



**HAL**  
open science

## Traitement simultané de données de statut différent et simulation

Groleau Dominique, Jean-Pierre Peneau, J. Shaikh, Olivier Soubeyran, A. Letard

► **To cite this version:**

Groleau Dominique, Jean-Pierre Peneau, J. Shaikh, Olivier Soubeyran, A. Letard. Traitement simultané de données de statut différent et simulation. [Rapport de recherche] 0049/76, Centre de recherches méthodologiques d'architecture et d'aménagement (CRMAA); Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes; Secrétariat d'état à la Culture (SRA). 1976. hal-03087136

**HAL Id: hal-03087136**

<https://hal.science/hal-03087136v1>

Submitted on 23 Dec 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

M. A. T. E. L. T.

PLAN CONSTRUCTION

marché n°74.61677.00.223.75.01

TRAITEMENT SIMULTANE DE  
DONNEES DE STATUT DIFFERENT  
ET SIMULATION

EA PARIS Belleville



0002579

Centre de Recherches Méthodologiques  
d'Architecture et d'Aménagement  
rue Henry Picherit Nantes 44300

Ce travail a été réalisé par le  
CENTRE DE RECHERCHES METHODOLOGIQUES D'ARCHITECTURE ET D'AMENAGEMENT.

Ont participé à cette étude :

D. GROLEAU

J.P. PENEAU

J. SHAIKH

O. SOUBEYRAN

Secrétaire

A. LETARD



no Inv 3056

3

CORDA 43  
HFN 5934

- SOMMAIRE -

INTRODUCTION

1. INSTRUMENTATION

A. LE SOLEIL

- I - CONTEXTE DE L'ETUDE
- II - LA METHODE APPLIQUEE : PERIODES D'OMBRE ET DE SOLEIL
  - Principe
  - Problèmes d'automatisation
- III - MISE AU POINT DE LA METHODE D'ANALYSE
  - Etude solaire
  - Détermination du masque provoqué par l'environnement
- IV - MODE D'OBTENTION DES BILANS D'ENSOLEILLEMENT
  - Lecture graphique des "bilans théoriques d'ensoleillement"
  - Interrogations sélectives et résultats numériques
  - Précision et validité des réponses
- V - LE TRAITEMENT AUTOMATISE
  - Processus de résolutions
  - La saisie des données
  - Mode d'utilisation : définition des données en entrée
  - Caractéristiques du programme
- VI - EXEMPLE D'APPLICATION DU PROGRAMME D'ENSOLEILLEMENT
- VII - CONCLUSION

B. LE VENT

- I - LES DIVERSES PHASES DE L'ETUDE
- II - LE DEPISTAGE AUTOMATIQUE DES "ANOMALIES"
  - Principe
  - Anomalies et procédures de reconnaissance
  - La saisie des données
  - Problèmes posés par le dépistage automatique des anomalies
  - Conclusion
- III - EXEMPLES D'APPLICATION DU DEPISTAGE AUTOMATIQUE SUR TROIS ENSEMBLES URBAINS

IV - EXPLORATION SYSTEMATIQUE, EN SOUFFLERIE, D'UNE ZONE  
DE L'ENSEMBLE DU CHATEAU DE REZE

- L'essai soufflerie
- Les conditions d'essais de l'étude
- Présentation des résultats
- Conséquences de l'expérimentation

V - CONCLUSION

2- INSERTION CLIMATIQUE

I - LE CONTEXTE CLIMATIQUE REGIONAL

II - SITUATION DES PARAMETRES VENT ET SOLEIL DANS L'APPROCHE  
CLIMATOLOGIQUE

III - MODES DE TRANSFORMATION DES PARAMETRES RETENUS, A  
L'ECHELLE LOCALE ET MICRO-LOCALE

- Modification des données météo pour le vent
- Modification des données météo pour le soleil
- Influence du vent et de la nébulosité sur les  
températures
- Modification de la structure fine du vent

IV - APPLICATION DES TYPES DE MODIFICATIONS A REZE ET AUX  
ESPACES ETUDIES

- Modification des fréquences des vents Nord-Est,  
par seuil de vitesse
- Les variations diurnes

3- INTERPRETATIONS

I - ETUDE DU CENTRE VILLE DE CHOLET

II - ETUDE D'UN SECTEUR DU GRAND ENSEMBLE DU CHATEAU DE REZE

CONCLUSIONS DE L'ETUDE

IV - REPERATION SYSTEMATIQUE EN SOUTERRAIN D'UNE ZONE DE L'ENSEMBLE DU CANTON DE NEXE

- Les conditions d'usage de l'état
- Présentation des résultats
- Conclusions de l'opération

V - CONCLUSION

I - INTRODUCTION

3. INSERTION CLIMATIQUE

- I - LA CONTEXTE CLIMATIQUE REGIONAL
- II - SITUATION DES PARAMETRES VENTS ET SOLEIL DANS L'APPROCHE CLIMATOLOGIQUE
- III - MODES DE TRANSFORMATION DES PARAMETRES RETENUS, A L'ECHELLE LOCALE EN MILIEU-URBAIN
- Modification des données de base pour le vent
- Influence du vent et de la nébulosité sur les températures
- Modification de la structure fine du vent

IV - REPERATION DES TYPES DE MODIFICATIONS A REPER ET AUX REPERES

- Modification des fréquences des vents Nord-Est, par vent de vitesse
- Les variations de direction
- Modification des fréquences de vents de vitesse
- Caractéristiques de la structure

3 - INTERPRETATION

- I - ETUDE DU CENTRE VILLE DE CHATELAIN
- II - ETUDE D'UN SECTEUR DU GRAND ENSEMBLE DU CANTON DE NEXE

CONCLUSIONS DE L'ETUDE

- I - LES PARAMETRES CLIMATIQUE
- II - LES PARAMETRES CLIMATIQUE
- III - LES PARAMETRES CLIMATIQUE

Les techniques de développement des techniques d'analyse des données de simulation des phénomènes physiques et chimiques. L'objectif principal de ce travail est de présenter les principes de base de la simulation et de montrer comment elle peut être utilisée pour résoudre des problèmes complexes. Les techniques de simulation sont classées en deux catégories : les techniques analytiques et les techniques numériques. Les techniques analytiques sont basées sur des modèles mathématiques et sont utilisées pour résoudre des problèmes simples. Les techniques numériques sont basées sur des modèles numériques et sont utilisées pour résoudre des problèmes complexes. Les techniques de simulation sont utilisées dans de nombreux domaines, tels que l'aéronautique, l'automobile, l'énergie, la chimie, la physique, la biologie, la médecine, etc. Les techniques de simulation sont de plus en plus utilisées pour résoudre des problèmes complexes et pour améliorer la conception des produits et des procédés. Les techniques de simulation sont de plus en plus utilisées pour résoudre des problèmes complexes et pour améliorer la conception des produits et des procédés.

# INTRODUCTION

En regard de ces problèmes, deux idées principales ont guidé la recherche. La première est de développer des techniques de simulation qui soient capables de résoudre des problèmes complexes et de fournir des résultats précis. La seconde est de développer des techniques de simulation qui soient capables de résoudre des problèmes complexes et de fournir des résultats précis. Les techniques de simulation sont de plus en plus utilisées pour résoudre des problèmes complexes et pour améliorer la conception des produits et des procédés. Les techniques de simulation sont de plus en plus utilisées pour résoudre des problèmes complexes et pour améliorer la conception des produits et des procédés.



Les tentatives de développement des techniques d'analyse des données, de simulation des phénomènes physiques ou de restitution graphique automatique, traduisent la préoccupation de mettre à jour des instruments nouveaux de conception architecturale. Ces instruments peuvent intervenir soit directement par l'accès aux moyens de traitement et de simulation évoqués, soit indirectement par la mise à jour, au prix d'expériences répétées, de règles ou de principes de distribution des éléments spatiaux.

Une série d'obstacles d'ordre divers s'opposent cependant au développement de telles approches, tant dans la pratique pédagogique des Unités d'enseignement de l'architecture, que dans la pratique opérationnelle des concepteurs. Ces obstacles peuvent relever parfois du peu de goût du milieu pour les approches objectives et parcellaires dans le domaine de la mise en forme mais ils ressortissent principalement à un sous-équipement technologique qui, en raison du coût des matériels nécessaires, risque de limiter sérieusement leur emploi.

L'utilisation, en principe idéale dans l'enseignement comme dans la pratique, des expérimentations au moyen du simulateur d'ensoleillement, d'essais sur modèle en soufflerie, d'analyses sur l'insertion dans le site par dessin automatique va se heurter à une hostilité plus ou moins avouée de la sphère des enseignants et des professionnels qui utilisent à juste titre, les arguments de manque d'accessibilité des équipements et du coût élevé des prestations.

En regard de ces problèmes, deux idées principales ont guidé le travail effectué dans la présente étude. Elles correspondent respectivement :

- à la volonté d'appréhender les phénomènes liés au contrôle de l'environnement, de manière simultanée, en effectuant des croisements et des interprétations conjoints des effets des divers paramètres ;
- à la recherche de dispositifs de traitement automatique des données correspondantes, permettant de se dispenser de la simulation physique de phénomènes coûteux à reproduire (tels que les effets du vent, les effets du soleil, les effets optiques).

Un tel projet conduisait incidemment à poser le problème du traitement conjoint de données d'ordre différent et à s'interroger préalablement sur leur statut respectif ainsi que sur leur compatibilité dans ce type d'opération.

Nous nous proposons au départ, de faire appel à une gamme assez étendue de données :

- données morphologiques, description du cadre bâti, support des investigations et simulations,
- données sociologiques et psychologiques relatives à l'usage,
- données climatiques liées principalement à l'ensoleillement et aux effets du vent,
- données numériques et quantitatives intéressant les surfaces et le repérage des bâtiments et des logements.

Les difficultés rencontrées face à ce programme ambitieux ont conduit à réajuster les objectifs et à dissocier la partie relative à la saisie des données morphologiques qui a fait

l'objet d'une publication séparée (réf. 3). Ainsi, l'investigation a porté sur le croisement des données morphologiques (définissant les bâtiments et les aménagements) et des données climatiques. Dans ce cadre, le seul problème de l'automatisation du traitement et de l'interprétation conjointe des informations liées aux phénomènes aérodynamiques et aux phénomènes solaires, a nécessité un approfondissement des questions de climatologie et de micro-climatologie induites par ce type d'approche.

CONTENTS OF LISTINGS

# 1. INSTRUMENTATION

MONTA **A. LE SOLEIL**

I - CONTEXTE DE L'ETUDE

La prise en compte du soleil en architecture a longtemps été limitée à l'étude du tracé des ombres. Plus récemment, et dans la perspective hygiéniste et fonctionnaliste du courant de l'architecture moderne, on s'est préoccupé d'établir des bilans d'ensoleillement ou de définir des dispositifs contrôlant le rayonnement solaire, ceci à l'aide de diagrammes ou d'abaques. Ces méthodes appliquées aux plans et aux coupes de bâtiments ou d'ensembles de bâtiments, s'avèrent assez fastidieuses d'emploi dès que l'on s'intéresse à des groupements complexes situés sur des terrains dont la topographie est irrégulière.

L'approche qui consisterait à optimiser une configuration pour satisfaire telle ou telle exigence d'ensoleillement doit être écartée, car elle mettrait l'accent sur le facteur soleil sans voir les implications pour les autres facteurs, et négligerait l'aspect d'ensemble. Le problème ne se situant pas au niveau du seul bâtiment, on doit envisager l'interaction mutuelle des bâtiments et des espaces extérieurs, face au soleil ; c'est-à-dire à la détermination des zones d'ombres, de leur fréquence dans le temps, dans les espaces libres naturels ou aménagés et sur les façades des bâtiments.

Notre objectif est d'arriver à une appréhension plus globale du phénomène, pour laquelle les deux aspects soleil et ombre sont envisagés d'une façon dynamique, tant dans l'espace que dans le temps. Nous proposons ainsi une interrogation locale et non systématique de l'espace, pendant des périodes déterminées, en fonction des utilisateurs et de leurs critères d'analyse et d'évaluation, ce qui doit faciliter l'établissement rapide de bilans d'ensoleillement précis ou synthétisés pour un point, plusieurs points ou une zone de l'espace construit.

A l'inverse des méthodes classiques de tracé des ombres qui, en fixant le temps (date et heure), donnent une information

binaire (ombre ou soleil) en couvrant totalement l'espace, notre approche présente l'évolution de ce statut au cours du temps pour divers points de cet espace. Le changement d'état pour un point de l'espace, par rapport à l'ensoleillement, dû aux variations des valeurs azimutales du soleil pour une même heure dans l'année, indique que le bilan d'ensoleillement, pour ce point pendant une période, n'est pas réductible au tracé des ombres effectué à partir de quelques dates réparties dans l'année.

Nous introduisons ainsi des notions de durée et de répartition dans le temps qui nous ont conduit à rechercher un nouvel outil qui, intégrant le mouvement solaire annuel et le site construit, permette d'obtenir directement l'état exact d'ensoleillement d'un point, sans référence préalable à la définition d'un "bon ensoleillement".

II - LA METHODE APPLIQUEE A PERSONNES D'INTERIEUR ET LE SOLEIL

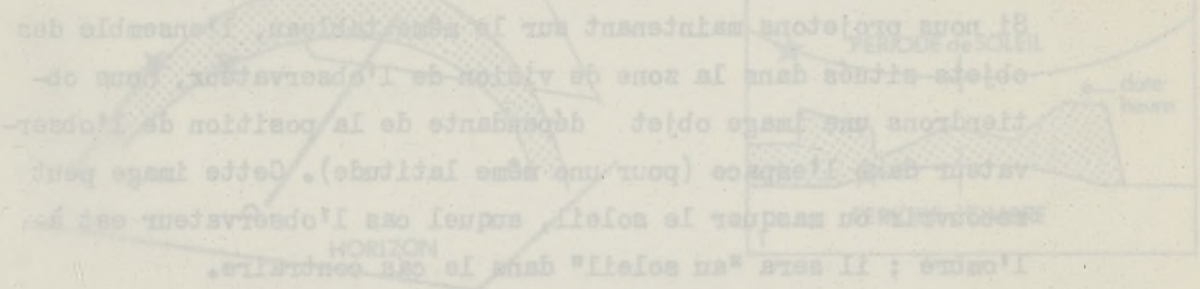
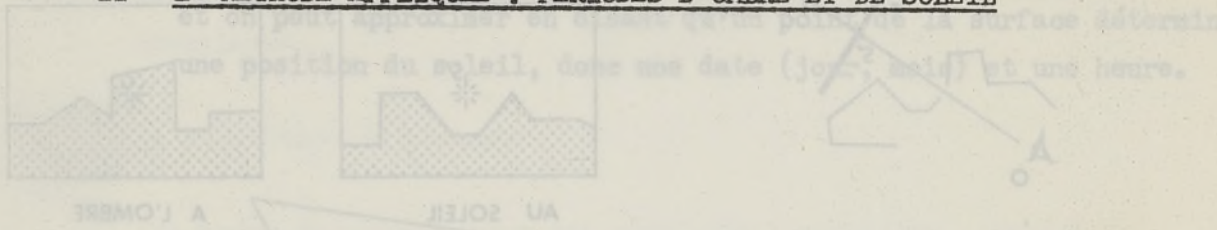




Enfin, la méthode appliquée : périodes d'ombre et de soleil. Pour une latitude donnée, quelques soit la position de l'observateur, les positions opposées du soleil sont identiques. Donc, la vision du soleil est indépendante de sa position.

Chaque fois que l'observateur se déplace en altitude, il voit le soleil à une hauteur différente, mais la position du soleil, et par conséquent, la projection sur le plan perpendiculaire à la direction observateur-soleil, nous obtenons la même image. En effet, au centre du tableau, pour l'axe des y, nous obtenons la même image. L'angle de projection est le même.

**II - LA METHODE APPLIQUEE : PERIODES D'OMBRE ET DE SOLEIL**



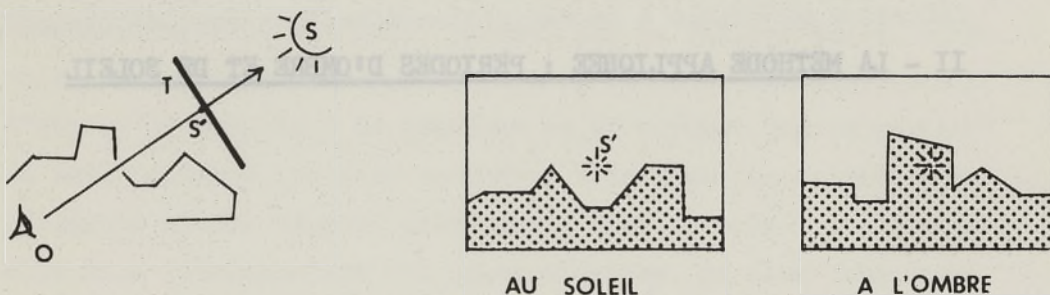
Il y a ombre en un point de l'espace s'il existe un objet (bâtiment, mur, rocher, végétation, nuage...) faisant masque ou écran et interceptant le rayon visuel point d'observation-soleil.

La méthode appliquée est basée sur la projection orthogonale de l'objet sur le plan perpendiculaire à la direction observateur-soleil. Cette image peut être obtenue de deux manières : soit en projetant l'objet sur le plan, soit en projetant le plan sur l'objet.

### PRINCIPE

Pour une latitude donnée, quelque soit la position de l'observateur, les positions apparentes du soleil sont identiques. Donc, la vision qu'un observateur a du soleil est indépendante de sa position.

Si nous fixons une heure et une date, précisant ainsi la position S du soleil, et prenons comme tableau de projection un tableau T perpendiculaire à la direction observateur, soleil, nous obtenons l'image S' du soleil, au centre du tableau sur l'axe de visée principal.



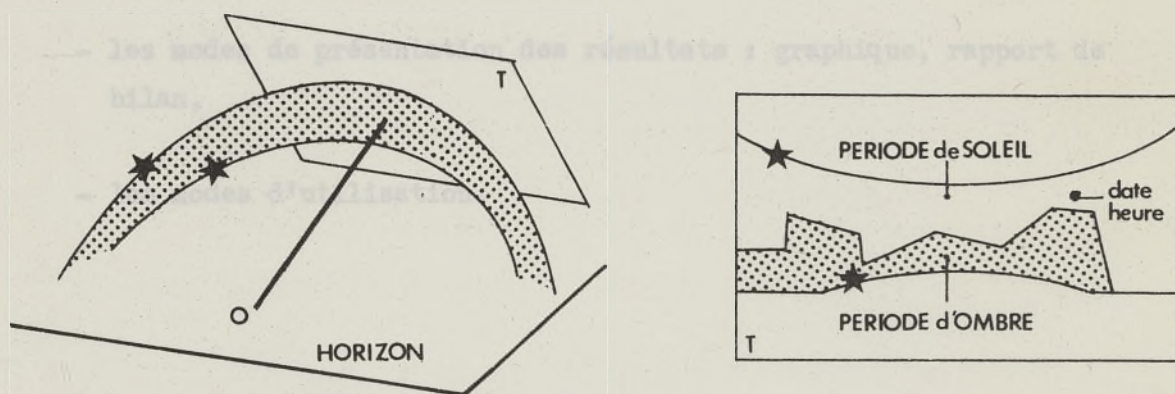
Si nous projetons maintenant sur le même tableau, l'ensemble des objets situés dans la zone de vision de l'observateur, nous obtiendrons une image objet dépendante de la position de l'observateur dans l'espace (pour une même latitude). Cette image peut recouvrir ou masquer le soleil, auquel cas l'observateur est à l'ombre ; il sera "au soleil" dans le cas contraire.

Il y a ombre en un point de l'espace s'il existe un objet (bâtiment, relief, végétation, nuage...) faisant masque ou écran et interceptant le rayon visuel point d'observation, soleil.

On pourrait répéter cette expérience pour plusieurs observateurs et obtenir ainsi l'état (vu ou caché) d'un nombre indéterminé de points de l'espace, pour une position déterminée du soleil (heure, jour, mois).

