

CHAPITRE IV : LE VENT EN MILIEU URBAIN

I- Introduction :

Ce chapitre traite les paramètres qui définissent le vent en milieu urbain qui sont différentes de celle du vent régional, ainsi que les facteurs influant sur l'écoulement du vent, le comportement de l'air aux alentours des bâtiments puis la présentation des effets types et accidents aérodynamiques produits lors d'une implantation d'un bâtiment isolé ou d'un groupe de bâtiments avec des recommandations pour chaque effet type

II- Paramètres définissant le vent :

Le vent est le mouvement horizontal de l'air qui tend à équilibrer les zones de pressions différentes dans l'atmosphère

Dans les basses couches (de 0 à 500 mètres), la rugosité du sol (végétation, construction), induit des forces de frottement, qui réduisent la vitesse moyenne du vent et créent une agitation importante dite « turbulence »

Le phénomène vent est présenté par :

- Une vitesse instantanée très variable.
- Une vitesse moyenne, qui se définit selon : l'altitude et la rugosité du terrain, la taille et nature des aspérités du terrain).
- Les turbulences : variations de vitesses
- La fréquence du vent

1- La vitesse :

a- La vitesse instantanée :

Ainsi en un point donné, la vitesse du vent va fluctuer en grandeur et direction

la vitesse instantanée du vent en un point peut s'exprimer sous forme de la somme de deux termes :

$$U_z(t) = \bar{U}_z + U'_z(t) \dots \dots \dots (1)$$

Donc la vitesse instantanée de l'air peut être interprétée comme la somme d'une vitesse moyenne, sur une période généralement comprise entre 10 et 30mn, et d'une fluctuation de vitesse par rapport à cette moyenne.

b- La vitesse moyenne :

La vitesse moyenne U sur la durée T à la hauteur Z au dessus du sol et $U'z(t)$ la fluctuation correspondante variable avec le temps t .

Dans le cas de relief non montagneux, la vitesse moyenne est faible au niveau du sol et de ses aspérités (végétations, constructions, etc...) et croit avec la hauteur jusqu'à une cote Z_G (dite épaisseur de la couche limite atmosphérique) ou elle devient constante est égale à U_G (vitesse du gradient) indépendante du site rencontré par le vent.

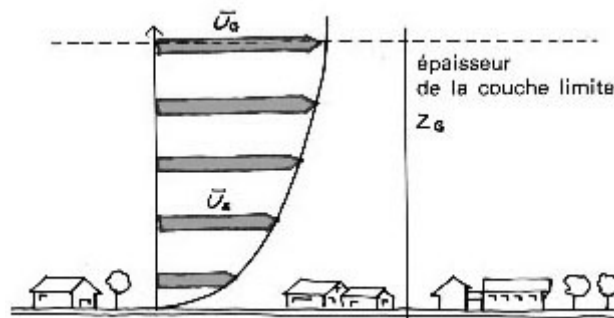


Fig. 1 : Epaisseur de la couche limite

c- Profil des vitesses :

La turbulence mécanique et l'effet du ralentissement par friction décroissent graduellement avec la hauteur et au niveau du "gradient"(environ 500 m) l'effet de friction est négligeable.

La forme du profil vertical des vitesses des vents violents dépend principalement du degré de la rugosité de la surface, c'est-à-dire de l'effet total de ralentissement des bâtiments, des arbres et autres obstacles qui s'opposent à l'écoulement du vent à la surface.

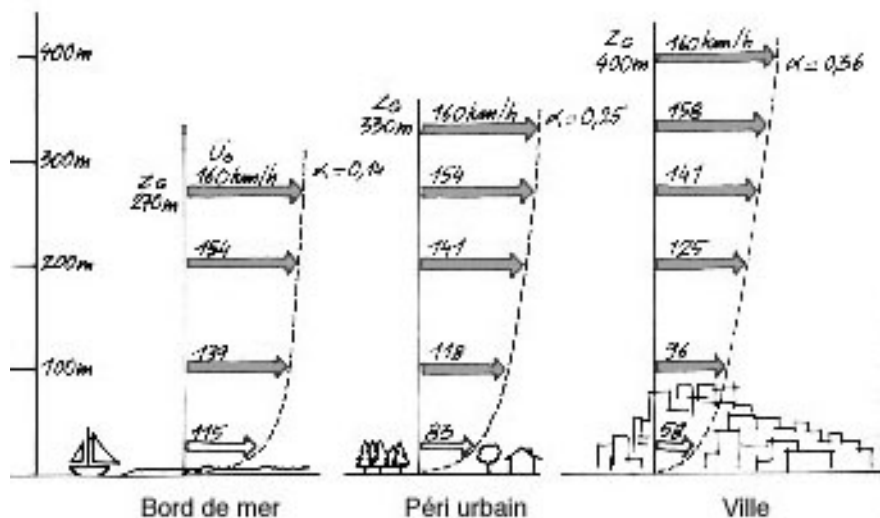


Fig. 2 : Les profils du vent pour trois types de sites.

Trois profils typiques de vitesse du vent sont indiqués à la figure 2 où l'effet de la rugosité variable de la surface sur les vitesses de vent moyennes est indiqué pour un vent de gradient dont la vitesse est arbitrairement fixée à 160 Km/h.

Les profils de vitesse ont été déterminés en établissant des courbes correspondant aux vitesses de vent observées à plusieurs niveaux. Il suffit de décrire ces profils par une loi de puissance de la forme (2).

$$\bar{U}_Z = \bar{U}_G \left(\frac{Z}{Z_G} \right)^\alpha \dots\dots\dots(2)$$

où \bar{U}_Z , est la vitesse du vent moyen à une hauteur Z au dessus du sol,
 \bar{U}_G la vitesse moyenne à la hauteur de référence Z_G au-dessus du sol,
 α l'exposant de la meilleure courbe.

Les paramètres Z_G et α dépendent essentiellement du type de rugosité rencontrée par le vent (*Annexe II- Tableau II-4*).

Le vent est normalement mesuré sur des sites dégagés à une hauteur de $h_0 = 10$ m. Une hauteur de référence de 10 mètres est recommandée dans tous les pays du monde comme étalon et les anémomètres sont généralement installés à cette hauteur.

Les exposants pour les vitesses moyennes du vent varient d'environ 1/7 pour les régions dégagées et plates, à environ 1/2 pour les centres des grandes villes.

On a juste besoin de savoir la vitesse moyenne du vent qui sera rapporté à la hauteur (h) et la rugosité du terrain (α) (*Annexe II- Tableau II-5*)

La vitesse moyenne de l'écoulement de l'air est d'autant plus faible au niveau du sol que le paramètre de la rugosité Z_0 est important ; (*Annexe II – Tableau II-6*) et (*Annexe II –Figure II- 4*)

$0.01 \leq Z_0 \leq 0.10$ aéroport ou rase de campagne (d'après le C.S.T.B)

$0.10 \leq Z_0 \leq 0.50$ bocage ou banlieue

$0.50 \leq Z_0 \leq 1.50$ zones urbaines

$1.50 \leq Z_0 \leq 2.50$ très grandes villes

Pour un vent du gradient (qui reste indépendant de la surface du sol) de 160 Km/h, la vitesse au niveau du sol est de ;

115 Km/h pour une rugosité de 0.14

83 Km/h pour une rugosité de 0.25

58 Km/h pour une rugosité de 0.36

2-Turbulence des vents de surface :

On peut voir clairement à la figure 3 la nature instable des vitesses de vent mesurées par un anémomètre. Les rafales résultent fréquemment de l'introduction dans des couches où l'air se déplace assez lentement, de particules d'air plus rapides provenant des hautes altitudes. Cette turbulence est due à la rugosité des surfaces et à l'instabilité thermique.

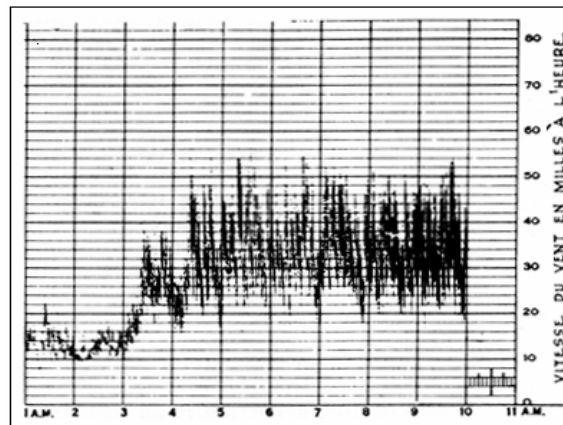


Fig. 3. Enregistrement typique effectué avec un anémomètre à tube pressurisé.
(Photographie : Service de météorologie, Ministère des Transports, Canada.)

La stabilité thermique de l'air a un effet considérable sur l'intensité de la turbulence. ***L'air des surfaces froides tend à supprimer la turbulence mécanique ; l'air des surfaces chauffées tend à s'élever et à augmenter la turbulence.*** Quand le vent est violent, l'air près de la surface est très brassé et la stabilité thermique devient neutre. Dans ces conditions les différences de températures sont telles qu'elles n'arrêtent pas mais n'augmentent pas non plus la turbulence mécanique provoquée par la rugosité de la surface. (Dalglish, Boyd, 1964)

La turbulence est quantifiée par l'écart type des variations des vitesse instantanée $\sigma = \sqrt{\bar{U}'z^2}$. Elle est fonction de la rugosité et croit avec celle-ci. Aussi, la turbulence croit avec la hauteur.

A titre indicatif, $\sigma = 20 \% V_m$ (vitesse moyenne) au niveau du sol.

Pour pouvoir caractériser complètement le vent et son comportement turbulent, il faut introduire la notion d'échelle spatiale du vent ou échelle de turbulence. En effet les bouffées de vent ou les rafales ont des dimensions longitudinales, verticales et transversales, fonction de la hauteur et de la rugosité du sol. Ces dimensions fixent l'échelle «dynamique du vent »

Donc, il faut construire dans des zones rugueuses des bâtiments de faible hauteur.

3-Fréquence du vent :

Les caractéristiques du vent doivent être exprimées en termes de statistiques. En général on ne connaît pas la fréquence de différentes vitesses des vents de gradient, mais il est toutefois possible d'élaborer des graphiques correspondants à partir de la vitesse et de la direction des vents mesurés à une hauteur de 10 m aux stations météorologiques du service de l'environnement atmosphérique.

