

INTÉGRATION DU PHÉNOMÈNE VENT DANS LA CONCEPTION DU MILIEU BÂTI



TECHNIQUE

INTÉGRATION
DU PHÉNOMÈNE VENT
DANS LA CONCEPTION
DU MILIEU BATI

Cette brochure a été réalisée sous la direction de J.-F. COSTE et M. DUCOURNEAU, chargés de mission au Secrétariat général du groupe central des villes nouvelles, en liaison avec M. TRINITÉ, chargé de recherche au C.N.R.S.

Les recommandations et conseils pratiques contenus dans ce guide sont fondés pour l'essentiel sur les études faites en 1973 et 1974 par la Section Aérodynamique du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (Établissement de NANTES). Ces études ont été menées avec la participation effective de : J. BIETRY, Chef de l'Établissement, J. GANDEMER, Chef de section, Ingénieur aérodynamicien, G. BARNAUD, Ingénieur aérodynamicien, H. MAILLE, Ingénieur électronicien, H. ALAIME, C. ORTION, J. MARY, Techniciens supérieurs, J. MIGOT, Secrétaire.

Les démarches méthodologiques ont été réalisées par le groupe Ambiance Bio-Climatique de MARSEILLE : R. DABAT, A. GUYOT, Architectes, R. PERRIN, Géographe, E. DABAT, Secrétaire.

PREMIER MINISTRE
GROUPE CENTRAL
DES VILLES NOUVELLES
SECRETARIAT GÉNÉRAL

INTÉGRATION DU PHÉNOMÈNE VENT DANS LA CONCEPTION DU MILIEU BATI

GUIDE MÉTHODOLOGIQUE ET CONSEILS PRATIQUES

étude réalisée par :

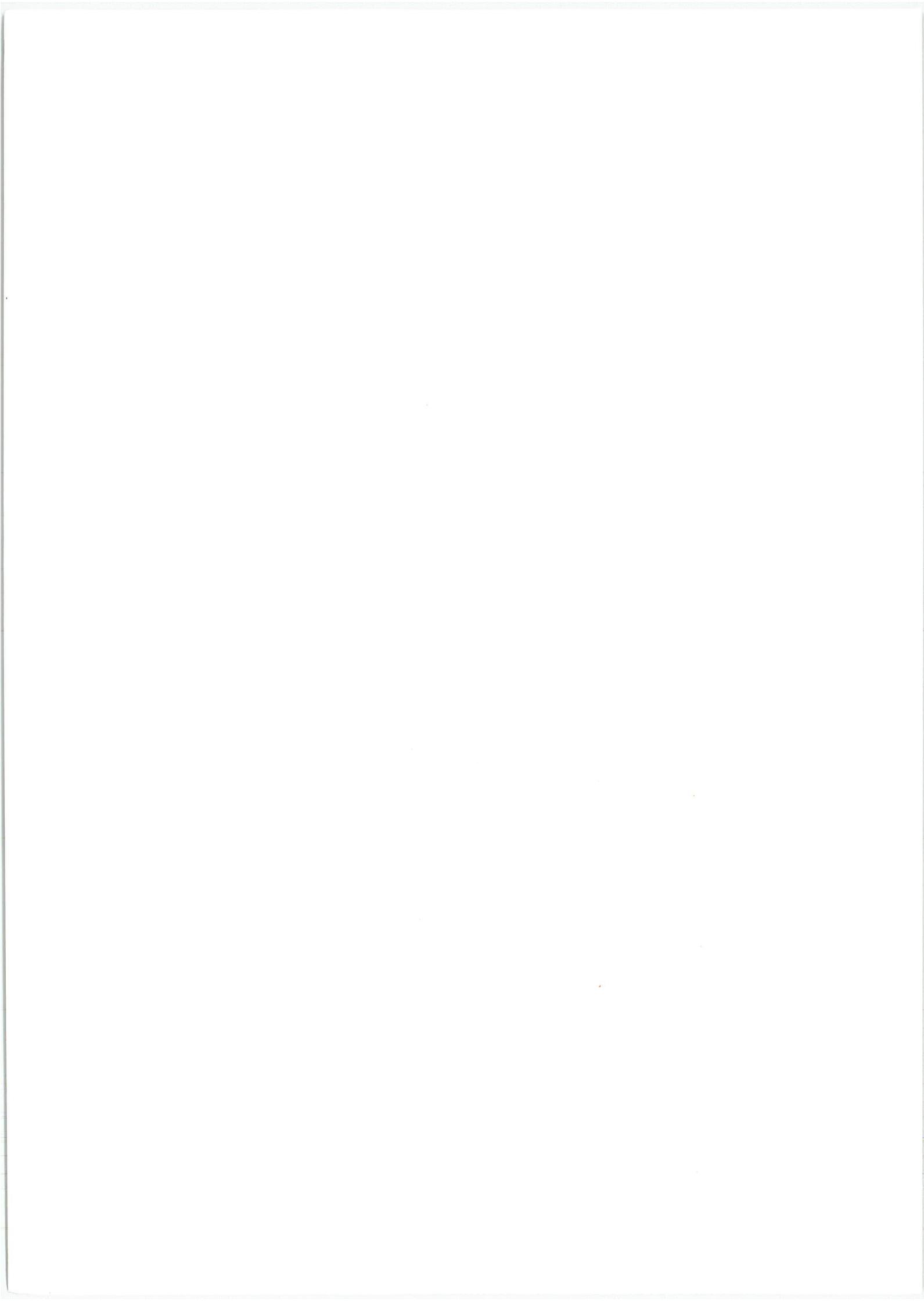
J. Gandemer - ingénieur aérodynamicien
C.S.T.B. Nantes

A. Guyot - architecte
groupe A.B.C. Marseille

décembre 1976

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT
DIRECTION DE L'AMÉNAGEMENT
FONCIER ET DE L'URBANISME

MINISTÈRE
DE LA QUALITÉ
DE LA VIE



avant-propos

De longue date, le paysan pour construire sa ferme, les citadins pour bâtir leur ville ont tenu compte des conditions climatiques locales, et particulièrement des vents dominants; selon le lieu, ils évitaient d'ouvrir les façades au mistral ou au vent d'ouest, et dans les sites ventés, ils implantaient au mieux les maisons pour se protéger des rafales : il fait bon flâner, même par temps de mistral, dans les rues sinueuses du vieil Avignon.

Avec les systèmes de chauffage précaires de l'époque, il est vrai que se protéger du vent constituait un impératif pour maintenir un minimum de confort dans les habitations.

Puis avec l'extension des villes, l'implantation et l'exposition des bâtiments se sont affranchies des conditions climatiques tandis que les moyens de chauffage et de climatisation se perfectionnaient; mais cette plus grande liberté a fait peut-être perdre de vue que le confort des rues, des places, des esplanades, dépendaient aussi de la disposition des bâtiments vis-à-vis du vent.

Enfin, au cours de ces dernières années, la construction de grands ensembles et de tours de grande hauteur a montré que dans certains cas ce type de bâtiment pouvait accroître démesurément la vitesse et la force du vent dans les espaces publics, au point de les rendre tout à fait inconfortables sinon impraticables. C'est ainsi que les responsables de l'aménagement du quartier de la Défense à Paris ont été amenés très vite à chercher à mieux connaître les phénomènes d'écoulement « turbulent » du vent dans les ensembles de grande hauteur afin de mieux les maîtriser.

Avec la tendance actuelle de l'urbanisme qui revient vers la réalisation d'ensembles bâtis de moindre hauteur, on pourrait être tenté de croire que les problèmes de vent sont résolus. Certes pas : l'urbanisme moderne, volontairement plus aéré qu'autrefois, obligé à tenir compte, encore plus qu'auparavant, des caractéristiques des vents pour éviter leurs inconvénients et éventuellement s'en protéger; et ceci d'autant plus que les sites urbanisables disponibles présentent des conditions climatiques de moins en moins favorables.

L'étude de l'écoulement du vent est particulièrement importante dans les lieux publics où le confort est primordial pour le piéton, c'est-à-dire dans les grands espaces de plein air et de sports, mais aussi dans les centres où sont en général concentrées les rues piétonnes, les places, les galeries marchandes... lieux de rencontre et d'animation.

Les précautions à prendre peuvent aller de recommandations de simple bon sens, comme celles d'éviter d'ouvrir une rue ou une galerie marchande au vent dominant, à des dispositions plus subtiles définies par simulation sur maquette en soufflerie : ainsi, l'étude aérodynamique du plan masse du quartier La Rousse à Miramas (Ville Nouvelle de Fos) a été faite en vue de déterminer la meilleure disposition à adopter pour les bâtiments, de façon à abriter les rues et places intérieures contre les vents dominants, tout en conservant un bon ensoleillement.

Les Villes Nouvelles, dont l'un des objectifs prioritaires est d'offrir un cadre de vie de qualité à leurs habitants, se sont préoccupées dès l'origine de tenir compte des phénomènes de vent aussi bien dans la disposition générale des masses bâties que dans les détails de l'organisation des espaces publics.

C'est pourquoi le Secrétariat général du groupe central des villes nouvelles a pris l'initiative de lancer une étude dont l'objectif était d'expliquer les divers phénomènes d'écoulement du vent dans la ville et de mettre en évidence la démarche à suivre pour éviter les désagréments qu'ils peuvent engendrer. Pour mener à bien cette étude, il a d'abord fait le point des connaissances sur la question avec les spécialistes français et étrangers, de l'Université et des principaux laboratoires ou bureaux d'études, au cours de deux séminaires qui se sont tenus en 1975 à la Ville Nouvelle du Vaudreuil, en présence d'aménageurs.

Grâce aux conclusions et avis qu'il a ainsi recueillis, le Secrétariat général du groupe central des villes nouvelles a pu envisager d'élaborer un guide dont il a confié la rédaction simultanément à deux équipes ayant déjà une bonne connaissance de ces problèmes : l'une était constituée de climatologues et d'aérodynamiciens du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment; l'autre était le Groupe ABC de l'Unité Pédagogique d'Architecture associé à l'Institut de Mécanique des Fluides de Marseille.

La complémentarité des disciplines a permis d'aborder les questions sous le double aspect du scientifique et de l'urbaniste, et d'apporter des réponses exprimées dans un langage et sous un éclairage qui se rapprochent le plus possible de ceux de l'aménageur.

La Mission de l'environnement rural et urbain a estimé que cette étude apportait un certain nombre de réponses aux problèmes d'aménagement des espaces collectifs, qui constituent l'une des préoccupations du ministère de la Qualité de la Vie. Elle a souhaité que les résultats de cette étude puissent être publiés et largement diffusés.

Nous voudrions que cette brochure apporte à tous les responsables de l'aménagement les informations utiles pour résoudre les difficultés qu'ils peuvent rencontrer par suite des problèmes de vent, lors de la réalisation de nouvelles constructions ou de nouveaux quartiers.

J.-Ph. LACHENAUD
*Conseiller Référendaire
à la Cours des Comptes
Directeur de la Mission
de l'Environnement Rural
et Urbain*

J.-E. ROULLIER
*Inspecteur des Finances
Secrétaire Général du Groupe Central
des Villes Nouvelles*

préface

C'est en tant que Conseillers Scientifiques à la Ville Nouvelle du VAUDREUIL, et au vu des premiers projets, que nous avons pris conscience des problèmes de confort que pouvait poser l'écoulement du vent dans les espaces piétonniers et les aires de détente. En effet, cette ville nouvelle a laissé une place de choix à ces espaces puisque le réseau de circulation piétonne, situé en majeure partie sur dalle surélevée, est entièrement séparé du réseau de circulation automobile. Or le souci prioritaire au VAUDREUIL était la réduction au maximum des nuisances. De ce fait, nous nous sommes posés le problème de savoir si sur cette dalle, les promeneurs ou les enfants pourraient tranquillement flâner ou jouer sans rencontrer en certains endroits des courants d'air désagréables. Il faut toutefois préciser qu'il s'agissait ici d'un site assez peu exposé au vent.

Des contacts que nous avons alors eu avec les urbanistes déjà sensibilisés à ces problèmes, il est ressorti le besoin urgent d'un guide méthodologique et de conseils pratiques permettant d'introduire cette préoccupation « vent » dès l'esquisse d'un premier projet. Les études les plus avancées n'avaient pas encore permis l'élaboration d'un tel document.

Le problème en fait était double. Tout d'abord, un problème scientifique pur. Il s'agissait de savoir si on pouvait prévoir les zones d'inconfort avec une bonne précision, en particulier en utilisant la simulation sur maquette. Le second problème concernait l'architecte. Comment pourrait-il traduire dans son projet les résultats scientifiques et comment pourrait-il trouver un langage commun avec le scientifique? Ce dernier point est d'une importance extrême lorsqu'entre en jeu la pluridisciplinarité.

Afin de bien circonscrire ces problèmes, deux séminaires ont été organisés à la Ville Nouvelle du VAUDREUIL par le S.G.G.C.V.N. (1). C'est au cours de ces réunions que la décision du lancement de l'étude et de la réalisation de ce guide a été prise.

Le premier séminaire qui a eu lieu en avril 1975 réunissait des scientifiques universitaires français et étrangers, des représentants de laboratoires ou bureaux d'études spécialisés dans la simulation sur maquettes (2) et quelques urbanistes chargés de poser les « bonnes questions » aux scientifiques. Il a permis de faire le point des connaissances scientifiques dans ce domaine et de mettre en lumière les aspects fondamentaux des phénomènes physiques à prendre en compte dans les projets. Le second, deux mois plus tard, réunissait principalement les urbanistes des Villes Nouvelles et des aménageurs (3) avec quelques scientifiques et avait justement pour but la recherche de langage commun entre eux.

Il a fallu toute la fougue et l'expérience de J. GANDEMER, aérodynamicien, et toute l'ouverture d'esprit de A. GUYOT, architecte, pour arriver à la réalisation de cet ouvrage.

Ce guide repose d'une part sur des recherches menées en laboratoire où plusieurs dispositions types de bâtiments ont été étudiées en simulation. Pour cette simulation la restitution des caractéristiques turbulentes du vent influencées par l'environnement proche avaient été soigneusement reproduites. Les anomalies mises en évidence ont aussi été remarquées sur le terrain. D'autre part c'est à partir d'une expérience pluridisciplinaire en vraie grandeur liant des architectes, des climatologues, des aérodynamiciens que la méthodologie a été mise au point.

Le lecteur qui pense trouver ici un certain nombre de recettes faciles à mettre en œuvre après un rapide parcours de l'ouvrage sera peut-être déçu. En effet, l'écoulement turbulent du vent dans les ensembles bâtis est un phénomène complexe et il est indispensable d'acquiescer d'abord un certain nombre de notions de base afin d'être bien imprégné par ce qu'implique la prise en compte de la contrainte « vent » dans un projet.

(1) Secrétariat Général
du Groupe Central
des Villes Nouvelles

(2) — Laboratoire National
d'Hydraulique de l'E.D.F.
— Laboratoire EIFFEL.
— Société ALSTHOM,
technique des fluides.
— Société SÉCURIPOL.
— Société BERTIN.
— C.S.T.B. de NANTES.
— Institut de Mécanique
des fluides à MARSEILLE
(M. VALENSI)

(3) Dont l'Établissement
public pour
l'aménagement
de la Défense.

En particulier les détails relatifs à la notion de confort et au calcul de la fréquence d'inconfort au rapport avec la statistique météorologique peuvent paraître fastidieux, mais ils sont essentiels si on veut pouvoir juger de l'efficacité d'une telle démarche. Il faut bien comprendre qu'une recherche très poussée de confort peut se transformer en total inconfort lorsque les conditions météorologiques s'écartent beaucoup de la « normale ». Ceci a été largement constaté en juin 1976 durant la chaleur exceptionnelle. Des zones particulièrement protégées du vent ont pu se révéler de véritables fournaises. Le tout est une question de fréquence admissible et la qualité du « recalage » à la statistique météorologique locale est très importante.

Le plus difficile pour le concepteur, l'urbaniste ou l'architecte qui va consulter cet ouvrage est peut-être de savoir quelles en sont ses limites d'utilisation et quand faire entreprendre une étude complète par un laboratoire spécialisé disposant de moyens de simulation appropriés. Si l'objectif est d'éviter les survitesses importantes provoquées par des dispositions malheureuses, si le site est peu exposé au vent, alors l'utilisation de ce guide doit suffire. Mais si une protection particulièrement poussée est recherchée on sera amené à faire entreprendre une étude avec simulation. Il est bien évident que pour cette étude soit efficace il faut que dans le projet qui sera mis en maquette, les conseils pratiques aient déjà été convenablement intégrés.

Pour être significative, la simulation sur maquette doit être une démarche scientifique très soignée. Il ne s'agit pas de se contenter d'une visualisation spectaculaire, l'étude doit être quantitative. La restitution sur la maquette de l'environnement amont est d'une très grande importance tout comme la restitution de l'environnement très proche allant jusqu'au mobilier urbain; plusieurs Villes Nouvelles ont déjà procédé ou procèdent à des essais en soufflerie pour certains de leurs quartiers : Z.A.C. la ROUSSE dans la Ville Nouvelle de FOS, centre du PUISEUX à CERGY-PONTOISE, centre de LILLE-EST.

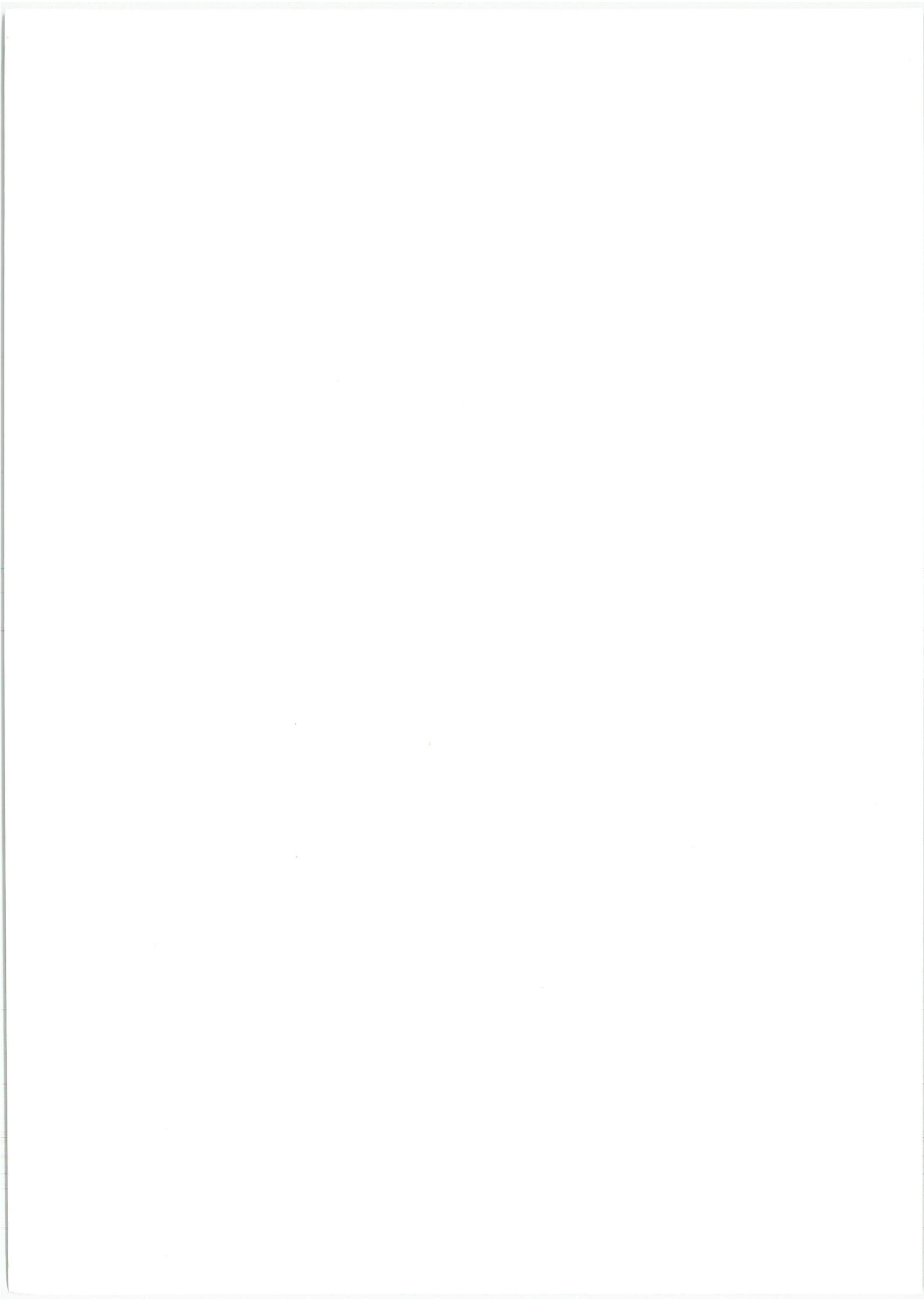
Dans le domaine de la précision de la simulation, il est certain que des progrès restent à faire; cela est du ressort de la recherche, des expériences sont d'ailleurs en cours à ce sujet. Ainsi à la Ville Nouvelle du VAUDREUIL, se termine actuellement une étude en soufflerie dont l'objectif principal est la comparaison des résultats obtenus en soufflerie avec ceux préalablement mesurés sur le site déjà construit.

Incontestablement ce guide, s'il est bien compris doit permettre aux urbanistes d'acquérir les réflexes nécessaires à la prise en compte du phénomène « vent » dans les espaces piétonniers. Sa parution doit apporter un réel progrès. Il est à souhaiter que dans ce domaine la publication d'autres guides de préoccupations voisines soit entreprise. En particulier, le vent intervient dans l'évacuation des rejets gazeux issus des immeubles et une absence totale de courants d'air en certains endroits peut être très néfaste. Le vent est aussi le principal paramètre, en plus de la température qui intervient dans la déperdition calorifique des locaux et les économies d'énergie qui sont maintenant nécessaires rendent ce problème d'actualité.

Michel TRINITÉ
Chargé de Recherche au C.N.R.S.

table des matières

introduction	I	3
méthodologie	II	5
le vent : ses caractéristiques, son comportement	III	17
critères du confort	IV	27
calcul de la fréquence d'inconfort	V	35
aérodynamique du vent dans les ensembles bâtis conseils pratiques	VI	41
moyens d'intervention pour le contrôle du vent « après conception »	VII	103
tableau synoptique de la méthodologie	VIII	111
coût	IX	115
conclusion	X	117
annexes	XI	119



introduction

Parmi les différents facteurs, le vent peut être une cause déterminante du désagrément ressenti par les habitants dans les espaces extérieurs en raison de sa fréquence et sa force, parfois accrue par la disposition du bâti environnant.

L'acuité du phénomène vent dans un projet va être définie par les données climatiques, la localisation du site, compte tenu de la topographie, le type de construction envisagé, et, enfin, les activités à insérer dans le plan masse. Nous avons voulu fournir aux concepteurs et urbanistes, une manière d'aborder et d'intégrer le phénomène vent dans le processus d'aménagement.

La méthodologie proposée repose sur l'expérience d'une équipe pluridisciplinaire (architectes*, climatologues, aérodynamiciens***) rodée à ces démarches.

Nous insistons sur le fait que dans nos propos, le parti pris est de considérer uniquement le vent : ainsi, les autres aspects climatiques, de même que le point de vue acoustique ou encore celui de l'ensoleillement ont résolument été laissés de côté. Par conséquent, il est possible que certaines solutions proposées dans le guide s'opposent à une optimisation acoustique ou d'ensoleillement dans le plan masse. Sur l'importance réciproque des différents facteurs qui conditionnent « l'ambiance urbaine », nous renvoyons directement à l'arbitrage des aménageurs et des architectes.

Ce guide donne un certain nombre de règles simples ou de conseils pratiques visant à éviter ou réduire les grosses anomalies aérodynamiques susceptibles de se développer dans les espaces extérieurs (1). Il est même proposé, dans un certain nombre de cas, des moyens simples de contrôler le champ de vitesse et, par suite, le confort entre les ensembles bâtis. L'étude des anomalies aérodynamiques ainsi que leur quantification sont issues d'expériences poussées menées en soufflerie reproduisant les caractéristiques du vent naturel. Ces essais, dont les résultats ont pu être confirmés lors d'expériences en vraie grandeur, ont été menés avec le souci constant d'une application directe aux cas réels. De plus, on explique la méthode de passage entre une estimation théorique de l'inconfort d'une anomalie et la fréquence de gêne que l'on aurait réellement compte tenu du site. Il faut bien préciser que le guide reste un « outil » de travail, qui ne prétend nullement résoudre tous les problèmes aérodynamiques susceptibles d'apparaître dans les plans masse et que, tout essai spécifique « du » plan masse fournira un degré d'information et de précision meilleur. D'ailleurs, l'un des buts du guide est aussi d'indiquer les limites au-delà desquelles des essais en laboratoire sont nécessaires.

L'objectif poursuivi se situe bien dans une optique essentiellement préventive de la gêne causée par le vent dans les espaces urbains. L'aspect curatif est relativement peu traité. Nous pensons cependant qu'il ne faut pas sous-estimer les possibilités d'interventions curatives. Elles peuvent être très utiles pour corriger une situation d'inconfort dans des espaces existants, ou encore comme éléments complémentaires d'intervention lors d'une optimisation poussée d'un plan masse (par exemple pour d'autres secteurs de vent que celui des vents dominants). Ainsi, un guide spécifique donnant les principaux moyens pour contrôler localement les effets du vent pourrait être envisagé. Bon nombre d'exemples sont d'ailleurs présentés dans le chapitre VII.

J. BIETRY-J. GANDEMER
(C.S.T.B., Nantes)

R. DABAT-A. GUYOT
(groupe A.B.C., Marseille)

(*) Groupe A.B.C. et
C.R.M.A.A.

(**) C.S.T.B., C.R.M.A.A.

(1) Ces règles et ces conseils s'appliquent à chaque phase de la démarche conceptuelle, depuis la définition des volumes d'ensemble, jusqu'au détail architectural. Leur présentation doit permettre aux architectes et aux aménageurs une meilleure et plus précoce prise en compte des phénomènes liés au vent.



Roger Viollet

méthodologie

II

			7
	préambule		7
	échelle et niveaux d'étude	1	7
	déroulement d'une étude	2	8
	les intervenants	3	14

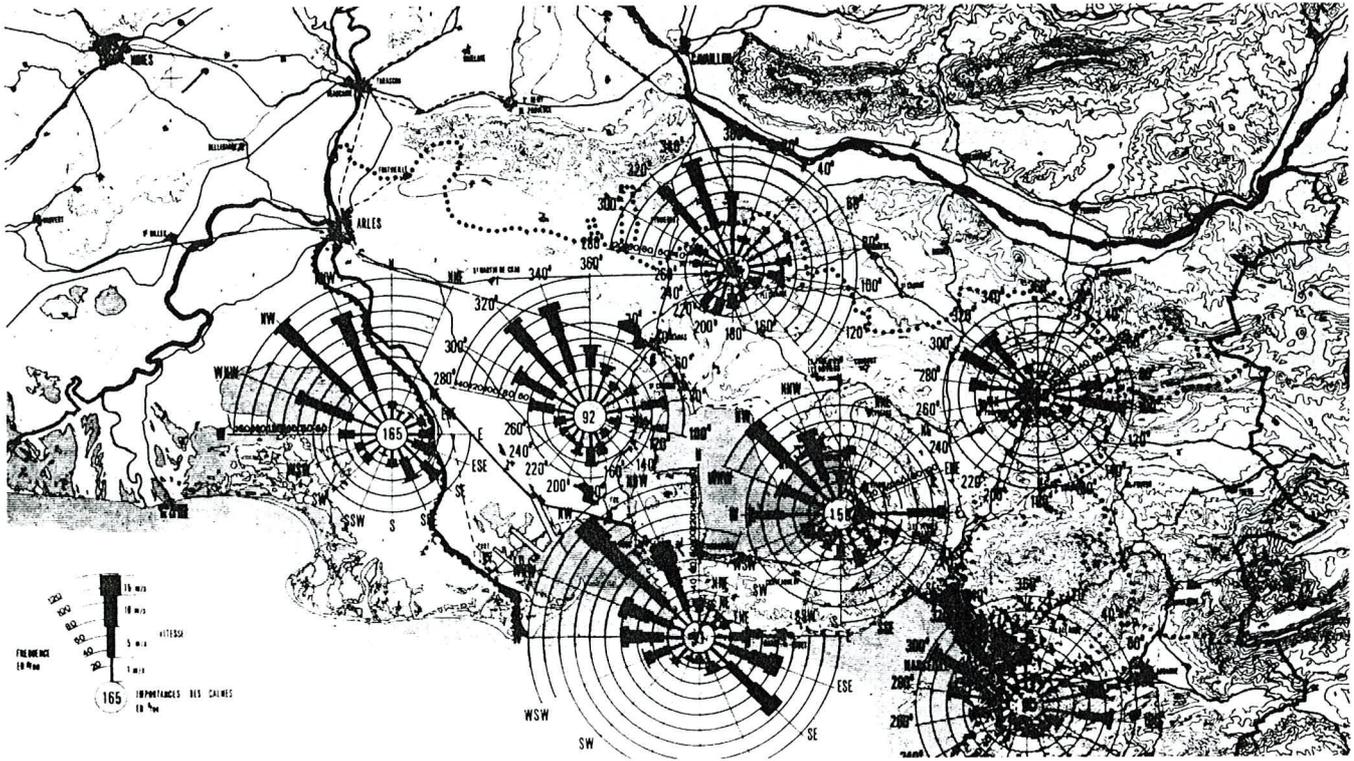


Figure II-1.

Préambule

L'objet de ce chapitre est de :

- connaître les différentes *échelles d'étude* et leur *domaine d'application*. Elles définiront le cadre des interventions, l'importance qui leur sera accordée ainsi que la finesse des informations à obtenir. Celles-ci seront différentes pour l'élaboration d'une Z.A.C. (échelle de la ville) ou d'une construction seule (échelle du projet);
- proposer une ou plusieurs *démarches d'approche* pour la maîtrise du phénomène vent (synopsis ou organigramme, pondération des difficultés...);
- développer le *déroulement d'une étude* et les *niveaux de traitement dans le processus de conception*, c'est-à-dire depuis l'organisation volumétrique globale d'un projet (épannelage) jusqu'à l'étude locale d'un brise-vent particulier;
- préciser les *relations* au sein d'une *équipe de travail pluridisciplinaire*.

*Optique préventive
et non curative
dans la conception*

Échelle et niveaux d'étude 1

Échelle des études - leur domaine d'application

On peut distinguer quatre grands niveaux de préoccupation appropriés aux échelles d'étude :

Échelle nationale

Une carte nationale indiquant en module et direction tous les vents, est en cours d'élaboration (*) et pondère en 1^{re} approche le phénomène vent au niveau de la France, compte tenu de l'orographie (zones montagneuses ou maritimes).

(*) Étude C.S.T.B.

Échelle régionale

Une carte de la région peut être établie à partir des différentes stations météorologiques. Les roses des vents qui leur correspondent donnent les fréquences, y compris les calmes, en fonction des vitesses et des directions (cf. carte n° 1). Elles permettent de situer le ou les vents dominants dans la région de la station concernée. Là encore, il faut être conscient des limites d'exploitation de ces informations, car suivant le site étudié pour l'établissement d'un projet, les effets de site, ou la rugosité générale en amont du projet, peuvent modifier sensiblement le comportement du vent au niveau du sol. Ces deux échelles se situent au niveau de la planification régionale.

(*) Le mot est employé dans son sens réel, c'est-à-dire rapport de pleins et de vides dans un volume donné.

Échelle locale (ou échelle du site)

A partir de ce niveau, il n'existe aucun document directement exploitable par l'aménageur ou l'architecte. On travaille à l'échelle urbaine, échelle de la ville ou des grandes zones de construction. Il peut être alors nécessaire d'implanter un ou plusieurs postes météorologiques afin d'obtenir un échantillon d'informations représentatif des vents dominants dans le site considéré (les moyens d'investigation seront développés plus loin). Il s'agit ici d'évaluer la capacité potentielle des sites, afin d'optimiser les choix de densité (*) pour un plan d'aménagement de zone sur des terrains à fort relief, il est intéressant d'établir une carte par unité de site (secteur exposé, secteur abrité...).

Échelle du projet (ou échelle des bâtiments)

C'est à cette échelle d'étude que l'architecte se trouve confronté à la formalisation du projet. Il s'agit d'optimiser l'implantation générale des espaces bâtis et non bâtis, et d'opérer aux différents niveaux de traitement dans le processus de conception.

Ce souci d'adapter le projet vis-à-vis du critère vent peut aller jusqu'à l'étude de détail d'un accès d'immeuble, d'un patio ou d'un brise-vent particulier.

2 Déroulement d'une étude

2.1. Démarches d'approche

Chaque étude garde son caractère propre par :

- sa situation géographique régionale ou locale;
- l'identité de son programme;
- l'expression plastique propre à l'architecte;
- les moyens financiers disponibles...

De ce fait, le jeu des INTERVENTIONS et des INTERVENANTS aura un poids variable dans la conception d'un projet ainsi que dans les moyens mis en œuvre. Une étude de site pourra exiger une analyse plus ou moins fine suivant la morphologie du terrain... Autre exemple : s'il s'agit de l'aménagement d'un espace de loisir au milieu des constructions existantes, donc impossibilité d'intervenir sur le bâti, l'accent des études sera mis sur la conception des aménagements au niveau du sol tels : mouvements de sol, brise-vent végétal ou minéral, mobilier urbain, etc.

On peut distinguer deux démarches :

- la démarche dialectique;
- la démarche traditionnelle.

La démarche dialectique tient compte de l'évolution des idées et des besoins dans le temps (Idéologie Villes Nouvelles); par cela elle s'oppose à l'optique du plan masse à caractère figé.

Son fonctionnement s'avère beaucoup plus complexe, car elle considère le problème dans son ensemble. Elle confronte simultanément des échelles différentes. Elle permet d'appréhender des niveaux de traitement et des choix très différents (ex. : études parallèles entre le choix d'une structure urbaine et le choix d'une typologie de l'habitat; expérience en cours pour l'une des villes nouvelles).

La deuxième démarche, traditionnelle, va du général au particulier : elle est de manipulation plus facile et permet d'arrêter des choix à chaque phase nouvelle. Elle réduit au fur et à mesure les hypothèses.

Il n'est pas possible dès lors de proposer une démarche simple, car les expériences dans ce domaine restent limitées.

S'il n'est pas possible de proposer une méthode d'approche unique. Par contre il est intéressant de développer le « jeu de la conception ».

C'est-à-dire définir plusieurs niveaux d'étude comportant un ensemble de préoccupations et d'actions, quelle que soit la démarche adoptée :

- choix et connaissance du site;
- conception urbaine;
- conception d'un projet;
- conception d'aménagements locaux
(cf. Tableau synoptique, chapitre VIII).

2.2. Études préliminaires

On peut dégager trois éléments importants qui définiront l'acuité des problèmes posés par le vent, avant la phase de conception proprement dite :

Connaissance du programme

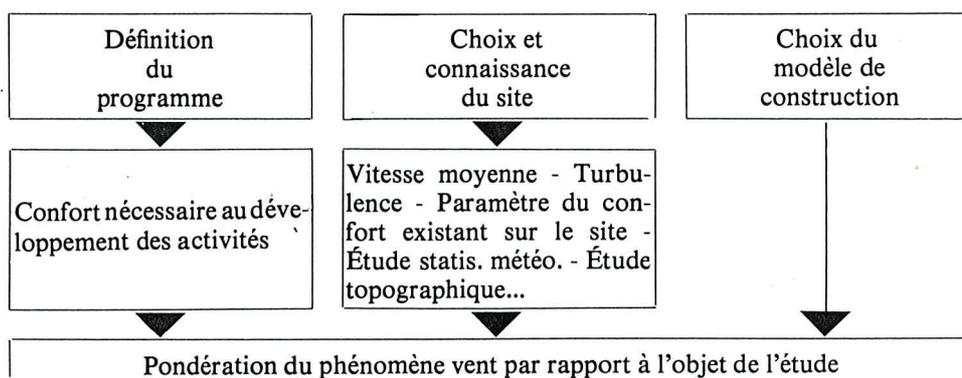
La définition des activités et leur classement préalable vont permettre de connaître la plage de confort qui leur est associée. Chaque type d'activité détermine un espace, et à chaque espace sera affectée une fréquence d'inconfort admissible (cf. notions de confort, ch. IV).

Choix et connaissance du site

La connaissance topographique du site et de son environnement définira le(s) vent(s) le plus contraignant en direction, force et fréquence. Dans le meilleur des cas on pourra choisir un site plutôt qu'un autre suivant son degré d'exposition au vent.

Modèle de construction

Le choix du type de construction permettra de présager des éventuels accidents aérodynamiques; par exemple, le problème sera différent s'il s'agit de constructions pavillonnaires ou d'un semis de tours.



Ces études préliminaires permettent de prendre en compte l'importance des études de vent à mettre sur pied.

*L'analyse du site
reste le point de départ
à toute information.*

2.3. Choix et connaissance du site

Quels seront les descripteurs qui définiront un aménagement?

L'habitat existant : il permet de définir le(s) vent(s) gênant, qui n'est pas forcément le vent dominant (conjugaison vent et pluie sur les façades).

- La rugosité amont : elle donne l'appréciation générale et l'histoire du (des) vents(s) contraignant(s) (campagne, banlieue, ville) (cf. chapitre III).
- L'effet de site : il détermine et modèle les écoulements, car le vent n'aura pas du tout le même comportement sur terrain plat ou à fort relief.
- La connaissance météorologique : elle fournit les données statistiques des vents en direction et module.

Quels seront les moyens d'investigations?

Campagne de mesures? Laboratoire?

- 1) Si la station météo est représentative du terrain (cf. fréquence d'inconfort chapitre IV), une simple lecture des données statistiques suffira.
- 2) Dans le cas contraire, on établira une corrélation à l'aide d'anémomètres sur un mât afin de s'affranchir de l'effet de masque acci-

dentel, entre le site étudié et la station la plus proche (en effet, les données au niveau piéton seront largement différentes une fois l'aménagement réalisé).

3) Si le terrain s'avère tourmenté, il sera intéressant d'opérer avec plusieurs mâts afin d'avoir un champ de vitesses représentatif de l'ensemble du site.

4) L'expérimentation en laboratoire permettra de visualiser les écoulements sur maquette et éventuellement de retracer le champ de vitesse existant sur l'ensemble du terrain. D'une façon générale, le recalage sur site est toujours souhaitable.

Qui intervient?

Une équipe de travail, fournissant une assistance conseil de spécialistes en climatologie et en aérodynamique, permettra d'orienter efficacement les interventions, d'expérimenter et d'interpréter les informations météorologiques et de simulation en soufflerie.

2.4. Niveaux de traitement dans le processus de conception

Niveau 1 : Épannelage général

L'étude des masses bâties et leur répartition dans l'espace jouent un rôle dans le comportement général de l'écoulement du vent. Les études sur la plage du Prado à Marseille et sur la Z.A.C. La Rousse à Miramas en fournissent l'illustration.

Les principaux paramètres descripteurs sont :

a) *Densité - maillage tridimensionnel*

La répartition au sol des constructions représente une rugosité qui agit sur le comportement des principales lignes de courant; plus la rugosité est forte, c'est-à-dire dense, moins le plan masse est globalement pénétré par le vent.

b) *Hauteur moyenne*

Les constructions représentent des obstacles au vent plus ou moins élevés qui peuvent engendrer soit des protections en aval, soit des accidents aérodynamiques.

c) *Profil* : longitudinal par rapport au vent - transversal par rapport au vent.

Les profils, aussi bien longitudinaux que transversaux, ont une influence sur les écoulements.

d) *Orientation par rapport au vent*

L'orientation des mailles bâties a une influence sur le confort global.

Quelle que soit la démarche adoptée, l'aménageur ou l'architecte doit reconnaître les différents niveaux de traitement associés au processus de conception, une fois la phase analytique terminée (c'est-à-dire programmation et connaissance du site).

e) Porosité, maître couple

Phénomène d'amortissement de l'énergie et phénomène de masque.

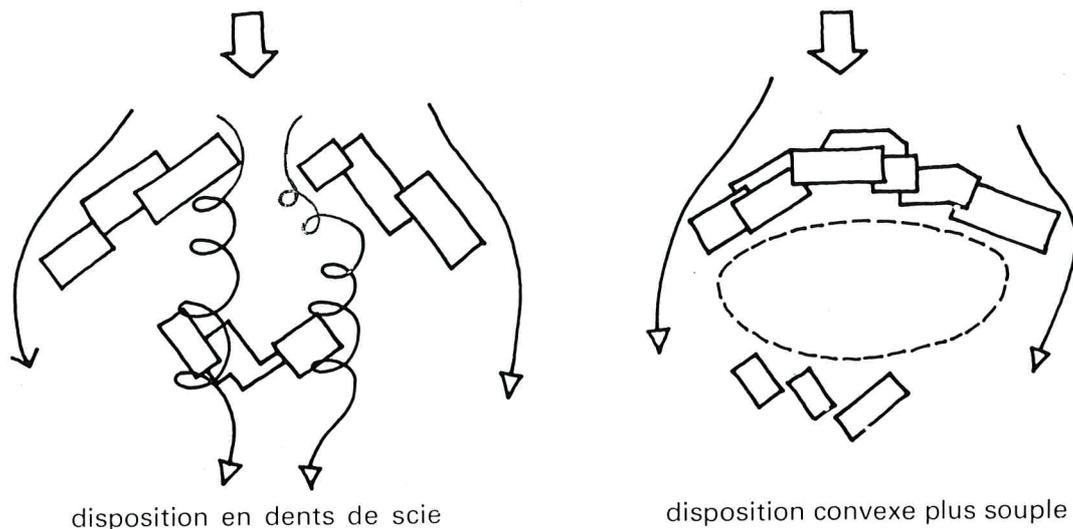


Figure II-2.

Le souci d'intervenir au niveau de l'épannelage, par le jeu des implantations des grandes masses bâties permet :

– d'infléchir les écoulements généraux;

– de réduire les vitesses moyennes sur l'ensemble du projet.

Il permet, en somme, d'assurer un confort global.

Une morphologie d'ensemble présentant un profil transversal en dents de scie avec des arêtes vives et des brèches engendre des zones perturbées sur une longue distance. Par contre, un profil plus souple en arc convexe face au vent (forme de dune) peut assurer une meilleure protection en aval.

N.B. Il est important de considérer ces comportements généraux des flux en superposant les éventuels effets de site, plus ou moins déterminants suivant la topographie environnante.

Niveau 2 : formes et dispositions des constructions

Des écoulements critiques pour le confort du piéton peuvent être engendrés par la façon dont les bâtiments sont associés, ou même par le volume d'un seul bâtiment. Ce genre de phénomène a pu être ressenti à l'angle des immeubles, dans une rue étroite, etc.

Pour cela, il est important de savoir reconnaître les anomalies aérodynamiques provoquées par les bâtiments. Il faudra aussi trouver des propositions permettant de réduire ou d'inhiber ces effets en fonction du vent et en choisir une qui soit compatible avec les critères autres que le vent.

Dans ce but, le répertoire de ces anomalies est présenté plus loin (cf. conseils pratiques, chapitre VI).

Les principaux paramètres descripteurs sont :

- proportions;
- volumes;
- espacements;
- formes.

Niveau 3 : Traitement du détail du bâti

L'intervention est beaucoup plus fine car on s'intéresse aux composants des façades, qu'il s'agisse des percements, du jeu des décrochements (loggias, balcons, superstructures...).

Le jeu de ces composants offre une rugosité de façades qui peut avoir pour effet soit *d'absorber une partie de l'énergie du vent*, soit *de canaliser certains flux* et de les rejeter sur des espaces non gênants pour le piéton.

Un autre aspect de l'effet du vent peut apparaître, c'est la résonance acoustique de certains matériaux (volets, menuiseries...).

En ce qui concerne le jeu des percements, quelques exemples sont donnés dans le chapitre « anomalies et conseils pratiques ».

Les principaux paramètres sont :

- percements;
- décrochements;
- rugosités de façade.

Niveau 4 : Aménagements de surface au sol complémentaires

Lorsque les possibilités d'intervenir sur l'implantation et la forme des bâtiments sont épuisées, il peut encore se produire des phénomènes inconfortables pour le piéton. De ce fait, des études locales et complémentaires peuvent être nécessaires. Dans cette optique, il faudra *utiliser des aménagements particuliers qui auront pour rôle de protéger les espaces, soit par absorption de l'énergie, soit par déflexion des lignes de courant* (cf. fig. II-3).

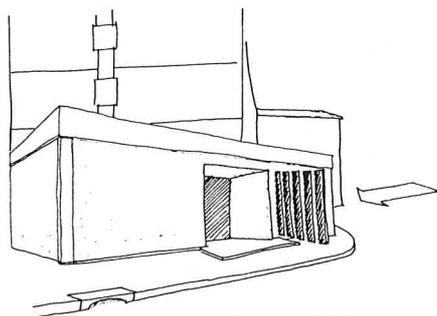


Figure II-3.
Protection d'un accès:
par claustra.

L'inventaire des moyens d'action reste très ouvert en ce qui concerne le mobilier urbain. On peut donner à titre d'exemple quelques éléments pouvant le constituer :

- mouvements de terre, talus;
- brise-vent minéral ou végétal;
- association de végétaux;
- combinaison talutage et végétation.

Il sera intéressant à ce sujet, d'établir un document plus complet. Quelques éléments de base sont fournis cependant dans le chapitre VII sur les brise-vents.

3 Les intervenants

3.1. Relations entre intervenants

Lors d'une étude d'aménagement sur une zone urbaine ou un ensemble bâti comportant des espaces extérieurs, le rôle de l'architecte (*) est de :

() Ce vocable définit toutes les personnes dont le rôle et la compétence consistent à formaliser sur le terrain tous les aménagements urbains, étant donné que les personnes appelées à remplir ce rôle peuvent le faire à des titres divers : urbanistes, aménageurs, architectes, ingénieurs, agronomes, selon la nature des ouvrages ou des espaces aménagés.*

- déterminer la localisation des activités suivant des critères fonctionnels, sociaux, économiques, plastiques...
- fixer l'implantation des bâtiments et des espaces extérieurs adjacents suivant des impératifs techniques, économiques...
- décrire les matériaux à utiliser;
- choisir des systèmes fonctionnels d'ambiance pour les espaces intérieurs et extérieurs.

Les responsabilités découlant de ces missions sont lourdes, si bien que l'on a constaté, depuis plusieurs années, l'apparition de bureaux d'études techniques auprès des architectes, dont les compétences sont jusqu'ici surtout techniques, et qui leur apportent une garantie quant à la qualité des ouvrages.

On constate aujourd'hui que certains problèmes, sans être totalement ignorés, sont mal perçus et que leur prise en compte n'est pas satisfaisante. Parmi ces problèmes, dans certaines régions, les nuisances dues au vent sur les espaces extérieurs commencent à être traitées d'une façon sérieuse et rationnelle. Dans plusieurs pays, et notamment en France, à l'initiative d'architectes, les aérodynamiciens ont alors posé le problème en termes corrects et provoqué la réalisation d'outils de simulation adéquats. Cette rencontre a permis à certains architectes très motivés d'approfondir les problèmes liés au vent dans les ensembles habités en travaillant étroitement avec les climatologues, les paysagistes, ce qui dans la démarche de conception pouvait être justiciable de l'aérodynamique et inversement.

Cette démarche est en cours, et concerne encore un nombre limité de personnes dans le monde. Quelques équipes de ce type existent en France. Elles ne sauraient en aucune façon se substituer ni aux architectes (urbanistes, aménageurs, ingénieurs) ni aux aérodynamiciens spécialisés dans les études d'aménagement. Leur rôle consiste à servir de truchement ou d'interprète entre le langage formel de l'architecte et celui des aérodynamiciens, en intégrant au passage les notions de climatologie appliquée à l'aménagement. Dès lors, les relations entre intervenants sont claires et mettent en évidence la nécessité d'intégrer ces notions dès la conception d'un aménagement.