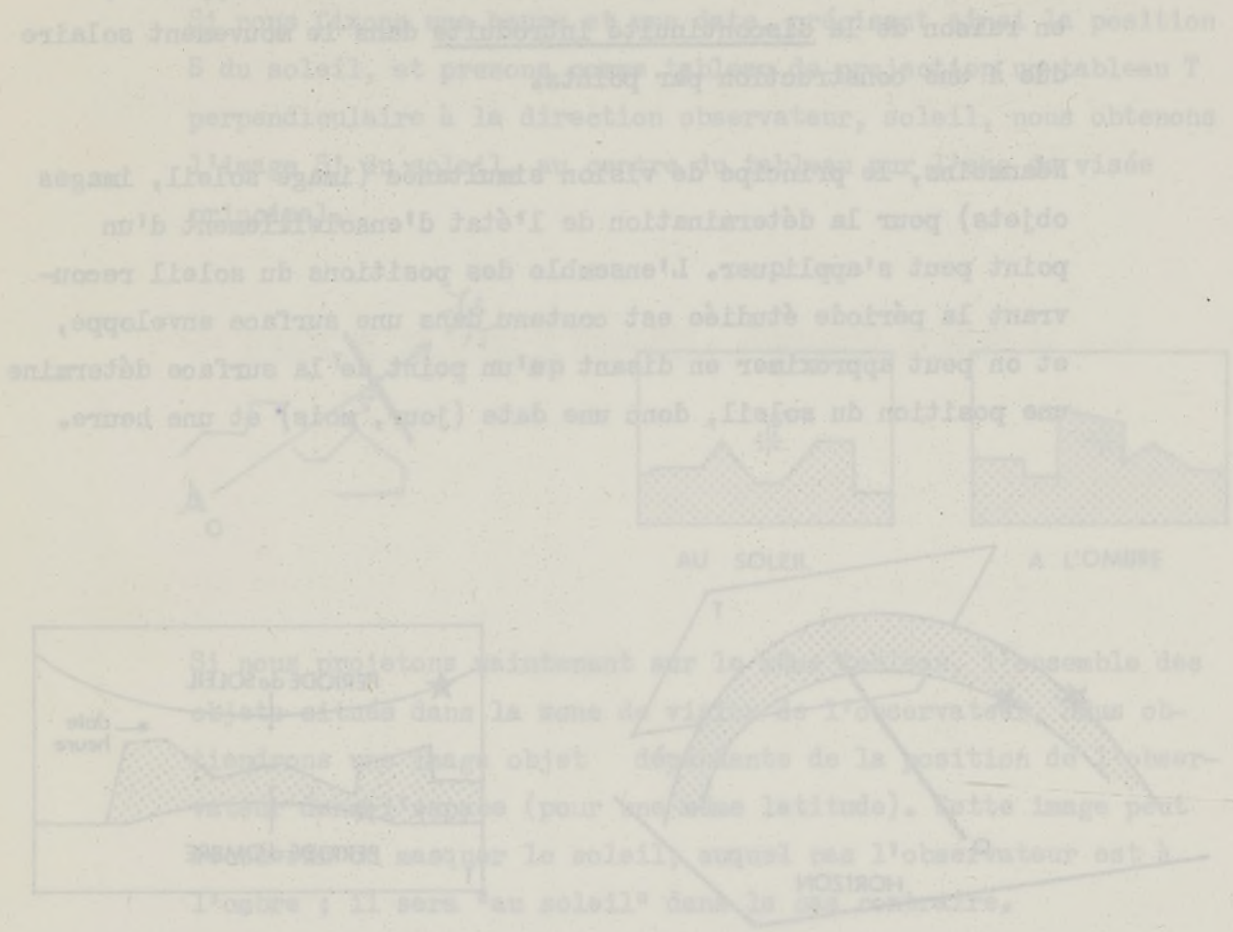
Cependant, si nous nous intéressons non plus à l'état d'un point (ombre, soleil) à une heure et une date, mais à la variation de cet état pendant une période de l'année (10 heures d'une journée, un mois, une année...), il faudrait considérer toutes les positions du soleil durant cette période. La connaissance des positions du soleil par la détermination des azimuts et hauteurs, liés à la latitude ne semble pas se prêter facilement à cette approche, en raison de la discontinuité introduite dans le mouvement solaire due à une construction par points.

Néanmoins, le principe de vision simultanée (image soleil, images objets) pour la détermination de l'état d'ensoleillement d'un point peut s'appliquer. L'ensemble des positions du soleil recouvrant la période étudiée est contenu dans une surface enveloppe, et on peut approximer en disant qu'un point de la surface détermine une position du soleil, donc une date (jour, mois) et une heure.



Le problème théorique devient alors un problème de visualisation. Pour une bonne représentation de la surface solaire correspondant à la période étudiée, l'observateur doit viser le centre de cette surface, déterminant ainsi l'axe de visée principal et le plan du tableau de projection. Sur ce tableau, sont projetés les images

du soleil et l'ensemble des objets vus par l'observateur (point de l'espace). L'intersection obtenue par la surface projetée (soleil) et l'image des objets détermine les périodes d'ombre du point de vue. Il reste alors, pour une bonne explicitation du résultat, à repérer les dates et les heures sur la surface. On obtient ainsi l'état d'ensoleillement du point de façon continue dans le temps.



Il y a ombre en un point de l'espace si l'objet existe en ce point et si l'observateur se trouve dans la zone d'ombre projetée par l'objet. L'ensemble des points de l'espace qui sont dans la zone d'ombre projetée par l'objet détermine les périodes d'ombre du point de vue. Il reste alors, pour une bonne explicitation du résultat, à repérer les dates et les heures sur la surface. On obtient ainsi l'état d'ensoleillement du point de façon continue dans le temps.

### PROBLEMES D'AUTOMATISATION

Les problèmes que nous avons traités se proposaient principalement, de simplifier la représentation des trajectoires solaires, en éliminant le calcul point par point avec les azimuts et hauteurs (sans pour autant surcharger les calculs de transformation à appliquer sur les objets avant leur mise en perspective.) Ceci a amené à étudier :

- la détermination de la "surface" solaire annuelle pour un observateur donné,
- l'étude de ses variations pour les diverses latitudes,
- le choix d'un système de référence et mise à jour des éléments invariants,
- la définition du masque,
- les modes de présentation des résultats : graphique, rapport de bilan,
- les modes d'utilisation.



III - MISE AU POINT DE LA METHODE D'ANALYSE



ETUDE SOLAIRE

REPERAGE DE LA POSITION DES ASTRES DANS UN SYSTEME DE COORDONNEES  
INDEPENDANT DE LA POSITION DE L'OBSERVATEUR : LES COORDONNEES  
EQUATORIALES

- Notion de sphère céleste :

Pour étudier les positions et les mouvements apparents des objets célestes, il faut déterminer avec une précision plus ou moins grande leur position à l'instant d'observation.

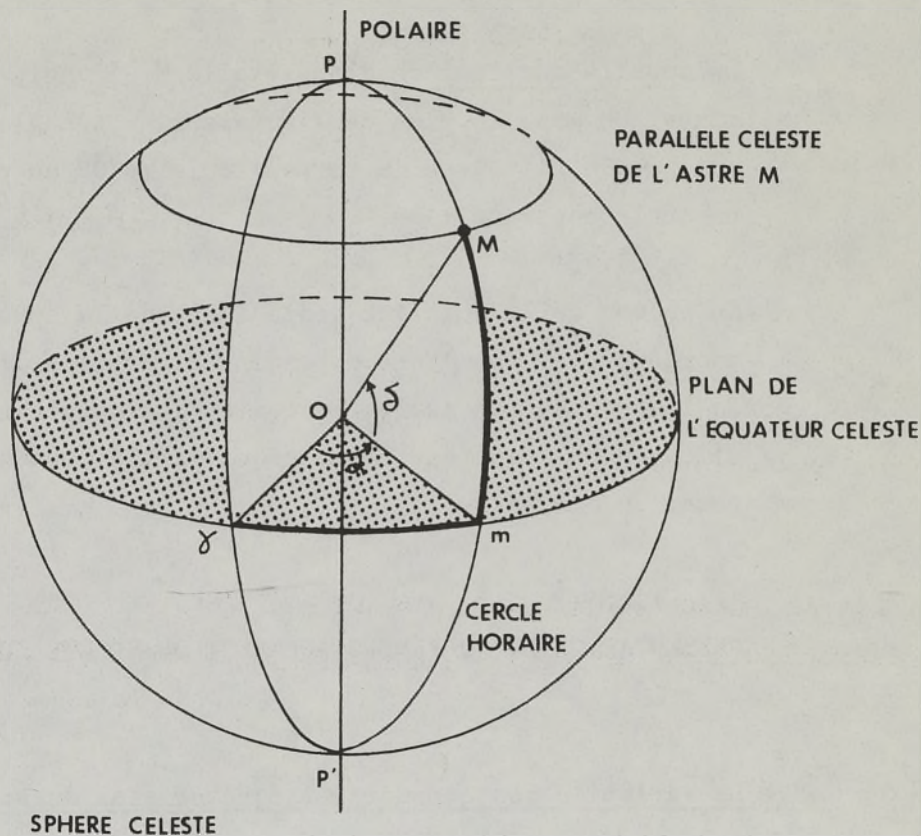
"On appelle sphère céleste, la sphère imaginaire de rayon arbitraire (1) et de centre en un point arbitraire de l'espace qui porte à sa surface les positions des astres tels qu'on les voit dans le ciel à un certain instant et à partir d'un point donné de l'espace" (cf Astronomie générale p. 27).

Plusieurs systèmes de références sont possibles pour calculer les coordonnées célestes d'un astre pour un observateur donné. Ils se distinguent par leur choix du plan principal et de l'origine.

Le système de référence choisi ne tient pas compte de la différence des positions d'un observateur sur la surface terrestre puisque :

- le plan principal est le plan de l'équateur céleste (plan diamétral de la sphère céleste perpendiculaire à la ligne des pôles),
- par l'origine O (l'observateur) passera la direction de la polaire.

(1) Le rayon a été fixé à l'unité pour la suite de l'étude.



La rotation diurne de la terre, dans le système choisi, se traduit par une rotation de la sphère céleste autour de l'axe polaire. Les astres décrivent donc dans le même temps, et d'un mouvement uniforme, des trajectoires cercles appelées parallèles.

On appelle cercle horaire d'un astre **M**, à un instant donné, le demi grand cercle **PM<sub>m</sub>P'** de la sphère céleste. Un cercle horaire décrit la sphère céleste en 24 heures.

- Coordonnées équatoriales :

On appelle ascension droite d'une étoile **M**, la mesure de l'angle dièdre constant formé par le demi-plan du cercle horaire de l'étoile avec le demi-plan d'un cercle horaire **P $\gamma$ P'** pris pour origine :  $\alpha$  (compris entre  $0^\circ$  et  $360^\circ$ ).

On appelle déclinaison d'une étoile M, l'angle que fait le rayon visuel OM avec le plan de l'équateur. Cet angle est constant puisque OM fait avec la perpendiculaire OP au plan équatorial, un angle constant :  $\delta$

En raison de la rotation quotidienne de la sphère céleste, les coordonnées  $\alpha$  et  $\delta$  ne dépendent ni du lieu d'observation, ni du temps, pour un astre, puisqu'on les compte à partir de points situés sur l'équateur céleste qui participent eux-mêmes à la rotation diurne.

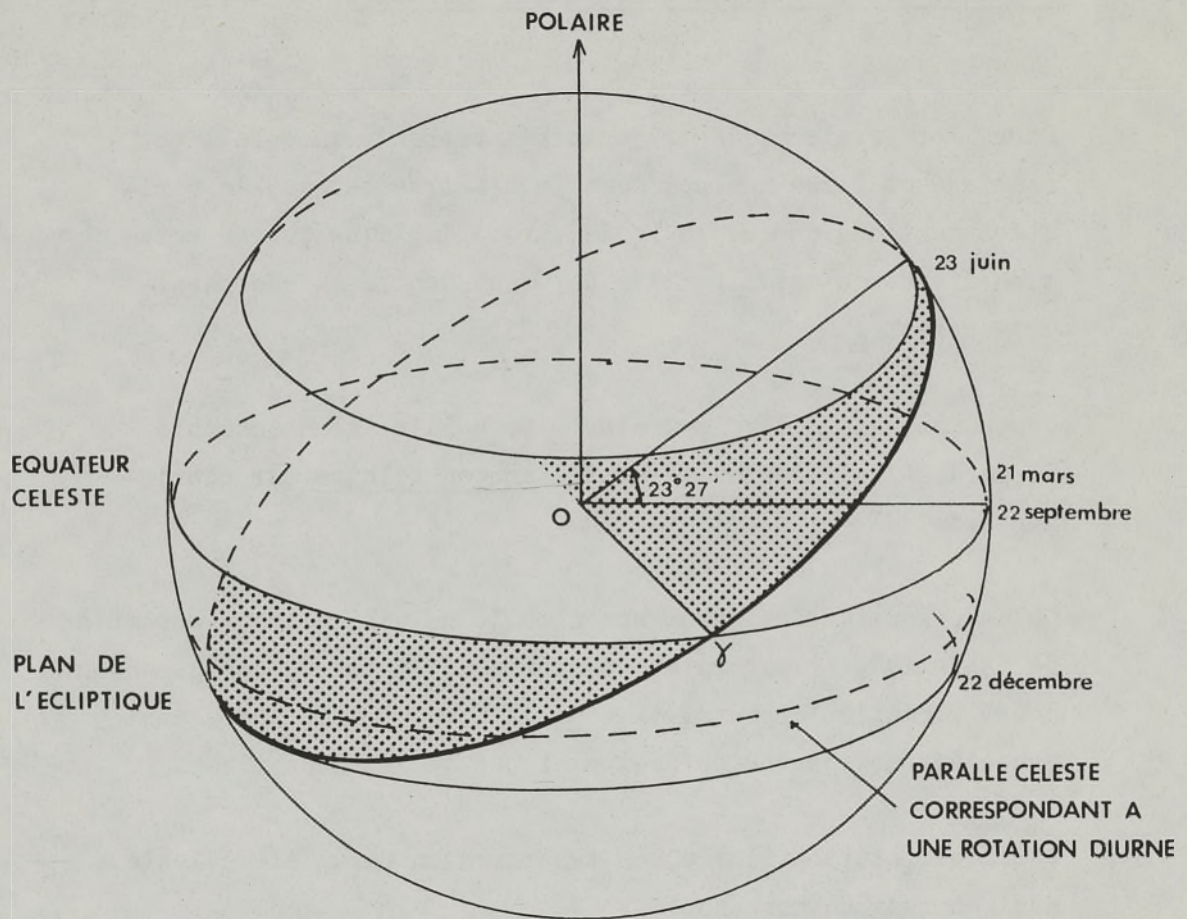
#### REPRESENTATION DU MOUVEMENT APPARENT DU SOLEIL SUR LA SPHERE CELESTE

##### - La variation des coordonnées équatoriales du soleil :

Le mouvement de translation de la terre autour du soleil introduit des positions variables du soleil sur la sphère céleste : l'ascension droite et la déclinaison ne sont plus fixes. Des observations ont permis d'établir, durant une année, leurs variations (en initialisant  $\alpha$  au passage du 21 mars).

$\alpha$	0	$\pi/2$	$\pi$	$\pi/2$	$2\pi$
$\delta$	0	$23^{\circ}27'$	0	$-23^{\circ}27'$	0
	21 mars	23 juin	21 septembre	22 décembre	21 mars

En considérant la variation continue des 2 coordonnées du soleil, on peut considérer qu'il se déplace parmi les étoiles de l'est à l'ouest sur un grand cercle de la sphère céleste appelé écliptique, dont le plan est incliné de  $23^{\circ}27'$  sur le plan de l'équateur céleste.



Définition de  $\gamma$  :

C'est le point d'intersection du plan de l'équateur avec celui de l'écliptique tel que la déclinaison s'annule en s'accroissant (correspond à la date du 21 mars).

- Simplification dans la définition de la trajectoire apparente du soleil pour un observateur terrestre

Pour l'observateur, la trajectoire apparente du soleil est continue et forme une spirale. En d'autres termes, la variation continue du couple (  $\alpha$  ,  $\delta$  ) implique qu'une rotation diurne du soleil, autour de 0, ne peut être une parallèle céleste.

Cependant, assimiler la trajectoire solaire à un ensemble de parallèles célestes formant l'anneau solaire est couramment admis.

Cela revient à considérer non plus le soleil, mais un ensemble de "soleils", (1 par rotation diurne de la terre, correspondant à une variation approximative de 1° pour  $\alpha$ ) auxquels sont associées une ascension droite et une déclinaison fixes.

A chaque rotation diurne, on associera un parallèle céleste, muni de ces coordonnées :

$$\alpha = (NB - 80) \times 360^\circ / 365,25$$

avec NB = numéro de séquence du jour dans l'année

$$\sin \delta = \sin 23^\circ 27' \sin \alpha$$

L'étude portant sur les phénomènes d'ensoleillement le matin et l'après-midi, la déclinaison est calculée au passage du soleil à midi.

NOTA : L'espace entre deux parallèles célestes est donc formé par un ensemble de parallèles célestes représentant des rotations diurnes de soleils dont la déclinaison ne serait plus fixée à midi.

- Approximation de l'étude solaire :

Seuls les phénomènes de translation (détermination du couple  $(\alpha, \delta)$ ) et de rotation (définition du parallèle céleste) ont été pris en compte pour définir les relations terre-soleil, mais la simplification décrite précédemment traduit une discontinuité entre ces deux mouvements. Les déclinaisons et ascension droites sont calculées à partir de la sphère céleste.

La sphère céleste rend compte de phénomènes directionnels et non pas de distance.

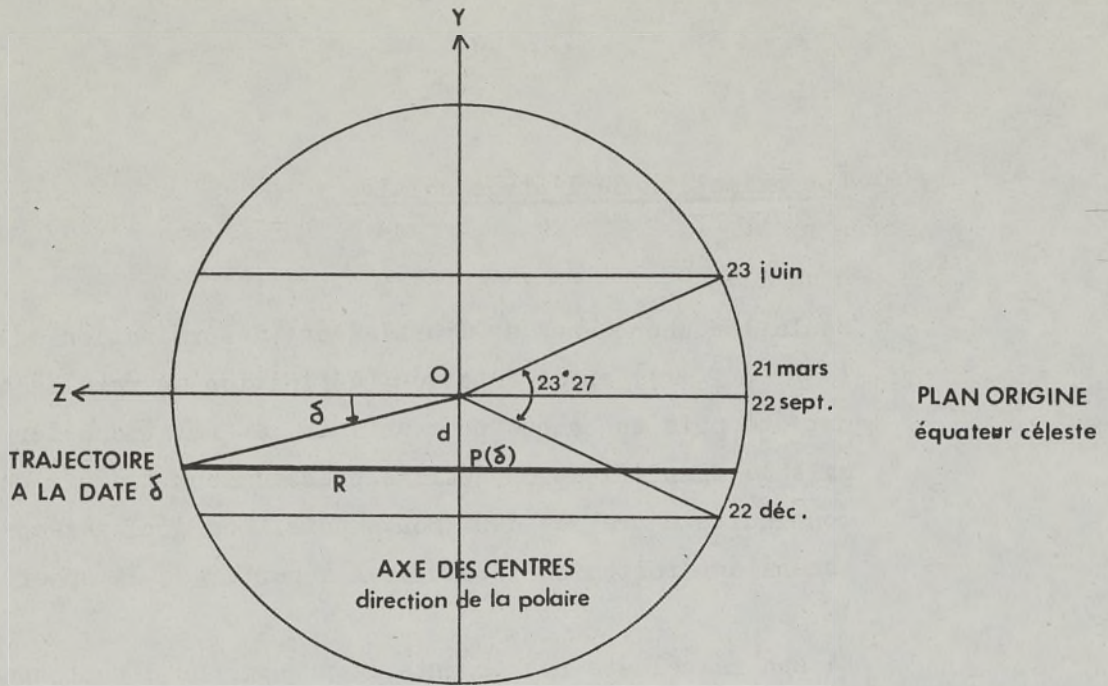
On a supposé une variation régulière de l'ascension droite car on a négligé un certain nombre de phénomènes physiques comme :

- la trajectoire réelle de la terre autour du soleil,
- la variation de la vitesse de translation de la terre autour du soleil.

Enfin, la réfraction du soleil, anticipant le lever et retardant le coucher (au plus 8 mn), n'a pas été retenue.

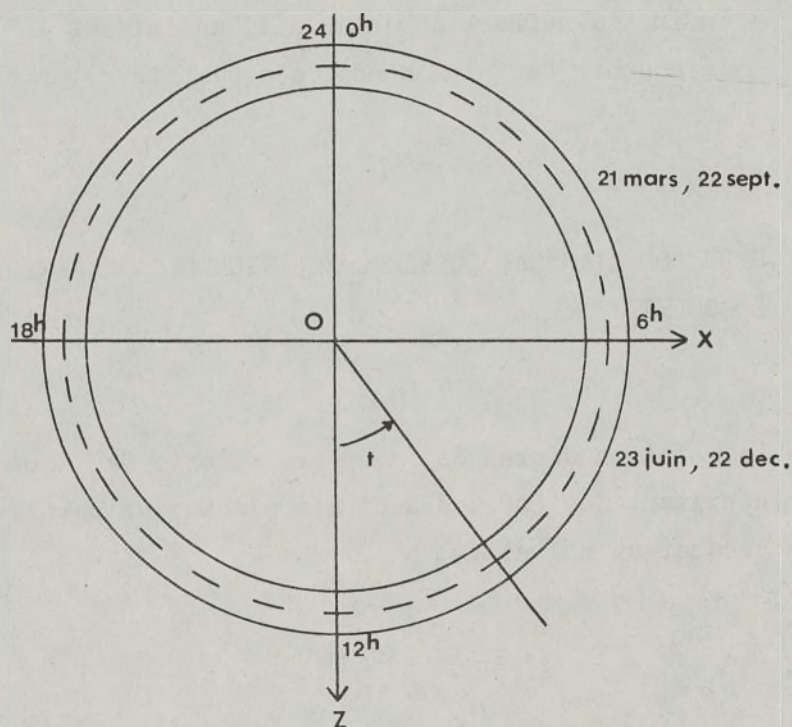
ETUDE DE L'ANNEAU SOLAIRE. EQUATION DES TRAJECTOIRES APPARENTES  
DU SOLEIL

La rotation diurne de la sphère céleste fait que tous "les soleils" décrivent des cercles dont les plans sont parallèles au plan de l'équateur céleste.



