

## CHAPITRE V : METHODE D'INTEGRATION DU PARAMETRE VENT DANS LA CONCEPTION DE L'ENVIRONNEMENT

### I- Introduction :

Ce chapitre présente le processus d'intégration du paramètre vent dans la conception urbaine et architecturale. Il consiste en premier lieu à discerner l'adaptation des tissus anciens au vent à partir des interventions de l'homme à travers son histoire et sa région.

Après une négligence de ce paramètre dans les constructions et tissus urbains récents à cause de l'utilisation de l'énergie industrielle, les dernières années ont été marquées par une acuité du paramètre vent dans les programmes d'aménagement en France, en Chine et en Canada.

Des études aérodynamiques et expérimentales sur l'écoulement du vent en milieu bâti sont faites en collaboration avec des ingénieurs en aérodynamique et mécanique des fluides à travers des simulations analogiques en soufflerie atmosphérique ou à couche limite des groupes de bâtiments ou par des simulations numériques.

### II-Le vent et les tissus anciens :

Les interventions de l'homme modifient le microclimat ; planter un arbre, bâtir une maison ou foyer, un puits, tout cela a une influence sur le site. Parfois le changement est immédiatement visible, mais souvent, il faut plusieurs années pour apprécier l'effet de ce qu'on est en train de réaliser aujourd'hui.

Il est important de savoir les effets qui peuvent engendrer nos actions car notre ambition est d'opérer un changement positif.

Dans le passé, l'architecture et l'urbanisme se développaient dans les régions à partir des conditions climatiques, des coutumes et des goûts culturels, de l'emploi de matériaux locaux, de l'organisation sociale, des traditions et d'une myriade d'autres facteurs.

De nombreux aspects du régionalisme traditionnel méritent d'être conservés ou valorisés à travers un projet microclimatique. Il est inévitable, lorsque cela est compris et appliqué, que le paysage et le climat déterminent par leurs influences un type d'architecture et d'urbanisme qui, à travers leurs caractéristiques régionales conviennent le mieux à l'entité géographique considérée. (*Wright, 1979*)

## 1- La ville romaine -Dispositions des bâtiments par rapport au vent selon Vitruve :

La disposition de la ville par rapport aux vents dominants était une préoccupation majeure pour les Romains, soit pour les utiliser à des fins d'assainissement ou de rafraîchissement de la ville.

Parfois, plus simplement, les romains se protégeaient du vent par l'implantation de la ville à l'abri d'une montagne.

Cette sagesse antique a souvent été totalement oubliée, au profit de réponses architecturales ou techniques dont la généralisation ne peut aboutir à un tissu urbain. (Duplay, 1982)

Voici quelques citations de Vitruve (\*) qui montrent les meilleures dispositions des bâtiments par rapport au vent.

« On prendra les alignements des rues et des ruelles selon l'aspect du ciel le plus avantageux ;

- La meilleure disposition sera si les vents n'enfilent point les rues,
- Si les rues soient directement opposées aux vents, il n'y a point de doute que leur impétuosité qui est si grande dans l'air libre et ouvert, serait beaucoup augmentée étant renfermée dans les rues étroites.

C'est pourquoi on tournera les rues en telle sorte que les vents donnant dans les angles des îles qu'elles forment se rompent et se dissipent.»

Vitruve a présenté cela par un schéma qui a deux intentions : la première est de marquer les régions d'où les vents partent, la seconde est d'indiquer la manière de situer les rues en sorte que les vents ne les puissent incommoder.

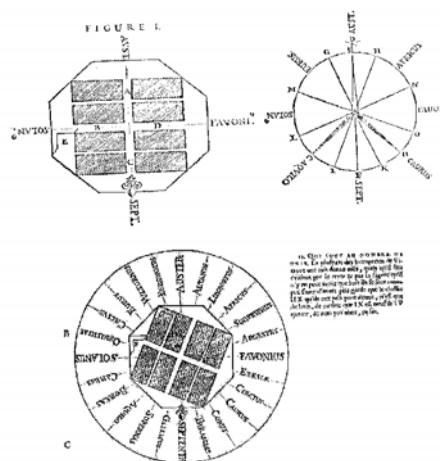


Fig. 1 : Schémas de VITRUVÉ concernant la disposition des constructions par rapport à la rose des vents

\***Vitruve** (v. 70 av. J.-C.-v. 25 av. J.-C.), architecte et ingénieur militaire romain qui écrivit *De architectura*, un traité formé en dix livres (*Les dix livres d'architecture de Vitruve*, page 22, 23,24)

## 2-Les demeures troglodytiques :

Dans le sud de la Tunisie, à la frontière du Sahara, et sous d'autres climats excessifs, des demeures troglodytiques constituent un habitat thermostable dans des contrées où sévissent de fortes tempêtes de sables des étés particulièrement chauds et des hivers froids.

Ces constructions illustrent merveilleusement l'ingéniosité de la population locale dans son art d'exploiter un environnement hostile, avec de si faibles ressources. (Fig. 2) (Rapoport, 1972).

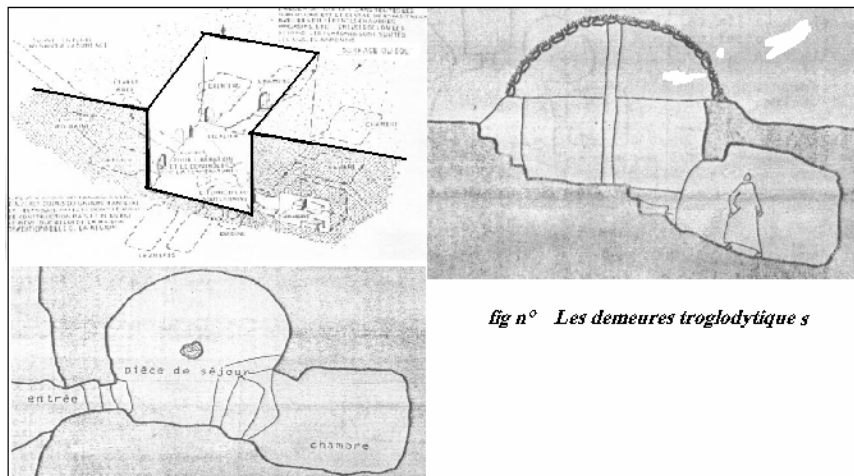


fig n° Les demeures troglodytiques

## 3-Tentes noires :

Les bédouins nomades utilisent des tentes en poiles de chèvres noires pour s'abriter de l'environnement torride, poussiéreux et sec de certains pays. On peut disposer, aisément ces tentes portatives et déformables pour faire barrage au souffle chaud des vents de sable et pour fournir de l'ombre sous le soleil brûlant du désert. On arrive ainsi à maintenir des températures intérieures relativement confortables là où pendant la journée, il fait de 50° à 60° c. (Fig. 3)

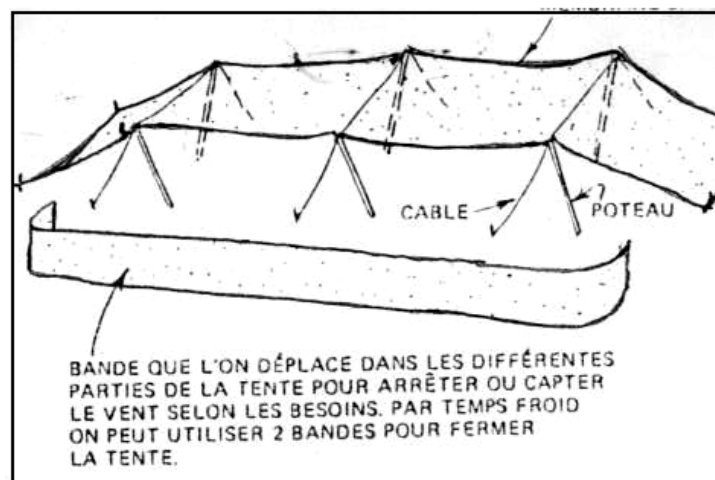
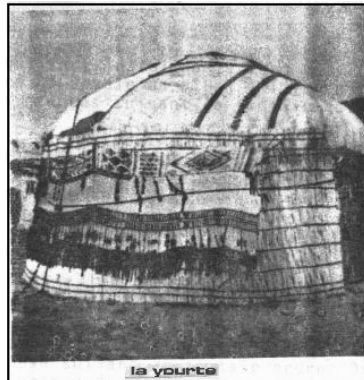


Fig. 3. La tente bédouine (Rapoport, 1972).

#### 4-La yourte :

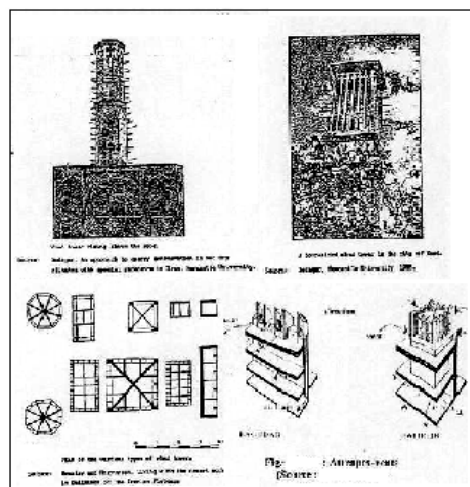
Depuis quelques milliers d'années, de nombreuses tribus nomades de la Mongolie en Iran ont vécu dans des tentes (huttes) d'une forme remarquable : les yourtes. Malgré la lente disparition de cet habitat, les nomades turkmènes, les Puzbecks et les Tadjiks du nord de l'Afghanistan continuent d'utiliser les yourtes qui sont tout à fait adaptées à la vie nomade et climat de la région par sa forme aérodynamique et fermée contre tout effet indésirable des vents dominants (*Fig. 4.*)



*Fig. 4, La yourte (Rapoport. A ,1972).*

#### 5-Capteur à vent (El malgaf) :

Le capteur à vent c'est un système très ancien, trouvé en Egypte durant l'époque des Pharaon. Puis, il a pris une autre forme au cours des ces dernières années dans les régions chaudes et arides comme l'Iraq, le Pakistan et la partie centrale d'Iran. Sa fonction est de capter le vent et le faire circuler à l'intérieur du bâtiment le mouvement de l'air produit par le capteur à vent ne sera efficace pour le rafraîchissement du bâtiment seulement si le processus d'évaporation a été ajusté. (*Fig. 5*)



*Fig. 5 : Le Malgaf (le capteur d'air)*

## 6- Tissu urbain Saharien :

Les vents dans les régions sahariennes constituent une source supplémentaire de l'élévation de température, l'air sec qui souffle sur les zones d'habitations chauffe les masses architecturales et les êtres vivants  
Ce vent tue les plantes situées en milieu ouvert

Pour bénéficier d'un confort, la conception des zones d'habitation doit pouvoir créer un microclimat spécifique

L'analyse des exemples récents de bâtiments des pays arabes du golfe et des zones du monde dans de pareilles conditions de climat leur conception est comme suit ; (Fig. 6)

\* *La directionnalité de la trame viaire* ; les rues principales larges se trouvant à la périphérie de la ville sont orientées en même direction que le vent dominant pour permettre l'air de se dégager sans accumulation de sable par contre les rues des piétons et places sont à l'abri des vents.

