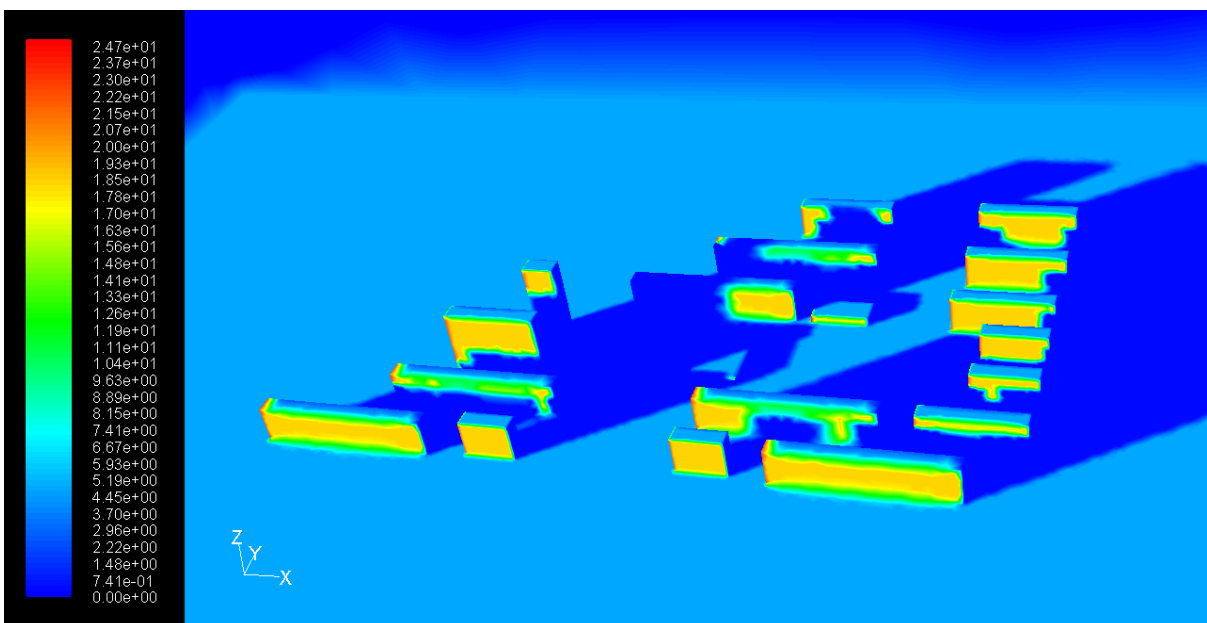


Figure IV.30: Contour de flux solaire (W/m^2) pour le 21/12/2014 à 17:00

X : est, Y : nord

On remarque que :

- A 9h Les façades exposées à l'est reçoivent plus d'énergie solaire.

- A 10h, 12h, 14h les façades exposés au sud ce sont celles qui captent le plus d'énergie solaire.
- A **17h** les façades exposées ouest reçoivent le maximum d'énergie solaire.
- Les bâtiments **A,B** forment un masque solaire pour les bâtiments **C** et **D** , ils empêchent le rayonnement solaire d'atteindre les autres surfaces , donc il est difficile de capter le rayonnement solaire dans ces espaces à cause de l'ombrage créé par les bâtiments qui sont voisins .

❖ En été

Les graphes suivants montrent les résultats de nos simulations faites par le logiciel Fluent pour la saison estivale pour la journée du **21Juin** , en expliquant l'évolution des flux solaires sur le quartier **HLM** à **8h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h**.

- ❖ L'axe des abscisses x ; représente la direction est.
- ❖ L'axe des ordonnées y ; montre la direction Nord.

La gamme des valeurs les plus élevés exprimés en rouge, les plus faibles en bleu.