Chaque cercle de rayon  $R = \cos \delta$ , significatif d'une date ( $\alpha, \delta$ ) est situé dans un plan  $P(\delta)$  distant de  $d = \sin \delta$  par rapport au plan origine et représente une trajectoire apparente du soleil que l'astre met 24 h à parcourir quelque soit  $R$ .

En projetant sur le plan de l'équateur céleste, on obtient le graphique suivant :



Les équations paramétriques des cercles, représentant les trajectoires apparentes du soleil, sont donc définies par :

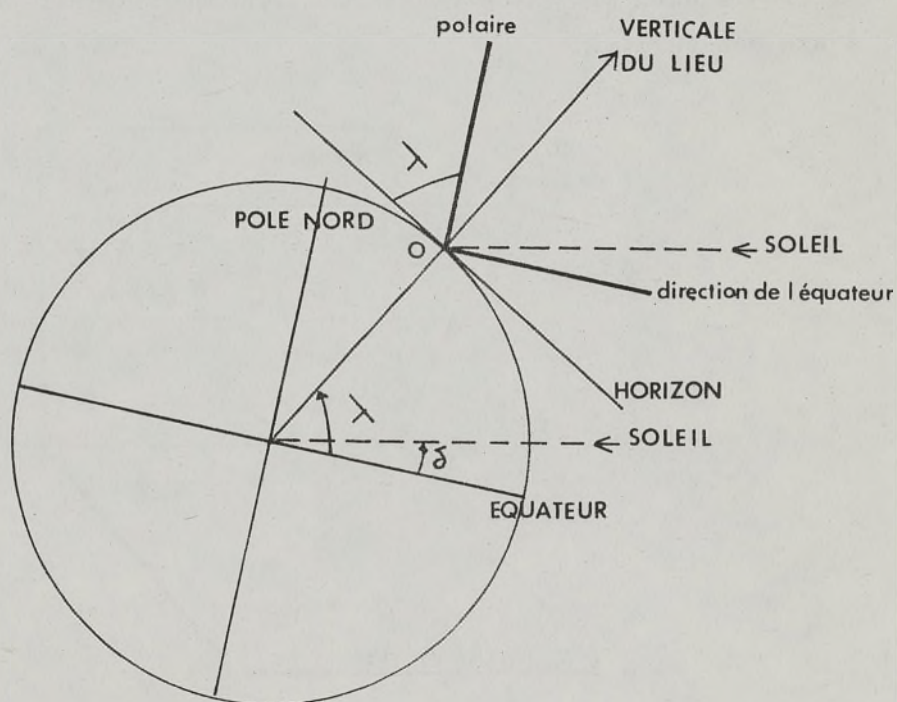
$$x = \cos \delta \sin t$$

$$z = \cos \delta \cos t$$

$$y = \sin \delta \quad \text{où } t \text{ représente un angle horaire.}$$

POSITION DE L'OBSERVATEUR SUR LA SURFACE TERRESTRE : INTERVENTION DE LA LATITUDE :

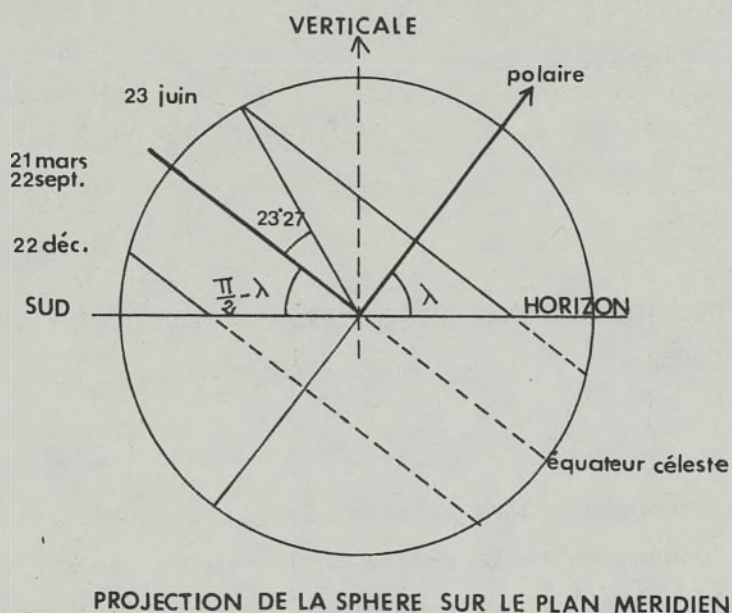
La figure ci-après montre aisément la relation qui existe, à une latitude donnée, entre le repère de la sphère céleste (polaire, plan de l'équateur) et le repère de l'observateur terrestre (verticale du lieu, plan de l'horizon).



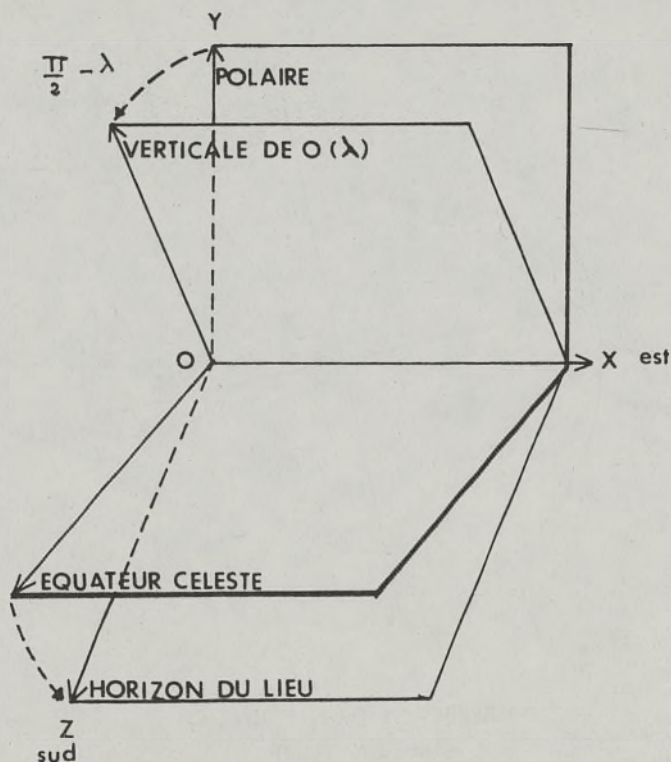
REPERAGE D'UN POINT O  
SUR LA TERRE



Les trajectoires apparentes du soleil pour un observateur situé à une latitude  $\lambda$  peuvent se représenter comme l'indique le schéma suivant :



Donc, pour une latitude donnée  $\lambda$ , les trajectoires apparentes du soleil s'obtiennent par une rotation de  $\frac{\pi}{2} - \lambda$  autour de l'axe est-ouest.



L'étude solaire, en isolant les éléments invariants de l'anneau solaire, et en établissant la relation entre le repère solaire et le repère latitude, nous a permis de clarifier et d'aborder plus simplement les problèmes d'automatisation. Nous sommes parvenus à une connaissance globale de la surface solaire, qui, par sa continuité, nous libère du calcul point par point et rend systématique la prise en compte de la position de l'observateur (latitude). Il nous reste alors à appliquer le principe de résolution retenu, à savoir la représentation des images solaires et des objets (masque) sur un même tableau de projection, pour un point de vue donné, afin de connaître son état d'ensoleillement.

DETERMINATION DU MASQUE PROVOQUE PAR L'ENVIRONNEMENT

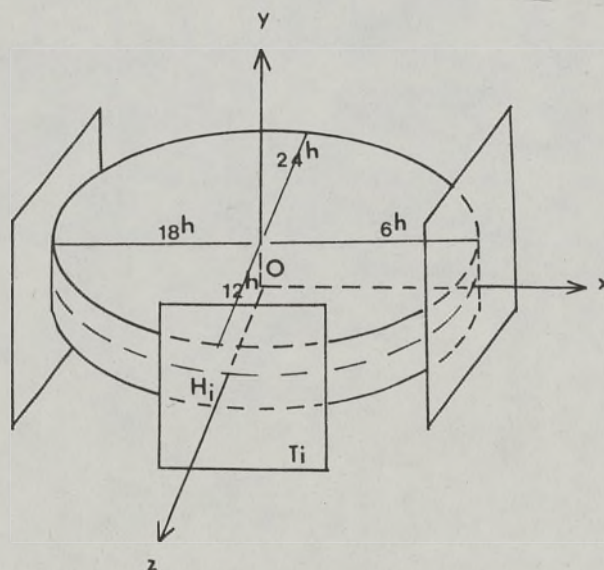
CHOIX D'UN TABLEAU DE PROJECTION

Nous considérons comme fixe le repère de la sphère céleste (polaire, équateur céleste). Les éléments définis dans le repère latitude seront resitués par transformation dans le repère référence.

Il s'ensuit que, quelque soit la latitude, la visualisation de l'anneau solaire à partir de 0, sur un tableau de projection donné, sera la même.

Nous choisissons comme famille de tableaux de projection possibles, l'ensemble des plans perpendiculaires au plan des courbes solaires ( $T_i$ )

PROJECTION PERSPECTIVE DES CERCLES SUR  $T_i$



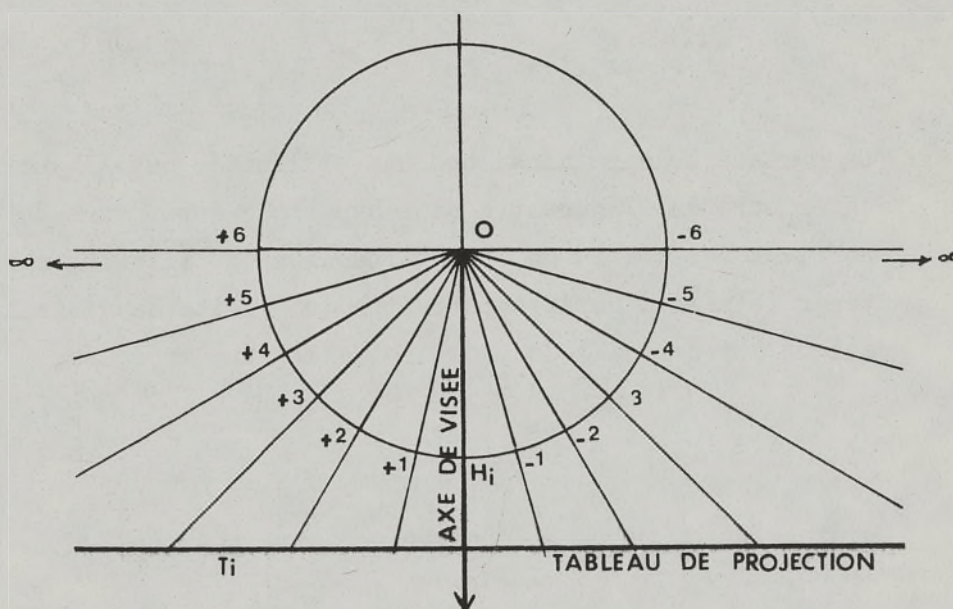
## PRINCIPE

Soit un tableau de projection  $T_i$  perpendiculaire à une droite horaire  $H_i$ .

Les projections perspectives des cercles à partir du point  $O$  sur  $T_i$  seront des hyperboles dont la droite du 21 mars est un cas limite.

Toutes les droites horaires  $H_i$  seront encore des droites mais perpendiculaires à la droite de la trajectoire du 21 mars et parallèles entre elles.

Sur un tableau  $T_i$ , ne pourront être représentées que des demi-trajectoires s'étendant de  $H_i + 6 h$  à  $H_i - 6 h$  (limites non comprises puisque projetées à l'infini).



## EQUATIONS DES COURBES OBTENUES

Le repère plan du tableau est défini par :

- l'axe horizontal : la droite des équinoxes, projetée sur  $T_i$ , soit  $x$
- l'axe vertical : projection de l'axe horaire de symétrie choisi  $H_i$  sur  $T_i$ , soit  $y$ .

Munies d'un repère orthonormé, les équations paramétriques des hyperboles sont de la forme,

(L'axe de visée étant la droite horaire  $H_i$ , passant par 0)

$$x = \frac{\cos(\delta) \sin(t)}{\cos(\delta) \cos(t)} = \operatorname{tg}(t)$$

$$y = \frac{\sin(\delta)}{\cos(\delta) \cos t} = \operatorname{tg} \delta * \frac{1}{\cos(t)}$$

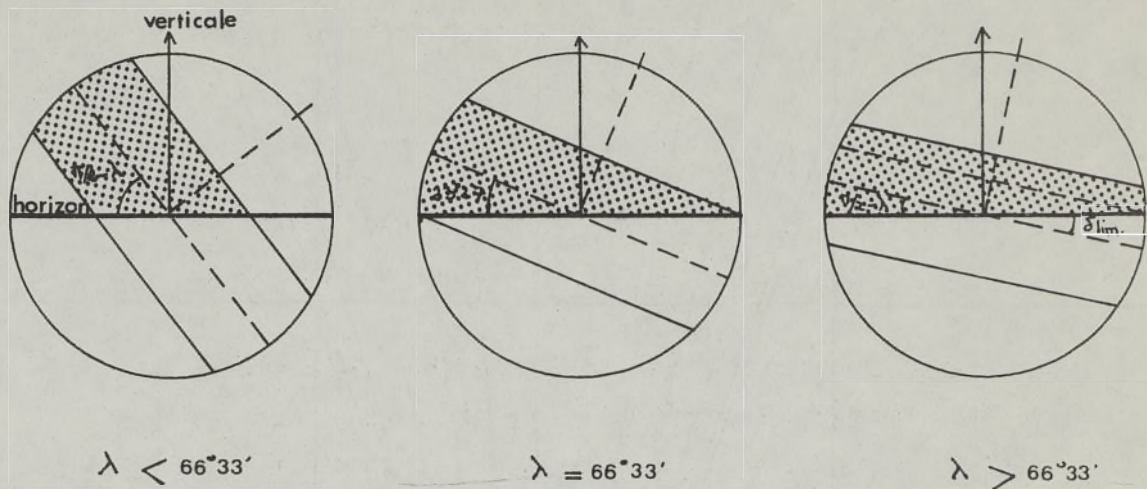
Les droites horaires des verticales d'équation

$$x = \operatorname{tg}(t)$$

La surface solaire ainsi obtenue et limitée par l'hyperbole inférieure du 21 décembre et l'hyperbole supérieure du 23 juin, ne tient pas compte de la latitude. On ne fait donc pas intervenir le plan d'horizon terrestre qui limite la visibilité du soleil aux périodes de présence de l'astre au dessus de l'horizon.

#### LIMITATION DE L'ANNEAU SOLAIRE POUR UNE LATITUDE $\lambda$

Le plan de l'horizon passe par 0 et fait un angle de  $\frac{\pi}{2} - \lambda$  avec le plan de l'équateur céleste. En projection sur un tableau  $T_i$ , on obtient une droite : la ligne d'horizon terrestre, dont l'intersection avec les courbes journalières ( $\delta$ ) indique les heures de lever et de coucher de soleil.



Si en projection, pour une date  $\delta$ , il n'y a pas d'intersection entre la droite lever-coucher et l'hyperbole, 2 solutions sont possibles :

- le lever-coucher existe mais il n'est pas représenté sur le tableau  $T_i$  choisi, qui ne contient que les heures  $H_i - 6$  jusqu'à  $H_i + 6$
- Il n'y a effectivement ni lever, ni coucher. Dans ce cas, la latitude  $|\lambda| \geq 66^\circ 33'$ . On détermine la date limite ( $\delta$ ) à partir de laquelle il n'y a pas de lever :

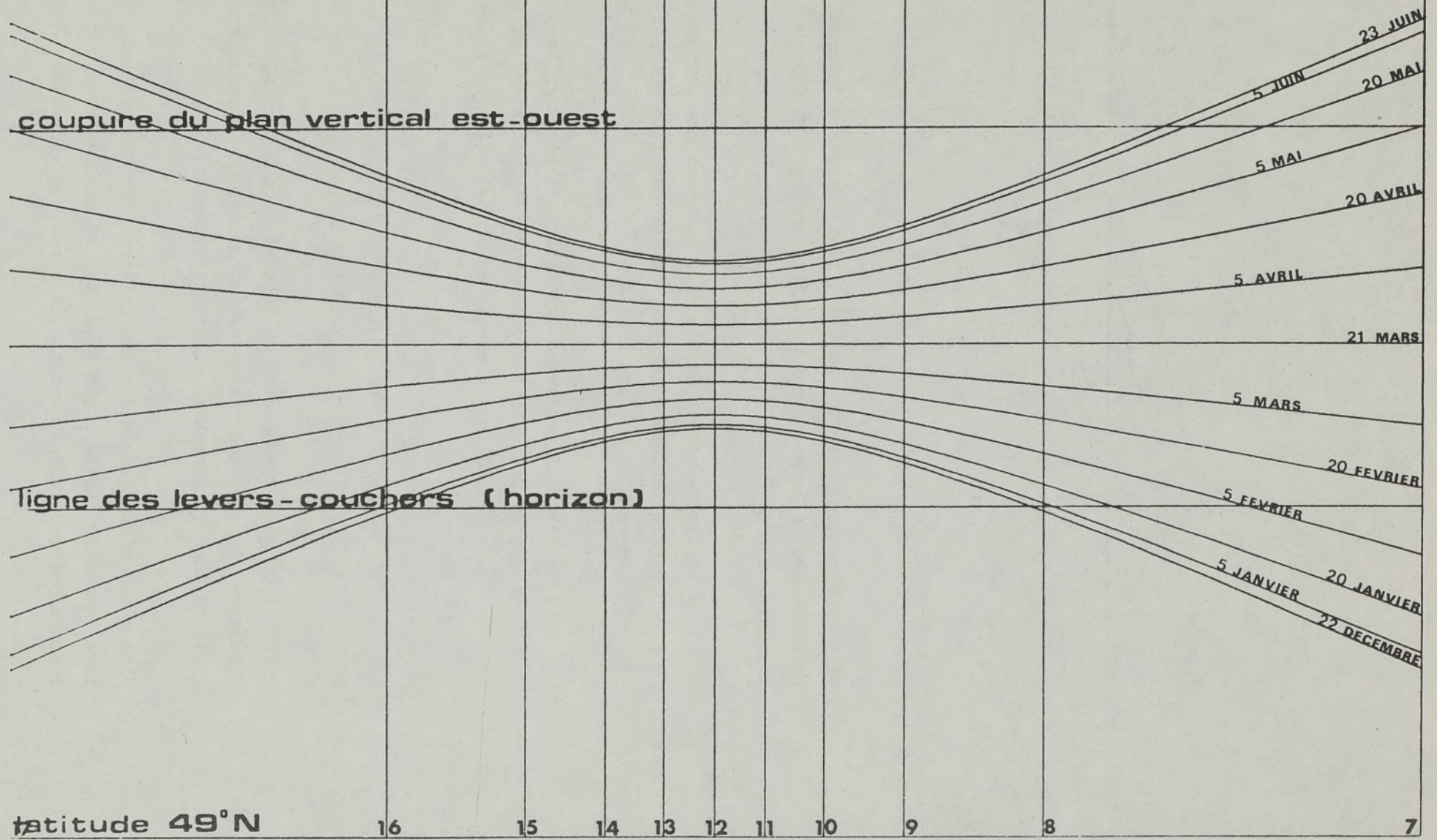
$$\delta \text{ lim tel que } \operatorname{tg} \lambda = \operatorname{cotg} \delta$$

$$\text{donc, } \delta \geq \frac{\pi}{2} - |\lambda|$$

NOTA : On peut représenter de la même façon, sur la surface solaire, le vertical "est-ouest" qui indique le passage du soleil dans la direction cardinale est-ouest.

Nous avons visualisé la surface solaire pour une latitude de  $49^\circ$ , avec indication de la ligne d'horizon et du plan vertical est-ouest (tableau correspondant à un axe de visée confondu avec l'axe des 12 h).

tableau T1



### CALCUL DU MASQUE POUR UN POINT DE VUE DONNE

Les coordonnées des points constituant les divers éléments de l'environnement sont entrées dans le repère de l'observateur OXYZ, l'axe OY représentant la verticale du lieu et le plan ZOZ, l'horizon de l'observateur. Les points d'observation pour lesquels on veut connaître le masque sont aussi calculés dans ce même système d'axes.

Les nouvelles coordonnées  $(X_N, Y_N, Z_N)$  d'un point  $(X, Y, Z)$  dans le repère de l'anneau solaire s'obtiennent en appliquant au point la rotation R de  $(\frac{\pi}{2} - \lambda)$  autour de X ( $\lambda$ , étant la latitude du lieu d'observation) ; ceci se traduit par :

$$\begin{vmatrix} X_N \\ Y_N \\ Z_N \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\frac{\pi}{2} - \lambda) + \sin(\frac{\pi}{2} - \lambda) \\ 0 & \sin(\frac{\pi}{2} - \lambda) & \cos(\frac{\pi}{2} - \lambda) \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix}$$

Le point d'observation subit lui aussi la rotation de  $(\frac{\pi}{2} - \lambda)$  autour de X. Devenant le point de visée, on doit l'amener ensuite à se confondre avec le point fixe de visée O du repère de l'anneau solaire. Ainsi, quelque soit l'observateur, la vision de l'anneau solaire reste identique. Ceci revient en fait à appliquer à chacune des coordonnées définissant les objets, une translation T de  $(-XV, YV, ZV)$  avec  $(XV, YV, ZV)$  coordonnées du point de vue après rotation.