\* *L'enveloppe du bâti* ; les bâtiments importants se situent à la périphérie de la ville avec un seul étage dont les surfaces exposées au vent fort et poussiéreux constituent un écran de protection pour la ville

Les habitations se font par différente hauteur, les plus hauts protègent les habitations à un seul étage

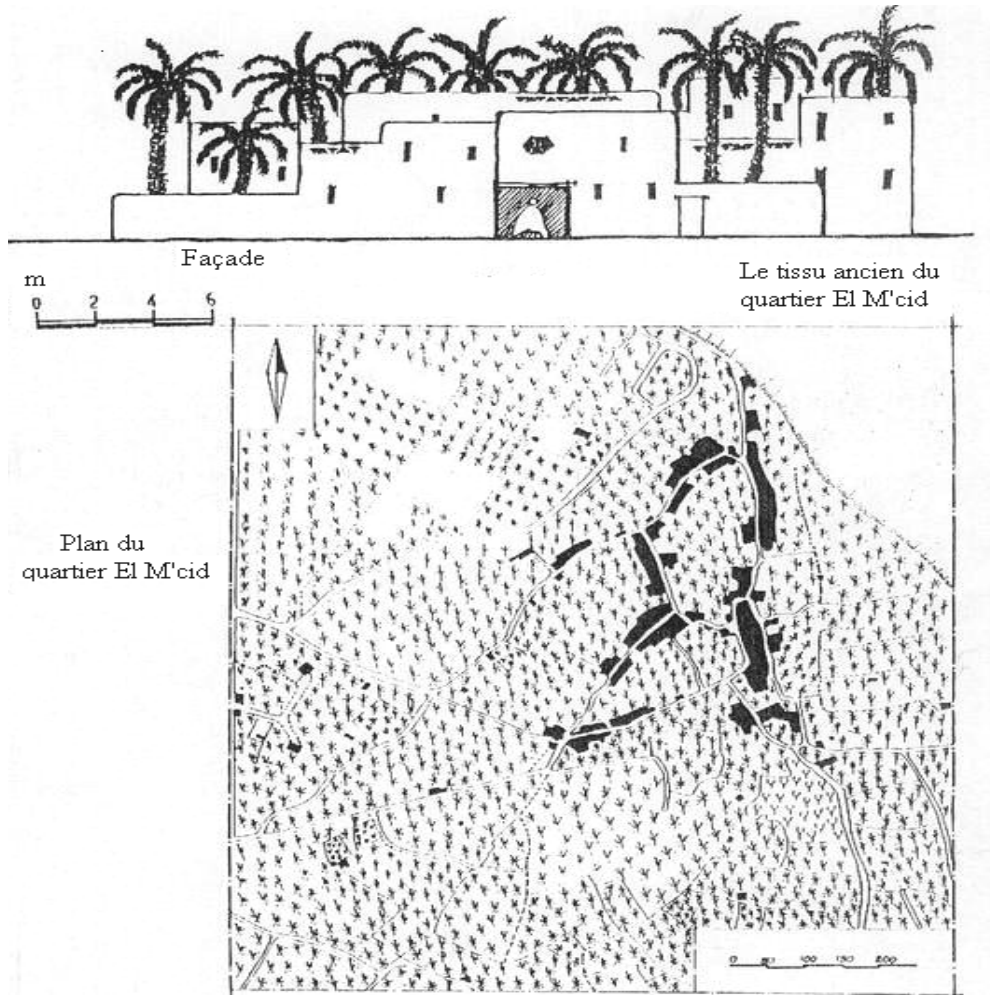
\* *La porosité urbaine* ; les habitations sont rassemblées d'une façon compacte et dense

Ces solutions assurent positivement des meilleures adaptations aux conditions rigoureuses du climat

Fig.6 ; Tissus urbains anciens (Source : Raymond, 1985)

### 7-Exemple d'un quartier ancien à Biskra (quartier El M'sid) :

Le quartier El M'sid se situe dans la zone Sud-est de la ville près de l'oued apparut en 1650 lors de l'exploitation de la ville dans les palmeraies à proximité des Saguias qui constituent l'élément structurant principal du quartier. (Fig 7)



#### a- Les caractéristiques du quartier :

- La mosquée était le centre de rayonnement religieux et culturel et social du quartier, il était la destination vers lequel toutes les rues et voies se rencontrent
- La conception des constructions selon le principe des cours intérieures qui étaient des puits d'aération pour l'intérieur de la maison et des jardins extérieurs qui étaient des écrans protectrices contre les fortes rafales des vents dominants
- La majorité de la surface du quartier était consacrée aux jardins et palmeraies d'une superficie égale à 60 Ha représentant 90% de la superficie total. Le reste représente les constructions, voiries, places.
- Les voiries prenaient des formes divers ; rue ( Derb) ; la grande rue, la ruelle ( Zgag) ; chacun avait une fonction, la grande rue et la rue leur

largeur peut aller jusqu'à 4 m et qui relie les entrées principales du quartier avec son centre.

- La largeur d'El Hara est entre 2 à 3 m, a pour fonction la circulation dans les zones d'habitations qui comportait des activités commerciales légères alors le Zgag, sa largeur est entre 1.5 et 2 m sans aucune activité commerciale, ainsi on trouvait les rues couvertes protégées contre les intempéries.

- Utilisation de l'échelle humaine dans la conception « El Draae, El Chibre, El Kotwa » ainsi la relation entre la largeur d'El Hara était de 1/3 ou 1/4 de la hauteur de la construction qui permet une pénétration

### **b- Etude bioclimatique du paramètre vent dans le quartier d'El M'sid :**

Une étude bioclimatique a été introduite par le chercheur Bencheik qui a estimé le rôle de la palmeraie et les types de construction ancien qui collaboraient pour réduire les effets indésirables des conditions climatiques notamment celles des vents.

a) *Le vent froid du Nord-ouest* : Le quartier est soumis au vent du nord, froid et fort, sa vitesse atteint les 60 Km/h, mais l'existence d'un écran protecteur naturel de palmeraie diminue sa vitesse et dévie sa direction et permet la traversé à travers les palmiers et les feuilles d'arbre d'un vent dont la vitesse est de 33Km/h conditionné.

b) *Le vent chaud du Sud* :

Ce vent souffle en été, il est chaud, sa vitesse maximale est de 50 Km/h. Les palmiers situés au sud le font face et diminuent sa force qui devient 30km/h et sera humide et d'une fraîcheur issue des palmeraies et arbres

c) *Les vents Sud-est (les vents du sable)* :

A l'est du quartier il existe un oued sec dans la saison des vents qui le traversent, les palmeraies au coté ouest et qui représente la partie Est du quartier et elles dévient l'écoulement des vents. A savoir une petite quantité du vent pénètre à travers les palmeraies et les arbres, les particules restantes après avoir été chargé par la vapeur d'eau qui augmente leurs poids tombent au sol.

A la fin un vent tempéré et propre pénètre aux constructions.

	Vent froid	Vent chaud	Vent du sable
A l'extérieur du quartier	60 km/h /froid	50 Km/h /Chaud	Tempéré / Chargé de poussière
A l'intérieur du quartier	33km/h/rafraîchi	30km/h / rafraîchi	Rafraîchi / propre

(Source ; Bencheikh, 1994)

### **III : Conduite d'une étude aérodynamique et calculs des fréquences d'inconfort :**

#### **1- Le diagnostic ou l'étude théorique du microclimat :**

Les guides d'aide à la conception climatique des espaces permettent de déceler de manière théorique les accidents aérodynamiques susceptibles d'apparaître dans un programme et les manières d'éviter ou de remédier à ces anomalies tant au niveau de l'organisation des masses bâties que des traitements des espaces par le jeu d'aménagements particuliers tels que brise-vent, mobilier urbain, végétal, etc.

Cet outil apporte une aide considérable aux concepteurs, mais présente ses limites :

- L'approche reste essentiellement qualitative et les niveaux proprement dits d'inconfort ne peuvent être que mal estimés ;
- L'expérience montre aussi que ce type d'expérience a tendance à dramatiser les situations ;
- Les interactions entre le programme proprement dit et l'environnement sont quasi imprévisibles, ce qui pose le problème de l'éventuelle amélioration de l'ambiance climatique du programme au détriment des secteurs avoisinants.

Par conséquent, si cette démarche reste globalement positive (notamment, pour les programmes démunis de supports financiers pour ce type d'étude), on préférera grandement une approche expérimentale sur maquette en soufflerie atmosphérique reproduisant le phénomène vent et notamment sa turbulence

#### **2- L'étude expérimentale :**

Les expérimentations sont utiles :

- En conjonction avec la théorie, pour permettre de préciser et d'affiner la connaissance pratique des différents processus météorologiques et leur traduction dans un programme de simulation ;
- Pour tester l'utilisation de ce programme (ou de l'un de ses sous-programmes) en confrontant ses résultats avec la réalité ;
- Pour évaluer l'importance quantitative respective des divers phénomènes, afin d'effectuer les simplifications qui s'avèrent justifiées, et ne pas se perdre dans la recherche d'une précision illusoire ; c'est ainsi que le programme de simulation, a priori très complet et très lourd, pourra devenir un outil opérationnel pratique.