La coordination interdisciplinaire permet alors l'optimisation des choix et leur fiabilité dans le déroulement des études.

3.2. Définition sommaire des prestations fournies par les différents intervenants

Laboratoire en aérodynamique

Équipé pour ces problèmes, il fournit l'outil de simulation (système hydraulique ou aéraulique suivant le cas). Il interprète les phénomènes aérodynamiques au sein des ensembles construits. Il donne les indications nécessaires au respect des conditions de simulation (échelle des maquettes, conditions aux limites...). Il donne éventuellement des éléments d'analyse de site.

Groupe de recherche ou bureau d'étude en climatologie (appliquée à l'architecture)

Il est composé d'architectes, aménageurs, climatologues et chercheurs, qui peuvent fournir :

- une assistance permanente aux différentes phases des études (choix d'une démarche, connaissance climatique...);
- une aide à la conception dans les choix urbanistiques ou architecturaux par rapport au vent.

Laboratoire météorologique

Il étudie les phénomènes atmosphériques et peut fournir :

- les données statistiques des enregistrements du vent (direction, vitesse moyenne, fréquence...);
- les éléments d'interprétation des données météo;
- les éléments d'analyse de site.

Paysagiste

Il conçoit l'aménagement végétal des espaces extérieurs; il peut définir leur organisation en se servant du mobilier urbain, des mouvements de terre, des végétaux... Il donne les recommandations nécessaires pour le choix des végétaux suivant leur degré d'exposition au vent.

Urbaniste-architecte

Il définit la structure urbaine et formalise l'ensemble du projet en utilisant les informations fournies par les différents intervenants.

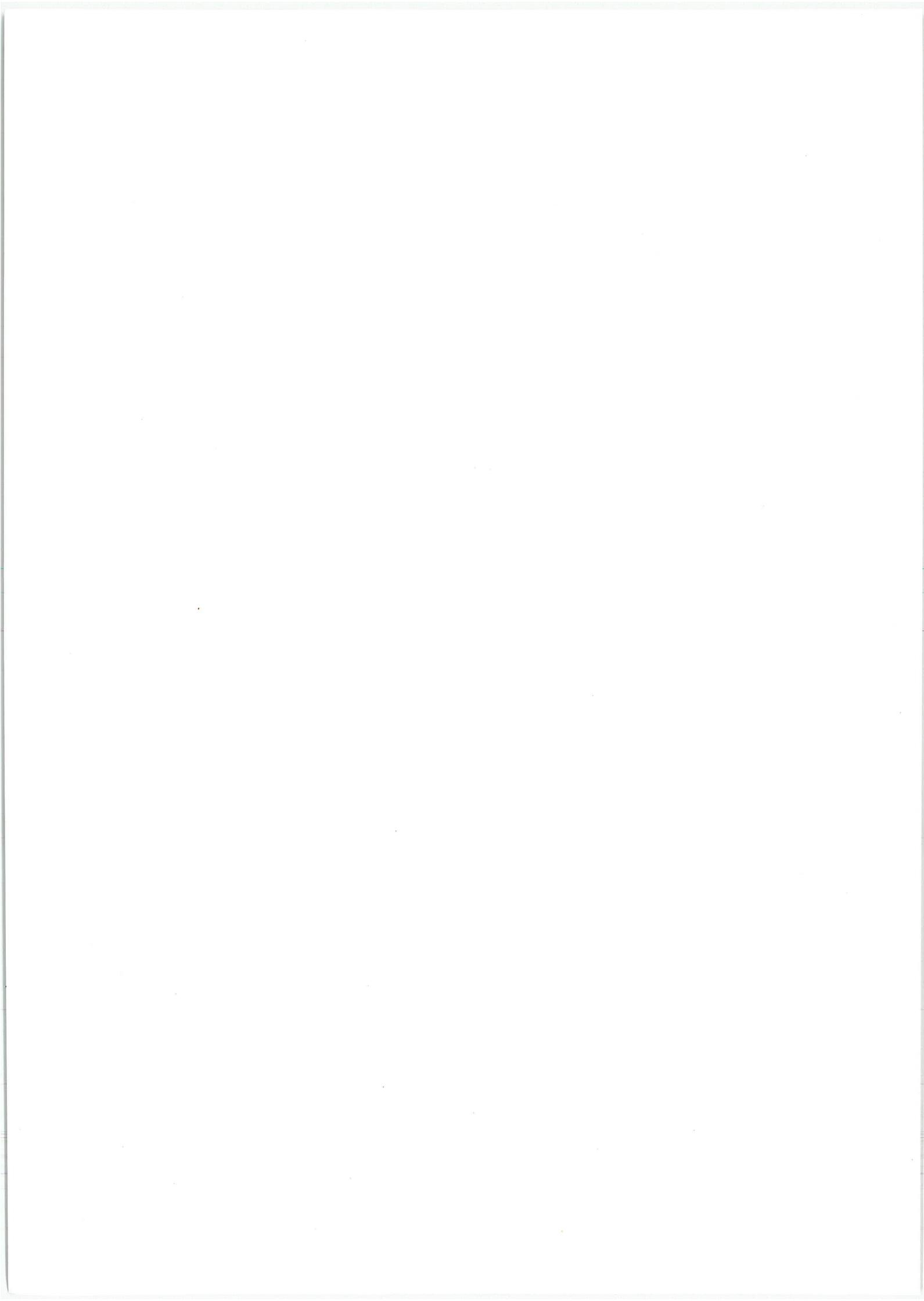


Roger Viollet

le vent : ses caractéristiques, son comportement

III

les caractéristiques du vent	1	19
le site et le vent	2	22
le comportement du vent autour des constructions	3	22



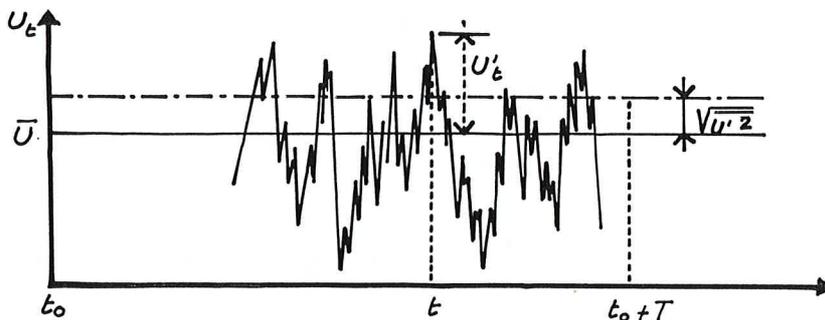
Nous allons essayer de clarifier dans ce paragraphe, ce que nous appellerons « vent » ou « *phénomène vent* » pour l'aménageur, et préciser les différentes échelles de préoccupations de l'urbaniste.

Les caractéristiques du vent 1

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

Aux faibles hauteurs (dans les premiers 500 mètres), il présente une « agitation » ou turbulence importante. Ainsi, en un point donné, la vitesse du vent va fluctuer en grandeur et direction.

Ce type d'écoulement est très différent de celui rencontré par les avions à des altitudes supérieures où l'air peut être considéré en écoulement laminaire (*) (écoulement régulier uniforme, très peu turbulent).



La vitesse instantanée du vent en un point (hauteur z) peut s'exprimer sous forme de la somme de deux termes :

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

où \bar{U}_z est la vitesse moyenne (***) sur une période T (10 minutes par exemple) à la hauteur z au-dessus du sol et $U'_z(t)$ la fluctuation correspondante variable avec le temps t .

La turbulence, c'est-à-dire la variation de la vitesse autour de sa valeur moyenne (sur une période T) peut être statistiquement caractérisée par son écart-type $\sigma = \sqrt{\bar{U}_z^2}$ (racine carrée de la valeur moyenne sur la période T du carré de la fluctuation). L'écart-type donne une quantification de la dispersion des valeurs de la vitesse autour de la valeur moyenne.

Dans le cas de relief non montagneux, la vitesse moyenne est faible au niveau du sol à cause du frottement au contact du sol et de ses aspérités (végétation, constructions, etc.) et croît avec la hauteur jusqu'à une cote z_G (dite épaisseur de la couche limite atmosphérique) où elle devient constante et égale à \bar{U}_G (« vitesse du gradient ») vitesse indépendante du site rencontré par le vent.

Le vent est un écoulement turbulent caractérisé par une vitesse moyenne, une intensité de turbulence et une échelle de turbulence variables avec la hauteur.

(*) Pour cette raison les souffleries aéronautiques classiques se prêtent difficilement aux études des effets du vent sur les structures et autour des ensembles bâtis.

Figure III-1. :
Enregistrement
du vent instantané
sur une durée T .

(**) Les valeurs surlignées signifient des valeurs moyennes sur la période T de mesure. Elles peuvent aussi dans certains paragraphes du texte exprimer des hauteurs moyennes.

La variation verticale de la vitesse moyenne et la structure de la turbulence résultent d'interactions complexes telles que : la stratification thermique dans les basses couches, la turbulence thermique, la nature des aspérités ou rugosité (champs, forêts, milieu urbain, etc.), rencontrées par le vent, et leur distribution.

Lorsque les vents soufflent, les conditions de stabilité de l'atmosphère sont généralement neutres, et les phénomènes thermiques peuvent être négligés devant les phénomènes dynamiques du vent. La croissance de la vitesse moyenne avec la hauteur z (« gradient vertical de vitesse moyenne ») peut être représentée par :

$$\frac{\bar{U}_z}{\bar{U}_G} = \left(\frac{z}{z_G}\right)^\alpha$$

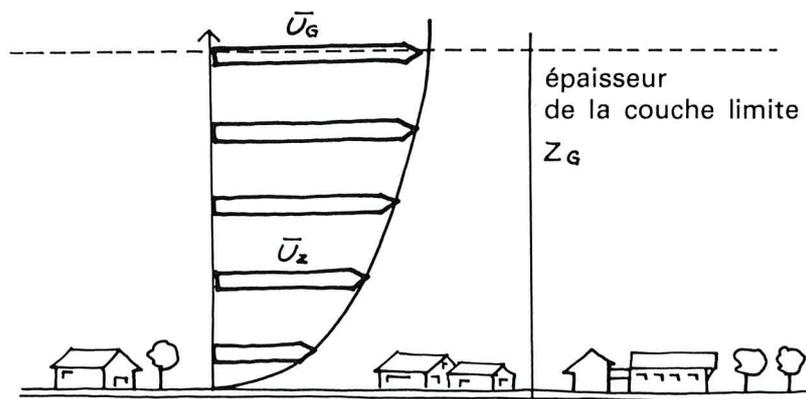


Figure III-2.

Les paramètres z_G et α dépendent essentiellement du type de rugosité de sol rencontré par le vent.

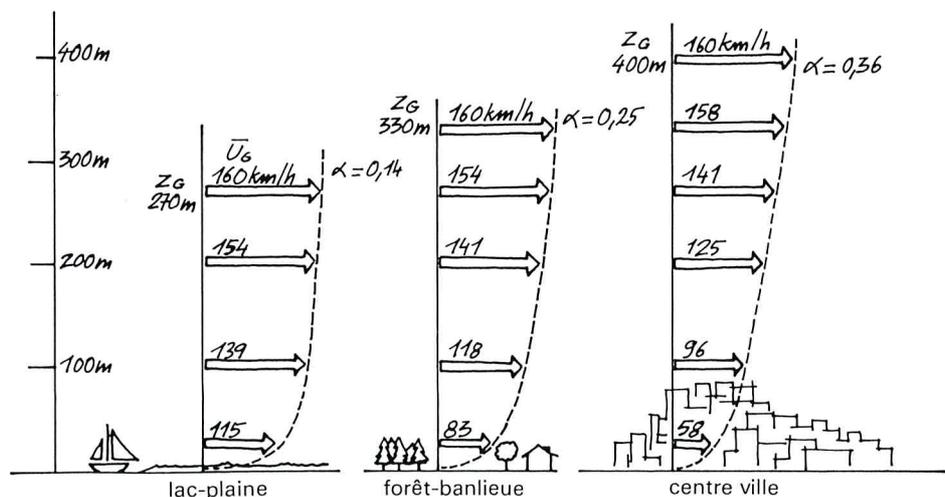
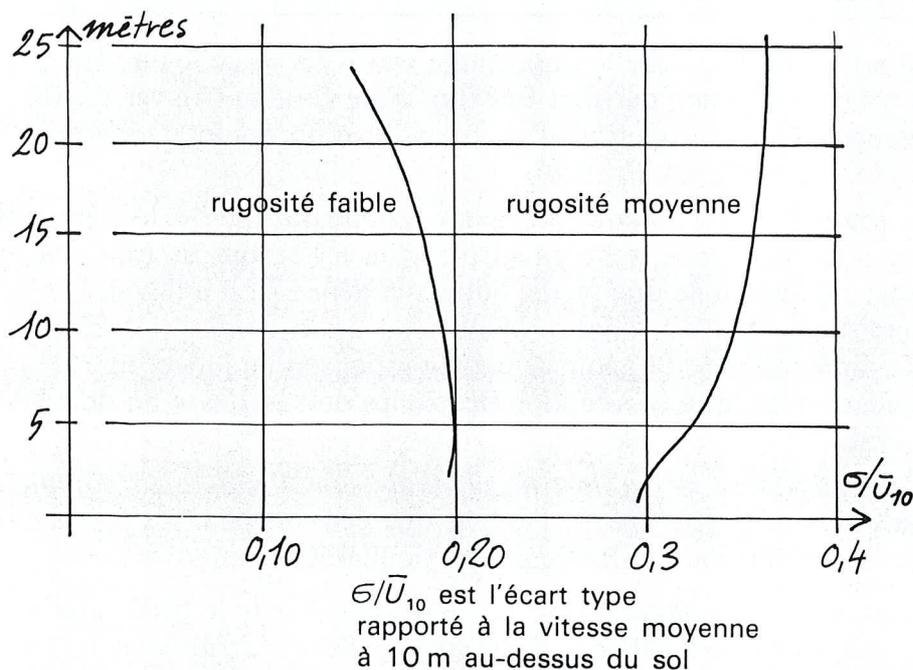


Figure III-3.
Profils de vitesse au-dessus de trois terrains de rugosité différente pour $\bar{U}_G = 160$ km/h.

L'écart type σ dépend essentiellement de la rugosité dans les basses couches, et croît avec elle. Il décroît légèrement avec la hauteur.



La topographie du sol et sa rugosité (constructions, végétation, etc.) conditionnent les caractéristiques du vent. Statistiquement, on peut distinguer les vents du type campagne, du type banlieue et du type centre ville.

Figure III-4.
Exemples de variation de l'écart type pour deux catégories de rugosité de sol.

En outre, 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, les rafales ont des dimensions longitudinales, verticales et transversales, fonction de la hauteur au-dessus du sol et des rugosités de ce dernier. Ces dimensions fixent l'échelle « dynamique du vent ». L'échelle de turbulence est généralement déterminée à partir de mesures de corrélation entre des points d'espacement différent.

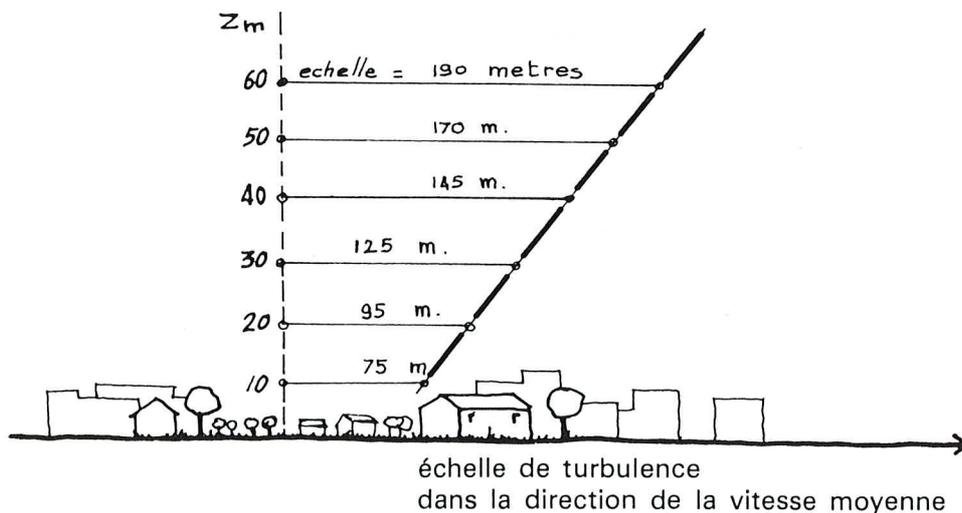


Figure III-5.
Exemple de variation de l'échelle de turbulence avec la hauteur par un vent de type banlieue-ville ($\alpha \approx 0,3$) (extrait de mesures vraie grandeur).

2 Le site et le vent

Le relief, par son échelle importante vis-à-vis de celle du vent, guide la trajectoire de ce dernier. Les flux d'air vont se trouver déviés, ou resserrés etc. en fonction d'un front ou d'un couloir géographique (carte des vents en France).

La topographie d'un site joue, à une échelle plus petite, le même rôle. Il y a formation de zone en surpression à l'amont de tout obstacle géographique, telle que pente, butte... et dépression à l'aval. De là, le conditionnement du contournement ou de la pénétration d'un site. Les dimensions et la géométrie de la topographie jouent un rôle prépondérant quant à la situation des zones de sur vitesse ou de couloir à vent.

L'aménageur se devra, lors du choix de son site, de tenir compte de ces effets de topographie, d'autant que ceux-ci peuvent être accrus par des conditions climatiques particulières.

Remarque : *L'urbaniste peut intégrer dans le site le profil global de la ville. Cette dernière, par l'ensemble de ses constructions, forme un véritable relief que l'on peut essayer d'aménager de façon à ce que le vent glisse sur la ville ou s'enfonce dans celle-ci suivant des couloirs choisis.*

3 Le comportement du vent autour des constructions

Les écoulements entre les ensembles bâtis résultent des interactions entre le vent et les constructions. Les bâtiments sont des obstacles qui induisent des zones de pressions différentes. De là, vont naître des écoulements plus ou moins rapides et tourbillonnaires. Les bâtiments forment aussi écrans et guident les flux d'air.

Les écoulements s'établissent au niveau du sol dans les ensembles bâtis, résultant de l'interaction complexe entre le vent et les masses construites. Celles-ci modulent les écoulements par leurs formes, leurs dimensions et leur juxtaposition, en fixant la distribution des zones de pression différente autour des obstacles. De là, au niveau des liaisons de zones de pression différente, l'existence de sur vitesse et de tourbillons.

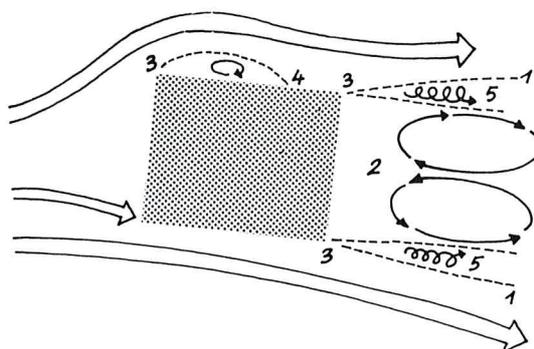
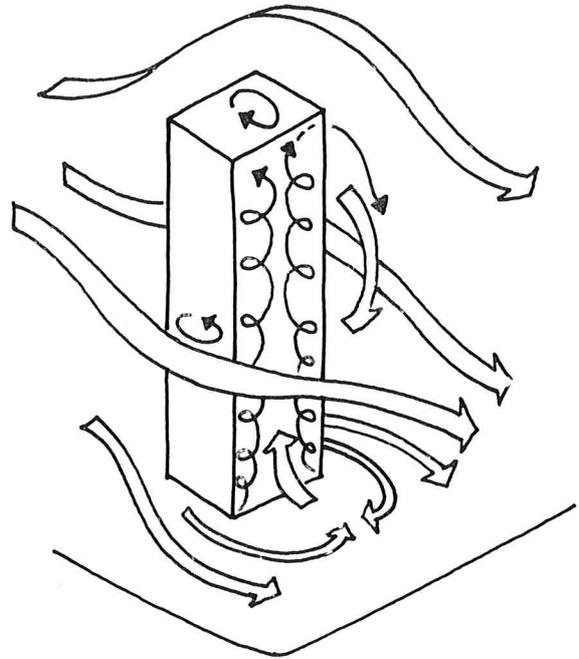
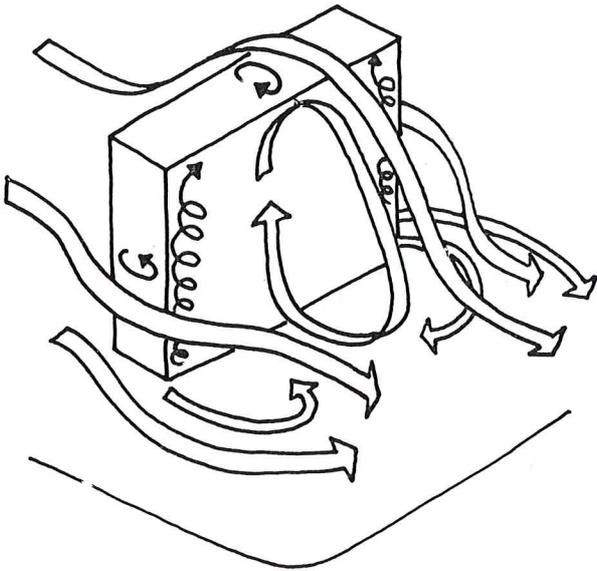


Figure III-6.

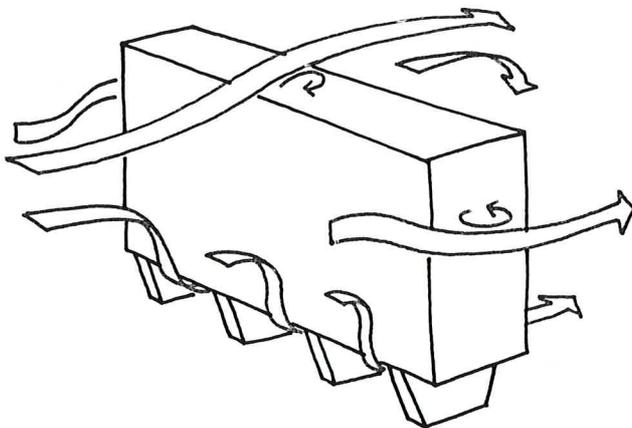
- 1) Ligne de séparation.
- 2) Sillage et circulation tourbillonnaire.
- 3) Point de décollement.
- 4) Point de recollement.
- 5) Épaississement des limites de séparation entre le sillage et l'écoulement.



Ainsi sur la face au vent d'un obstacle, le vent conduit à une distribution de surpression fonction croissante de la hauteur, par le jeu du gradient vertical de vitesse moyenne. De là, un écoulement descendant le long de la face avant qui forme, à la rencontre du sol, un rouleau tourbillonnaire.

Figure III-7.
Circulations fluides
autour de constructions
de géométries différentes.

Les filets d'air sont contraints de contourner l'obstacle, et il apparaît dans le sillage à partir des lignes de décollement le long des arêtes vives, des zones dépressionnaires relativement constantes avec la hauteur, et essentiellement liées à la vitesse au sommet du bâtiment.

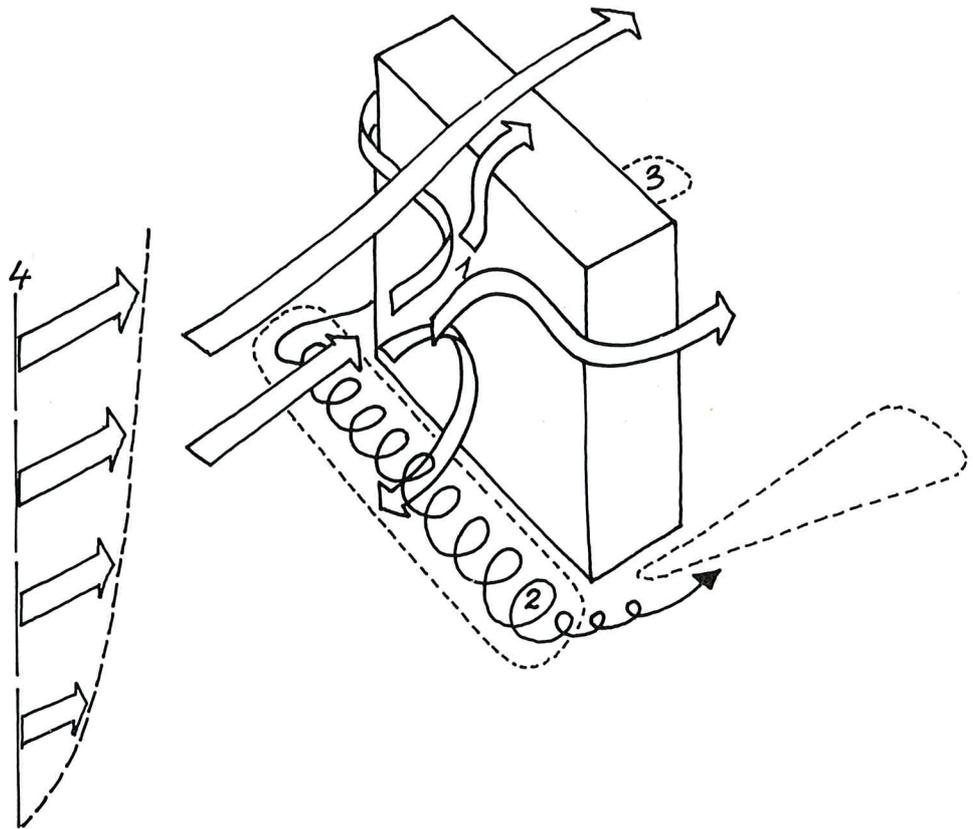


La mise en relation de volumes de pression différents par des arcades sous immeubles ou autour des coins, conduit à des écoulements locaux très rapides, associés plus ou moins à des tourbillons violents.

Figure III-8.

Contournement d'un bâtiment dans un écoulement à gradient vertical de vitesse moyenne.

- 1) Point de séparation.
- 2) Rouleau tourbillonnaire.
- 3) Zone tourbillonnaire latérale.
- 4) Gradient vertical de vitesse moyenne.

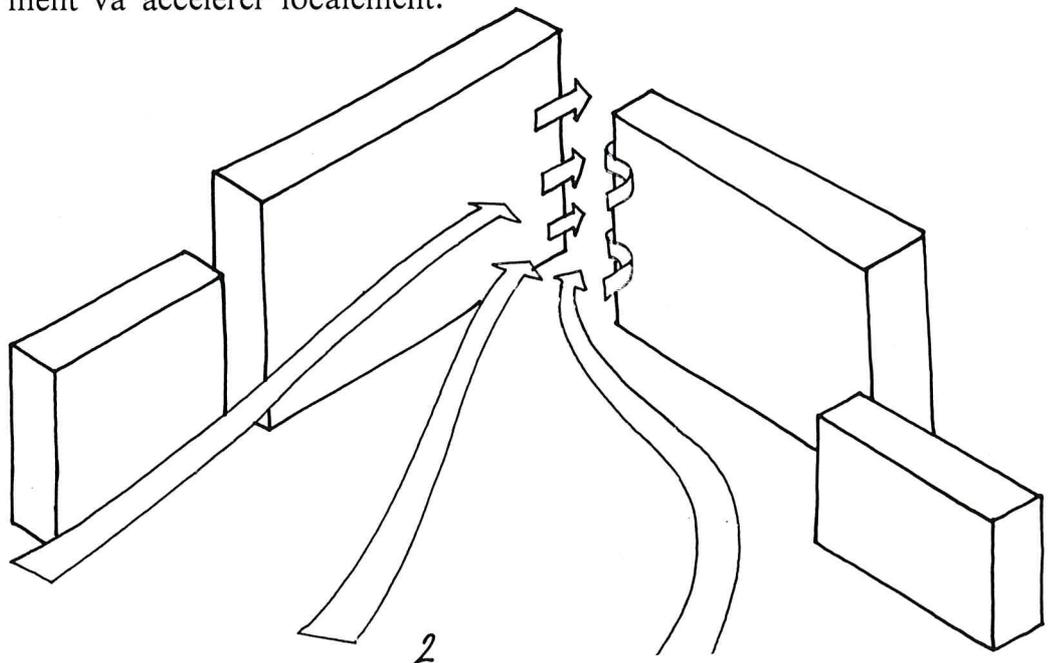


Les éléments construits peuvent, par leur juxtaposition, former des déflecteurs vis-à-vis du vent, et canaliser l'air à travers les zones d'étranglement. Le débit général de l'écoulement étant constant, si les zones de « passage » de l'air ont une section qui décroît, l'écoulement va accélérer localement.

Figure III-9.

Effet d'étranglement.

- 1) Zone à écoulement rapide.
- 2) Direction du vent.

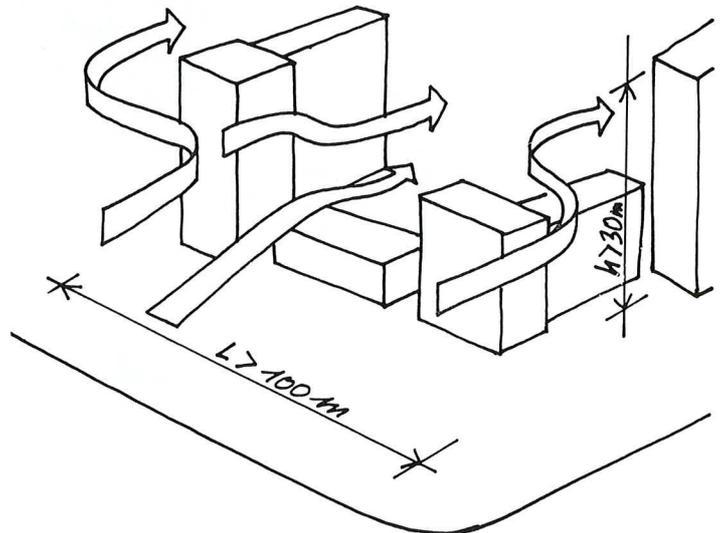
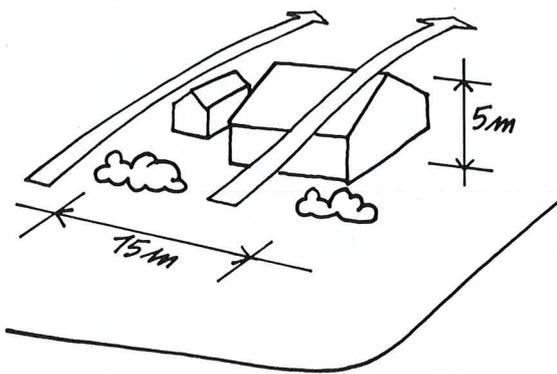


Ces différents types de flux se combinent entre eux, tout en dépendant des caractéristiques du vent incident et de la topographie du site. La résultante est particulièrement complexe.

D'une façon générale, plus les masses construites auront des dimensions importantes (notamment la hauteur) vis-à-vis de l'échelle de turbulence, plus leur rôle sera prépondérant dans le modelé des écoulements.

Figure III-10 a.
Le vent franchit l'obstacle sans être dévié.

Figure III-10 b.
Le vent est très fortement dévié, modelé par l'ensemble construit.



Remarque : Il existe encore une échelle plus réduite que celle du bâtiment, à savoir celle, par exemple, du coin de ce dernier. On s'adresse là à un traitement très ponctuel du flux. C'est le domaine des brise-vents, volets déflecteurs, etc., et nous renvoyons sur ce point au paragraphe VII.



Roger Violette

critère du confort

IV

notion de confort	1	29
paramètre descriptif de la gêne due au vent	2	31
seuil du confort - fréquence d'inconfort	3	32

Échelle Beaufort

Vitesse du vent m/s		Caractéristiques du vent
Force	Z = 2 m	
2	1,5-3	Les visages ressentent la sensation du vent. Les feuilles bruissent.
3	3-4,5	Les feuilles et les petits rameaux sont en mouvement permanent. Le vent déploie pleinement les drapeaux. Les cheveux sont dérangés. Les vêtements amples battent au vent.
4	4,5-7	La poussière et les papiers se soulèvent. Les branches s'agitent. Les cheveux sont décoiffés.
5	7-9	Les petits arbres avec des feuilles oscillent. La marche est légèrement perturbée.
6	9-11	Les grosses branches se mettent en mouvement. Le vent siffle dans les fils téléphoniques. Les parapluies sont utilisés avec peine. La marche devient très instable.
7	11-14	Les arbres sont totalement en mouvement. On éprouve de grosses difficultés à marcher contre le vent.
8	14-17	Les branches d'arbres se cassent. D'une façon générale, progression pedestre très difficile et dangereuse.
9 *	17-20	Risque d'être violemment projeté à terre sous l'effet des bourrasques.

(*) La notion de confort est à dissocier de celle de sécurité : le seuil de danger qui correspond à la force qui tend à jeter à terre un être humain est entièrement basé sur des considérations mécaniques et aérodynamiques (maître couple, poids, position, etc.) et correspond en général à des vitesses de l'ordre de 15 m/s.

Notion de confort 1

La vitesse du vent et son comportement fluctuant affectent :

— *le confort « dynamique »* de l'homme : les forces induites par le vent, variables dans le temps et l'espace, sollicitent mécaniquement « l'obstacle corps humain », entravent ses mouvements, agressent ses vêtements, etc.

— *le confort « thermique »* de l'homme : les échanges thermiques, physiologiques entre le corps humain et le milieu extérieur sont perturbés.

Ces deux notions sont de plus largement pondérées par « l'état subjectif » de l'individu. En général, le confort ou l'inconfort dû au vent va dépendre :

- de l'activité de l'individu (le confort souhaité à une terrasse de restaurant est différent de celui demandé dans une allée piétonnière);
- du climat (on peut même chercher sous certaines latitudes l'amplification des effets du vent : ventilation naturelle), et de la saison dont dépend en partie le vêtement porté;
- des conditions météorologiques (température, précipitations, soleil, humidité, vitesse du vent, direction, etc.);
- de l'état physique (l'âge p. ex.) et psychologique de l'individu.

L'échelle Beaufort (tableau ci-avant) donne un certain nombre d'indications sur les manifestations du vent en fonction de la vitesse et les sensations ressenties.

La définition d'un critère de confort est donc un problème difficile, et il paraît très improbable, sinon impossible, d'introduire un critère unique relativement utilisable englobant toutes les causes de gêne précédemment citées.

De plus, on peut espérer contrôler d'autant mieux les facteurs constituants du confort que ceux-ci peuvent être physiquement caractérisés (paramètre quantificateur). Enfin, dans la classe des paramètres physiques du confort, certains sont dans la pratique plus aisément modifiables. C'est pour ces raisons que dans nos démarches, seul le vent a été abordé.

Dans l'état actuel de nos connaissances, les observations ainsi que les expérimentations réalisées sur le terrain et en laboratoire, mettent en avant le rôle fondamental que joue sur le confort de l'homme le niveau des vitesses et la turbulence.

En effet, lorsque le vent souffle, il crée une force (proportionnelle au carré de la vitesse) qui s'exerce sur le piéton, et que ce dernier doit vaincre ou compenser dans son déplacement. Plus la vitesse du vent

Le confort de l'homme est affecté par la vitesse du vent (force induite à vaincre) et le comportement fluctuant de ce dernier (variabilité dans le temps et l'espace qui demande une adaptation quasi instantanée de l'individu). Les échanges thermiques entre l'homme et l'extérieur sont aussi affectés par le vent.

La notion de confort est difficilement quantifiable, car fonction de l'activité du sujet, des conditions météorologiques, de l'état physique et psychique de l'individu.

sera élevée, plus il faudra lutter contre le vent et plus la gêne sera grande. L'inconfort, directement lié alors au niveau de la force due au vent, sera caractérisé par le module de la vitesse moyenne \bar{U} . De plus, le vent (ou les écoulements induits entre les constructions) est une grandeur variable :

— le vent varie d'un point à un autre : il suffit de se déplacer au sein d'un ensemble de grande hauteur pour se rendre compte combien des zones très calmes et à écoulements rapides ou encore fortement tourbillonnaires peuvent être adjacentes.

Cette notion rejoint celle de l'existence de gradients horizontaux de vitesse.

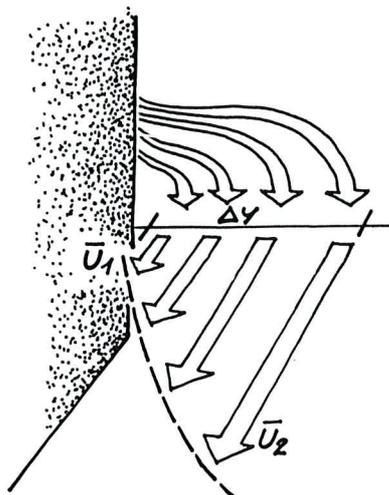


Figure IV-1.

Les forts gradients horizontaux de vitesse, soit le rapport :

$$\frac{U_2 - U_1}{\Delta y}$$

se traduisent par un changement brutal des modules de vitesse en très peu d'espace (exemple : le coin des tours).

Plus le rapport est élevé, plus il faut « s'adapter » rapidement et plus la gêne augmente.

Le vent varie dans le temps : ainsi, même arrêté, le piéton, compte tenu du phénomène rafale de vent, va être soumis à un écoulement (donc une force) variable en intensité et direction au cours du temps.

Ce caractère instable oblige constamment le piéton à s'adapter à un nouvel état et cause la principale gêne pour la marche et son équilibre, le décoiffement des cheveux, l'agitation des vêtements, l'utilisation des parapluies etc. Le niveau de turbulence d'un écoulement σ caractérise la notion de variabilité du vent dans le temps.

En conséquence, pour notre critère de confort, ainsi que pour les démarches qui en découlent, ou encore pour les conseils pratiques, nous prendrons *uniquement* en compte l'inconfort dû au « phénomène vent ». Celui-ci est caractérisé alors localement par la vitesse moyenne et la turbulence. Les autres aspects tels que la température ambiante, la psychologie de l'individu, etc., ne seront pas pris en compte dans notre critère.

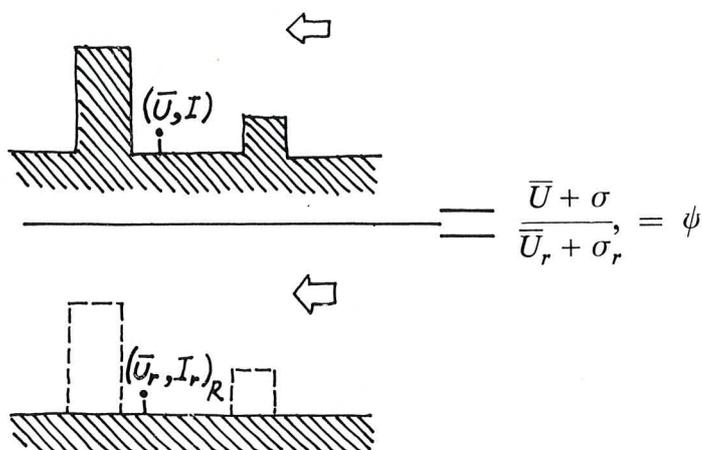
Néanmoins, le critère du confort sera associé au climat du lieu sous la forme d'une fréquence d'inconfort (dépassement du seuil du confort en fonction de la saison, de la direction du vent, etc.) en chaque point du plan masse.

Seuls les constituants du confort « physiquement caractérisables » et aisément contrôlables seront pris en compte. C'est pourquoi, dans notre approche, seul le phénomène vent sera étudié.

Paramètre descriptif de la gêne due au vent 2

Les résultats actuellement disponibles sur la quantification du confort sont nettement insuffisants et des études complémentaires s'imposent. Néanmoins, considérant l'importance (voir paragraphe précédent) que peuvent avoir les paramètres vitesse moyenne (\bar{U}) et turbulence (écart type $\sigma = \sqrt{\overline{U'^2}}$) nous proposons pour caractériser localement le champ de vitesse, le groupement le plus simple possible (*), à savoir : $\bar{U} + \sigma$.

Ce groupement (s'il correspond à un écoulement au niveau du sol ou sur un balcon) peut s'exprimer de manière adimensionnelle sous la forme du paramètre du confort ψ (à la hauteur z_r).



Le paramètre descriptif de la gêne due au vent sera localement la somme de la vitesse moyenne et de la turbulence (écart type σ) rapportée aux mêmes grandeurs à la référence (même hauteur, mais sans la présence du plan masse).

() Les toutes dernières études tendraient à majorer légèrement le rôle de la turbulence vis-à-vis de la vitesse moyenne :*

$$\bar{U} + \gamma \sigma \text{ avec } 1 < \gamma \leq 3.$$

Figure IV-2.

où \bar{U}_r et σ_r sont la vitesse moyenne et l'écart type à la référence, définis à la même hauteur que celle des mesures \bar{U} et σ mais sans la présence du plan masse.

Remarque : La direction de l'écoulement vis-à-vis des piétons joue surtout un rôle critique lorsque le flux est de direction ascendante (avec transport d'aérosols).

Les forts gradients horizontaux de vitesse prennent un rôle aigu pour la gêne du piéton, essentiellement si ce dernier se déplace.

Ces phénomènes particuliers ne sont pas directement intégrés dans notre paramètre du confort, mais seront spécifiés au niveau de l'étude des « anomalies aérodynamiques » paragraphe VI - 3.

3 Seuil de l'inconfort fréquence d'inconfort

Le seuil d'inconfort sera défini comme un vent atteignant une vitesse moyenne de 5 m/s associé à une turbulence $\sigma = 1$ m/s (intensité de turbulence 0,20 correspondant à la rase campagne).

3.1. Seuil d'inconfort

En introduisant comme seuil de l'inconfort les valeurs communément admises suivantes :

$\bar{U} \leq 5$ m/s début des manifestations déplaisantes telles que soulèvement des poussières, irritation des yeux, cheveux décoiffés, etc., et avec un écart type $\sigma = \sqrt{\bar{U}^2}$ correspondant à celui qui règne au niveau du sol en rase campagne et qui est relié à la vitesse moyenne locale par la relation : $\sigma \simeq 0,2 \cdot \bar{U}$,

la condition de confort à respecter s'écrit alors : $U + \sigma \leq 6$ m/s.

3.2. Notion de fréquence d'inconfort

Un seuil de gêne ne représente rien en soi si on ne lui associe pas une fréquence d'inconfort, à savoir le pourcentage du temps pendant lequel le seuil est atteint et dépassé. Suivant les zones d'activités différentes dans un plan masse, l'acceptabilité ou la non-acceptabilité pour une fréquence donnée ne va pas être la même. On peut très bien admettre localement, un dépassement du seuil de 50 % par exemple, si la zone en question n'est pas accessible par le piéton (couloir d'accès auto, etc.) et, par contre, vouloir une fréquence d'inconfort de quelques pourcents à la terrasse d'un café. Le concepteur a alors un rôle prépondérant dans ce choix.

3.3. Fréquences d'inconfort à ne pas dépasser suivant les activités

Dans le but de fixer les ordres de grandeur du confort, nous pouvons exprimer l'ordre de grandeur des fréquences d'inconfort qu'il est généralement admis de ne pas dépasser.

Le seuil d'inconfort, défini plus ou moins arbitrairement, ne représente rien en soi, s'il n'est pas associé à une fréquence de dépassement (fréquence d'inconfort). Suivant les zones d'un plan masse, l'acceptabilité (ou la non-acceptabilité) d'une fréquence de dépassement donnée va être pondérée par leurs fonctions (activités).

Activités	Limite supérieure de la gêne pour un confort convenable (en pourcentage du temps annuel)
<i>Station immobile prolongée</i>	
Terrasse de café, théâtre en plein air, piscine...	5
<i>Station immobile courte</i>	
Jardin public, aires de jeux, rue commerçante, galerie...	10
<i>Marche normale</i>	
Promenade pédestre, passage piétonnier, entrée d'immeuble, etc.	15
<i>Marche rapide</i>	
Parc auto, trottoir des avenues, belvédères, etc.	25



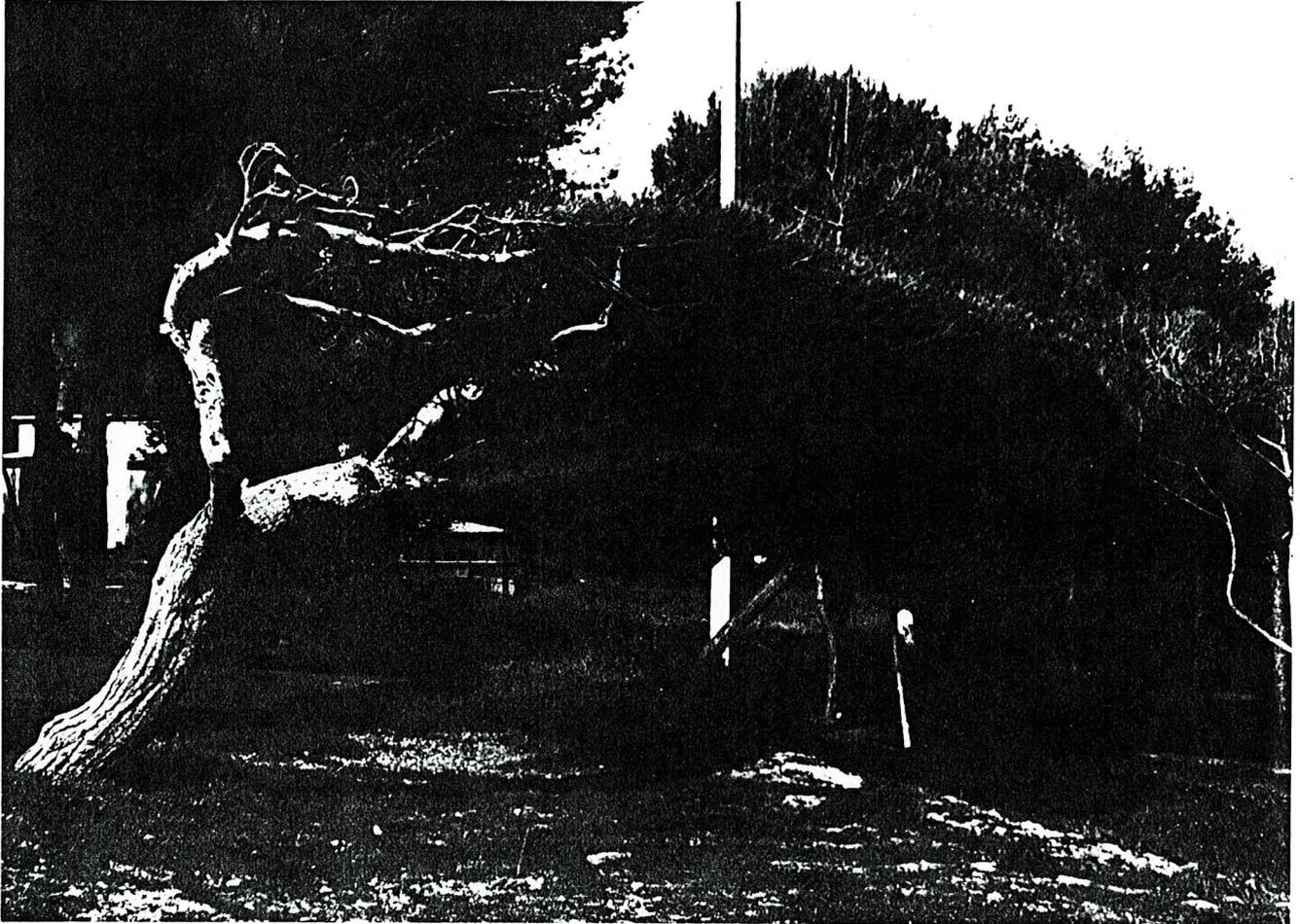
Photo X



Roger Viollet

calcul de la fréquence d'inconfort

V



« La Cride »
Sanary-sur-Mer.
Photo A. Guyot.