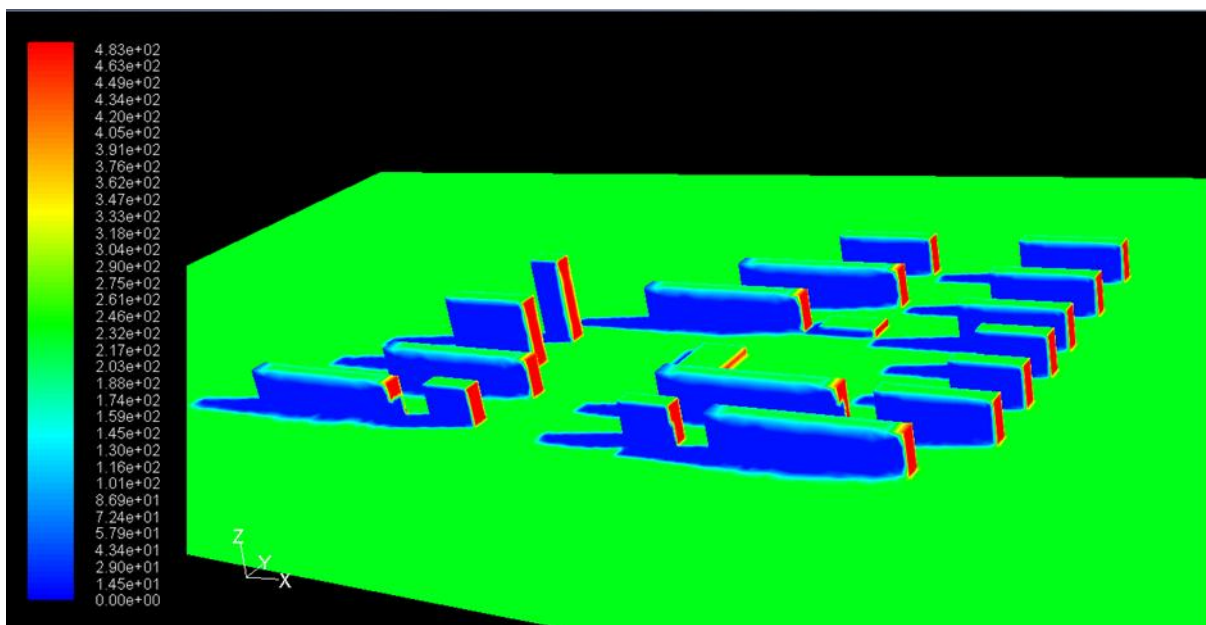


Figure IV.31 : Contour de flux solaire (W.m^{-2}) pour le 21/06/2014 à 08:00

X : est, Y : nord,

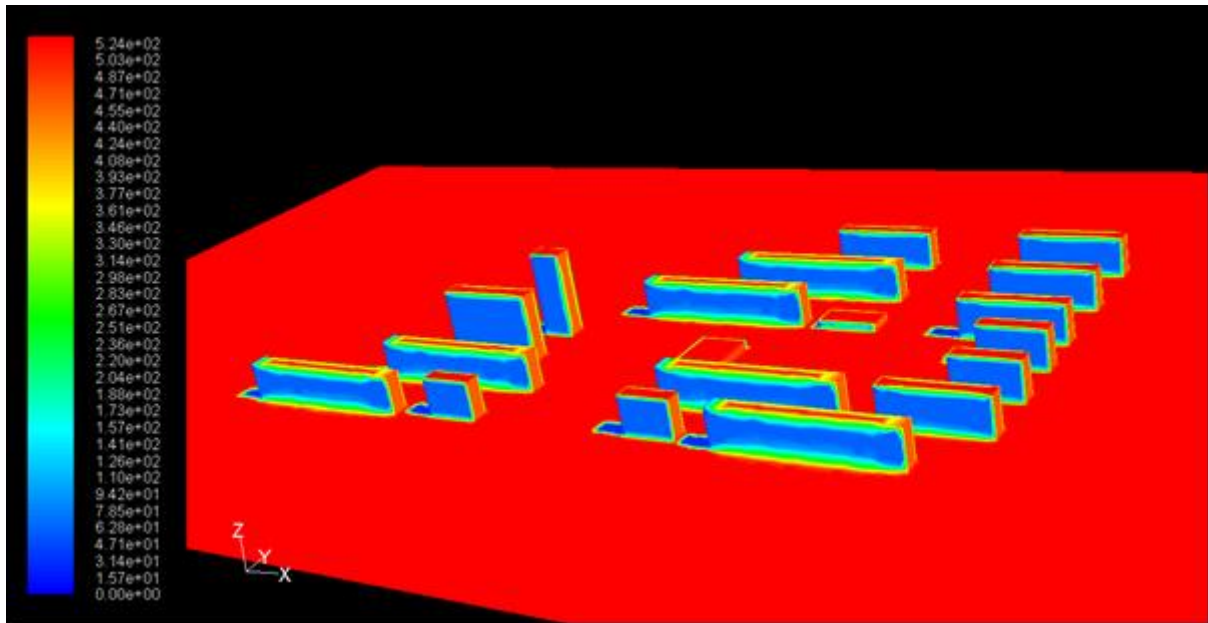


Figure IV.32: Contour de flux solaire (W/m^2) pour le 21/06/2014 à 10:00

X : est, Y : nord,

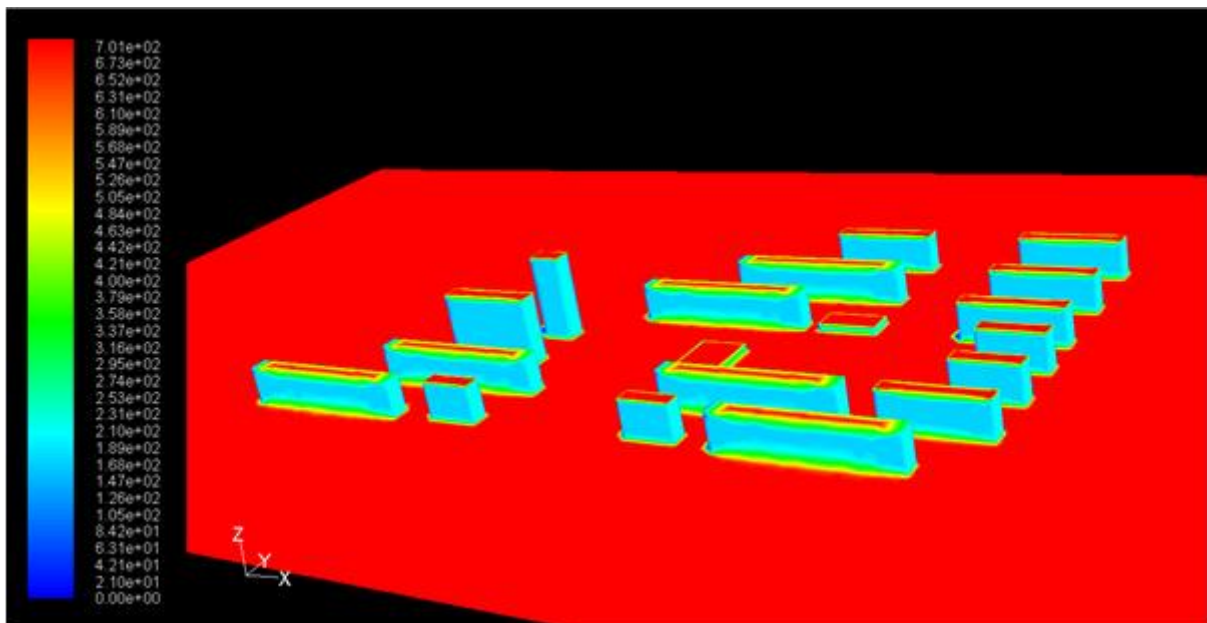


Figure IV.33 : Contour de flux solaire (W/m^2) pour le 21/06/2014 à 12 :00

X : est, Y : nord,

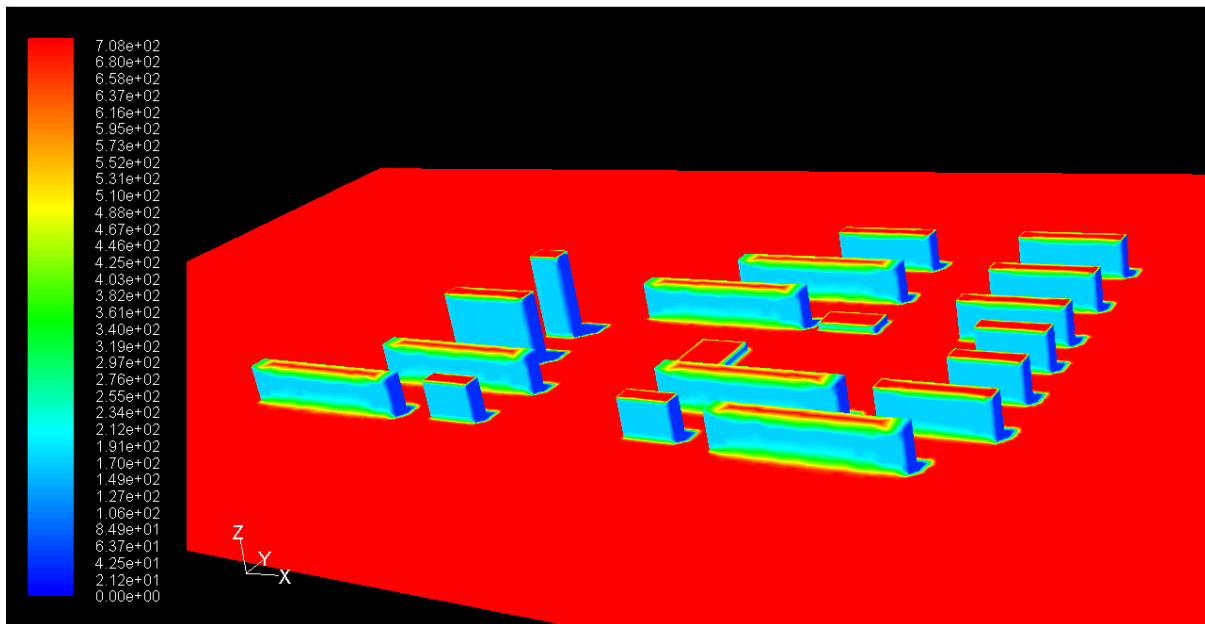


Figure IV.34 : Contour de flux solaire (W/m^2) pour le 21/06/2014 à 14 :00

X : est, Y : nord,

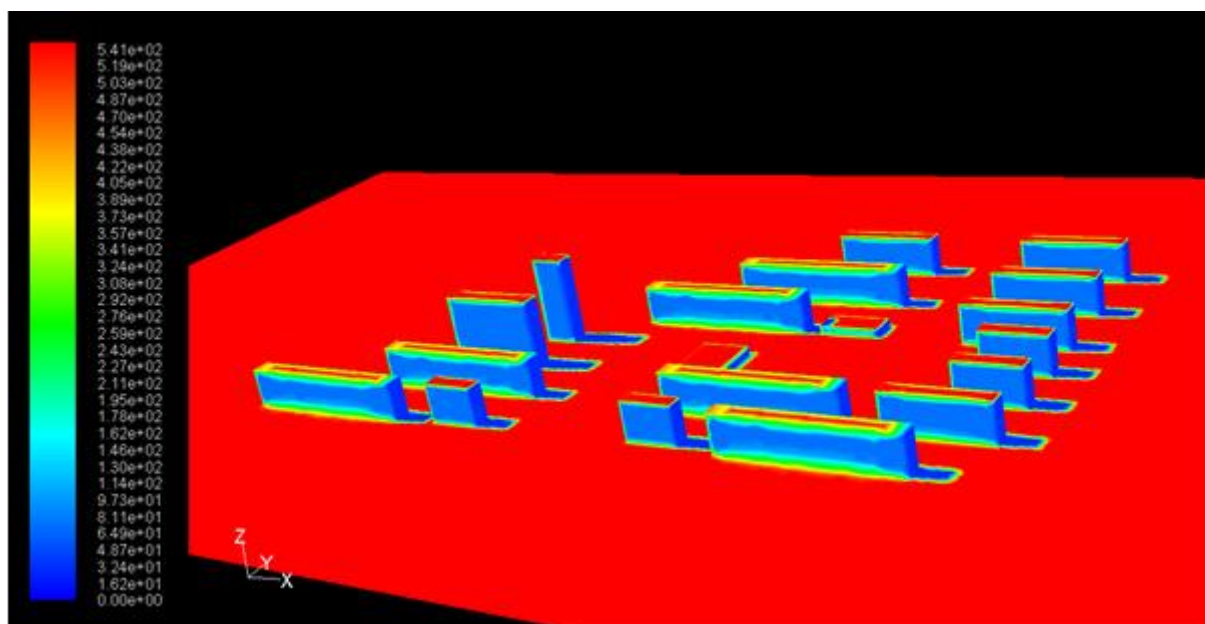


Figure IV.35 : Contour de flux solaire (W/m^2) pour le 21/06/2014 à 16:00

X : est, Y : nord

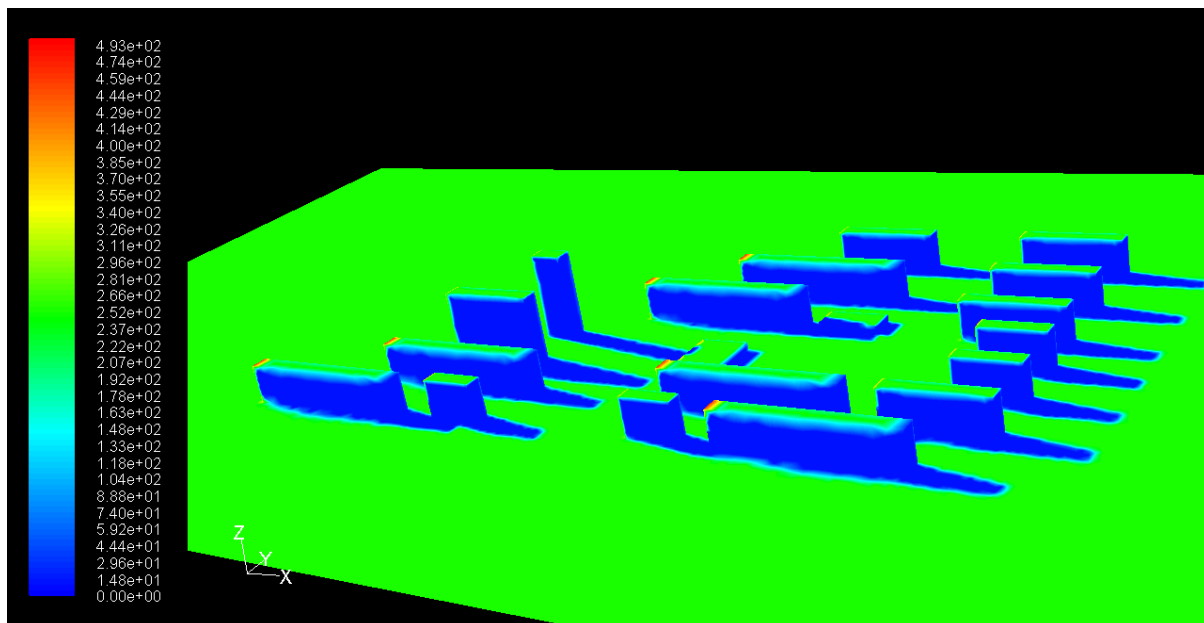


Figure IV.36 : Contour de flux solaire (W/m^2) pour le 21/06/2014 à 18:00

X : est, Y : nord

Selon les résultats ,on constate que :

- Les simulations réalisées à 8h montrent que les façades exposées à l'est reçoivent une grande quantité d'énergie solaire.
- A 10h, 12h, 14h, 16h les toits des bâtiments sont les zones où l'énergie captée est très élevée.
- A 18h les façades exposées à l'ouest reçoivent plus d'énergie

En conclusion

Les immeubles qui masquent le soleil sont globalement considérés comme désagréables. Généralement, ils apportent un peu d'ombrage en été mais deviennent, par contre, de réels obstacles à l'ensoleillement en hiver. Les masques créés par les immeubles, qui interceptent le soleil d'hiver, diminueront le bénéfice des gains solaires pour les bâtiments et l'utilisation des espaces publics pendant cette saison.

Donc durant la saison hivernale la direction la plus favorable pendant le matin est le sud car elle permet de profiter de l'énergie solaire et dans la nuit c'est la direction ouest qu'elle permet également de profiter de l'énergie solaire et donc la réduction d'utilisation des chauffages dont les températures sont basses.

En été, la direction ouest permet de profiter de la ventilation naturelle (vent ouest) durant la journée (les températures sont très élevés) et par la suite la réduction d'utilisation des climatiseurs. Compte tenu de ces éléments, il apparaît que les directions Sud et Ouest auraient mieux convenu à la cité des HLM au lieu et place de la direction Nord-Sud qui a été privilégiée lors de la conception de la cité.

IV.6 Application du logiciel CFD Fluent à un espace urbain projeté : l'Eco quartier du nouveau pôle urbain d'urbain :

Une bonne utilisation des éléments climatiques et leur intégration dans les nouveaux projets urbains permet d'assurer des ambiances confortables pour les piétons et de construire des bâtiments qui limitent la consommation d'énergie.

Construire avec le climat a pour objectif de produire une construction sensible, en accord avec son environnement, à l'échelle du site et de l'homme. L'urbanisme microclimatique s'inscrit naturellement dans la stratégie du développement durable.(S.Reiter 2007).

L'éco quartier est l'un des nouveaux projets urbains qui représente un concept intéressant qui cherche à dépasser la vision moderniste et fonctionnelle de la ville. Il s'est progressivement imposé dans le cadre des réflexions sur "l'urbanisme durable", avec pour objectif de modifier l'aménagement et l'habitat des villes en raison de l'urgence écologique.(K. Athamena 2012).

IV.6.1 Définition d'un éco-quartier

Un éco-quartier, ou quartier durable est un quartier urbain qui s'inscrit dans une perspective de développement durable : il doit réduire au maximum l'impact sur l'environnement, favoriser le développement économique, la qualité de vie, la mixité et l'intégration sociale.

Il s'agit de construire un quartier en prenant en considération un grand nombre de problématiques sociales, économiques et environnementales dans l'urbanisme.

L'objectif de l'éco quartier est également d'entraîner le reste de la ville dans une dynamique de développement durable (généralisation des bonnes pratiques à toute la ville). C'est l'application des principes du développement durable à l'échelle d'un quartier.

IV.6.1L'éco quartier, un concept en construction

La conception des éco quartiers doit tendre à une gouvernance participative impliquant les habitants ou futurs habitants et à un pilotage de projet exemplaire qui s'appuie notamment sur un portage politique fort ainsi que sur un montage financier et juridique fiable. L'appel à projets éco quartier est orienté vers une approche transversale des projets urbains durables. Cette transversalité, est une condition nécessaire du développement durable [11].

Il existe quatre dimensions du développement durable adapté au projet d'aménagement :

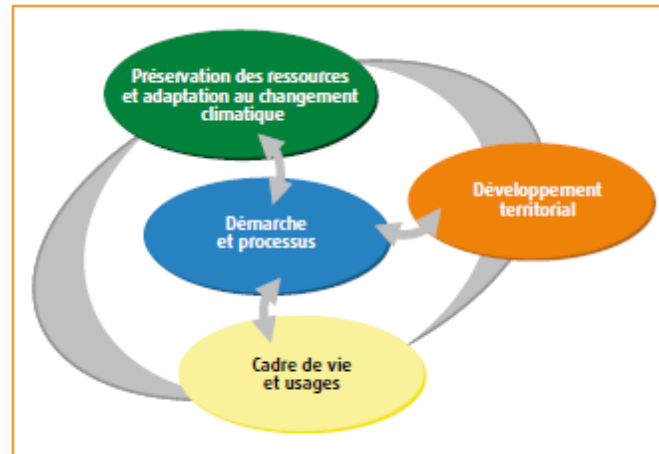


Figure IV.37 : représente les quatre dimensions du développement durable.