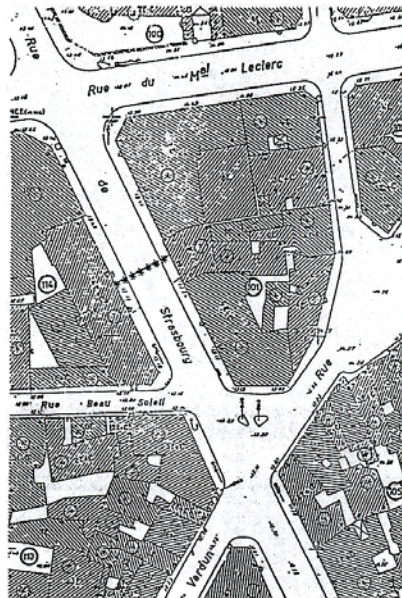


**a- La mesure in situ :**

Cette méthode rarement et difficilement utilisée nécessite l'implantation d'un nombre important de pylônes de mesure et une bonne répartition des positions des capteurs vent (anémomètres, girouette ...etc) suivant l'objet simulé (rue, place,..) et le sujet d'étude (vitesse de l'air, température de l'air, ou direction) pour déterminer les lieux de gêne, de confort ou de pollution.

**a-1- Exemple : Rue de Strasbourg, à Nantes :**

La rue de Strasbourg, à Nantes, rue de type canyon ( 22 m de hauteur, 15 m de largeur), plate et orienté Nord-sud, évitant ainsi les phénomènes d'ensoleillement d'une seule façade, et trafic automobile important ( Fig. 9)



- *Le dispositif expérimental :*

Un portique horizontal, équipé de trois rails verticaux, a été installé en travers de la rue. Cet ensemble permet de répartir les capteurs entre 10 m et 16 m au dessus de la chaussée (Fig. a-10). Le niveau inférieur de la rue est équipé de deux potences de 4 m de haut, fixées sur le trottoir à 0.5 m du bord de la chaussée (Fig b-10). Un petit pylône a également été implanté sur le toit d'un immeuble riverain, à l'aplomb de la section de rue considérée. Ce mât dépasse de 4 m le faîtage du toit et permet de disposer de capteurs à la couche limite urbaine (Fig. c-10). Enfin, un pylône de 7 m de hauteur, au sommet de la tour de Bretagne (hauteur 140 m), permet de mesurer la composante horizontale de la vitesse du vent, sa direction et la température de l'air dans la C.L.U.(Fig. d-10)

Figure 3 : portique de mesures



Figure 4 : potence sur le trottoir

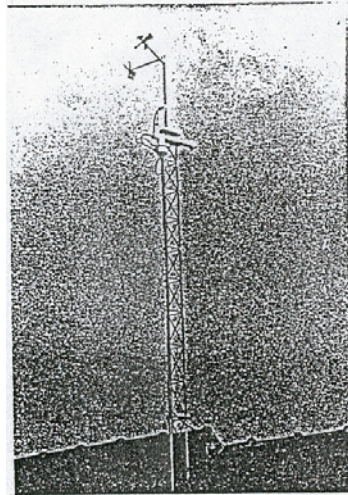
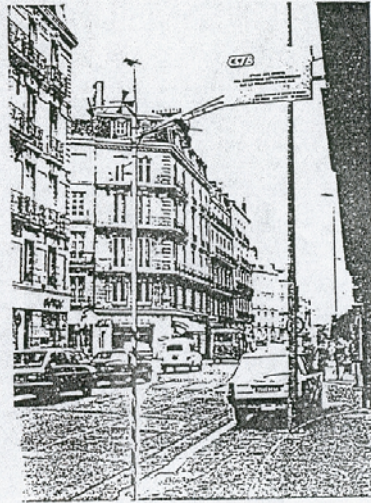


Figure 5 : pylône sur le toit

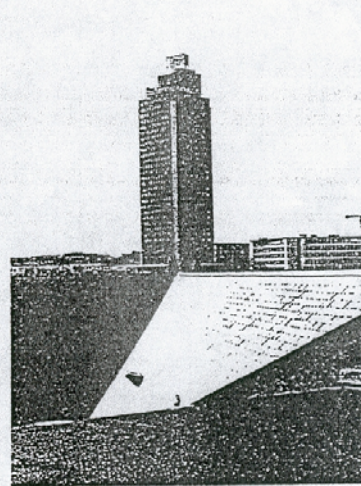


Figure 6 : tour de Bretagne

Fig.10

- La figure 11 donne la répartition des capteurs dans la section de rue :
- Trois sondes de température sont installées du côté Ouest de la rue , à 4m, 16 m à 2.5 au-dessus de la chaussée donnant la température moyenne avec une précision de 0,1 ° C.
  - Sept anémomètre tridirectionnels sont disposés dans la rue aux niveaux 4 m, 10.50 m et 16 m à 2.5 m de chaque façade, ainsi qu'à 16 m du centre de la rue ; ils donnent les trois composantes perpendiculaires du vent instantané : composante verticale, dans l'axe de la rue.
  - Deux anémomètres bidirectionnels sont installés au centre de la rue à 10.50 m et au-dessus des toits à 25 m au-dessus de la chaussée.
  - Neufs points de prélèvements d'air sont disposé à 1.50 m , 4 m ,10.50m et 16 m de chaque côté de la rue, ainsi qu'au centre de la rue au niveau 10.50 m et sont reliés à deux analyseurs de monoxyde de carbone.



Les acquisitions de données de la rue sont pilotées par un micro-ordinateur et enregistrées sur disquettes. On obtient par 15 mn : la moyenne, l'écart-type des composantes du vent, les moyennes de température et de la concentration en monoxyde de carbone.

A la tour Bretagne, on enregistre sur papier et par 15 mn, la température moyenne de l'air, la vitesse et la direction moyenne de la vitesse du vent. Environ 3000 séquences de 15 mn ont ainsi pu être collectées.

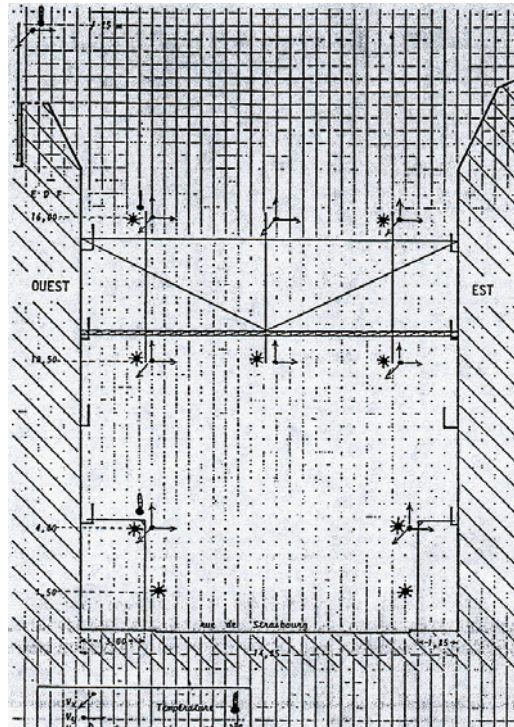


Fig. 11 : Schéma de la répartition des capteurs (Delaunay, 1986)

- *Résultats ; le vent dans la rue :*

La figure 12 montre, en fonction de la direction d'un vecteur vent unitaire au sommet des toits, la composante horizontale du vent à 4 m de hauteur au-dessus du trottoir. Il s'agit là de valeurs moyennes sur l'ensemble des mesures correspondant à chaque direction.

L'effet de canalisation du vent suivant l'axe de la rue apparaît clairement. Dans le cas de vents presque perpendiculaires à la rue (secteurs 60 –90), la composante longitudinale du vent au-dessus des toits

Pour le secteur  $+ 90^{\circ} + 150^{\circ}$ , on note une inversion du signe de la composante longitudinale, ce qui peut être dû à l'effet particulier d'un bâtiment unique.

*Fig. 12 : Vent horizontal dans la rue.*

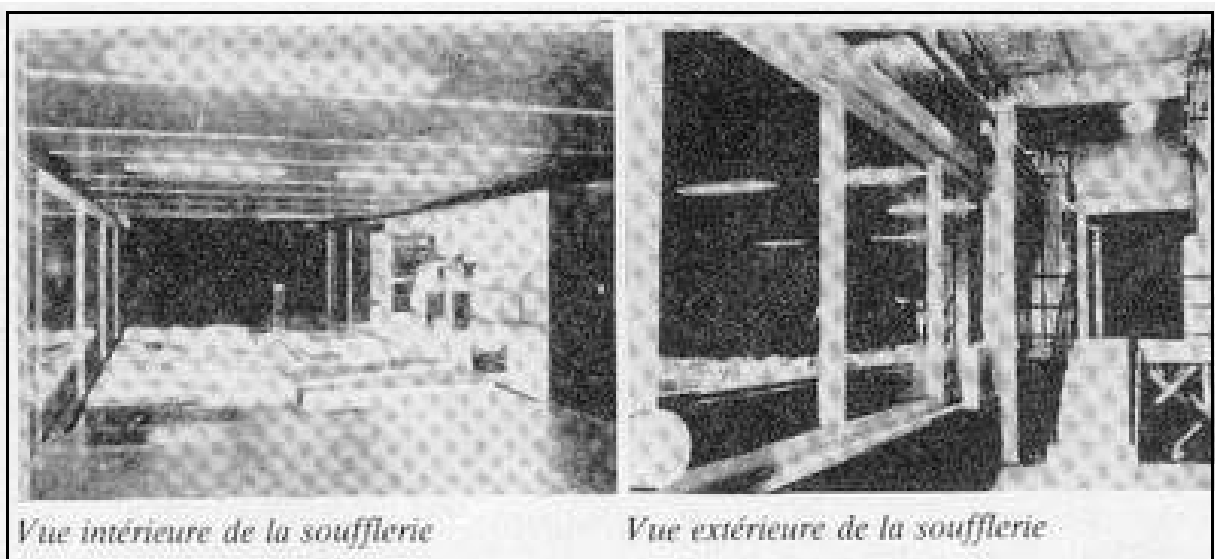
Si l'on se place dans le plan vertical de la section de rue, on remarque qu'il se développe un mouvement moyen de rotation (Vortex) (*Fig. 13*). La direction réelle du vent influe peu. (*Delaunay., 1986*)

*Fig. 13. Vortex moyen*

**b- Etude en soufflerie ou l'approche expérimentale en soufflerie atmosphérique :** (*Gandemer, Guyot, 1976*)

C'est la reproduction à l'échelle réduite les phénomènes vent dans les basses couches atmosphériques dans des souffleries «à couche limite » ou «atmosphérique ». L'approche sur maquette est bien évidemment particulièrement intéressante dans la mesure où les phénomènes peuvent être quantifiés dans leur contexte, tout en permettant un contrôle aisé et en restant dans des coûts d'étude relativement faibles.