Nous avons précédemment mentionné que l'inconfort local dans un ensemble bâti s'exprimait sous la forme d'une fréquence de dépassement du seuil du confort.

Cette démarche suppose une campagne sur le terrain qui consiste à « recalcr » le site par rapport à la station météorologique la plus proche et une étude en soufflerie par exemple afin d'obtenir, localement, les paramètres du confort (ψ ou une forme similaire) qui permettent de remonter aux fréquences d'inconfort.

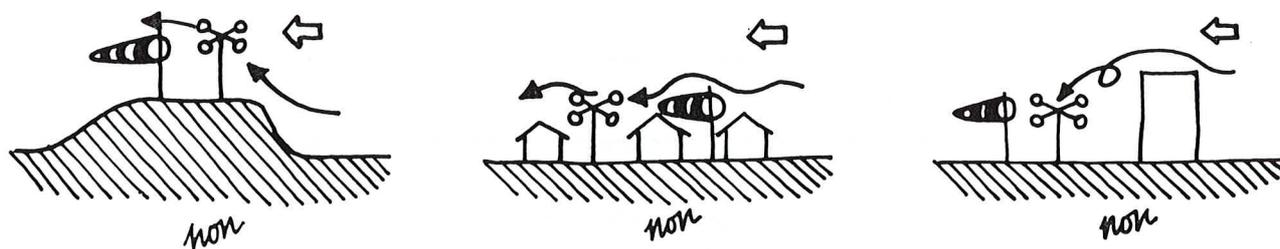
Nous allons présenter dans ce paragraphe les différentes étapes d'une telle démarche. Néanmoins, nous devons commencer par deux remarques extrêmement importantes :

— le processus exposé (même suivi à la lettre) reste extrêmement « dangereux » pour les non initiés, et nous conseillons vivement aux concepteurs de s'entourer de spécialistes dans cette démarche;

— les données météorologiques, et par suite, les études statistiques qui en découlent, ne sont pas toujours représentatives du site où elles ont été recueillies. Il faut vérifier notamment :

- si aucun effet de topographie se fait sentir au niveau de la station,
- si, en fonction des directions de vent, les rugosités amont rencontrées par le vent sont faibles, de façon que le vent puisse bien être assimilé statistiquement à un vent du type campagne ($\alpha \simeq 0,14$),
- si aucune construction parasite voisine des capteurs météo n'interfère avec ceux-ci.

Les mécanismes de passage entre les données météorologiques et le site (recalage sur le terrain), ou le passage des paramètres locaux du confort (étude en soufflerie) aux fréquences correspondantes d'inconfort, demandent de la part des non-initiés une grande prudence. Nous ne pouvons sur ces points que leur conseiller de s'entourer de spécialistes.



condition de représentativité des données météorologiques

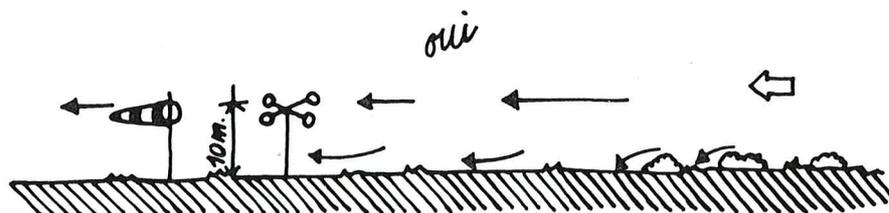


Figure V-1

Remarque : Si une station météorologique est prouvée non représentative, alors une étude climatique prolongée (1 an) s'impose.

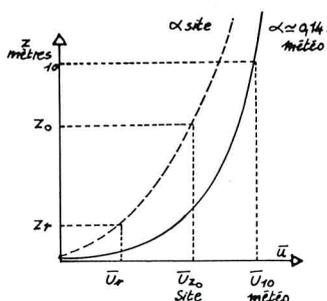


Figure V-2.

Première phase : Recalage du site par rapport à sa station météorologique voisine, celle-ci étant supposée significative.

La mesure simultanée du vent sur le site à la hauteur z_0 et à $z = 10$ m pour la station météo, permet de déterminer expérimentalement le coefficient de recalage k : $\bar{U}_{z_0} = k \bar{U}_{10\text{m}\#z_0}$. Ce dernier peut s'estimer théoriquement (voir annexe 1) mais il est de beaucoup préférable de le mesurer.

La hauteur z_0 sur le site est une hauteur relativement quelconque et adaptée au mieux à l'environnement proche de façon que les mesures faites aient un sens.

En conservant la vitesse de référence \bar{U}_r précédemment définie (paragraphe IV-2) nous obtenons :

$$\bar{U}_r = k \left(\frac{z_r}{z_0} \right)^\alpha \bar{U}_{10\text{m}\#z_0}$$

où α est l'exposant du gradient vertical dans le site. Le paramètre du confort ψ prend la forme :

$$\psi = \frac{\bar{U} + \sigma}{k \left(\frac{z_r}{z_0} \right)^\alpha \bar{U}_{10\text{m}\#z_0} (1 + I_r)}$$

avec :

$$I_r = \frac{\sigma_r}{\bar{U}_r}$$

intensité de turbulence mesurée expérimentalement à la référence (sur le terrain ou en soufflerie).

Deuxième phase : Étude en laboratoire

Nous avons vu que les valeurs de ψ sans dimension sont accessibles en laboratoire, à la condition que le vent simulé possède à l'échelle de la maquette et suivant les directions du vent, les caractéristiques statiques et dynamiques de ceux régnant sur le site, et que l'environnement proche soit respecté.

Troisième phase : Présentation des résultats en fréquence d'inconfort

Les données statistiques de la station météo voisine sont exprimées sous forme de vitesse $\bar{U}_{10\text{m}\#z_0}$ en fonction de leur fréquence annuelle de non-dépassement F_j (*).

Exemple :

$\bar{U}_{10\text{m}\#z_0} = 10$ m/s à la station météo de STRASBOURG, ne sera pas dépassé pendant 99 % du temps et sera dépassé pendant 1 % du temps, 4 % à LILLE, 13 % à MARGNANE.

(*) Les fréquences de non-dépassement F_j peuvent être pondérées en fonction de la saison, de l'heure, du jour, des directions de vent, etc.

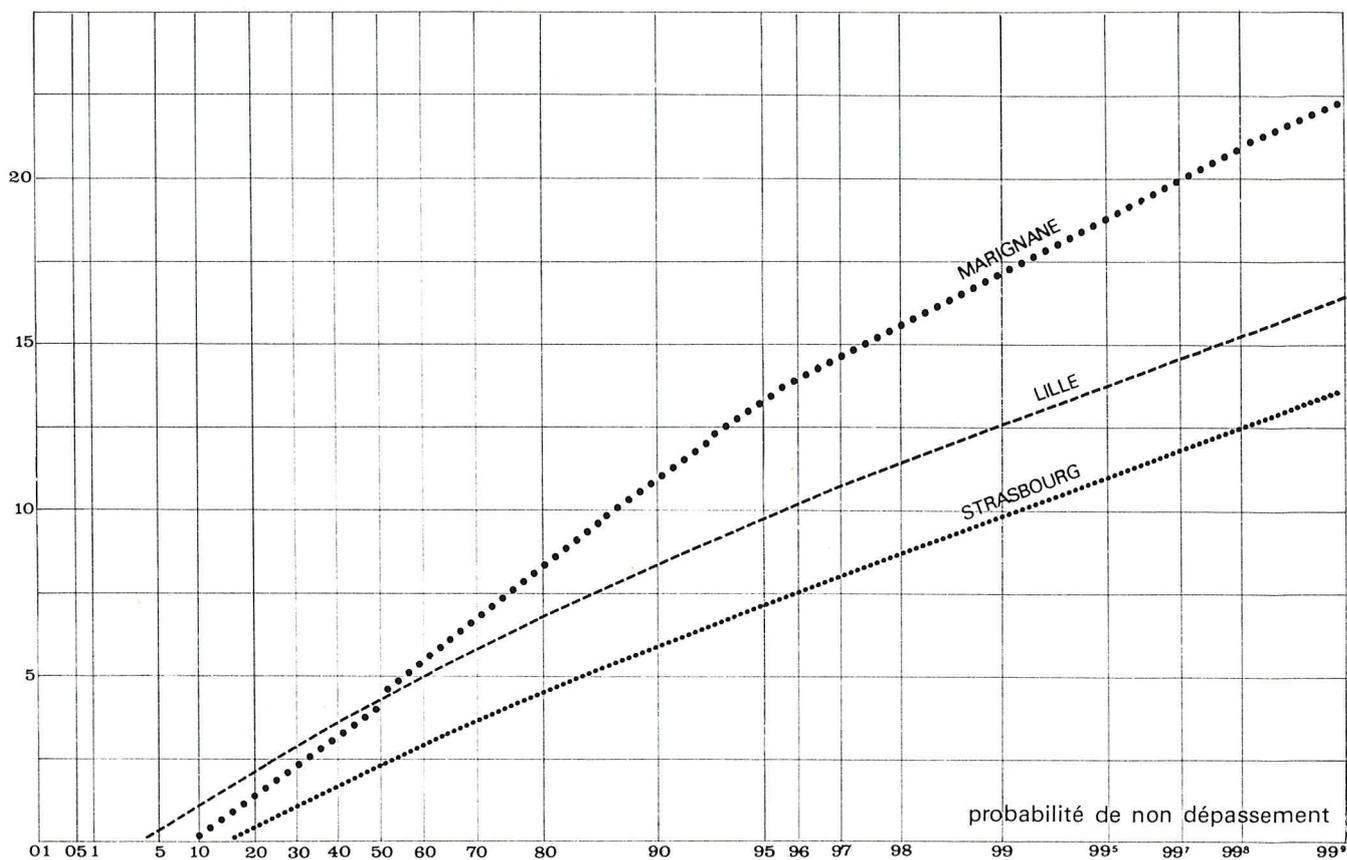


Figure V-3.

Exemple de données statistiques pour trois stations météorologiques, toutes directions de vent confondues.

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

$$\bar{U}_{10\text{météo}} = \frac{6}{k \left(\frac{z_r}{z_0} \right)^\alpha (1 + I_r) \psi}$$

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

$$\bar{U}_{j10\text{météo}} = \frac{6}{k \left(\frac{z_r}{z_0} \right)^\alpha (1 + I_r) \psi_j}$$

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.

Remarque importante :

Il est tout à fait possible d'éviter le paramètre ψ défini précédemment pour exprimer les résultats obtenus en laboratoire sous la forme d'une fréquence d'inconfort. En effet, les mesures sur le terrain fournissent le recalage du site :

$$\bar{U}_{z_0 \text{ site}} = k \bar{U}_{10 \text{ météo}}$$

L'exploration du champ de vitesse au laboratoire va nous permettre d'obtenir en tous points \bar{U} et σ ainsi que \bar{U}_{z_0} et σ_{z_0} correspondant sur la maquette à la position où le recalage a été fait.

Par suite, il suffit de former directement en tous points le rapport sans dimension : ψ'

$$\psi' = \frac{\bar{U} + \sigma}{\bar{U}_{z_0} + \sigma_{z_0}} = \frac{\bar{U} + \sigma}{k \bar{U}_{10 \text{ météo}} (1 + I_{z_0})}$$

$$\text{avec } I_{z_0} = \frac{\sigma_{z_0}}{\bar{U}_{z_0}},$$

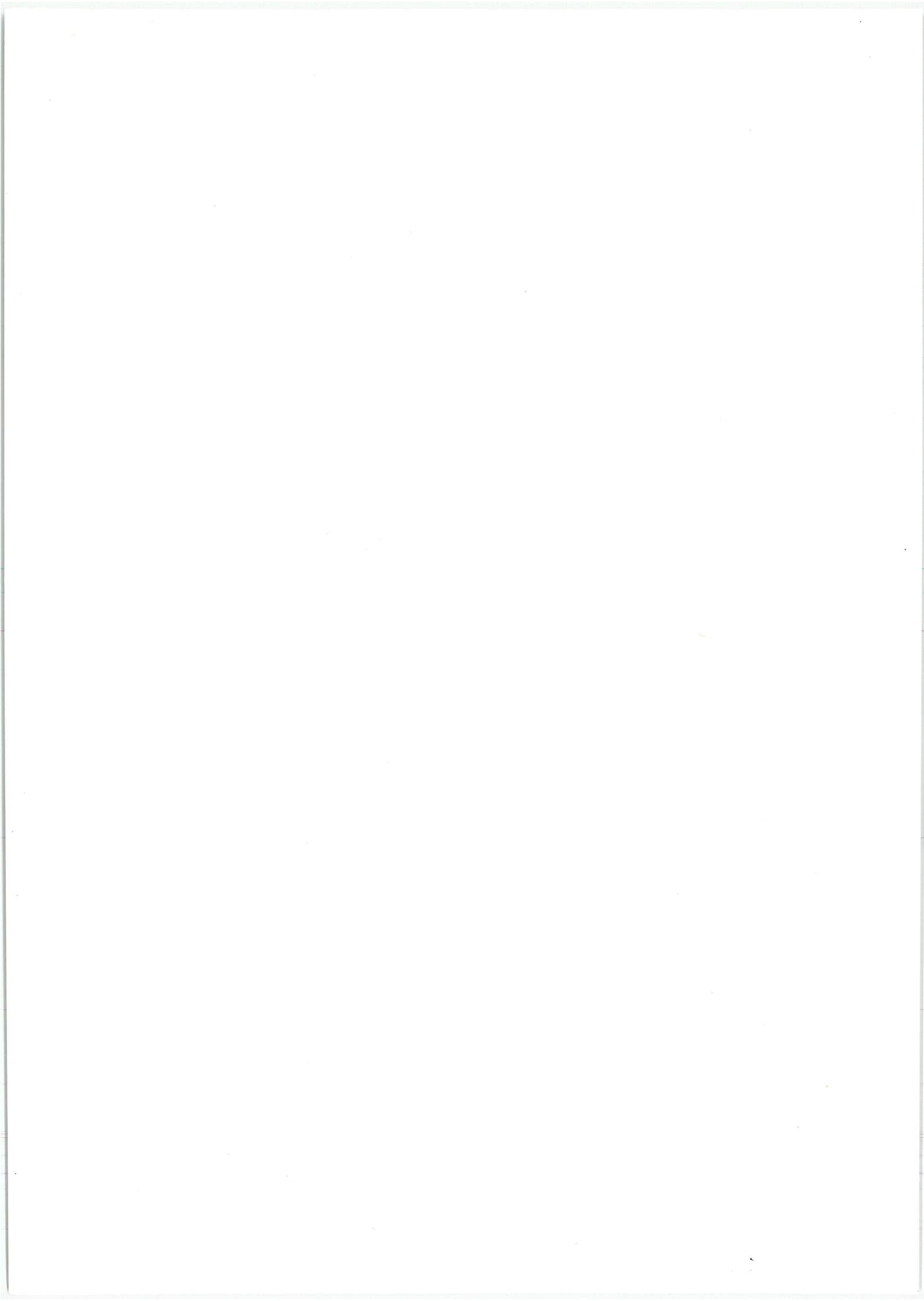
pour pouvoir lui associer une fréquence d'inconfort obtenue à partir des données météorologiques comme précédemment, mais en utilisant l'expression :

$$\bar{U}_{j10 \text{ météo}} = \frac{6}{k (1 + I_{z_0}) \psi'_j}$$

aérodynamique du vent dans les ensembles bâtis conseils pratiques

VI

optique de recherche et conditions expérimentales	1	43
pondération des résultats quantitatifs en fonction du site géographique et de la rugosité	2	44
effets aérodynamiques	3	48
commentaires et conclusions	4	88
exemples pratiques	5	89



Optique de recherche et conditions expérimentales

1

L'étude du champ de vitesse dans des groupes de bâtiments a fait l'objet d'un certain nombre de travaux dans les voies suivantes :

Partant d'un ensemble construit dans lequel le confort de l'homme est précaire, l'étude en laboratoire a pour but de réduire les effets locaux du vent par des solutions de brise vent, de passage couvert, de marquise, etc. Ou encore, partant d'un projet de construction élevée à placer dans un environnement donné, l'étude du champ de vitesse en soufflerie simulant le vent naturel par exemple, va donner les ordres de grandeur des survitesses et turbulences susceptibles de régner au pied des constructions, et par là même, suggérer d'éventuelles modifications de leurs dispositions.

Dans les cas cités, il s'agit d'études de cas particuliers, bien définis : environnement rigoureusement connu, ainsi que les caractéristiques et directions des vents dominants. De telles études peuvent alors apporter des solutions très efficaces, mais par leur particularité et leur finesse, ne pourront pas donner habituellement de conclusion généralisable à d'autres cas.

Une autre démarche consiste à étudier en laboratoire (soufflerie - canal hydraulique) des « cas d'école » : l'anomalie aérodynamique étudiée est alors isolée, même simplifiée et dépouillée de tout contexte pratique. Une telle optique de travail permet de mettre en évidence l'influence de paramètres qui peuvent intervenir directement sur la quantification de l'anomalie (forme, dimensions, dispositions, etc.). Les études de ce type présentent toutes un caractère de finesse séduisant. Mais ce genre d'approche reste extrêmement théorique. Ainsi la même anomalie placée dans un environnement et des conditions de vent réalistes, peut se comporter tout autrement, à savoir : être amplifiée ou entièrement neutralisée. Les écoulements qui s'établissent dans des ensembles construits résultent de l'interaction entre le vent et les masses construites.

En conséquence, là encore, toute généralisation peut être cause d'erreurs importantes.

Une troisième approche est la mesure directe sur le terrain. Mais la lourdeur de telles expériences ainsi que leur coût ne permet pas d'envisager des démarches systématiques en vraie grandeur en vue de pouvoir généraliser les effets aérodynamiques susceptibles d'apparaître dans les ensembles bâtis. Les mesures en vraie grandeur sont néanmoins essentielles et doivent être entreprises en nombre suffisant pour la confrontation des résultats obtenus en laboratoires, avec la réalité.

La définition des effets aérodynamiques et leur quantification approchée ne sont pas issues de cas isolés, mais résultent d'une étude statistique des divers comportements du vent susceptibles de se développer au sein des plans masse représentatifs des constructions contemporaines ou à venir. Toute étude spécifique aboutirait, bien évidemment, à un degré de finesse supérieur.

(*) *Choix des échantillons par le groupe C.R.M.A.A. (Centre de Recherches Méthodologiques d'Architecture et d'Aménagement).*

La volonté de définir et de quantifier de manière réaliste et en termes généraux les effets aérodynamiques ou les anomalies susceptibles de se produire dans un plan masse, nous a obligé à :

— reproduire en laboratoire (soufflerie C.S.T.B.-NANTES) les conditions statiques et dynamiques du vent naturel à l'échelle de la maquette (gradient de vitesse moyenne et turbulence);

— traiter nos essais de manière statistique : ainsi, partant de plans masses typés en nombre suffisant, représentant des constructions déjà existantes ou en projets (*), nous avons soumis ces plans masses à différentes directions de vent, à différents types de vent, et mesuré alors les caractéristiques du champ de vitesse. Puis, de manière « *statistique* », nous avons cherché à expliquer les corrélations entre les fortes ou faibles valeurs de Ψ , la géométrie et la disposition du milieu bâti. Parallèlement, nous avons cherché les moyens de contrôler Ψ .

Il faudra bien conserver en mémoire que les *effets ou anomalies présentés* dans les paragraphes suivants *ne sont pas des cas isolés*, mais qu'ils *résultent de comportements généraux* qui apparaissent au sein des milieux construits réalistes... Il est bien évident que l'étude, prenant en compte la topographie, la distribution du vent en force et direction, etc., conduirait à une finesse d'information supérieure à celle que nous fournissons dans ce guide, où seuls les comportements généraux des flux et les ordres de grandeur de la gêne sont donnés. En conséquence, nous ne prétendons nullement résoudre tous les problèmes d'aérodynamique dans les constructions avec ce guide, mais simplement aider le concepteur en lui permettant d'éviter les grosses erreurs aérodynamiques.

2 Pondération des résultats quantitatifs en fonction du site géographique et de la rugosité

La correspondance entre la paramètre Ψ et la fréquence d'inconfort s'appuie sur les données statistiques du lieu. Ces dernières vont varier suivant la région géographique en France (la même valeur de Ψ dans la vallée du Rhône ou en Lorraine ne correspondra pas à la même fréquence d'inconfort) et pour chaque région particulière il faudra avoir recours aux données météorologiques (station météorologique significative - voir remarque, chapitre V).

La quantification des anomalies ou effets aérodynamiques par le paramètre Ψ obtenue pour un vent de type campagne (*) ne corres-

(*) *Vent « statistique » dont les caractéristiques (distribution de vitesse moyenne et de turbulence) résultent de son modelage par les rugosités rencontrées en campagne : champs, haies, étangs, etc.*

pondra pas à la même fréquence d'inconfort suivant la situation de l'anomalie ou de l'effet, à savoir en périphérie d'une ville ou au cœur de celle-ci.

Il n'est évidemment pas économiquement possible de faire une étude en laboratoire (soufflerie, etc.) et un recalage sur le terrain pour toutes les études. Par suite, la démarche présentée dans le chapitre V n'est plus possible. Néanmoins, suivant la position de l'anomalie dans un plan masse, celle-ci va être soumise à un vent « statistique » du type campagne, du type banlieue (modélisée par les rugosités de banlieue) ou du type centre ville (modélisée par les rugosités du type ville élevée) et, par suite, correspondre à des fréquences d'inconfort différentes.

Nous avons donc essayé de fournir au concepteur une « correction » grossière permettant de calculer à partir des valeurs de Ψ fournies dans ce guide les fréquences d'inconfort qu'auraient les anomalies suivant leurs positions dans un plan masse.

Aussi, la fréquence d'inconfort ((1 - F) en un point « j » (ou le paramètre du confort vaut ψ_j) situé dans une bande de 200 m en périphérie d'un plan masse ou en campagne et soumis à un vent du type campagne, sera obtenue à partir de la courbe météorologique (station significative) $\bar{U}_{10\text{météo}} = \mathcal{F}(F)$ (fréquence de non-dépassement en pourcentage) en utilisant l'expression :

$$\bar{U}_{10\text{météo}} = \frac{6}{\left(\frac{2}{10}\right)^{0,14} (1 + 0,2) \psi_j},$$

soit :

$$\bar{U}_{10\text{météo}} \simeq \frac{6,3}{\psi_j}. \quad [A]$$

Au-delà de cette bande dite exposée, la ville « s'auto-protège » par le jeu de la rugosité et la même anomalie placée au-delà de ce front (200 m) à savoir un peu plus profondément en zone de banlieue correspond à une fréquence d'inconfort (F'_j) obtenue par l'expression :

$$\bar{U}_{10\text{météo}} \simeq \frac{7,9}{\psi_j}. \quad [B]$$

Tout se passe comme si le paramètre du confort était devenu égal à $0,8 \psi_j$.

L'expression ci-dessus n'est utilisable au pied d'une émergence isolée (exemple tour) que si le vent a rencontré un kilomètre de rugosités de banlieue avant de l'atteindre. Dans le cas contraire on utilisera l'expression précédente [A].

La quantification des effets aérodynamiques par le paramètre ψ est uniquement présentée pour un vent du type campagne et pour des plans masse sans phénomène topographique.

Une correction est proposée pour pondérer les valeurs de ψ en fonction du site géographique et de la position de l'anomalie dans le plan masse (périphérie ou cœur de la ville par exemple).

Dans toutes les expressions numériques, les vitesses moyennes sont exprimées en mètre par seconde.

Enfin, pour évaluer la fréquence d'inconfort (F_j) pour la même anomalie placée en centre ville, nous utiliserons l'expression :

$$\bar{U}_{10\text{météo}} \simeq \frac{10,5}{\psi_j} \quad [C]$$

Tout se passe comme si le paramètre du confort était devenu égal à $0,6 \psi_j$ (Fig. VI-1).

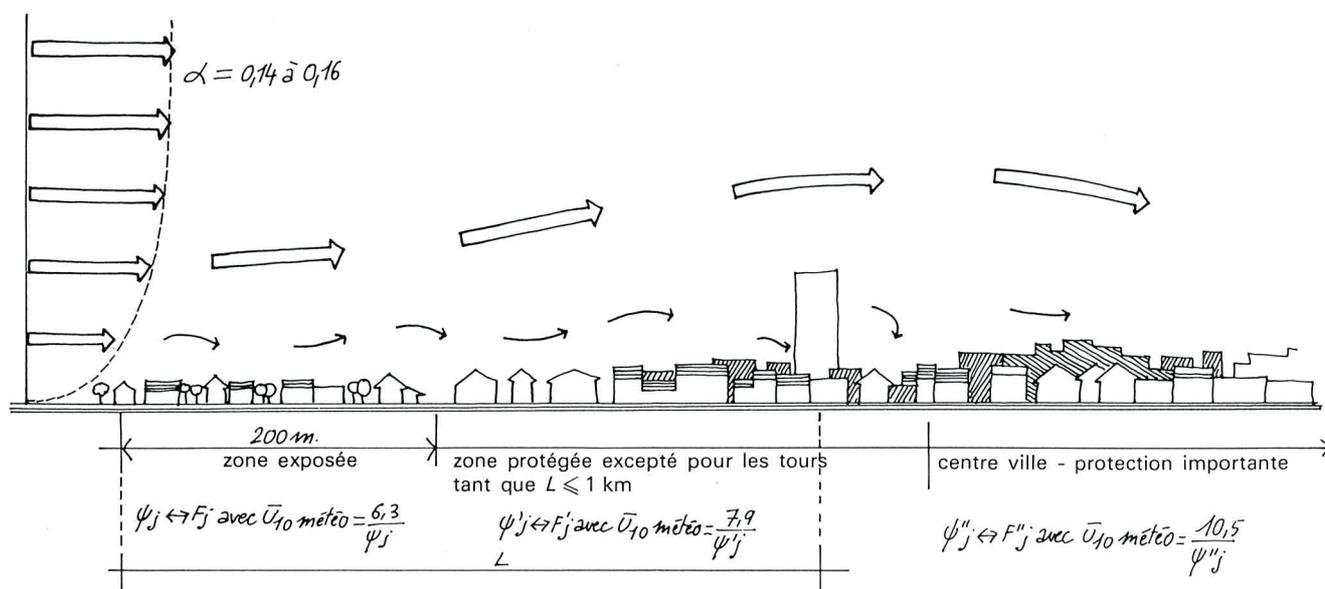


Figure V-1.

Exemple numérique pour la station de MARIGNANE, toutes directions de vent confondues (voir courbe déjà présentée) :

MARIGNANE

Paramètre du confort (ψ_j)	Fréquence d'inconfort ($1 - F_j$)		
	Zone périphérique (200 m) ou campagne Expression [A]	Banlieue Expression [B]	Centre Ville Expression [C]
0,5	6 %	2 %	1 %
0,7	16 %	9 %	2 %
0,9	28 %	17 %	8 %
1,1	36 %	26 %	16 %
1,3	42 %	32 %	21 %
1,5	50 %	40 %	28 %
1,7	58 %	46 %	32 %
etc.			

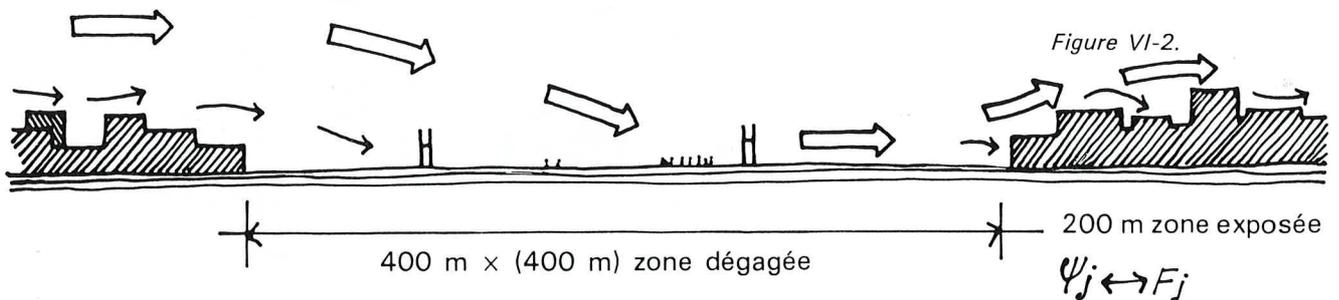
Remarque : La même fréquence d'inconfort sera obtenue par exemple pour un paramètre du confort de 1,7 mesuré en centre ville, de 1,3 mesuré en banlieue et de 1 mesuré en zone périphérique ou campagne.

Ces différents pourcentages d'inconfort fonction de la rugosité sont obtenus pour toutes directions de vent confondues. Si seul, un secteur nous intéresse et si sa fréquence d'apparition est de $n\%$ du temps annuel, les fréquences d'inconfort résultant pour cette direction sont $(1 - F_j) \times n\%$.

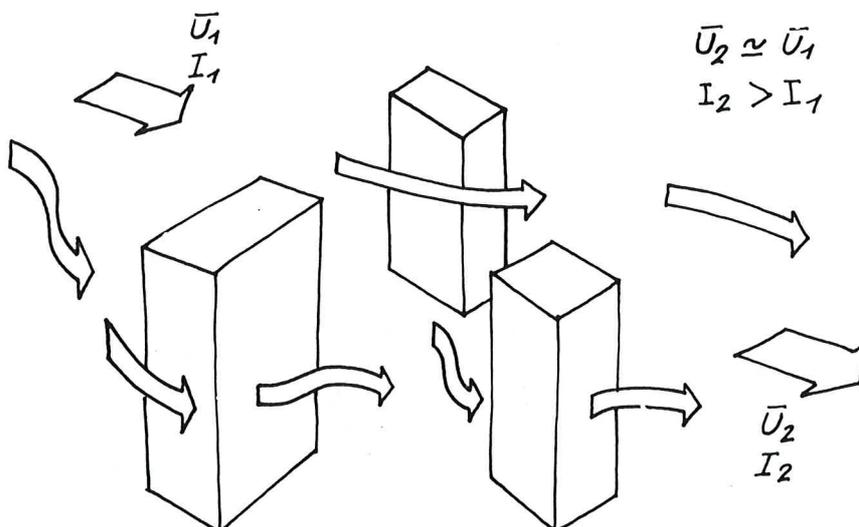
Enfin, quelques remarques importantes doivent être faites quant à l'emploi judicieux des expressions [A], [B], ou [C] :

— Si des espaces découverts (ou libres) avec des superficies minimales de l'ordre de $160\,000\text{ m}^2$ ($400\text{ m} \times 400\text{ m}$) apparaissent, le vent « retombe » dans de tels espaces et les bâtiments périphériques sont à nouveau exposés (bandes de 200 m).

Nous déterminons alors dans cette bande les fréquences d'inconfort avec l'expression [A].



— Les ensembles de grande hauteur à base de semis de tours, par leur interférence entre elles, ne produisent en aucun cas le moindre effet de masque (expression [A]).



— Les tissus anciens, par leur densité importante, favorisent les effets de protection (expression [B]).



Figure VI-4.

Les accidents aérodynamiques dans un tissu ancien ne peuvent guère apparaître qu'au pied des éléments très élevés émergeant du niveau moyen.

Exemple : Implantation d'une tour de 100 m dans un tissu ancien.

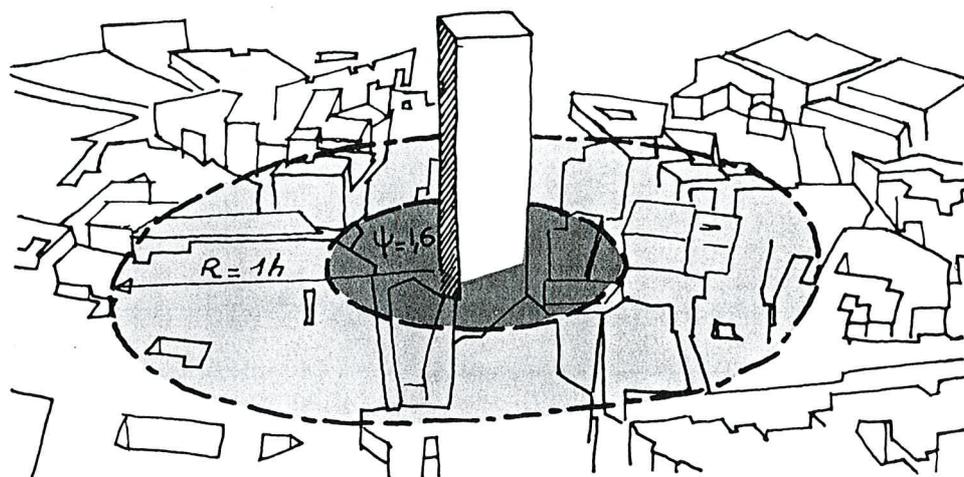


Figure VI-5.
Limite d'influence
de la tour :
 $R \approx 1h$

Inconfort important $\psi \approx 1,6$ au voisinage immédiat du pied de la tour (bande de l'ordre de 10 m d'épaisseur) :

- Expression [A], si le vent ne rencontre pas en amont 1 km de banlieue.
- Expression [B], si le vent rencontre au moins 1 km de banlieue.

3 Effets aérodynamiques

Nous présentons dans ce paragraphe, les différents effets aérodynamiques identifiés et leur quantification, ainsi que les conseils pratiques qui peuvent en découler, et qui concernent uniquement le contrôle des masses construites au moment de la conception.

Nous rappelons que nos conclusions sont issues d'essais en soufflerie simulant les caractéristiques statiques et dynamiques du vent naturel (C.S.T.B. NANTES) et que les différents échantillons de

plan masse ont été soumis systématiquement à plusieurs orientations de vent; pour *un vent du « type campagne »*, les plans masses étant situés en périphérie des villes (absence d'environnement proche amont), et *en absence de phénomène topographique*.

Enfin, pour nous assurer de la validité de nos résultats, un échantillon, particulièrement soigné (maquette très fidèle), a été expérimenté et des essais sur le terrain ont pu être entrepris. La vitesse moyenne et la turbulence ayant été mesurées *in situ*, une confrontation aisée a pu être faite : l'accord s'est avéré *très satisfaisant* (erreur entre 10 et 20 %).

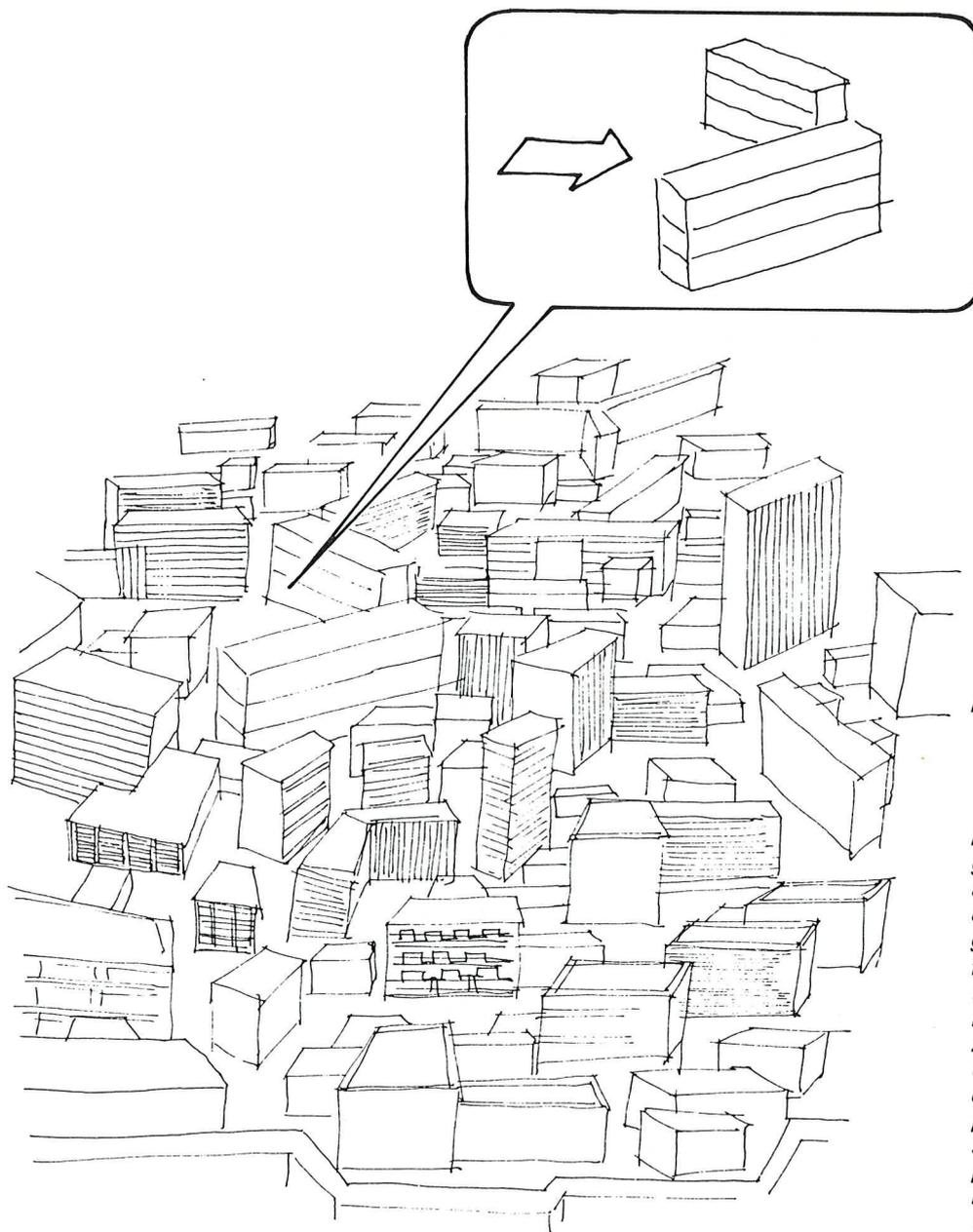


Figure VI-6.

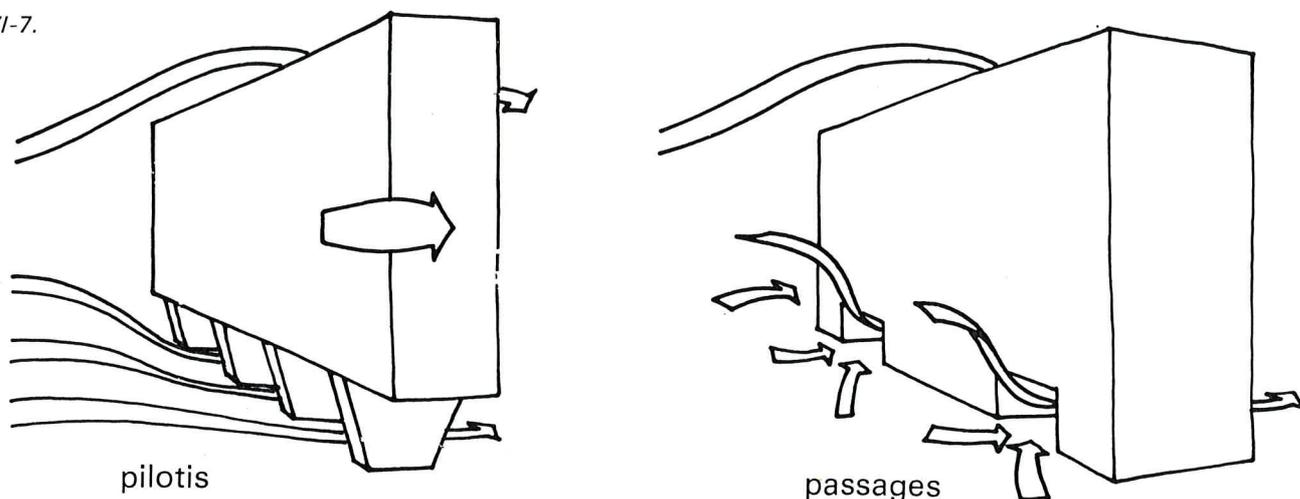
Remarque sur la présentation graphique des différents effets aérodynamiques : pour plus de clarté, les croquis ne montrent généralement qu'une ou deux formes isolées, et l'assimilation des bâtiments à des volumes parallélépipédiques horizontaux ou verticaux simples a été adoptée pour mettre mieux en évidence les phénomènes présentés et isoler leurs causes; cette schématisation ne préjuge en rien de l'architecture réelle des bâtiments et du type d'urbanisme retenu.

3.1. Effet de trous sous immeubles

Définition

Phénomène d'écoulement dans les trous ou passage sous immeuble qui relie l'avant du bâtiment en suppression et son arrière en dépression.

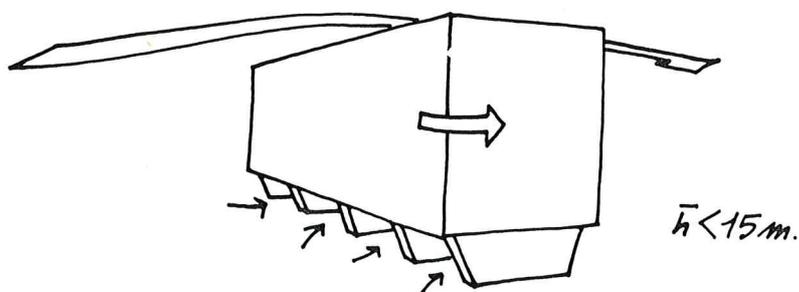
Figure VI-7.



Conditions d'existence

Hauteur minimum > 15 m.

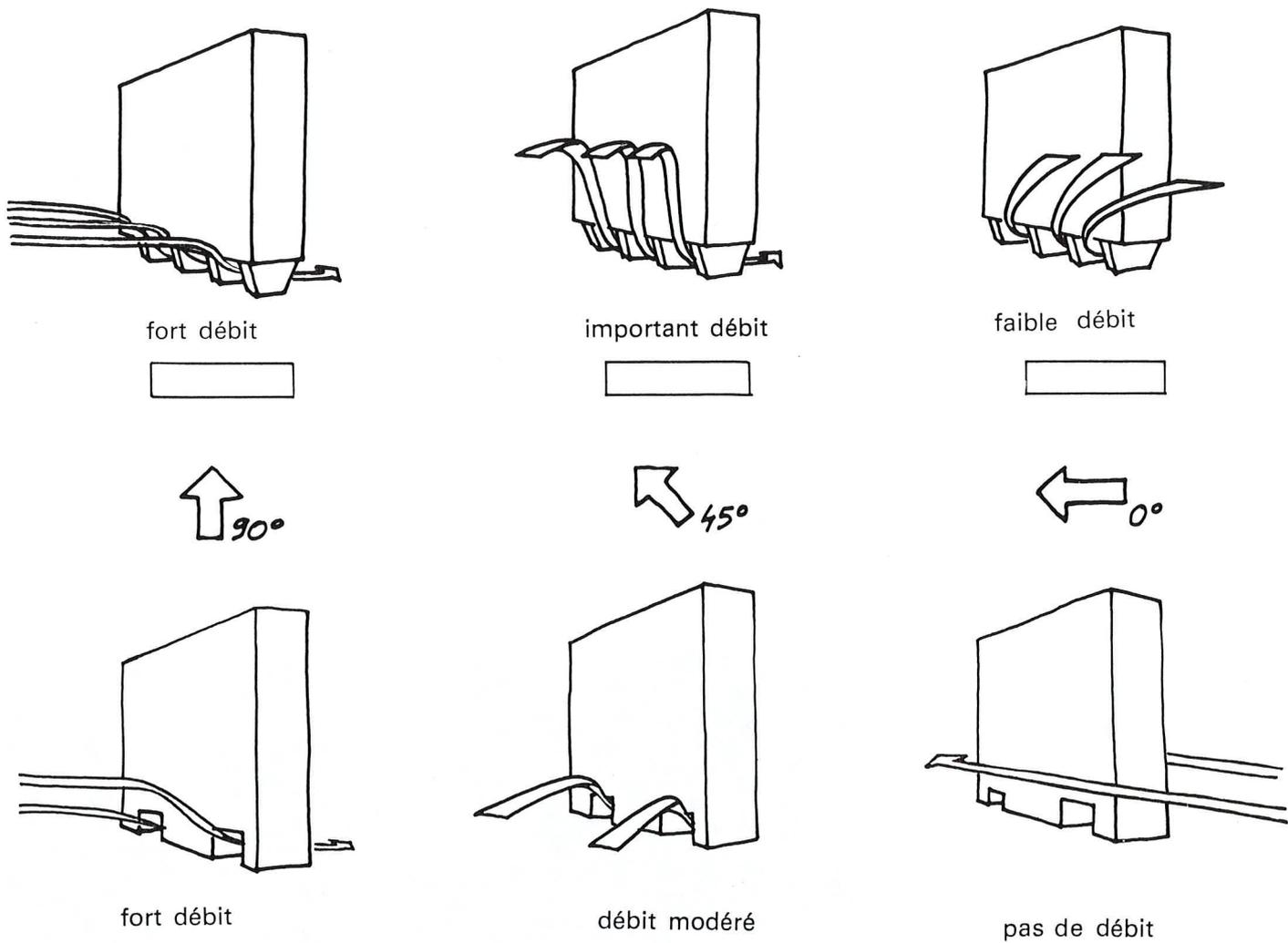
Figure VI-8.



le bâtiment ne fait pas suffisamment écran

Quantification du phénomène

— *Influence de l'incidence* : les pilotis de forme pleine jouent un rôle de « pales de guidage » alors que les trous sous immeuble sont plus sensibles à la direction du vent incident.



Figures VI-9-10.

— Influence de la hauteur

Plus le bâtiment est élevé, plus le confort est diminué.

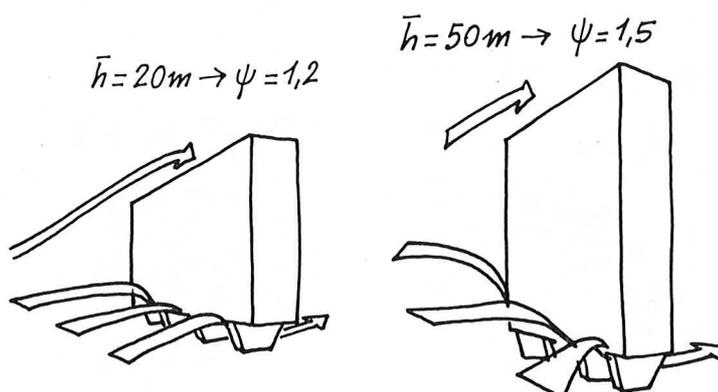


Figure VI-11.

Comparativement aux pilotis, les trous isolés sous immeubles ont un niveau d'inconfort légèrement moins élevé : $\bar{h} = 50$ m; $\psi = 1,4$.