Les quatre dimensions constituent les déclinaisons des principes du développement durable adaptés au projet d'aménagement. Elles ont vocation à être envisagées ensemble du fait de leurs interdépendances, mais elles n'ont pas forcément le même statut :

- La dimension démarche et processus est une dimension transversale. Elle se décline tout au long du projet et même au-delà.
- les dimensions cadre de vie et usages, développement territorial et préservation des ressources et adaptation au changement climatique sont des dimensions plus sectorielles.

IV.6.2 Critères à intégrer en amont de la conception

- ❖ La stratégie énergétique : atteindre un bilan énergétique neutre, c'est à dire que la production et la consommation d'énergie doivent se compenser.
- ❖ Le traitement des déchets : collecte des déchets sélective, tri, recyclage, compostage, traitement thermique.

- ❖ La gestion de l'eau : traitement écologique des eaux usées, épuration, protection des nappes phréatiques, récupération de l'eau de pluie pour une réutilisation dans le quartier.
- ❖ L'utilisation de matériaux locaux et écologiques pour la construction (éco-conception, éco-construction, éco-matériaux).
- ❖ Orientation des bâtiments en fonction de l'orientation par rapport au soleil.
- ❖ La mise en place de systèmes de déplacement propres (transport en commun, transport doux...).
- ❖ Une politique de mixité et d'intégration sociale.
- ❖ La participation des citoyens à la vie du quartier.
- ❖ La création d'équipements, de commerces, d'infrastructures accessibles à tous.

IV.6.3la situation du projet du nouveau pôle d'Oran

Le projet d'aménagement surnommé nouveau pôle urbain, se trouve dans la zone Ouest d'Oran. Le site est borné au nord par la zone périphérique sud d'Oran, à l'ouest par le secteur urbanisé Bouamama, à l'est par l'agglomération d'Ain El Beida, au sud-ouest par la commune de Misserghine, et au sud par la plaine agraire et la grande Sebkhia d'Oran [12].

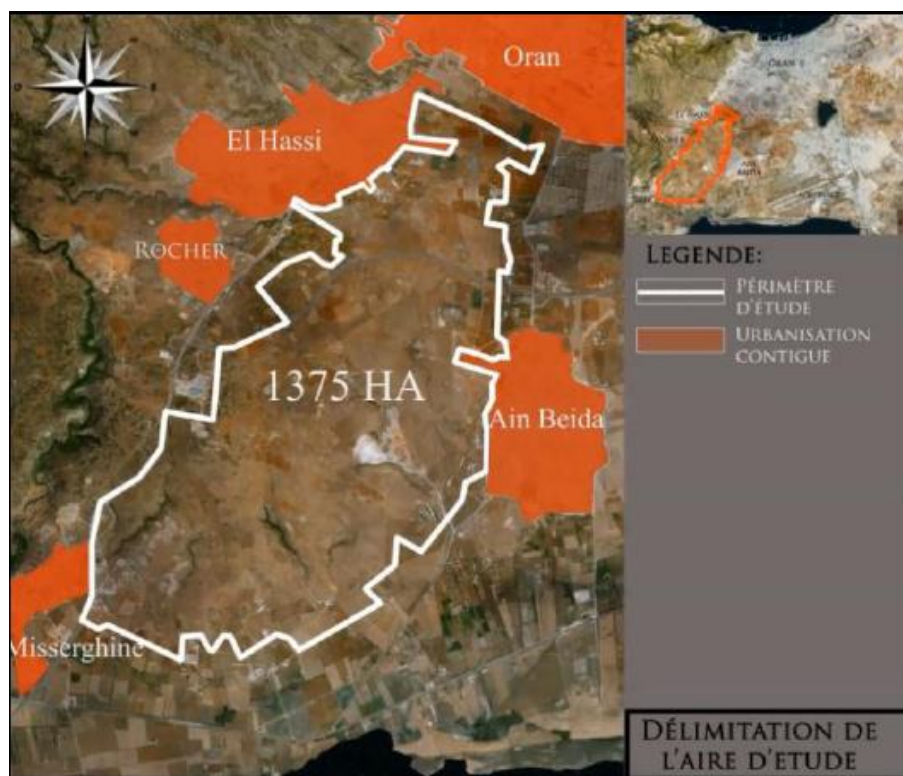


Figure IV.34 : carte représente les limites et Surface du site du nouveau pôle.

Source : Agence Nationale de l'Urbanisme – Alger Centre d'Études et de Réalisation en Urbanisme– URBAB Blida

IV.7 Maillage

Pour notre cas, on a choisi un maillage tridimensionnel structuré, l'écoulement est aligné avec le maillage. Ce maillage a été réalisé avec des cellules dont la taille variait progressivement sur les parois pour assurer une bonne résolution dans les régions à fort gradient de température et vitesse.

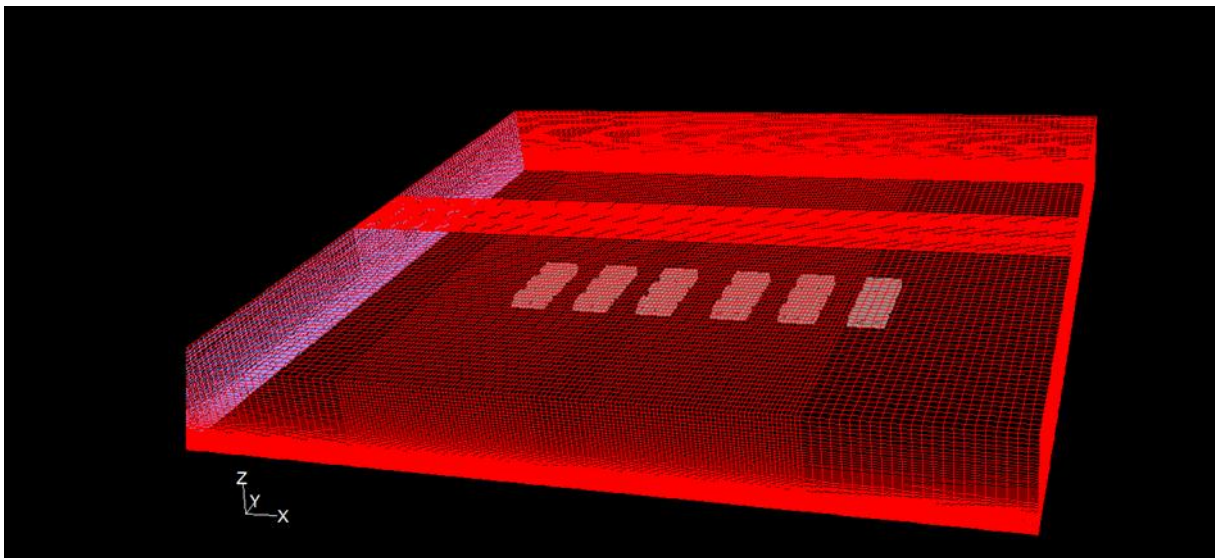


Figure IV.35 : Présentation du domaine de travail réalisé par logiciel Gambit

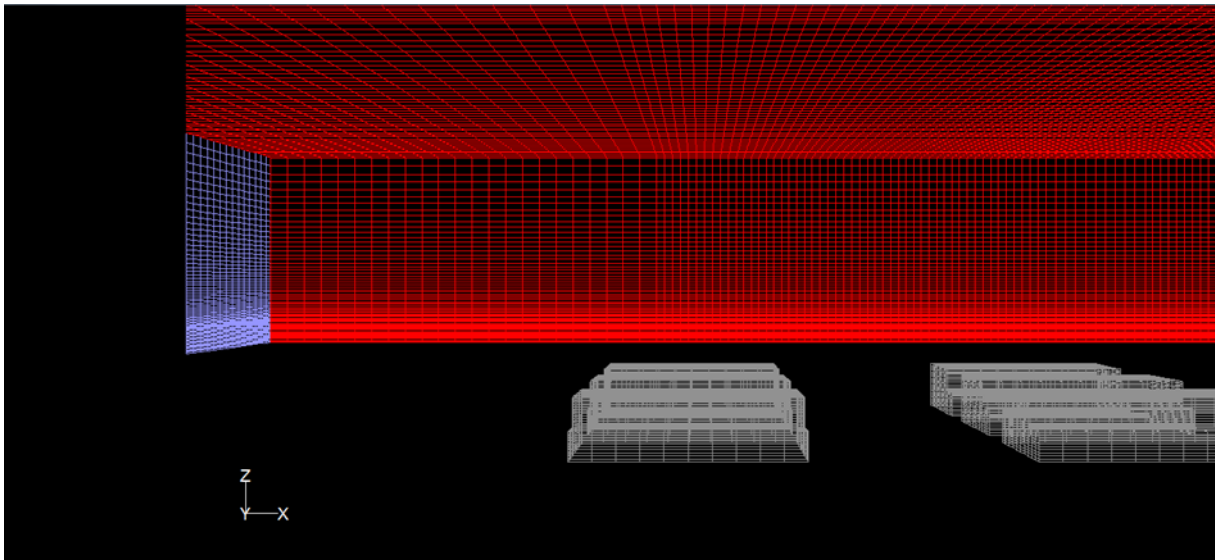


Figure IV.36 : Présentation une partie de domaine réalisé par logiciel Gambit

Les valeurs discrètes de la pression, de la vitesse et de la température sont stockées dans le nœud C du volume typique (un maillage collectif utilisé dans le logiciel FLUENT). La figure (IV4.36) montre une partie de l'atmosphère et les bâtiments. En maillage structuré uniforme serré près des parois.

IV.7.1 Conditions initiales et conditions aux limites : CL (CFD FLUENT)

Pour résoudre les équations, on a besoin de définir les conditions aux limites aux parois. Cinq types de conditions aux limites thermiques sont disponibles sur FLUENT)

- 1- Un vent imposé (en bleu)
- 2- Une pression atmosphérique imposée (en rouge)
- 3- Transfert thermique convectif
- 4- Transfert thermique radiatif externe
- 5- Combinaison du transfert thermique radiatif et convectif (condition mixte)

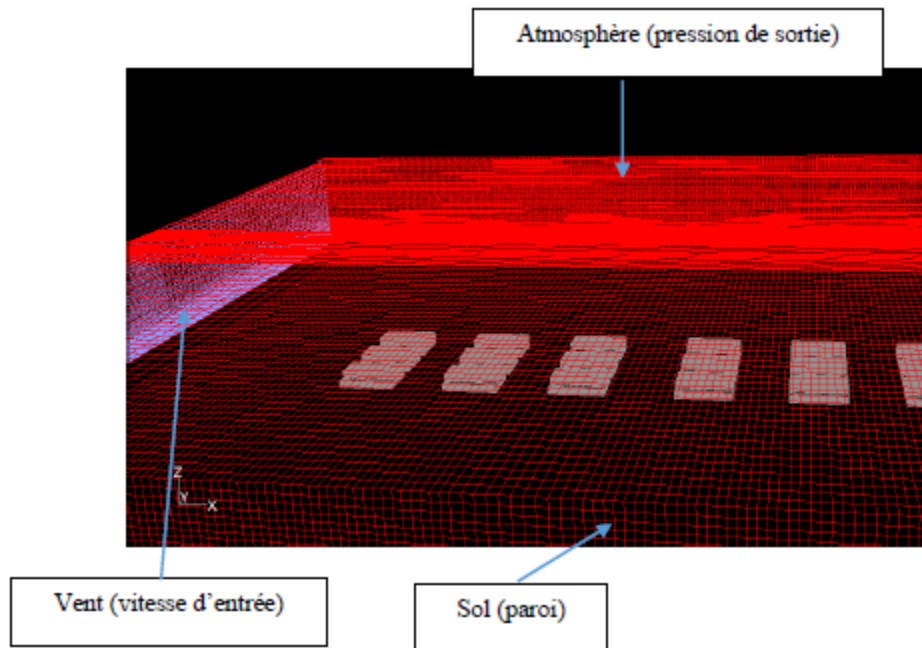


Figure IV.37 : les conditions aux limites

Dans le cas où la paroi forme une interface entre deux régions telles que le fluide/solide. FLUENT crée une paroi « wall et wall shadow » et lui impose la condition de l'interface (condition couplée). FLUENT prend par défaut la valeur de la pression atmosphérique comme operating pressure, Pour le domaine fluide on utilise l'air, les propriétés du fluide sont tabulées dans le tableau suivant, ils ont été pris à la température initiale $T = 298^{\circ}\text{K}$

Propriétés physique de l'air :

$\rho(\text{kg/m}^3)$	$C_p(\text{j/kg.k})$	$K(\text{w/m.k})$	$\mu(\text{kg/m.s})$
1.177	1005	0.02462	$1.983 \cdot 10^{-5}$

Dans notre cas plusieurs conditions aux limites peuvent être rencontrées.