La figure 4 est une représentation statistique de la vitesse moyenne du vent au niveau du vent de gradient pour la ville de Toronto au printemps, saison où il vente le plus. Les différentes courbes indiquent la durée relative durant laquelle la vitesse des vents a dépassé certaines valeurs (*Schriever, 1976*)

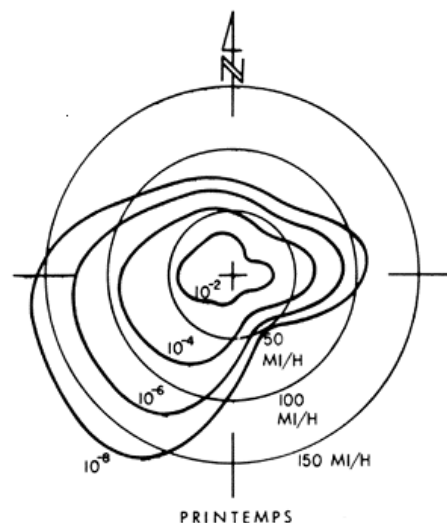


Fig. 4. Exemple de la répartition probable de la vitesse horaire moyenne du vent (gradient), au cours d'une saison, Toronto. (Source, Davenport.)

Les résultats obtenus en fonction de chaque position de mesure sont résumés à la figure 5 qui illustre d'une part, le rapport de la vitesse du vent au sol par rapport à celui du niveau du vent de gradient au-dessus de la ville, et, d'autre part, la très grande importance de la direction du vent pour les vents de surface. (Schriever, 1976)

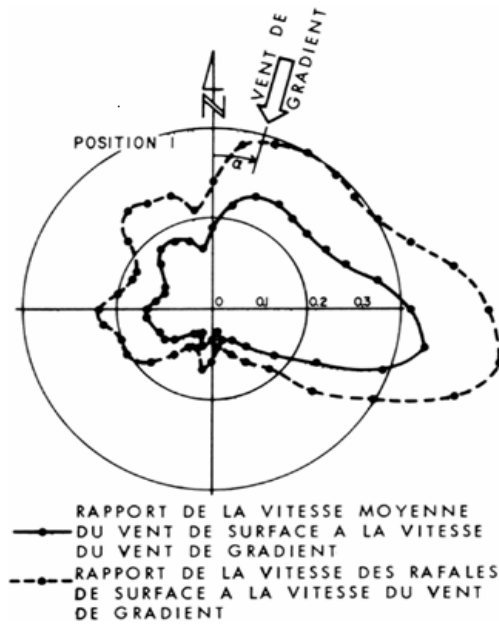


Fig. 5. Exemple des variations de la vitesse moyenne des vents de surface et des rafales dans les différentes directions. (Source : Davenport)

III-Les facteurs influant sur le mouvement du vent :

Quatre facteurs principaux influent, d'une manière générale, sur le mouvement de vent :

- 1- Sa propre inertie
- 2- La différence de pression.
- 3- La friction (frottement) de la surface de la terre.
- 4- La nature de l'environnement (topographie, groupes d'arbres et de forêt).
- 5- La forme et la masse du groupement urbain qui a un effet direct sur le changement de l'origine des formes des vents.

1- Inertie propre :

Le vent souffle dans une même direction lorsqu'il n'y a pas d'obstacles, sa vitesse augmente spontanément, c'est pourquoi l'orientation des rues dans le sens de la direction du vent est indésirable

2-La pression :

La force du vent correspond à la différence de pression de deux zones distinctes. Si la différence est grande la vitesse augmente et vice-versa.

3-Frottement :

Si le frottement du vent avec des corps augmente sa vitesse décroît, c'est pourquoi sa force dans le milieu urbain est moins que celle dans les zones découvertes.

4- Nature de l'environnement :

a- Les vents et la topographie :

Le relief et la topographie du site urbain sont des éléments qui conditionnent et déterminent la circulation du vent dans les espaces extérieurs urbains.

Le relief guide la trajectoire du vent. Les flux d'air vont se trouver déviés ou resserrés, en fonction d'un front ou d'un couloir géographique.

La topographie joue, à une échelle plus petite, le même rôle. Il y a formation de zone de survitesse à l'amont de tout obstacle géographique. (Pente, butte...), et dépression à l'aval. C'est ce qui conditionne le contournement ou la pénétration d'un site par le vent.

Les vents soufflent sur une surface de montagne suivent les limites des déviations du sol. La vitesse est grande dans les cotés ou descente exposée au vent et elle est moindre dans la partie cachée à l'abri des vents.

Donc les montagnes entravent (ralenti) la vitesse des vents et peuvent entraîne la déviation de sa direction jusqu'à 180°.

Et si région est plane et ouverte le mouvement d'air d'origine ne subit presque pas de déviation de direction et la vitesse demeure sans changement.

Les effets du sol d'une région sur les vents augmentent avec l'augmentation de la souplesse et la non uniformité de son sol.

Et ceci à cause de l'augmentation de l'épaisseur de la couche d'air touchant la terre qui a subit des changements dans la vitesse et la direction.

Les dimensions et la géométrie de la topographie jouent également un rôle prépondérant quant à la situation des zones de survitesse ou des couloirs à vent. L'aménageur devra, lors du choix de son site, tenir compte de ses effets.

Les mouvements de sol modifient le comportement du vent en vitesse et direction; on peut noter les configurations du relief les plus remarquables, ayant une action d'abri ou d'exposition vis à vis du vent. (Fig. 6)

*Fig. 6 : Déviation des flux éoliens en fonction des obstacles topographiques
(Source : Greeley, Iversen, 1990)*

a-1- Effet de rétrécissement :

Définition : Configuration topographique d'un espace en creux dont l'une des extrémités se termine par un verrou.

Evaluation de l'effet : Lorsque le vent souffle sur l'espace vers le verrou une accélération se produit de manière proportionnelle au rétrécissement de la section.

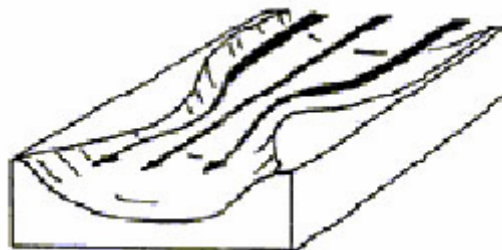
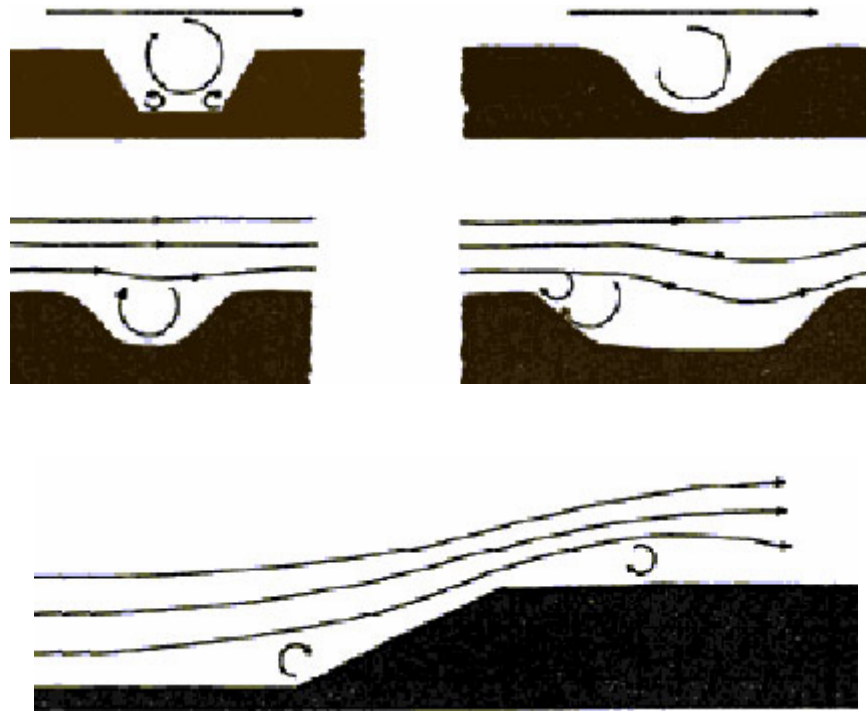


Fig.7 : Effet de rétrécissement.

a-2- Effet de canalisation :

• Fig. 8 : Effet de canalisation

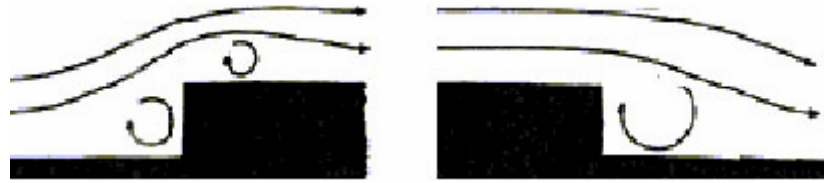
Définition : Espace en creux délimité par des versants qui forment un couloir pour le vent

Evaluation de l'effet : si le vent est dans le sens de la vallée, l'écoulement des flux est entretenu. Lorsque le vent est perpendiculaire à la canalisation, un rouleau tourbillonnaire plus ou moins stationnaire à axe horizontal se développe.

a-3- Effet de pente :

Définition : Changement topographique lié à un versant

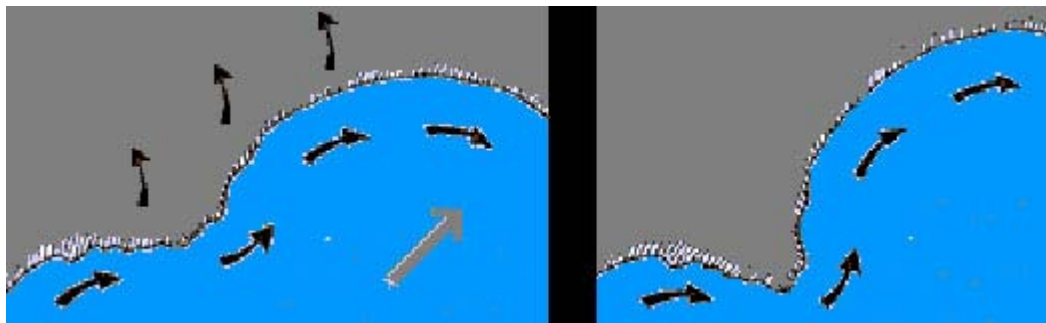
Evaluation de l'effet : Pour les pentes inférieures à 15%, l'accélération se matérialise dans la pente. Pour des valeurs supérieures à 15%, le maximum d'accélération se produit en sommet de pente.

a-4- Effet de plateau :*Fig. 9 : Effet de plateau*

Définition : Situation topographique en altitude matérialisée par une rupture de pente.

Evaluation de l'effet : la conjugaison du gradient vertical de vitesse moyenne, et de site dégagé en fait une zone particulièrement exposée au vent.