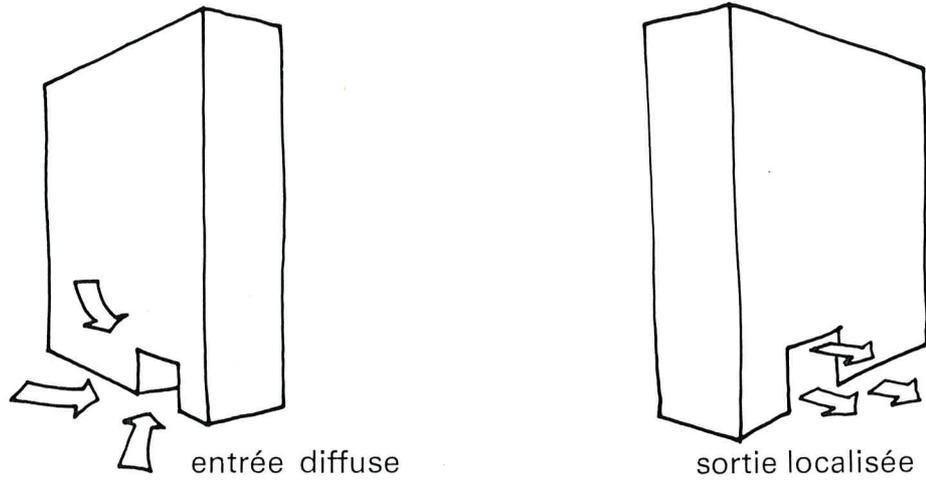
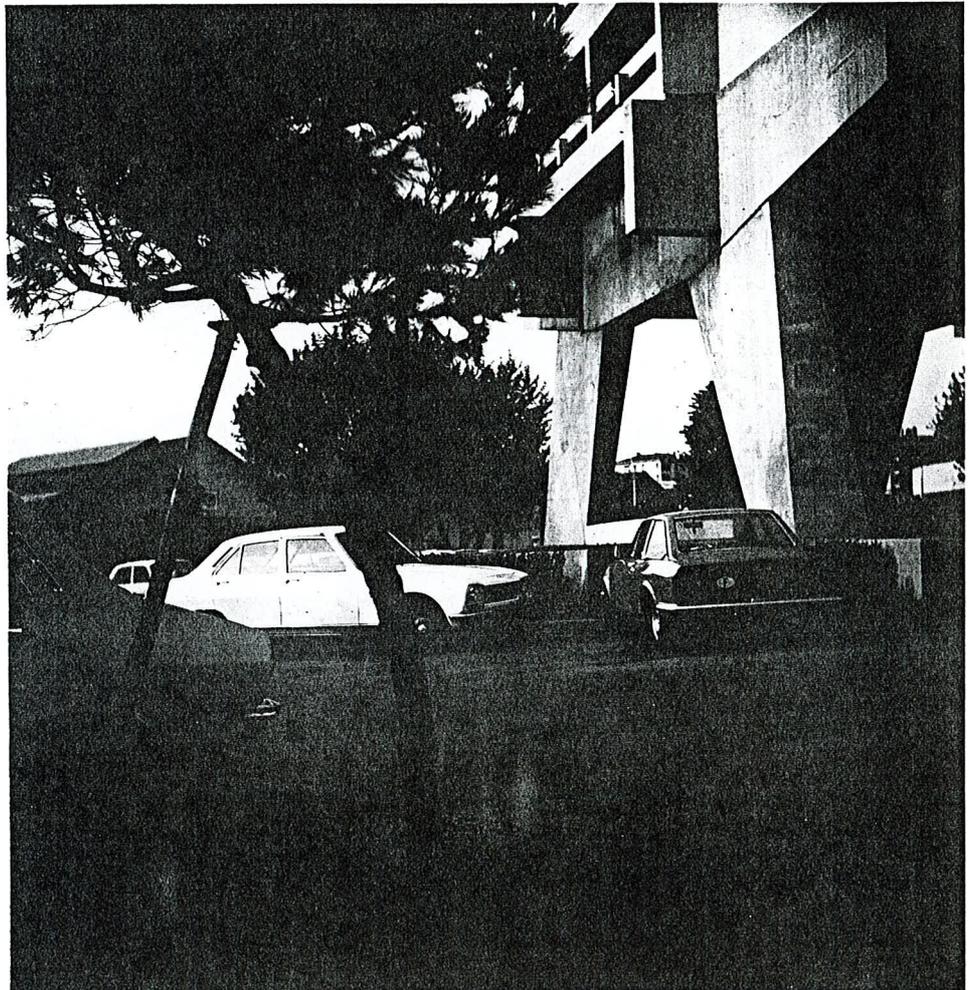


Figure VI-12.



— Zone affectée par l'anomalie

L'entrée de l'air se fait de façon diffuse mais la sortie est localisée en jet.

La zone d'inconfort n'est pas limitée au volume de liaison mais se poursuit en aval, dans la zone du jet, dans un volume du même ordre que celui du trou.

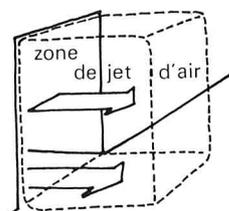
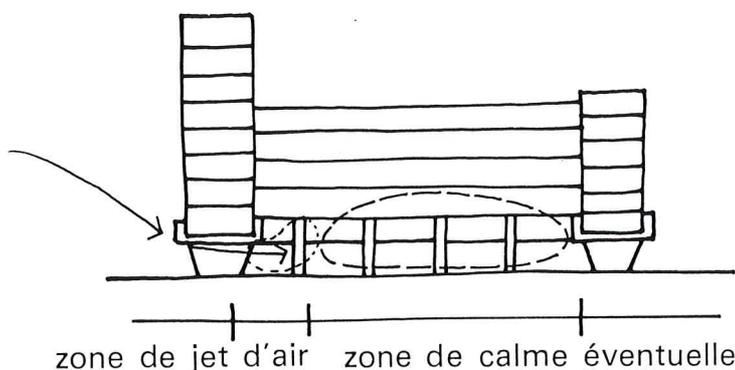


Figure VI-13.

La zone de jet d'air s'étend sur une fois la dimension du trou.

Figure VI-14.

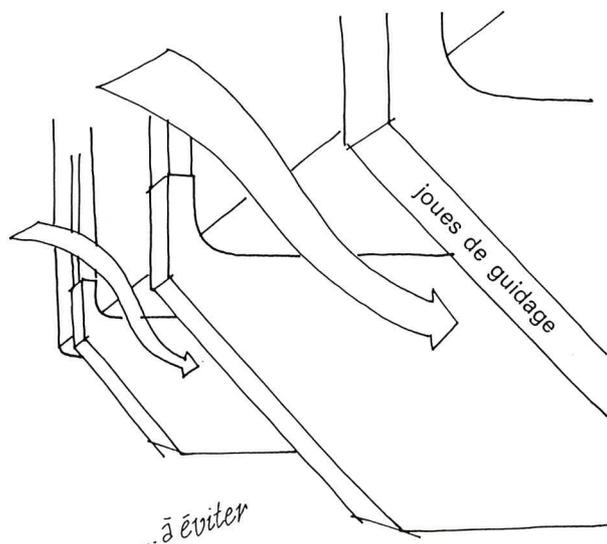
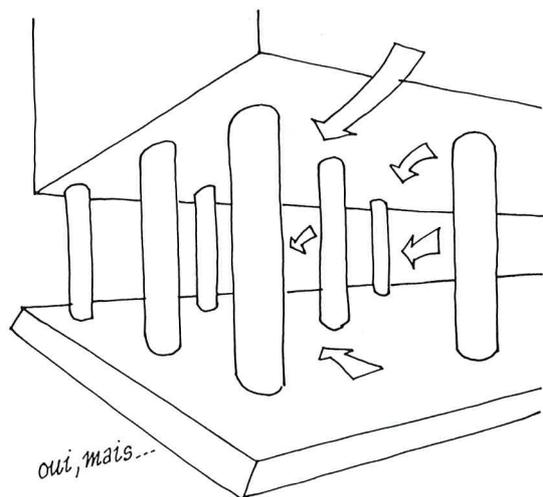
Les pilotis peuvent jouer, dans certains cas, le rôle de brise-vent.

Remarque : Les cours entourées d'immeubles sur pilotis présentent un confort acceptable.

Conseils pratiques

- Orienter les immeubles sur pilotis ou avec « trous » sous une incidence parallèle au vent.
- Fournir le pied des immeubles de végétation et de constructions.
- Introduire au niveau des volumes de liaison des éléments introduisant des pertes de charges.
- Éviter les immeubles à pilotis de forme pleine.

Figures VI-15-16.



– Diviser les flux au pied des immeubles en augmentant la porosité du bâtiment.

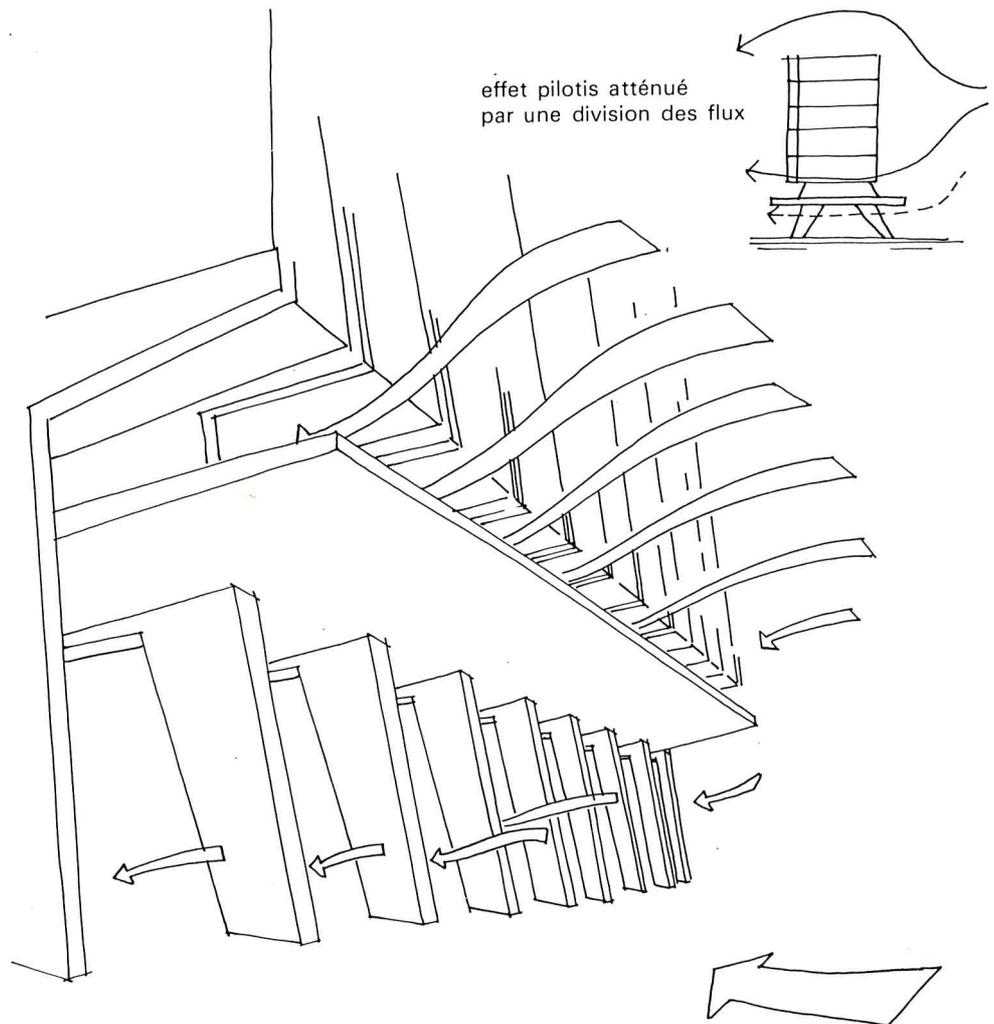


Figure VI-17.

3.2. Effet de coin

Définition :

Phénomène d'écoulement aux angles des constructions qui mettent en relation la zone de surpression amont et la zone de pression latérale du bâtiment.

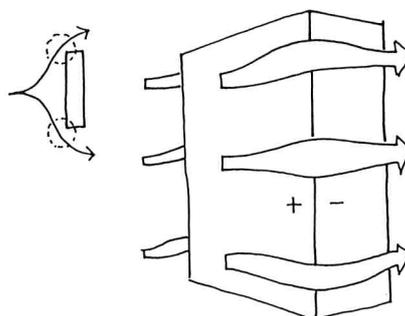
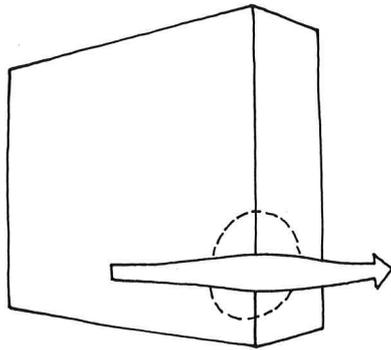


Figure VI-18.

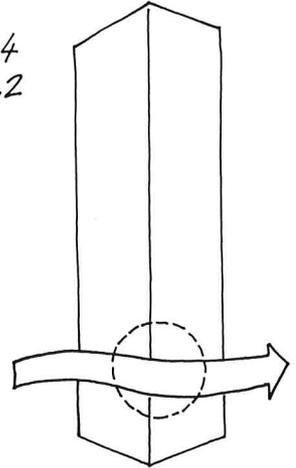
Quantification :
Formes isolées.

$\bar{h} = 15\text{ m} \rightarrow \psi \approx 1,2$

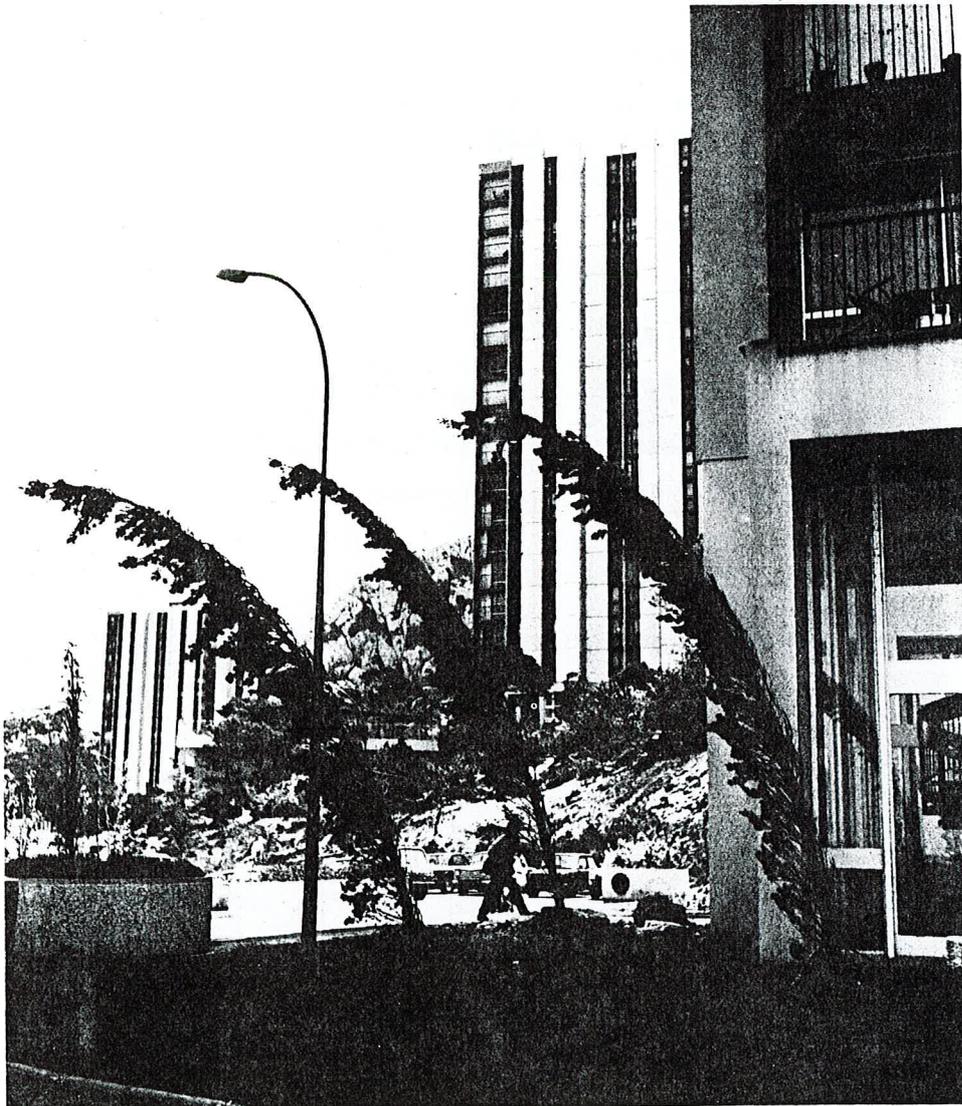
$\bar{h} = 35\text{ m} \rightarrow \psi \approx 1,5$



$\bar{h} = 45\text{ m} \rightarrow \psi \approx 1,4$
 $\bar{h} = 100\text{ m} \rightarrow \psi \approx 2,2$



Figures VI-19-20.



Effet de coin
Roy d'Espagne-Marseille.
Photo Guyot-Malaisé.
A.B.C.

Ensembles compacts de constructions. Les ensembles compacts, par leurs dimensions vis-à-vis du vent, forment un écran plus important que les formes aérées.

$$\bar{h} = 30 \text{ m.} \rightarrow \psi \approx 1,5$$

$$\bar{h} = 50 \text{ m.} \rightarrow 1,6 < \psi < 1,7_{\text{max.}}$$

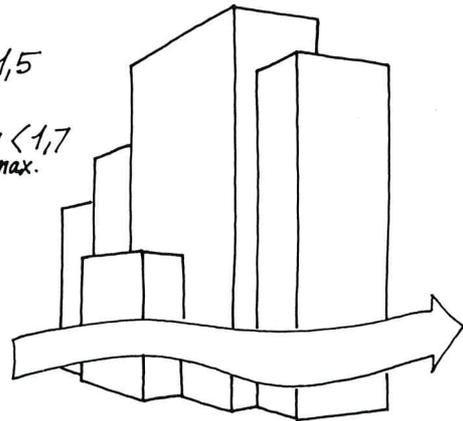


Figure VI-21.

Particularité de l'effet :

Gradient horizontal.

En plus de la zone de survitesse locale importante, l'effet conduit à un gradient horizontal très important, particulièrement inconfortable lorsque le piéton le franchit.

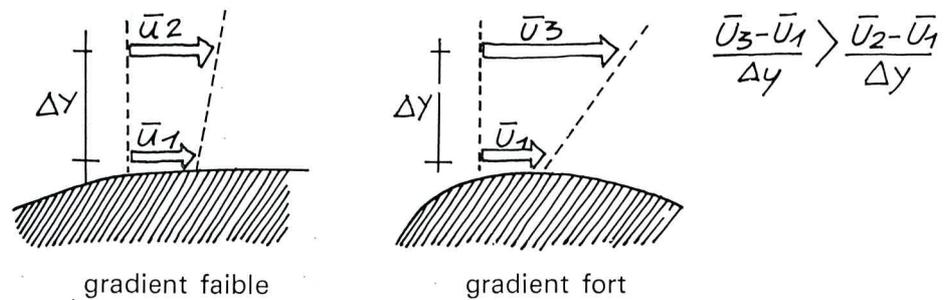


Figure VI-22.

Conseils pratiques :

Ceinturer le volume par un élément en rez-de-chaussée.

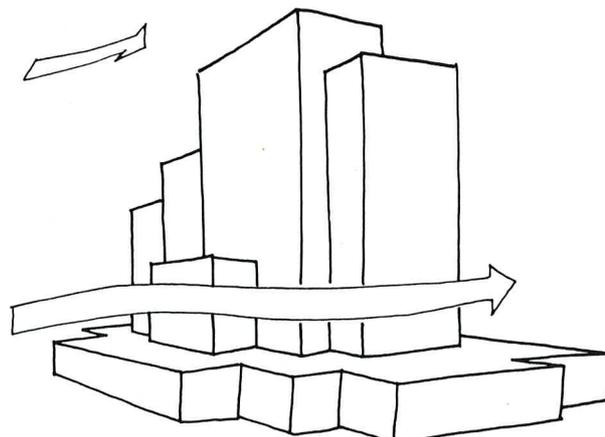


Figure VI-23.

Entourer l'élément élevé de constructions telles que : barres à cinq niveaux.

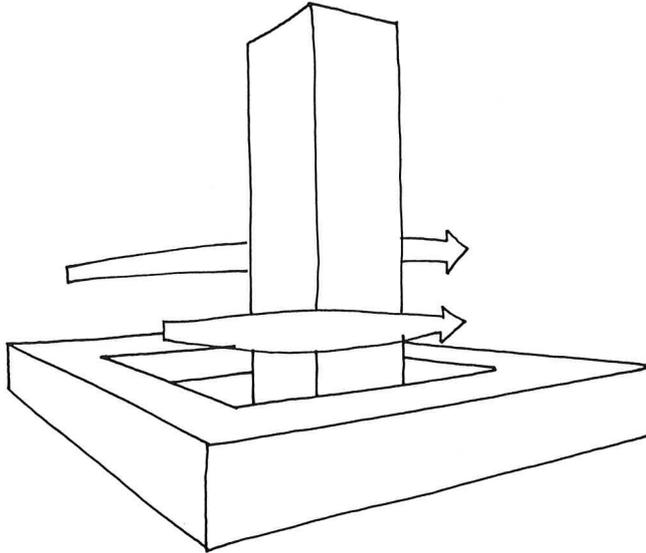
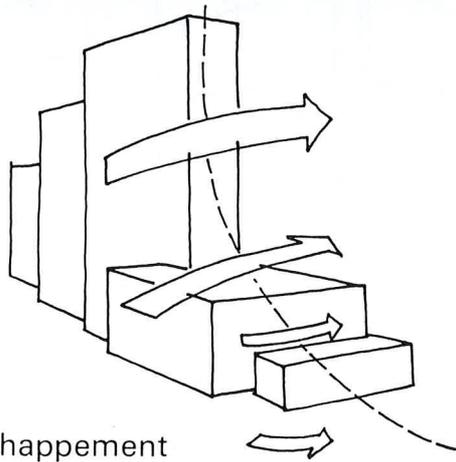
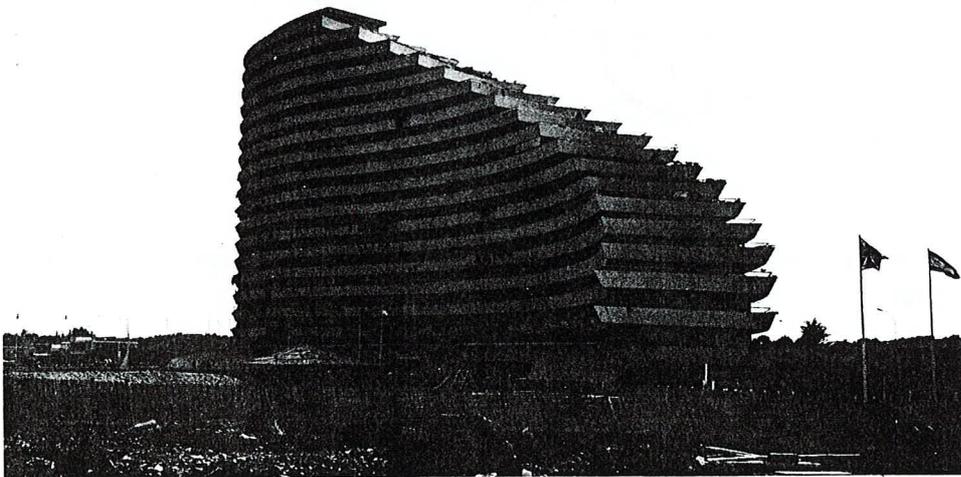


Figure VI-24.

Diminuer progressivement les hauteurs.



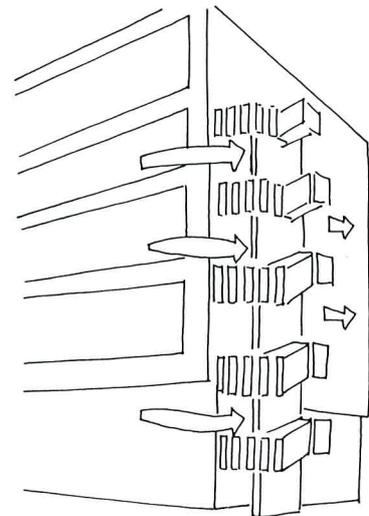
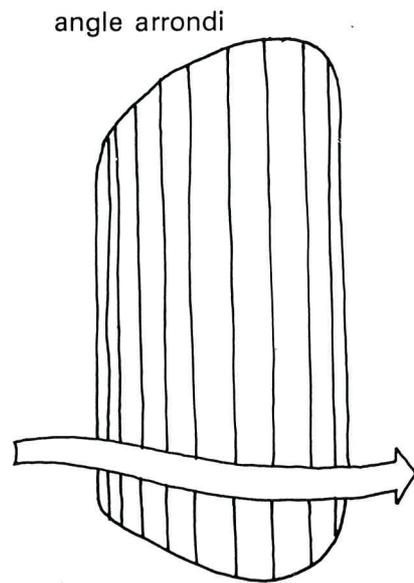
échappement
de l'écoulement : « latéral et vers le haut »

Figure VI-25.

Les angles arrondis diminuent le gradient horizontal des vitesses moyennes.

Prévoir des éléments poreux proches des angles.

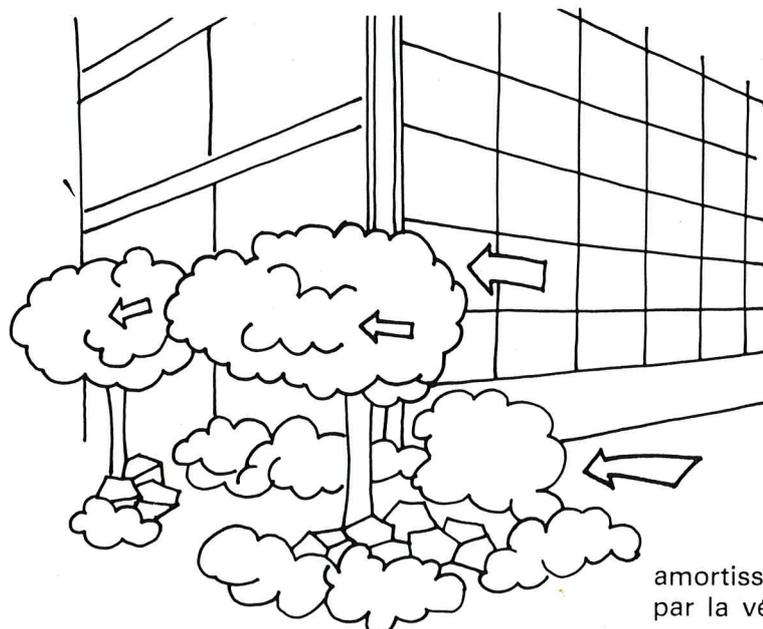
Figures VI-26-27.



éléments poreux à l'angle
pour diminuer
l'effet du gradient

Densifier (végétation, construction basse) le voisinage immédiat des coins.

Figure VI-28.



amortissement des flux
par la végétation

3.3. Effet de sillage

Définition

Circulation fluide tourbillonnaire en aval des formes.

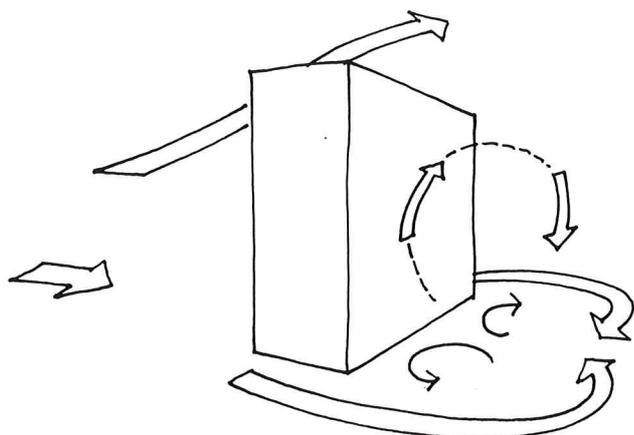
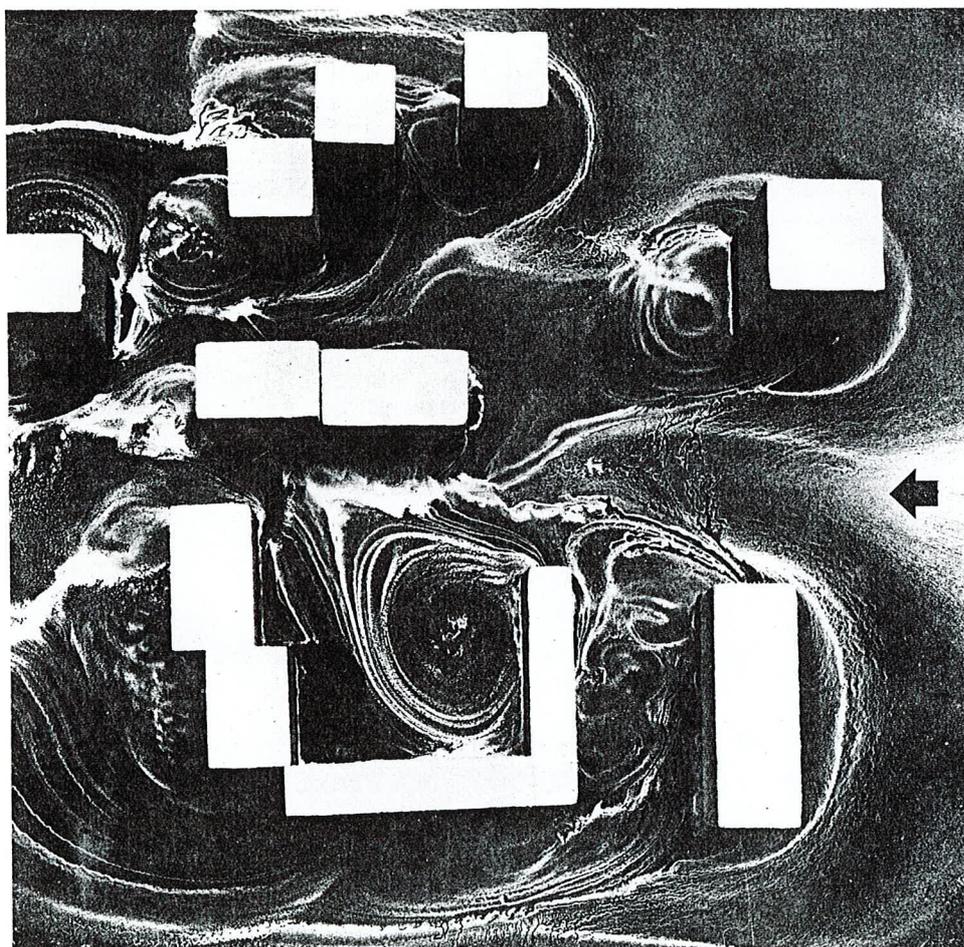


Figure VI-29.



Méthode de visualisation par enduit (C.S.T.B.).

Quantification et domaine affecté par l'effet

Le sillage intègre l'effet de coin. Ce dernier fournit les niveaux d'inconfort les plus élevés (survitesses très forte) : il est traité par ailleurs. Nous nous intéressons plutôt au domaine où la gêne est essentiellement liée à la turbulence.

– Formes parallélépipédiques

- L'importance du sillage est fonction du maître couple offert au vent incident.

- La persistance de l'effet de sillage est d'environ quatre fois la hauteur du bâtiment pour $15 \text{ m} \leq \bar{h} \leq 35 \text{ m}$.

La zone particulièrement exposée s'étend sur une aire : $h \times 2e$ de chaque côté de la forme.

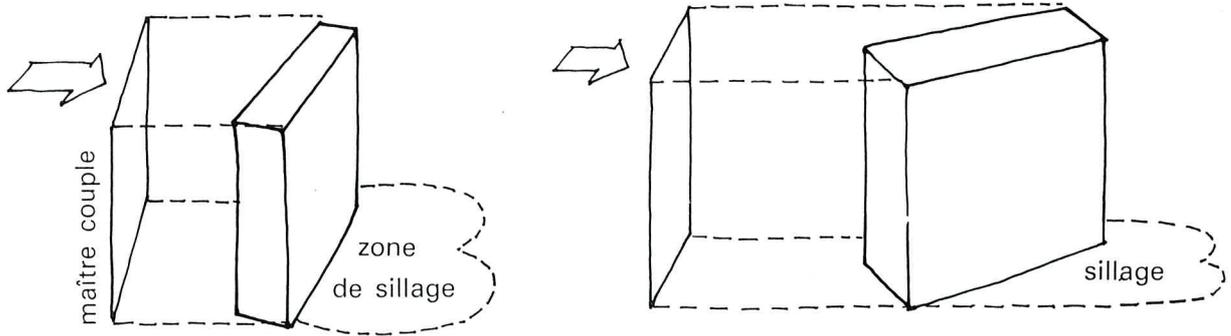


Figure VI-30.

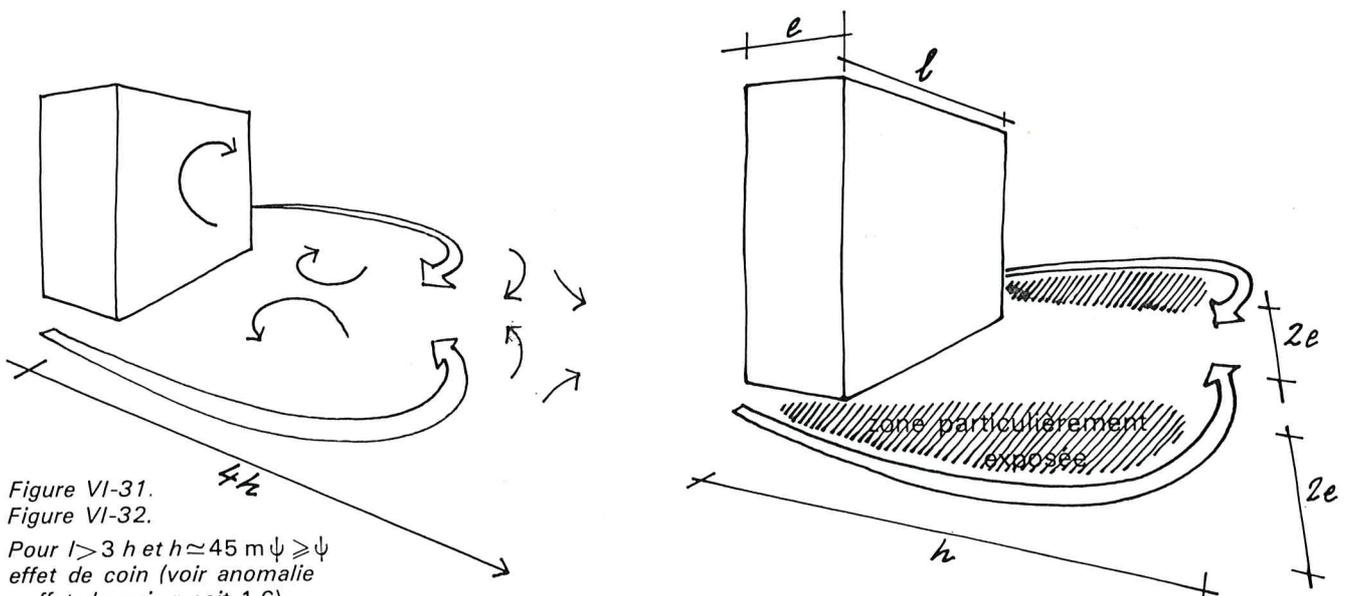


Figure VI-31.
Figure VI-32.

Pour $l > 3h$ et $h \approx 45 \text{ m}$ $\psi \geq \psi$
effet de coin (voir anomalie
« effet de coin » soit 1,6).

Lorsqu'on pénètre dans les zones tourbillonnaires de l'extérieur vers l'intérieur, les niveaux de survitesse décroissent considérablement.

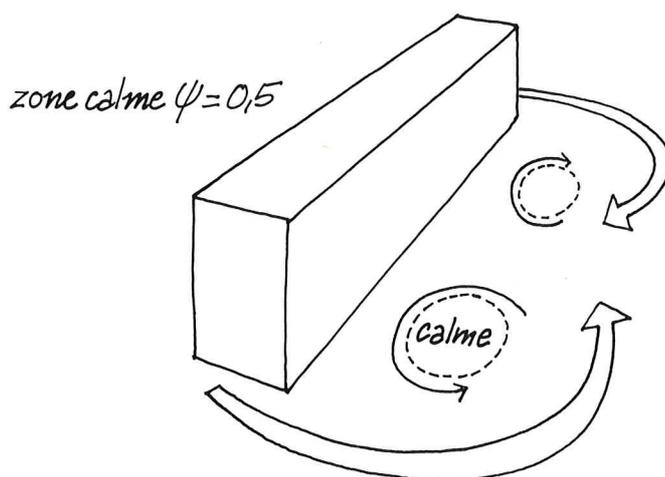


Figure VI-33.

— Immeuble tour ($45 < \bar{h} < 100$ m).

Le sillage a une forme caractéristique de « sabot de cheval ». La zone particulièrement affectée s'étend sur une aire $h \times 2e$ des deux côtés de la forme.

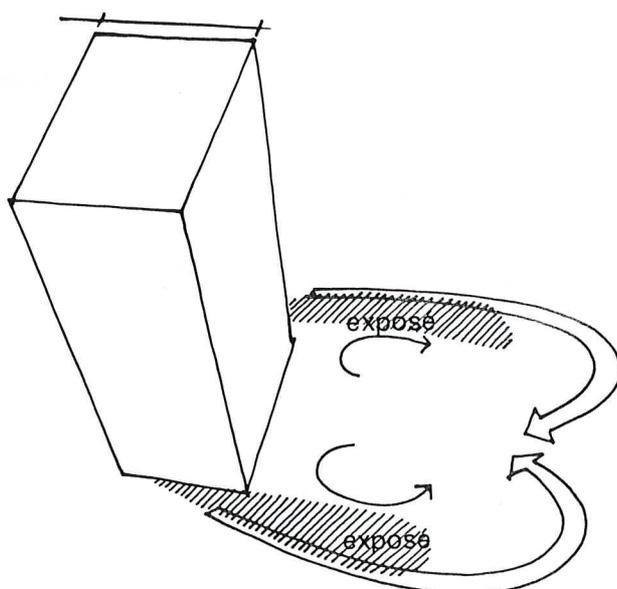


Figure VI-34.

$\psi_{max} = 1,4$ à $2,2$
pour $h = 45$ m à 100 m.
Même dans les zones
plus calmes $\psi \geq 1$.

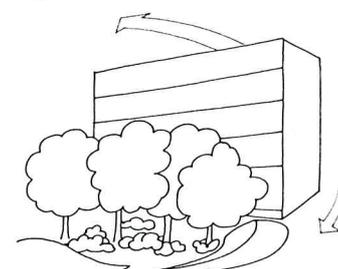
Conseils pratiques

Présenter au vent les constructions suivant leurs plus faible maître couple.

Le jeu végétal brise l'effet de sillage.

Plus l'environnement bâti est dense, plus l'effet de sillage est atténué.

Figure VI-35.



3.4. Rouleau tourbillonnaire au pied des immeubles

Définition :

Rouleau tourbillonnaire au pied de la face au vent.

Condition d'existence : Conditionné par le gradient vertical de vitesse moyenne du vent, la hauteur du bâtiment doit être supérieure à 15 m.

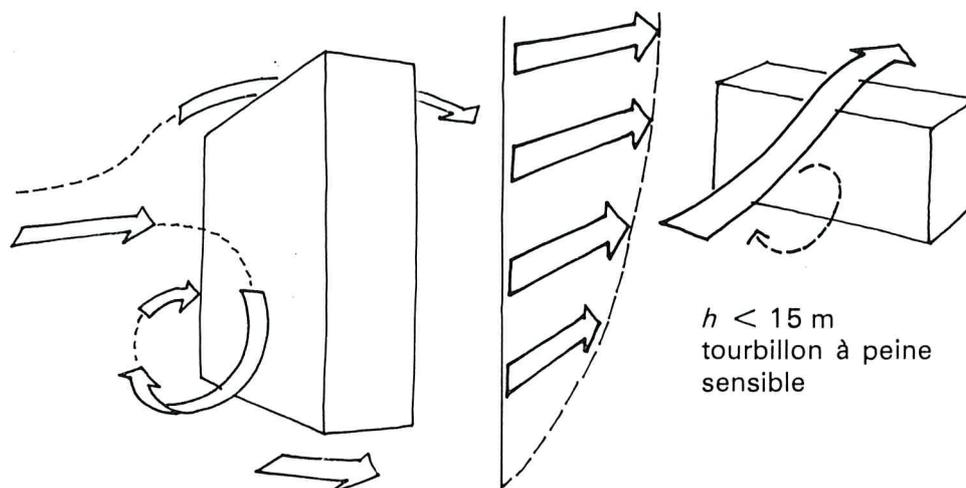


Figure VI-36.
Figure VI-37.
Franchissement
en majeure partie
par le dessus
pour $\bar{h} < 15$ m.

Quantification

Pour une incidence orthogonale $\psi \simeq 1,5$ pour $\bar{h} \simeq 60$ m.

Cette anomalie est particulièrement désagréable en raison des directions verticales que peut avoir l'écoulement dans le tourbillon.

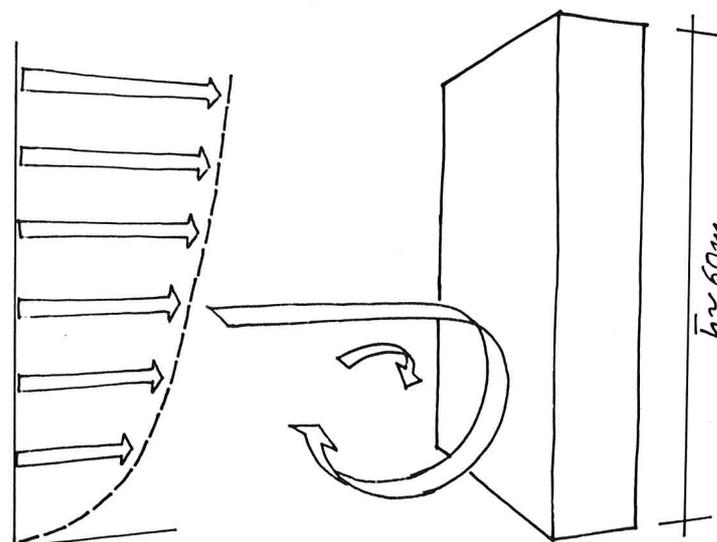


Figure VI-38.

Association critique (ou effet WISE) :

L'effet est renforcé par la présence d'un bâtiment bas (10 à 15 m) amont.

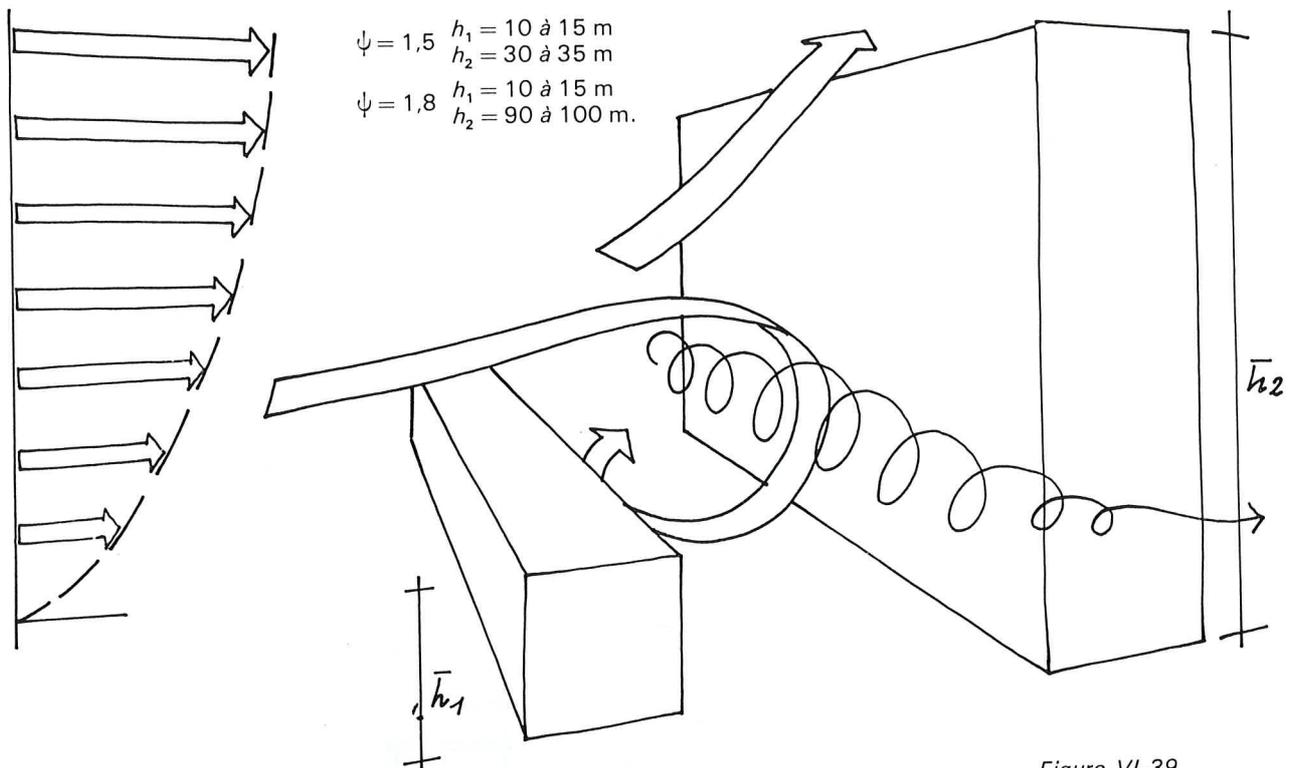
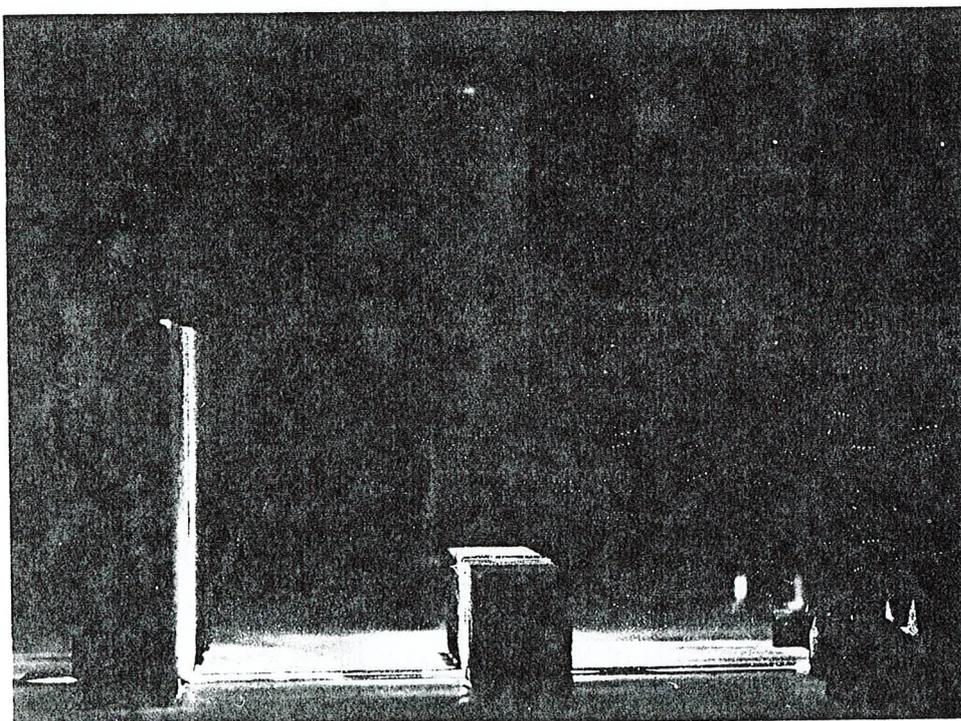


Figure VI-39.

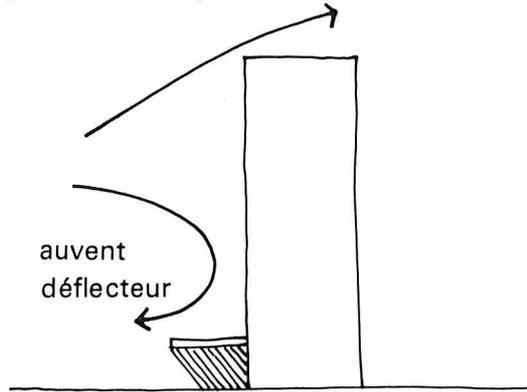


Méthode
chronophotographique
(C.S.T.B.).