IV.7.2 Etude du rayonnement

FLUENT propose cinq modèles de rayonnement, seuls deux modèles sont appropriés pour simuler le rayonnement à l'intérieur d'une cavité fermée : le modèle S2S (Surface to Surface) et le modèle DO (Discrete Ordinates) .

Le premier modèle (modèle S2S), basé sur le calcul de facteur de forme entre deux surfaces, semblait être le modèle le mieux approprié puisque le fluide ne participe pas au

rayonnement, mais on s'est heurté à plusieurs problèmes pour mettre en œuvre ce modèle car il ne peut pas être utilisé dans les cas suivants :

- ✓ si le maillage utilisé présente un plan de symétrie ; ceci aurait impliqué de travailler avec un maillage entier du domaine d'étude,
- ✓ s'il y a présence d'obstacles dans le volume d'étude

De plus, la génération des facteurs de forme nécessite des ressources en mémoire vive très importantes, et ces ressources croissent rapidement en augmentant le nombre de surfaces. C'est pourquoi nous avons opté pour le modèle DO (Discrete Ordinates), qui résout l'équation générale de transfert radiatif suivante (selon une direction donnée).

Effet de rayonnement solaire en été

La course du soleil dans le ciel et les effets de masque induisent un ensoleillement irrégulier au niveau des surfaces : si le sol est éclairé pratiquement toute la journée pour une rue orientée Nord/Sud. En effet, la façade gauche sera ensoleillée le matin et la façade droite l'Après-midi.

Les résultats présentés sur la figure ci-dessous mettent en évidence, d'une part, la différence de température de surface entre les saisons (plus de 10°C pour le sol aux heures les plus défavorables) et, d'autre part, la différence entre surfaces ensoleillées et à l'ombre.

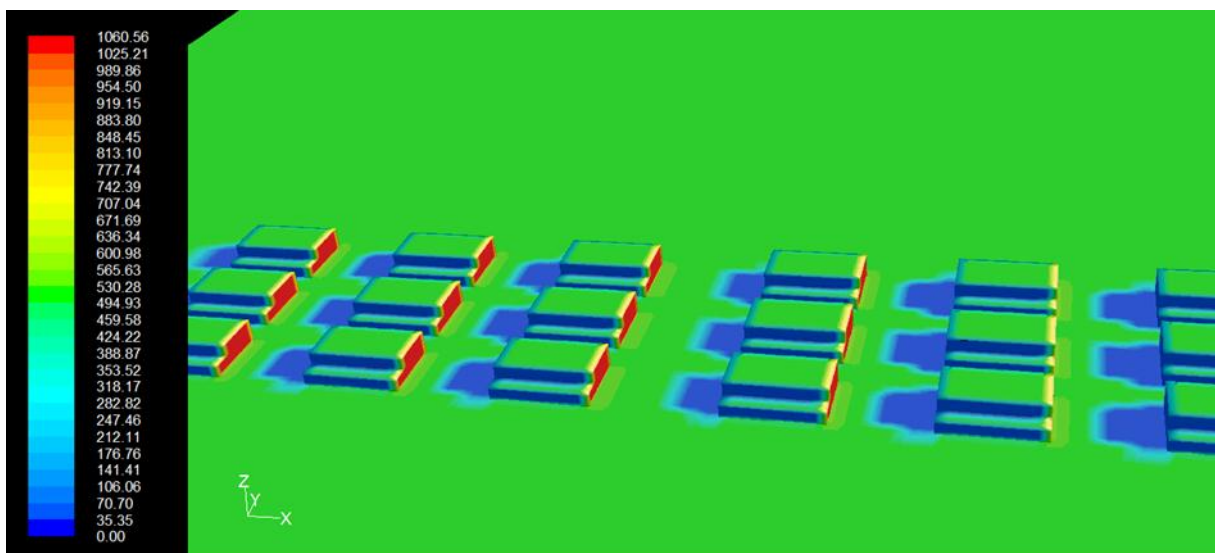


Figure IV.38 : Présentation de flux solaire incident (W/m^2) avec l'ombre des bâtiments à

08h00

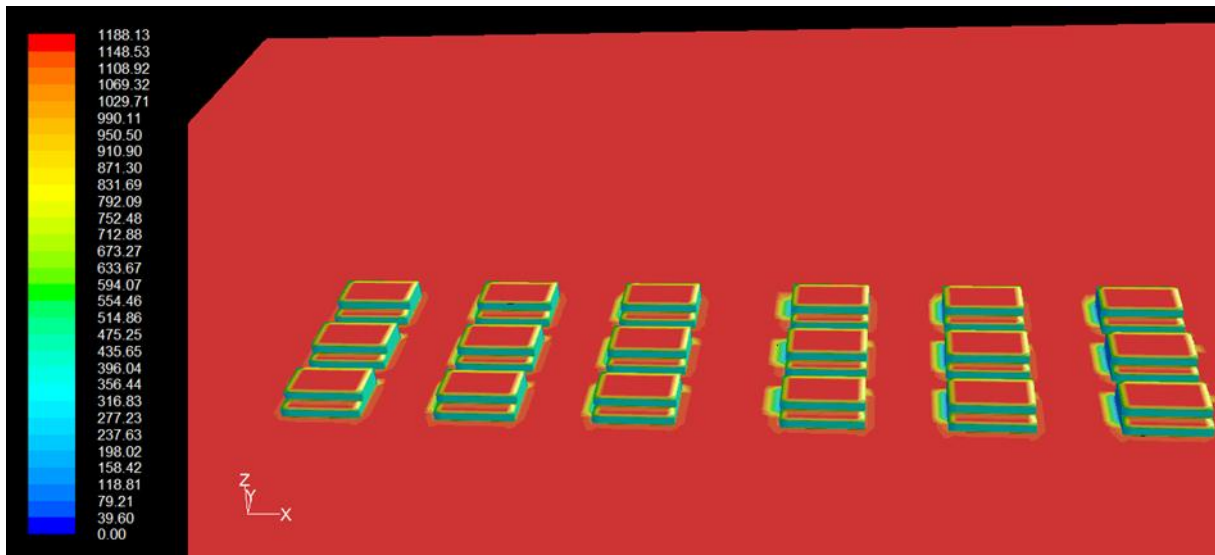


Figure IV.39 : Présentation de flux solaire incident (W/m^2) avec l'ombre des bâtiments à 12h00

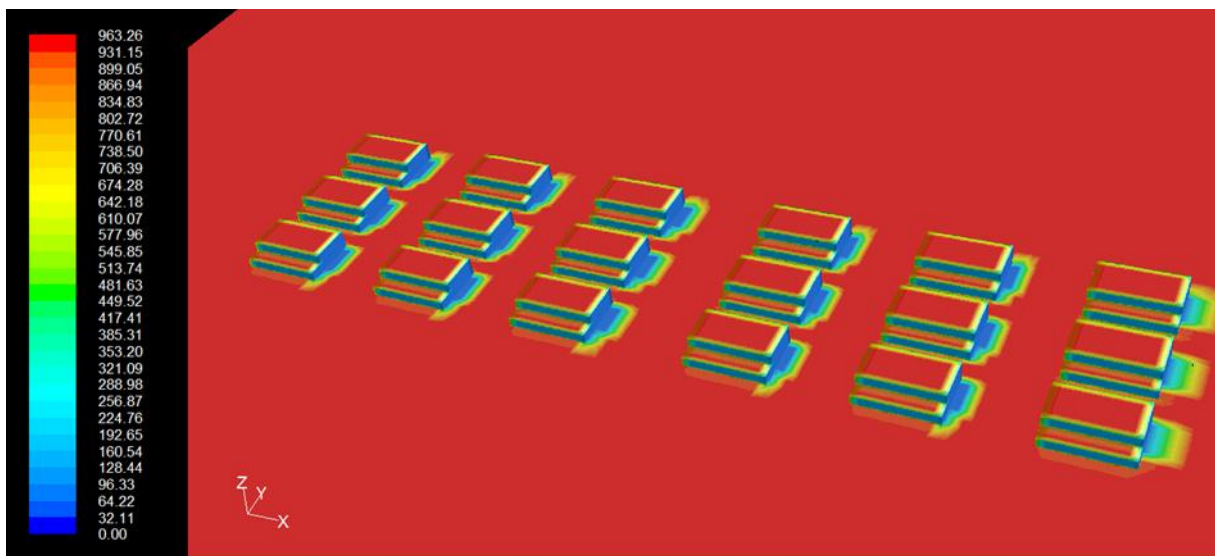


Figure IV.38 : Présentation de flux solaire incident (W/m^2) avec l'ombre des bâtiments à 16h00

On remarque :

- A 8h, les façades est reçoivent plus d'énergie
- A12h et 16h, les façades sud et les terrasses captent plus d'énergie (flux solaires élevé), ainsi la surface du sol reçoit beaucoup d'énergie.

IV.7.3 Effet de température

Le champ de températures de surface représente un facteur important dans la formation du microclimat au voisinage d'un bâtiment. La figure ci-dessous montre l'évolution

journalier des températures de surface moyennes des parois et du sol pour une journée d'été (21 Juin).