Ces souffleries possèdent des veines d'expérience très longues qui, par le jeu des générateurs de tourbillons et de rugosités, modèlent le flux afin de lui donner la texture turbulente et de reproduire l'histoire du vent naturel. L'approche est empirique et repose sur des données en vraie grandeur obtenue de par le monde par les climatologues.



*Fig.14 ; La soufflerie au CSTB de Nantes\**

---

*(\*) Longue de 20 m et large de 4, elle présente une hauteur variable (de 2 à 3.5 m ) ajustable en ligne de courant. Son sol est lui-même à hauteur variable et permet d'étudier des maquettes topographiques. La vitesse maximale du vent produite supérieure à 30m/s*

### b-1- Les échelles des souffleries :

Cet outil de simulation particulièrement performant reproduit les différents types statistiques de vent (mer, campagne, banlieue et centre-villes) dans la gamme d'échelle allant du 1/1500 e (étude d'effets topographiques) (*Fig. 15*) au 1/100 e (réponse dynamique des structures, ventilation naturelle des cellules, etc.) se font en général sur des maquettes volumétriques à l'échelle du 1/200e. Cette échelle représente le meilleur compromis entre les conditions de similitude (nombre de Reynolds), la dimension et l'état de surface des maquettes (avec l'environnement à reproduire), et les technologies de mesures anémométriques (position des sondes, dimension de ses dernières, etc...) Ainsi, la variation de la vitesse moyenne avec la hauteur, l'agitation ou la turbulence associée, la dimension des tourbillons (échelle dynamique) et leur énergie seront reproduites à l'échelle du modèle.

Au-delà de ce vent statistiquement semblable au vent naturel, l'environnement proche sera reproduit correctement autour de la zone explorée ou bâtiment étudié. On a pu vérifier qu'il est nécessaire de reproduire de manière fidèle l'environnement immédiat sur un rayon de 300 mètres autour du secteur concerné. Il n'est donc pas rare d'avoir des maquettes à l'échelle du 1/200 e couvrant en soufflerie un cercle de 4 mètres de diamètre. Bien que sommaires et peu coûteuses. Elles peuvent par exemple être réalisées en polyuréthane et présenteront un caractère aussi évolutif que possible.

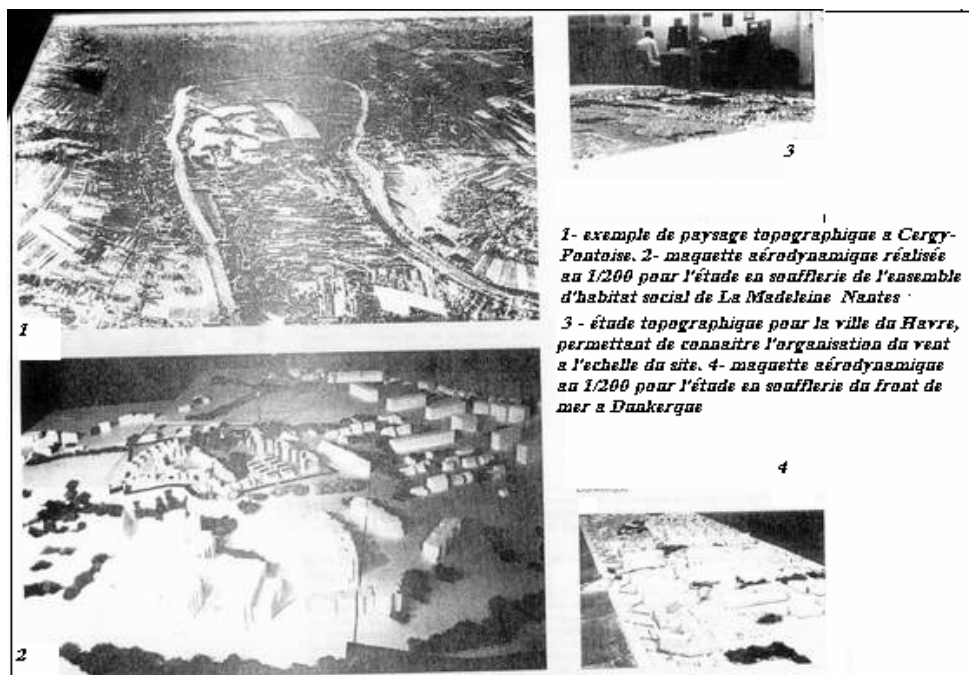


Fig 15 ; Maquettes à 1/1500 e pour Etudes des effets topographiques  
(.Gandemer, 1984)

**b-2- La procédure de la simulation en soufflerie :**

La direction moyenne du vent étant fixée par l'axe de la soufflerie, le modèle testé et son environnement tourneront sur eux-mêmes pour permettre la scrutation des différents secteurs de vent (relativité vent-environnement respecté).

Des technologies de mesures instantanées de vitesse (de pression ou de force si nécessaire) permettent de quantifier directement les écoulements et leurs caractéristiques.

Les résultats des mesures sont donnés de manière addimensionnelle, c'est à dire rapportés à la vitesse amont du vent soufflerie ou encore à sa pression dynamique. Par un jeu de coefficients de proportionnalité, les rapports addimensionnels obtenus en soufflerie pourront être transposés en valeur absolue de vitesse, de pression ou de force compte tenu d'une force de vent donnée. (*Gandemer, 1986*)

**b-3- Synthèse climatique : calcul des fréquences de gêne :**

Les données statistiques de la station météo voisine sont exprimées sous forme de vitesse  $\bar{U}_{10\text{météo}}$  en fonction de leur fréquence annuelle de non-dépassement  $F_i$

Le seuil du confort est que :  $\bar{U} + \sigma = 6 \text{ m/s}$  par suite :

$$\bar{U}_{10\text{météo}} = \frac{6}{\frac{z_r}{z_o} \alpha k \left( \frac{z_r}{z_o} \right) (1 + I_r) \psi}$$

Si, localement, au point « j » d'un plan masse le paramètre du confort vaut  $\psi_j$ , la fréquence locale de dépassement du seuil de confort (  $1-F_j$  ) sera obtenue graphiquement à partir des données statistiques pour :

$$\bar{U}_{j10\text{météo}} = \frac{6}{\frac{z_r}{z_o} \alpha k \left( \frac{z_r}{z_o} \right) (1 + I_r) \psi}$$

En conséquence, cette démarche permet de relier le paramètre adimensionnel du confort (pour chaque site) à la fréquence d'inconfort au point considéré. En outre cette fréquence d'inconfort peut être pondérée en fonction du temps (saison, etc.) des directions des vents dominants, de la rugosité autour du site. (*Gandemer, 1986*)

**b-4- Interprétation des résultats :**

Une fois connues les fréquences d'inconfort local en différents points du plan masse, il est possible d'isoler les zones critiques (fréquence de dépassement du seuil, trop importante en fonction de la destination du lieu), afin d'envisager la mise en place de dispositifs efficaces. La démarche est alors itérative : après une nouvelle série de mesures en soufflerie et un nouveau bilan, on complète l'aménagement et on procède à de nouvelles mesures et ainsi de suite, jusqu'à obtenir le résultat recherché.

**b-5- Les accidents aérodynamiques et leur traitement : une approche plus qualitative :**

Dans le but d'aider les urbanistes et les architectes au niveau de l'élaboration des plans masses, et pour leur permettre d'éviter les grosses erreurs aérodynamiques. La mise au point d'outils pédagogiques et qualitatifs tels que les visualisations par enduits ou par fumée, ou même par chronographie laser (qui autorise quelques interprétations quantitatives) peuvent apporter des informations intéressantes sur l'existence des accidents aérodynamiques (survitesses, circulation tourbillonnaire) cause de gêne a été systématiquement étudiée dans son contexte pratique.

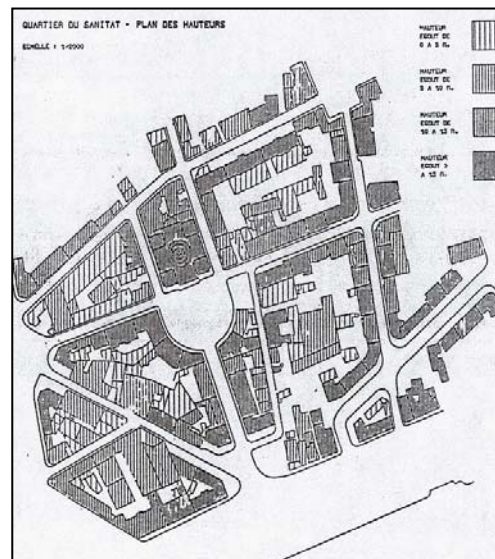


*Fig. 16 Visualisation par plan laser de la diffusion des effluents dans un quartier intégrant des immeubles de grande hauteur à Toulon*



### b-6- Exemple de programme sur la caractérisation des ambiances extérieures : le quartier du Sanitat a Nantes :

Le quartier du Sanitat à Nantes (*Fig. 17*) devra être aménagé avec implantation d'activités demandant un bon niveau de confort (zone piétonnière, aire de stationnement et de détente, etc.), une étude sur l'exposition climatique des espaces a été entreprise (C.S.T.B.- U.P.A.N)



*Fig 17; Quartier du Sanitat – Plan des hauteurs (échelle 1/2000)*

#### *Le diagnostic théorique :*

Les secteurs des vents dominants sont l'Ouest et le Sud-ouest, ainsi que le Nord-est. Le secteur Ouest et surtout le secteur Sud Ouest peuvent introduire l'existence d'accidents aérodynamiques

Le programme d'aménagement, s'il ne déborde pas trop le long des quais (pour lequel l'exposition au vent de Sud-ouest restera) devra verrouiller par du bâti ou des éléments brise-vent particuliers toute l'entrée de l'alvéole ou de la place évoquée (en continuité de la frange urbanisée le long de la voie).