Conseils pratiques

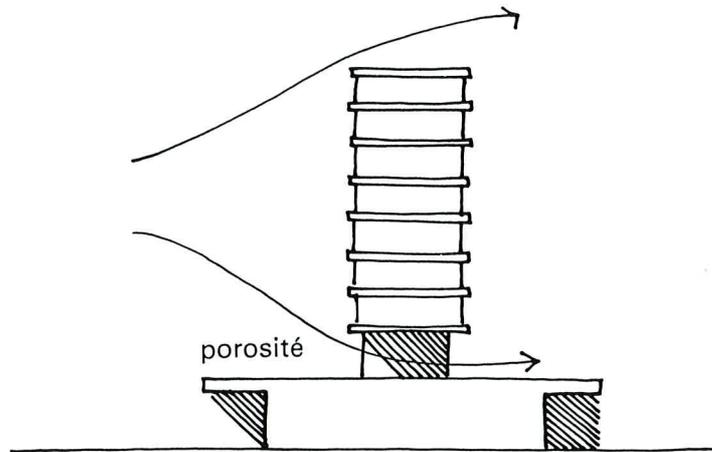
Densifier l'environnement proche.
Introduire des auvents déflecteurs.

Figure VI-40.



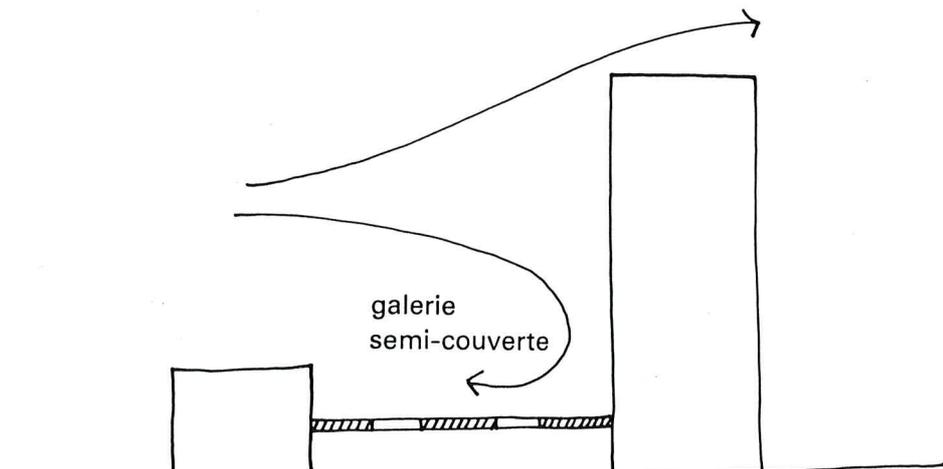
Introduire une porosité au-dessus du niveau piéton.

Figure VI-41.



Éviter les associations critiques ou recouvrir la zone exposée.

Figure VI-42.



3.5. Effet de barre

Définition

Déviation en vrille de l'écoulement au passage d'une barre pour une incidence voisine de 45° .

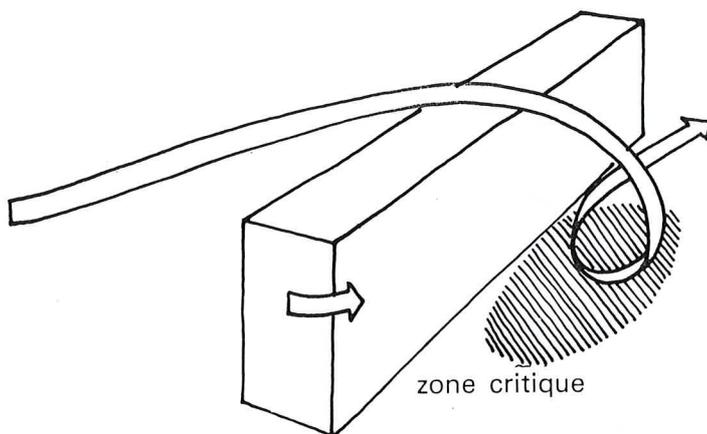


Figure VI-43.
La zone critique
est située
au « centre arrière »
de la barre.

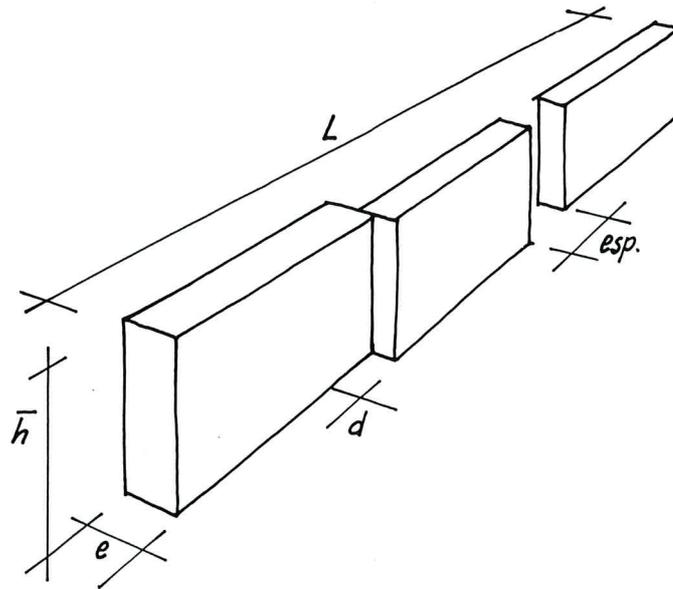
Effet de barre
Marseille
photo A. Guyot, Y. Malaisé



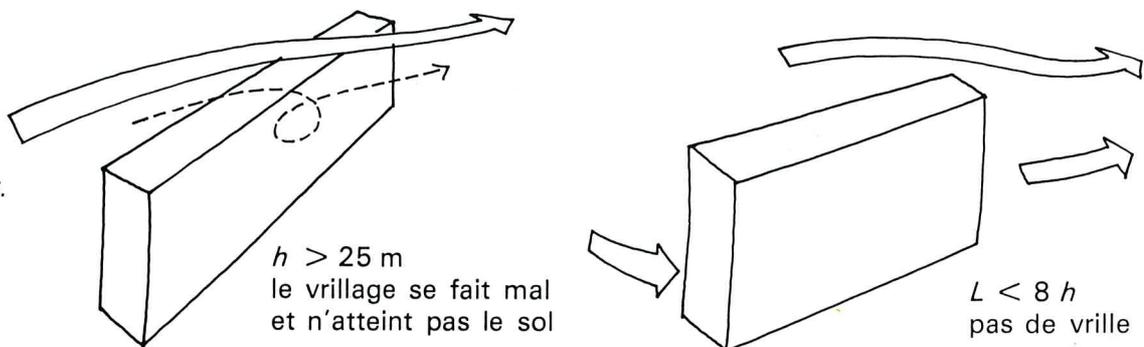
Condition d'existence du phénomène

Le phénomène existe si la géométrie de la barre est la suivante :

Figure VI-44.



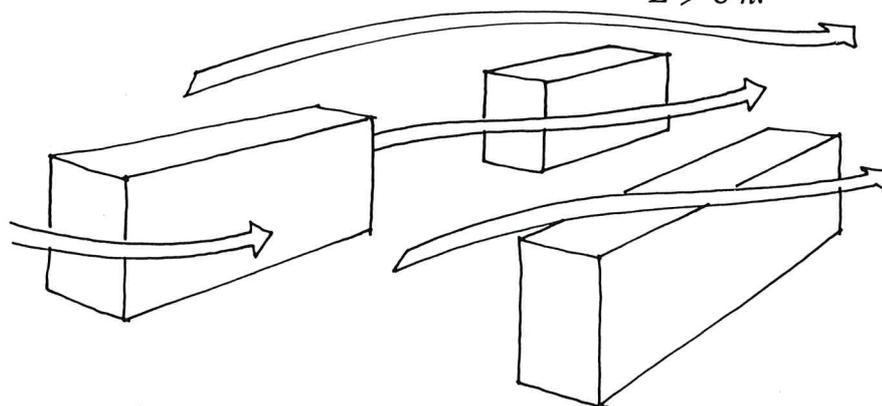
Figures VI-45-46.



Hauteur moyenne $\bar{h} < 25$ m.

Longueur minimum de la barre
 $L > 8h.$

Figure VI-47.



Les espacements entre les constructions inférieurs ou égaux à \bar{h} .

L'influence de l'environnement proche est prépondérante.

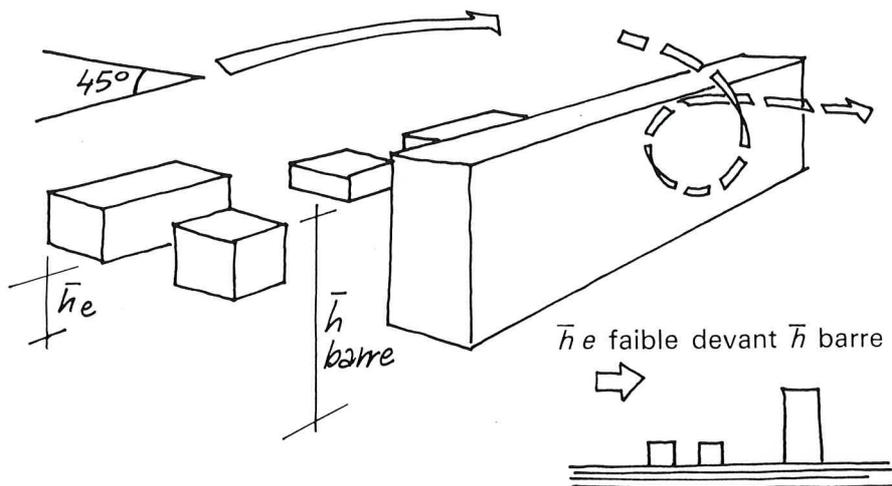


Figure VI-48.

- environnement proche de hauteur moyenne \bar{h}_e faible devant la barre : effet atténué.

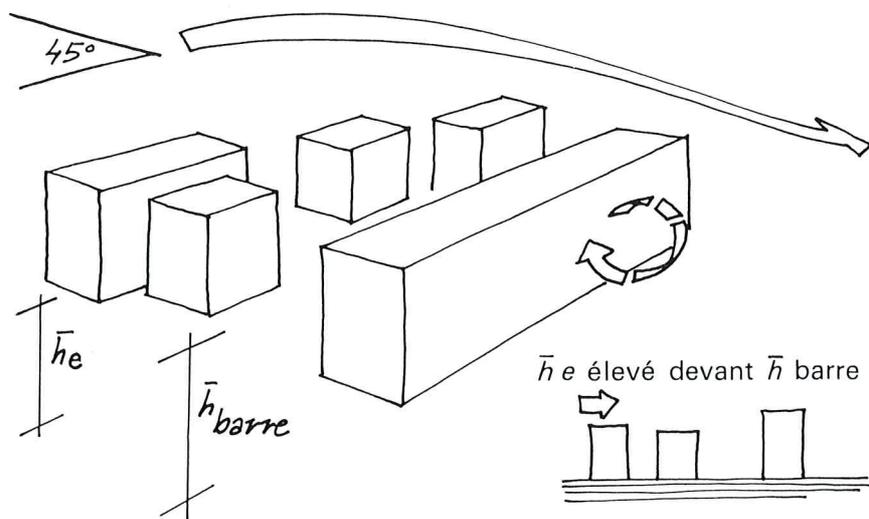


Figure VI-49.

- L'environnement proche est une barre parallèle : seul l'effet de barre se conserve sur la première barre au vent.

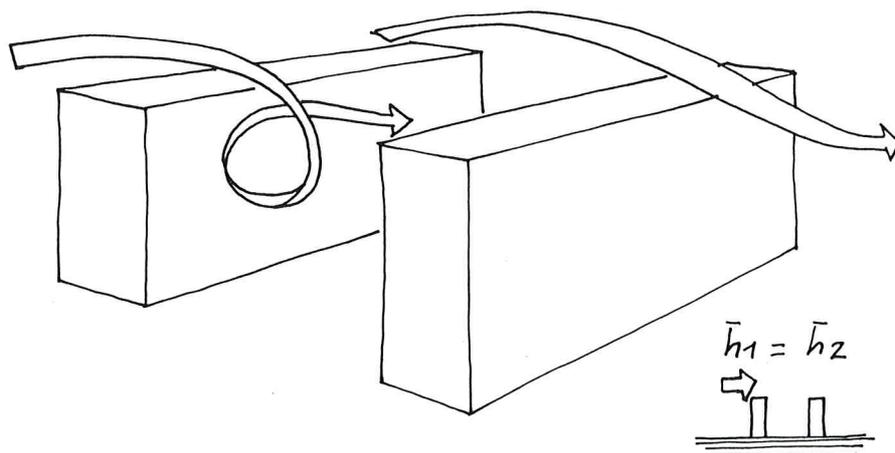


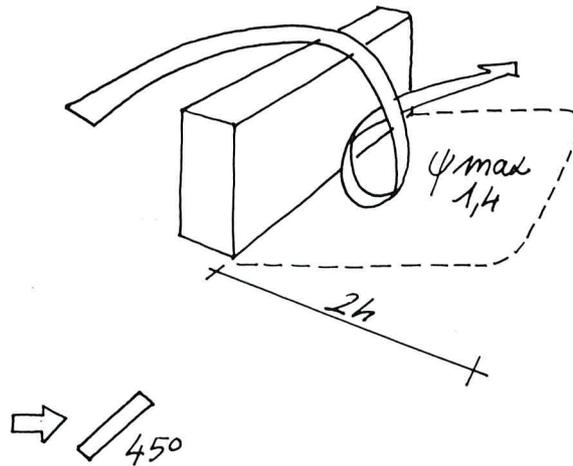
Figure VI-50.

- environnement proche de hauteur moyenne h_e du même ordre que celle de la barre : l'effet n'existe plus.

Quantification du phénomène

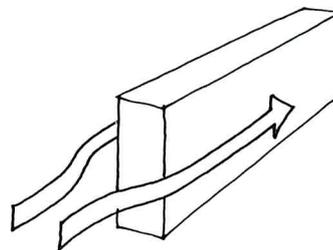
Figure VI-51.

La zone d'influence derrière la barre où ψ peut atteindre 1,4 est de l'ordre de $2h$.

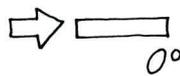


Remarque : cas des barres sous une autre incidence que 45° .
 – Barre parallèle au vent.

Figure VI-52.



écoulement peu perturbé

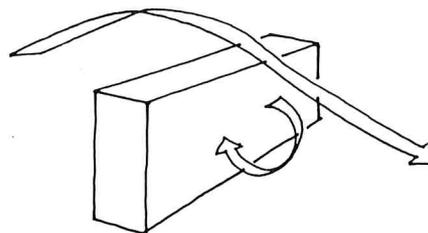


– Barre orthogonale au vent.

Figure VI-53.

Pour $15\text{ m} < h < 25\text{ m}$, un rouleau aval existe mais les valeurs de l'inconfort n'atteignent pas celle de l'incidence à 45° .

$$\psi_{90^\circ} < \psi_{45^\circ}$$



$$\psi_{90^\circ} < \psi_{45^\circ}$$



Conseils pratiques

Doter orthogonalement les barres d'« aspérités » bâties telles que $f_c > 2 \bar{h}$.

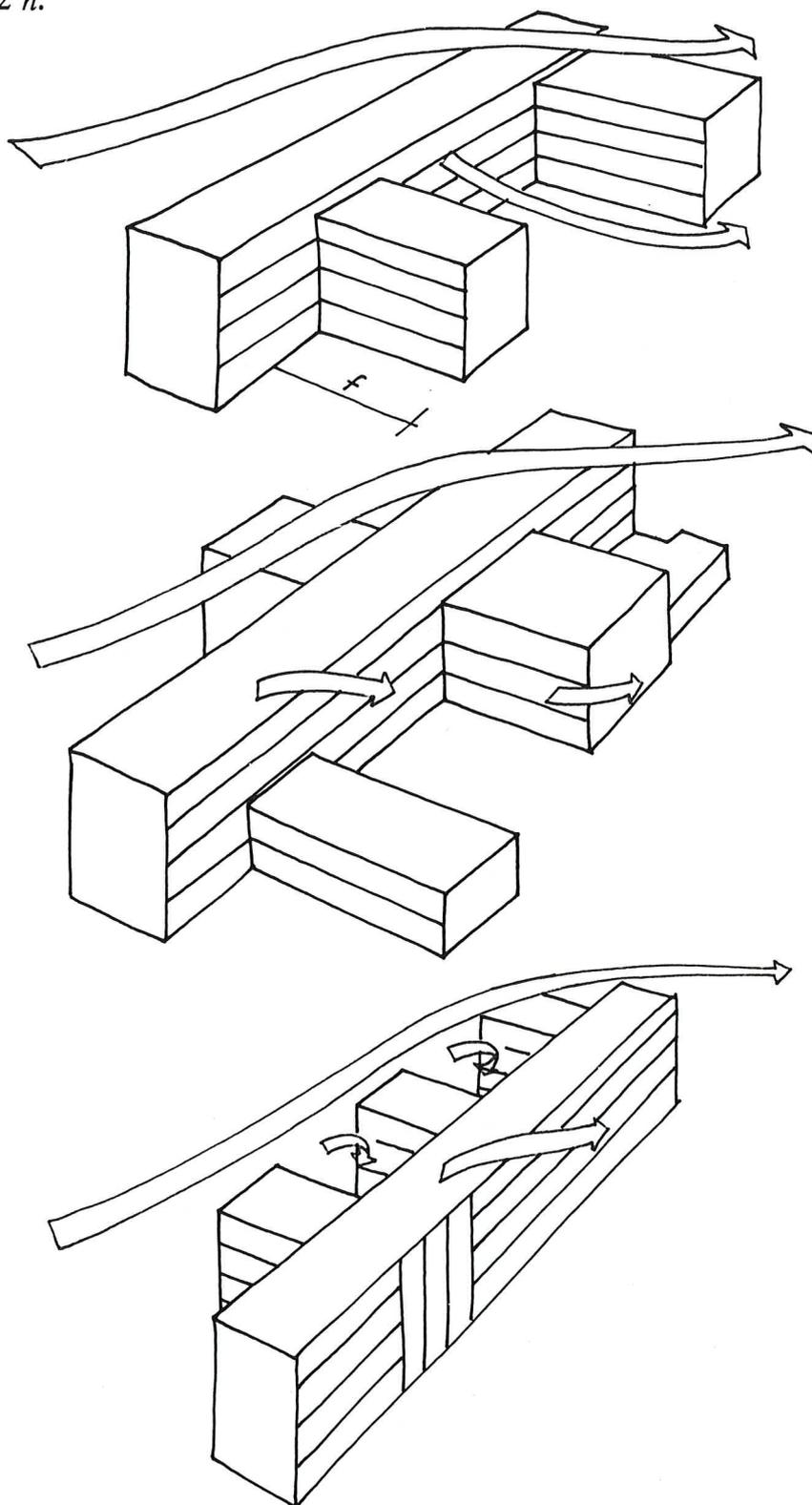
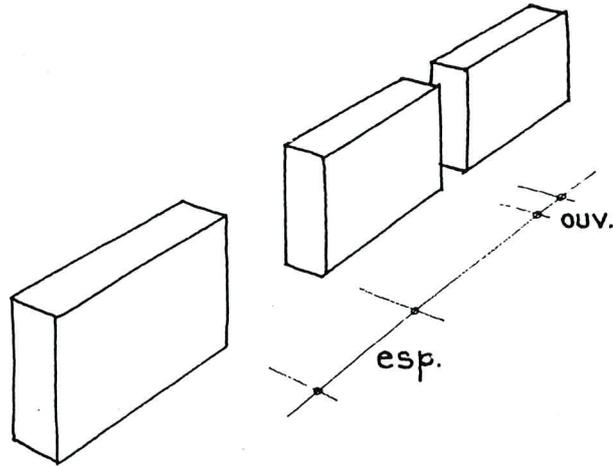


Figure VI-54.
L'écoulement
ne peut pas vriller :
comportement « global »
de la forme.

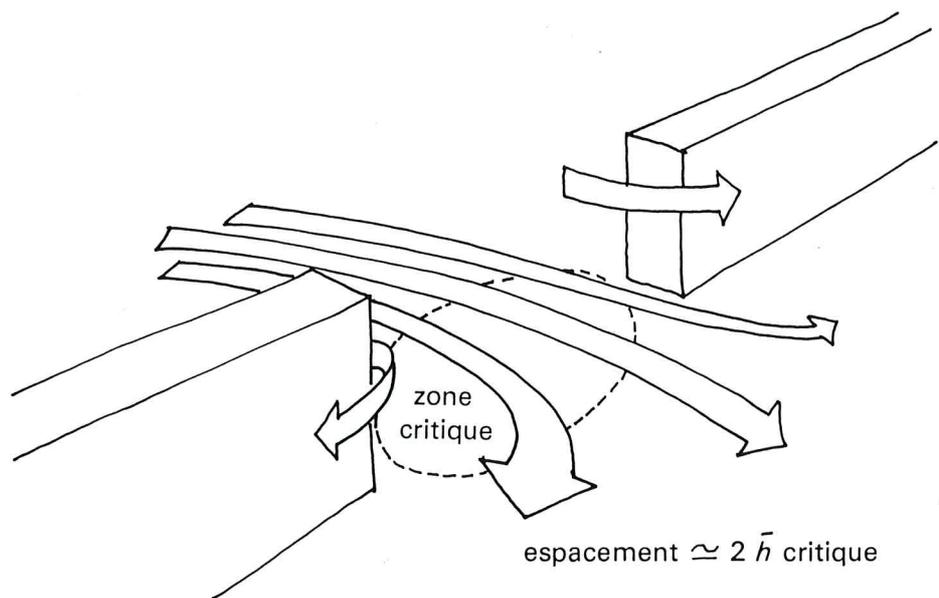
Faire des juxtapositions de bâtiments espacés à plus de $2 \bar{h}$: la porosité est telle qu'on n'a pas géométriquement une barre.
 Réaliser des bâtiments de longueur $L < 8 h$.

Figure VI-55.
 Quand espacement $\simeq 2 \bar{h}$:
 pas de barre.



Ouverture dans les barres ou espacement d'une barre à l'autre
 Les ouvertures dans les barres sont zones d'écoulements et il existe une dimension critique où le phénomène est amplifié.
 Espacement critique $\simeq 2 \bar{h}$.
 Dans ce cas, pour $15 \text{ m} < \bar{h} < 25 \text{ m}$ ψ_y atteint 1,3.

Figure VI-56.



En conséquence, au niveau des ouvertures dans les ensembles bâtis, des espacements inférieurs à \bar{h} ou nettement supérieurs à $2 \bar{h}$ sont recommandés.

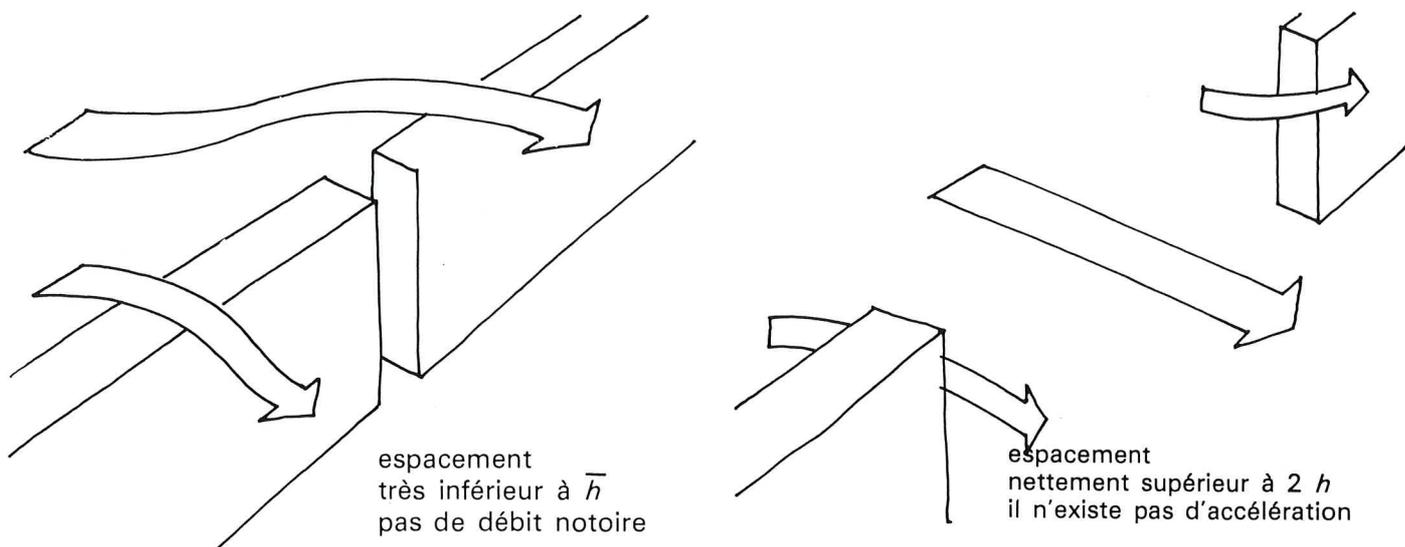


Figure VI-57 a et b.

3.6. Effet de venturi

Définition

Phénomène de collecteur formé par des constructions dessinant un angle ouvert au vent. La zone critique pour le confort se situe à l'étranglement.

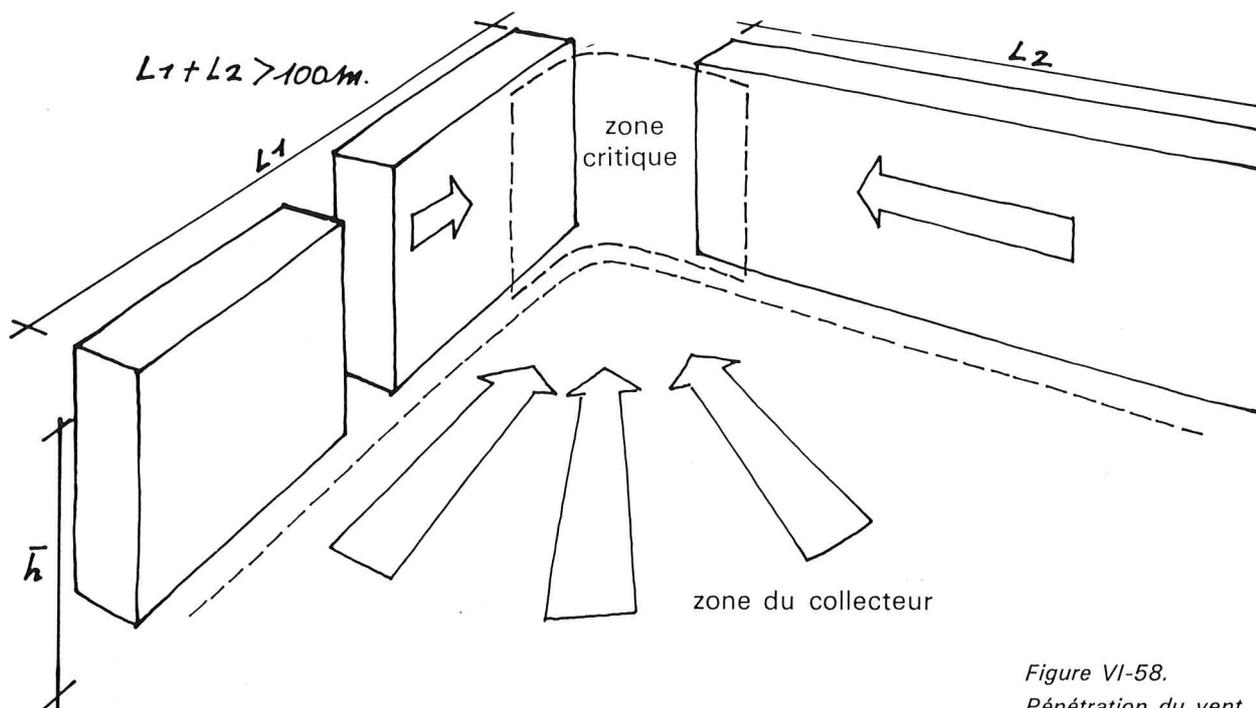


Figure VI-58.
Pénétration du vent.

Conditions d'existence

Hauteur moyenné des bras $\bar{h} > 15$ m.

Longueur minimale des bras pour un angle aigu ou droit entre ceux-ci : $l_1 + l_2 > 100$ m.

Si $l_1 + l_2 < 100$ m, l'entonnoir ne collecte pas suffisamment le flux.
Direction du vent grossièrement axé 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.

Figure VI-59.

Figure VI-60.

Si axe parallèle à un des bras : pas de concentration du fluide.

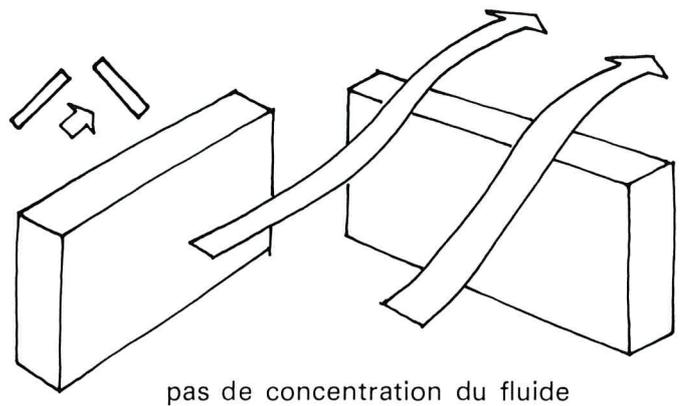
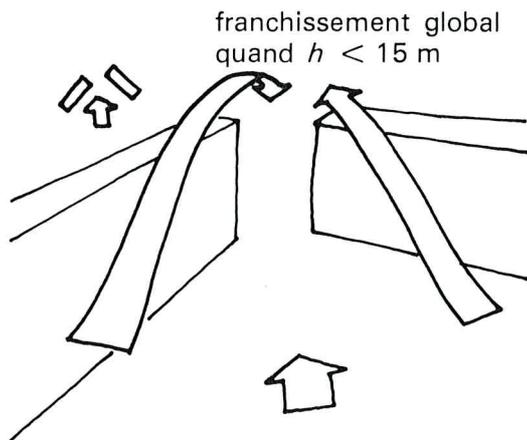
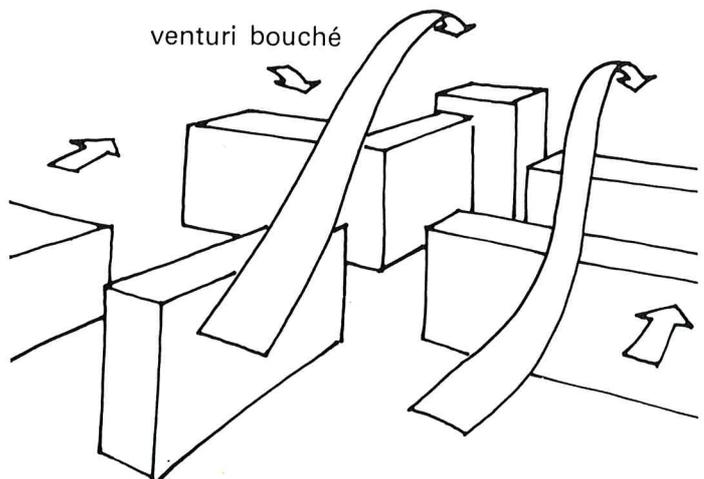
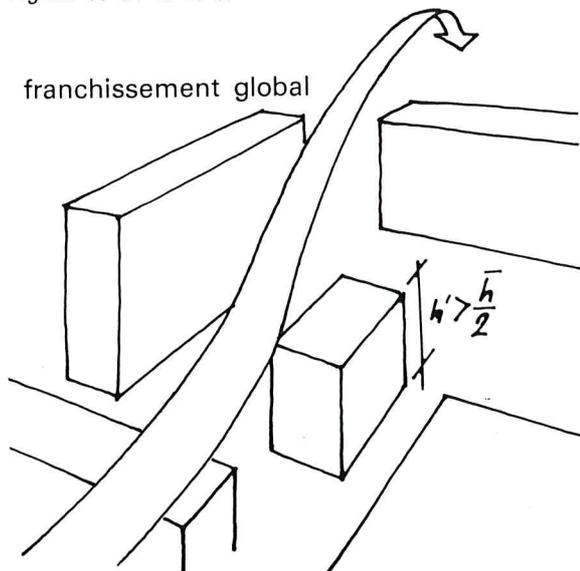


Figure VI-61 a et b.



La projection de la largeur du « trou » orthogonalement à la direction du vent ne doit pas être inférieure à $\bar{h}/2$ ou supérieure à $4\bar{h}$.

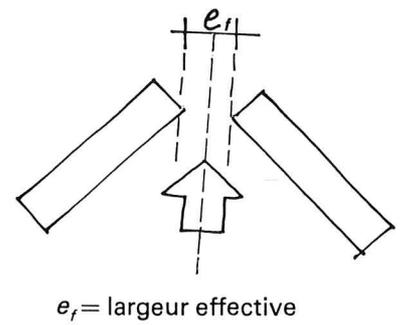
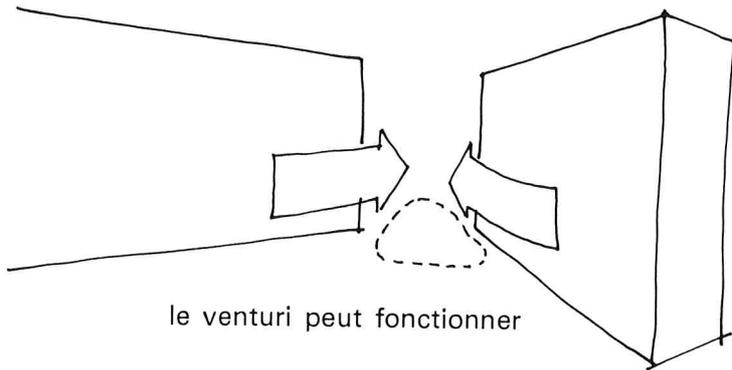
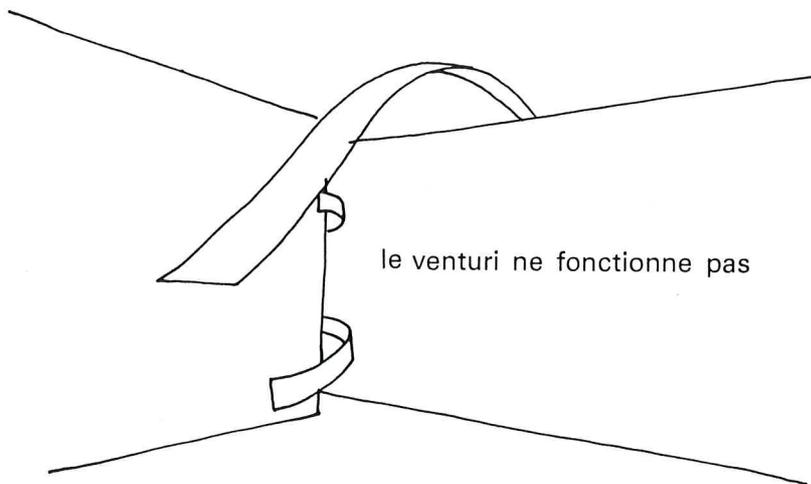


Figure VI-62.



largeur effective inexistante

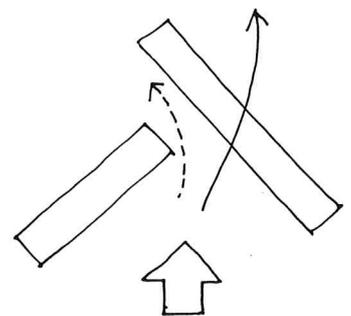
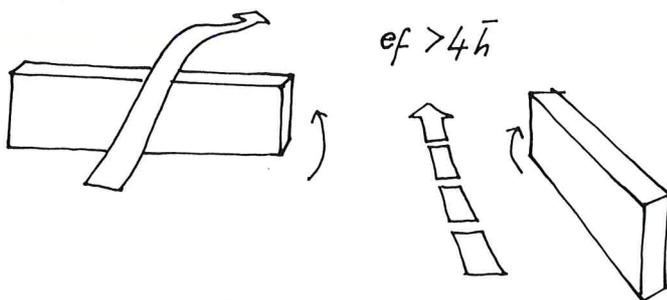


Figure VI-63.



pas de débit important dans l'orifice

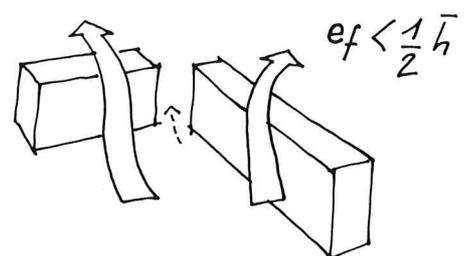


Figure VI-64.

Quantification du phénomène

Pour une largeur effective de l'étranglement de l'ordre de 2 à 3 fois la hauteur moyenne, le débit est maximum : si $\bar{h} \simeq 25$ m, ψ atteint 1,3; si $\bar{h} \simeq 45$ m, ψ atteint 1,6.

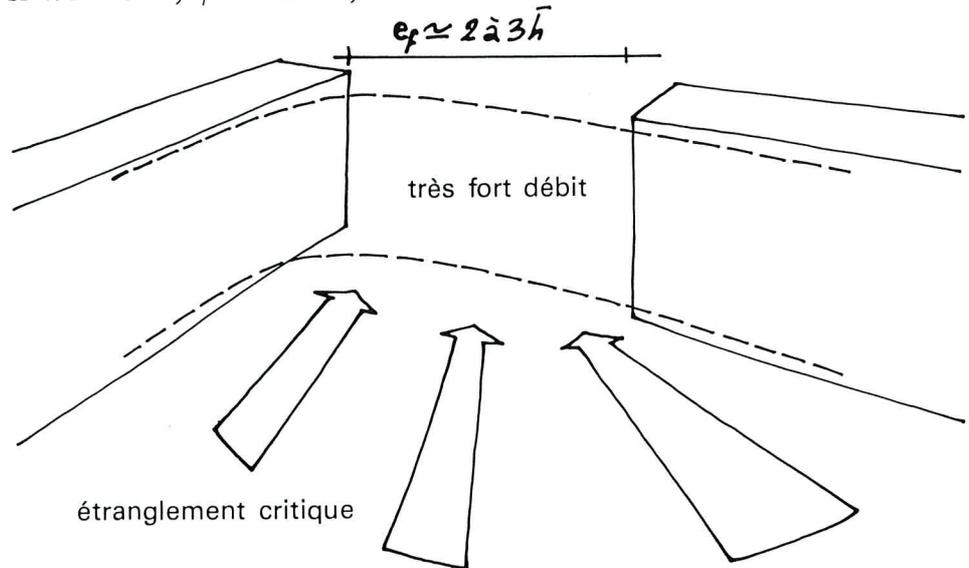


Figure VI-65.

Venturi particuliers

Les venturi à formes courbes ou prolongées d'un divergent conduisent à de véritables tuyères aérodynamiques. L'effet de sur vitesse est violemment amplifié.

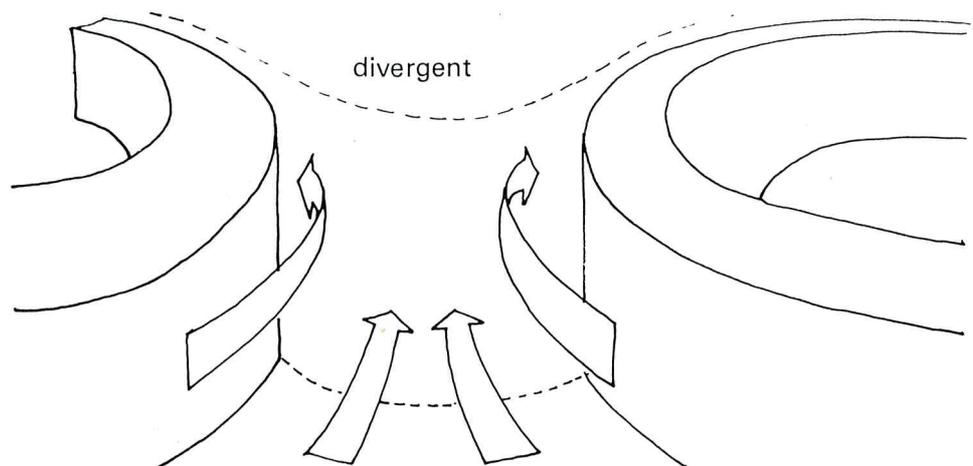


Figure VI-66.

Si $h \simeq 15$ m, ψ atteint 1,2.
Si $h \simeq 40$ à 50 m, ψ atteint 2.

Conseils pratiques

Réaliser des bras poreux : espacement entre les bâtiments constituant les bras $> \bar{h}$.

Ne pas axer la bissectrice de l'ouverture du collecteur suivant les vents dominants.

Construire le moins haut possible ($\bar{h} < 15$ m).

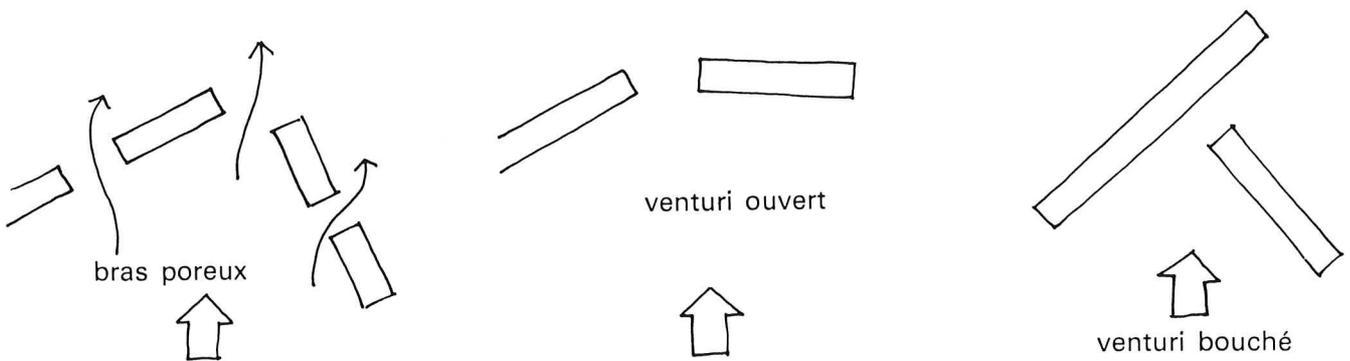
Réduire la longueur des bras pour que $l_1 + l_2 < 100$ m.

Densifier l'environnement immédiat (même hauteur si possible aval ou amont).

Ouvrir ou fermer franchement l'angle du Venturi.

Prolonger au maximum au-delà de l'étranglement l'un des bras.

Ne jamais associer un divergent à la suite d'un collecteur.



Figures VI-67-68 a-68 b.

3.7. Effet de liaison de zones de pression différente

Définition

Phénomène d'écoulement entre les zones de pression différente (sens des pressions décroissantes) formé par des bâtiments placés en quin-conce sous une incidence voisine de la normale.

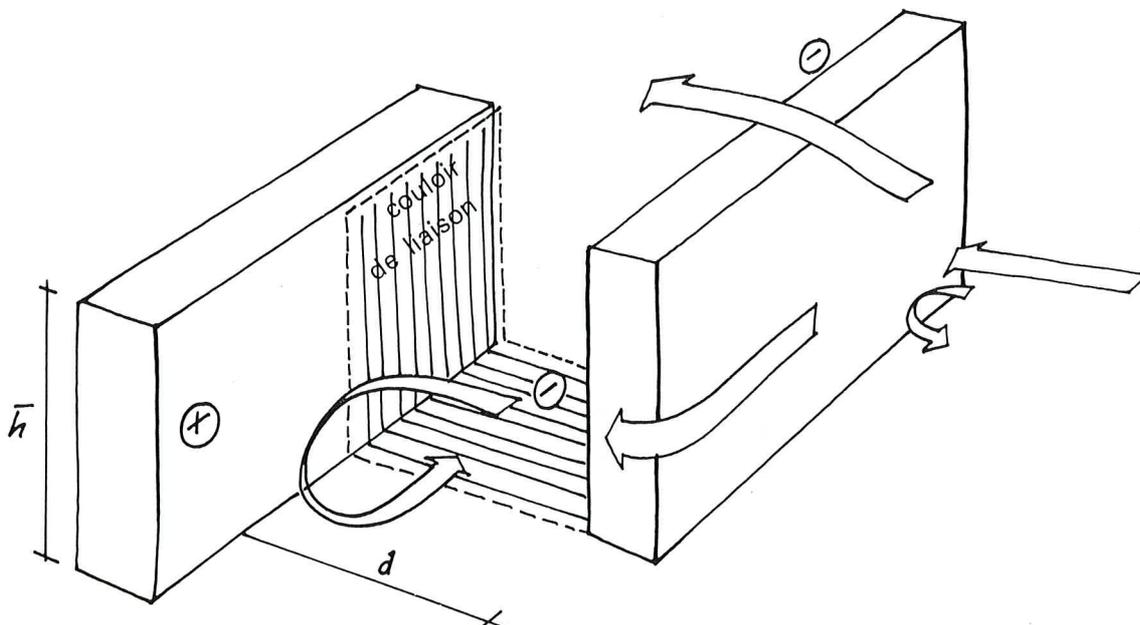


Figure VI-69.
L'anomalie affecte tout le couloir de liaison.

Conditions d'existence

Hauteur moyenne maximum $\bar{h} = 15$ m.

Couloir de liaison bien défini et pas trop large : $d \leq \bar{h}$.

- Si $d > \bar{h}$, comportement pratiquement individuel des formes.

franchissement global quand $\bar{h} < 15$ m

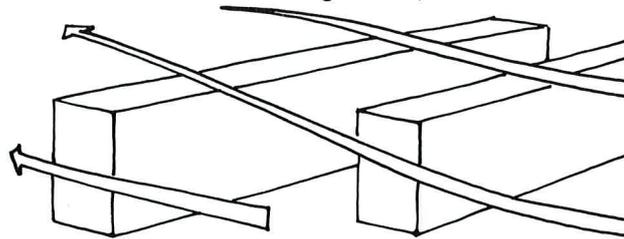


Figure VI-70.

- Si couloir de liaison mal défini (porosité ou élément obturateur), pas de phénomène.

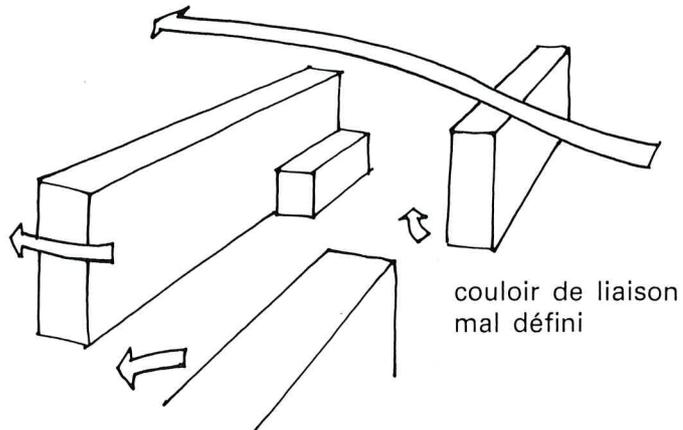


Figure VI-71.

L'aire au vent « non commune » aux bâtiments suffisante : $a \geq \bar{h}$.