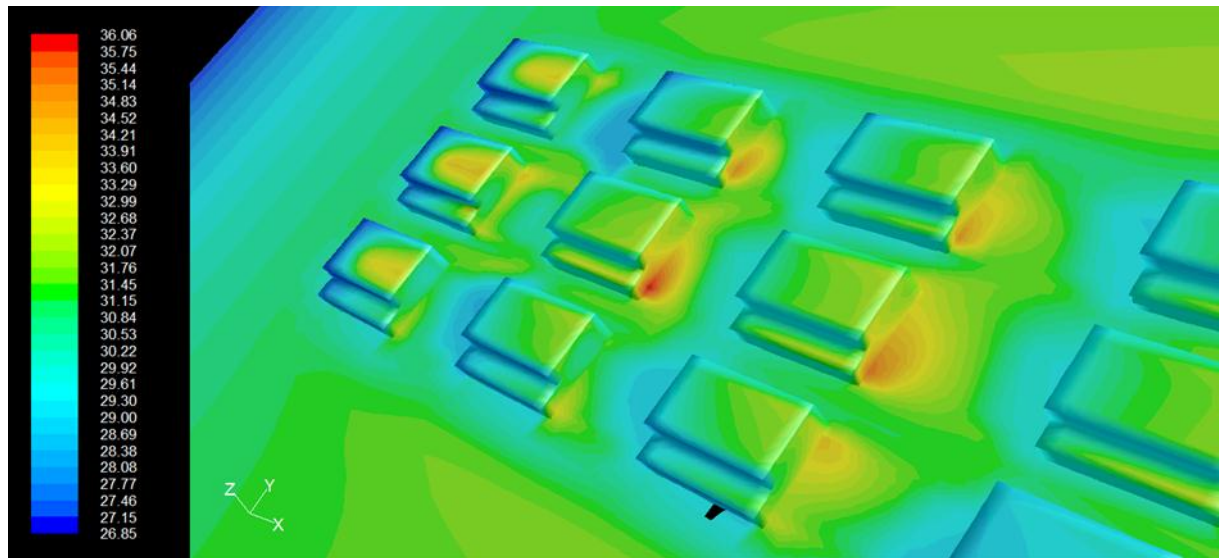


Figure IV.39 :Distribution de la température totale (°C) pour le 21 Juin à 08h00

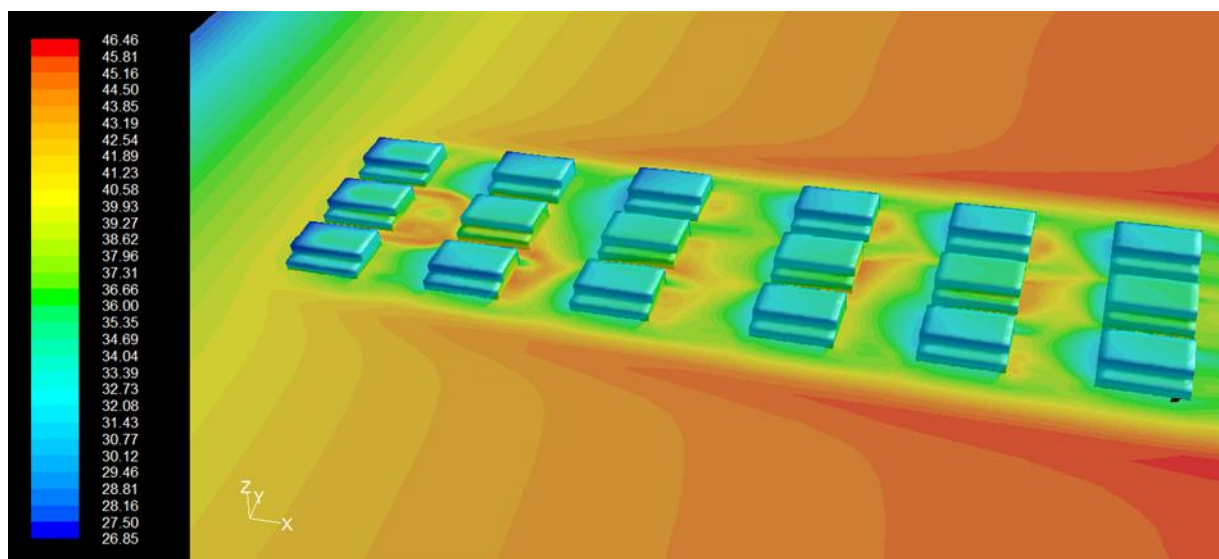


Figure IV.39 Distribution de la température totale (°C) pour le 21 Juin à 12h00

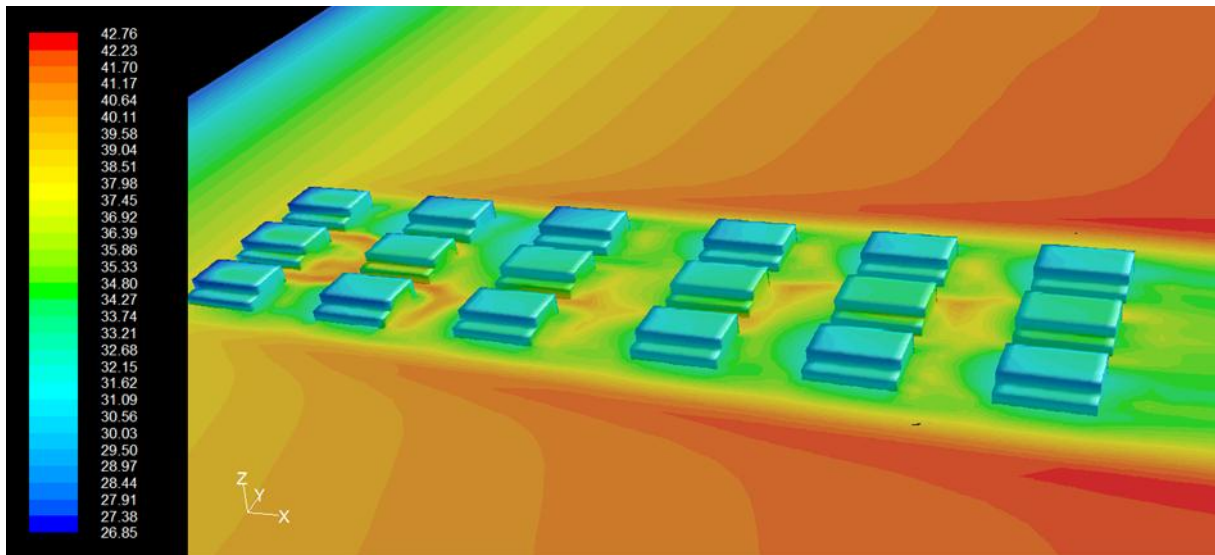


Figure IV.40 Distribution de la température totale (°C) pour le 21 Juin à 16h00

On remarque que :

	8h	12h	16h
Parois	32	34	34
Terrasses	31	39	33
Surface du sol	31	40	38

Les températures sont élevées au niveau du quartier (la température de surface du sol varié entre 30 à 40 °C que celle des parois et des terrasses).

IV.7.4 Effet de la vitesse du vent

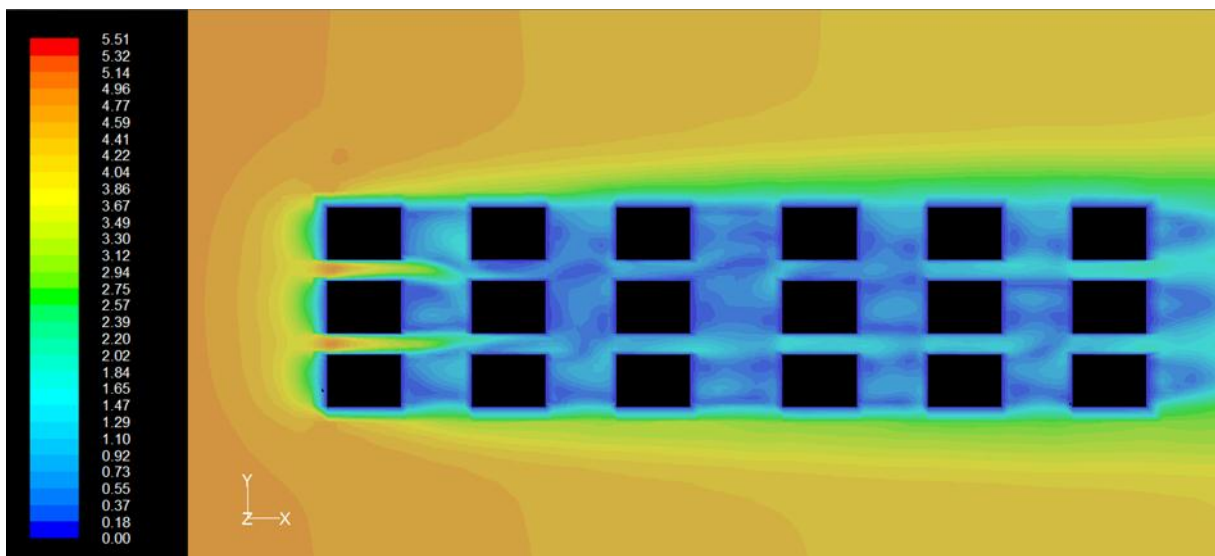
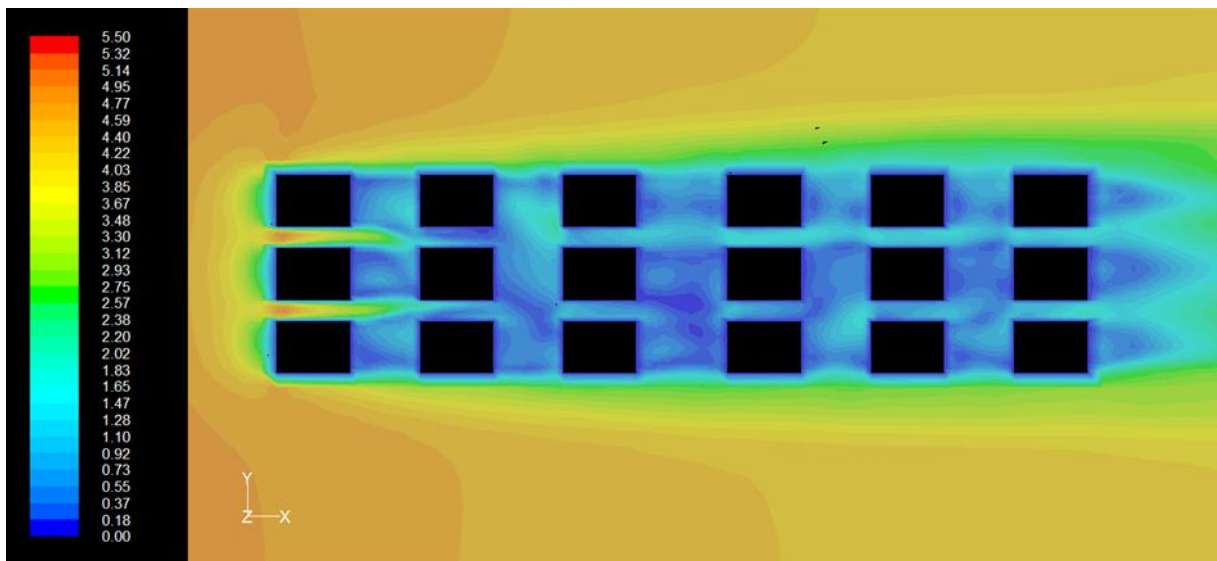
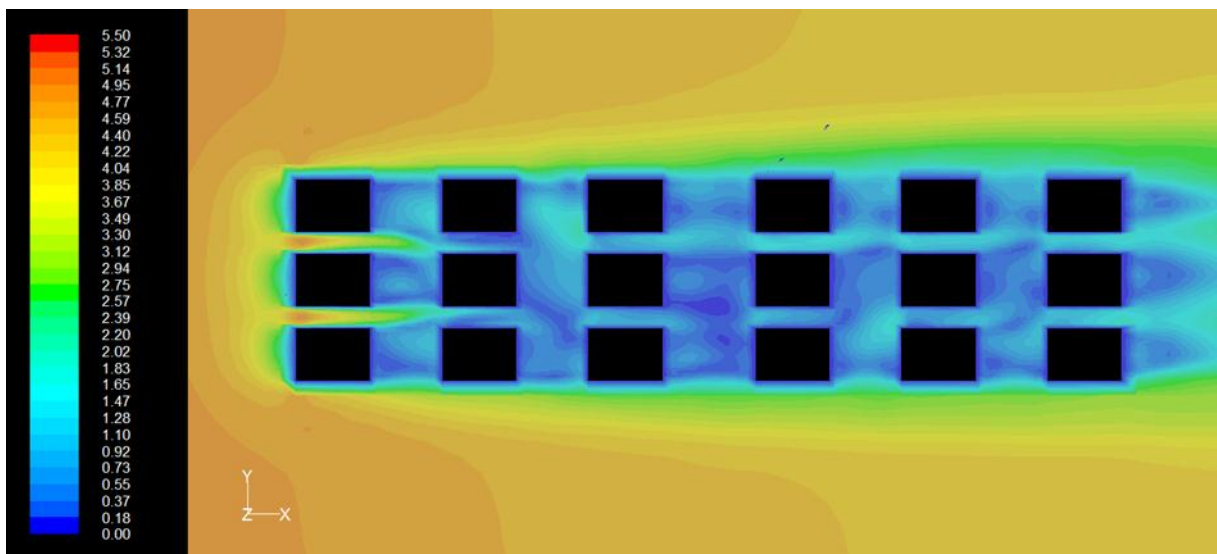


Figure IV.41 Distribution de la vitesse du vent à $z=1$ m pour le 21 Juin à 08h00**Figure IV.42** Distribution de la vitesse du vent à $z=1$ m pour le 21 Juin à 12h00**Figure IV.43** Distribution de la vitesse du vent à $z=1$ m pour le 21 Juin à 16h00

Les figures ci-dessus présentent les résultats obtenus à l'aide de FLUENT sur l'Eco quartier, on remarque que la vitesse du vent est très faible au sein du quartier (les faibles vitesses exprimés en bleues), et par conséquent on conclut qu'il y a pas d'effet de canyon parce que les rues sont très larges et les bâtiments peu élevés ($H=6$ m, $W=23$). Le rapport $H/W=0.2$ étant faible et n'induit pas une réduction de température.