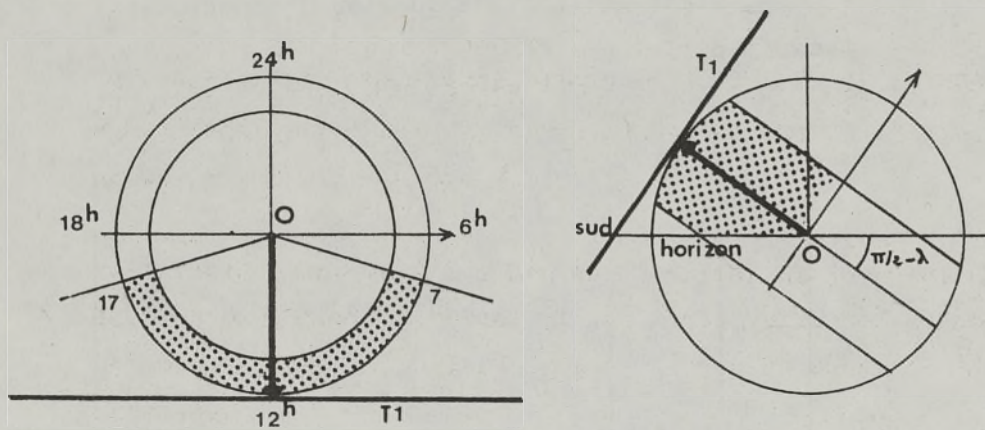
Donc, à tout point du repère latitude, on doit appliquer la transformation R + T.



La détermination du masque s'obtient par la mise en perspective des objets "transformés" sur un tableau de projection  $T_1$ . On limitera l'image perspective au contour apparent de cette image sur le tableau puisqu'il détermine les limites des périodes d'ombre et de soleil du point de vue.

### SELECTION DE 3 TABLEAUX DE PROJECTION : MIDI, MATIN, SOIR

-  $T_1$  : axe de symétrie horaire, 12 h



Pour des raisons pratiques, l'axe 6 h, 18 h étant rejeté à l'infini en projection, on ne retiendra que les trajectoires horaires comprises entre 7 h et 17 h.

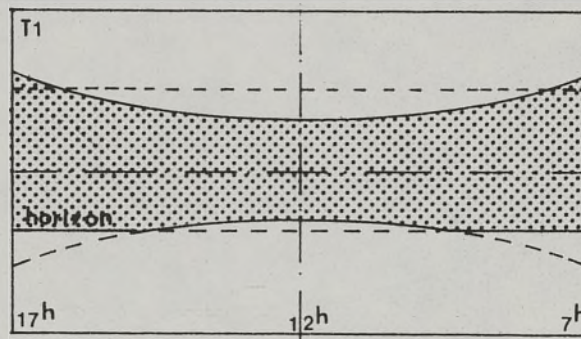
Ce tableau recouvrant les heures du milieu de journée, est le plus caractéristique car il ne nécessite aucune transformation supplémentaire des coordonnées par le choix de l'axe de visée.

La ligne d'horizon, projection de plan horizon, sera une droite parallèle à la droite des équinoxes et d'équation

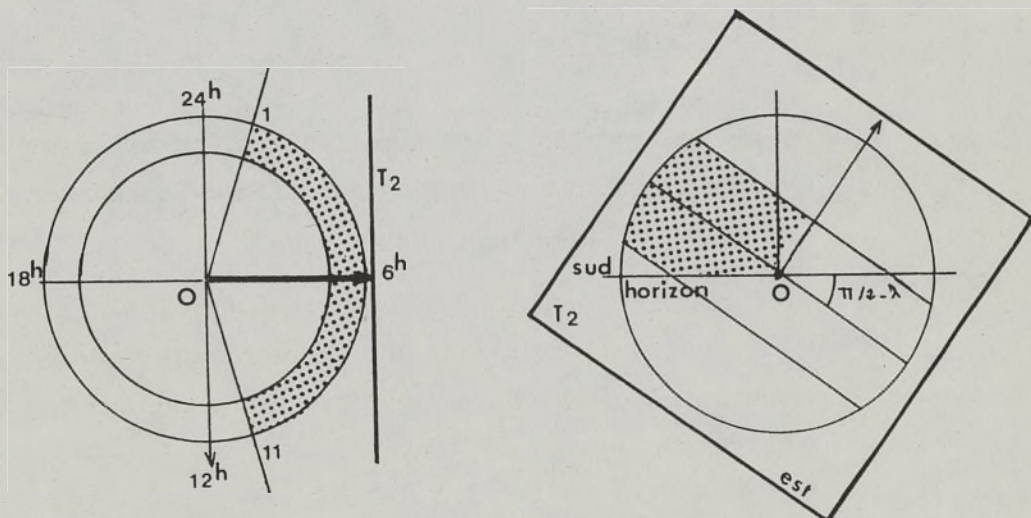
$$y = -\frac{1}{\operatorname{tg} \lambda}$$

Le plan vertical est-ouest, plan perpendiculaire au plan horizontal aura pour équation en projection

$$y = \operatorname{tg} \lambda$$



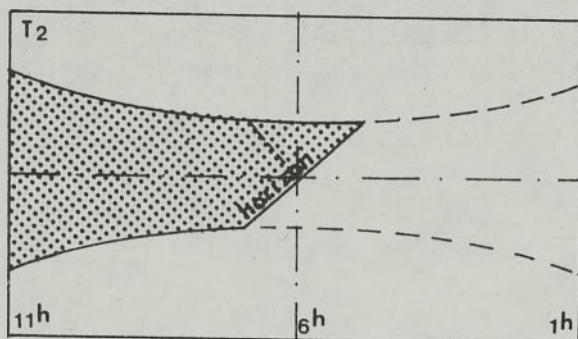
- T2 : axe de symétrie horaire, 6 h



Ce tableau permet de représenter les heures du matin. L'axe de visée est confondu avec la direction du lever du soleil à l'équinoxe (6 h du matin), donc avec un axe du repère observateur, quelque soit la latitude du lieu.

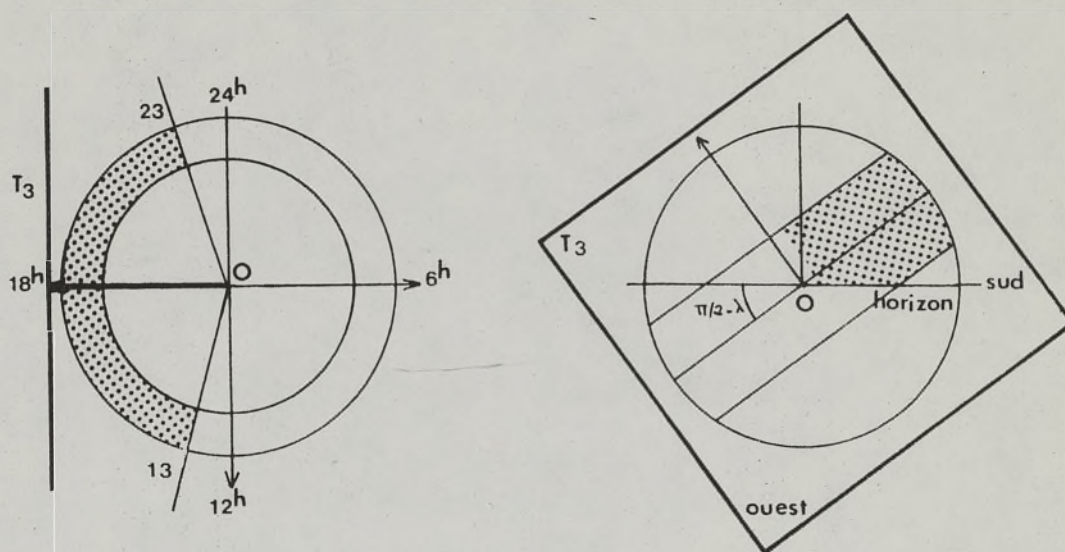
On remarque alors que les hyperboles, projection de trajectoires solaires, subissent une rotation de  $\frac{\pi}{2} - \lambda$  par rapport au repère observateur, dû à l'axe de visée fixe pour n'importe quelle latitude. On obtiendra donc, pour la ligne des levés, une droite passant par 0 dont la pente variera selon la latitude :

$$y = \frac{x}{\operatorname{tg} \lambda}$$

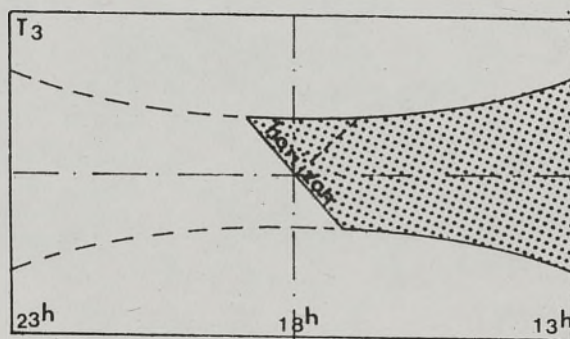


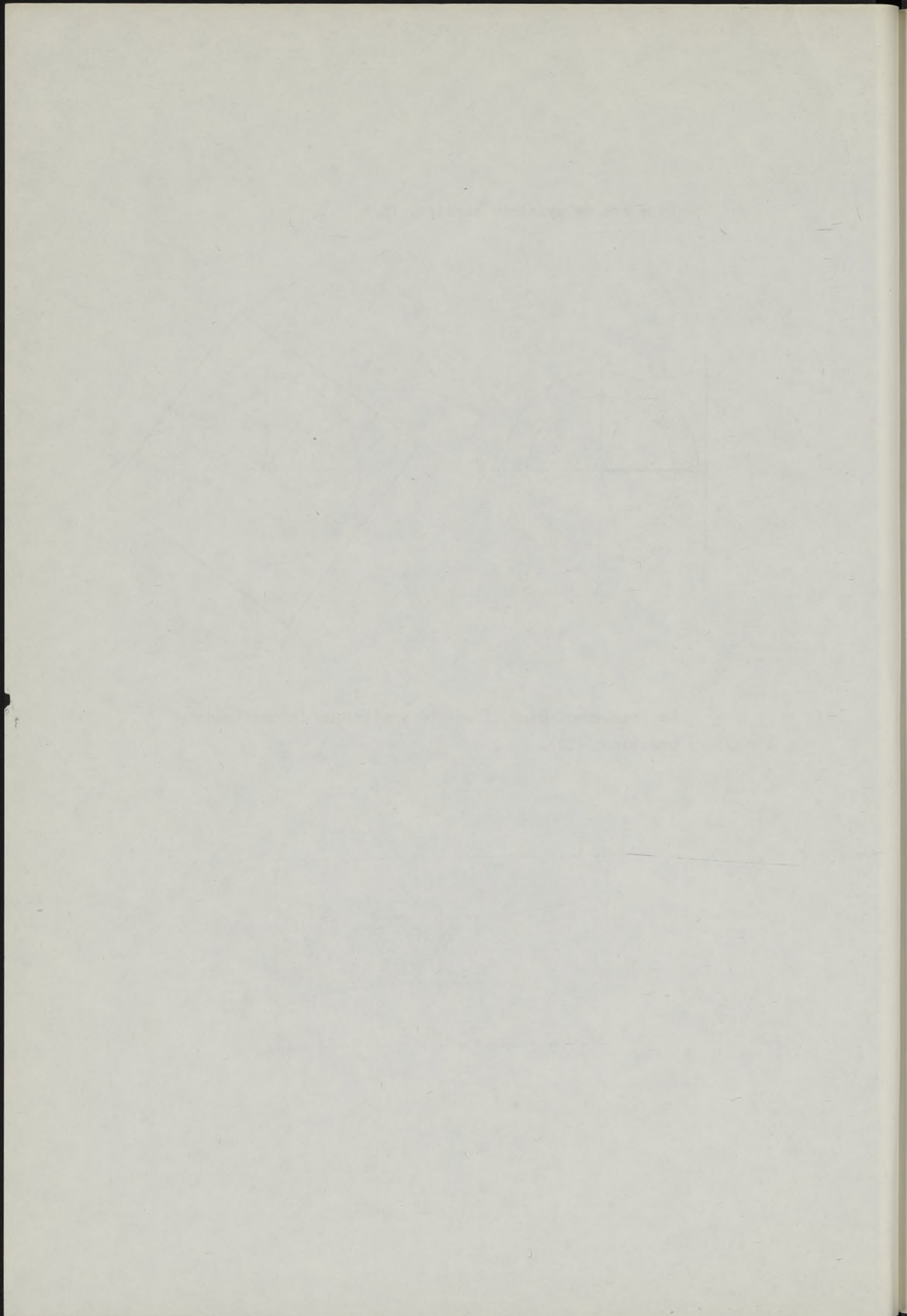
Pour des questions d'automatisation, on applique une nouvelle transformation aux coordonnées afin de conserver Oz, l'axe de visée unique (rotation de  $-90^\circ$ )

- T3 : axe de symétrie horaire, 18 h



Le traitement pour T3 est le symétrique du traitement précédent (T2).





IV - MODES D'OBTENTION DES BILANS D'ENSOLEILLEMENT

Le "bilan théorique d'ensoleillement exprime les fréquences d'ensoleillement d'un point, au cours d'une période traduisant ainsi l'influence directe de l'environnement sur celui-ci.

Ce bilan peut être obtenu sous forme graphique ou numérique. La lecture graphique s'effectue à partir de la superposition des dessins, des projections des courbes solaires et des projections du (ou des) masque (s). C'est la transposition la plus directe des éléments calculés et saisis dans les phases de traitement.

Les résultats numériques sont calculés sous la même forme "neutre" mais l'utilisateur choisit, en fonction du problème qu'il doit traiter, des sorties partielles liées à la durée envisagée et au degré de précision souhaité. Les modalités de ce choix ont fait l'objet d'une procédure automatisée d'appel sélectif sur les résultats bruts.

Il faut noter que cette opération n'implique pas, au niveau du traitement des a priori, d'interprétation et d'organisation hiérarchique des différents paramètres. Celles-ci se font à l'initiative de l'utilisateur par croisement et mises en relations ultérieures.

LECTURE GRAPHIQUE DES "BILANS THEORIQUES D'ENSOLEILLEMENT"

Pour les obtenir, on a le choix entre les 3 tableaux de projection dont les axes de symétrie sont 6 h, 12 h, 18 h et recouvrent chacun 10 h de la journée. Sur chaque tableau, on détermine la fenêtre d'ensoleillement théorique du point de l'espace étudié, qui correspond à une visualisation de l'anneau solaire, limitée à la ligne des levers-couchers, constituant ainsi la surface solaire maxima.

Les enveloppes extérieures des images perspectives des bâtiments et du site inscrits dans la fenêtre (appelées masques) recouvrent des ensembles de points de coordonnées ( $\delta_i$ ,  $H_i$ ) simulant les positions théoriques du soleil. Autant de dates ( $\delta$ ) et heures ( $H$ ) où le point étudié ne recevra pas le soleil.<sup>(1)</sup>

On estimera alors les périodes d'ombre et soleil en superposant la surface solaire commune à tous les tableaux et indépendante de la latitude, à la surface des masques appartenant à la fenêtre.

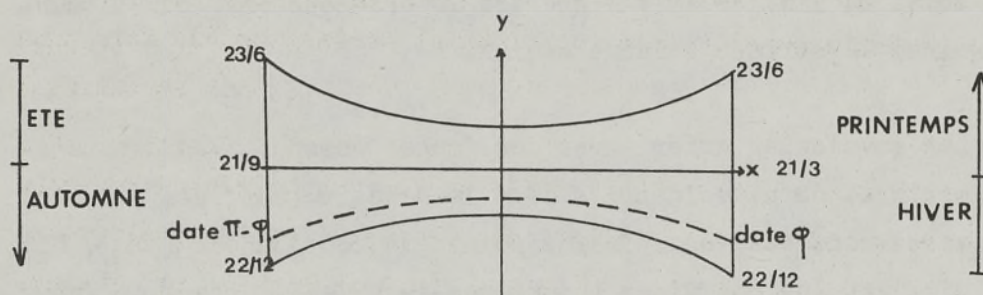
Si ce type de sortie visualise bien la démarche de l'étude d'ensoleillement, la disposition graphique de l'information et la taille de l'image produite limitent la lisibilité des résultats et restreignent le type d'information qui peut en être extrait. En effet, la distorsion produite par le tracé hyperbolique des courbes solaires et la distribution non régulière des droites horaires provoquent un tassement de l'information au centre de l'image et une plus grande répartition aux extrémités. Ces caractéristiques tendent à majorer l'importance de l'ombre aux heures situées aux extrémités du graphique.

(1)  $\delta$  : déclinaison pour une date de l'année (mouvement de translation de la terre)

H : heure de la journée (mouvement de rotation diurne de la terre).



Par ailleurs, la sortie graphique ne représente qu'une demi-année, en raison de la symétrie des courbes solaires par rapport aux solstices ; le masque obtenu pour un point à la date  $\varphi$  ( ascension droite) serait le même à la date  $\pi - \varphi$ . La lecture devra donc être "dédoublée" sur certaines portions de la surface solaire pour des périodes de l'année contenant l'un ou/et l'autre des 2 solstices.



Afin de ne pas aggraver la difficulté de lecture des résultats, on peut sélectionner les dates et les heures ou intervalles de temps à inscrire sur la surface solaire, permettant une meilleure appréciation des limites du masque et des périodes d'ombre, en fonction du temps.

Dépasser le stade du repérage des périodes d'ombre aboutit à une interprétation fastidieuse et imprécise de la sortie graphique. Les sorties numériques vont, en quelque sorte, englober cette "interprétation" en permettant une lecture directe plus fine et explicite du bilan d'ensoleillement théorique.

## INTERROGATIONS SELECTIVES ET RESULTATS NUMERIQUES

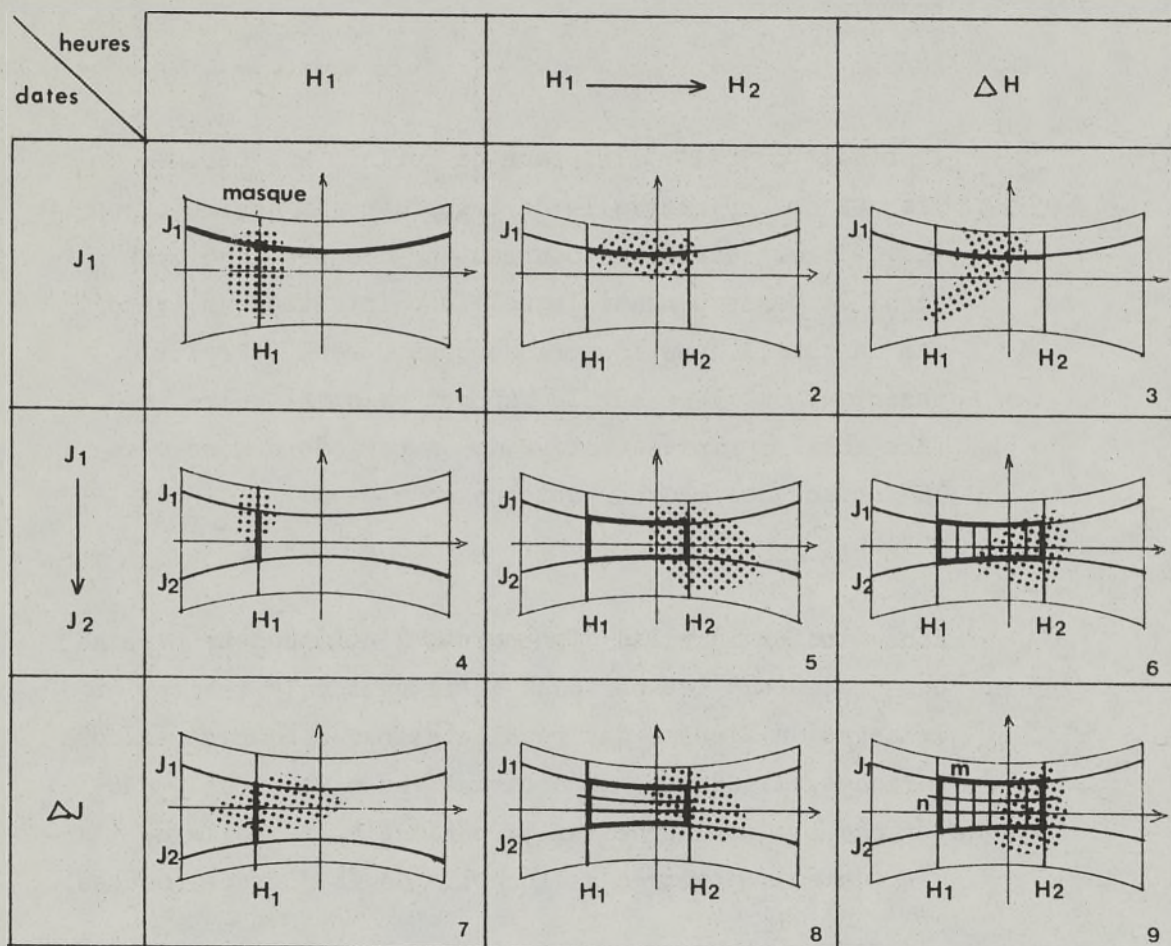
### PRINCIPE

Il s'agit pour l'utilisateur de définir une période de l'année et un intervalle de temps dans la journée, pour lesquels est établi un pourcentage d'ombre, indiquant ainsi le temps pendant lequel le point étudié ne reçoit pas le soleil dans la période considérée. Le calcul numérique est basé sur le rapport existant entre la surface solaire représentative de la période demandée et la surface des masques obtenue pour un point d'observation.