Dispositions pour la protection contre le vent : recréer un effet de rugosité pour limiter la variation du gradient.

a-5-Effet de littoral :*Fig.10 : Effet de littoral*

Définition : Variation directionnelle du vent liée à une topographie associée à un changement de rugosité entre la terre et la mer.

Evaluation de l'effet : Un effet d'ombre éolienne est constaté en même temps qu'un changement de direction sous le vent d'un relief

En résumé pour les zones plutôt exposées ; sommet de versant, plateau, couloir de vallée parallèle au vent ...

Et les zones plutôt abritées ; pied de versant, fond de cuvette, couloir de vallée perpendiculaire au vent ...

b-La végétation :

Parmi les effets très nombreux de la végétation, nous citons les effets de la végétation sur la qualité et l'écoulement de l'air.

▪ Effet d'oxygénation :

Pendant le jour, la fonction chlorophyllienne s'établit le gaz carbonique produit par les activités urbaines est en partie absorbé et l'oxygène est rejeté

A titre indicatif, la production annuelle moyenne d'oxygène de 1 Km² de forêt ou de 2 km² de prairies est variable avec les saisons. (Guyot, 1979)

Fig. 11 -Effet d'oxygénation de la végétation; Le rayonnement solaire en est le principal agent.

▪ Effet d'humidification de l'air :

Une convection horizontale des masses froides (végétation) vers les masses plus chaudes (quartier voisin) a permis ce rafraîchissement. De ce fait l'humidité relative s'est trouvée augmentée de 5 %. (Guyot, 1979)

Fig.12 – Effet d'humidification de l'air par une zone plantée.

- **Effet de fixation des poussières :**

L'arbre fixe les poussières 10 fois plus qu'une pelouse, 30 à 60 fois plus qu'une surface goudronnée, pour d'autres, les feuilles d'un marronnier ne retiennent que 4 % de ce que l'on trouve au sol (sur 5 mois, 1 g sur feuille pour 25 g au sol). Il semble que la forme des feuilles joue un rôle.

Le phénomène de brise-vent associé ce pouvoir adhésif du à la présence de matières huileuses en suspension ou au phénomène électro-statique peut expliquer cette aptitude à fixer les poussières

- **Effet de protection aux vents forts :**

La masse foliaire de la végétation représente une rugosité par rapport aux écoulements d'air, et une partie du flux incident pénètre à l'intérieur du feuillage et se trouve filtré et amorti, diminuant en aval sensiblement les vitesses et les phénomènes tourbillonnaires.

L'efficacité de l'effet du brise-vent dépend de la porosité effective du feuillage (c'est-à-dire le rapport de surface des trous sur la surface totale de la masse foliaire pondéré par un coefficient de perte de charge). Il est intéressant de noter que cette porosité peut être variable suivant les aiguilles de pins se plaquent les unes sur les autres et forment un écran plus dense.

Fig. 13 : Effet de protection au vent fort (La végétation joue ici le rôle de barrière à vent).

b-1- L'effet d'un groupement d'arbres ou forêts sur l'écoulement de l'air :

Dans les forêts denses, la vitesse du vent diminue d'une manière remarquable. Le brise-vent bien placé peut réduire la vitesse du vent à 85 % et réduire des coûts d'énergie de 10 % à 25 % (Fig. 14)

Après 30 m du traversé du vent de la zone d'arbres dense sa force diminue à 60-80 % de sa valeur initiale et devient 50% après 60 m.

Et après 120 m la force diminue jusqu'à atteindre 7% seulement de la valeur initiale. Les brises vent guident le vent vers le haut et au-dessus d'un bâtiment formant de ce fait une ombre protectrice de vent, ou à côté de l'attraper dans les brindilles et les branches d'une double ou triple rangé des arbres qui casse vers le haut sa vitesse. (Hilmi, 1991)

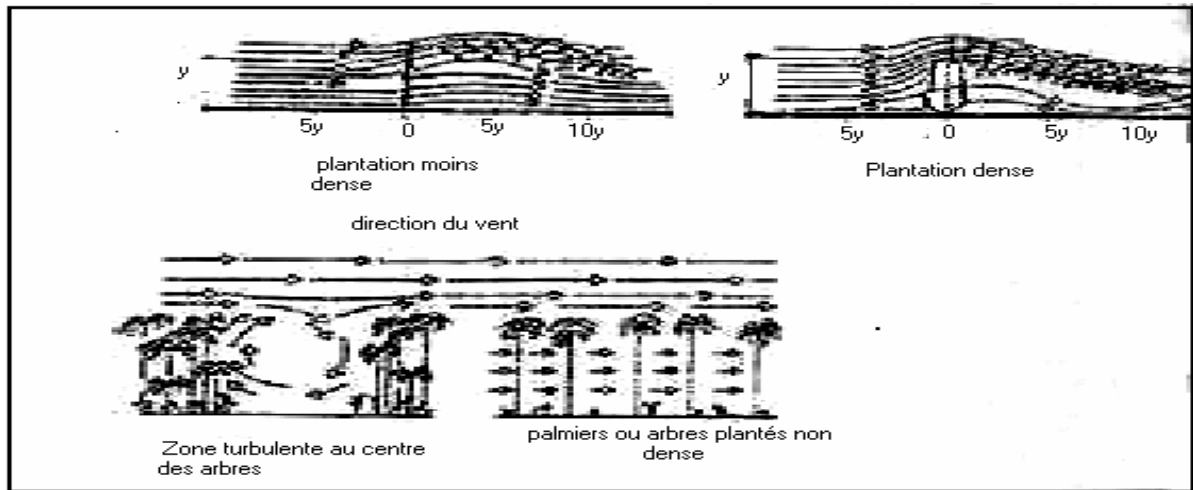


Fig. 14 : Effets des forêts (arbres, palmiers) sur le vent

Les essais faites sur les prairies occidentales ont prouvé qu'une bonne brise-vent donne la meilleure protection d'ombre de vent derrière le bâtiment pour une distance 3 à 5 fois la hauteur de la rangée d'arbre et ne reprend sa vitesse initiale qu'après une distance égale à 10 fois la rangée d'arbres. Il bloque également le vent de la zone exposé au vent

Et dans le cas d'une plantation d'arbres avec de grandes tiges non collés comme palmiers, le changement est dans la vitesse sans la direction.

S'il y a une défaillance au centre d'un groupe c'est à dire un espace sans arbre ceci amène à une modification dans la forme du mouvement des vents. (Fig. 15)

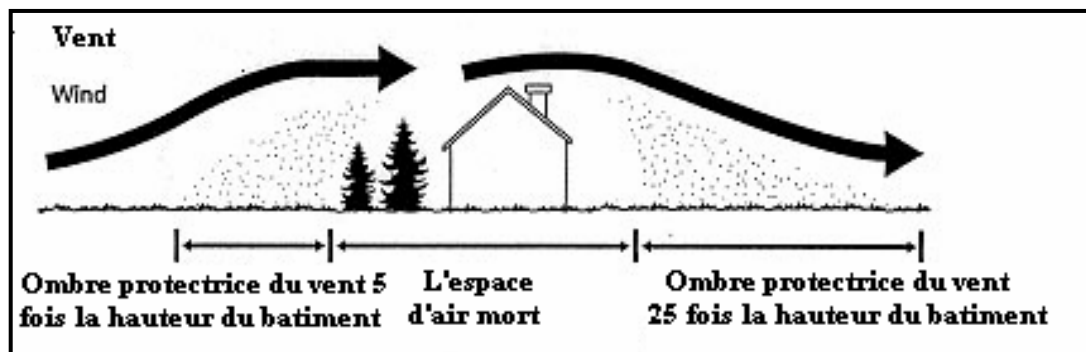


Fig. 15 : Un pare-brise à feuilles persistantes casse la force du vent et crée un ombre protectrice de vent dans l'avant et derrière. L'espace aérien mort protège la maison.

5- Effets d'un groupement urbain ou d'une masse bâtie dans les villes et village sur le vent :

A cause du frottement au contact du sol, la vitesse du vent au sol est beaucoup plus faible qu'à une centaine de mètres plus haut (dite vitesse de gradient) ou il n'y a aucun obstacle.

En général, plus une région est construite ou rugueuse plus la vitesse du vent au sol est faible.

Les expériences ont prouvé que la vitesse de l'air au niveau d'une rue égale à 1/3 sa vitesse dans une zone ouverte.

Il y a cependant une exception à cette règle les bâtiments élevés et élancés ont tendance à faire dévier le vent vers le bas dans des zones qui étaient auparavant protégées.

- **Décroissance de la vitesse du vent et turbulence :**

Dans la couche limite urbaine, la rugosité du sol est plus importante du fait de la présence de nombreux bâtiments, ce qui a pour effet de freiner le vent moyen et d'augmenter le niveau de turbulence. ; la décroissance de la vitesse moyenne peut atteindre 30 % par rapport à ce qu'elle serait en rase campagne, et l'intensité peut doubler.

- **Déviations de la direction du vent :**

La direction elle-même est également perturbée ; le vent est dévié de façon cyclonique au-dessus des villes (jusqu'à 10°)

- **Accélération de la vitesse :**

Cependant pour les vents faibles, la situation est plus complexe ; en dessous d'un certain seuil (4 m/s environ), on constate non pas un freinage du vent à la ville mais une accélération ; le vent est alors plus fort dans la zone urbaine qu'en rase campagne. Au-dessus de la ville, le profil du vent se caractérise souvent par un accroissement de vitesse concentré dans une couche étroite (jet) ; L'écoulement s'accompagne d'un mouvement ascensionnel non négligeable pouvant atteindre des valeurs locales de 1 m/s. La direction du vent est également déviée mais de façon anticyclonique.