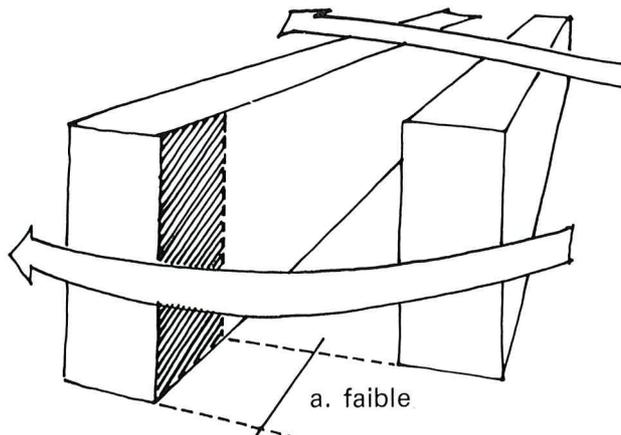


Figure VI-72.

Si $a < \bar{h}$:
décrochement trop faible,
contournement global.

Quantification du phénomène

Influence prépondérante de la hauteur.

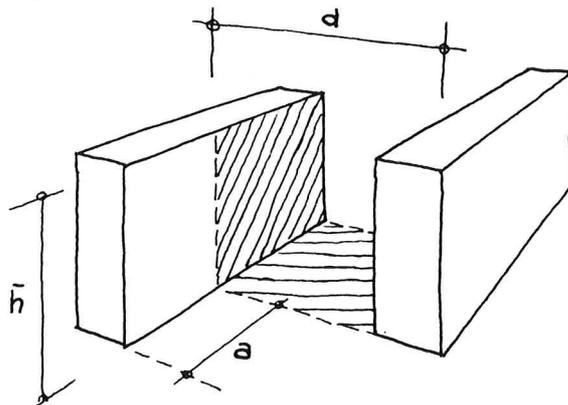


Figure VI-73.

$\bar{h} = 15 \text{ m} \rightarrow \psi = 1,2$
 $\bar{h} = 35 \text{ m} \rightarrow 1,3 < \psi < 1,6$.

Cas des tours de grande hauteur $\bar{h} = 100 \text{ m}$.

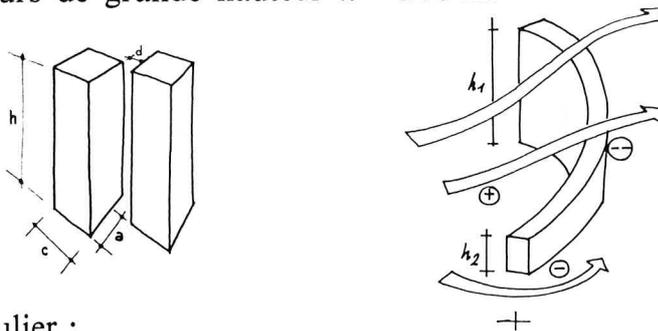


Figure VI-74.

Espacement critique
 $d \approx \frac{c}{4}$ alors $\psi \approx 1,8$

Figure VI-75.

Niveaux de dépression différents : écoulement secondaire aval. Pour une différence :

$\bar{h}_1 \approx 40 \text{ m}$
 $\bar{h}_2 \approx 15 \text{ m}$ } $\psi > 1$

Cas particulier :

Construction adjacente à hauteur variable.

Conseils pratiques

Entraver l'écoulement dans les couloirs de liaison : chicanes.

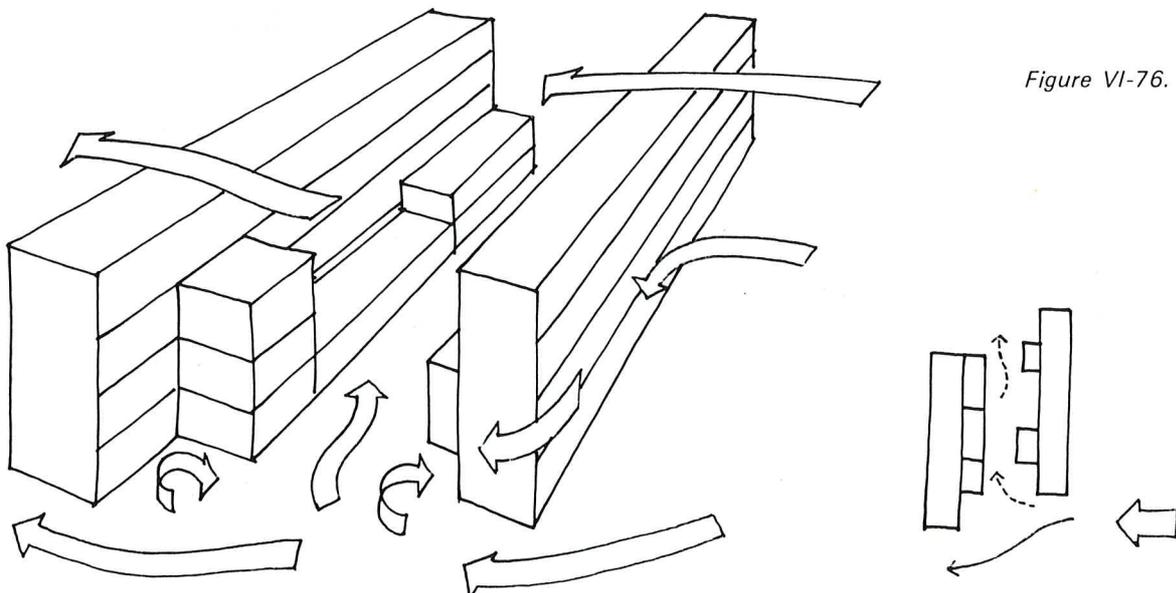


Figure VI-76.

- Découper le bâtiment au vent en tronçons espacés d'au moins \bar{h} .
- Construire le moins haut possible $\bar{h} \leq 15$ m.
- Réduire les aires au vent non communes $a < \bar{h}$.
- Réaliser des couloirs de liaison très larges $d > \bar{h}$.
- Espacer les tours $d > 2C$ ou les accoler $d < \frac{C}{4}$.

3.8. Effet de canalisation

Définition

Ensemble construit formant un couloir à ciel ouvert.

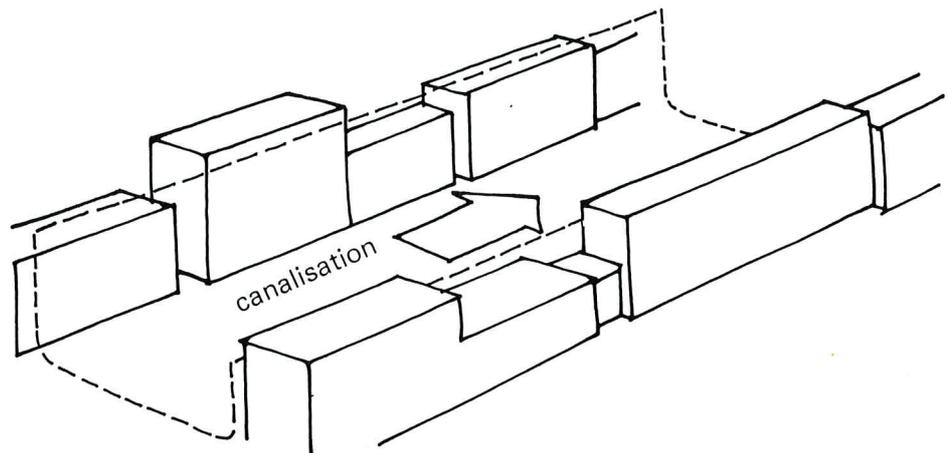


Figure VI-77.

Une canalisation n'est pas une cause de gêne en soi. Elle n'agit que si elle est associée à une anomalie aérodynamique qu'elle transmet sur toute sa longueur, exemple : association canalisation-Venturi.

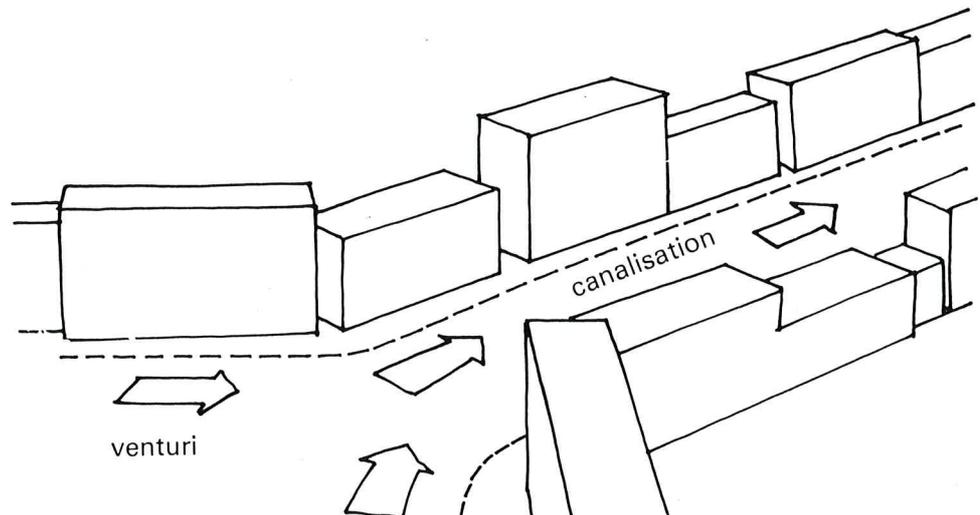


Figure VI-78.

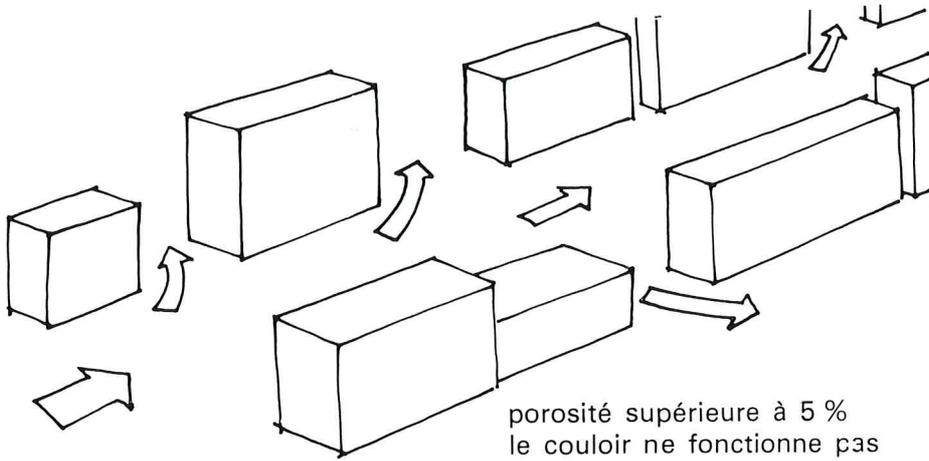


Figure VI-79.

Condition d'existence

Le couloir est constitué de parois peu poreuses : espacement égal ou inférieur à l'épaisseur des bâtiments.

La largeur du couloir reste inférieure à $2 \bar{h}$.

Pour une largeur $> 3 \bar{h}$, pas de guidage du flux.

Hauteur minimum des bras $\bar{h} \geq 6$ m.

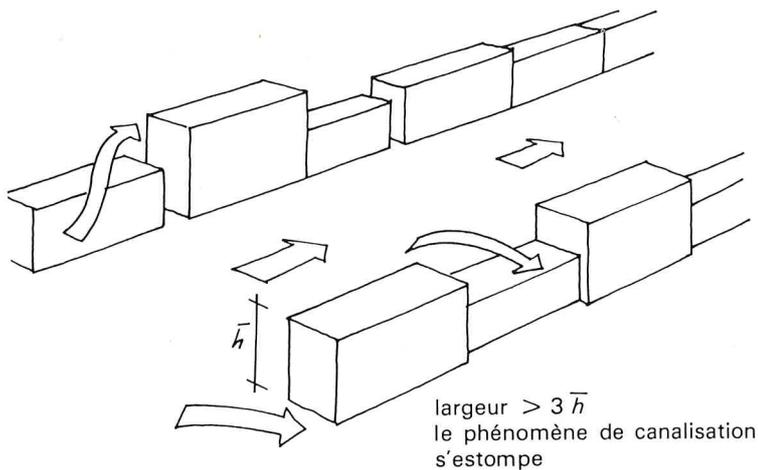


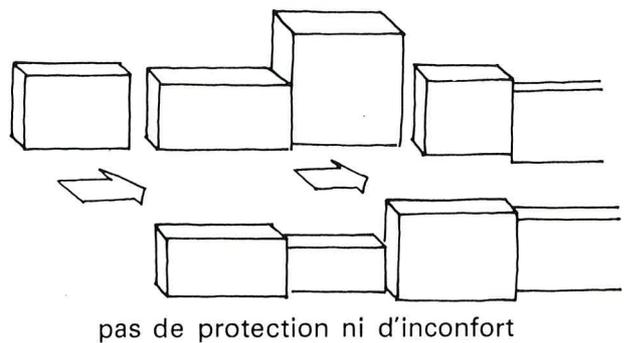
Figure VI-80.

Figure VI-81.

Cas particulier

La rue ou le « couloir isolé ».

Rue parallèle au vent.



Rue à 45° ou orthogonale au vent.

Dans une optique de recherche de confort, il y a intérêt à présenter les rues sous une incidence comprise entre 45° et 90°, mais attention à l'effet de barre dans l'incidence à 45°.

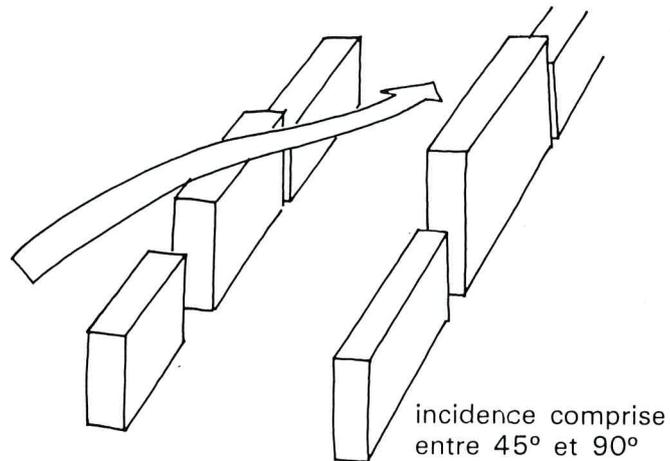


Figure VI-82.

Conseils pratiques

Proposer une direction de rues sous une incidence comprise entre 90° et 45°.

Laisser des espaces (porosité) définissant mal les liaisons.

Favoriser les décrochements de bâtiments pour introduire des pertes de charge.

Introduire une largeur $> 2 \bar{h}$.

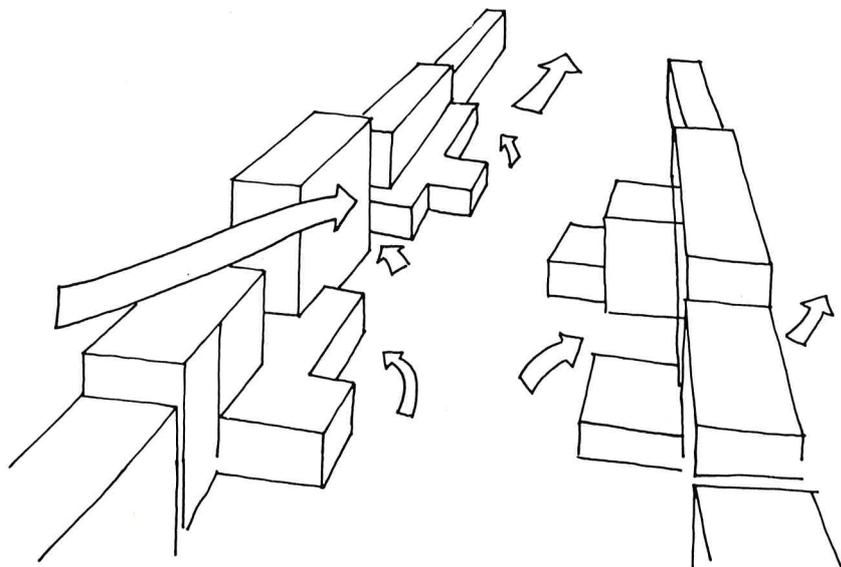


Figure VI-83.

3.9. Effet de maille

Définition

Juxtaposition de bâtiments qui forment alvéole ou poche.

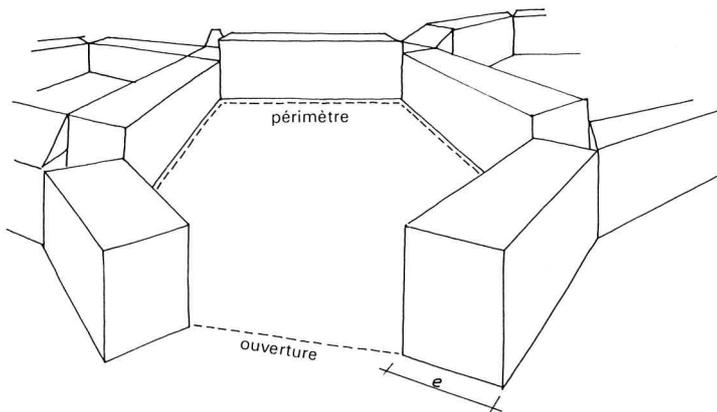


Figure VI-84.

Conditions d'existence

La hauteur moyenne \bar{h} > à l'épaisseur.

L'ouverture ne représente pas plus de 0,25 du périmètre de la maille.

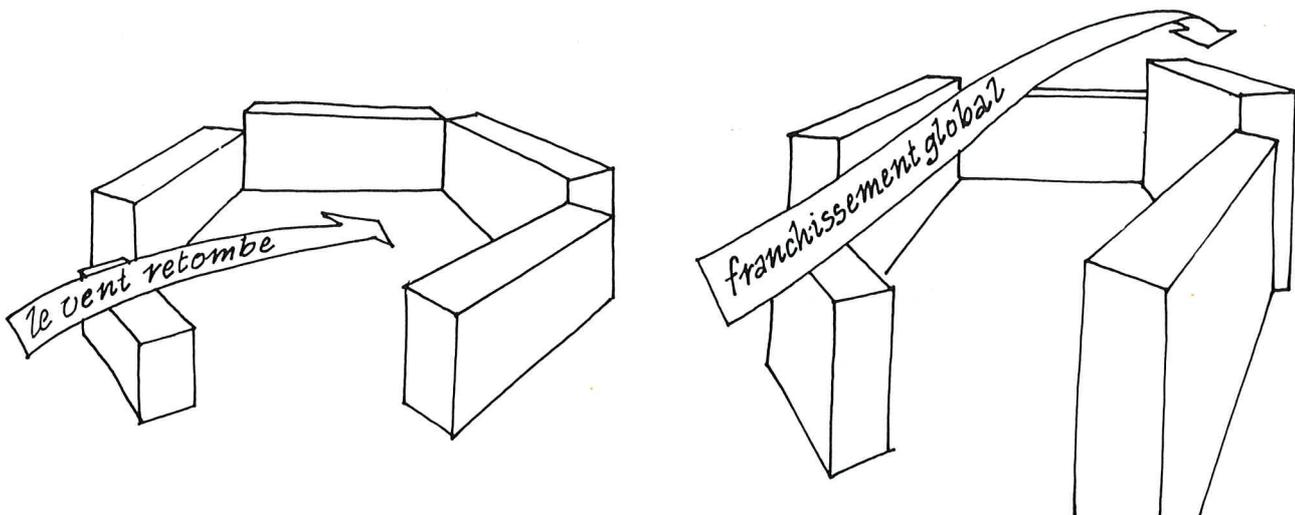
Quantification de l'effet

Paramètre de quantification.

Une maille va, suivant ses dimensions, être franchie globalement (zone abritée alors) ou, compte tenu de sa faible hauteur moyenne \bar{h} ou de sa superficie S , être pénétrée par le vent qui retombe dans la maille.

L'effet fait intervenir le paramètre sans dimension $\frac{S}{\bar{h}^2}$.

Figure VI-85.



Influence de la hauteur et de l'orientation du vent (vis-à-vis de l'ouverture).

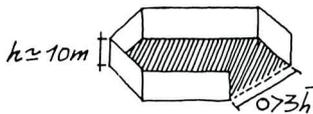


Figure VI-86.

- $\bar{h} \approx 10 \text{ m}$
ouverture $\geq 3 \bar{h}$ } $\psi > 1$,

Maille exposée pour toutes les orientations de vent.

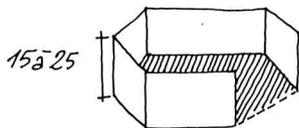


Figure VI-87.

- $\bar{h} \approx 15 \text{ à } 25 \text{ m} : 0,4 < \psi < 0,8$,
pour toutes directions de vent tant que $\frac{S}{\bar{h}^2} < 10$,
effet de protection.

- $\bar{h} \approx 35 \text{ m} : \text{le confort est fonction de l'incidence.}$

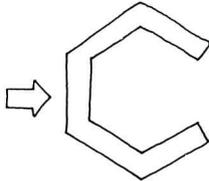


Figure VI-88.

- Maille fermée,
si $\frac{S}{\bar{h}^2} < 30$ alors $\psi \leq 0,5$,
excellente protection.

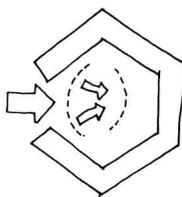


Figure VI-89.

- Maille ouverte,
si $\frac{S}{\bar{h}^2} < 20$ alors $\psi \leq 0,8$,
protection dans 0,75 % de la surface (« l'embouchure » n'est pas protégée).

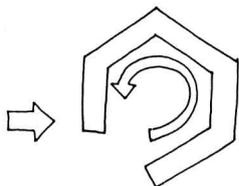


Figure VI-90.

- Maille à 45°, pour $\frac{S}{\bar{h}^2} < 20$,
confort variable suivant les zones : $0,7 < \psi \leq 1,1$,
il y a rotation intérieure de l'air.

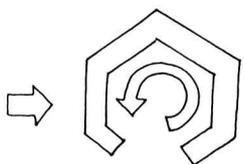


Figure VI-91.

- Maille « parallèle »,
phénomène identique au précédent (maille à 45°) mais tant que :
 $\frac{S}{\bar{h}^2} < 20$ alors $\psi \leq 1$.

Mailles particulières

Maille dont un bâtiment forme écran :

$$\bar{h}' \geq 2 \bar{h} \text{ et } S' > 0,2 S$$

L'effet de protection est important.

Figure VI-92 a.
Maille ouverte.

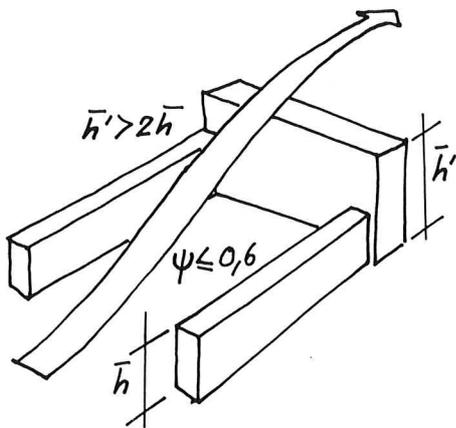
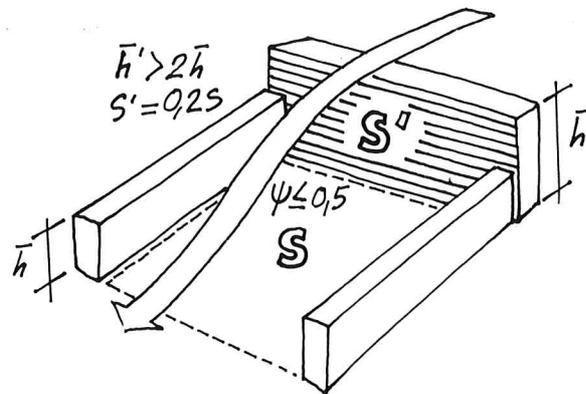


Figure VI-92 b.
Maille fermée.



Maille sifflet : une maille placée en « verrue » sur un couloir de liaison et telle que :

$$\frac{S}{\bar{h}^2} < 5, \text{ est inconfortable } \psi > 1.$$

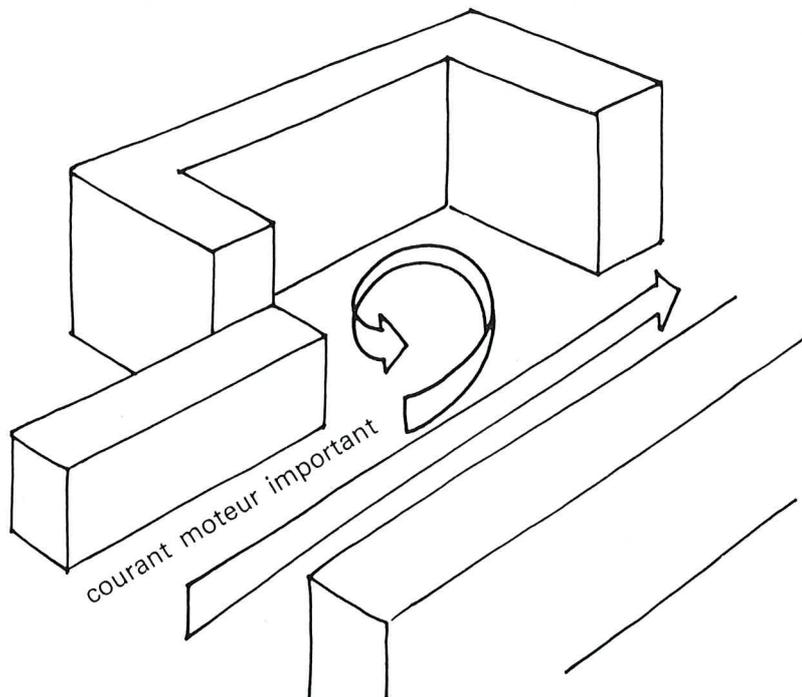


Figure VI-93.
Rotation globale de l'air dans la maille.

Conseils pratiques

D'une façon générale, toutes mailles plus ou moins bien définies augmentent le confort si les dimensions transversales sont de l'ordre de 50 à 60 m.

L'effet de protection des mailles est d'autant plus net que :

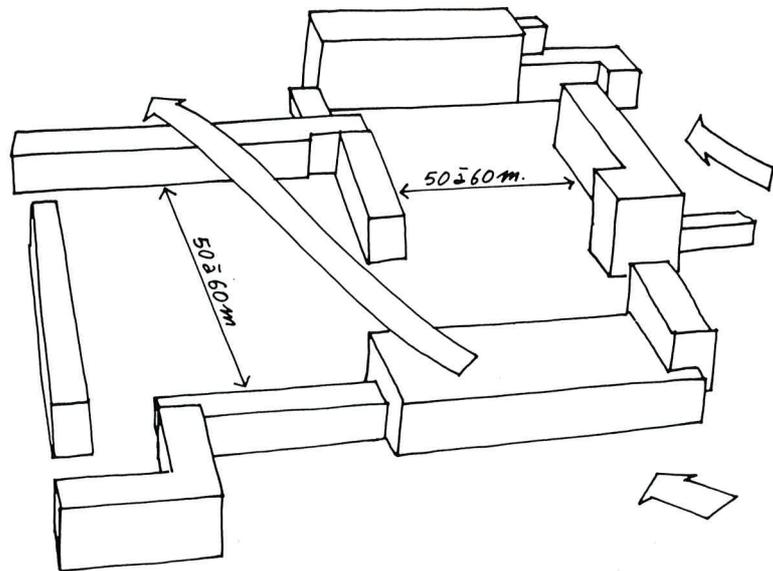


Figure VI-94.

- $\frac{S}{h^2}$ est faible et < 30 ;
- que les mailles sont ouvertes au vent ou sous le vent;
- que l'ouverture est minimum, soit $< 0,25$ fois le périmètre;
- qu'elles sont remplies de constructions de hauteur voisine de celle des bras de la maille.

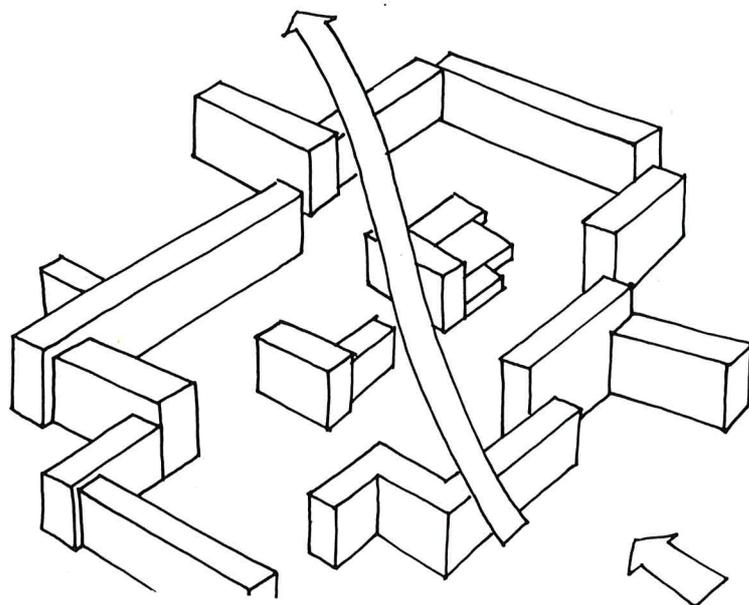


Figure VI-95.

3.10. Effet de pyramide

Définition

Groupement de construction à décrochement et à caractère pyramidal.

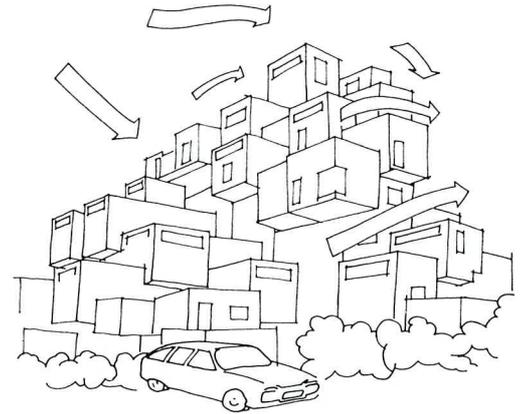
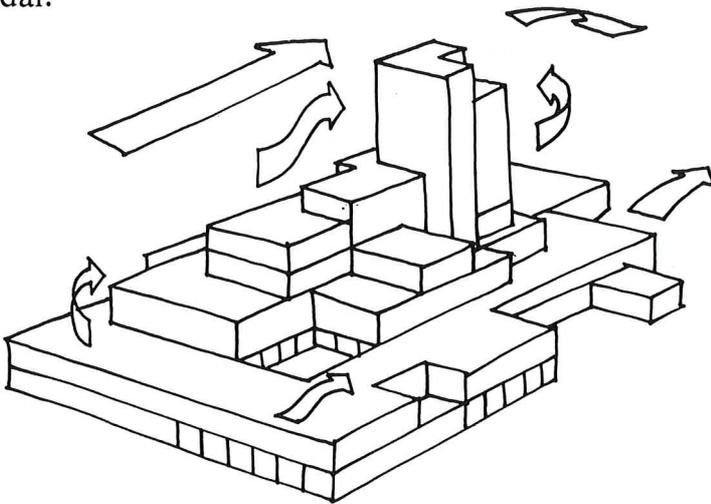


Figure VI-96 a et b.

Quantification du champ de vitesse au pied de ces structures et sur les différentes terrasses

Ce mode de constructions dissipe le maximum d'énergie du vent dans tous les azimuts :

- les survitesses sont faibles $\frac{\bar{U}}{\bar{U}_r} < 1$;
- les turbulences assez élevées $I_r \simeq 0,4$;
- le confort moyen est bon $\bar{\psi} \simeq 0,6$.

Les secteurs critiques sont :

- les coins « globaux » de la pyramide.

Si la hauteur de la pyramide $\simeq 40$ m alors $\psi_{coin} \simeq 1,6$.

- Les balcons ou loggias au vent et au voisinage des crêtes.

Figure VI-97.

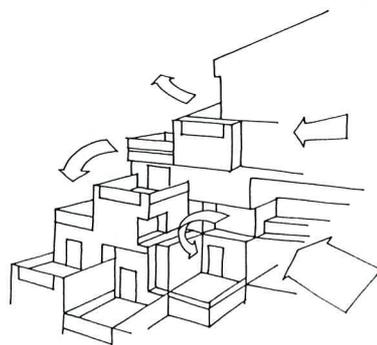
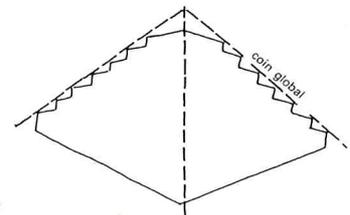


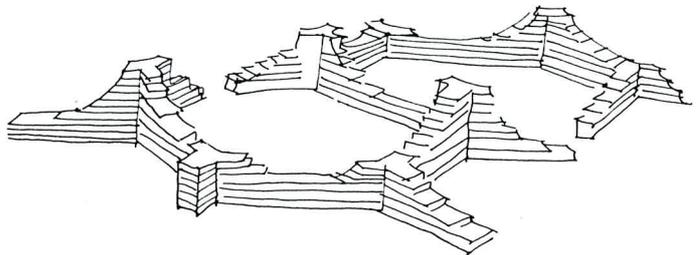
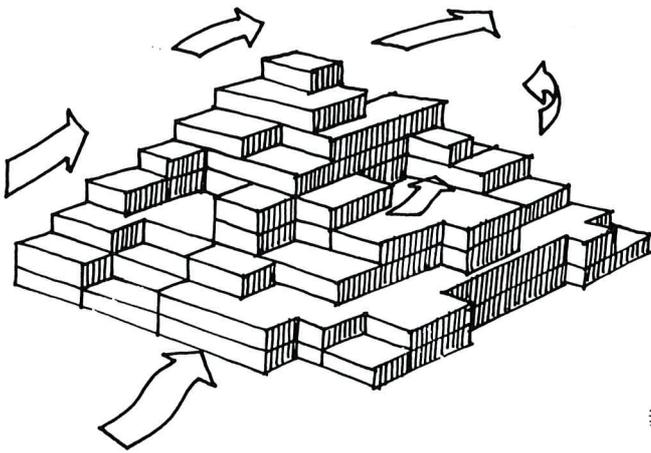
Figure VI-98.

- Aux niveaux supérieurs à 25 m : $\psi > 1$.
- Aux niveaux entre 40 et 60 m : $\psi_{max} \simeq 1,6$.

Conseils pratiques

D'une façon générale, ce mode de construction paraît pratiquement recommandable à condition :

- d'étager le plus possible les niveaux;
- d'obtenir aux angles de la pyramide des décroissements de niveaux progressifs et de terminer sur des niveaux très bas (voisins de 3 m);
- de densifier l'environnement proche (construction basses = végétations) au niveau des coins globaux;



Figures VI-99 a-99 b.

- de traiter avec soin les balcons au vent et au voisinage des crêtes :
 - volumétrie aérodynamique ou garde-corps déflecteur;
 - utiliser des balcons « alvéoles » (favorisent les espaces calmes). Le volume balcon ne doit être ouvert à l'extérieur que sur une seule face.

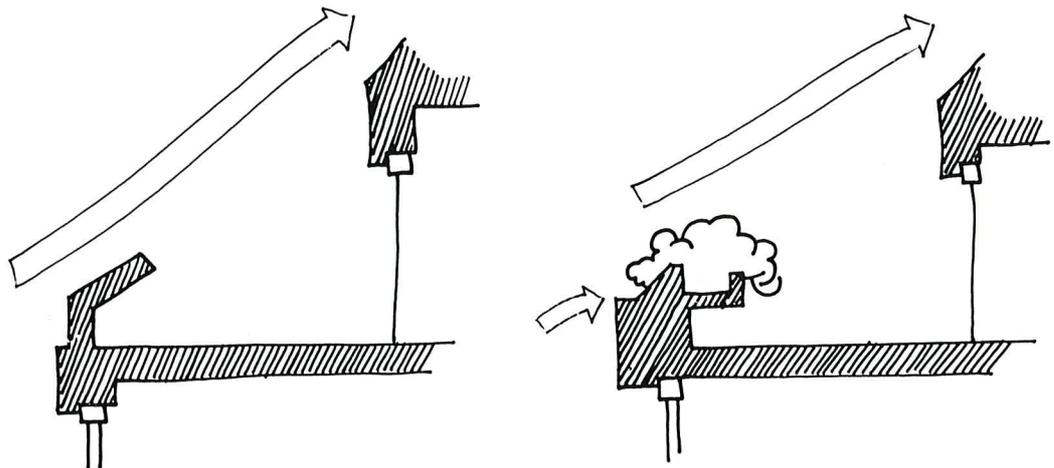
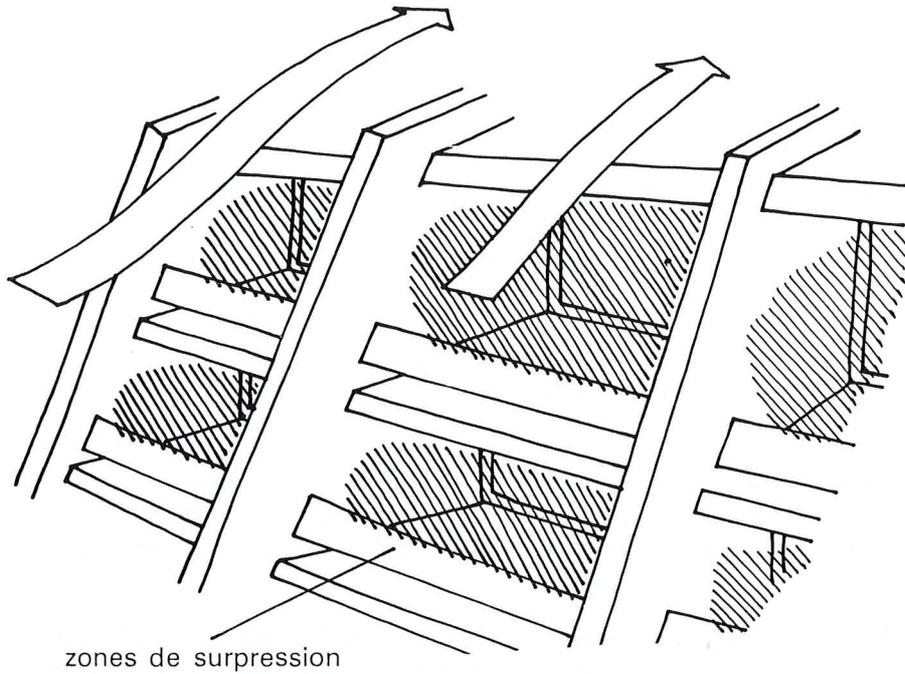


Figure VI-100.



zones de surpression

Figure VI-101.

Pyramide
loggia - profil.
photo A. Guyot, Y. Malaisé



4 Commentaires et conclusions

A la lecture des paragraphes précédents on constate :

— qu'une partie des phénomènes étudiés présente un caractère réducteur notoire. Par conséquent, nous ne pouvons que conseiller les dispositions ou aménagements correspondants;

— que certains effets peuvent paraître relativement évidents. Néanmoins, il était important de les regrouper dans le guide et de bien connaître « statistiquement » leur comportement au sein d'un plan masse;

— que les effets présentés correspondent seulement à un mode de construction contemporaine. Si dans l'avenir d'autres types de formes et d'« assemblages » apparaissent, les résultats ne seront évidemment pas extrapolables;

— que malgré l'inquiétude que pourraient avoir les architectes à la lecture du guide devant le nombre d'anomalies possibles, dans le concret de l'étude d'un plan masse, les cas critiques restent en nombre relativement limité (attention néanmoins au cumul des effets);

— qu'il n'existe pas un plan masse théorique type idéal vis-à-vis du confort, mais que tout plan masse peut présenter une optimisation intéressante vis-à-vis du vent;

— que dans l'avenir, la paramétrisation du confort sous la forme ψ évoluera, à savoir :

- le critère de confort s'affinera (meilleure connaissance du phénomène gêne);

- la définition des anomalies ou des effets aérodynamiques progressera compte tenu de l'expérience que nous recueillerons en vraie grandeur, mais dans tous les cas, les démarches et quantifications proposées dans ce guide resteront en première approche judicieuses (sauf nouveaux types de constructions nullement comparables à ceux que nous avons étudiés).

L'urbaniste ou l'architecte dispose donc d'un moyen théorique d'identification dans le tracé de son plan masse des zones susceptibles d'être critiques ou clémentes vis-à-vis du confort de l'homme, et par suite d'intervention directe dès les premiers stades du projet.

Nous rappelons que toute optimisation des masses construites ne peut être faite en général au niveau de la conception que pour un secteur de vent dominant (deux au grand maximum). Il n'est pas possible (sauf plan masse à l'aérodynamique bien particulière et directement issu du savoir aéronautique) de contrôler le vent de manière efficace tous azimuts.

Le concepteur lors de son étude théorique et de ses choix devra conserver en mémoire :

- le rôle pondérant de la rugosité rencontrée par les vents amonts incidents;
- la fréquence de gêne (fonction du site) associée localement au paramètre du confort.

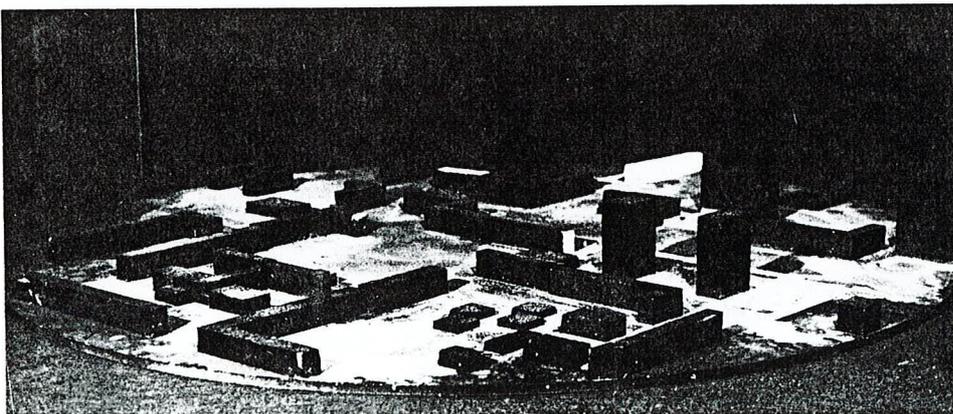
Enfin, vue la complexité des phénomènes aérodynamiques dans les ensembles bâtis, nous conseillons vivement aux aménageurs, notamment lors de leur bilan « théorique » sur un plan masse, de faire appel aux spécialistes aérodynamiciens et climatologues exercés à ce type de réflexion.

Exemples pratiques 5

5.1. Exemple sur l'identification des effets aérodynamiques dans un plan masse

Partant des définitions proposées dans le guide, nous avons identifié théoriquement et grossièrement quantifié les effets aérodynamiques. Afin de vérifier nos appréciations, nous donnons les résultats (quantifiés) obtenus sur le même plan masse en soufflerie (vent du type campagne).

Le plan masse testé (figure VI-102.) est un plan masse existant de hauteur moyenne $R + 4$ avec quelques accidents en $R + 10$ et $R + 15$. Le type d'architecture peut être assimilé à la classe des constructions en barre. Le fait que ce mode d'architecture est maintenant un peu désuet n'enlève rien au principe de notre exemple. Deux orientations d'étude ont été retenues pour un vent de type campagne : Nord-Est et Ouest. Suivant ces deux directions, nous sommes intéressés essentiellement aux zones exposées de 200 m (Effets de masque ensuite, voir VI-2).



- R+10/15
- R+4
- R+2
- < R+2

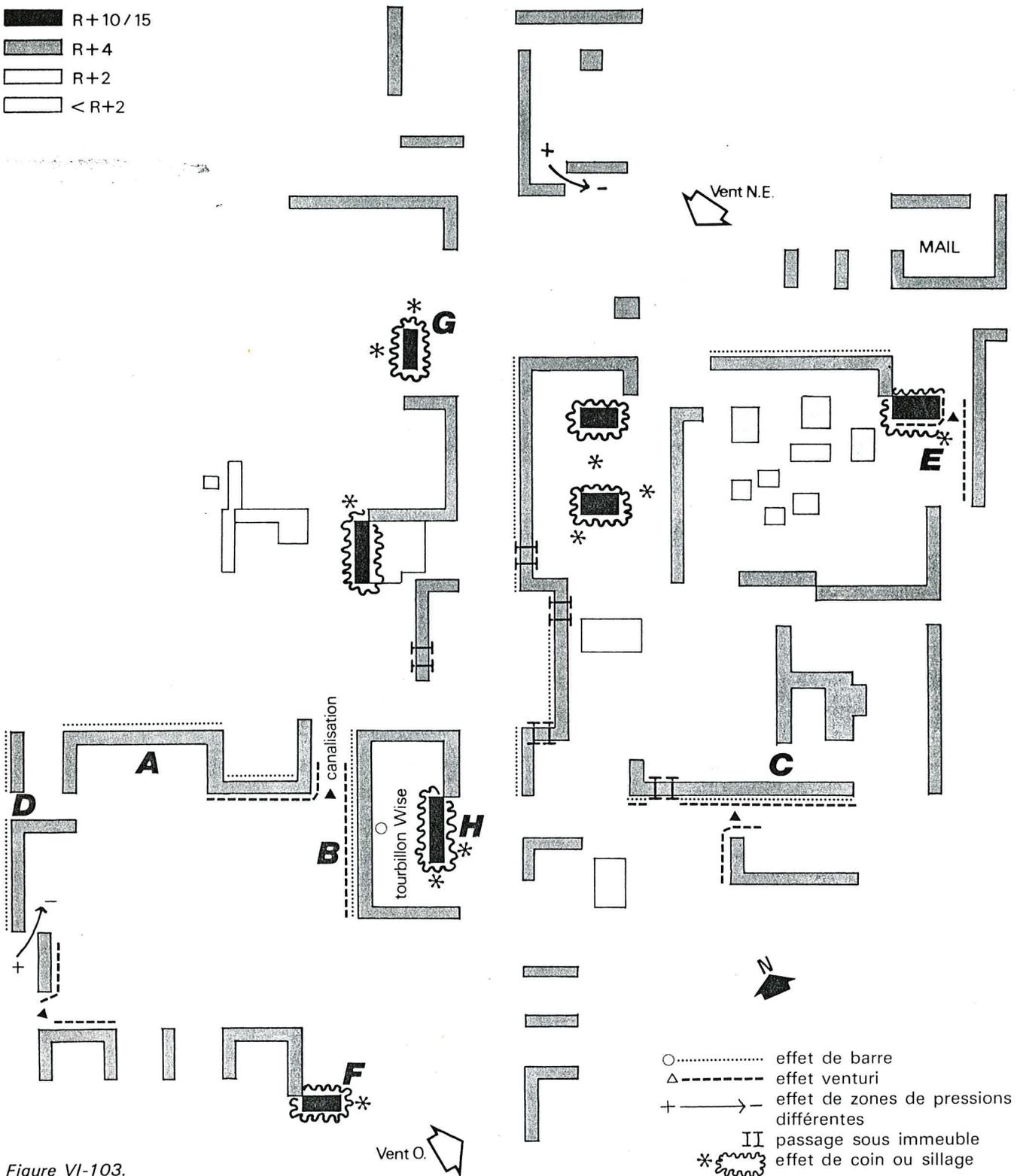


Figure VI-103.
 Étude théorique
 d'un plan masse.
 Anomalies présumées
 en intégrant l'effet de masque.

Effet de barre

Dans la figure VI-103 et pour les deux orientations de vent, nous avons identifié géométriquement les « effets barres ».

Les barres sont orientées très grossièrement à 45° par rapport au vent. Compte tenu de l'environnement proche (fonction de l'incidence et variable suivant chaque barre) l'effet ne devait apparaître que pour les barres *A*, *B* et *C*. De plus, compte tenu de la faible hauteur, de la forme des barres et de leur orientation précise, le paramètre du confort devait être inférieur ou égal à 1,2.