Pour étudier le bilan d'un point, l'utilisateur précise par "requêtes" les périodes qu'il veut voir traiter et le degré de finesse des résultats, par découpage en sous périodes. Il dispose de 6 paramètres pour choisir une période : 3 pour préciser la période à l'échelle de l'année (dates), 3 autres à l'échelle de la journée (heures).

### LES REQUETES

Soit  $J_1$  et  $J_2$  les dates extrêmes définissant la période et éventuellement  $\Delta J$  l'intervalle de jours significatif des sous-périodes, de même  $H_1$  et  $H_2$  les heures limites dans la journée et  $\Delta H$  l'intervalle en minutes. On définit ainsi 9 types de requêtes possibles obtenus par le croisement des 2 niveaux de paramètres. Pour l'ensemble des requêtes sur un point, il n'y a qu'un seul traitement effectué, mais autant de résultats numériques.

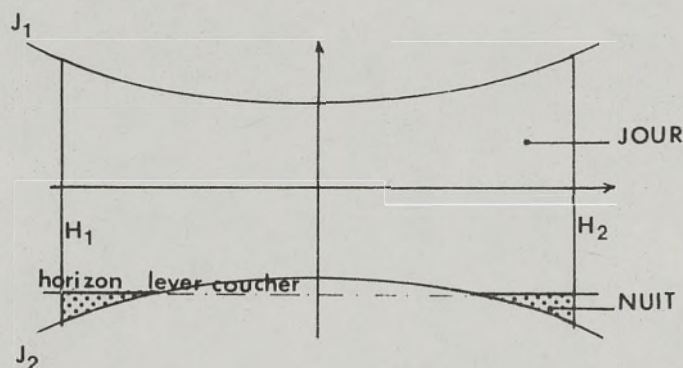


En fait, toutes les requêtes sont des cas particuliers de la requête (9) :  $J_1, J_2, \Delta J, H_1, H_2, \Delta H$ . Cette requête partitionne l'image de la surface solaire en un certain nombre de zones (significatives des périodes et sous-périodes) et le type de calcul effectué pour chaque zone est identique à celui produit par la requête (5) :  $J_1, J_2, H_1, H_2$ .

### CALCUL DES POURCENTAGES ET SORTIES DE TABLEAUX

Les pourcentages d'ombre sont calculés pour l'ensemble des périodes élémentaires et stockés dans un tableau à  $n$  lignes (nombre d'intervalles  $\Delta J$  entre les dates limites  $J_1$  et  $J_2$ ) et  $m$  colonnes (nombre d'intervalles entre les heures limites  $H_1$  et  $H_2$ ). Les cumuls des pourcentages ligne évaluent l'ombre sur une sous-période  $\Delta J$  de jours entre les 2 heures limites ; les cumuls colonne, les pourcentages d'ombre par intervalle d'heure  $\Delta H$  pour l'ensemble de la période.

Le calcul du pourcentage sur une période est limité au temps d'apparition du soleil au-dessus de l'horizon astronomique de la latitude du lieu.



Les résultats sont imprimés sous forme de tableaux dont chaque case indique le pourcentage d'ombre d'une période  $\Delta J$ ,  $\Delta H$ . La valeur "999" indique que pendant la période considérée, le soleil est toujours au-dessous de l'horizon ; le calcul d'ensoleillement est alors inutile.

Intervalles Periodes	De H1 à H1 + $\Delta H$	De H1 + $\Delta H$ à H1 + 2 $\Delta H$	.....	De H1+(n-1) $\Delta H$ à H2	Cumul de H1 à H2
de J1 au J1 + $\Delta J$	%	%		%	%
⋮					
de J1+(n-1) $\Delta J$ au J2	%	%		%	%
Cumul de J1 à J2	%	%		%	

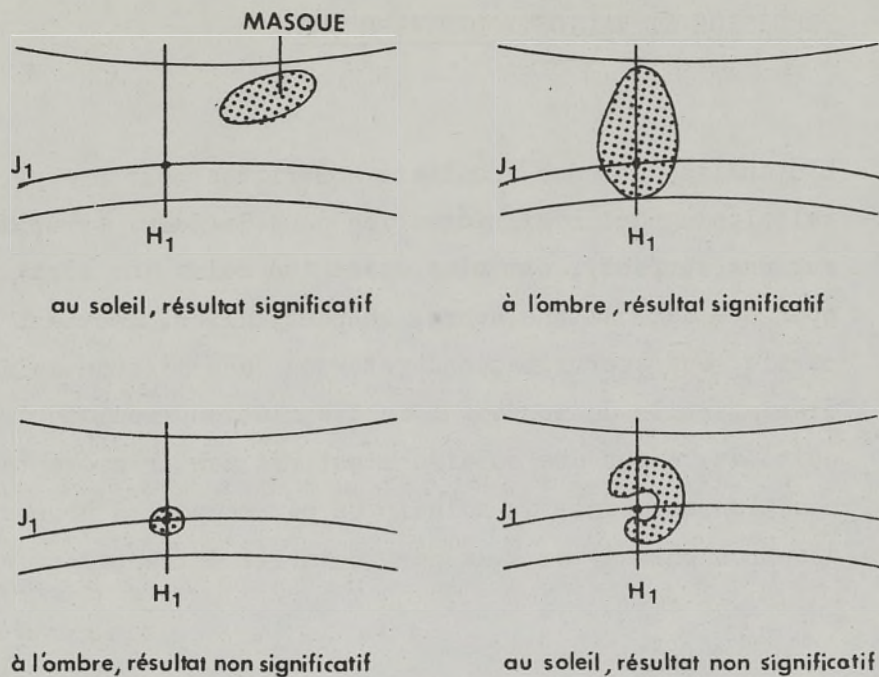
### PRECISION ET VALIDITE DES REPONSES

L'établissement des résultats numériques pour une période, calculés à partir d'intégration dans le temps (graphiquement, sur une surface), est plus exact que celui qui serait obtenu pour une date et une heure, en particulier. Ceci est dû, en partie, aux approximations retenues dans l'étude solaire (la discontinuité du mouvement de translation implique qu'un point de la surface solaire n'est vraiment représentatif d'une position apparente du soleil que par rapport à un ensemble d'autres points) et à la particularité de certaines requêtes.

LA REQUETE 1 : BILAN POUR UNE DATE ET UNE HEURE DONNEES  
(J1, H1)

A ce stade, deux approches possibles :

- La requête s'applique à un point qui n'a pas de lien de continuité avec les autres points de l'étude, auquel cas la réponse n'est guère significative et le résultat en pourcentage de 0 ou 100 % peu exploitable (au soleil ou à l'ombre). En effet, le point examiné (x,y) de la surface pour (J1, H1) ne correspond pas exactement à la date choisie ; et, le risque est grand d'appliquer de façon erronée, le résultat obtenu aux dates et heures avoisinantes.



- On applique la même requête ( $J_1$ ,  $H_1$ ) à un ensemble de points formant une zone considérée comme homogène. Alors on intègre, non plus sur la surface solaire (en fonction du temps), mais sur les résultats ponctuels de divers points de la zone (en fonction de l'espace). La requête devient alors significative puisqu'on établit le bilan d'une zone et non d'un point, en considérant la date et l'heure comme représentatives et significatives.

On pourrait ainsi obtenir, par réponse binaire (absence, présence du soleil) l'équivalent du tracé des ombres. Bien qu'inverse de notre démarche qui repose sur l'intégration dans le temps, le traitement peut s'adapter en réduisant la fenêtre d'ensoleillement et le champ d'investigation à un point.

LA REQUETE 2 : BILAN POUR UNE DATE, PENDANT UN INTERVALLE D'HEURES ( $J1, H1 \longrightarrow H2$ )

Le résultat numérique exprime le rapport de longueur entre la partie masquée et non masquée du segment "courbe" représentant la date, entre les 2 heures limites.

La date est à l'échelle de temps de la rotation diurne et nous avons fixé à 12 heures, l'heure de référence pour le calcul de la déclinaison d'une date. Donc, plus nous nous écartons de l'axe des 12 h, moins la valeur de la coordonnée (y) n'est représentative d'une position réelle du soleil. Néanmoins, l'erreur est négligeable et malgré l'approximation de la trajectoire pour  $J1$ , l'intégration est justifiée.

Il faut cependant noter que l'absence du contexte sur les périodes adjacentes (au niveau des jours) rend l'extrapolation douteuse.

LA REQUETE 4 : BILAN POUR UNE HEURE, PENDANT UNE PERIODE DE L'ANNEE ( $J1 \longrightarrow J2, H1$ )

Tous les points de la droite horaire verticale  $H1$  indiquent les hauteurs du soleil à cette heure aux différentes dates, recouvrant ainsi des positions journalières exactes du soleil, sauf, sans doute, pour les dates extrémités  $J1$  et  $J2$  (écart entre ascension droite réelle et calculée).

Le résultat est plus correct que celui de la requête 2, car il n'y a pas d'erreur sur l'image de l'heure  $H1$ , et il est plus facile d'étendre les résultats au niveau des heures adjacentes qu'à celui des jours.



LA REQUETE 5 : BILAN POUR UNE PERIODE DE L'ANNEE, PENDANT UN INTERVALLE D'HEURES ( $J_1 \rightarrow J_2$ ,  $H_1 \rightarrow H_2$ ).

Le bilan obtenu par cette requête est le plus significatif car l'intégration en fonction du temps se situe au niveau d'une surface et non plus d'un segment. Il illustre réellement notre méthode d'approche et évite les risques d'extrapolation hâtive des requêtes 1, 2, 4.

Les autres requêtes (3, 6, 7, 8, 9) ne modifient pas les requêtes de base que nous venons de voir, mais introduisent des partitions supplémentaires dans les périodes et intervalles considérés.

V - LE TRAITEMENT AUTOMATISE

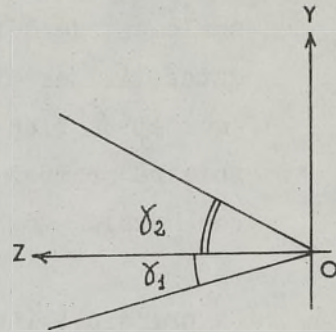
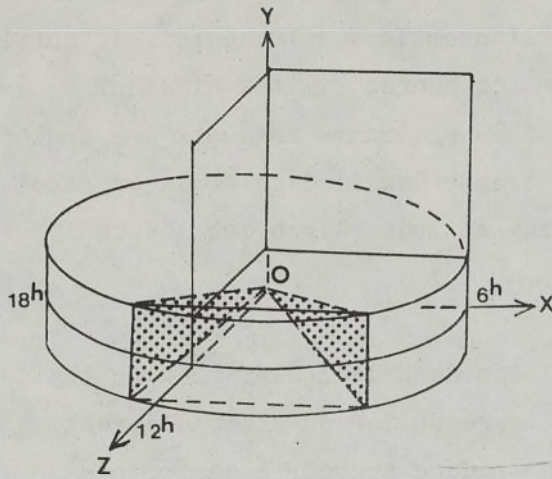
## PROCEDURE DE RESOLUTION

Nous avons cherché à résoudre deux problèmes majeurs :

- la définition du champ d'investigation, permettant de restreindre le traitement, en éliminant rapidement les objets ne masquant pas le soleil,
- la détermination du masque et l'organisation interne des informations pour une numérisation aisée du bilan d'ensoleillement d'un point.

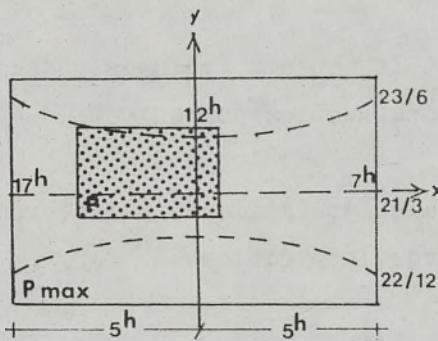
### CHAMP D'INVESTIGATION

La surface solaire, que nous pouvons visualiser indépendamment de la latitude sur les tableaux de projection perpendiculaires au plan des courbes solaires, représente l'ensemble des positions du soleil pendant 10 heures pour une période allant du 22 décembre (déclinaison minimum) au 23 juin (déclinaison maximum). Les courbes journalières sont symétriques par rapport à la courbe du 21 mars (déclinaison nulle) et à l'axe horaire de symétrie pour le tableau choisi (6 h, matin - 12 h, midi - 18 h, soir).

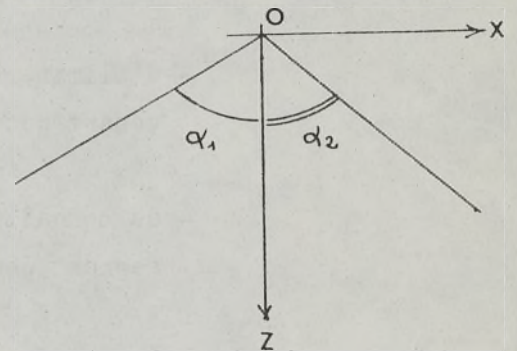


limite en jours

tableau de midi



limite en heures



La surface obtenue est donc limitée par un rectangle dont les extrêmes en  $x$  sont fonction des angles horaires de  $-$  et de  $+ 5 h \times 15^\circ$ , et les extrêmes en  $y$  fonction des déclinaisons minimum et maximum. Le rectangle est en fait l'image perspective d'une pyramide à base rectangulaire, centrée en  $O$  dont 2 faces sont perpendiculaires au plan  $xOz$  et l'ont un angle  $\alpha$  de  $- 75^\circ$  et  $+ 75^\circ$  par rapport au plan  $yOz$ , et les 2 autres perpendiculaires à  $yOz$  forment un angle  $\gamma$ , par rapport au plan  $xOz$ , fonction des déclinaisons limites et des heures limites. La pyramide ainsi définie est la pyramide maximum, quelque soit le tableau. Seuls les objets contenus totalement ou en partie dans cette pyramide peuvent faire écran au soleil.

Nous pouvons restreindre la pyramide maximum et définir une pyramide P, adaptée à une recherche qui ne recouvre pas toute l'année, ni l'ensemble des 10 heures. Il suffit seulement de déterminer les heures limites  $h_1$  et  $h_2$  et les dates limites  $j_1$  et  $j_2$  ; le programme réajuste les angles  $\alpha$  et  $\gamma$ , en tenant compte des limites de la surface solaire propres à chaque latitude (ligne des levers couchers).

Le principal intérêt réside dans l'accélération du traitement qui résulte de cette réduction du champ d'investigation, ceci d'autant plus qu'un codage approprié des points de l'espace par rapport à leur position dans ou autour de la pyramide, permet :

- d'éliminer rapidement les objets (volumes, faces) n'intervenant pas dans la construction du masque,
- de connaître et de calculer facilement l'intersection qu'un segment peut avoir avec la pyramide.

#### DETERMINATION DU MASQUE

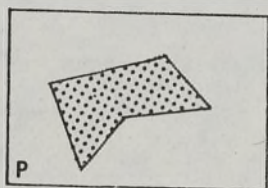
La base du traitement est la mise en perspective d'objets dont les positions ont été transformées pour tenir compte de la latitude et du tableau de projection choisi. Or, si nous voulons définir simplement le masque comme l'ensemble des zones obstruant la surface solaire et l'utiliser efficacement pour établir des bilans d'ensoleillement, il ne faut plus s'appuyer sur un tracé graphique par points et lignes, mais se ramener à un problème de "plein" et de "vide", c'est-à-dire trouver pour chaque objet, la tache qu'elle produit sur la surface solaire.

Travaillant principalement sur des volumes dont les faces planes constituent l'enveloppe des bâtiments, nous avons posé le problème du masque au niveau de la face (élément homogène quelque soit le volume) et traité le volume ou l'ensemble comme des superpositions de taches. Nous verrons ce que cela implique au niveau de la définition des données et de leur mise en forme.

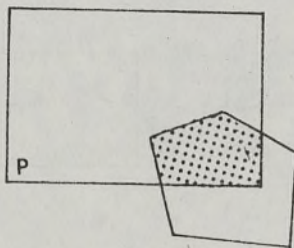
- Masque d'une face

Nous entendons par face, un polygone non croisé planaire, convexe ou concave, constitué par un ensemble de points reliés. Quelque soit l'image perspective de la face, nous devons obtenir une zone fermée formant le masque (partie pleine). Si nous resituons l'image de la face sur le tableau limité par la pyramide P, nous avons les 3 possibilités suivantes :

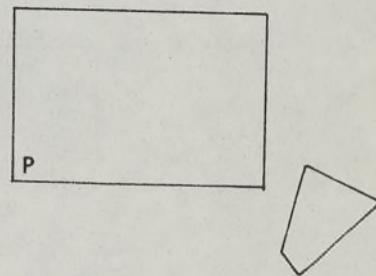
- l'image est totalement dans P (a),
- l'image est partiellement dans P (b),
- l'image est extérieure à P (c), auquel cas elle est ignorée.



(a)

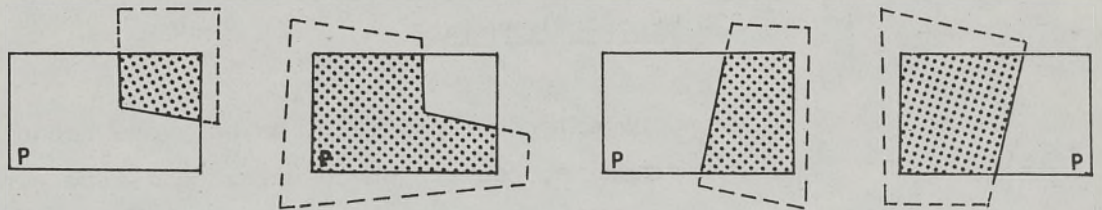


(b)



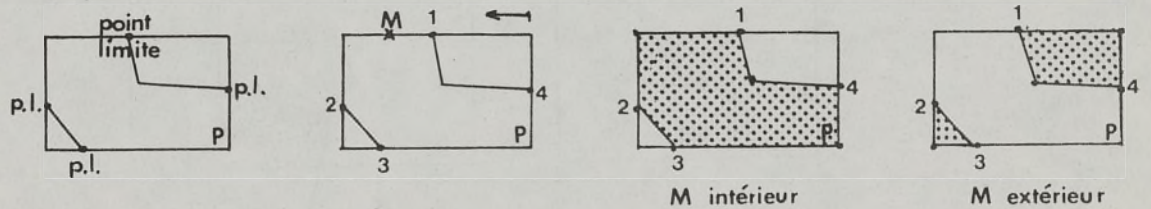
(c)

Dans le cas (b), il serait nécessaire, pour reconnaître la tache, d'identifier la partie de la face, extérieure à la pyramide (d) ; or, nous ne connaissons que l'image perspective des points de la face intérieure à P. Le masque sera entièrement déterminé quand nous saurons quelle(s) partie(s) du cadre appartient aussi au masque.



(d)

Nous avons fait reposer notre traitement sur les points particuliers ou "limites" qui ont été obtenus par l'intersection d'une arête de la face avec la pyramide indiquant qu'une partie de la face est extérieure à P. Il suffit de trouver comment ces points limites sont liés deux à deux, en sachant que le nombre de points limites est toujours pair, quelque soit l'image de la face (e).



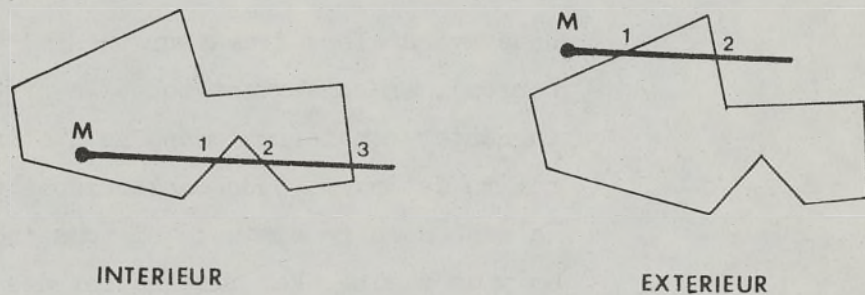
(e)

(f)

(g)

(h)

Nous ordonnons les points limites sur le cadre P à partir d'un point origine et sélectionnons un point M entre les 2 premiers (f). M est l'image perspective d'un point du plan de la face, dont nous pouvons retrouver les coordonnées dans l'espace. Nous pouvons savoir s'il est intérieur ou extérieur à la face en comptant le nombre d'intersections qu'aurait une 1/2 droite du plan de la face passant par le point, avec les segments de la face. (Nombre d'intersections impair ; le point est intérieur à la face ; pair, il est extérieur (i))



(i)

On relie les points limites par couple de 2 à partir du premier point limite si M est intérieur ; du deuxième, si M est extérieur (dans ce cas, il faudra relier le dernier point limite avec le premier), en tenant compte des points particuliers du cadre (g,h).