- *La visualisation par enduit :*

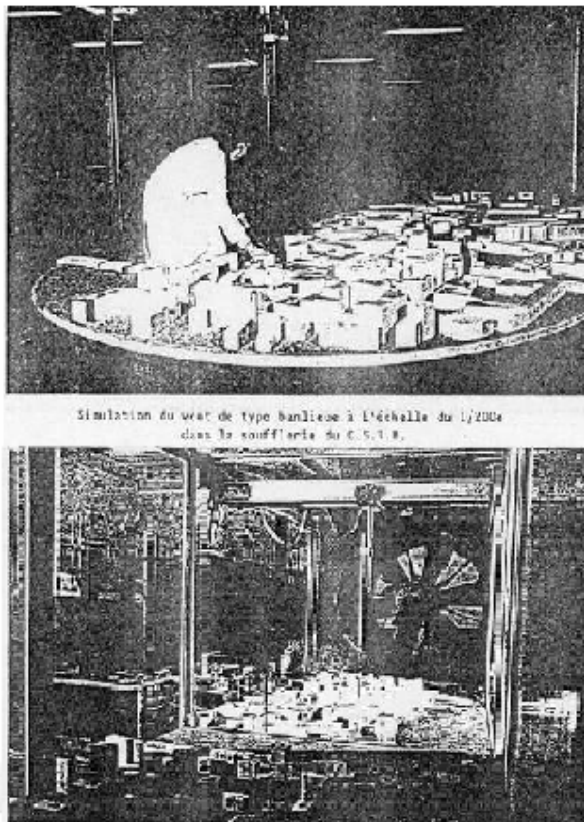
Réalisé sur maquette au 1/400e et avec une absence flagrante d'environnement amont, le Sud – Ouest ne laisse pas apparaître dans la place considérée d'évènements aérodynamiques particuliers.

La méthode confirme par contre un fort balayage des zones entre la Loire et la frange urbanisée. (*Fig. 18*) (*Gandemer, 1986*)



*Fig.18; Visualisation par enduit*

*\*L'approche en soufflerie atmosphérique au 1/200e et en soufflerie à couche limite au 1/400e (Fig 19)*



*Fig 19- Simulation du vent de type banlieue à l'échelle du 1/200e dans la soufflerie du C.S.T.B - La maquette au 1/400e dans la soufflerie de l'unité pédagogique d'architecture de Nantes(Gandemer, 1986)*

\*Résultats et Fréquences de dépassement du seuil de 3 m/s obtenues lors de l'étude au 1/200ème :

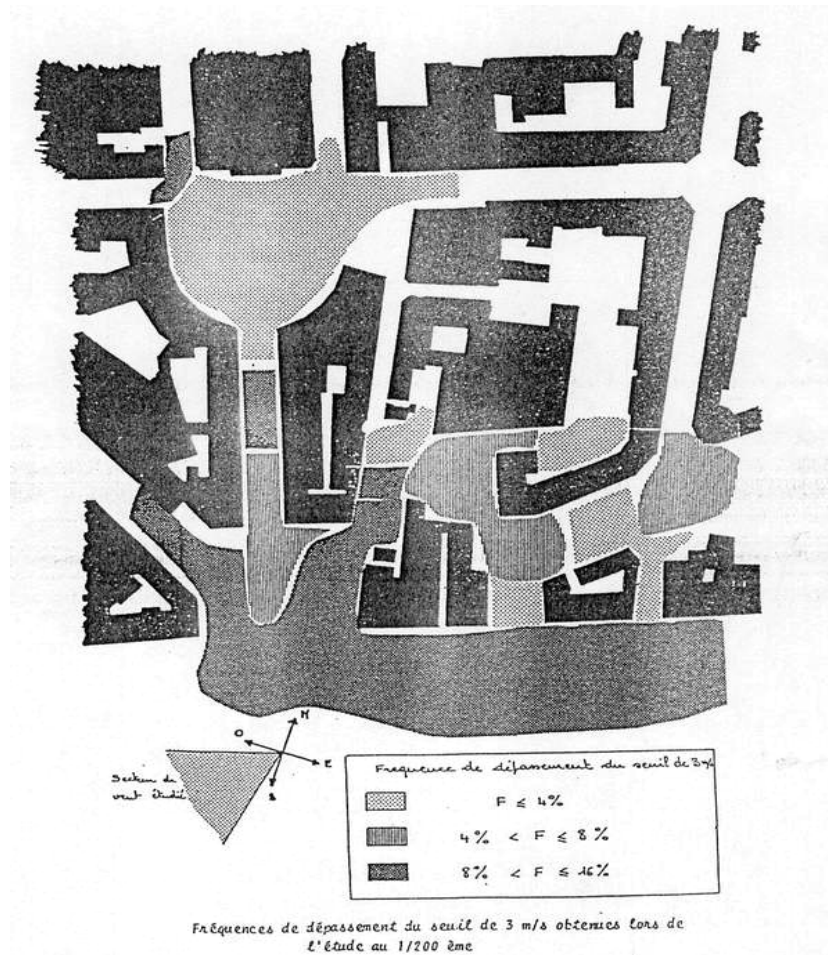


Fig 20, Fréquences de dépassement du seuil de 3 m/s(Gandemer, 1986)

### 3- La simulation numérique :

Des codes de calcul en dynamique des fluides ont été développés pour des applications industrielles et permettent d'envisager désormais des simulations numériques du vent pour des ensembles complexes. Cette alternative de déterminer la distribution du flux d'air aux alentours d'un bâtiment par la simulation numérique repose sur deux méthodes numériques utilisées ;

La première est la méthode zonale, qui calcule l'écoulement de l'air entre zones par l'équation de Bernoulli. La prédiction du flux d'air interzonale relié à la distribution de la pression extérieure causé par le vent ou l'effet de la flottabilité, cependant la détermination de la pression de l'écoulement dépend du vent incident (vitesse, direction), la taille et la forme du bâtiment, la taille et la localisation de l'intérieur et extérieur du bâtiment. La méthode zonale n'est pas précise et incapable de déterminer le confort thermique aux alentours des bâtiments. (*Vickery, Karakatsanis, 1987*).

L'autre méthode numérique calcule la distribution du flux de l'air à l'intérieur et aux alentours des bâtiments par la technique du CFD qui résout en une durée de temps moyen une partie des équations différentiels pour la conservation de la masse, le moment (équation de Navier- Stokes), l'énergie et les applications spécifiques de l'air, la température et concentration de la vapeur d'eau (humidité relative) et les polluants. La méthode qui comprend quelques incertitudes qui exige une durée considérable de calcul, a réussi de prévoir les écoulements de l'air aux alentours des bâtiments (*Chen, 1997 - Murakami, 1998*).

Avec le développement rapide de la capacité et vitesse de l'ordinateur, La technique CFD semble être une bonne approche, utilisé dans la nouvelle conception

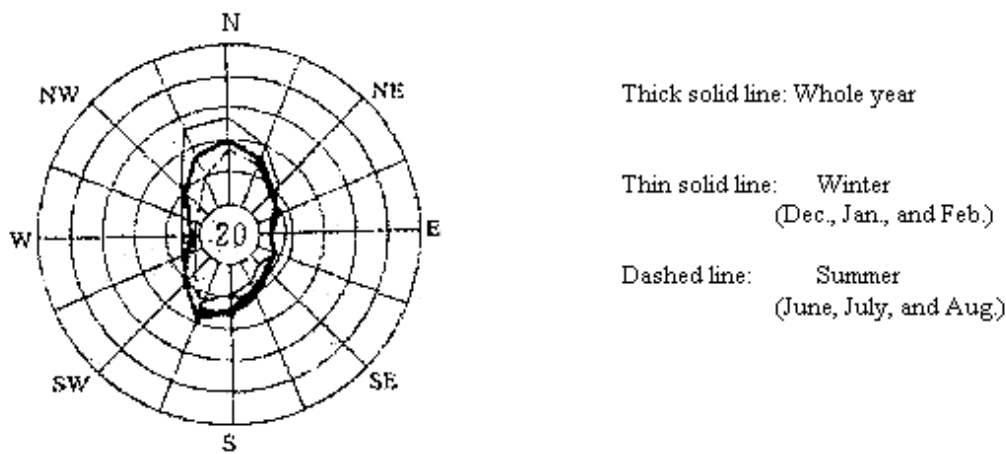
#### a- La technique du CFD (Computational fluid dynamics) :

- **Exemple d'utilisation de la technique de CFD par la recherche d'un confort extérieur et la planification d'un site à Vanke Doushi garden par un groupe d'architectes et ingénieurs**  
( *Y.Jiang, H.Xing, C.Straub, Q.Chen, A.M.Scott, L.R.Glicksman et L.K.Norford.* ) :

Le but de l'étude réalisée par ces architectes et ingénieurs est de concevoir un environnement extérieur confortable aux alentours des gratte-ciel où le flux d'air peut être accéléré. Cette étude emploie le jardin de Vanke Doushi dans Beijing (*Fig. 22*) comme exemple.

Pour cela, le groupe doit savoir les distributions extérieures de flux d'air. Puisque c'est principalement l'effet de refroidissement du vent en hiver qui pose le problème extérieur de malaise, la conception actuelle a étudié la distribution de flux d'air un jour d'hiver.