- **Brise thermique :**

La présence d'un îlot de chaleur important entretient ces phénomènes et crée sa propre circulation d'un type tout à fait comparable à une brise thermique : le vent frais provenant de la campagne pénètre dans la ville (Plus chaude), un mouvement ascensionnel se crée et la circulation se referme en hauteur (*Fig. 16*)

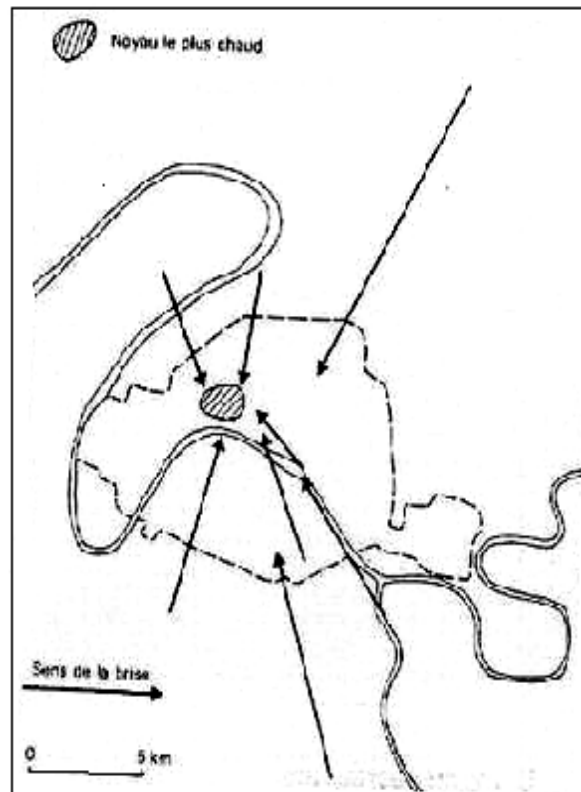


Fig. 16 -Brise thermique, (Escourrou, 1991)

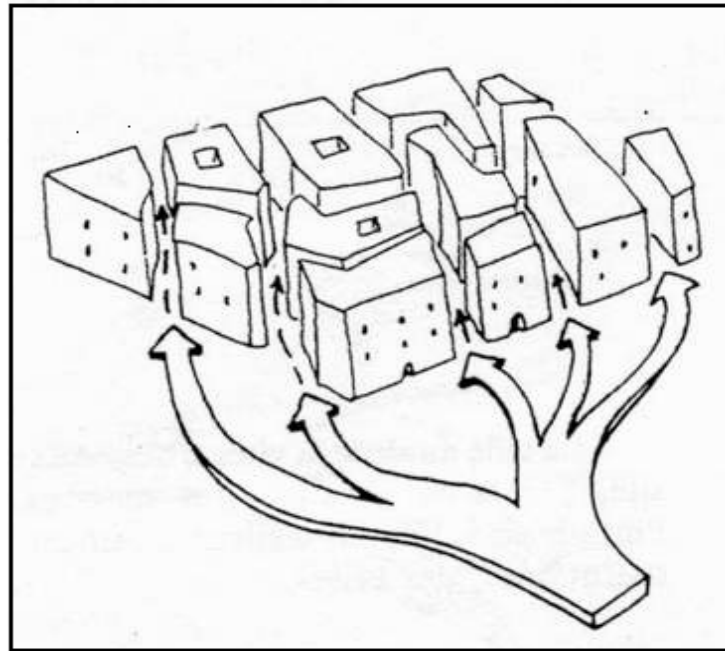
- **La Canalisation du vent par les rues :**

Au niveau du sol le vent est canalisé dans les rues ayant une direction proche de la sienne. Sa vitesse s'amenuise sauf dans les cas de forêts différences thermiques d'un lieu à l'autre ; la vitesse pouvant s'accélérer et la direction s'inverser.

Dans les rues perpendiculaires, la vitesse des vents est faible, voire nulle, sensible aux moindres différences thermiques de l'intérieur de la ville celles-ci peuvent déterminer la direction de l'air dans le cas où le réseau des rues n'est pas rigoureusement perpendiculaire. (*Fig. 17*)

...

Fig. 17; Canalisation du vent par les rues (Escourrou, 1991)



- **Brisés très localisés :**

Les mouvements de brise locale peuvent exister entre types de quartiers différents, entre espaces verts et quartiers bâtis. Leur extension est limitée : quelques centaines de mètres (Fig. 18)

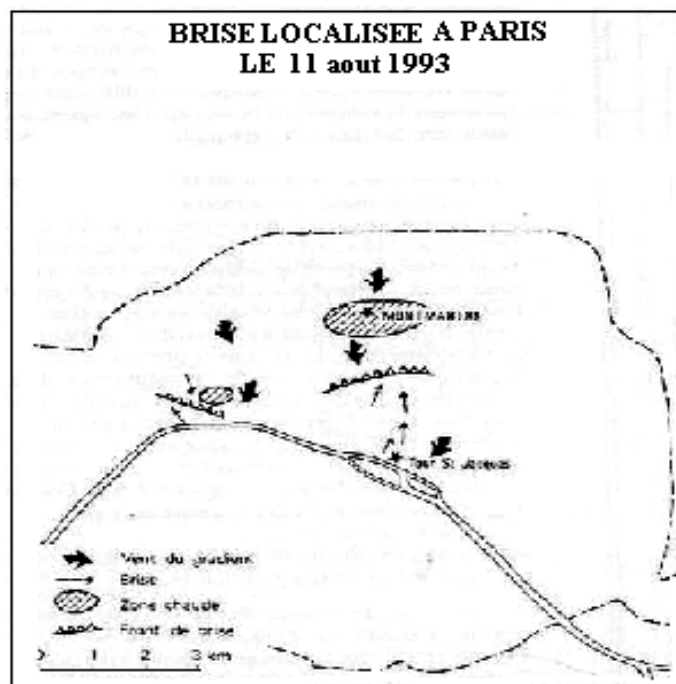
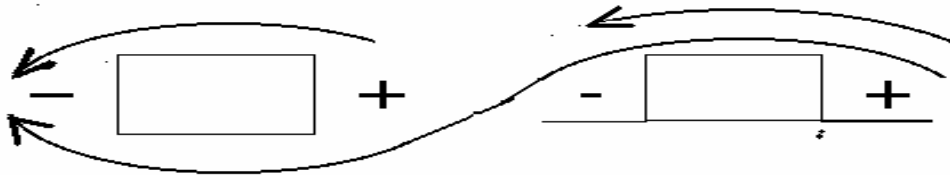


Fig.18 : Brise localisé. (Escourrou, 1991)

IV- Comportement du vent autour des constructions :

Les écoulements qui s'établissent au niveau du sol dans les espaces extérieurs résultent de l'interaction complexe entre le vent turbulent et les masses construites qui forment obstacle ou qui guident les flux d'air.

Le vent agissant sur un bâtiment provoque des surpressions sur la face opposée, il pousse l'air contre les ouvrants de la façade au vent et l'aspire au contraire à travers la façade sous le vent



Les dimensions, les formes et les juxtapositions des ensembles bâtis vont conditionner les distributions et niveaux des pressions sur ces obstacles.

De là, dans les espaces extérieures (liaison entre des zones de pressions différentes) l'apparition de zones de survitesse ou de secteurs fortement tourbillonnements qui seront source de nuisance pour le piéton ou une zone protégé contre le vent (*Fig. 19*)

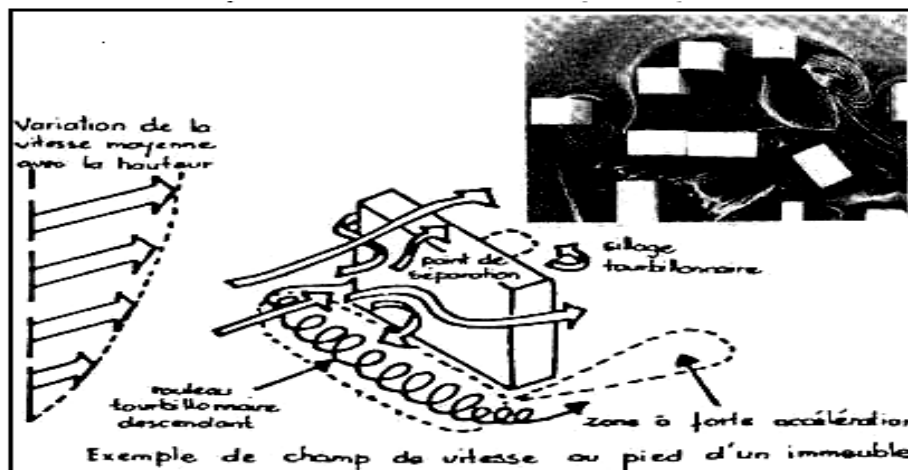


Fig. n°19. Le vent aux abords d'un bâtiment.

Lorsque le vent frappe un bâtiment élevé et élancé, l'écoulement se modifie. (*Fig. 20*) Environ aux trois quarts de la hauteur du bâtiment (région de stagnation), le vent se divise. Au-dessus de cette hauteur, il se dirige vers le haut et passe pardessus du toit du bâtiment; au-dessous, il descend et forme un tourbillon devant le bâtiment avant de contourner précipitamment les coins exposés. Ce phénomène contribue à accroître la vitesse du vent dans les zones A et B, où R peut atteindre 1.5 et 2.0 respectivement.

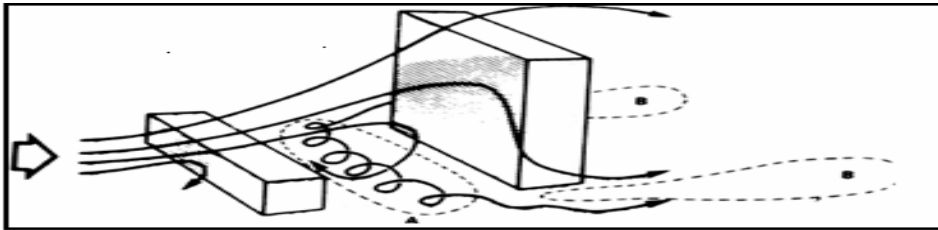


Fig. 20 : Schéma de l'écoulement de l'air aux abords d'un édifice élevé et élancé. Remarque les zones où la vitesse du vent augmente, au niveau des piétons.

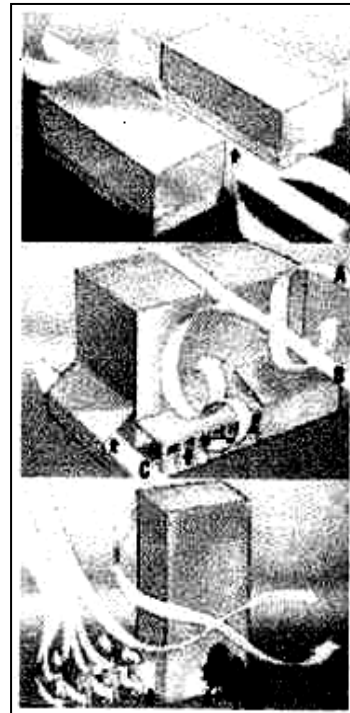
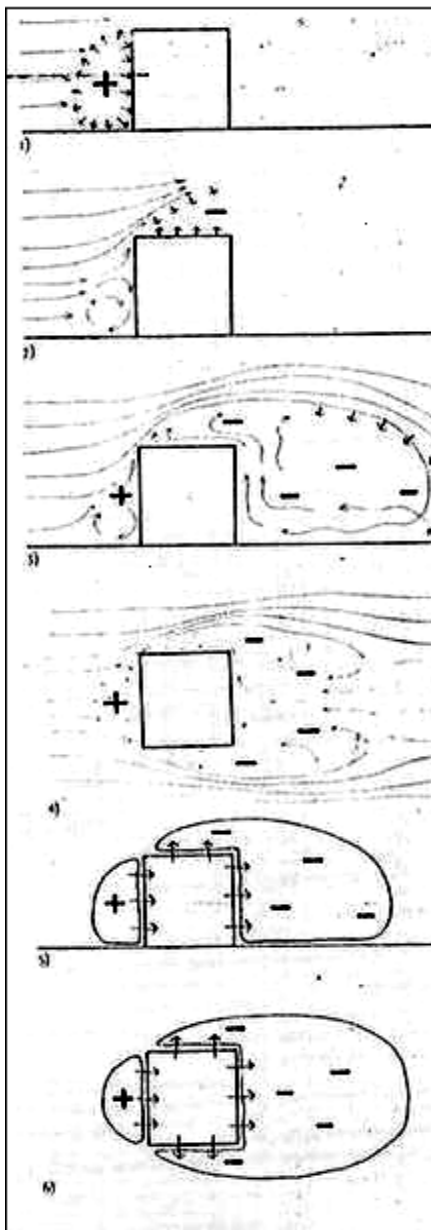


Fig. 21 (Givoni, 1978)

(1) Comme le vent souffle contre la face du bâtiment, une zone de haute pression se crée.