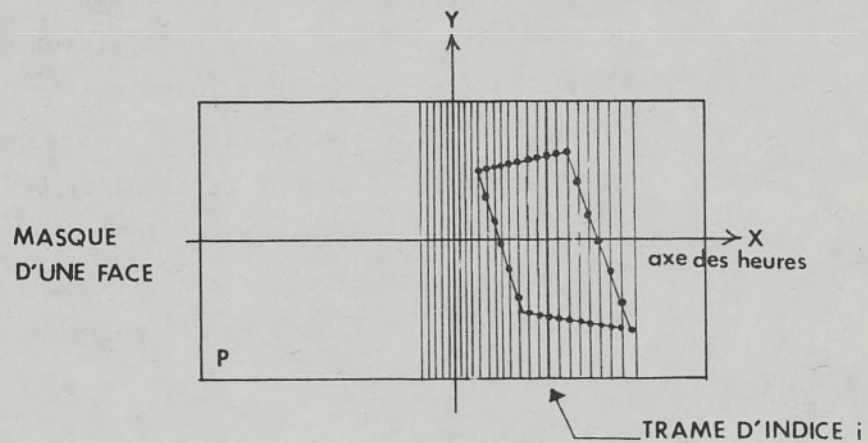
Nous connaissons ainsi le contour image de la face (masque) par le circuit de ses points images.



- Mode de storage du masque d'une face

Nous avons éliminé le mode de storage par remplissage d'une grille en raison de la quantité de mémoire requise, des imprécisions qui en résulteraient et la difficulté à numériser rapidement. Il nous semblait important, aussi, de pouvoir obtenir des informations sur le masque produit par un volume en particulier, en plus du masque résultant pour l'ensemble des objets. Nous avons donc optimisé le storage en réservant une zone mémoire unique pour construire le masque d'une face, d'un volume, et de l'ensemble, dans laquelle nous avons stocké le contour enveloppe du masque, limite entre le plein et le vide.

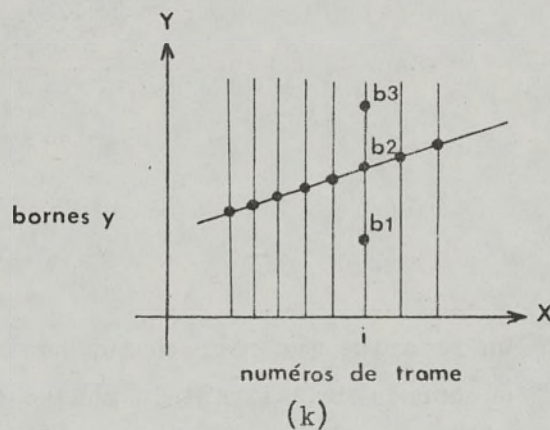
Nous avons alors tramé sur un seul axe (l'axe des heures), en conservant toute la précision voulue, sans augmenter considérablement le storage. Pour chaque numéro de trame, nous construisons un "pointeur" dans la zone mémoire masque, qui nous indique les limites en y du masque. Par intégration des divers indices de trame, nous reconstituons la face (j).



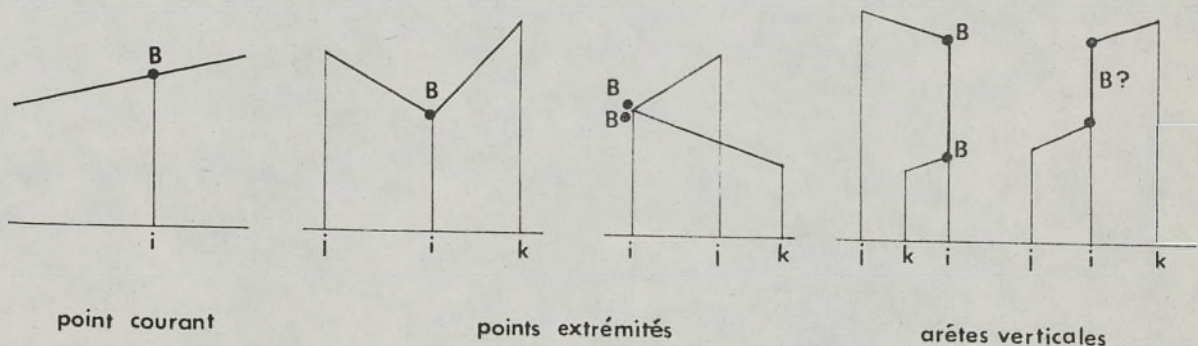
(j)

L'intervalle entre 2 numéros consécutifs de la trame représente un temps de 2 minutes ; la distribution de la trame sur l'axe  $x$  n'est donc pas régulière puisque chaque valeur en  $x$  de la trame est fonction de  $\text{tg}(t)$ , l'angle horaire.

Le masque est donc enregistré en mémoire en "tramant" chaque arête image de la face, trouvant ainsi la valeur de la borne  $y$  du contour, qui est placée dans l'ordre croissant des valeurs bornes déjà enregistrées pour chaque numéro de trame  $(j,k)$ .



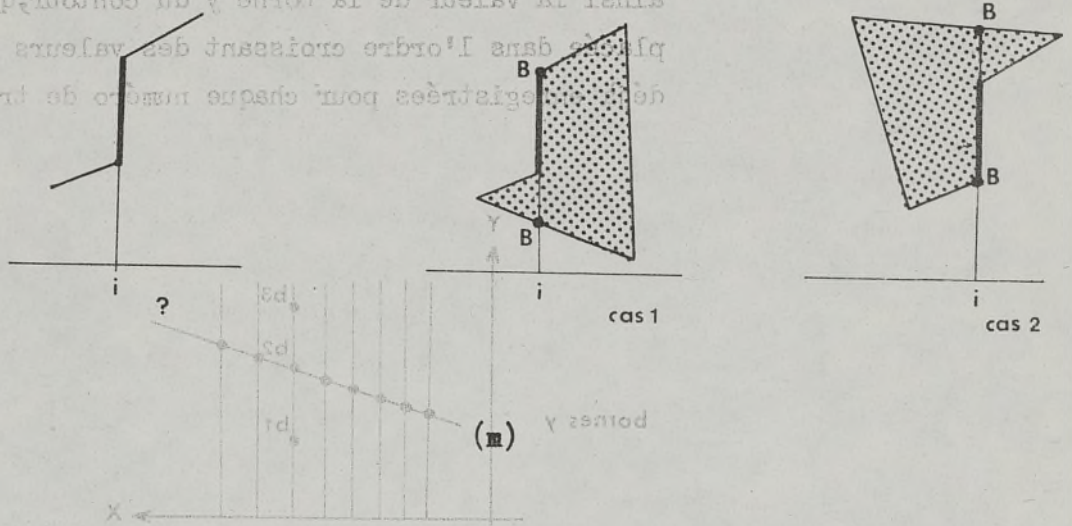
Les points images extrémités des arêtes sont ensuite placés en notant 2 fois la borne  $y$  si les 2 points précédent et suivant du point considéré, ont tous les deux un numéro de trame inférieur ou supérieur à celui du point (1).



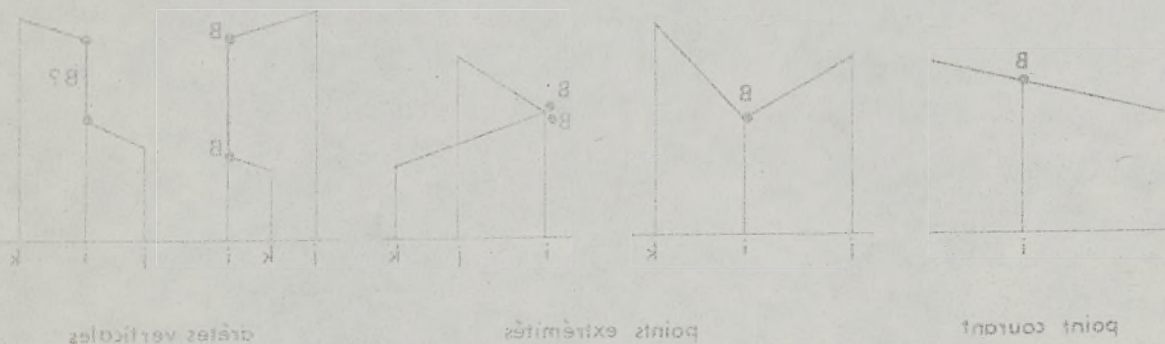
L'intervalle entre 2 numéros consécutifs de la trame représente un temps de 2 minutes ; la distribution de la trame sur l'axe x n'est donc pas régulière puisque chaque valeur en x de la trame est fonction de  $t(x)$ , l'angle horaire.

Les arêtes verticales ne sont enregistrées que par leurs points extrémités, dont les bornes ne sont placées qu'en dernier, car un point extrémité ne constitue pas toujours une borne limite du masque (m).

Le masque est donc enregistré en mémoire en "tranches" chaque arête image de la face, trouvant ainsi la valeur de la borne y du contour qui est placée dans l'ordre croissant des valeurs bornes enregistrées pour chaque numéro de trame (i, k).



On remarque que pour chaque numéro de trame, le nombre de bornes constituant le masque est variable, mais il est toujours pair (nul à la limite). Les bornes sont chaînées entre elles dans l'ordre croissant ; prises deux à deux, elles marquent les limites du masque (partie pleine). Le chaînage des bornes permet ainsi une superposition aisée avec le masque résultant du volume ou de l'ensemble et assure le dynamisme de la structure de storage.



## LA SAISIE DES DONNEES

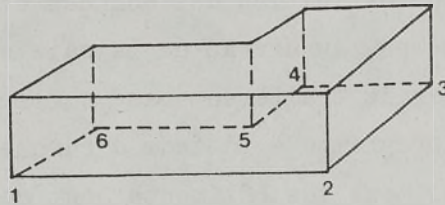
### LES VOLUMES

A ce stade de l'étude, notre objectif n'était pas axé sur des modes de définition des données et nous avons cherché à nous libérer, au niveau de la saisie, des contraintes imposées par le traitement basé sur les faces. Ayant appliqué le programme à l'étude d'ensoleillement du Château de Rezé, où tous les bâtiments sont des volumes prismatiques à bases polygonales et horizontales dont les génératrices sont verticales, nous avons volontairement limité les informations à fournir en entrée (coordonnées planaires des points du polygone de base, niveau d'implantation de la base et hauteur de la génératrice). Pour le calcul du masque de chaque volume, le programme s'occupe de retrouver et de générer les faces. Ainsi, nous ne conservons en mémoire que les coordonnées des points constituant chaque volume.

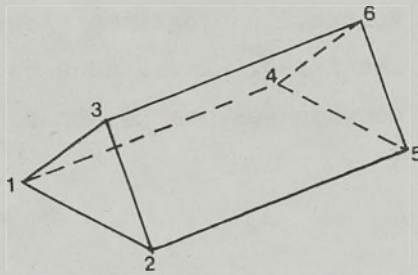
Dans la majorité des cas, la prise en compte de prismes non droits par notre système de rentrée est possible, mais plus le volume étudié s'éloigne de cette forme de base, plus la saisie devient fastidieuse jusqu'à devenir impossible. Cependant, quelque soit la forme, on ne fournira en entrée que les coordonnées planaires (pour les prismes droits à base horizontale) ou les coordonnées tridimensionnelles (pour les autres volumes) des points du volume.

Les diverses formes possibles sont :

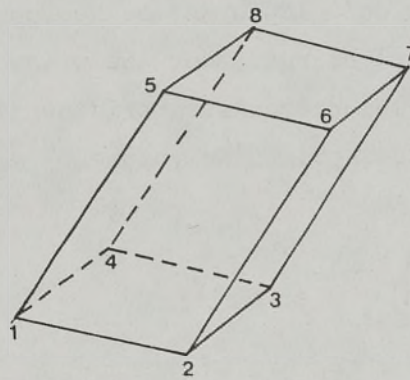
- Le prisme droit à base horizontale. La base est constituée par un polygone quelconque. On définit les coordonnées  $x, y$  des points de la base, les cotes de hauteur des 2 bases.



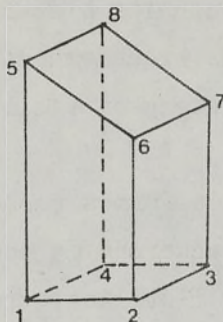
- Le prisme droit dont les bases sont situées dans un plan quelconque. On définit alors les coordonnées  $x, y, z$  des points des 2 bases.



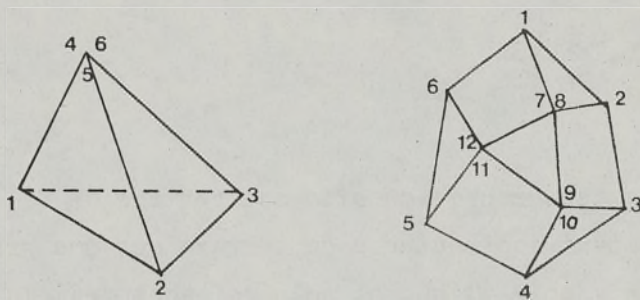
- Le prisme non droit:  $x, y, z$  des points des 2 bases.



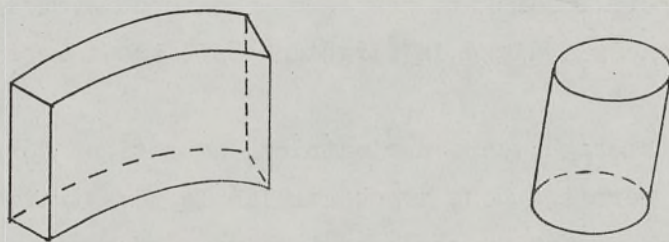
- volumes dégénérés par rapport au type précédent pouvant se définir par 2 bases (ayant le même nombre de points) :  $x, y, z$  des points de 2 bases.



- volumes susceptibles de se ramener à la définition précédente, de façon à générer des bases latérales de 4 points :



- volumes à faces non polygonales ou à face non planaires



La définition impose d'approximer les courbes par des segments de droites.

Le mode d'appréhension actuel des formes paraît suffisant pour la prise en compte de la plupart des espaces urbains (grand ensemble, centre ville ancien) dans la mesure où les volumes construits s'écartent rarement des 4 premiers types de volumes précédemment définis et le mode de définition unique retenu en facilite le codage et la saisie.

La définition des formes posséderait sa problématique propre, axée vers une recherche de code ou de dictionnaire facilement manipulable par l'utilisateur ; mais cette recherche ne remettrait pas en cause les procédures de résolutions adoptées ici.

#### LE TERRAIN

La topographie du site est rentrée de façon classique en notant les hauteurs du terrain sur une grille dont les pas en x et y (ligne et colonne) sont définis par l'utilisateur et dont l'orientation du maillage rectangulaire est libre, permettant ainsi d'en faciliter la définition. Quelques paramètres supplémentaires restituent la grille dans le repère unique utilisé (axe y confondu avec la direction Nord, l'axe x indique la direction Est, axe z verticale du lieu).

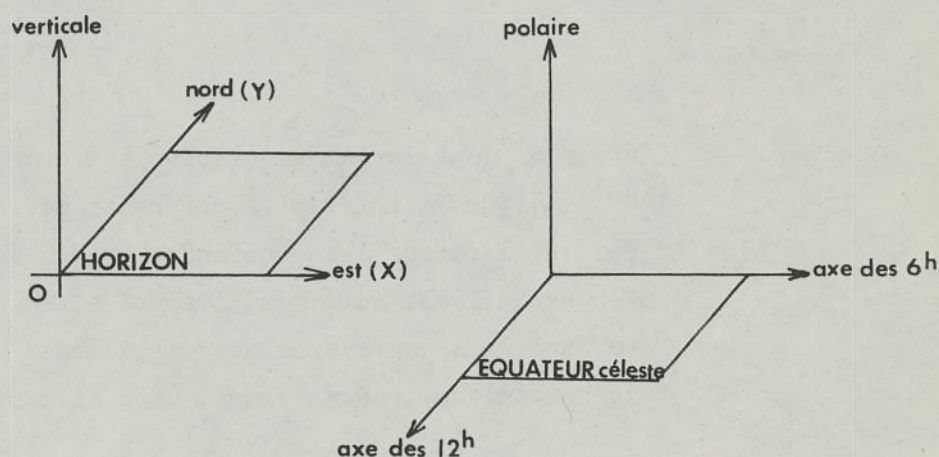
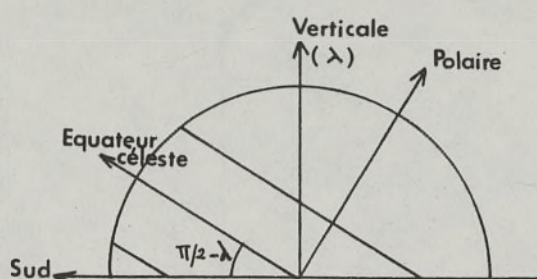
Le storage, dans une matrice, ne retient donc que les hauteurs du terrain. Nous avons utilisé le même traitement par faces en générant un socle arbitraire au terrain afin de définir le plein du vide et manipuler chaque ligne et chaque colonne de la matrice comme une face.

### MODE D'UTILISATION : DEFINITION DES DONNEES EN ENTREE

Nous examinons ici, d'une part, le mode de repérage dans le plan nécessaire à la définition spatiale des divers éléments du site (bâtiments et terrain), d'autre part, les données à fournir en entrée pour l'utilisation du programme.

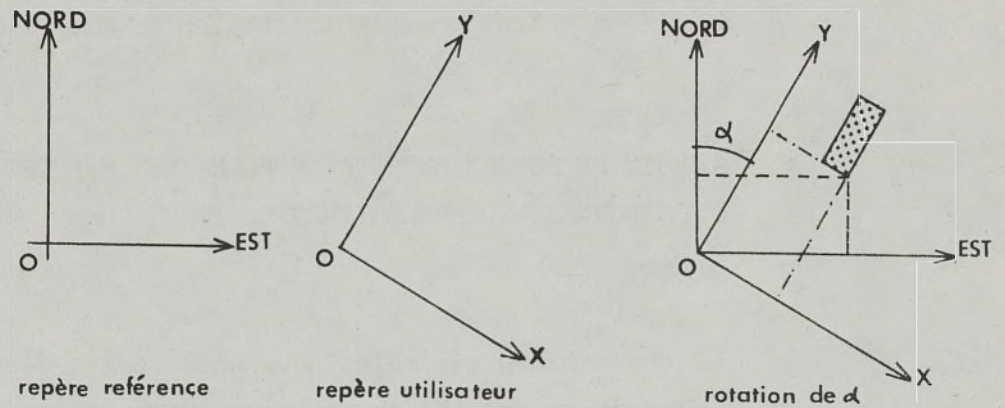
#### CHOIX DU REPERE ORTHONORME PLANAIRE, SUPPORT DE DEFINITION DES DONNEES MORPHOLOGIQUES

D'une manière générale, nous nous sommes donné comme repère fixe de référence, un repère orthonormé XOY, dont les axes x et y sont respectivement confondus avec les directions Est et Nord du lieu d'observation. La re-situation, par transformation simple, des objets définis à une certaine latitude, dans le repère retenu pour la définition de l'anneau solaire, se trouve ainsi facilitée.

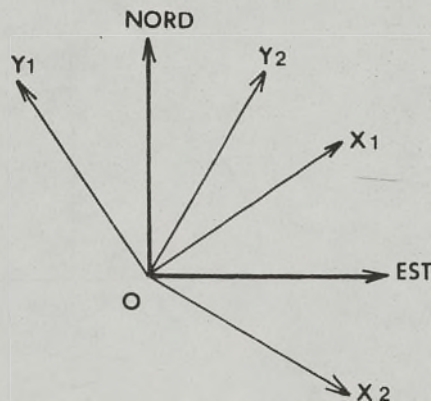




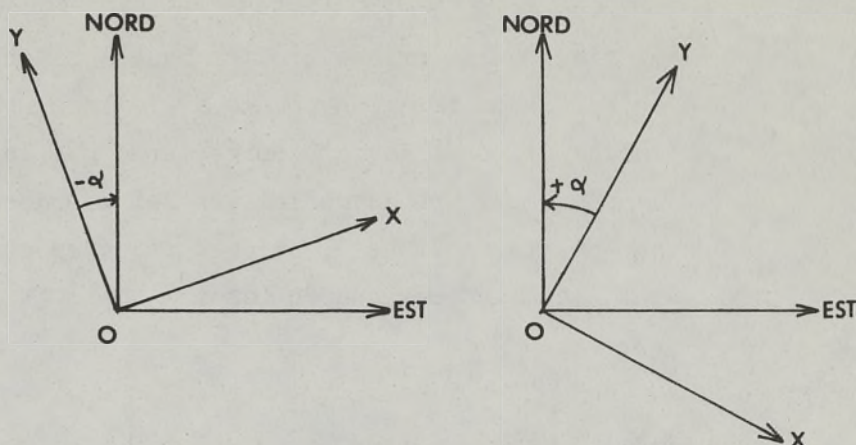
Pour simplifier la définition des coordonnées, nous avons laissé l'utilisateur libre du choix du repère plan  $xoy$ , en précisant l'angle de rotation  $\alpha$  permettant de passer de son repère au repère référence Est, Nord.



Chaque groupe de définition de coordonnées, s'accompagnera donc de la définition du repère choisi. L'origine, pour l'ensemble des repères utilisés, est unique et fixée par l'utilisateur.