La rose des vents de Beijing (*Fig. 21*) montre que, le vent en hiver, souffle du nord ( $5^\circ$  incliné à l'ouest). En une année typique, il y a 9 jours où la vitesse de vent dépasse 7,6 m/s dans Beijing et des jours de vent violent se produisent généralement en hiver. La recherche actuelle a étudié un scénario avec un vent du Nord de 7,6 m/s pour la considération extérieure de confort thermique. (*Ashare, 1997*)



*Fig. 21 : La rose des vents de Beijing*

La figure 22 (a) montre la conception préliminaire d'emplacement (Arrangement I) fait par un cabinet d'architectes. La conception a employé 16 gratte-ciels s'étendant de 33 à 90 m de haut. Cette étude d'exemple présente la distribution de vitesse de vent à la hauteur de 1,5 m au-dessus de la terre pour évaluer le confort des piétons (*Fig. 23*). La vitesse de vent à la section 1-1 est autour 8 ~ 9m/s (catégorie 5), très élevé pour être accepté même pour un simple stationnement en hiver. La raison est que le vent peut passer librement par l'arrangement linéaire des bâtiments.

En outre, le calcul de CFD prouve qu'en hauteur de 30 m, la vitesse de vent parmi la plupart des bâtiments est 9~10 m/s, et à la hauteur de 70 m, la vitesse de vent est au-dessus de 12 m/s (catégorie 6). La vitesse du vent fort mène à une grande et excessive infiltration pendant l'hiver et la difficulté d'employer le vent pour une naturelle ventilation en été. Par conséquent, le chantier devrait être remodelé, et la hauteur des bâtiments devrait être réduite.



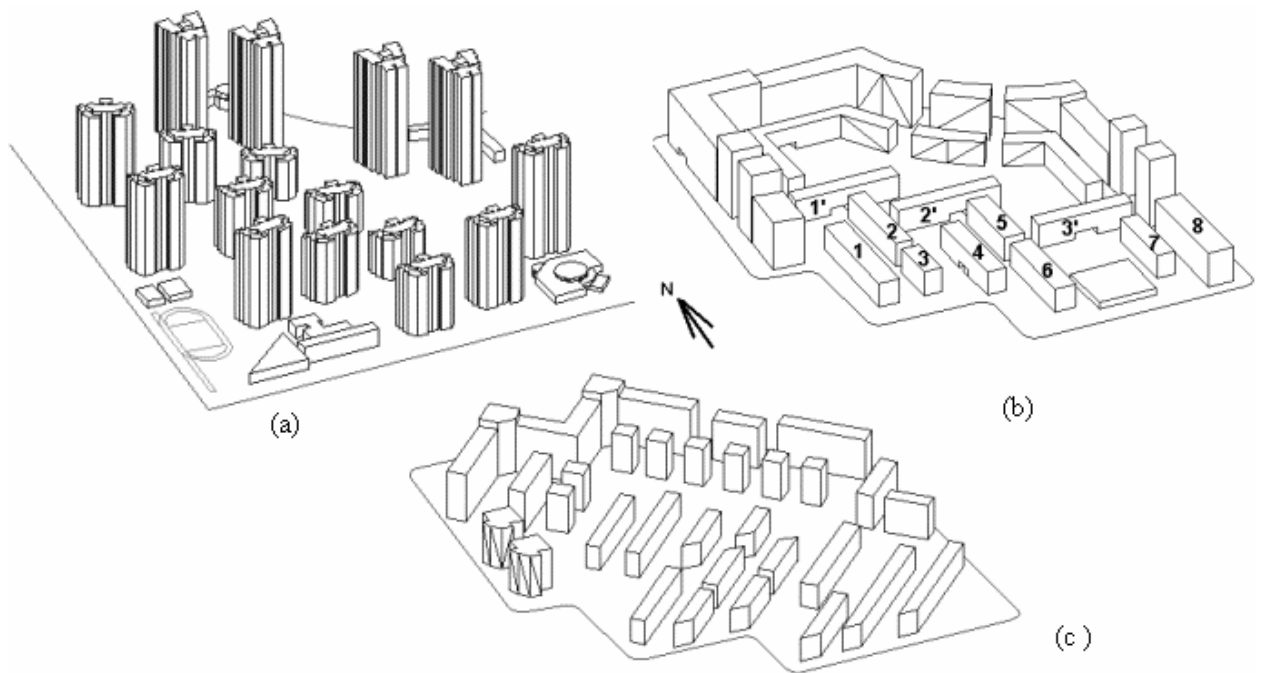


Fig. 22 ; Les trois conceptions pour le jardin de Vanke Doushi:  
(Un) Conception originale par un cabinet d'architectes (arrangement I),  
(Deux) notre première conception (arrangement II),  
(c) notre deuxième conception (arrangement III).

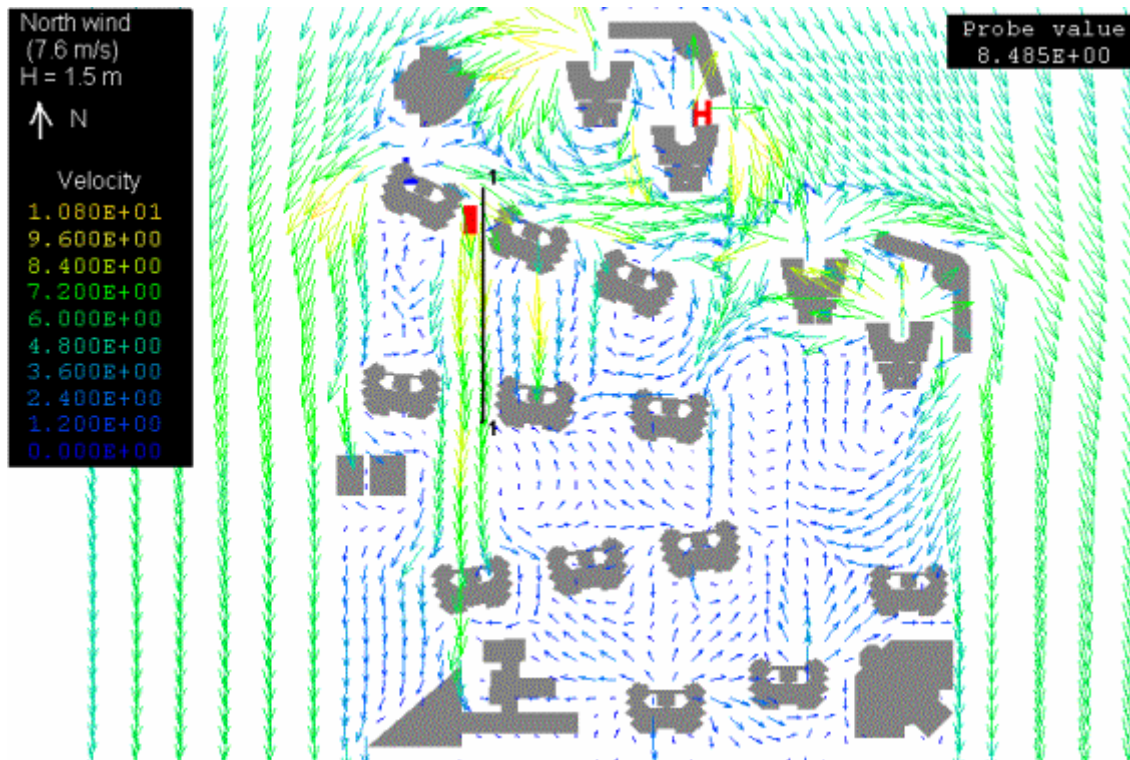


Fig. 23 La distribution de la vitesse du vent à une hauteur de 1,5 m au-dessus de la terre autour des bâtiments pour l'arrangement I avec un vent du nord

Puisque le calcul de CFD prouve que la hauteur des bâtiments dans la conception I pose un problème sérieux de malaise, les architectes ont conçu l'arrangement II et l'arrangement III. Les deux ont les dispositifs suivants : hauteur de bâtiment inférieure (la hauteur de bâtiment s'étend de 20 à 60 m dans l'arrangement II, et de 20 m à 50 m dans l'arrangement III) pour réduire l'infiltration d'hiver et pour présenter un niveau de ventilation normale d'été, sans compromettre la protection de la population contre le vent du nord en hiver, en employant des bâtiments relativement hauts sur nord

La figure 24 prouve que le problème de malaise est considérablement réduit dans l'arrangement II, mais il reste quelques problèmes.

Par exemple, en entrées A, B, et C, la vitesse de vent est très haute en raison de l'arrangement linéaire. Décaler les entrées peut facilement résoudre ce problème. D'ailleurs, un certain nombre d'issues doivent être soigneusement examinés. Par exemple, la ventilation naturelle d'été peut ne pas être efficace dans l'arrangement II.

Comme représenté sur La figure 22 (b), plus que la moitié des bâtiments ont des longues façades orientés Est ou Ouest, tel que les bâtiments 1-8. Puisque le vent dominant en été est du sud dans cet emplacement, les bâtiments avec les longues façades Est ou Ouest peuvent ne pas pouvoir tirer profit de la ventilation naturelle, telle que la ventilation en travers.

Par exemple, pour les bâtiments avec les longues façades Nord ou Sud (bâtiments 1'-3 '), le vent du sud peut passer par les ouvertures de bâtiment et la ventilation en travers fonctionne. En outre, l'orientation n'est pas bonne pour la conception passive de réchauffement et il est difficile de protéger le bâtiment du rayonnement solaire intense l'été.

Avec les résultats pour l'arrangement II, les architectes dans cette équipe ont conçu l'arrangement III. Les gratte -ciel sont maintenant inclinés à 45°, de ce fait ayant la longue façade au côté Sud-est et Nord-ouest. Dans l'arrangement III, le confort thermique extérieur et la ventilation naturelle sont considérés. En étudiant le confort thermique extérieur, le vent entrant a été placé pour être 7,6 m/s du nord.

La figure 25 montre la distribution de vent pour l'arrangement III pour l'évaluation du confort des piétons. Les gratte-ciel du côté du Nord peuvent bloquer le vent fort du Nord. En conséquence, la vitesse du vent sur le site est petite. Bien qu'aux endroits A et B, les vitesses de vent soient relativement hautes (environ 7~10 m/s). L'impact sur le confort des piétons est petit, puisqu'elles sont les entrées pour des véhicules.