IV.8 Conclusion

D'après les résultats de nos simulations sur les deux zones urbaines, il est utile de choisir le terrain idéal d'un point de vue microclimatique dans le but d'offrir un bon confort aux piétons dans les espaces publics et de limiter les consommations d'énergie des bâtiments dès la première phase de conception d'un projet urbain.

Les résultats que nous présentons, issus du code de calcul CFD Fluent, ont un caractère théorique et exploratoire. Ils permettent néanmoins d'apporter des éléments de réponse aux architectes et urbanistes dans la phase de conception d'un projet urbain. Fluent apparaît comme un code général simplifié, indispensable pour un usage intensif en conception urbaine. Ce code s'inscrit dans la mouvance des travaux effectués en thermique du bâtiment.

Nous avons voulu illustrer dans cette étude le comportement thermique d'un espace urbain face à des sollicitations radiatives et dynamiques. Nous avons mis en évidence la création d'un microclimat propre au système urbain, le champ de température de surface étant fonction des caractéristiques du climat extérieur, mais également de la configuration du système étudié.

Les simulations relatives à la température de l'air ont permis d'illustrer le phénomène de l'îlot de chaleur généré par un ensemble bâti. Nous avons mis en évidence des écarts de températures importants entre le système et l'environnement extérieur.

Le code Fluent permet, de par sa structure modulaire et multi-modèle, l'évolution des modèles mathématiques proposés. Des travaux de recherche complémentaires sont toutefois nécessaires pour **valider expérimentalement ce code de calcul.**

A.1 Modèle de turbulence (k-ε)

Ce modèle est basé sur l'hypothèse de «viscosité turbulente» introduite par Boussinesq, où les contraintes turbulentes sont exprimées en fonction du tenseur des taux de déformation à l'aide de la viscosité turbulente. Pour déterminer la viscosité turbulente, on ajoute deux équations complémentaires aux équations de bilans. Une pour l'énergie cinétique turbulente et une pour son taux de dissipation. Elles sont données par les expressions, respectivement:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \text{div} \left[\rho \vec{u} k - \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \overrightarrow{\text{grad}} k \right) \right] = P + G - \rho \varepsilon \quad (\text{A.1})$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \text{div} \left[\rho \vec{u} \varepsilon - \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \overrightarrow{\text{grad}} \varepsilon \right) \right] = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} [p + (1 - C_{\varepsilon 3})G] - \rho C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (\text{A.2})$$

Les différentes variables intervenant dans ces équations sont explicitées ci-dessous: représente la production dynamique d'énergie cinétique turbulente:

$$p = -\rho R_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (\text{A.3})$$

G est le terme de production d'énergie cinétique turbulente générée par la gravité. Il est donné

Par :

$$G = -\frac{1}{\rho} \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} g_i \quad (\text{A.4})$$

Où Pr_t est le nombre de Prandtl turbulent et la viscosité turbulente en ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$) exprimée

par la relation:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (\text{A.5})$$

L'inconvénient de ce type de modèle de turbulence est l'introduction de coefficients empiriques. Les constantes couramment utilisées sont celles de Launder et Spalding, (1972) données dans le Tableau A.1 ci-dessous :

C_μ	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	$C_{\varepsilon 3}$	σ_k	σ_ε
0,09	1,44	1,92	1 ou 0	1	1,3

Tableau A.1: Constantes utilisées dans le modèle de turbulence (k-ε).

La valeur de $C_{\varepsilon 3}$ dépend de la stratification : $C_{\varepsilon 3} = 0$ si (stratification instable), et $C_{\varepsilon 3} = 1$ si $G \leq 0$ (stratification stable), (Viollet, 1988).

B.2 Le modèle (k-ε) RNG

Le modèle (k-ε) RNG a été obtenu à partir d'une technique mathématique appelé « groupe de renormalisation » (Renormalization Group en anglais) [187]. La technique RNG aboutit à une équation différentielle pour la viscosité turbulente [188] :

$$d \left(\frac{\bar{\rho}^2 k}{\sqrt{\varepsilon \mu}} \right) = 1.72 \frac{\hat{v}}{\sqrt{\hat{v}^3 + 99}} d\hat{v} \quad (\text{A.6})$$

Ou

$$\hat{V} = \frac{\sigma}{\mu} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma} \right) = \sigma + \frac{\mu_t}{\mu} \quad (\text{A.7})$$

L'équation (B.6) est intégrée pour obtenir une description précise de comment la viscosité turbulente varie avec le nombre de Reynolds. Ceci permet de mieux prédire le comportement des écoulements à faible, par exemple, les écoulements proche parois. Pour des nombres de Reynolds élevés, l'équation (B.6) donne :

$$\mu_t = \bar{\rho} c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (\text{A.8})$$

Avec c_μ , obtenu avec la théorie RNG. Cette valeur de est très proche de la valeur, empiriquement trouvée, de $c_\mu = 0,09$ utilisée dans le modèle (k-ε) standard, pour des nombres de Reynolds élevés, le modèle (k-ε) RNG utilise les mêmes équations du modèle (k-ε)

B.3 Le modèle (k-ε) Réalisable

Le modèle (k-ε) Réalisable emploie aussi la relation de Prandtl-Kolmogorov équation (B.8) pour évaluer μ_t mais, à la différence du modèle (k-ε) standard, n'est plus constante [141,148] :

$$C_\mu = \frac{1}{A_0 + A_s \frac{k}{\varepsilon} \sqrt{S_{ij} S_{ij} + \widehat{\Omega}_{ij} \widehat{\Omega}_{ij}}} \quad (\text{A.9})$$

Avec :

$$\widehat{\Omega}_{ij} = \Omega_{ij} - 2\varepsilon_{ijk} \omega_k \quad (\text{A.10})$$

$$\Omega_{ij} = \bar{\Omega}_{ij} - \varepsilon_{ijk} \omega_k \quad (\text{A.11})$$

Ou $\bar{\Omega}_{ij}$ est le taux moyen de rotation vu à partir d'un repère tournant à une vitesse angulaire ω_k . Donc, C_μ est fonction des taux moyens de déformation S_{ij} et de rotation Ω_{ij} de la vitesse Angulaire du système en rotation et du champ turbulent (k et ε), L'équation, en revanche, l'équation pour ε est légèrement différente :

$$\frac{\partial \bar{\rho} \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} \varepsilon \tilde{u}_i}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \bar{\rho} \varepsilon C_1 \sqrt{2S_{ij} S_{ij}} - \bar{\rho} C_2 \left(\frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v\varepsilon}} \right) \quad (\text{A.12})$$

Avec :

$$C_1 = \max \left(0,43; \frac{\gamma}{\gamma + 5} \right); \gamma = \frac{k}{\varepsilon} \sqrt{2S_{ij} S_{ij}}$$

Les constantes A_0 et A_s utilisées dans l'équation (A.9)

$$A_0 = 4.04, A_s = \sqrt{6} \cos \phi$$

Ou :

$$\phi = \frac{1}{3} \cos \cos^{-1}(\sqrt{6} W) \quad W = \frac{S_{ij} S_{jk} S_{ki}}{s} \quad \hat{S} = \sqrt{S_{ij} S_{ij}}$$

Les valeurs des constantes utilisées par le modèle sont présentées dans le tableau (A.2)

A_0	A_s	σ_ε	C_2
4.04	$\sqrt{6} \cos \phi$	1,20	1,90

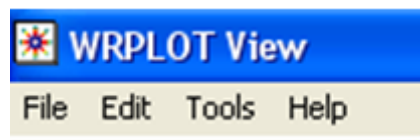
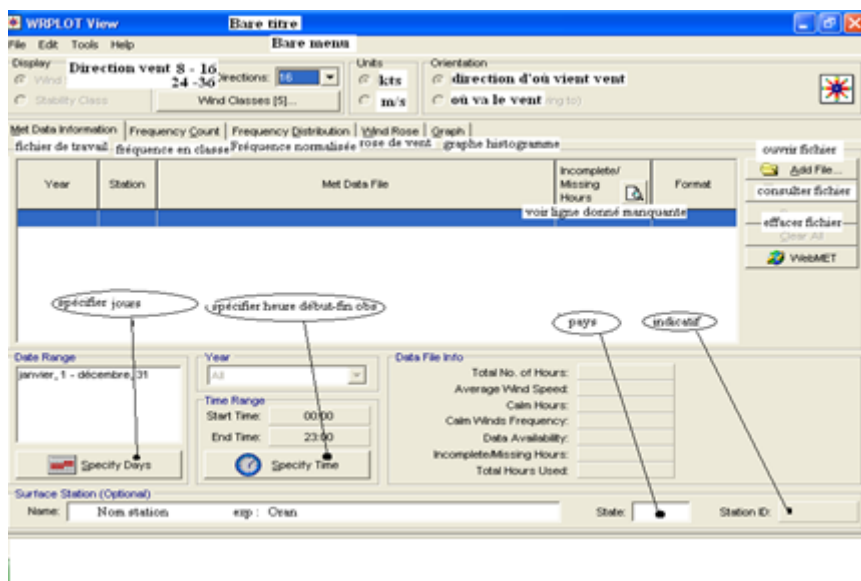
Tableau A.2 : constantes du modèles (k- ε) Realizable

WRPLOT View

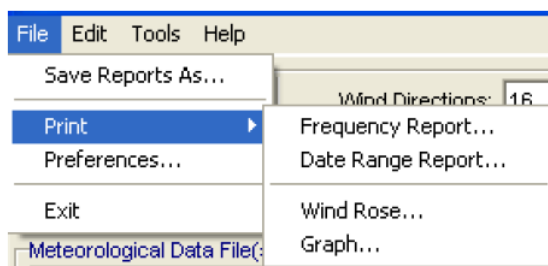
WRPLOT View est un programme sous Windows qui nous aide à tracer la rose du vent. La rose du vent donne la fréquence d'occurrence du vent en secteurs de directions en classes.

Description du WRPLOT View : (Fadila.Gotni IHFR)

La fenêtre principale de ce logiciel :



- **Save Reports As:** enregistrer le tableau fréquence, carte distribution en fichier Texte.
- **Print:** imprimer le tableau fréquence, la rose du vent ou le graphe.
- **Exit:** fermer le WRPLOT View program.