(2) Comme le vent fuit vers le haut, une zone de basse pression se crée.

(3) Cette zone de basse pression s'étend derrière le bâtiment et dessine un filet de vent qui revient vers le sol

(4) Le même flux et pression est trouvé en plan.

(5) Le mouvement de l'air à l'intérieur du bâtiment aura lieu lorsque l'air s'écoule d'une zone exposée à une surpression vers une autre de sous-pression.

(6) Le même mouvement se présente en plan.

La figure n°22 illustre une forme plus compliquée et les lignes d'écoulement qui y sont associées. Pour les bâtiments ayant un toit plat ou à faible pente le mur sous le vent est la seule surface assujettie à la pression; toutes les autres surfaces sont situées dans le sillage où les pressions sont inférieures à la pression ambiante.

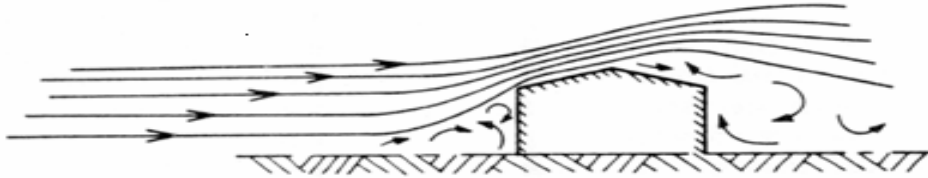
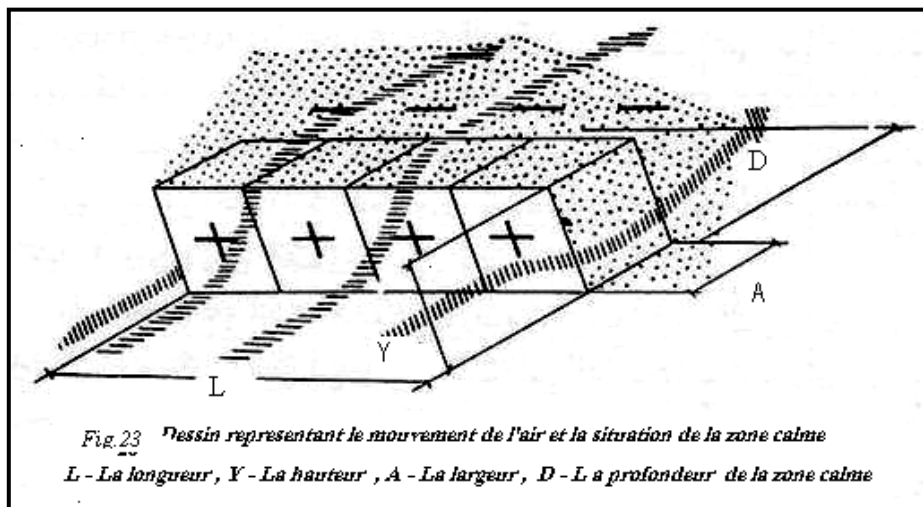


Fig. 22. Lignes d'écoulement contournant un bâtiment de forme simple

Le cas le plus simple d'un élément à arêtes vives faisant obstruction à un écoulement d'air au-dessus du sol est un mur infiniment long. Le mur modifie la quantité de mouvement de l'écoulement en repoussant vers le haut les filets fluides. Il en résulte une pression positive sur le mur. Il existe, en avant du mur, une région tourbillonnaire triangulaire, où l'air emprisonné est soumis à une pression qui est positive si on la compare à la pression régnant dans l'écoulement d'air non perturbé.

Les filets fluides indiquent non seulement la direction de l'écoulement d'air, mais aussi les changements de vitesse. Plus ils sont serrés, plus grande est la vitesse dans la section considérée. Ceci résulte de ce qu'à hauteur d'une section quelconque, la même quantité de fluide doit passer entre deux filets fluides. En tout point d'un écoulement laminaire, la pression peut être calculée en fonction de la vitesse des particules ; l'énergie totale, somme de l'énergie cinétique et de l'énergie due à la pression, est en effet constante.



V- Relation vent et composition urbaine :

Traditionnellement, en milieu rural ou très peu dense, le bâti protège l'homme du vent.

En milieu urbain, des chicanes peuvent casser le vent. A Mykonos, îles très ventée, le tracé des ruelles interrompt la pénétration du vent dès la deuxième ou troisième épaisseur de maison. (*Fig. 24*) (*Duplay, 1982*).

Fig. 24

A l'inverse, il peut être nécessaire d'assurer une pénétration du vent dominant pour chasser l'air pollué de voies urbaines saturées. (*Fig. 25*)

Fig. 25

Selon l'orientation des rues par rapport aux vents dominants, l'air des artères est agréable ou irrespirable.

L'oubli des lois qui gouvernent les mouvements du vent en milieu urbain aboutit à la quasi-impossibilité d'utiliser certains trottoirs.

Mais la prise en compte sans contrepartie de cette donnée seule conduit à des bâtiments isolés disposés parallèlement.

Pour un plan de masse, la génération de ce mode d'adaptation débouche sur des plans de masse unidirectionnels ou sur des morcellements (*Fig. 26*)

Fig. 26

Si on veut profiter de quelques types de vent et éviter d'autre on ne peut s'en passer de la bonne orientation des voiries et façades et mettre des obstacles pour créer des zones de protection

1-Zone abritée (Wind shadowing) :

La zone abritée est un terme météorologique décrivant les effets, que le placement, la géométrie et la proximité des obstacles réduisent les vitesses du vent locales au-dessous de ceux qui auraient été observés en l'absence des constructions.

Les fermiers ont longtemps admis que les arbres et les arbustes peuvent briser les effets cuisants du vent dans les domaines autrement ouverts

La réduction de la vitesse de vent à la suite des obstacles qu'ils soient naturels ou construits ; est un effet qui se prolonge à une distance considérable en arrière vent en abri des caractéristiques de l'écoulement.

Il est approprié de préciser que zone de protection est distinguée des augmentations localisées de la vitesse du vent, qui peuvent se produire

quant le vent est accéléré dans et autour des rangées de bâtiments élevés (gratte-ciel) serrés – espacés.

La zone de protection est influencée par la forme des bâtiments leurs orientations par rapport au vent dominant et leurs dispositions

a- La forme du bâtiment :

Les dimensions de la zone de protection se diffèrent d'une forme à une autre et les formes propagées sont celle en forme de lettre (C, T, L, I)

A titre d'exemple ; (*Annexe II – Tableau III-7*), (*Fig. 27*)

- La forme (I) dont la longueur est de $04 X$ et l'orientation du bâtiment est perpendiculaire à celle des vents procure une zone de protection d'une largeur de $03 X$.

- La forme (C) avec la même dimension procure une zone de protection d'une largeur $06X$ et quant les bâtiments sont obliques par rapport à la direction des vents, les dimensions de la zone de protection diminuent.

*Fig. 27 : Longueur de la zone protégée
Par rapport à la forme et géométrie
du bâtiment (Evans ,1957)*

b- L'orientation du bâtiment :

L'orientation des bâtiments se fait suivant l'effet de la radiation solaire et la direction des vents dominants, mais malheureusement ce qui est observé c'est que la bonne orientation solaire est la plus appropriée lors de la conception par contre la direction du vent est négligée ou moins appropriée.

Car l'orientation au soleil et celle du vent coïncident très rarement, et le meilleur compromis doit être atteint dans chaque cas et l'étude de chaque paramètre se fait à part avant l'orientation suivant leurs effets communs sur les besoins thermiques de l'homme et suivant son activité exercée en espace urbain.

Bien que la plus grande pression du côté exposé au vent d'un bâtiment soit produite quand la façade est perpendiculaire à la direction de vent, Givoni a montré que si des fenêtres sont placées à 45° à la direction du vent, la vitesse moyenne d'air d'intérieur est augmentée et une meilleure distribution de mouvement d'air d'intérieur est fournie.