L'angle  $\alpha$  dont la valeur absolue est comprise entre 0 et  $180^\circ$ , indique la rotation à effectuer pour amener  $Y$  du repère utilisateur à se confondre avec l'axe Nord du repère référence. Il est noté positivement si l'on va de  $y$  vers Nord dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (sens trigonométrique), négativement dans le cas contraire.



Le programme utilise les coordonnées comme des valeurs sans dimensions. Les divers objets doivent donc posséder la même échelle de définition (échelle réelle ou réduite).

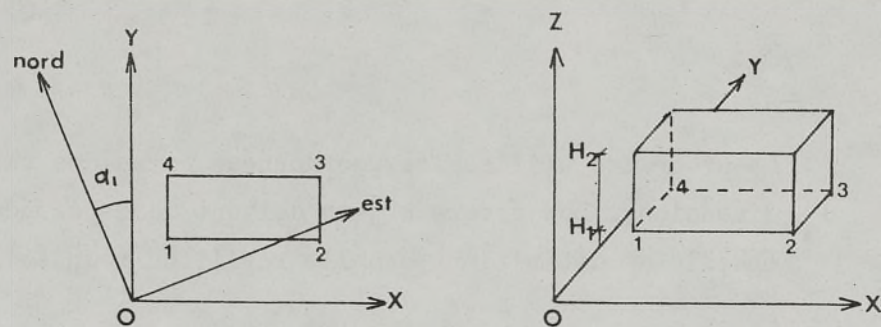
#### DEFINITION DES DONNEES EN ENTREE

L'utilisateur doit définir successivement :

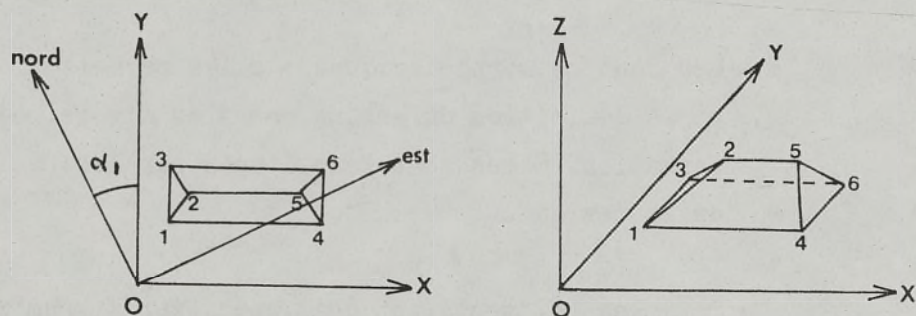
- 1 - Les données solaires : la latitude de  $\lambda$  (angle en degré) indique le lieu d'observation et limite l'anneau solaire aux seuls passages du soleil au-dessus de l'horizon du lieu.
- 2 - Les données morphologiques : elles permettent le calcul et la définition du masque pour les divers points d'observation. Elles sont constituées par les bâtiments et/ou le terrain.

Pour les bâtiments, on doit spécifier le nombre de volumes traités et définir sur le fichier d'entrée, le repère xoy retenu, unique pour l'ensemble des volumes (définition de  $\alpha$ ), et pour chacun des volumes, sa définition spatiale.

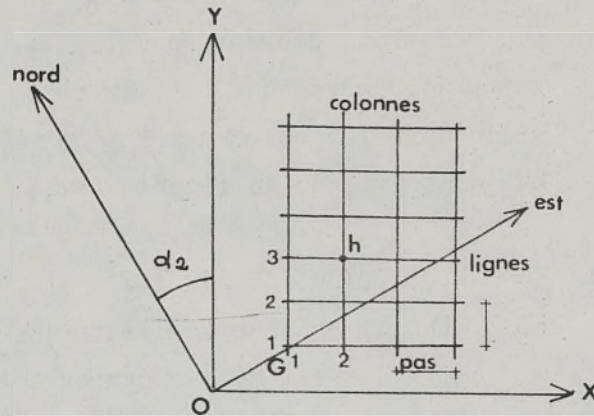
S'il s'agit d'un prisme droit à base horizontale, il faut préciser le nombre  $n$  de points de la base,  $H_1$ , la cote ( $z$ ) d'implantation de la base inférieure,  $H_2$ , la cote de la base supérieure et la définition des coordonnées  $x, y$  des  $n$  points de la base, pris en séquence sur le circuit identifiant le polygone de base.



Pour les autres volumes, il faut fournir le nombre de points  $n$  du volume ( $H_1$  et  $H_2$  valant zéro) et les coordonnées  $x, y, z$  des 2 bases, l'ordre d'entrée des points de la deuxième base devant établir la correspondance deux à deux des points de chacune des bases.



Le terrain est défini par l'ensemble des cotes de niveau établies sur une grille rectangulaire dont les lignes et colonnes sont parallèles aux axes  $x$  et  $y$  du repère retenu.



La grille est caractérisée par le nombre de lignes, le nombre de colonnes, les dimensions des pas sur la ligne (en  $x$ ); et sur la colonne (en  $y$ ), les coordonnées  $x$  et  $y$  de l'origine de la grille (point le plus bas et le plus à gauche de la grille) et l'orientation du repère  $xoy$  par rapport au repère Est, Nord. Les lignes et colonnes sont ordonnées à partir de cette origine permettant de situer chaque point d'intersection (croisement, ligne, colonne) dans le repère  $xoy$ .

Les hauteurs du terrain notées sur chaque intersection sont entrées ou par ligne ou par colonne. On a introduit un facteur de répétition de la hauteur dans le cas où plusieurs cotes identiques se suivent sur une même ligne ou colonne.

### 3 - Définition des points d'étude et des bilans d'ensoleillement à calculer

Le repère xoy est à nouveau défini pour l'ensemble des points d'observation retenus. Chacun des points est donné par ses trois coordonnées x, y, z. Associés à chaque point d'observation, on a la possibilité d'effectuer une série de requêtes concernant son bilan d'ensoleillement. La forme type de la requête est :

$H_1, H_2, \Delta H, J_1, J_2, \Delta J$

où  $H_1$  indique l'heure limite inférieure de l'étude

$H_2$  l'heure limite supérieure

$J_1$  la date limite inférieure (jour, mois)

$J_2$  la date limite supérieure

et où  $\Delta H$  et  $\Delta J$  introduisent des intervalles en heures et en jours, déterminant entre  $H_1$  et  $H_2$  d'une part,  $J_1$  et  $J_2$  d'autre part, des périodes dans le temps pour lesquelles sont calculées les fréquences d'ombre du point étudié.

### CARACTERISTIQUES DU PROGRAMME

L'ensemble des études sur le soleil et le principe de traitement envisagé pour déterminer, dans un environnement donné, l'état d'ensoleillement de points de l'espace pendant une période, nous ont conduit à la mise au point d'un programme informatique. Cet outil, opérant de manière scientifique, permet d'assurer des mesures exactes sur l'impact de l'environnement face à la notion de présence-absence de soleil.

Le programme SOL écrit en langage FORTRAN, est composé d'environ 1500 instructions et réalise les diverses opérations, manuellement impossibles, de visualisation de la surface solaire, à une latitude, de détermination du masque sur cette surface et de l'interprétation en termes de fréquence d'ensoleillement suivant des partitions de temps diurne et annuel. Il a été testé et mis au point sur l'ordinateur IBM du CNRS (faculté d'ORSAY).

Le programme s'exécute en "batch" (traitement par lot) ; il est soumis à l'ordinateur à partir d'un lecteur de cartes. L'utilisateur doit fournir en entrée les cartes d'appel du programme ainsi que les informations concernant le lieu d'observation (latitude), les données morphologiques de l'environnement et les points de l'espace étudié. Les sorties sont effectuées sur imprimante.

La place mémoire occupée par le programme est de 30 K mots de 32 bits . Nous avons limité, pour le moment, le traitement à un nombre de volumes maximum de 40 ou à un équivalent en nombre de points égal à 500.

Nous pouvons donner, à partir des essais déjà réalisés sur l'ensemble de Rezé et le centre de ville de Cholet, des indications approximatives sur les temps de calcul et le coût. Ces derniers

sont, bien sûr, dépendants du nombre de volumes traités, du nombre de points mais surtout de la position du point d'observation dans l'environnement. On peut cependant dire que, pour Cholet (35 volumes constitués de 8 faces en moyenne), sur 25 points d'observation sur les 3 tableaux (midi, matin, soir), on obtient une moyenne du temps de calcul de 6 secondes par point, soit environ un cout de 20 F pour l'ensemble des 25 points (sur 1 tableau). Dans le cas de Rezé (30 volumes constitués de 6 faces en moyenne), mais sur 30 points d'observation, nous trouvons pratiquement les mêmes temps et couts.

Il faut noter aussi que nous avons demandé pour chaque point un bilan d'ensoleillement pour l'année entière, sur l'ensemble des 10 h, représentatives d'un tableau, et sur des partitions en heures et en mois ; ce qui oblige à interpréter le masque sur l'ensemble de la surface solaire. Plusieurs requêtes de bilan sur des périodes plus courtes permettraient de réduire le temps de calcul.

Les performances du programme, en regard de la complexité de certains traitements et au vu des résultats globaux qu'il présente, semblent donc très correctes, surtout si on les compare à celles d'autres programmes d'automatisation des calculs d'ensoleillement qui opèrent de façon très ponctuelle.

Dans le cas d'une mise en service du programme, des modifications seraient éventuellement à apporter, pour le rendre opérationnel et faciliter son emploi. Elle intéresserait notamment les modes d'entrées et les définitions de bilan d'une part, les modes de sorties, d'autre part (sortie graphique, obtention de bilan plus synthétique).

VI - EXEMPLES D'APPLICATION DU PROGRAMME D'ENSOLEILLEMENT



Nous avons appliqué le programme SOL pour le calcul d'ensoleillement de trois points qui ont été repérés dans leur environnement immédiat. La latitude a été prise également à 47° Nord.

Pour les applications 1 et 2, nous avons demandé, en entrée, par requête, un bilan établi sur toute l'année, de 7 h à 17 h, avec des calculs de fréquence d'ombre sur des périodes de 30 jours et sur un intervalle d'une heure. La requête se présentait donc comme suit :

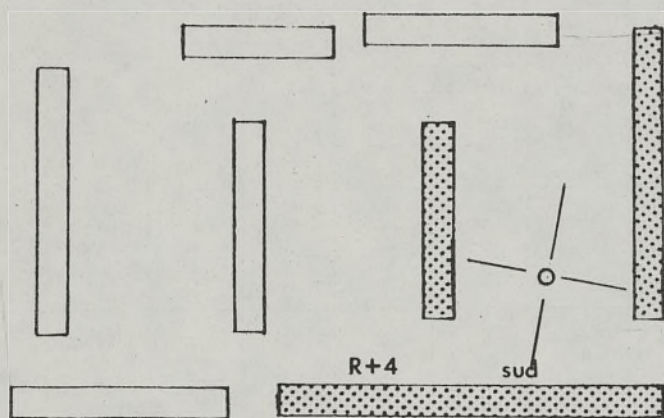
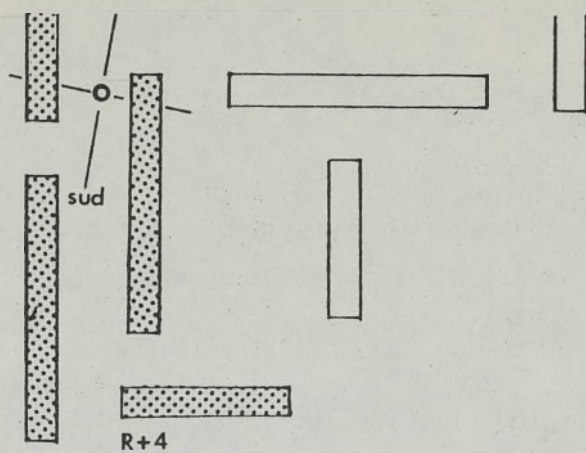
H1	H2	$\Delta H$	J1	J2	$\Delta J$
7	17	1	1/1	31/12	30

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux dont les lignes indiquent les périodes considérées et les colonnes, les intervalles diurnes. Pour chaque case du tableau correspondant à  $\Delta H, \Delta J$ , le pourcentage d'ombre est calculé :

- 0 % indique que le point est toujours au soleil dans l'intervalle choisi.
- 100 % indique que le point est toujours à l'ombre.
- n % indique que le point est n % du temps à l'ombre.

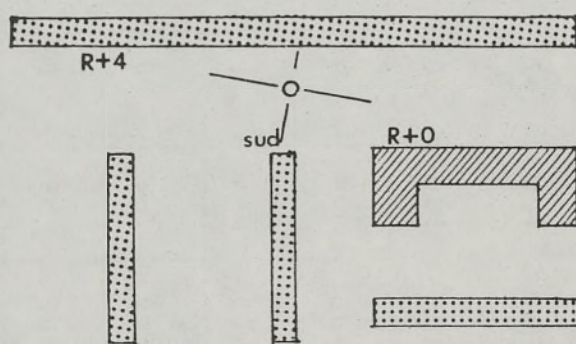
Pour l'application 3, nous avons simplement représenté graphiquement le masque obtenu à partir du point d'observation sur la surface solaire limitée par la latitude de 47°, pour toute l'année, de 7 à 17 h. L'interprétation nécessite la superposition avec l'image des courbes solaires journalières et des droites horaires afin d'en déduire, pour le masque, les périodes d'ombre correspondantes.

APPLICATION 1



APPLICATION 2

APPLICATION 3



TROIS POINTS D'OBSERVATION ET LEUR ENVIRONNEMENT  
 LATITUDE 47°N. ECH. 1/2500

	CE	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	
A	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00		
DU 1/ 1												
AU 31/ 1	100	100	100	47	0	23	100	21	60	100		65
DU 1/ 2												
AU 3/ 3	100	100	100	30	0	0	27	7	92	100		55
DU 4/ 3												
AU 3/ 4	100	100	99	9	0	0	0	42	100	100		55
DU 4/ 4												
AU 4/ 5	100	100	84	0	0	0	0	61	100	100		54
DU 5/ 5												
AU 4/ 6	100	100	66	0	0	0	0	18	100	100		48
DU 5/ 6												
AU 5/ 7	100	100	59	0	0	0	0	0	96	100		45
DU 6/ 7												
AU 5/ 8	100	100	66	0	0	0	0	18	100	100		48
DU 6/ 8												
AU 5/ 9	100	100	83	0	0	0	0	60	100	100		54
DU 6/ 9												
AU 6/10	100	100	99	9	0	0	0	43	100	100		55
DU 7/10												
AU 6/11	100	100	100	30	0	0	25	7	92	100		55
DU 7/11												
AU 7/12	100	100	100	47	0	23	100	21	61	100		65
DU 8/12												
AU 31/12	100	100	100	53	0	38	100	28	48	100		66
	100	100	88	18	0	7	29	27	87	100		

## APPLICATION 1

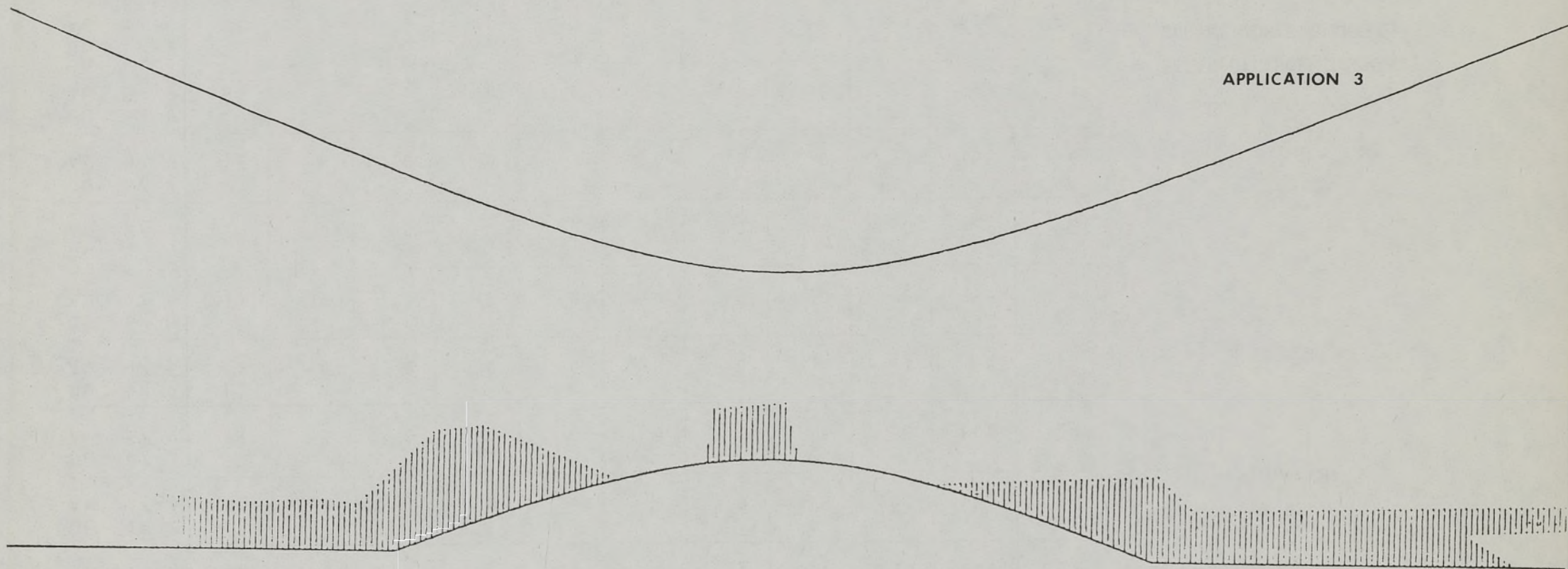
BILAN D'ENSOLEILLEMENT,  
DURANT TOUTE L'ANNEE,  
PAR PERIODE DE 30 JOURS,  
DE 7 H A 17 H, PAR  
INTERVALLE D'UNE HEURE.

DE A	7.00 8.00	8.00 9.00	9.00 10.00	10.00 11.00	11.00 12.00	12.00 13.00	13.00 14.00	14.00 15.00	15.00 16.00	16.00 17.00	
DU 1/ 1 AU 31/ 1	100	100	87	33	0	0	0	50	100	100	57
DU 1/ 2 AU 3/ 3	86	29	3	0	0	0	0	38	100	100	35
DU 4/ 3 AU 3/ 4	91	3	0	0	0	0	0	8	88	100	29
DU 4/ 4 AU 4/ 5	81	0	0	0	0	0	0	0	23	98	18
DU 5/ 5 AU 4/ 6	13	0	0	0	0	0	0	0	0	56	6
DU 5/ 6 AU 5/ 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	2
DU 6/ 7 AU 5/ 8	12	0	0	0	0	0	0	0	0	55	6
DU 6/ 8 AU 5/ 9	60	0	0	0	0	0	0	0	22	97	17
DU 6/ 9 AU 6/10	91	3	0	0	0	0	0	8	87	100	28
DU 7/10 AU 6/11	86	27	2	0	0	0	0	39	100	100	35
DU 7/11 AU 7/12	100	100	86	31	0	0	0	49	100	100	56
DU 8/12 AU 31/12	100	100	100	99	13	0	13	99	100	100	72
	86	30	23	13	1	0	1	24	60	86	

APPLICATION 2

BILAN D'ENSOLEILLEMENT,  
DURANT TOUTE L'ANNEE,  
PAR PERIODE DE 30 JOURS,  
DE 7 H A 17 H, PAR INTER-  
VALLE D'UNE HEURE.

APPLICATION 3



REPRESENTATION GRAPHIQUE DU MASQUE OBTENU POUR LE  
TABLEAU DU MIDI (DE 7 H A 17 H) DURANT TOUTE L'ANNEE

VII - CONCLUSION

L'objectif essentiel du processus automatisé, que nous avons développé pour déterminer l'ensoleillement en un point de l'espace, est la mise en place d'une technique d'analyse et d'évaluation rapide et significative de l'influence d'un paramètre de la conception. Cette technique devrait être applicable dans des situations réelles en architecture.

Nous avons recherché en même temps une mise en forme des résultats et une souplesse d'interrogation qui tiennent compte des impératifs et besoins de l'utilisateur et lui permettent de situer différemment le facteur "ensoleillement" dans l'ensemble des autres paramètres. Ainsi nous exprimons, sous forme de fréquence d'ensoleillement, l'influence de l'environnement, envisagé comme obstacle ou protection vis à vis des rayons solaires.

L'instrumentation proposée se distingue donc des outils habituels, par son mode d'appréhension du phénomène solaire qui permet d'intégrer, en un seul traitement, les variations de l'état d'un point pendant une période quelconque de l'année et de la journée, en faisant intervenir la latitude seulement comme un paramètre de l'étude. On se libère donc des constructions graphiques, plus ou moins fastidieuses, effectuées à partir d'abaques solaires valables pour une seule latitude et parfois pour une seule date. Elles ne permettent d'ailleurs que d'effectuer le tracé des ombres portées sur des plans à partir d'objets isolés, sans autre indication que la zone dans l'ombre à une certaine heure d'une date donnée.