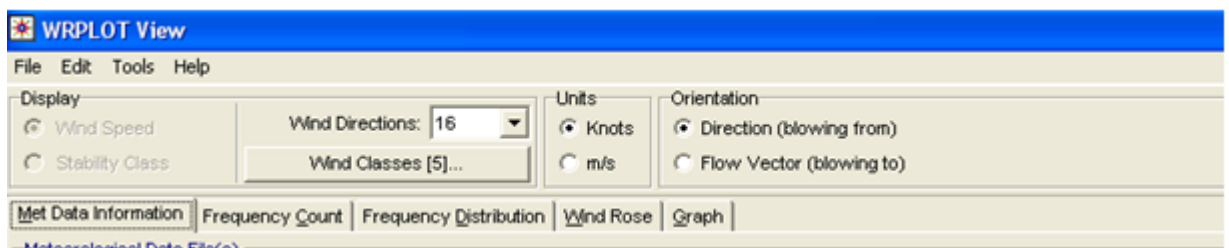


- **Copy to File:** donne les options suivantes :
- **Bitmap:** exporter en fichier Bitmap la rose du vent ou le graphe en Windows bitmap.
- **Metafile:** permet de sauvegarder le fichier en Windows metafile.
- **Wind Classes:** permet de voir les classes du vent pour changer ou faire des corrections.
- **Import from Excel:** permet d'importer un fichier Excel pour créer un autre fichier SAMSON de données horaire pour pouvoir travailler sur WRPLOT.
- **Browse:** ouvre Explorateur de Windows pour chercher un fichier.
- **Editor:** ouvre WordPad de Windows pour avoir accès à l'éditeur texte.
- **Help :** le contenu du logiciel

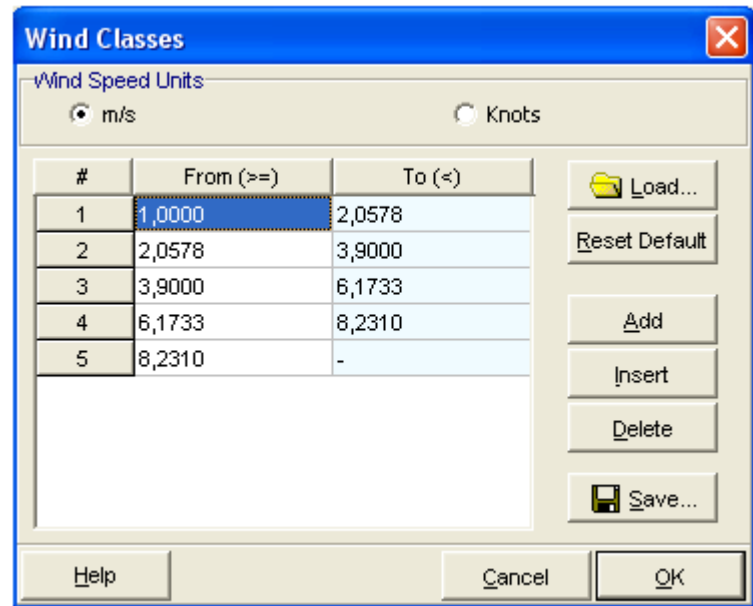
Met Data Information Frequency Count Frequency Distribution Wind Rose Graph					
	Directions / Wind Classes (Knots)	2 - 4	4 - 12	>= 12	Total
4	56,25 - 78,75	0	1	10	11
5	78,75 - 101,25	0	2	6	8
6	101,25 - 123,75	0	0	0	0
7	123,75 - 146,25	0	0	1	1
8	146,25 - 168,75	0	0	2	2
9	168,75 - 191,25	0	0	2	2
10	191,25 - 213,75	0	3	1	4
11	213,75 - 236,25	0	2	4	6
12	236,25 - 258,75	0	5	9	14
13	258,75 - 281,25	0	4	26	30
14	281,25 - 303,75	0	1	4	5
15	303,75 - 326,25	0	1	8	9
16	326,25 - 348,75	0	9	17	26
	Sub-Total	1	47	140	188
	Calms				53
	Missing/Incomplete				6934
	Total				7175

Tableau des fréquences

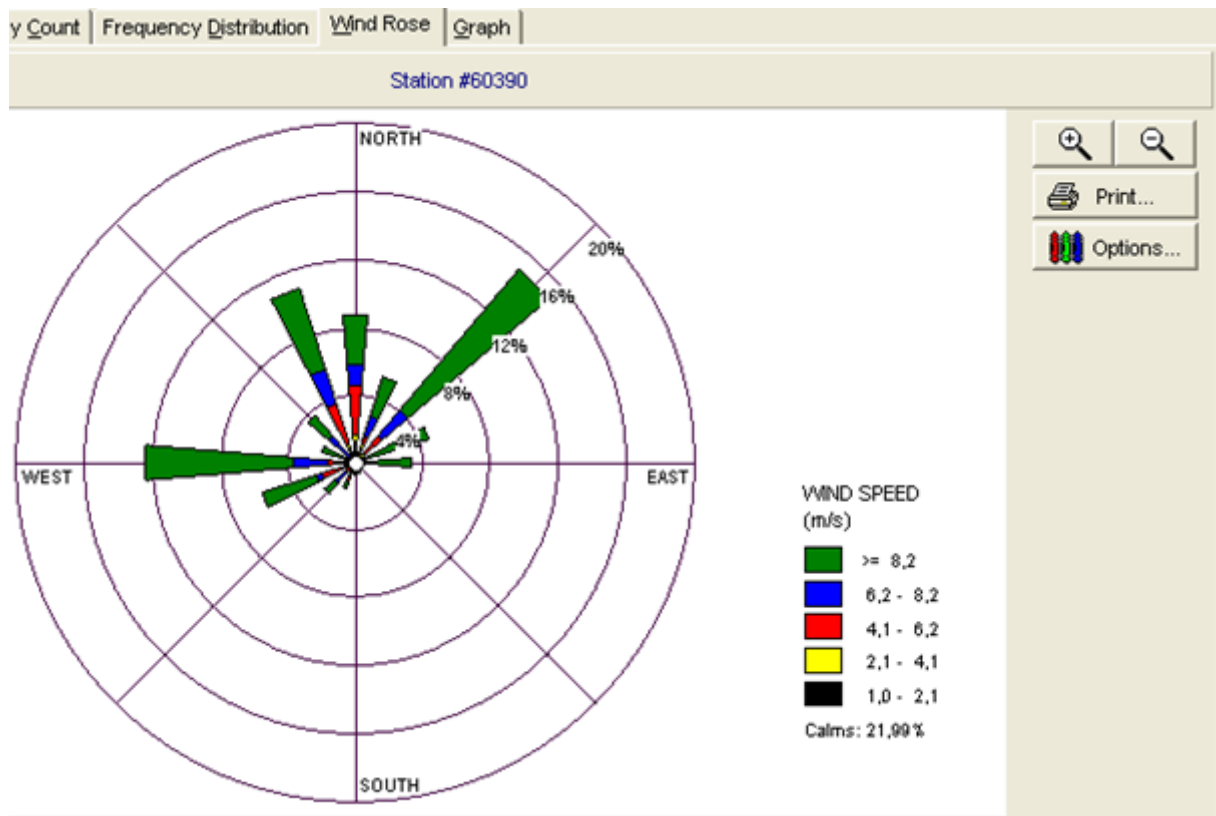
Wind Rose : on peut choisir la rose de 8 à 36.



Wind Classes : pour choisir le nombre de classes et l'unité de la vitesse du vent .



Voilà un exemple d'une rose du vent tracée par WRPLOT View



ORIENTATION :

- **Direction (blowing from) :** d'où vient le vent
- **Flow Vector (blowing to) :** où va le vent

Pour pouvoir travailler sur le WRPLOT :

1- on fait la saisie des donnée sur Excel pour les convertir ensuite au format SAMSON de données horaires.

En :

1ère colonne : l'année.

2ème colonne : le mois.

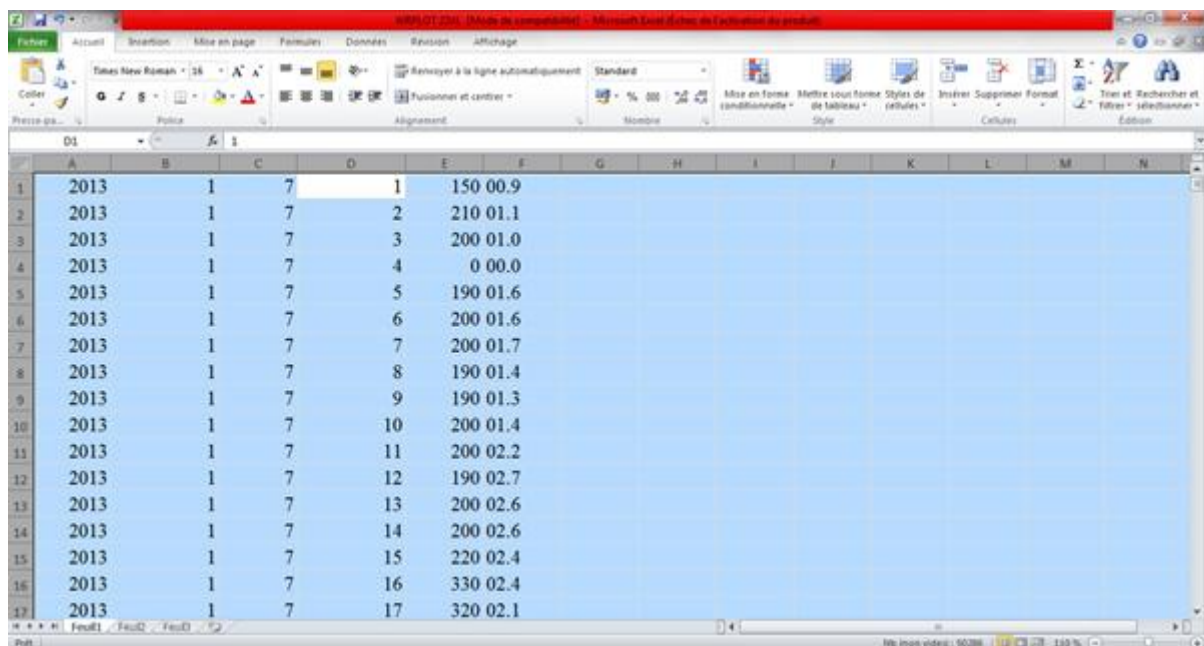
3ème colonne : le jour.

4ème colonne : l'heure.

5ème colonne : la direction.

6ème colonne : la vitesse.