Pour une conception naturelle de ventilation, il est difficile de travailler avec le vent du Nord puisque les gratte-ciel faisant obstacle.

Il est plus important de se protéger du vent froid d'hiver dans Beijing que pour user de la ventilation naturelle en été. Cependant, elle est faisable. La vitesse de vent moyenne en été du sud est 1,9 m/s. Avec une telle vitesse de vent, la figure prouve que la vitesse de l'écoulement de l'air autour de la plupart des bâtiments à 1,5 m au-dessus de la terre dépasse 1,0 m/s. La vitesse de vent est suffisamment élevée pour la ventilation naturelle. Un arrangement incliné de construction aide à introduire plus de vent dans le site. En outre, l'arrangement décalé empêche les bâtiments en front de bloquer les vents. Par conséquent, l'arrangement III fournit le bon confort thermique et potentiel extérieurs pour l'utilisation de la ventilation naturelle. Noter que l'arrangement III n'est pas notre conception finale. L'équipe de conception étudie d'autres questions importantes, telles que la disponibilité du soleil, éclairage naturel, et l'énergie dans les bâtiments,

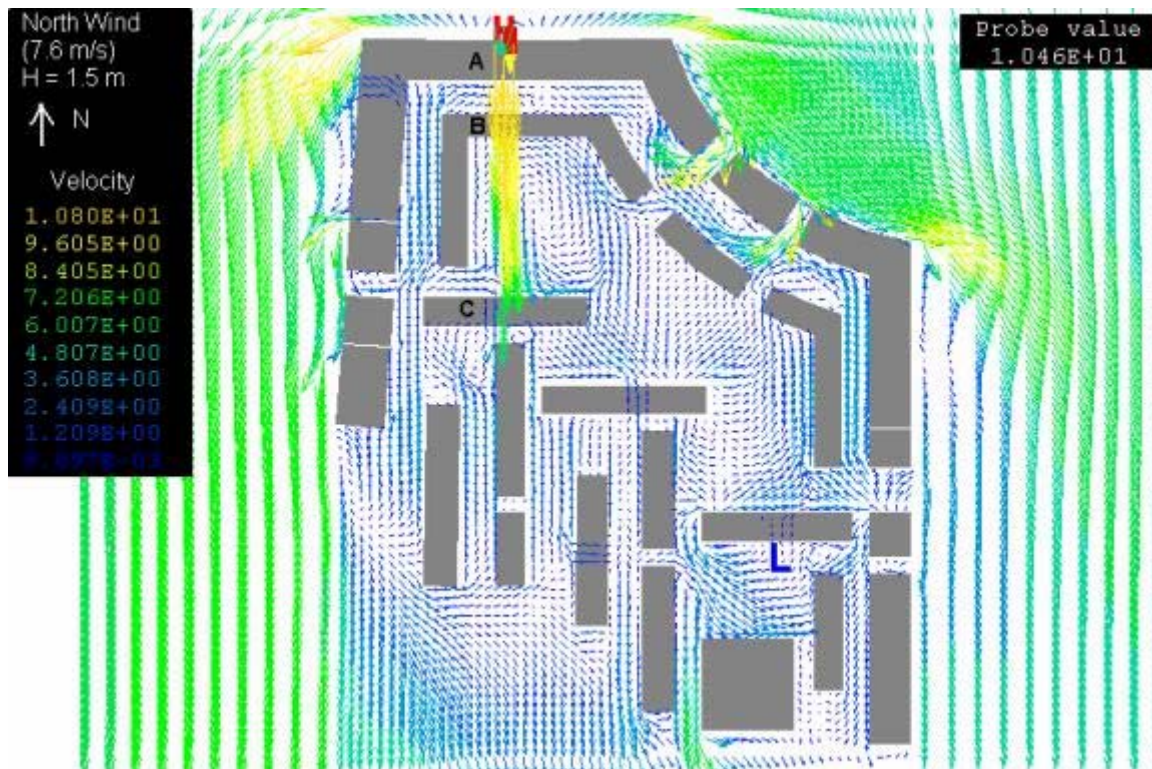


Fig. 24. La distribution de vitesse du vent à une hauteur de 1,5 m au-dessus du sol autour des bâtiments pour l'arrangement II avec un vent du nord.



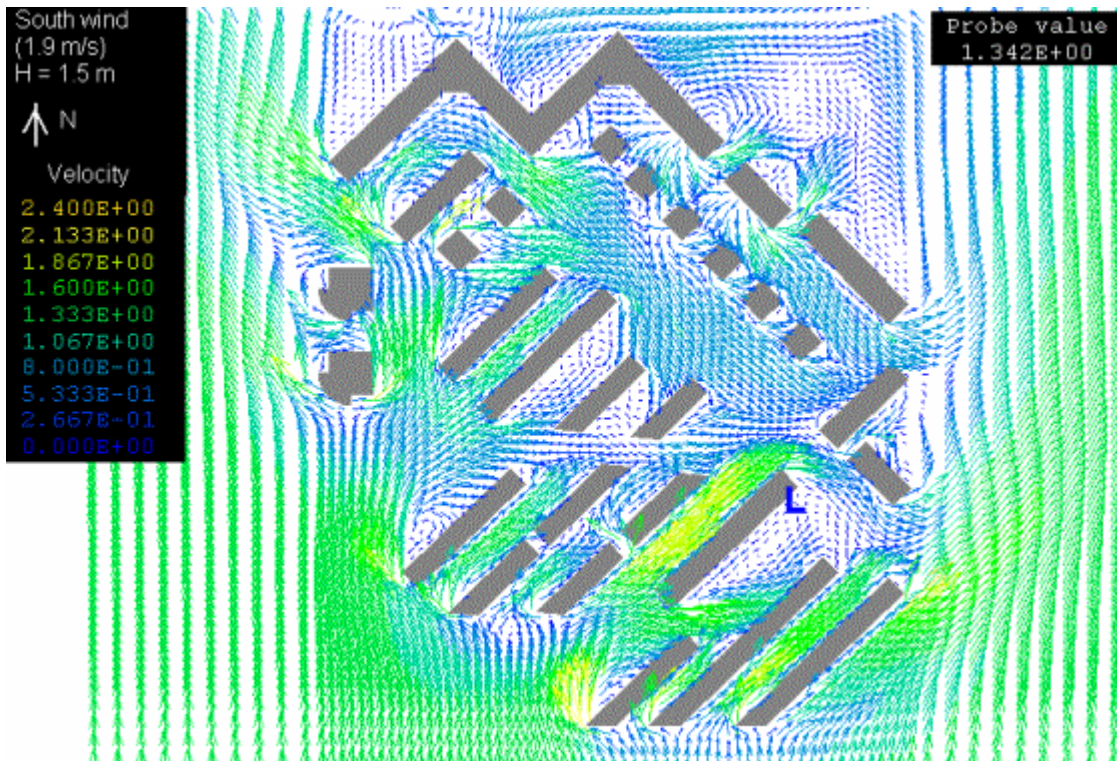


Fig. 25 La distribution de vitesse du vent à une hauteur de 1,5 m au-dessus du sol autour des bâtiments pour l'arrangement III avec un vent du nord (7,6 m/s).

Cette étude montre comment les ingénieurs utilisent la technique du computational fluid dynamics (CFD) ce logiciel de la dynamique de l'écoulement de l'air pour aider les architectes à concevoir la ventilation naturelle dans les bâtiments et le confort autour des bâtiments.

Les résultats ont été employés par les architectes pour modifier leurs conceptions. Plusieurs réitérations peuvent être nécessaires pour concevoir un bâtiment avec un confort adéquat de l'environnement intérieur et extérieur. Ce procédé de conception, qui a été entrepris par une équipe d'architectes et d'ingénieurs au MIT, prouve que la technique de CFD est un outil très utile pour la conception de bâtiment.

Bien que la technique de CFD offre de grandes possibilités intéressantes pour la conception de bâtiment, elle prend plutôt du temps. Les architectes et les ingénieurs devraient discuter des conceptions initiales basées sur leur expérience et connaissance. Cette discussion réduira la réitération de manière significative et peut accélérer le processus de conception.

La technique de CFD devrait être employée pour évaluer seulement très peu de solutions de changement final de conception parce que le logiciel commercial généralement utilisé de CFD a besoin toujours d'un long temps pour les calculs afin de réaliser une exactitude acceptable, et l'interface du logiciel n'est pas très facile à utiliser.

## b-Les logiciels de simulation des écoulements d'air dans des géométries complexes N3S du CERMA

N3S simule les écoulements d'air et les champs de pression autour et dans les constructions. C'est un logiciel de mécanique des fluides basé sur la méthode des éléments finis. On peut y coupler éventuellement la turbulence du vent et une équation thermique. Ce code de calcul permet de traiter des géométries complexes telles que celles des bâtiments et des îlots urbains.