Cette approche peut aider à résoudre des problèmes d'orientation quand les conditions solaires et de vent sont contradictoires. (Fig. 28)

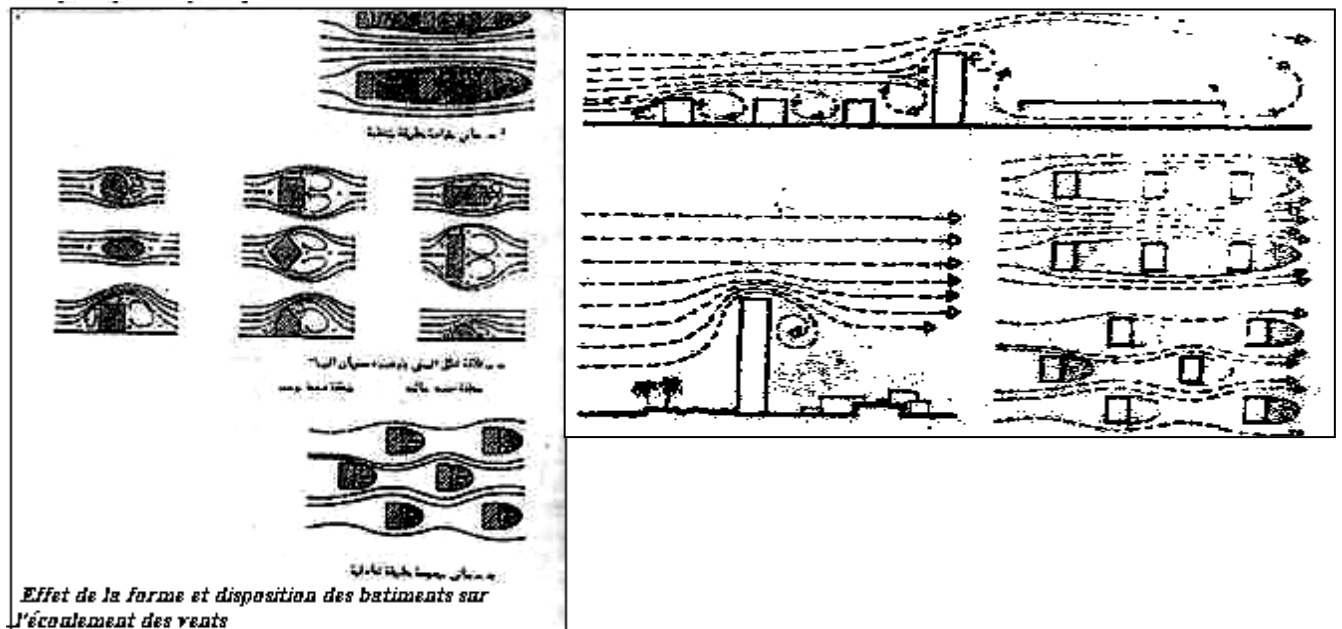


Fig. 28 : Effet de la forme et disposition sur l'écoulement de l'air (Hilmi, 1991)

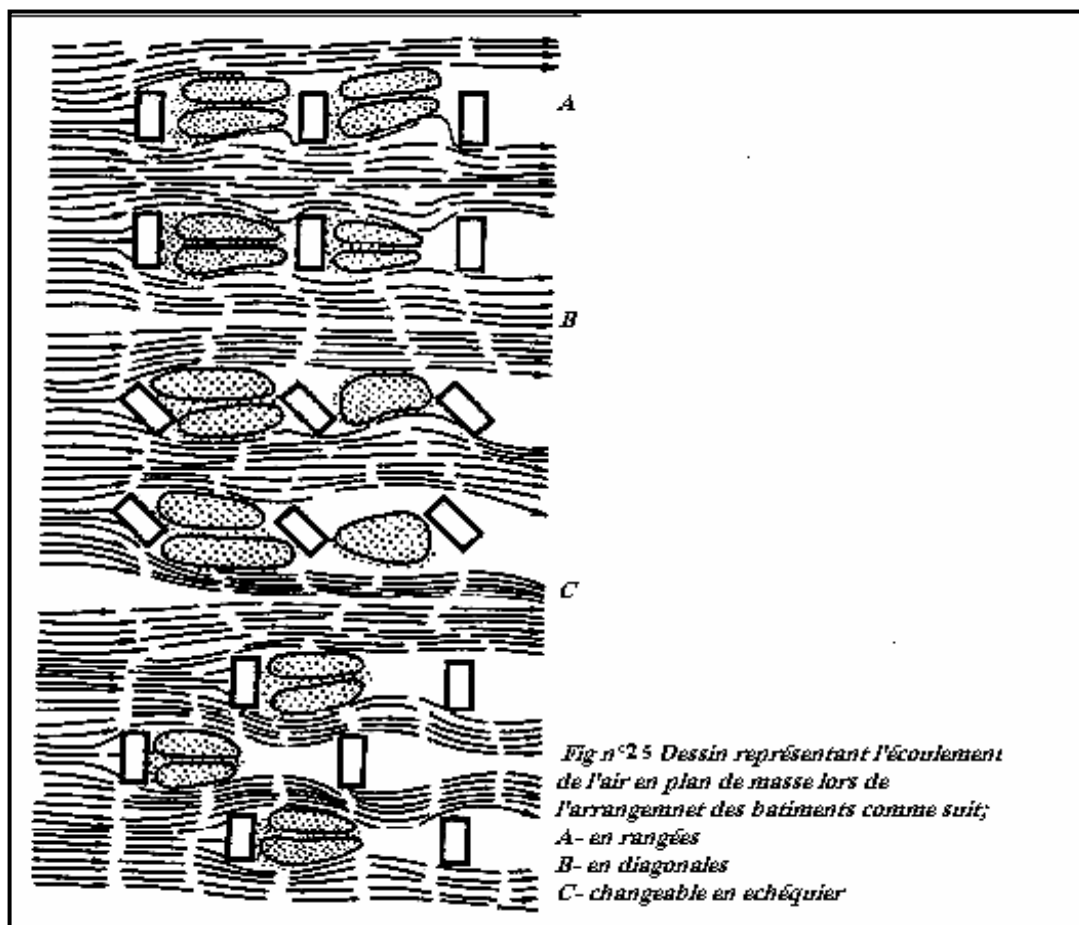
Dans les régions des climats chauds et humides, on recourt à une orientation des voiries principales au même sens que les vents alors que dans les régions chaudes et arides d'où il y a une grande fréquence des tempêtes de sables donc on a tendance à utiliser les écrans et obstacles brise vent et l'orientation des voies publiques principales dans un sens perpendiculaire à la direction des vents dominants

c-La disposition des bâtiments :

Si les bâtiments sont mal placés les uns par rapport aux autres les zones protégées ou calmes entre bâtiments peuvent se juxtaposer et empêcher l'air de s'écouler vers les rangées derrière et créer des zones d'air mortes

Si au moins une distance de 6 fois la hauteur du bâtiment ne soit pas respectée, la ventilation du bâtiment arrière sera affectée.

L'arrangement des bâtiments de façon changeable ou en échiquiers permet une meilleure distribution de l'écoulement de l'air et diminue les effets des zones d'air stagné ou mort (*Fig. 29*)



d-La porosité urbaine :

Contrôle le niveau de pénétration du vent dans l'entité urbaine et par conséquent la ventilation dans les espaces intérieurs et extérieurs. elle est fortement dépendante de la géométrie de l'espace extérieur en particulier le profil urbain qui détermine la nature du flux (Fig.30, source : Oke,1988)

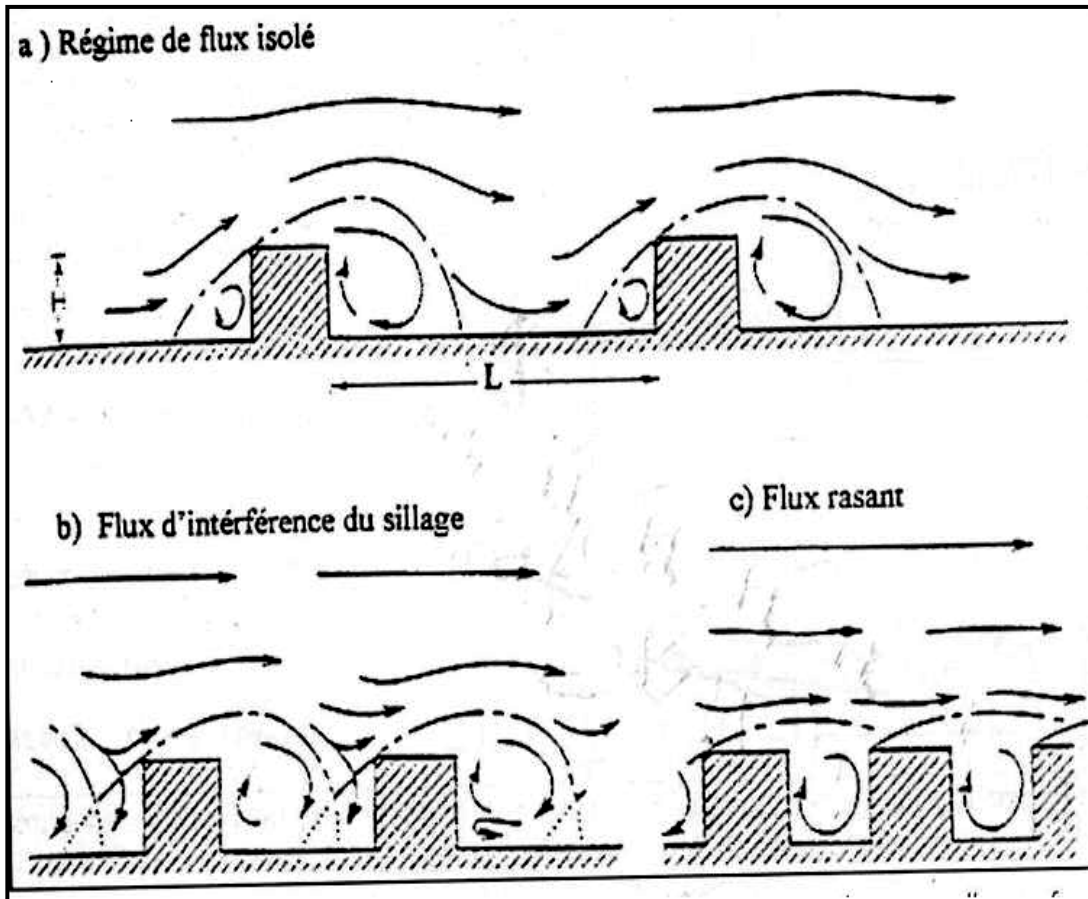
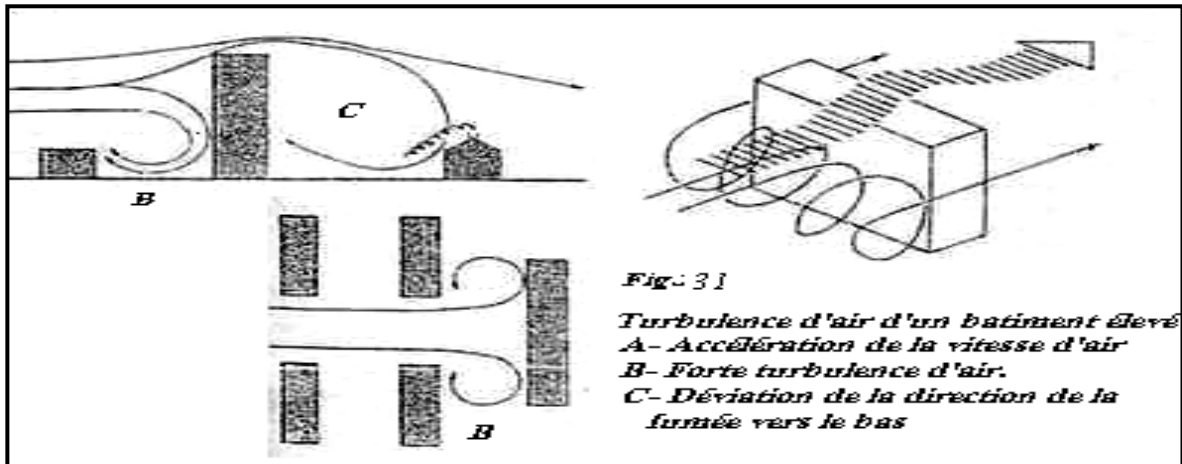