Une seule ouverture de dimension critique (trou *D*) a été détectée, où, compte tenu de la hauteur, ψ ne devait pas dépasser 1,1.

Effet Venturi

Dans la figure VI-103 nous avons porté les étranglements qui pouvaient, au premier abord, créer un effet de Venturi.

Compte tenu de la faible hauteur et de la largeur effective de l'orifice, ou encore de l'environnement (obstruction), aucun effet de Venturi n'apparaît.

Remarque : Localement, le convergent *E* peut, en vent d'Ouest, augmenter l'effet de coin de la tour 5 + 15.

Effet de liaison de zones de pressions différentes

Bien qu'aucune incidence ne vienne frapper orthogonalement des bâtiments en quinconce, deux zones sont susceptibles de fonctionner suivant ce principe (voir figure VI-103).

Compte tenu des couloirs de liaison très étroits et bien que les hauteurs restent modestes, ψ devait atteindre 1,3 dans les zones de liaison.

En ce qui concerne les passages sous les immeubles, les écrans fournis par les bâtiments sont trop bas pour engendrer des écoulements violents d'autant que ces passages sont situés dans la zone centrale du plan masse (effet de masque).

Effet de coin

Connaissant le rôle prépondérant de la hauteur sur le phénomène, le voisinage immédiat des tours *R* + 15 ou bâtiments en *R* + 10 va être perturbé.

Compte tenu de la hauteur ou de l'environnement immédiat (ceinture en *R* + 4 des deux tours centrales du plan masse par exemple), le phénomène devrait apparaître de manière aiguë (suivant les directions du vent) pour les tours *F*, *G* et l'immeuble *H*. Le paramètre du confort pourrait voisiner 1,5.

- R+10 / 15
- R+4
- R+2
- < R+2

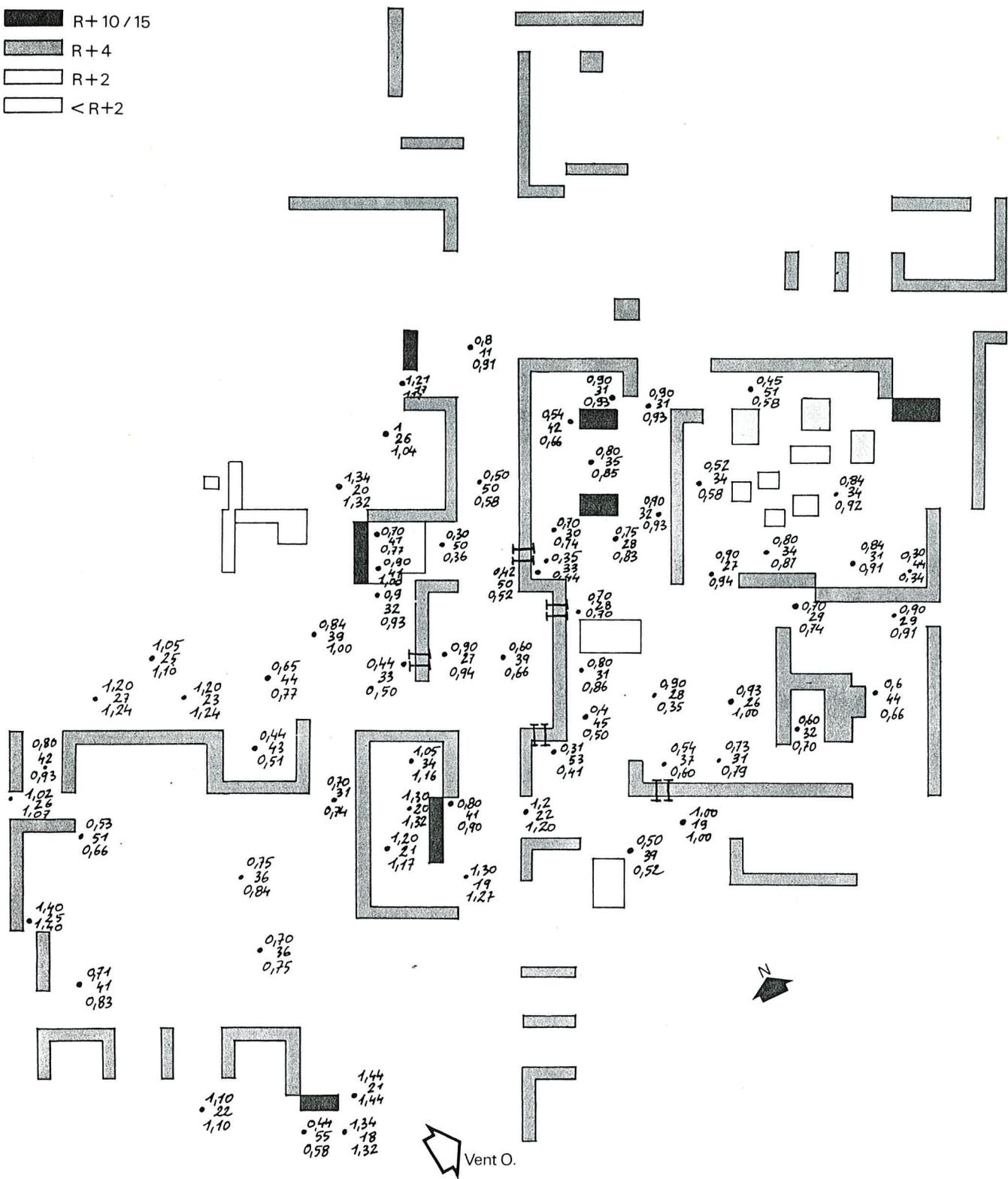


Figure VI-104.
 Champ de vitesse (soufflerie)
 pour le test en orientation O.

- R+10/15
- R+4
- R+2
- < R+2

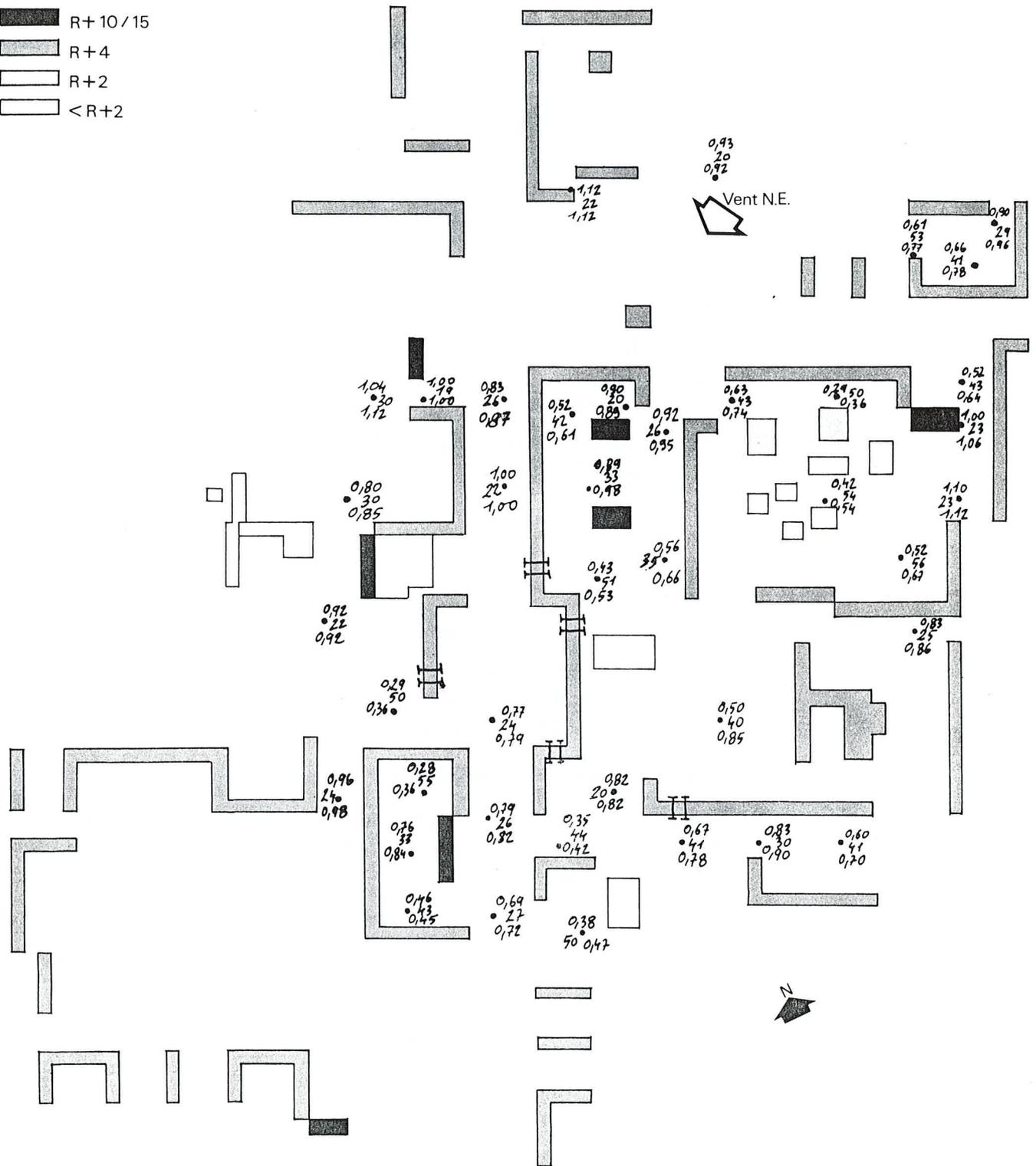


Figure VI-105.
 Champ de vitesse (soufflerie)
 pour le test en orientation N.E.

De plus, dans la tranche exposée, tout effet de coin, pour les bâtiments de hauteur $R + 4$ peut atteindre $\psi = 1,2$.

Effet de rouleau tourbillonnaire au pied des immeubles (effet Wise)

Ce phénomène, surtout notable dans le cas d'incidence orthogonale, pourrait néanmoins apparaître (figure VI-103) avec $\psi \simeq 1,3$ dans la mesure où un bâtiment en $R + 4$ (vent Ouest) est situé en position critique devant l'immeuble en $R + 10$.

Effet de maille

Une seule maille (figure VI-103) répond à la définition et peut introduire (même en vent de Nord-Est) un effet de protection notoire, soit un ψ de l'ordre de 0,8.

Remarque : Les autres mailles (exemple celles entourant l'effet Wise) ont des coefficients :

$$\frac{S}{\bar{h}^2},$$

nettement trop élevés pour envisager une protection notoire.

Effet de canalisation (Figure VI-103)

Vue la mauvaise géométrie des canalisations « possibles » et compte tenu du fait qu'à leur extrémité aucun effet aérodynamique n'est présumé, l'effet peut être négligé.

Bilan des zones susceptibles d'être cause de gêne : « point chaud »

Si l'on veut $\psi \leq 1,4$, les effets de coin doivent être traités (notamment cas F , G et H) ainsi que l'effet de liaison dans la « bande exposée » au vent d'Ouest.

Quoique moindre, l'effet « Wise » est aussi à craindre, ainsi que les tourbillons au pied immédiat des immeubles tour.

Pour les valeurs de $1 \leq \psi \leq 1,2$ nous renvoyons aux paragraphes précédents.

Étude du test en soufflerie et conclusion

Les résultats sont présentés sous la forme d'un coefficient de survitesse locale :

$$K = \frac{\bar{U}}{\bar{U}_r},$$

d'une intensité de turbulence I et du paramètre du confort ψ associé. Les essais ont été réalisés pour les deux directions du vent (figures VI-104 et VI-105).

Il est bien évident que les points de mesure, bien que denses, laissent quelques zones inexplorées.

On constate que les résultats de mesure confirment dans leur plus grande partie les tendances émises lors de notre étude théorique.

Nous mentionnons néanmoins notre sévérité quant aux effets de coin (exemples : les cas *F*, *G* et *H*) : la barrière entourant les deux tours centrales atténue plus que prévu l'effet, de même que le niveau $R + 1$ au pied de l'immeuble $R + 10$ central.

De toute façon, on peut observer qu'il n'est apparu grâce au guide aucun nouvel effet que ceux présumés, et qu'à la limite, le guide donnerait plutôt une vision pessimiste des effets aérodynamiques. Il se place par conséquent du côté de la sécurité.

5.2. Exemple d'une optimisation d'un complexe de loisirs vis-à-vis des vents dominants : plan des démarches de l'opération

Définition de l'acuité du phénomène

Le but était de réaliser, sur une bande de 150 m de large prise sur la mer, un centre de loisirs (plage, activités sportives, aires de détente...).

Le problème de la protection contre les vents s'est posé pour les deux raisons suivantes :

— *les données météorologiques* de la station de Pomègues (située à 3 km au large du site) (figure VI-106) indiquent une dominante très marquée des vents en secteur N.-O. : le cumul des secteurs 300, 320 et 340, pour un vent supérieur ou égal à 1 m/s donne une fréquence annuelle de 43 %. Pour les vents de vitesse moyenne — supérieure ou égale à 5 m/s — (vent correspondant pratiquement au seuil de l'inconfort) on atteint 34 % du temps;

— *les activités* (figure VI-107) prévues dans le centre de loisir devaient pouvoir fonctionner à longueur d'année, d'où la nécessité absolue de créer des microclimats particulièrement cléments.

En conséquence, il devenait indispensable d'intégrer, dès la conception, le phénomène vent. Les principaux paramètres de l'optimisation étaient : la forme, la hauteur et la disposition des bâtiments. De plus, une microtopographie du terrain et l'usage des végétaux étaient permis.

Une étude spécifique en soufflerie reproduisant les vents dominants a été jugée nécessaire.

L'optimisation du plan masse ne pouvait être envisagée de manière efficace que pour une direction du vent donnée, à plus ou moins 20° près.

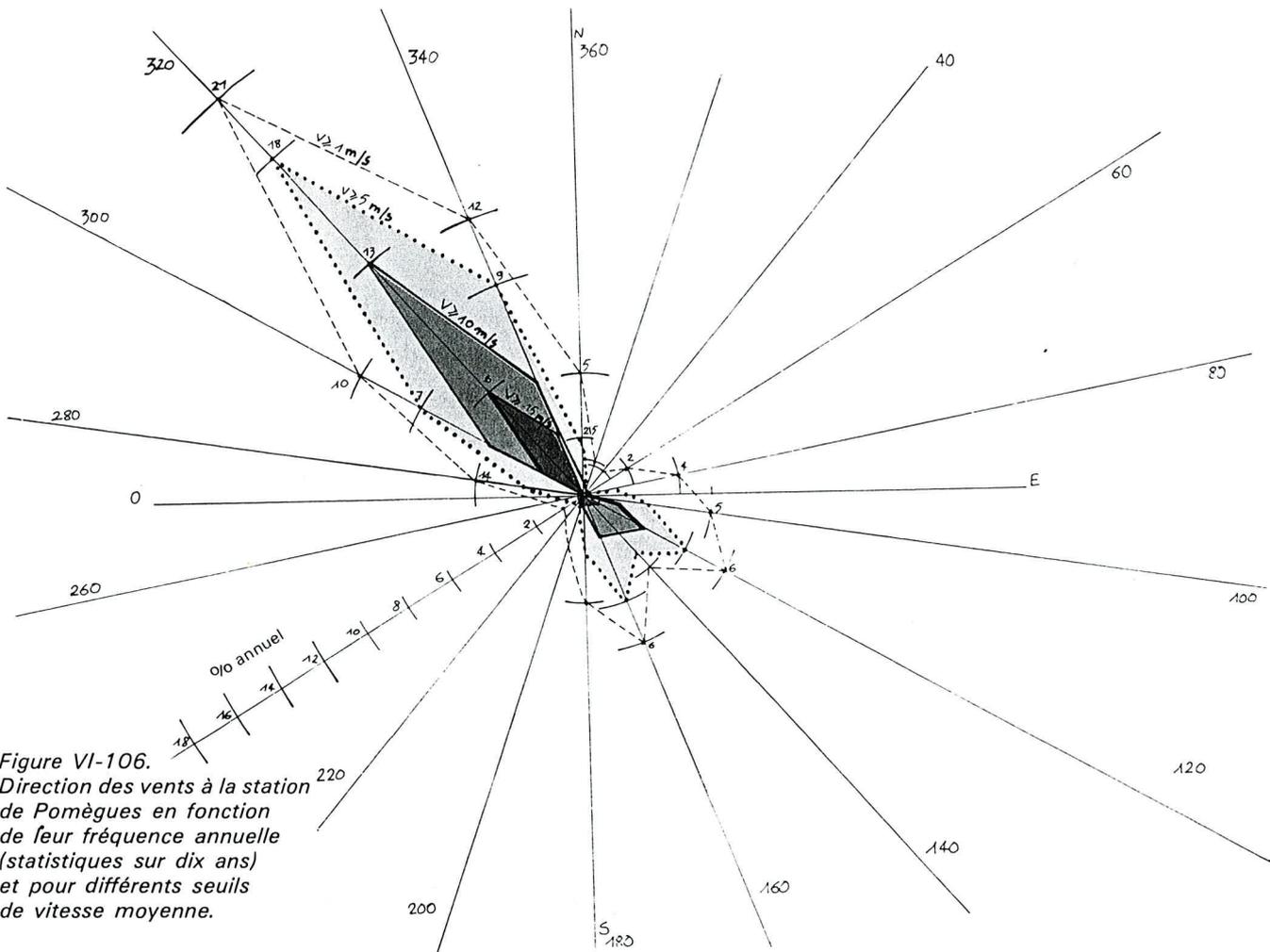
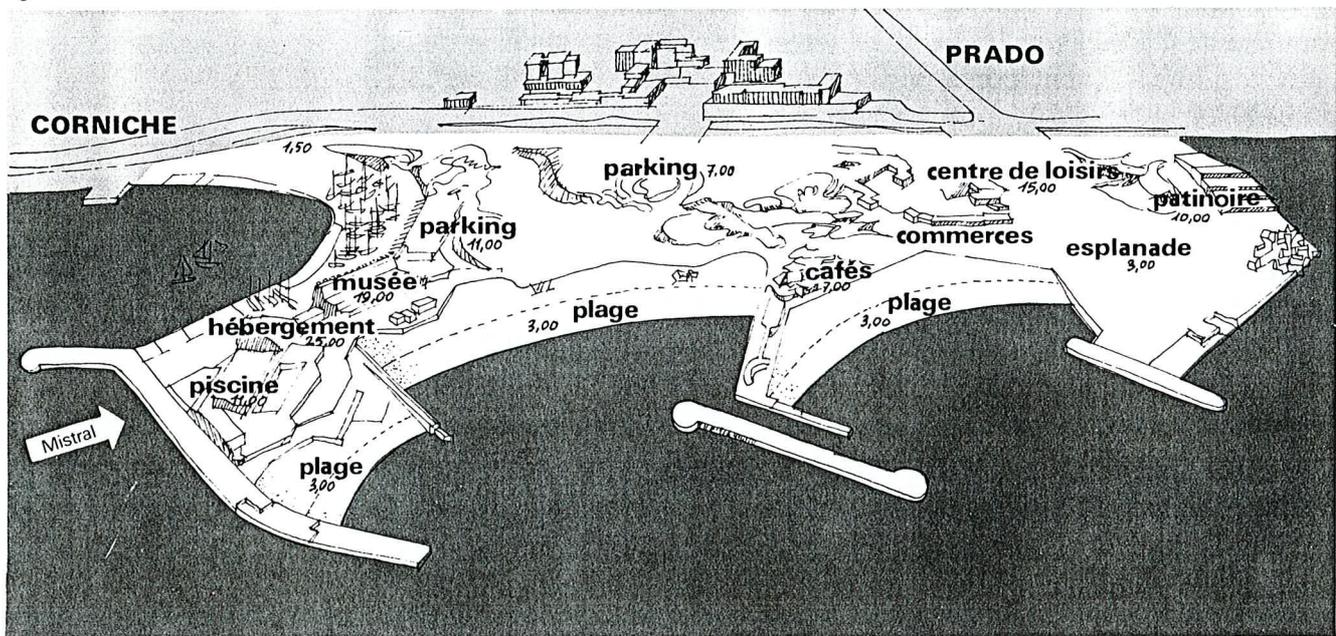


Figure VI-106.
 Direction des vents à la station
 de Pomègues en fonction
 de leur fréquence annuelle
 (statistiques sur dix ans)
 et pour différents seuils
 de vitesse moyenne.

Figure VI-107.



En conséquence, et malgré l'existence de vents relativement forts mais peu fréquents dans la direction Est-Sud-Est (les secteurs 100, 120 et 140 cumulés donnent 16 % du temps annuel), nous avons axé l'intégration du vent sur la direction 320.

Mesures *in situ*

— *Topographie du site*

Les vents dominants sont pratiquement parallèles à la côte et le Prado se trouve grossièrement sous le vent d'un mamelon (hauteur maximum 125 m) : le « Roucas Blanc » (seul un flanc de ce dernier peut influencer le site) (figure VI-108). Une campagne de mesures a été entreprise simultanément en plusieurs points de la plage du Prado actuel. Les résultats ont montré que le vent à l'aval du Roucas Blanc était d'autant plus dévié vers l'Ouest que l'on se trouvait dans le sillage immédiat de la butte. En conséquence, nous avons intégré à la maquette son environnement amont, et le relief du Roucas Blanc afin de respecter les propriétés aérodynamiques du vent sur le site de la plage (photo VI-108 b).

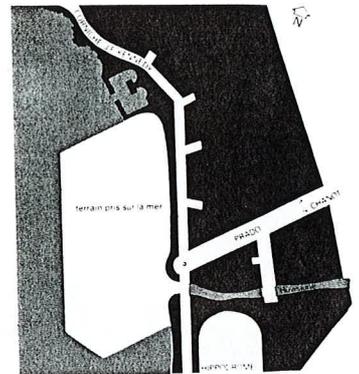
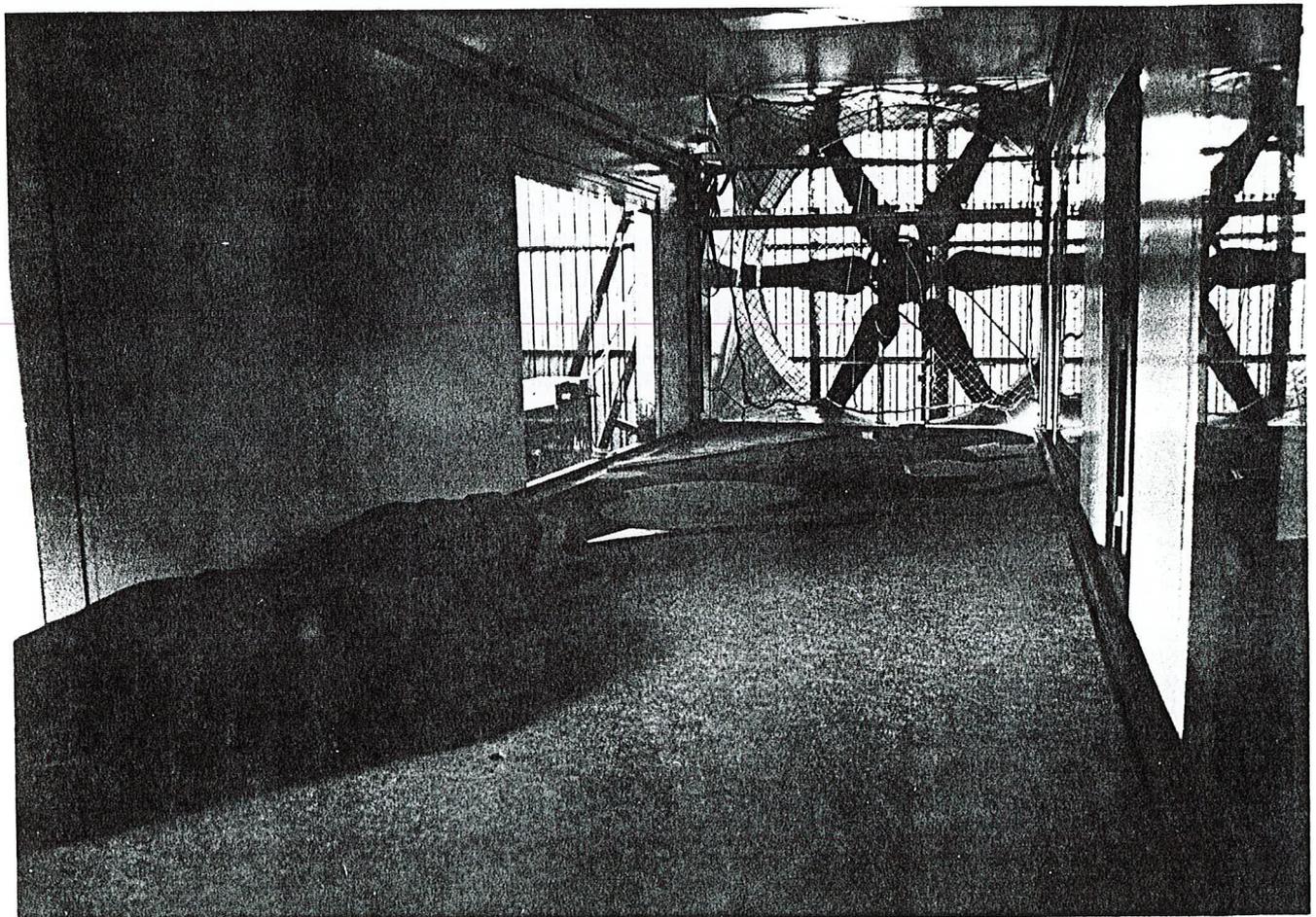
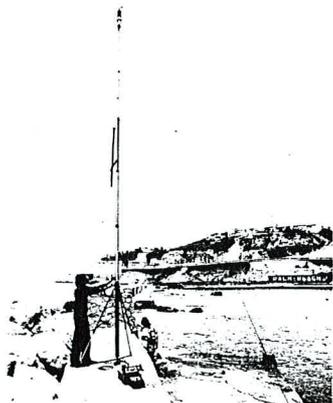


Figure VI-108 a.

VI-108 b.
Vue intérieure de la soufflerie.
Site du Prado,
faisant apparaître
l'environnement amont
Roucas-Blanc.
photo C.S.T.B.





VI-109.
Implantation du pylône
sur la jetée
(recalage du site).

— Recalage du site

Afin de pouvoir utiliser les données statistiques de la station de Pomègues, pour traduire les résultats de soufflerie en fréquence de dépassement du seuil d'inconfort, il nous fallait connaître simultanément les caractéristiques du vent sur le site et à la station météorologique.

Dans ce but, un pylône de 7 m de hauteur a été érigé sur une jetée (3 m au-dessus du niveau de la mer) (figure VI-109). Pour les vents de secteur 320, des enregistrements de direction et de vitesse moyenne du vent (intégration 10 mn) ont été réalisés sur plusieurs jours.

La comparaison des enregistrements obtenus sur la jetée et à la station de Pomègues est particulièrement satisfaisante dans la mesure où ces deux sites sont exposés en direction N.-O. à un vent de même caractéristique. La confrontation des résultats conduit aux conclusions suivantes :

- corrélation de l'ordre de 1 en ce qui concerne la direction du vent;
- la vitesse moyenne sur le site à 10 m au-dessus de la mer se déduit de celle à Pomègues par la relation (figure VI-110) :

$$\bar{U}_r = 0,7 \bar{U}_P$$

à 10 m/mer
↑
(site Prado)
(site Pomègues)

Remarque : La station météorologique de Pomègues, à l'altitude de 70 m au-dessus de la mer, majore par sa hauteur les valeurs absolues de vitesse, et l'effet de topographie produit par l'île n'est pas forcément identique suivant les directions du vent et peut infléchir la relativité des mesures. Néanmoins, les résultats statistiques d'une telle station sont significatifs, puisque la comparaison entre les vitesses sur le Prado et à Pomègues n'a porté que sur des vents de mêmes caractéristiques (gradient vertical et turbulence) et de secteur 320.

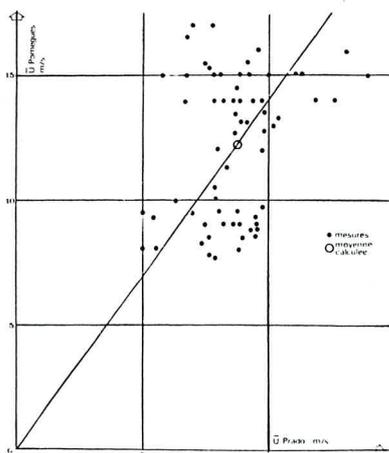


Figure VI-110.
Recalage de la vitesse moyenne sur le site par rapport à celle de la situation météo de Pomègues.

Étude en soufflerie

– *Simulation des vents dominants*

Les caractéristiques du vent de type « mer » ($\alpha \simeq 0,12$) ont été reproduites à l'échelle de la maquette, soit le 1/300 pour des raisons de capacité de la veine d'expérience et de finesse des renseignements recherchés.

L'environnement amont a comporté le relief du Roucas Blanc.

– *Présentation des résultats*

L'exploration anémométrique a été réalisée à la cote de 1,5 m

La vitesse de référence \bar{U}_r a été choisie à l'amont du site sur une jetée ($Z_r = 1,5$ m).

Le paramètre de confort ψ a été déterminé expérimentalement en tout point du site.

– *Résultats et commentaires*

● Phase I : Dégrossissage

Compte tenu des données du programme et des informations sur le comportement du vent dans les ensembles bâtis, plusieurs esquisses ont été proposées par l'équipe pluridisciplinaire (composée d'architectes, d'urbanistes, de paysagistes).

Après étude théorique avec les spécialistes en aérodynamique, les projets présentant une brèche centrale dans le front construit ont été éliminés. Finalement, deux hypothèses ont été retenues et ont donné en soufflerie plusieurs essais comparatifs.

Les maquettes étudiées étaient alors des maquettes de principe.

La différence entre les projets 1 et 2 portait sur la géométrie du front bâti (profil plan concave et plan convexe), le modelé de terrain, le maillage construit, etc.

Suite à ces essais, un troisième projet reprenant les éléments favorables des deux précédents a vu le jour et a été testé. Les zones d'implantation de la végétation ont parallèlement été définies.

● Phase II : Affinage

La phase précédente avait défini des principes de travail pour les concepteurs.

Dans la deuxième phase, l'étude du champ de vitesse a porté sur une proposition très réaliste. La maquette était alors très élaborée et intégrait par exemple la végétation et les jeux locaux du terrain.

Un bilan en terme de fréquence de gêne (voir paragraphe V) a pu être fait et les différentes options discutées entre concepteurs et aérodynamiciens.

● Phase III : Optimisation locale des cas particuliers

Une troisième phase a été entreprise à l'échelle plus réduite, visant à développer très localement le confort, compte tenu des besoins des urbanistes.

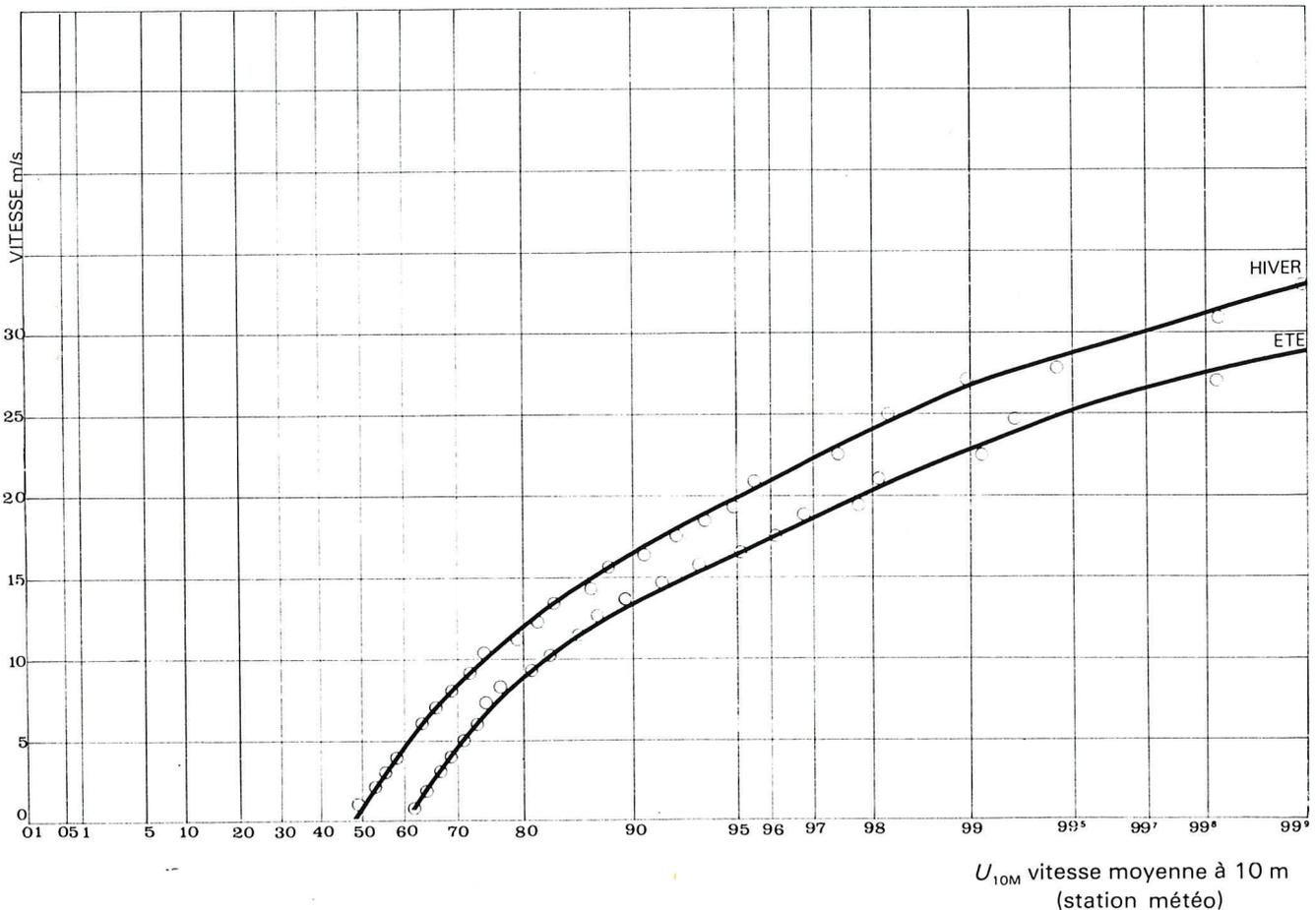
Localement, la forme, la hauteur d'une construction ont été modifiées, ou une structure tremplin a été aménagée, ou encore un brise vent végétal mis en place.

Remarque : Il est bien évident que certains raffinements locaux ont conduit à des détériorations plus globales du champ de vitesse. Mais là encore, il s'agit de choix.

— Présentation statistique des résultats (Phases II et III)

Les caractéristiques locales du confort étant exprimées par le paramètre ψ , et connaissant les vitesses obtenues à la station météorologique en fonction de leur fréquence annuelle de non-dépassement (figure VI-111), on peut en déduire la fréquence de confort en chaque point du plan masse considéré.

Figure VI-111.
Distribution des vitesses moyennes à la station météo de Pomègues en fonction de leur fréquence de non dépassement pour le secteur des vents (cumulés) 300, 320 et 340, pour une durée journalière de 7 h à 22 h et en fonction des saisons (hiver ou été). Statistiques sur dix ans.



Par exemple, dans notre cas particulier :

$$\begin{aligned} \bar{U}_r & \text{ à } 4,5 \text{ m/mer} = \left(\frac{4,5}{10}\right)^{0,12} \bar{U}_r \text{ à } 10 \text{ m/mer} \\ & = \left(\frac{4,5}{10}\right)^{0,12} \times 0,7 \bar{U}_{\text{météo}} \\ & = 0,63 \bar{U}_{\text{météo}} \\ \text{avec } \psi & = \frac{\bar{U}(1+I)}{0,63 \bar{U}_{\text{météo}}} (1+I_r), \end{aligned}$$

où $I_r = 0,30$ (identique en soufflerie et sur le terrain).

La condition du confort étant telle que $\bar{U}(1+I) \leq 6$ m/s, le seuil d'inconfort, dans notre étude, sera atteint ou dépassé lorsque :

$$\bar{U}_{\text{météo}}^{\text{Pomègues}} = \frac{7,3}{\psi} \text{ en (m/s).}$$

Par exemple, en un point où $\psi = 1$, la fréquence d'atteinte ou dépassement de la vitesse $\bar{U}_{\text{météo}} = 7,3$ m/s à Pomègues, est en hiver 32 % du temps et en été 24 %.

Localement, dans certaines zones, l'optimisation du plan masse a permis de réduire le paramètre de confort de 1 à 0,4. Le seuil de la gêne est alors atteint ou dépassé en hiver 7 % du temps, et en été 3 %. La durée de gêne a été réduite d'un facteur 4,5 en hiver et 12 en été. Une telle zone est considérée comme particulièrement confortable.

Conclusion

Une telle étude s'est avérée particulièrement efficace puisque entre la première phase et la phase finale, des valeurs de $\psi = 1,6$ sur les parkings ont été réduites à 1, ce qui entraîne une réduction de la fréquence de gêne de 25 %. De même pour les zones de circulation et d'activité le paramètre $\psi = 1,2$ a pu être descendu à 0,7, soit une diminution de la fréquence de gêne de 40 % et qu'enfin les zones de séjour où ψ était voisin de l'unité ont pu être ramenées à 0,4 soit une réduction de près de 90 % de la fréquence de gêne.

L'exemple qui vient d'être exposé met bien en évidence les différents mécanismes nécessaires à l'aboutissement d'une optimisation efficace, et notamment la symbiose constante qui doit se faire entre l'équipe pluridisciplinaire et les aérodynamiciens.

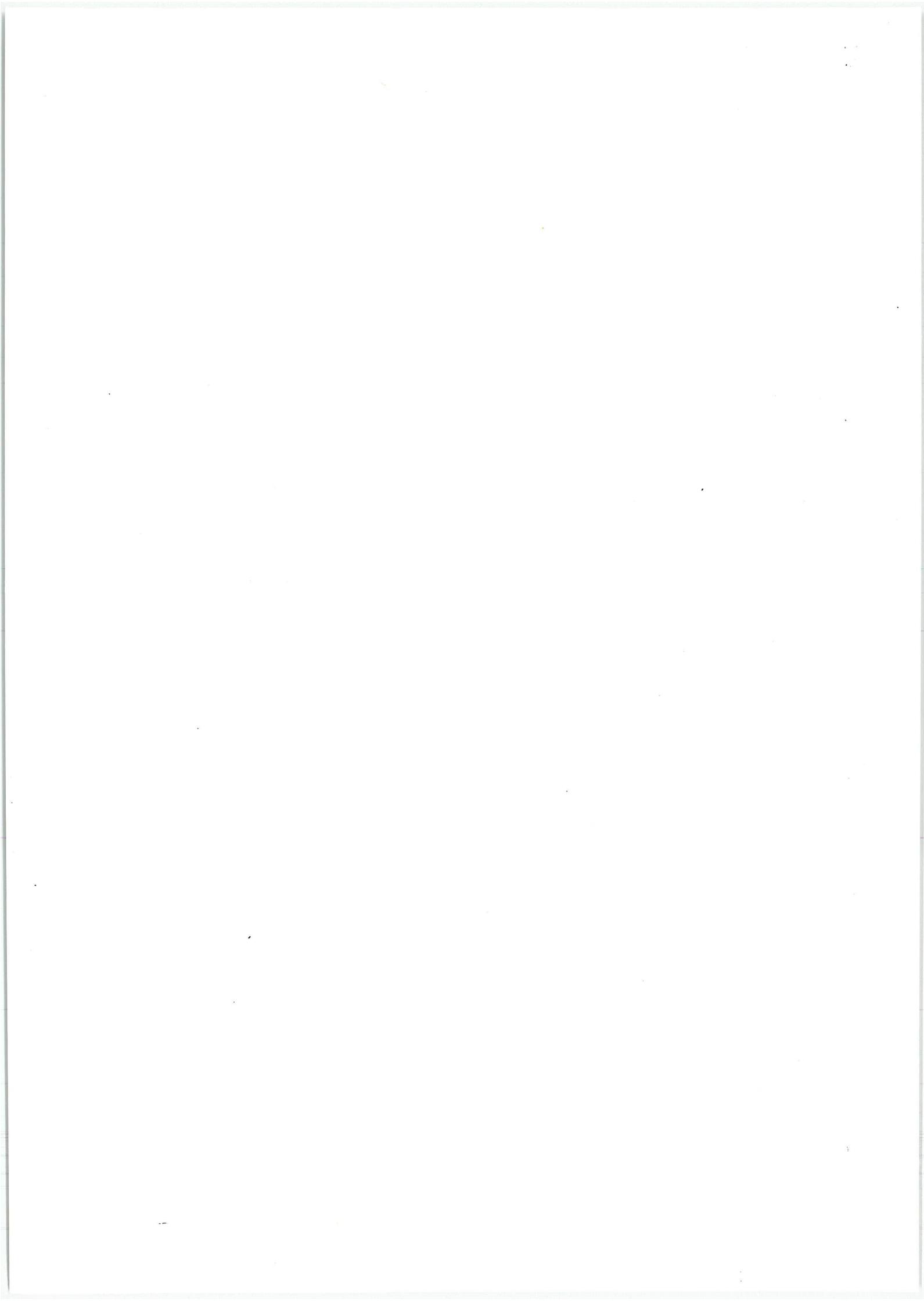


Roger Violet

moyens d'intervention pour le contrôle du vent « après conception »

VII

différentes techniques d'intervention	1	<i>105</i>
quelques exemples existants de protection contre le vent	2	<i>107</i>
conclusion	3	<i>110</i>



Comme il a déjà été mentionné, ce guide n'a pas pour objet d'exposer des méthodes d'intervention (et leurs limites) sur le contrôle du vent à l'échelle relativement réduite « après la conception » d'un plan masse.

Nous soulignons l'intérêt de ce type d'intervention « *a posteriori* » que ce soit pour compléter l'optimisation d'un plan masse (protection contre d'autres secteurs que celui des vents dominants par exemple), pour aménager des espaces extérieurs publics, ou pour remédier à un changement d'activité d'un secteur d'un plan masse, ou encore pour « rattrapper » des opérations conçues sans le souci de l'intégration du phénomène vent.

Différentes techniques d'intervention **1**

Le confort est directement lié à la vitesse moyenne et à la turbulence, sans omettre la direction du flux d'air (les composantes verticales de la vitesse de l'air joue un rôle tout particulier sur le confort) ou les gradients horizontaux de vitesse.

Les buts des dispositifs ou aménagements de protection vont être :

- d'égaliser les zones de pressions différentes, ou tout au moins de réduire leurs écarts.

Dans ce cas, il faut viser à équilibrer les niveaux de pression par des « systèmes » de connection. On peut citer par exemple la mise en place de conduits liaisons ou la « perméabilisation » de certaines masses, etc.

- de freiner les flux moyens d'air en introduisant des pertes de charge sur leur chemin : perte de charge « singulière » (orifice, obstacle, étranglement, etc.), perte de charge de « frottement » (rugosité, aspérité, alvéoles, etc., sur le sol ou les parois). C'est, par exemple, le rôle des brise-vent plans ou tridimensionnels (artificiels ou végétaux) qui imposent un « effort » au vent lors de la pénétration de celui-ci, et, de là, induit une réduction de son énergie cinétique. De même, on peut introduire sur le chemin du vent des obstacles ou des rugosités (talutages, murets, aspérités sur une paroi de bâtiment, etc.) qui vont « accrocher » l'air et le freiner.

- de « hacher » la turbulence de façon à réduire son échelle (ce qui entraîne une rapide atténuation de l'agitation de l'air) et à l'homogénéiser (agression alors en phase des différents points du corps par le vent);

- de dévier le flux d'air ou de le canaliser au profit de zones alors « déventées ». Cette technique met en général en œuvre des moyens d'intervention plus sophistiqués et utilise grandement les acquis de l'aérodynamique. Elle correspond par exemple à l'emploi de volet déflecteur, de carénage, de forme tremplin, etc.

Remarque : Dans l'ordre d'idée de conduire de manière contrôlée le vent, des ajutages (géométrie des orifices), fonctionnant dissymétriquement, peuvent être envisagés afin d'imposer (si nécessaire) localement à l'air un sens privilégié d'écoulement.

- d'isoler les secteurs que l'on veut cléments et hospitaliers en les entourant de « barrières » très opaques qui vont former de véritables écrans : c'est l'emploi, par exemple, de murs remparts, des couvertures relativement étanches à l'air, de portes, etc.

Bien évidemment, lorsque l'on met en place un système de protection, on va essayer de combiner au maximum les effets schématisés ci-dessus.

L'aérodynamisme des dispositifs de contrôle et leur efficacité sont fonction de leur forme (type de profils, d'ajutage, de géométrie, de surface, etc.), de leur dimension par rapport à celle du vent en combinaison avec celle du ou des bâtiments (exemple : alvéole d'un maillage, largeur d'un volet déflecteur, pente d'un tremplin), de leur réalisation technique (nature des matériaux ou des végétaux et de leurs caractéristiques physiques telles que leur souplesse, leur vieillissement, etc.), et enfin des caractéristiques du vent incident (ce qui intègre l'orientation).

Il faut mentionner que les différents moyens d'intervention ne vont pas être les mêmes suivant l'anomalie aérodynamique considérée et l'effet recherché vis-à-vis du confort.

De même, il ne faudra pas perdre de vue qu'un traitement, même très local, d'un effet, peut modifier l'équilibre des flux dans le plan masse et reporter de manière aiguë le problème plus loin.

Ainsi, dans un certain nombre de cas, une appréciation « théorique », associé à quelques « recettes pratiques », s'avèrera insuffisante, pour ne pas dire risquée. Il nous paraît alors souhaitable de consulter les spécialistes qui pourront juger de la complexité du problème, et par exemple de l'opportunité d'un essai spécifique sur maquette.

Non seulement les dispositifs de protection doivent s'intégrer (et améliorer le confort) du point de vue de la mécanique des fluides dans un champ de vitesse, mais aussi de manière « artistique ». Nous ne pouvons souhaiter, là encore, qu'une concertation entre aérodynamiciens et architectes.

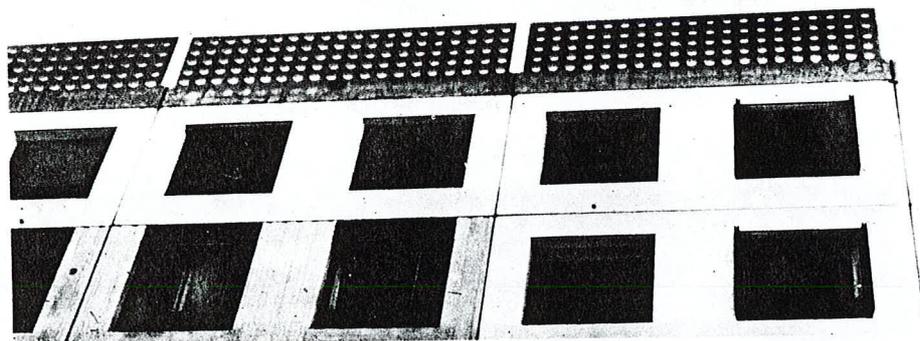
Quelques exemples existants de protection contre le vent

2

(Par M. MURUGO de l'E.P.A.D.)

2.1. A Marseille dans la Z.A.C. du Plan d'Aou

Les brise-vent sont des voiles en béton de dix centimètres d'épaisseur et de $5,30 \times 1,20$ m. Ces éléments, posés en acrotère, ont pour effet d'atténuer le décollement d'arête et de réduire la violence du tourbillon partant de cette arête. Disposés verticalement et en chicanes dans les passages rétrécis, ces éléments ont pour effet de réduire la vitesse du vent, particulièrement violent dans ces passages.