L'écoulement du vent est supposé être tridimensionnel, incompressible, turbulent et permanent et donc gouverné par les équations de Navier-Stokes et de continuité. Le modèle de turbulence K-e à deux équations est utilisé pour calculer les tenseurs de Reynolds. Le code de calcul N3S résout cet ensemble d'équations en utilisant une méthode de discrétisation aux éléments finis pour prendre en compte des géométries complexes. (\*)

Trois étapes sont nécessaires pour réaliser une simulation : une phase de pré-traitement pour construire, à l'aide du maillage SIMALL de la société Simulog, le maillage volumique en tétraèdres de l'espace et définir le domaine de calcul ; la phase de résolution des équations avec les conditions de vent imposées (profil du vent) en utilisant N3S et le post- traitement, à l'aide de GRAFN3S, pour analyser les flux d'air et le champ des vitesses. (Fig. 26)

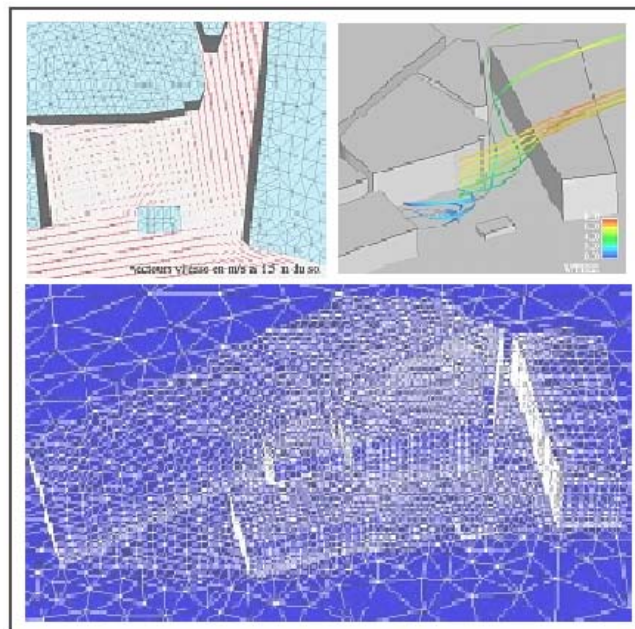


Figure 26 ; La simulation par le N3S

(\*) Page web : 217clogiciels.htm

Cet outil de simulation demeure encore difficile à utiliser de façon courante et nécessite une configuration informatique performante pour traiter les mouvements d'air dans des ensembles urbains complexes. Néanmoins, il constitue une avancée significative dans le champ des techniques de simulation micro-climatiques et ouvre d'intéressantes perspectives de développement

▪ **Exemple de simulation du vent d'une place urbaine avant et après insertion d'un bâtiment en utilisant le code de calcul N3S :**

*(Groleau, Marenne, Gadihe, 1993)*

L'étude d'impact micro-climatique d'un immeuble de bureaux et d'accueil du public a été réalisée dans le laboratoire CERMA, à Nantes en France. Le projet doit être implanté sur une place située dans le centre historique de la ville. La place, principalement piétonne, est de forme rectangulaire avec axe principal dévié de 30° vers l'est par rapport à la direction sud.

Les architectes firent des propositions pour satisfaire les spécifications techniques du programme et respecter les contraintes architecturales et urbaines tout en ayant soins de ne modifier sensiblement les activités et les usages de la place actuelle.

Les outils de simulation ont permis une meilleure approche des conditions micro-climatiques actuelles dans les espaces extérieurs de la place. Ils ont également facilité l'évaluation comparée des effets vent et soleil produits par les différentes propositions de projets.

Les écoulements du vent directement liés aux configurations urbaines ont été simulés au moyen du code N3S. Pour calculer dans un temps raisonnable les flux d'air en trois dimensions, on a simplifié dans une certaine mesure la géométrie des bâtiments ; les volumes ont été modélisés sous forme prismatique et avec une même hauteur de 18 m.

La simulation du vent a été réalisée pour une incidence sud-ouest correspondant aux vents les plus fréquents dans cette région côtière.

Le profil vertical de vent appliqué correspond à un vent de banlieue satisfaisant la relation :  $U = (Z / 30)^{0,23}$

Le maillage tridimensionnel a été généré autour des bâtiments de la place et étendu à une boîte parallélépipédique représentant le domaine de calcul suffisamment large pour éviter des interactions entre les zones de recirculation et les frontières du domaine

Le domaine retenu a une longueur de 550 mètres (dans le sens du vent), une largeur de 400 mètres et une hauteur de 80 mètres. La totalité du maillage comprend plus de 11000 tétraèdres, soit environ 2000 nœuds de vitesse

Le temps de calcul requis pour atteindre une solution convergée, pour une simulation, a été de moins d'une heure CPU sur CRAY-YMP.

Le post-traitement des données brutes évaluées sur chaque nœud du maillage permet de visualiser l'écoulement du vent (vecteur vitesse) sur un plan horizontal au niveau du piéton

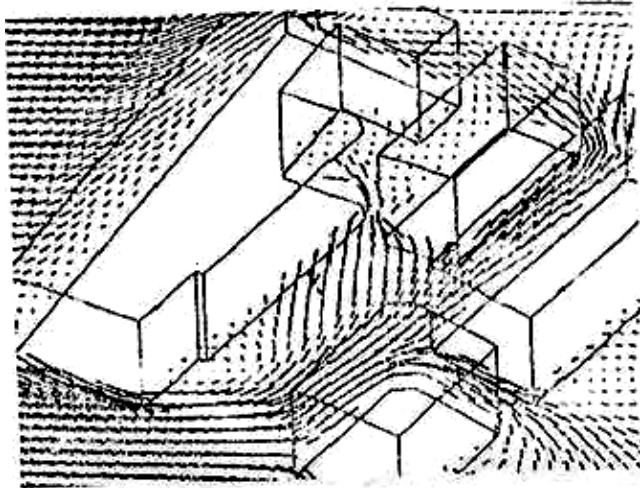


Figure : Champ des vecteurs vitesse

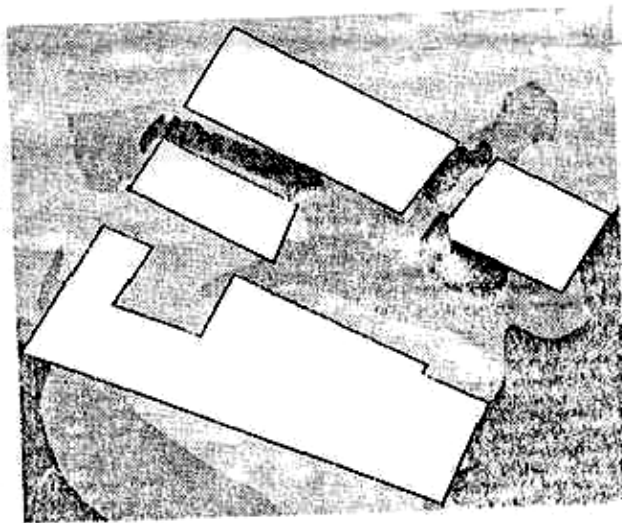


Figure : Exposition au vent sur la place

### **Fig.27**

On peut ainsi remarquer que le vent pénètre tangentiellement dans la place, puis est dévié dans la partie est quand les flux d'air rencontrent le bâtiment situé au sud-est en séparant en deux l'écoulement. Le vent sort canalisé par la rue latérale et la rue Nord-Est. Une zone de recirculation se développe dans la partie sud-ouest de la place. (Fig.27).

Une simple classification des zones suivant les vitesses d'air fait apparaître quatre types de zones (Fig. 28, du sombre au clair)

- Une zone de petite dimension “ fortement exposée” avec une vitesse de vent qui peut atteindre jusqu’à deux fois la vitesse imposée en entrée (en site dégagé). Elle correspond à un phénomène local situé au coin du bâtiment près de l’entrée de la rue latérale Est.
- Deux zones “ exposées” avec une vitesse d’air identique ou supérieure à celle imposée; l’une se développe autour de l’espace “ fortement exposé” précédent, l’autre occupe l’entrée sud de la place
- Une zone « protégée » avec une vitesse d’air réduite dans la partie nord-est de la place
- Et une zone « bien protégée » avec de basses vitesses dans la partie ouest et centrale de la place

L’orientation de la place par rapport à la direction sud-ouest du vent offre une bonne protection générale de la place. Différentes coupes transversales sur la place

Une seconde simulation aérodynamique a été réalisée pour la proposition qui établit le bâtiment projeté. Quelle est l’incidence de ce bâtiment sur les écoulements de l’air et sur le champ de vitesse dans la place ? La fermeture de la place au sud produit un écran efficace contre la pénétration de l’air. Néanmoins, les ouvertures latérales de part et d’autre du bâtiment et principalement à l’Est entraînent une relative accélération du vent. On observe le même phénomène dans le passage piéton ménagé sous le bâtiment qui établit une mise en communication de deux zones à pression différente.

A l’arrière du bâtiment, sur cette nouvelle place, le projet n’apporte pas de modification sensible des conditions de vent ; il accentue cependant l’effet global de protection. En appliquant la même classification simplifiée utilisée précédemment, il est facile d’apprécier les effets du vent sur la place après l’adjonction du bâtiment

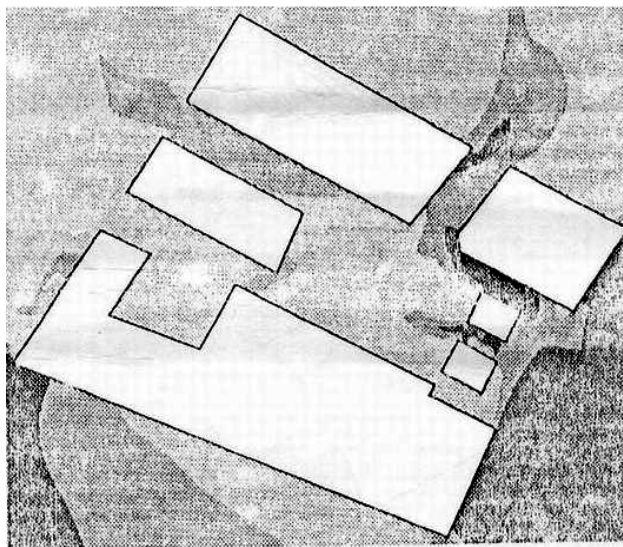


Fig. 28 : Incidence du projet sur les conditions de vent



**VI- Conclusion :**

L'intégration du facteur vent dans la conception urbaine et architecturale depuis longtemps a donné des types de tracés de voiries, des formes de constructions, des détails d'architecture et des tissus anciens spécifiques pour chaque région notamment à Biskra. Nous avons exposé dans ce chapitre les différentes méthodes d'une étude aérodynamique dans un milieu urbain de la méthode de mesure en situ à la simulation analogique puis numérique. On a définie et montré les avantages et inconvénients de chacun d'eux à travers des exemples d'illustration d'une rue, un quartier, une place urbaine ou un ensemble de bâtiments élevés. Ces méthodes restent jusqu'à maintenant inutilisables et inconnues pour les architectes et urbanistes.

Ce chapitre a orienté le choix de la méthode de vérification de l'hypothèse à l'utilisation de la simulation analogique pour des raisons que nous allons les développer ultérieurement.