Fig. 30, La porosité urbaine régit le niveau de ventilation urbaine

2- la zone de turbulence et de survitesse :

Le mouvement de l'air est affecté par la longueur, hauteur et le type de toit des bâtiments qui influe sur les caractéristiques du vent et qui a un impact très distingué sur le microclimat aux alentours des bâtiments, le même effet peut être causé par une certaine disposition des bâtiments. Un mauvais arrangement peut doubler la vitesse du vent et causer de terrible turbulence. (Fig. 31)

On peut observer plusieurs phénomènes lorsque le vent rencontre des obstacles courants (ne sont pas aérodynamiques)



a- Obstacles ou bâtiments bas ≤ 15 :

Lorsque le bâtiment ne dépasse pas la hauteur de 15 m, le vent passe par-dessus le volume sans créer de grandes perturbations des filets fluides (Fig. 32).

b- Obstacles ou bâtiments hauts :

Dans ce cas, plusieurs phénomènes peuvent être appréciés. Ils sont accompagnés par une construction des filets fluides et de leurs décollements. (Fig. 33) Deux bâtiments créent un effet de perturbation des filets fluides :

Effet venturi : augmentation de la vitesse à l'étranglement

Un seul bâtiment peut aussi créer autre perturbation :

Effet de coin : augmentation de la vitesse au coin.

c- Obstacles à profil variant rapidement :

Dans ce cas, on assiste au décollement des filets fluides de l'obstacle. L'air déplacé par l'écoulement principal est entraîné en tourbillons. On peut observer le tourbillon aussi dans la zone de surpression (face au vent).

d- Obstacles combinés :

En sachant que les courants de l'air passent des pressions les plus élevées vers les plus basses, on commence dans le cas d'obstacles combinés de repérer les zones de surpression face au vent et les parties de dépressions sous le vent, et on pourra ensuite faire paraître tous les mouvements de l'air possible pour chaque cas d'étude. (Fig. 34).

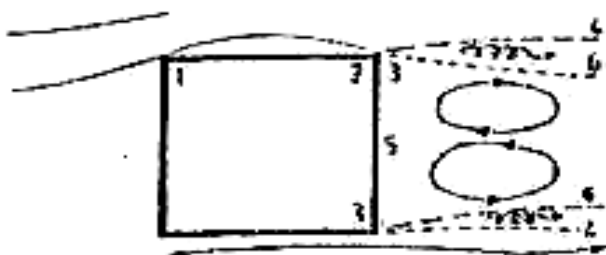
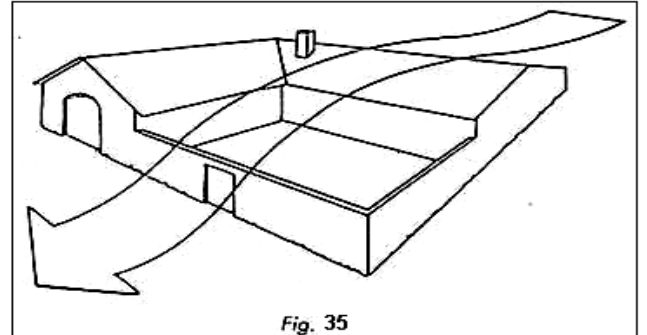
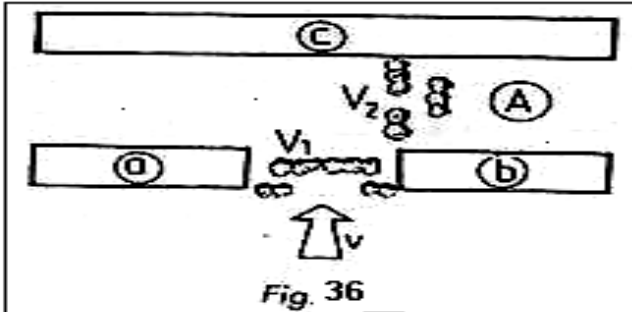


Fig. 34

- 1-2 : zone de décollement
- 3-4 : ligne de séparation
- 5 : sillage et circulation tourbillonnaire
- 6 : épaississement des limites entre sillage et écoulement (principal)

Après avoir apprécié le comportement du vent face à une topographie donnée, il paraît que quelques dispositions élémentaires sont indispensables pour maximiser le confort au niveau du sol et diminuer l'inconfort dû aux vitesses fortes des vents :

- Dans le cas des cours ou des patios : dévier le vent par-dessus ou par coté pour éviter les décollements et tourbillons. (Fig. 35) (Chatelet, Fernandez, Lavigne, 1998)



- Afin de créer plus de confort au niveau des espaces qui accueillent des activités en plein air en évitant les courant d'air trop gênant : Occasionner des pertes de charges par la végétation ou claustras ;
 - (A) du plan de la Figure n°36 présente une zone à *une* grande vitesse alors qu'on veut y installer des jeux d'enfants en climats froid l'hiver, il est bon de planter de la végétation en V1 pour réduire le débit entrant entre les édifices a-b et c et en V2 pour créer une perte de charge de côté où on recherche un grand calme. (Chatelet, Fernandez, Lavigne, 1998)

VI- Les accidents aérodynamiques et leurs traitements ; Effets types :

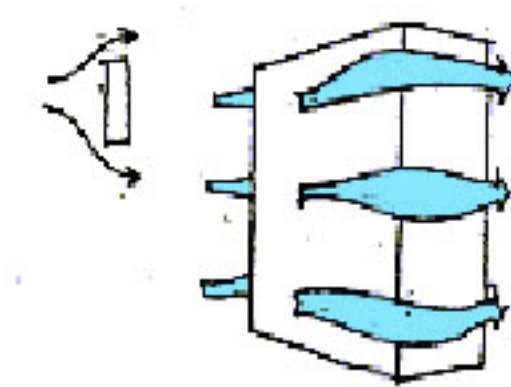
Dans le but d'aider les architectes au niveau de l'élaboration des plans masse, et pour leur permettre d'éviter les grosses erreurs aérodynamiques, le CSTB a entrepris depuis plusieurs années la définition et quantification des anomalies aérodynamiques (survitesse, circulation tourbillonnaire, etc.) susceptibles de se produire en milieu urbanisé. L'étude a été essentiellement menée en soufflerie reproduisant le vent naturel sur des plans masse types. Chaque effet aérodynamique cause de gêne a été systématiquement étudié dans son contexte pratique, afin de pouvoir appliquer directement au cas réel les résultats obtenus.

Parallèlement, un certain nombre de conseils pratiques (*Annexe III*) a pu être proposé dans le guide méthodologique publié par le CSTB dont on a exposé quelques effets types. (Chatelet, Fernandez, Lavigne, 1998 - Guyot)

Les effets types ont été distingués suivant les formes isolées et les formes associées des bâtiments :

1- Les formes isolées :

a- Effet de coin : *Fig. 37*



Définition : Phénomène d'accélération localisée, à l'angle d'un bâtiment, dû à un gradient très élevé du champ de pression sur un espace limité entre la façade exposée et celle qui se situe en dépression.

Condition d'existence : Bâtiments isolés

Evaluation de l'effet : l'effet est proportionnel à la hauteur de l'angle de la construction, la vitesse peut augmenter de 1,2 à plus de 2 fois son état initial pour des bâtiments de quelques niveaux à des tours de grande hauteur (R+30).

b- Effet de tourbillon amont : *Fig. 38*

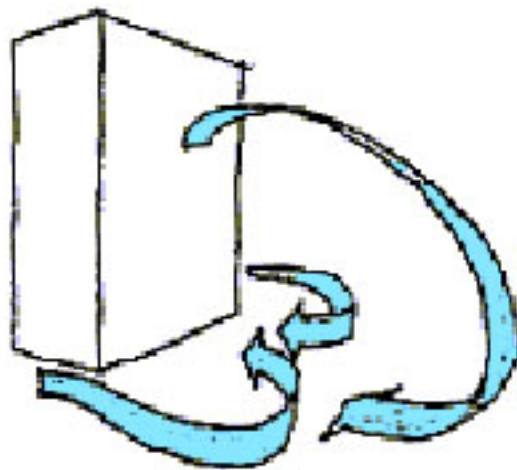


Définition : Phénomène de mouvement d'air tourbillonnaire au pied de l'immeuble, à composante verticale, plongeant sur la façade directement exposée au vent.

Condition d'existence : La hauteur minimum supérieur à 15 m.

Evaluation de l'effet : Peu sensible pour les constructions basses, importante pour les constructions supérieures à R+5. Accélération de 1,5 dans le cas d'un immeuble de R+20. Effet désagréable à cause des directions verticales que peut avoir l'écoulement dans le tourbillon.

c- Effet de sillage et de rouleau aval : *Fig. 39*



Définition : Phénomène de mouvement d'air tourbillonnaire sur la façade située sous le vent et plongeant sur la façade en dépression située sous le vent.

Condition d'existence : Volumes à angles libres.

Evaluation de l'effet :

- Formes cubiques : l'importance du sillage est fonction du maître couple offert au vent incident. La persistance de l'effet de sillage = 4 h pour $15 \text{ m} \leq h \leq 35 \text{ m}$. La zone la plus exposée = 2 h de chaque côté.
- Les tours $45 \text{ m} < h < 100 \text{ m}$:
Le sillage a une forme caractéristique de « sabot de cheval ». La zone d'inconfort s'étend sur une aire = $h \times 2 e$ de chaque côté

d- Effet de trou ou de passage sous immeuble : Fig. 40



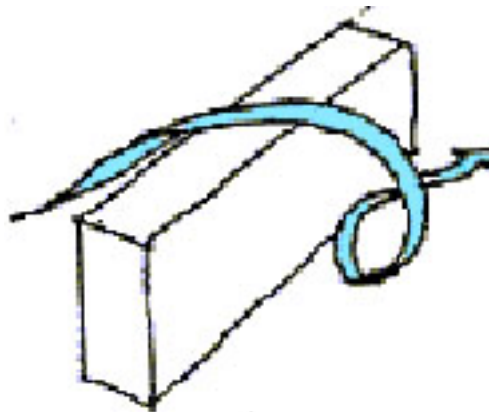
Définition : Phénomène d'accélération localisé du vent sur une zone de communication au niveau du sol entre 2 façades l'une en surpression, l'autre en dépression.