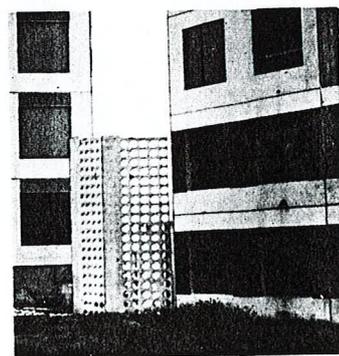


VII-1-2.

Marseille-Z.A.C. du Plan d'Aou.
Brise-vent en acrotère.

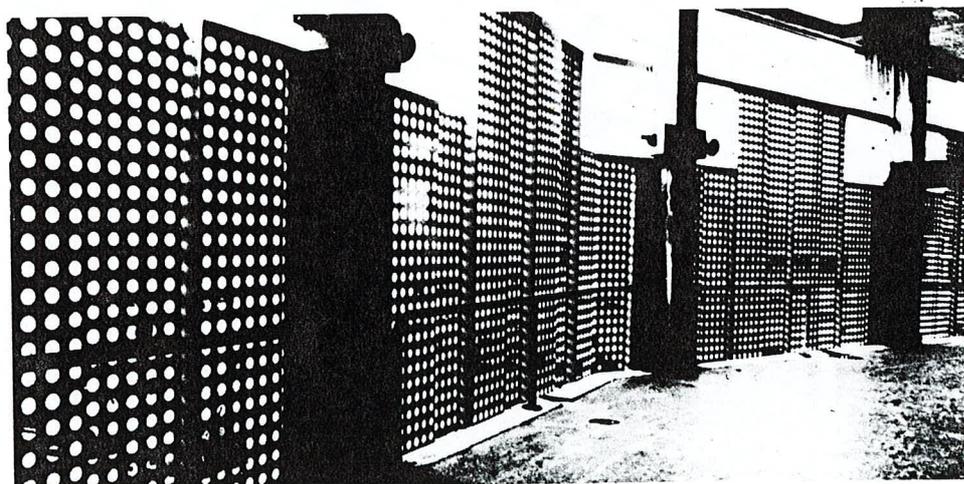
Écran perméable pour atténuer les survitesses entre deux bâtiments.

Architecte : M. DABAT.
Aérodynamicien : Pr VALENSI.



2.2. A Grenoble-Échirolles

Les brise-vent sont confectionnés avec des tôles perforées. Ces dispositifs ont surtout été disposés sous les immeubles, dans les transparences de rez-de-chaussée, afin de protéger les cheminements piétons. Une telle disposition détruit le parti de la transparence de rez-de-chaussée.



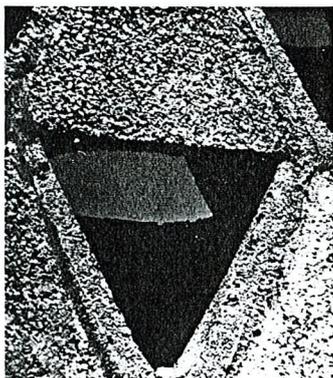
VII-3.

Ville-Neuve de
Grenoble-Échirolles.
Brise-vent dans une transpa-
rence de rez-de-chaussée.
Architecte : A.U.A.

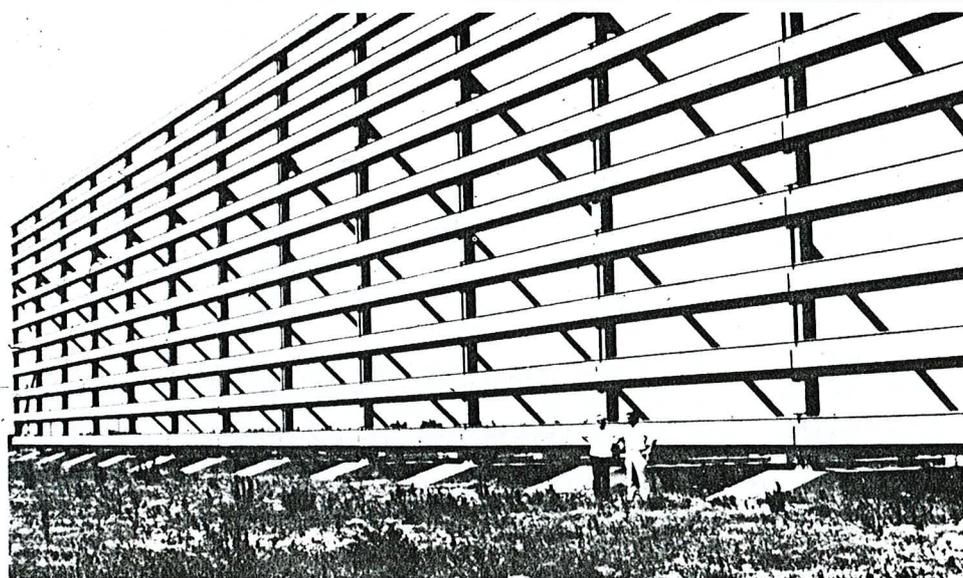
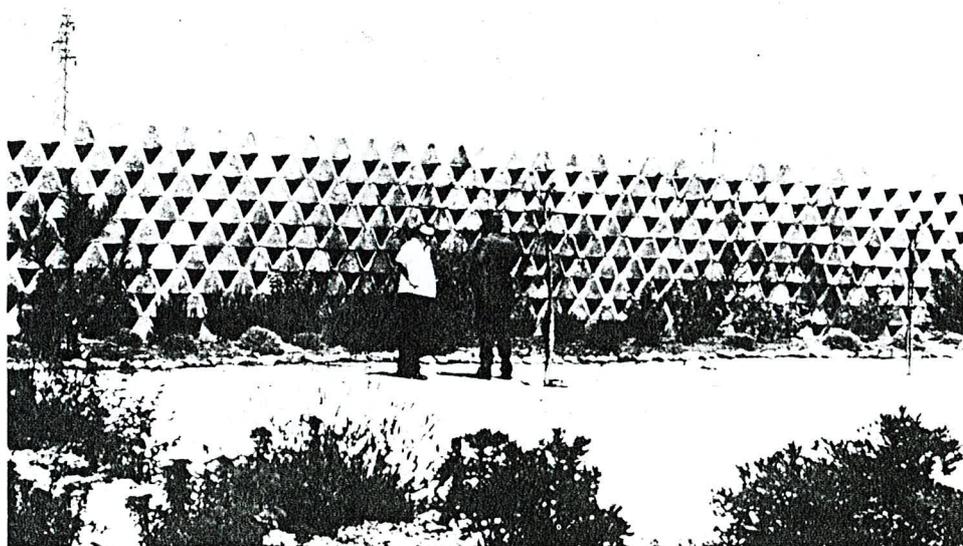
2.3. Dans le port autonome de Fos-sur-Mer

Dans le port autonome de Fos-sur-Mer, les brise-vent sont utilisés dans deux opérations :

- dans le centre d'hébergement des ouvriers travaillant sur les chantiers voisins, une aire de jeux pour les enfants est aménagée. Elle est protégée par un brise-vent confectionné avec des blocs préfabriqués en usine (modèle breveté);
- sur le quai des conteneurs, un brise-vent gigantesque est destiné à faciliter les opérations de grutage. Depuis l'installation de ce dispositif, la manutention des conteneurs ne semble plus poser de problèmes.



VII-4-5.
Port autonome de Fos-sur-Mer.
Protection
d'un jardin d'enfants (détail).
Conception :
M. PIERRISNARD



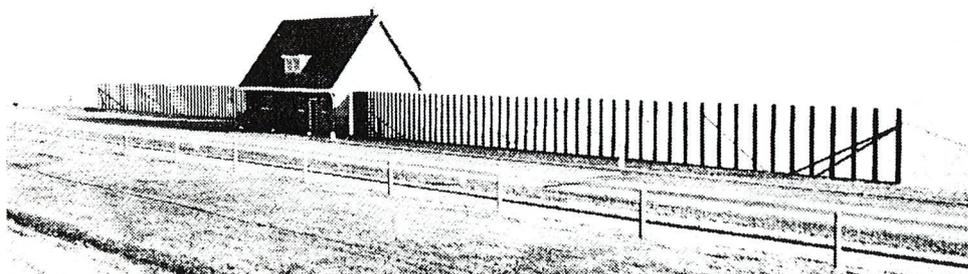
VII-6.
Port autonome de Fos-sur-Mer.
Protection du quai
des conteneurs.-
Aérodynamicien : Pr VALENSI.

2.4. Dans le port de Marseille

Dans le port de Marseille, un brise-vent de douze mètres de hauteur a été placé sur un hangar de huit mètres de haut, situé le long du môle Léon GOURET. La longueur de ce dispositif est de 116 m.

2.5. En Hollande, sur la digue de clôture d'un polder du Zuyder-Zee

Sur la digue de clôture d'un polder du Zuyder-Zee, en Hollande, des bâtiments isolés provoquent pour certaines directions de vent un saut brusque de l'intensité de la vitesse du vent préjudiciable pour les automobilistes. A hauteur de ces bâtiments, les véhicules font des embardées qui sont provoquées par ces gradients horizontaux de vitesses. Des brise-vent à porosité longitudinalement variable ont été disposés afin d'adoucir ce gradient.



VII-7.

Hollande.

Brise-vent sur la digue de clôture du bâtiment « Vlieter » (extrait de l'intervention de M. K. A. BAZLEN « brise-vent sur la digue de clôture » au XIII^e Congrès AIPCR-TOKYO 67).

2.6. Dans le port autonome du Havre

Une structure « tremplin » avec porosité associe l'effet de déflecteur et de brise-vent.

L'ouvrage construit en 1947 a 240 m de longueur, et 20 m de hauteur. La paroi concave recevant le vent est cylindrique et percée, chaque 20 m, d'ouvertures de 7,5 m de largeur et de 12,5 m de hauteur.



VII-8.

3 Conclusion

La mise en place de systèmes protecteurs contre le vent nous paraît un moyen d'intervention très appréciable dans bon nombre de cas (voir introduction du paragraphe), et il nous paraît indispensable de fournir aux architectes, dans les années à venir, un certain nombre de techniques (relativement simples) de contrôle du vent et de leur faire pressentir dans les cas difficiles la démarche à suivre.

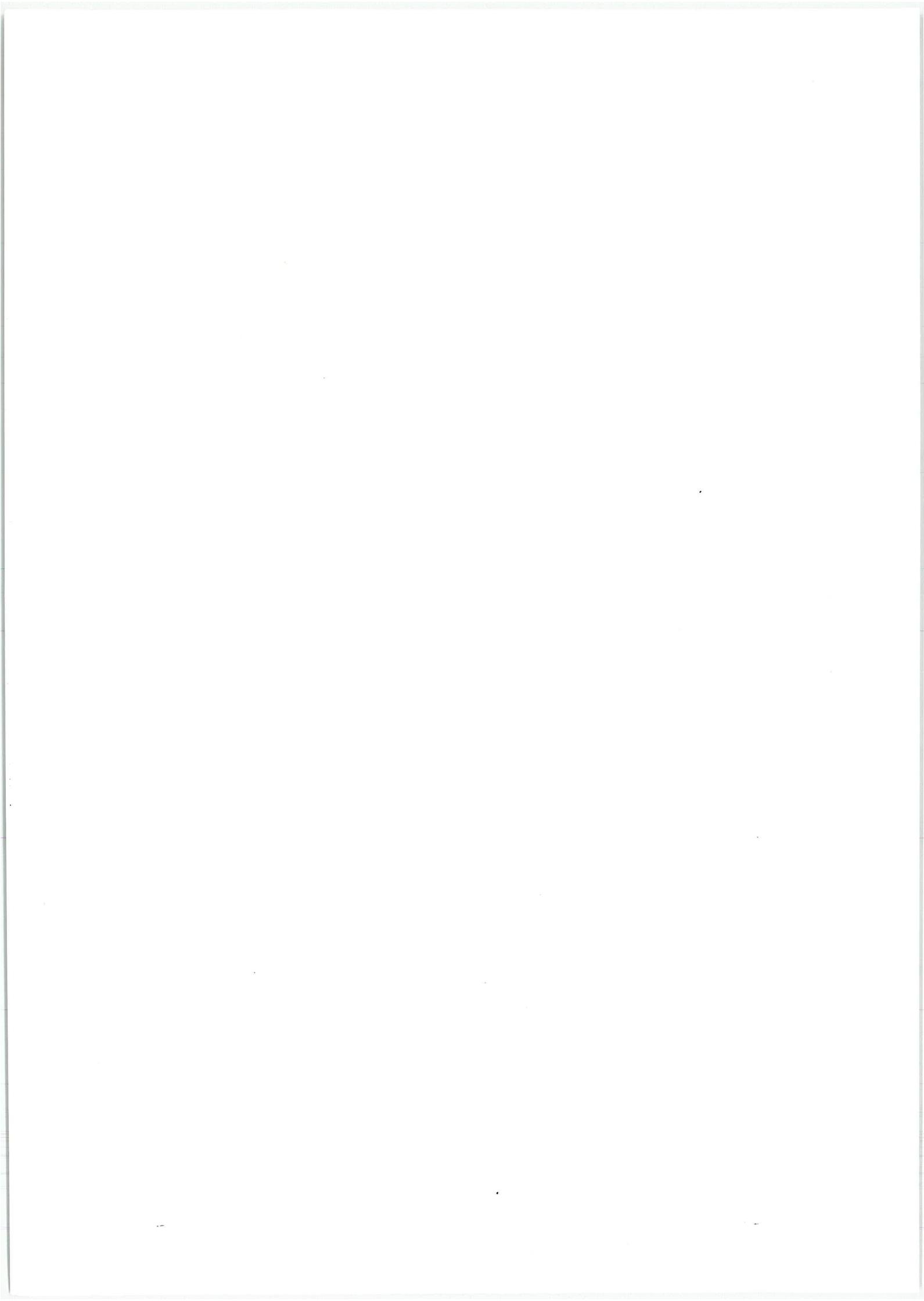
Bien évidemment, le pouvoir du « brise-vent » est notoire, mais nous ne pouvons que rappeler que celui-ci aura d'autant plus d'efficacité que le plan masse lui-même aura intégré dès sa conception le phénomène vent. A savoir, l'optique « brise-vent » reste avant tout un contrôle de deuxième ordre (ou affinage) plutôt qu'une démarche de la première heure.

tableau synoptique de la méthodologie

VIII

	OBJECTIFS	ACTIONS	MOYENS D'INVESTIGATION	
CHOIX ET CONNAISSANCE DU SITE	<ul style="list-style-type: none"> - Connaître le(s) vent(s) le plus gênant en direction force fréquence - Localiser les écoulements sur le terrain étudié 	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse de l'habitat existant - Évaluer l'effet de site et la rugosité environnante par rapport au vent étudié - Recaler les informations météo site/station (connaissance statistique) - Étude sur maquette à l'échelle topographique <ul style="list-style-type: none"> ● Visualiser les écoulements ● Mesurer le champ de vitesse, présentation en fréquence d'inconfort 	<ul style="list-style-type: none"> - Enquête sur site sur les conditions d'adaptation climatique - Analyse topographique a) Station représentative, on a une lecture directe b) Terrain éloigné de la station : faire corrélation par mât de 10 m (anémomètre + girouette) campagne d'un an si besoin a) Simulation en laboratoire, échelle maquette 1/2000 b) Implanter des girouettes à 10 m au-dessus du sol a) Mesurer en laboratoire b) Contrôler sur site 	
CONCEPTION AVANT-PROJET	<ul style="list-style-type: none"> - Optimiser l'implantation générale des masses bâties - Choix de l'épannelage 	<ul style="list-style-type: none"> - Projeter plusieurs esquisses sur papier pouvant répondre aux problèmes posés - Retenir un nombre réduit d'hypothèses intégrant les réponses aux différents critères (programme, fonctionnement, économie, vent) - Tester ces hypothèses dans leur contexte environnant - Choisir l'une d'entre elles ou fonder une hypothèse nouvelle intégrant les informations précédentes 	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux à partir d'un cahier de recommandations - Simulation labo : <ul style="list-style-type: none"> ● Visualisation qualitative, dégrossage ● Mesures quantitatives complémentaires si nécessaires (champ de vitesse) Échelle maquette entre 1/500 et 1/300, la prévoir évolutive 	
CONCEPTION AVANT-PROJET DÉTAILLÉ	<ul style="list-style-type: none"> - Assurer le confort au niveau piéton (2 m) au sein d'un projet affiné - Assurer aussi la croissance des végétaux 	<ul style="list-style-type: none"> - Définition du plan masse, formes et dispositions des constructions - Définition de la qualité des espaces extérieurs - Élaboration du plan de végétation - Tester en simulation sur sol nu pour évaluer les chances de croissance - Tester ensuite avec la végétation pour évaluer le confort réel des espaces 	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux à partir d'un cahier de recommandations - Simulation laboratoire visualisation hydraulique aérolique - Mesures sur maquette échelle entre 1/300 et 1/100 	
CONCEPTION AMÉNAGEMENT COMPLÉMENT	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôler localement des espaces auxquels il faut apporter un soin particulier, soit par traitement de déflecteurs ou brise-vent d'ordre minéral ou végétal - Souci d'intégrer le mobilier urbain comme élément brise-vent 	<ul style="list-style-type: none"> - Localiser les secteurs restant critiques ou non satisfaisants Éléments en superstructures de façade (cf. Prado) - Élaboration de systèmes brise-vent - Test des aménagements proposés dans leur contexte environnant - Corrections successives puis choix définitif de l'aménagement 	<ul style="list-style-type: none"> - Études, esquisses - Simulation Visualisation hydraulique aérolique - Mesures sur maquette échelle max. 1/100 	

INTERVENANTS	TYPES D'INTERVENTION	OBSERVATIONS GÉNÉRALES
<ul style="list-style-type: none"> - Urbaniste - Architecte - Météorologiste - Aérodynamicien - Groupe de recherche en climatologie appliquée à l'architecture 	<ul style="list-style-type: none"> - Assistance conseil pour mise en place d'une démarche - Consultations - Collaboration avec personnes compétentes pour enquêtes sur site, mise en place de campagnes de mesure, interprétation des informations - Expérimentations <ul style="list-style-type: none"> site labo 	<p>Cette étape préalable est indispensable à la suite des opérations, car elle permet d'évaluer le degré d'agressivité du vent sur l'ensemble du site</p> <p>Si la station météo est proche, une simple enquête sur site peut suffire, appuyée par une lecture des informations statistiques météo</p> <p>Pour les cas plus complexes, par exemple projet d'urbanisation nouvelle, il est souhaitable de mettre sur pied une station météo permanente sur le site</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Urbaniste - Architecte - Aérodynamicien - Groupe de recherche en climatologie appliquée en architecture 	<ul style="list-style-type: none"> - Assistance conseil pour aide à la conception - Expérimentation labo - Interprétation des phénomènes 	<p>Cette première phase de conception influe sur les écoulements généraux et les vitesses moyennes globales du projet</p> <p>Si on négligeait cette étape, on pourrait s'exposer en aval du projet à des problèmes plus nombreux à résoudre, par conséquent à des coûts proportionnels aux études et réalisations supplémentaires à mener</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Architectes - Groupe de recherche en climatologie appliquée à l'architecture - Paysagistes - Aérodynamiciens 	<ul style="list-style-type: none"> - Assistance conseil aide à la conception des espaces bâtis et non bâtis - Expérimentation laboratoire 	<p>Cette deuxième phase de la conception permet :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'arrêter un plan masse exploitable au niveau du confort piéton - de jouer avec la présence des éléments végétaux agissant également sur le confort <p>Il est à noter que les phases 1 et 2 de la conception vont ensemble dans l'élaboration du plan masse</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Paysagistes - Plasticiens - Groupe de recherche en climatologie appliquée à l'architecture - Aérodynamiciens 	<ul style="list-style-type: none"> - Assistance conseil : aide à la conception des aménagements particuliers - Expérimentation laboratoire 	<p>Cette phase 3 de la conception apporte une dernière touche à la définition du projet et fait suite aux deux précédentes</p> <p>Cependant, si l'intervention est faite à partir d'espaces bâtis déjà existants, elle est envisagée alors dans une optique « curative » et non préventive. Elle occupe une place prépondérante à elle seule en tant que traitement paysager.</p>



coût

IX

Nous donnons, afin de fixer les *ordres de grandeur*, un tableau correspondant aux coûts à prévoir pour l'intervention de climatologues et d'aérodynamiciens dans un programme. Les coûts sont en F 1975.

RUBRIQUES	COUT	REMARQUES
A - Assistance architecturale en climatologie appliquée à l'architecture	5 000 à 30 000 F	L'architecte dispose de personnes compétentes, chargées de le guider dans ses choix en toute connaissance de cause dès le début de l'étude et sur l'ensemble des phases
A 1 - Étude théorique : étude statistique climatique du site, observations du plan masse et détection des anomalies, conseils pratiques	2 500 à 7 500 F	
B - Étude climatique sur le terrain :	10 000 à 20 000 F	Campagne de durée de 1 à 2 mois
1 - Recalage du site et étude statistique climatique		
2 - Campagne climatique (mini-station météo) et interprétation	36 000 à 45 000 F	Campagne de 6 mois à 1 an
		Location de matériels et maintenance locale indispensable 2 500 à 5 000 F
C - Étude topographique en soufflerie associée à une étude statistique climatique	10 000 à 20 000 F	Coût de la maquette au 1/2000 environ 5 000 F
D - Étude du « champ de vitesse » en soufflerie : constat du champ de vitesse, présentation statistique en fréquence de gêne, optimisation du bâti pour les différentes dispositions ou options construites retenues	30 000 à 60 000 F	Coût des maquettes (échelle 1/200 ou 1/400 suivant les cas) de 5 000 à 20 000 F suivant l'environnement proche et le nombre d'options construites à tester
E - Étude des « remèdes » en soufflerie (brise-vent, volets déflecteurs talutage, etc.)	25 000 à 60 000 F en fonction du nombre de cas à traiter	Coût des maquettes complémentaires (échelle du 1/100 au 1/200) 5 000 à 10 000 F

- Plus l'intervention du climatologue et de l'aérodynamicien se fait tôt vis-à-vis d'un projet, moins la rubrique « E » est importante.

- La réalisation des maquettes varie avec les moyens d'essai (soufflerie, canal hydraulique), les technologies de mesures associées, et sera de conception différente s'il s'agit d'une maquette topographique ou d'un élément du mobilier urbain. Dans tous les cas nous renvoyons au laboratoire traitant des essais. D'une façon générale, les maquettes « d'exposition » ne peuvent pas être utilisées.

- L'assistance architecturale nécessaire pour chaque étude constitue la dépense minimum; elle est un complément indispensable si l'étude se développe, en faisant appel aux moyens techniques de simulation.

A titre d'exemple, une démarche complète d'optimisation des effets du vent dans un plan masse suppose *au minimum* les phases : $A + A 1 + B 1 + D + E$, à savoir un investissement de base de 100 000 F, et de 10 000 F pour les maquettes (si non fournies).

Dans le cas d'une optimisation poussée : $A + A 1 + B 2 + C + D + E$, par exemple, et pour un site « difficile » (effet de topographie, etc.) les chiffres se trouvent quasiment doublés.

conclusion

X

En rédigeant ce guide, nous avons voulu donner un outil aux architectes et aux urbanistes, leur permettant de maîtriser, dans la mesure du possible, les manifestations déplaisantes du vent aux abords des constructions.

Nous avons voulu également que cet outil puisse être utilisé dès les premiers stades de la conception des projets. C'est évidemment à ce niveau que les possibilités d'intervention sont les plus nombreuses et les moins coûteuses.

Plusieurs niveaux d'étude sont proposés, correspondant à plusieurs degrés de précision et de coût. Le niveau le plus bas est celui de l'étude théorique : étude climatique du site d'après les statistiques recueillies dans les sections météorologiques voisines du site de construction, étude aérodynamique sur plan. A l'autre extrémité de l'échelle, l'étude climatique du site est affinée par une campagne de mesures sur le terrain, et l'étude aérodynamique est menée sur maquettes en soufflerie, en plusieurs phases et avec la participation de l'urbaniste ou de l'architecte responsable du projet.

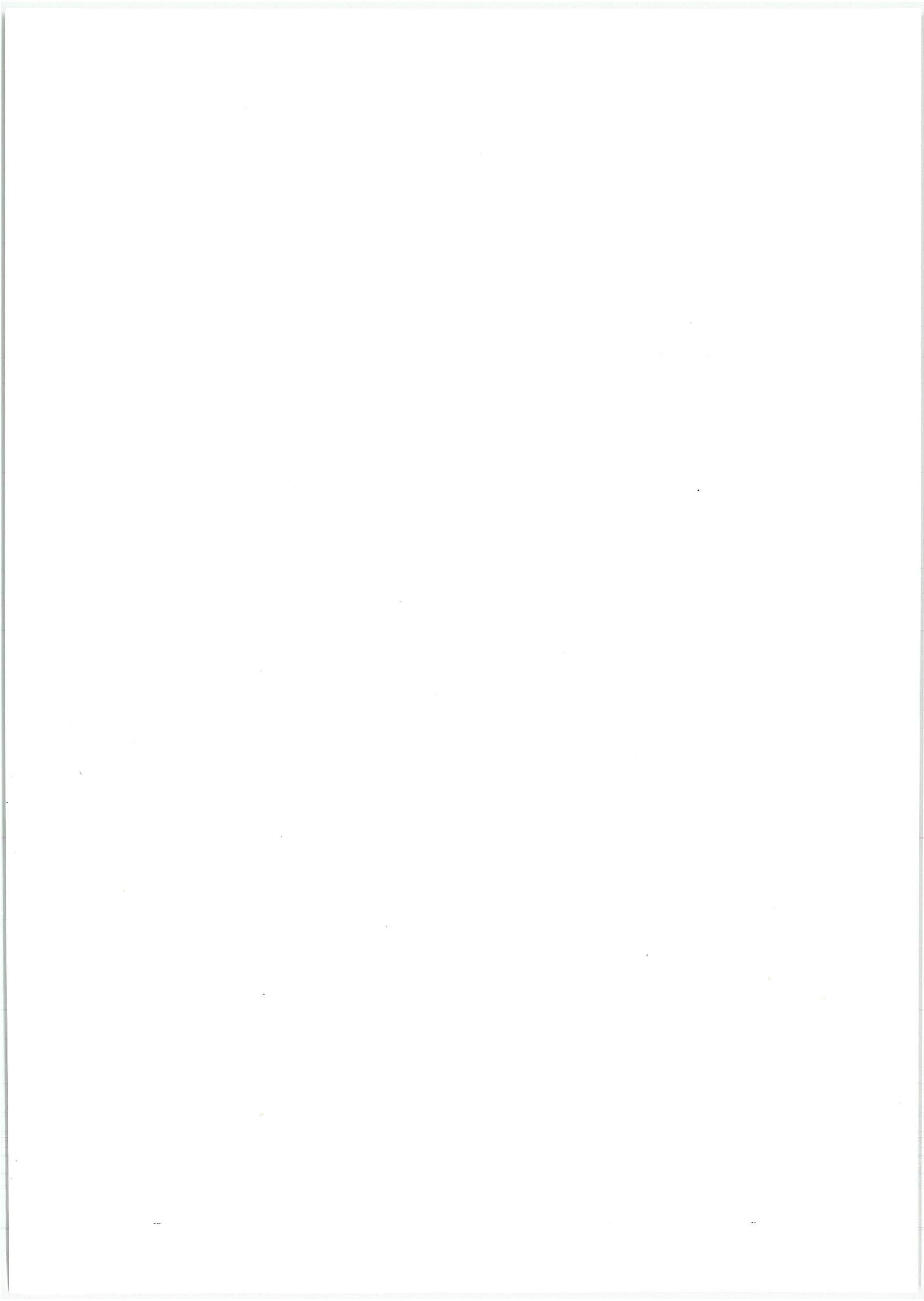
Ainsi, il est possible de choisir, dans une assez large gamme, le niveau d'étude le mieux approprié à l'importance du projet, aux difficultés prévisibles liées au site, à l'architecture projetée, etc.

Ce guide est fondé sur les connaissances actuelles, dont certaines n'ont été que récemment acquises. De ce fait, il est perfectible. En particulier, on peut espérer mieux connaître, à relativement court terme, le domaine des critères de confort et celui des « remèdes » (par exemple brise-vent). Ce guide n'est donc qu'une première étape. Sa mise en pratique elle-même devrait — nous l'espérons — contribuer largement à son amélioration.

annexes

XI

expression théorique du coefficient de recalage K	1	<i>121</i>
la simulation, principe, ses outils	2	<i>122</i>
bibliographie	3	<i>127</i>



Expression théorique du coefficient de recalage k

1

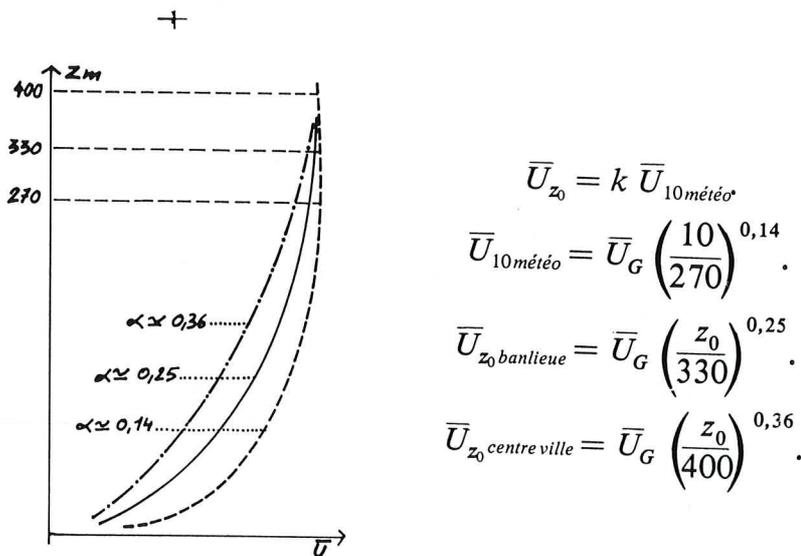


Figure XI-1 a.

Site de campagne :

$$k = \left(\frac{z_0}{10} \right)^{0,14}$$

(rugosité faible)

Site de banlieue :

$$k = \underbrace{\left(\frac{270}{10} \right)^{0,14}}_{1,59} \left(\frac{z_0}{330} \right)^{0,25}$$

(rugosité moyenne) :

Site de centre ville :

$$k = \underbrace{\left(\frac{270}{10} \right)^{0,14}}_{1,59} \left(\frac{z_0}{400} \right)^{0,36}$$

(rugosité forte) :

Exemple : pour $z_0 = 10$ m :

campagne : $k = 1$; banlieue : $k \simeq 0,66$; centre ville : $k = 0,42$.

2 La simulation : son principe, ses outils

(Par M. TRINITÉ - Faculté des Sciences de Rouen)

2.1. Notions fondamentales sur la simulation de l'écoulement du vent atmosphérique

Le vent est un écoulement turbulent : localement, la vitesse du vent varie en direction et en module (voir chapitre III).

Les caractéristiques du vent dans la partie la plus basse de la couche limite atmosphérique (appelée couche de surface, d'une épaisseur de quelques centaines de mètres) sont directement liées à de nombreux paramètres, dont la rugosité du sol, la topographie du terrain, la différence de température entre le sol et l'air, etc.

Ceux-ci fixent la distribution avec la hauteur :

- de la vitesse moyenne;
- de l'intensité de turbulence et son échelle;
- du gradient thermique.

La simulation parfaite d'un tel écoulement est très difficile; toutefois, pour les problèmes d'inconfort qui se produisent dans notre propos par régime de vents plutôt forts, on peut négliger les phénomènes thermiques. Dans ces conditions, les critères à respecter pour la simulation sont les suivants :

similitude géométrique (critère évident qui signifie le respect d'une échelle);

similitude du nombre de Reynolds ou « condition de Reynolds ». Le nombre de Reynolds est fourni par le produit d'une vitesse caractéristique U par une longueur caractéristique L et divisé par la viscosité cinématique du fluide. Cette dernière se trouve fixée par la nature du fluide, on peut agir sur U et L . Il faut donc utiliser une grande installation permettant d'obtenir des vitesses élevées si l'on veut se rapprocher du nombre de Reynolds réel.

La valeur inférieure que l'on doit obtenir pour le nombre de Reynolds en simulation, si L est la grandeur typique d'un bâtiment, est de 10 000. Toutefois, il est préférable de ne pas descendre au-dessous de 15 000 de façon à ce que les sillages des bâtiments soient à coup sûr turbulents.

similitude du gradient vertical de vitesse : en terrain plat, la vitesse moyenne du vent augmente avec la hauteur; en terrain bâti on retrouve le même phénomène avec une perturbation à la sur-

face. Étant donné l'importance des circulations verticales dans les bâtiments, il est nécessaire de simuler le gradient vertical de vitesse pour assurer un bon raccordement entre les vitesses moyennes au-dessus du bâtiment et la zone perturbée.

similitude de l'intensité de turbulence : le vent est un écoulement turbulent, et les fluctuations du vent qui influencent directement le confort de l'homme doivent être reproduites.

Toutefois, à ce stade, il faut distinguer plusieurs degrés de précision. Quand on étudie un ensemble urbain, l'environnement proche crée sa propre turbulence. Elle est prépondérante; en première approximation, il faut restituer l'environnement proche.

Si l'on recherche des résultats quantitatifs et non une simple visualisation des flux, et, notamment, si l'on fait intervenir un critère de confort pour le piéton (dans lequel sera inclus nécessairement la turbulence), il faut restituer la turbulence amont.

similitude de l'échelle de turbulence

L'échelle de turbulence caractérise la grandeur moyenne d'un tourbillon de vent. On comprend aisément que, à partir du moment où l'on restitue l'intensité de turbulence, il faut en respecter l'échelle vis-à-vis de celle des bâtiments. L'environnement proche crée sa propre échelle de turbulence qui se compose avec la turbulence créée à l'amont. L'échelle de turbulence amont peut être très différente s'il s'agit d'une ville ou d'une campagne.

similitude du spectre de fréquence de la turbulence

Le critère consiste à reproduire dans l'intensité de turbulence, non seulement l'échelle, mais la contribution de toutes les fréquences aux fluctuations de vitesse du vent.

Cette simulation reste difficile car le spectre est indexé à l'échelle du vent.

Si l'on tient compte de récents travaux concernant les critères de confort du piéton vis-à-vis du vent (Hunt), il faut simuler le spectre complet.

Si l'on essaie de hiérarchiser les différents critères que nous avons passés en revue, nous dirons que les trois premiers, similitude géométrique, similitude du nombre de Reynolds et gradient vertical de vitesse, doivent être approchés le plus possible si l'on veut qu'une simple visualisation des flux soit significative. Par contre, si l'on veut des résultats quantitatifs au niveau de piéton, il faut simuler le mieux possible l'intensité de turbulence amont et son échelle associée, et même il faut simuler entièrement le spectre de fréquence de la turbulence. Ce dernier point est le plus difficile.

En dehors de ces règles purement de mécanique des fluides, il faut, pour une bonne simulation, restituer sur la maquette tous les détails significatifs par rapport à l'échelle du piéton, ainsi que les conditions aux limites.

2.2. Outils utilisés pour la simulation

Les fluides utilisés pour la simulation sont l'air ou l'eau. L'eau a une viscosité cinématique moins grande que celle de l'air, ce qui fait que pour obtenir un même nombre de Reynolds dans l'air que dans l'eau, il faut une vitesse d'écoulement plus rapide.

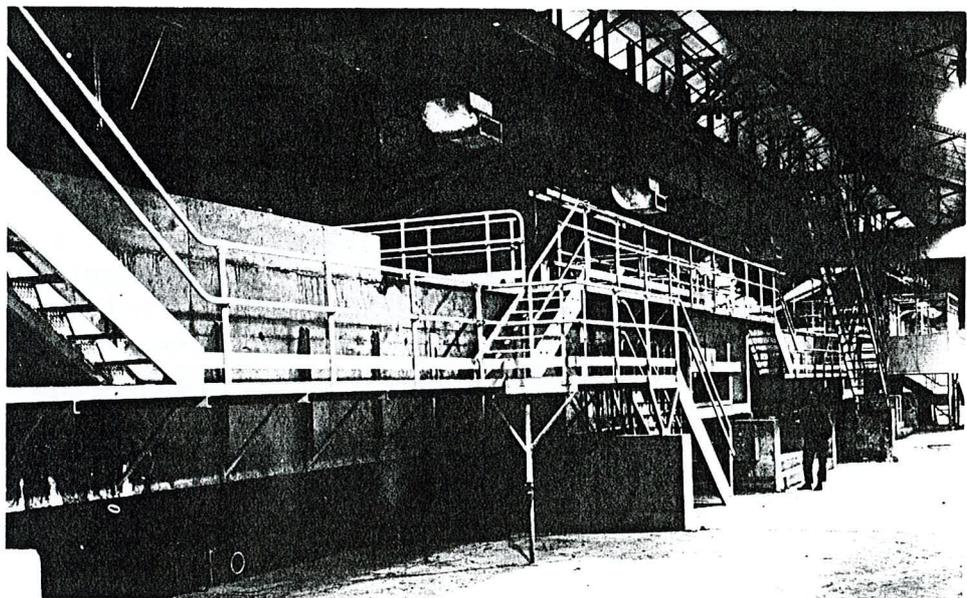
Toutefois, pour obtenir un même nombre de Reynolds, l'énergie nécessaire est très supérieure dans le cas de l'eau.

Canal hydraulique

Dans un canal hydraulique, il est facile de restituer le gradient vertical de vitesse. Il est aussi possible de simuler l'intensité de turbulence avec les divers artifices existant actuellement, mais il est très difficile d'en simuler l'échelle. En ce qui concerne le spectre, il n'en est pas question.

Les visualisations de flux sont aisées dans les canaux hydrauliques, car il est possible d'utiliser des visualisations colorées qui se déplacent lentement du fait de la faible vitesse de l'écoulement.

Le canal hydraulique est bien adapté à la visualisation des flux. (Sa mise en œuvre est cependant assez lourde.) Toutefois, on restera prudent pour l'interprétation des détails de la visualisation.



XI-1.
Veine hydraulique E.D.F.
Vue d'ensemble
de l'installation d'essais.

Soufflerie aéraulique

Elle a l'avantage d'utiliser le fluide réel, ce qui rend plus facile la simulation des caractéristiques de la turbulence. Les autres critères peuvent être respectés sans grands problèmes.

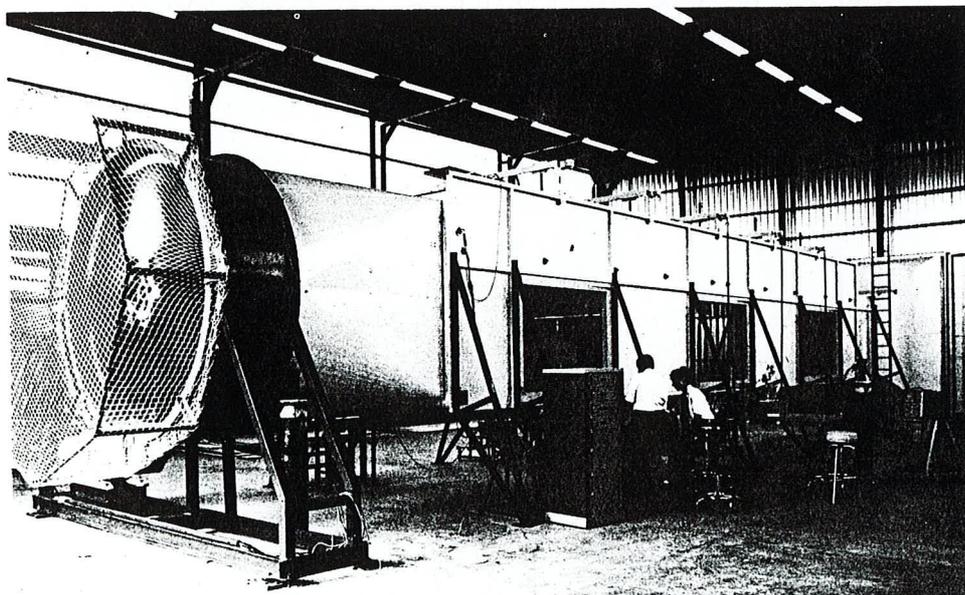
Les visualisations des flux sont assez difficiles car, le fluide se déplaçant à une vitesse de l'ordre de grandeur de la vitesse réelle, elles doivent être associées à une technique photographique. Notons qu'une technique nouvelle, la chronophotographie de tranches d'écoulement ensemencées en fines particules, permet une étude à la fois qualitative et quantitative de la visualisation.

Si l'on s'intéresse aux résultats quantitatifs, la soufflerie aéraulique permet d'étudier quantitativement les niveaux de confort au sol et ceci d'autant mieux qu'on se sera efforcé de restituer les caractéristiques de la turbulence amont.

En fait, il existe actuellement un certain nombre de canaux hydrauliques ou de souffleries aérauliques ayant des dimensions suffisantes pour une simulation correcte telle que nous venons de la décrire.

Cependant, la plupart n'ont pas été conçues pour la simulation de la couche limite atmosphérique et elles doivent être aménagées de façon à simuler gradient de vitesse et turbulence.

Si on recherche à prévoir par simulation sur maquette la protection d'espaces piétonniers, il faut être exigeant sur le choix de l'outil de simulation vis-à-vis des critères exposés en XI-2.1.



XI-2.
Soufflerie C.S.T.B.-Nantes.
Vue extérieure.

2.3. Échelle de la maquette

Les échelles généralement utilisées et qui permettent des mesures quantitatives, se situent entre 1/500^e et 1/100^e.

L'échelle adoptée doit en fait être un compromis entre la surface qu'on veut représenter et la précision qu'on espère, avec, comme paramètre, la grandeur de la veine d'essais.

Dans certains cas d'études des écoulements à l'échelle topographique, des maquettes de l'ordre du 1/2000 peuvent être utilisées.

Notons que lorsque cela est possible, l'utilisation de l'échelle au 1/100^e a l'avantage de donner plus de précision au niveau du sol mais rend plus difficile la simulation du spectre de fréquence.

2.4. Qualité de la simulation

Dans les études existantes, on trouve peu de confrontations laboratoire/vraie grandeur. Elles sont indispensables si on veut connaître les limites des moyens d'essais.

D'une façon générale, notamment en soufflerie (*), les phénomènes réels paraissent bien reproduits.

(*) *Étude C.S.T.B.
sur le site du Vaudreuil
et en soufflerie
(à paraître).*

2.5. Interprétation complète des résultats de l'étude sur maquette

Lorsqu'on veut appliquer concrètement les résultats obtenus en laboratoire, il est indispensable de prévoir un recalage du site (vitesse et direction du vent) par rapport à la station météo voisine.

Le principal problème reste le fait qu'il n'est pas possible de fixer à l'avance une période d'expérience, le régime des vents ne se pliant pas à la planification.

bibliographie 3

R.M. AYNSLEY

Wind around buildings.

Architectural science review, March 72, vol. 15, n° 1.

P. E. COLIN and D. OLIVARI.

Wind effects on buildings and structures : Wind environment at ground level.

Von Karman Institute, Belgium, February 1972.

DABAT, PERRIN, VALENSI, HOWARD, AUDOLY

L'influence sur l'aménagement d'un vent fort : le mistral selon deux aspects.

Teaching the teachers, volume 1, Stockholm, 1972.

R. DABAT, J. VALENSI

Étude plan d'Aou.

R. DABAT, A. GUYOT, R. PERRIN, Groupe A.B.C.,

J. GANDEMER, C.S.T.B.

Conception et aménagement en fonction du vent, la plage du Prado.

Secrétariat à l'expansion de la ville de Marseille, 1975.

A. G. DAVENPORT

An approach to human comfort criteria for environmental wind conditions.

Teaching the teachers, Stockholm, septembre 1972.

DIGEST 141, May 1972, B.R.S.

Wind environment around tall buildings.

B. H. EVANS

Natural air flow around buildings.

Teaching the teachers, volume 1, Stockholm 1972.

J. GANDEMER

Inconfort dû au vent aux abords des bâtiments.

Étude aérodynamique du champ de vitesse dans les ensembles bâtis.

ADYM, 12, 73, C.S.T.B., Nantes.

J. GANDEMER, G. BARNAUD
*Inconfort dû au vent aux abords des bâtiments : étude
aérodynamique du champ de vitesse dans les ensembles bâtis :
étude complémentaire.*
ADYM 1, 75.

J. GANDEMER, G. BARNAUD
Wind environment around buildings. Aerodynamic concepts.
International conference on wind effects on buildings and
structures, London Heathrow, septembre 1975.

J. GANDEMER, H. MAILLE
*Méthode de visualisation quantitative appliquée à l'étude des
écoulements d'air dans les groupes de bâtiments.*
(A paraître).

A. GUYOT
Opération plage du Prado, étude des vents.
Revue Prado, n° 10.

A. GUYOT, Groupe A.B.C.
Les indicateurs du vent sur site.
(A paraître).

A. GUYOT, Y. MALAISE, Groupe A.B.C.
Contrôle du vent dans les espaces extérieurs.
U.P.A., Marseille, 1974.

J. C. R. HUNT, E. C. POULTON
Some effects of wind on people.
Symposium of external flows, 4-6 July 1972.

J. C. R. HUNT
Wind Tunnel Experiments on the effects of wind on people.
Cambridge, CB 3 9 E W, Building Res., septembre 1974.

J. C. R. HUNT, E. C. POULTON, and J. C. MUMFORD
*The effects of wind on people : new criteria based on wind tunnel
experiments.*
(To be published in Building Science).

N. ISYUMOV and A. G. DAVENPORT

The ground level wind environment in built up areas.

International conference on wind effects on buildings and structures, London Heathrow, September 1975.

P. M. JONES, C. B. WILSON

Wind flow in an Urban Area : a comparaison of full scale and model flow.

Building Science, vol. 3, 1968.

T. V. LAWSON

The wind environment of buildings : a logical approach to the establishment of criteria.

University of Bristol, Aéronautical Department, Eng. TVL/7301, 1973.

N. H. MELBOURNE and P. N. JOUBERT

Problems of wind flow at the base of tall buildings and structures.

Tokyo 1971, Conferences on wind effects on buildings and structures.

J.-P. PENEAU, M. Q. SHAIKH

Comptes rendus de recherche du Centre de Recherches Méthodologiques d'Architecture et d'Aménagement (C.R.M.A.A.).

Unité Pédagogique d'Architecture de Nantes (U.P.A.N.).

PENEAU, BARNAUD, SHAIKH, GENTRIC, MARY

Étude des effets du vent dans le domaine bâti à l'aide d'un dispositif de simulation.

C.R.M.A.A., Nantes, 1973.

A. D. PENWARDEN

Acceptable wind speeds in towns.

Building science, vol. 8, Pergamon Press, 1973, Grande-Bretagne.

J.-L. ROUX, E. PERRIN (Rédigé par le Groupe A.B.C.)

Soleil-Vent, Qualité de l'habitat en Provence.

MIAFEB, OREAM, 1974.

J. VALENSI
Contrainte du milieu naturel sur Fos.
1971.

J. VALENSI
Use of perforated screens for protection of selected areas.
Von Karman Institute, Belgique, Wind effects on buildings and
structure, February 1972.

A. F. E. WISE
Effet due to groups of buildings.
Phil. Trans. Roy. Soc. London, May 1971, vol. 269.

A. F. E. WISE, D. SEXTON, M. S. LILLYWHITE
Air flow round buildings.
Urban Planning Symposium, London, January 1965.

conception-réalisation
Idéa-Graphik
19, rue des Prêtres-Saint-Germain-l'Auxerrois
75001 Paris

Achévé d'imprimer
par l'Imprimerie de Montligeon
61400 La Chapelle Montligeon
76-1559 - Dépôt légal : 9552