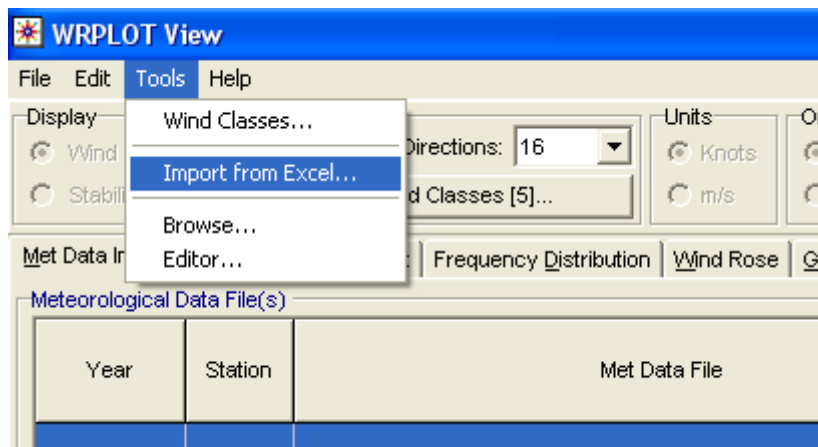
Voir notre exemple suivant : on a pris les données du vent de 01/01 2013 a 01/01/2014 de la station IHFR ORAN :



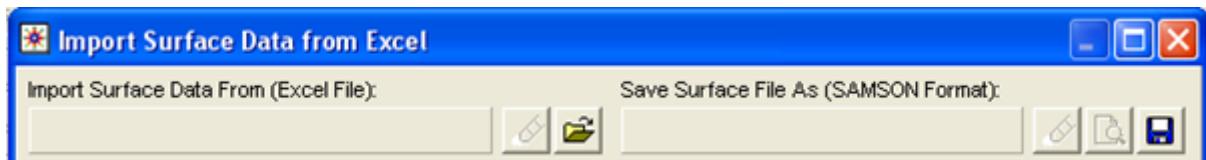
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	2013	1	7	1	150	00.9								
2	2013	1	7	2	210	01.1								
3	2013	1	7	3	200	01.0								
4	2013	1	7	4	0	00.0								
5	2013	1	7	5	190	01.6								
6	2013	1	7	6	200	01.6								
7	2013	1	7	7	200	01.7								
8	2013	1	7	8	190	01.4								
9	2013	1	7	9	190	01.3								
10	2013	1	7	10	200	01.4								
11	2013	1	7	11	200	02.2								
12	2013	1	7	12	190	02.7								
13	2013	1	7	13	200	02.6								
14	2013	1	7	14	200	02.6								
15	2013	1	7	15	220	02.4								
16	2013	1	7	16	330	02.4								
17	2013	1	7	17	320	02.1								

2- Importer le fichier Excel vers WRPLOT :

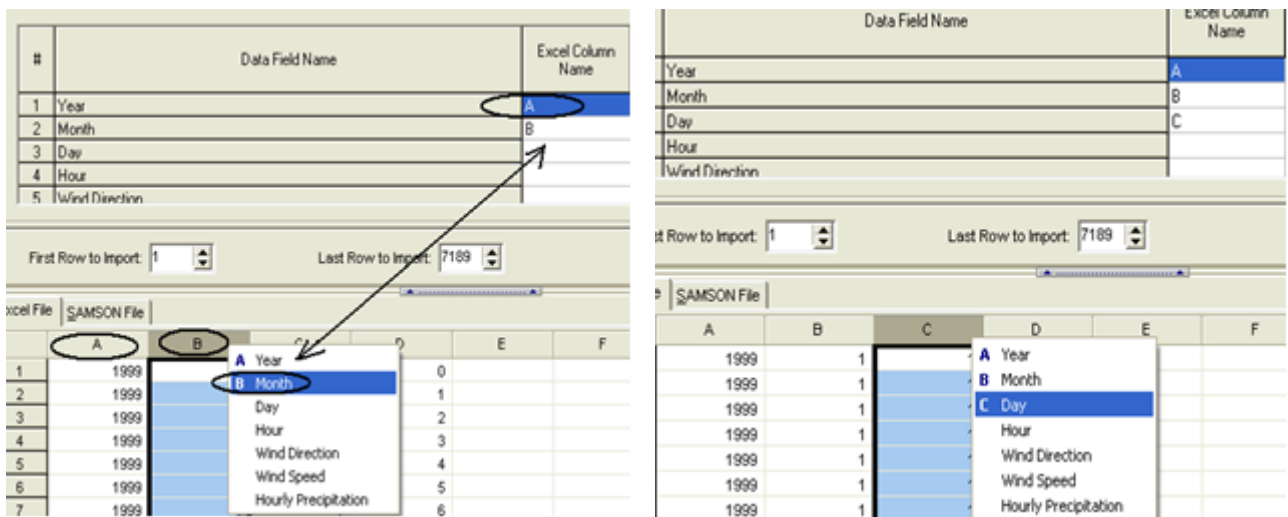
- Dans Tools : Import from Excel



- 3-Puis dans Import Surface Data from (Excel File) ; on ouvre le fichier



- 4- pour chaque colonne on attribut son nom approprié, exemple colonne A : Year (année) B : Month (mois) etc.....



- Spécifier l'unité du temps : exemple ici pour l'heure est de 00 à 23 heures

Data Field Name	Excel Column Name	Missing Indicator in Excel File	Unit in Excel File
Hour	D		01 to 24
Wind Direction	E		00 to 23
Wind Speed	F		01 to 24
Hourly Precipitation			hundredths of inc

First Row to Import:	1	Last Row to Import:	7189
----------------------	---	---------------------	------

SAMSON File							
A	B	C	D	E	F	G	H
1999	1	1	0				

- Spécifier l'unité de la vitesse du vent.

Data Field Name	Excel Column Name	Missing Indicator in Excel File	Unit in Excel File
Hour	D		01 to 24
Wind Direction	E		degrees
Wind Speed	F		m/s
Hourly Precipitation			knots m/s mph km/h

First Row to Import:	1	Last Row to Import:	7189
----------------------	---	---------------------	------

SAMSON File							
A	B	C	D	E	F	G	H
1999	1	1	0		Vitesse de vent		

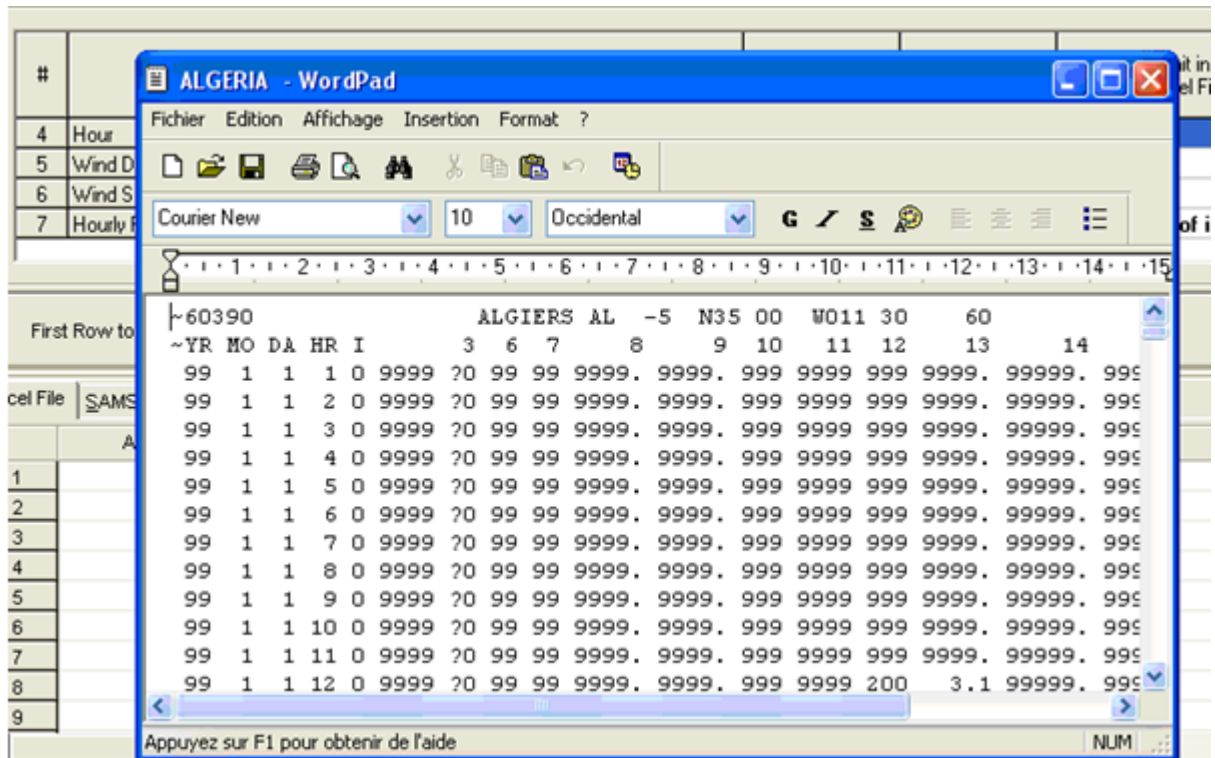
- Tableau réservé aux données relatives à la station, qu'on doit remplir

Une fois toutes les informations sont saisies, on click sur Import, pour importer le fichier et le sauvegarder au format SAMSON.

Exemple :

Station ID : indicatif station exemple station IHFR ORAN : Station ID= 60489

City : ORAN **State :** ALGERIE **Latitude :** 35°43'N **Longitude :** 00°36'W **Altitude :** 120m



- On visualise le fichier au format SAMSON après sa conversion de l'Excel par la commande **Preview** du menu.
- On enlève le fichier par la commande **Remove**
- On ouvre le fichier par **Add File**
- On peut aussi ouvrir d'autres fichiers du **Web**

- [1] Modélisation urbaine et stratégie d'adaptation au changement climatique pour anticiper la demande et la production énergétique (Muscade). 2009 (article).
- [2] Les territoires en route pour la COP 21, Les notions indispensables sur les impacts du changement climatique, les politiques climatiques et les outils économiques 2013 (article).
- [3] Achour-Bouakkaz Nawel , La Relation entre l'îlot de chaleur urbain, phénomène du changement climatique et la densité du plan bâti : cas de la ville d'Alger. 2006
- [4] Ballout Amour , le rôle de la végétation et l'eau dans la création d'un microclimat urbain « cas de la place de Ain el fouara à sétif ». 2010
- [5] Sigrid Reiter , Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes. Juin 2007
- [6] Mohamed DJAAFRI, forme urbaine, climat et énergie quels indicateurs et quels outils ? Juin 2014.
- [7] FOUZIA BOUCHERIBA, Impact de la géométrie des canyons urbains Sur le confort thermique extérieur « cas du coudiat de Constantine »2005
- [8] Stella Tsoka, Relations entre morphologie urbaine, microclimat et confort des piétons : application au cas des Eco quartiers Déc. 2012.
- [9] ABDELJOUAD Meriem, Impact de la morphologie du bâtiment sur la dispersion des polluants atmosphériques Cas d'étude : ville d'Annaba .Juin 2014
- [10] Jean-Paul Stéphant , Maîtriser le vent dans les projets d'aménagement urbain.
- [11] 2e appel à projets éco quartier - session 2011 (article).
- [12] Etude du plan d'occupation du sol « P.O.S » - zone ouest de la ville d'Oran Communes : Oran, Es-Senia et Misserghine Mai 2015.
- [13] Rev. Energ. Ren. Vol. 4 107-123 Influence de l'Orientation de la Vitesse du Vent sur la dispersion d'un Polluant autour d'un Bâtiment. 2001
- [14] MATENE ELHACENE , « Présentation du code de Fluent et de la méthode numérique de prévision », (2011)
- [15] NAZIH MARZOUQY, « Cours Mécanique des Fluides /T.P Fluent » ;(2006).
- [16] MATENE ELHACENE,(Présentation du code de Fluent et de la méthode numérique de prévision).
- [17] Fluent, « Documentation User's guide », Fluent 6.2
- [18] Fluent, « Documentation UDF Manual », Fluent 6.2
- [19] Gambit, « Gambit help & documentation ».

- [20] Wang JS, Huang Z. Prediction of atmospheric environment in urban street canyon by applying various versions of turbulence models. Journal of Shanghai Jiao Tong University 2002, [in Chinese].
- [21] AFNOR (1984). Distribution et diffusion d'air – Technique de mesure du débit d'air dans un conduit aéraulique. Norme NF X 10-231, Avril 1984
- [22] L.A. Lima, C.R.B. Filho. Wind resource evaluation in São João do Cariri (SJC) - Paraiba, Brazil. Renewable and Sustainable Energy Reviews , 2011.
- [23] F. Chellali, A. Khellaf, A. Belouchrani, A. Reციoui, A contribution in the actualization of wind map of Algeria, Renewable and Sustainable Energy Reviews.2010
- [24] M. Said and A. Ibrahim. Energy in the Arab world. Energy ,1984