Condition d'existence :

Hauteur minimum >15

Evaluation de l'effet : les valeurs de la survitesse évoluent entre 1,2 et 1,5 pour une hauteur construite variant de 20 à 50 m.

e- Effet de barre : Fig. 41



Définition : Phénomène de tourbillon plongeant et subissant une rotation en rejoignant le sol sous un vent incident à 45° sur une construction de forme parallélépipédique.

Condition d'existence :

Il existe si la géométrie de la barre est :

- Hauteur minimum < 25 m
- Longueur minimum : $L > 8$ m
- Espacement entre volumes $\leq h$

Influence prépondérante de l'environnement.

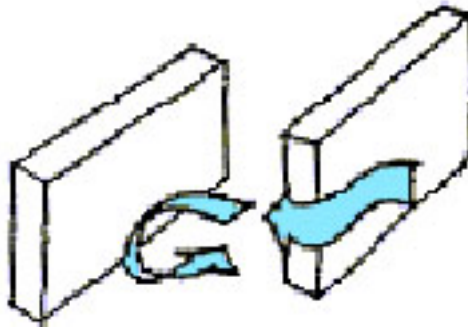
- Environnement proche de hauteur moyenne h_e faible devant la barre
 \Rightarrow effet atténué
- L'environnement proche est une barre parallèle : seul l'effet de barre se conserve sur la première barre au vent
- Environnement proche de la hauteur moyenne h_e du même ordre que celle de la barre : effet nul

Evaluation de l'effet : Aggravation de la survitesse de l'ordre de 1,4 sur une distance d'environ 2 fois la hauteur construite.

2-Les formes associées

a- Effet de liaison des zones de pression différente entre immeubles :

Fig. 42

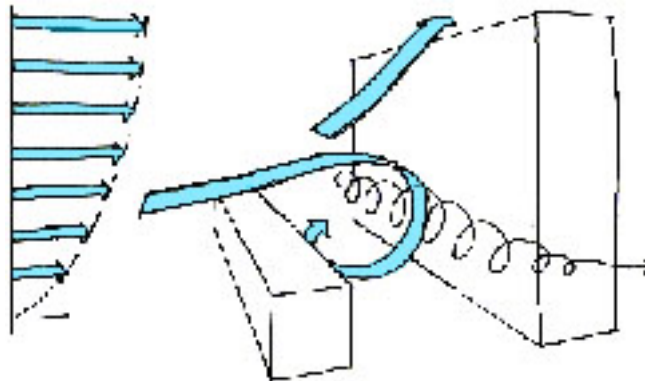


Définition : Disposition décalée de 2 constructions créant un couloir de liaison entre eux lié au champ de pression existant entre la façade sous le vent du bâtiment amont et la façade au vent du bâtiment en aval.

Condition d'existence :

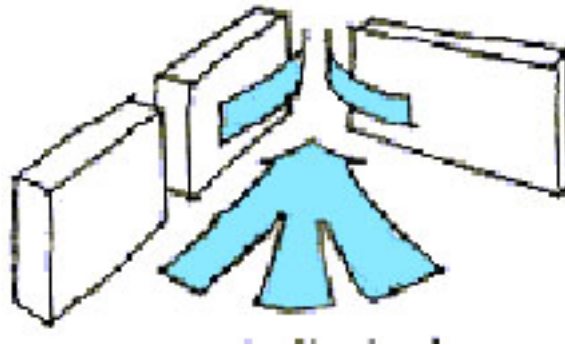
- Hauteur moyenne maximum : $h=15$ m. Couloir de liaison bien défini et pas trop large : $d \leq h$.
- Si $d > h$, comportement individuel des formes
- Si couloir de liaison mal défini (porosité ou élément obturateur) \Rightarrow nul
- L'aire au vent «non commune » aux bâtiments suffisants : $a \geq h$

Evaluation de l'effet : La valeur de la survitesse évolue entre 1,2 et 1,6 pour des constructions entre 12 et 35 m de hauteur. Entre 2 tours de 100 m de haut la valeur du coefficient peut atteindre 1,8.

b- Effet Wise : Fig. 43

Définition : L'association de bâtiments de tailles différentes et implantés parallèlement entretient un tourbillon à composante verticale issu de l'effet de tourbillon aval ou de sillage du bâtiment amont combiné avec le tourbillon amont du bâtiment situé en aval.

Evaluation de l'effet : lorsque l'association se situe entre 10 et 30 m le coefficient prend la valeur 1,5. Pour une association entre 15 et 90 m la valeur est de 1,8.

c- Effet venturi : Fig. 44

Définition : Disposition relative de 2 bâtiments formant un collecteur de flux, le rétrécissement du passage a pour effet d'augmenter la vitesse pour un débit identique.

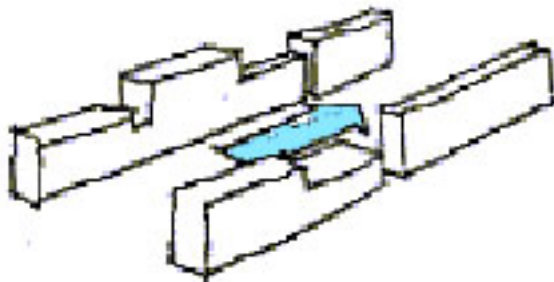
Condition d'existence :

- Hauteur moyenne des bras : $h > 5\text{m}$
- Longueur minimale des bras pour un angle aigu ou droit : $L1 + L2 > 100\text{m}$
- Si $L1 + L2 < 100\text{m}$, l'entonnoir ne collecte suffisamment le flux.
- Direction du vent très axée sur la bissectrice de l'angle des bras.
- Environnement proche amont et aval libre de toutes constructions sur

- une superficie du même ordre que celle occupée par le collecteur
- Si l'axe du vent est parallèle à un des bras, pas de concentration fluide.
 - La projection de la largeur du «trou» orthogonalement à la direction du vent ne doit pas être inférieure à $h/2$ ou supérieure à $4 h$.

Evaluation de l'effet : L'espacement critique de 2 à 3 fois la hauteur des constructions (hauteur moyenne de 45 m) formant le venturi entraîne une valeur d'environ $\psi = 1,6$.

d- Effet de canalisation : *Fig. 45*



Définition : Ceci correspond à une configuration classique d'une rue délimitée par des constructions en continu de chaque cotés. Cette disposition entretient et prolonge tout phénomène situé au début de la rue.

Condition d'existence :

- Couloir constitué de parois peu poreuses :
- Espacement \leq épaisseur du bâtiment
 - Pour une porosité $> 5 \%$, le couloir ne fonctionne pas.
 - Pour une largeur $> 3 h$, pas de guidage du flux.
 - Hauteur minimum des bras $\geq 6 m$.

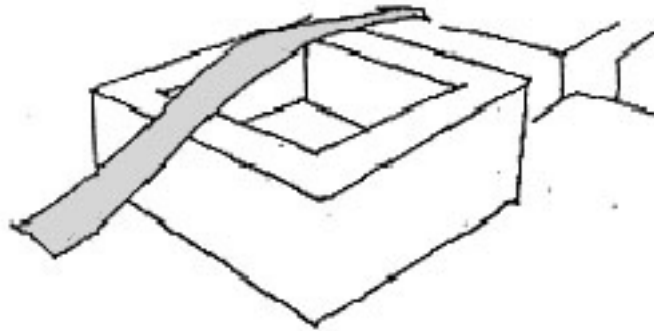
Evaluation de l'effet : Le phénomène est entretenu pour un espacement de 2 fois la hauteur moyenne de la rue.

e- Effet combiné venturi et canalisation : *Fig. 46*

Définition : Il s'agit de l'association d'une place ouverte et d'une rue, la première fait office de collecteur et accélère les flux, la deuxième développe spatialement le phénomène.

Evaluation de l'effet : Coefficient proche de ceux enregistrés pour l'effet venturi seul.

f- Effet de maille ou de cour : Fig. 46,47



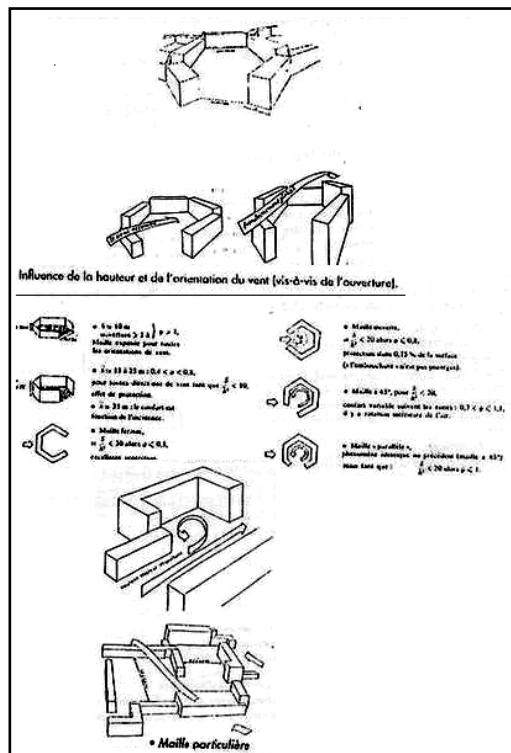
Définition : Configuration appartenant à un tissu urbain homogène et créant une rugosité de sol, tendance générale à l'amélioration des conditions locales du vent.

Condition d'existence :

- Hauteur moyenne $h >$ à l'épaisseur
- L'ouverture ne représente pas plus de 0.25 du périmètre de la maille.

Evaluation de l'effet : Lorsque la maille a une ouverture de 3 fois la hauteur moyenne de 10 m, elle est exposée quelque soit l'incidence du vent pour les autres cas l'effet de protection l'emporte.

Maille sifflet : placée en vantage sur un couloir de liaison telle que : $S/h^2 < 5$, est inconfortable $\psi > 1 \Rightarrow$ rotation globale de l'air.



g- Effet agora : Fig. 49.

Définition : Espace ouvert dégagé soumis à l'exposition directe du vent

Evaluation de l'effet : Pour un espace dégagé de plus de 100 m les effets de l'environnement proche ne se font plus sentir. Les lieux de type place sont dépendant des accès rues et autres éléments de convergence du vent.

VII- Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de cerner les paramètres de l'écoulement de l'air aux alentours des bâtiments, les facteurs influant et le comportement du vent en milieu urbain, nous devons retenir la vitesse et la direction ainsi que les turbulences représentant l'écoulement de l'air affecté par la forme, la disposition des bâtiments, l'espacement entre bâtiment et l'orientation des bâtiments par rapport au vent

Le comportement de l'air en milieu bâti ainsi quantifié et qualifié a été résumé théoriquement suivant les études faites par les chercheurs à des effets-types plus généralisés.