Dans notre approche, la complexité des formes des bâtiments et les accidents du relief de l'environnement étudié ne se traduisent pas par une difficulté supplémentaire du traitement, si ce n'est au niveau de la définition des objets. Par ailleurs, la recherche d'ombre ne se limite pas à des points nécessairement situés au sol, mais s'applique à n'importe quel point de l'espace.

L'étude ponctuelle dans l'espace, globale dans le temps, des variations d'ensoleillement d'un point, semble répondre mieux aux préoccupations des responsables de l'aménagement face aux problèmes d'ombre et de soleil pour un environnement donné.

Nous apprécierons ultérieurement, dans les chapitres 2 et 3, l'insertion de l'outil proposé dans la démarche de l'architecte et présenterons les diverses utilisations et interprétations dans un contexte précis.



**B. LE VENT**

I - LES DIVERSES PHASES DE L'ETUDE

Les travaux entrepris dans la recherche d'une instrumentation pour l'étude et l'analyse du paramètre vent dans les ensembles construits font directement suite aux études réalisées en 1973 par le groupe C.R.M.A.A. conjointement avec le C.S.T.B. de Nantes (cf : "L'étude des effets du vent dans le domaine bâti au moyen d'un dispositif de simulation" - Réf. 1721). La reconstitution des écoulements turbulents du vent en soufflerie donne la possibilité d'effectuer des mesures sur les accélérations et turbulences du vent produites dans l'environnement en certains points de l'espace. Ces mesures nécessitent la construction d'une maquette du site étudié et des essais en soufflerie pour chaque direction du vent. Des essais répétés sur divers plans masse ont permis d'isoler certaines configurations qui sont à l'origine de survitesses importantes et d'élaborer, ainsi, un premier catalogue de règles ou de principes de distribution des éléments spatiaux, directement utilisables sans recours obligatoire aux moyens de simulation. Un certain nombre d'"anomalies" ont été répertoriées et quantifiées en soufflerie ; elles précisent les conditions d'apparition de zones de survitesses liées à la forme de bâtiments isolés (effet de barre, effet de coin, effet de sillage) ou à certains types de configurations spatiales correspondant à plusieurs bâtiments (effet de maille, effet surpression - dépression, effet de venturi, effet de canalisation).

Le principal objectif de notre présente étude, était la recherche d'une instrumentation pour le vent, susceptible d'éviter les essais coûteux en soufflerie. Nous avons donc entrepris l'automatisation, au moyen d'un programme informatique, du dépistage des anomalies dans des ensembles urbains, suivant une direction de vent posant ainsi le problème de traitement simultané de données numériques et de données morphologiques ou spatiales. La définition d'un modèle mathématique permettant de reconstituer le comportement des masses d'air dans l'environnement, se substituant ainsi à la re-

constitution physique en soufflerie, n'a pas été envisagée en raison de la complexité du phénomène physique et du niveau encore précaire des recherches effectuées dans ce domaine.

On ne peut espérer du dépistage automatique, qu'il remplace ou supplée aux mesures des essais en soufflerie. Cependant, à l'inverse de la soufflerie qui permet de constater des "anomalies" par l'étude de diverses mesures, il peut permettre de connaître et d'isoler les variables qui conduisent à l'apparition de ces anomalies, et de lier ainsi directement, les résultats à une mise en forme des volumes. Par ailleurs, on peut s'attendre, par confrontation des résultats du dépistage automatique et de ceux de mesures en soufflerie sur les mêmes plans masse, à des différences ou contradictions dues à la pauvreté ou au manque de précision dans la définition des caractéristiques d'un type d'"anomalies". Ceci permet alors de revenir aux définitions et de les préciser ou d'aborder d'autres phénomènes non encore analysés.

Si l'étude a permis d'appréhender mieux les effets du vent sur un ensemble construit, elle s'est située au niveau des effets reconnus et généralement assez locaux, ne permettant pas de couvrir l'espace et de déterminer les effets du vent (protection ou survitesse) en un point quelconque de l'environnement. La complexité du phénomène, l'aspect ponctuel des mesures et la variété des situations rencontrées nous donnent à penser qu'une investigation plus continue des points de l'espace nous amènerait peut-être à rechercher une certaine continuité ou homogénéité de l'impact du vent dans l'espace bâti. Nous avons donc réalisé en soufflerie, l'exploration systématique d'une zone du grand ensemble du Château de Rezé et analysé les résultats en relation avec les conclusions théoriques, tirées des diverses études déjà réalisées sur ce grand ensemble.

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

II - LE DEPISTAGE AUTOMATIQUE DES "ANOMALIES"

Cette phase d'automatisation, directement issue des conclusions pratiques des essais en soufflerie, traduit notre préoccupation d'allègement des procédures utilisées en soufflerie et notre souci de fournir un outil utilisable dans des situations réelles en architecture.

Cette étude suppose acquis, exploitables et significatifs, les résultats consignés dans le rapport de 1973 sur les effets du vent dans le domaine bâti. Le traitement repose donc sur l'hypothèse que les divers types d'"anomalies" rendent compte, de manière suffisamment précise, des influences de l'environnement sur les écoulements d'air, en termes de survitesse, d'intensité, de turbulence et de délimitations des zones affectées.

Parallèlement à la mise en forme de cette instrumentation, nous avons pu effectués en soufflerie une série de mesures des coefficients de survitesse et de turbulence sur un maillage dense de points du Château de Rezé, afin de vérifier la validité d'un traitement basé sur la recherche d'anomalies.

Le dépistage automatique des anomalies proposé présente un caractère exploratoire. Les problèmes du traitement et, en particulier, celui de la reconnaissance automatique de formes, méritent des investigations à la fois théoriques et générales et spécifiques du domaine des formes architecturales.

## PRINCIPE

L'objectif du traitement est le repérage et l'identification des éléments d'un ensemble bâti, qui conduisent à des accélérations de vent. Ceci revient d'une part, à déterminer, de façon suffisante, les conditions d'existence d'une anomalie, et à vérifier d'autre part, sur un plan masse donné, l'occurrence des configurations génératrices de diverses anomalies. Le problème d'automatisation qui est soulevé repose en fait, sur la capacité à retrouver facilement, à partir d'une définition analytique d'un type d'anomalie, des formes ou configurations de bâtiments qui répondent à ces définitions. Il doit donc y avoir, dans ce cadre, compatibilité entre les données nécessaires à la recherche d'anomalies et les données morphologiques concernant la description des objets et leur implantation mutuelle.

Ces problèmes ont été abordés ici à un niveau de complexité assez faible. Ceci ne doit pas masquer pour autant l'ampleur des difficultés.

Pour notre expérimentation, nous avons retenu seulement trois types d'anomalies : l'effet de coin, l'effet de barre et l'effet venturi qui font intervenir des algorithmes de reconnaissance relativement simples et mettent en jeu des formes de bâtiments parallélépipédiques, facilitant ainsi leur saisie et leur codification en mémoire.



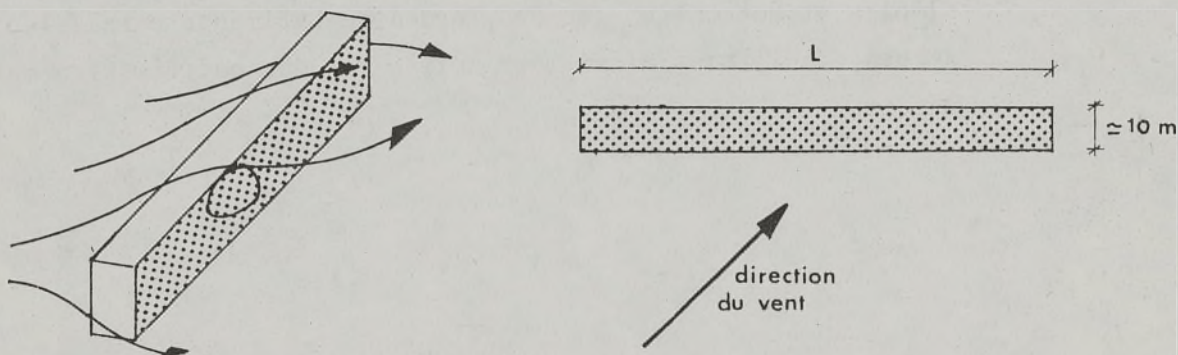
ANOMALIES ET PROCEDURES DE RECONNAISSANCE

L'EFFET DE COIN

L'effet de coin, tel qu'il est défini dans le rapport technique, est remarquable par la pauvreté de sa définition. Cet effet très local résulte de la liaison, par les coins, des formes à arêtes vives (tours, barres bâtiments élevés et longs...) des surpressions amont avec les dépressions aval. Le niveau de la survitesse est lié à la hauteur du bâtiment formant le coin. Il n'est pas fait mention d'effet de masque éventuel, empêchant l'anomalie d'exister.

Etant donné le caractère non discriminatoire de cet effet dans les plans masses étudiés (bâtiments isolés), l'effet de coin est indiqué pour chaque bâtiment par le dépistage automatique.

L'EFFET DE BARRE



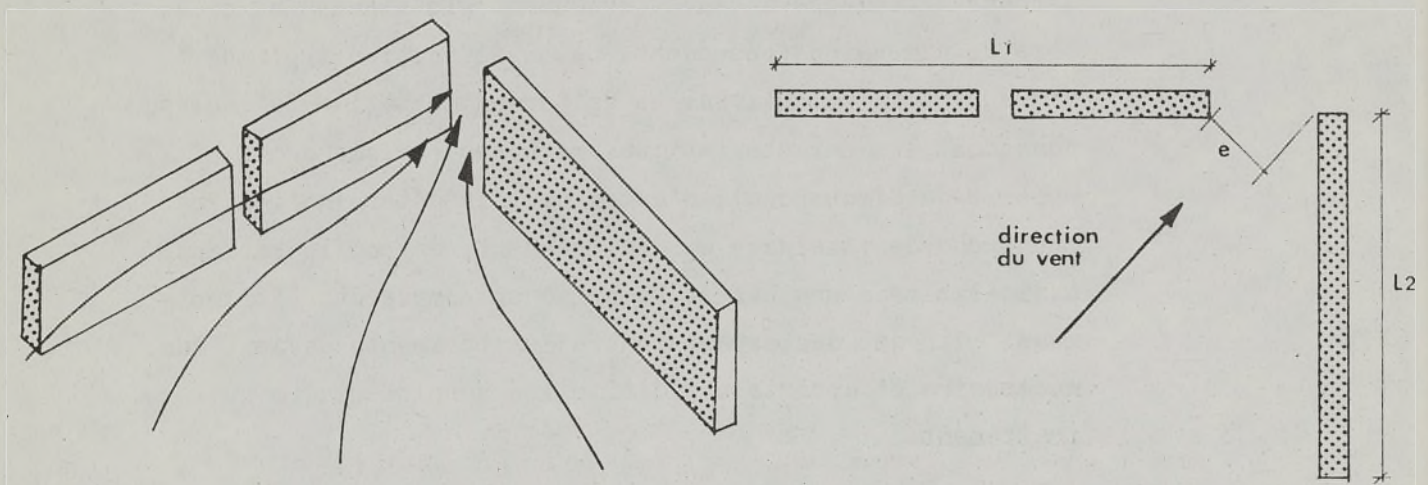
Ses conditions d'existence sont bien définies, de même que les caractéristiques de son masque. On désigne par barre une construction telle que sa longueur  $L$  soit au moins égale à 8 fois la hauteur  $h$  ( $L/h \geq 8$ ) et que son épaisseur soit peu importante (environ 10 m). Par extension, une barre peut être composée d'un ensemble de constructions de même axe longitudinal, séparées par des espacements de largeur inférieure à  $2h$  et répondant globalement au critère de dimensions précédent. Cette définition implique d'une part la reconnaissance de formes de bâtiments isolés, possédant les caractéristiques requises (prisme droit, rapport de dimensions), d'autre part la détermination, par recherche de voisinage et d'alignement, de configurations assimilables à une barre. La prise en compte des bâtiments aussi bien que des espaces entre les bâtiments devient donc nécessaire et apporte une difficulté supplémentaire au traitement.

L'orientation des barres par rapport à la direction du vent est aussi un paramètre important, puisqu'elle détermine la condition d'apparition de zones de survitesse provoquées par la barre (axe longitudinal de la barre, et direction de vent à  $45^\circ$ ). La barre doit donc être resituée dans le contexte d'étude, pour chaque direction de vent.

Enfin, il faut considérer l'environnement d'une barre. En effet, dans le cas de barres parallèles entre elles qui provoquent isolément des effets de barre, seule la barre en première ligne par rapport au vent, peut être prise en compte.

## L'EFFET VENTURI

Egalement bien défini, cet effet est intéressant au niveau de sa définition morphologique puisqu'il fait appel à l'analyse de la disposition d'au moins deux éléments entre eux.



Lorsque, par le jeu des constructions, un ensemble d'immeubles forme une zone d'étranglement pour le vent, il y a une zone de survitesse au niveau de cet étranglement. Le venturi fonctionne en tant que tel si :

- la longueur des bras est supérieure à 100 m ;  $L1 + L2 > 100$  m
- la hauteur est égale ou dépasse 15 m
- l'angle formé par les deux bras est compris entre 30 et 120° et le vent pénètre dans le collecteur à peu près suivant la bissectrice de cet angle,
- la largeur du col est égale à 2 ou 3 fois la hauteur moyenne. (Cette largeur est calculée sur une direction perpendiculaire à celle du vent).

L'environnement proche joue un rôle important dans l'effet venturi. En effet, si le venturi est noyé dans un environnement amont ou aval (ou dans les deux), de même hauteur moyenne que celle des éléments constituant le venturi, il ne se comporte plus comme un collecteur et le vent contourne l'obstacle.

Les conditions d'existence du venturi sont donc assez complexes à reconnaître, de façon automatique, car elles font appel à des notions d'arrangements et de dimensions limites qui impliquent une recherche par voisinage, ainsi que des calculs de directions, ou d'angles.

#### LE TRAITEMENT

Le traitement du dépistage s'effectue, pour une direction de vent, sur un ensemble de bâtiments dont les caractéristiques morphologiques et l'implantation sont fournies en entrée, sur cartes perforées. Le programme transforme les données de façon à tenir compte de la direction du vent et à faciliter les calculs d'orientation des divers éléments entre eux et par rapport au vent.

On recherche ensuite les voisins de chacun des bâtiments, afin de mettre en évidence soit des groupes de bâtiments répondant à des configurations créant une anomalie, soit des "masques" possibles dans ces groupes. L'étude sera ainsi menée à l'intérieur de chacun des groupes considérés comme homogènes pour la détermination des types d'anomalies et de leur condition d'existence dans l'environnement immédiat.

La définition d'une barre ou des bras d'un venturi commande la recherche d'alignement afin de permettre l'agglomération suivant les conditions d'écartement limite, de deux ou plusieurs bâtiments, et le repérage d'anomalies sur un ensemble de bâtiments.

Finalement, les anomalies sont examinées à tour de rôle dans les divers groupes. Chaque bâtiment ou ensemble de bâtiments est analysé d'un point de vue morphologique. On ne retient comme bâtiments créant des effets possibles que ceux qui répondent à la définition analytique des anomalies. On étudie ensuite si leurs conditions d'existence sont satisfaites en vérifiant si la direction du vent rend possible l'apparition de l'effet et si l'effet de masque se produit ou non.

Le programme imprime, aux divers stades du traitement, les bâtiments ou les configurations analysés et les raisons d'acceptation ou de rejet d'une anomalie. Finalement, il indique et identifie, par anomalie, les bâtiments qui engendrent des survitesses du vent.

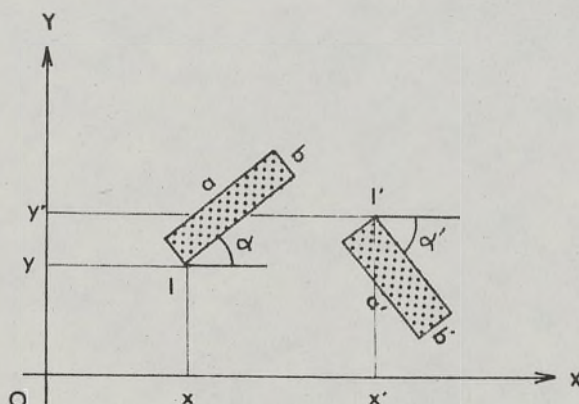
## LA SAISIE DES DONNEES

Le problème de la transcription graphique de la saisie des données est loin d'être un problème mineur puisqu'il présuppose une bonne adaptation entre une bonne définition climatique de l'objet et une information facilement traitable par ordinateur.

Cependant, face aux types des anomalies retenues et aux définitions qui les caractérisent, il semble que seuls les bâtiments de forme simple, qui se rencontrent couramment dans les "grands ensembles" soient susceptibles d'être traités et analysés par dépistage automatique d'anomalies.

Nous avons donc limité le traitement aux ensembles composés de bâtiments de forme parallélépipédique et restreint ainsi la difficulté de saisie et de définition. Chaque objet a été défini, dans un repère orthonormé XOY quelconque, unique, par :

- la définition d'un point I de la base du prisme droit (x,y)
- une direction indiquant l'axe de développement du volume ( $\alpha$ , angle compris entre 0 et  $\pi$  formé par cette direction et l'axe Ox)
- la longueur a, la largeur b et la hauteur du prisme.



Chaque bâtiment possède donc une définition unique, qui homogénéise le storage en mémoire et le traitement.

## LE PROBLEME POSE PAR LE DEPISTAGE AUTOMATIQUE DES ANOMALIES

### LA DEFINITION ANALYTIQUE DES ANOMALIES

Le dépistage automatique implique une recherche d'anomalies basée sur des définitions nécessaires et suffisantes des divers effets répertoriés par des essais systématiques en soufflerie. Si les définitions des anomalies se sont, en général, révélées suffisantes pour en permettre la recherche analytique au moyen d'un programme informatique, on a dû, dans certains cas, suppléer au manque de rigueur de ces définitions en précisant certains paramètres absents. Ainsi, dans le cas de barres parallèles exposées au vent, les distances extrêmes entre les deux barres, pour que la barre sous le vent ne produise pas son effet, ne sont pas mentionnées. Ceci se retrouve dans toutes les définitions de masque qui rendent problématiques les conditions d'existence d'une anomalie. L'étude semble, cependant, pertinente quand on la limite aux objets soumis directement au vent.

Le degré de généralité du dépistage automatique s'avère assez faible quand on le met en application. Nous avons pu faire fonctionner le programme sur divers ensembles (Rezé, Sarcelles, Tours...) composés essentiellement de bâtiments isolés (barres ou tours) et déceler avec une certaine rigueur, les diverses anomalies présentes. En revanche, si le champ d'expérience devient un centre urbain au tissu ancien (centre ville de Cholet), ou une ville nouvelle comme Evry, le programme informatique, de même que le repérage manuel deviennent impossibles. Ceci provient essentiellement du caractère morphologique des anomalies qui ne rendent compte que d'effets provoqués par des bâtiments isolés ou des configurations de bâtiments s'approchant d'une défi-

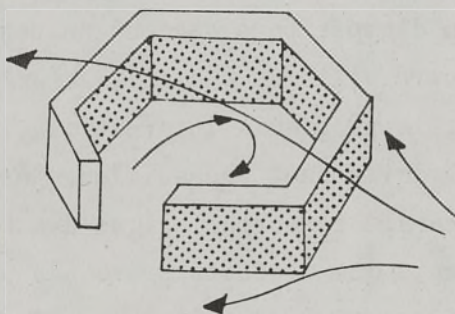


inition d'"objet moyen" (hauteur moyenne, pourcentage d'ouverture...). Ceux-ci sont définis dans un contexte où la notion de forme possède un sens précis (barre) et est repérable et significative dans le tissu urbain.

Dans l'état actuel, le programme se caractérise par une applicabilité restreinte aux ensembles urbains, du type "grand ensemble" qui ont d'ailleurs servi de support d'expérience pour l'élaboration et la recherche des types d'anomalies.

#### LA RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE DES FORMES

L'autre problème majeur, indépendant des difficultés de définition des anomalies à caractère aérodynamique est celui de l'identification, de reconnaissance, ou de recherche de formes, d'espaces ou de configurations dans un ensemble construit. S'il n'a pas été critique pour le repérage des anomalies retenues (coin, barre, venturi), il deviendrait important et central dans la recherche d'un effet de maille, par exemple, qui est caractérisé par une courbe ou contour polygonal dont la longueur d'ouverture (ou de l'ensemble des ouvertures) ne représente pas plus du quart du périmètre total de la maille.



Cette définition de l'effet de maille se rapporte à un seul bâtiment dont la forme courbe présente les caractéristiques d'une maille ou à un ensemble de bâtiments dont l'agencement engendre une zone pratiquement fermée. Les données morphologiques et dimensionnelles des bâtiments ainsi que la distribution, l'implantation ou les groupements dans l'espace de ces bâtiments sont donc à la base du traitement. La reconnaissance d'espaces libres, la détermination de leurs dimensions et de leurs formes entraîne la définition d'algorithmes plus ou moins compliqués de cheminement dans l'espace, de recherche de voisinage, de calcul de direction, permettant de saisir globalement et analytiquement les données spatiales. Ceci suppose des traitements qui s'appuient sur un mode d'organisation en mémoire des diverses données suffisamment souple et efficace pour rendre compte de l'espace libre et construit. L'impact de la reconnaissance automatique se situe donc plus au niveau du mode de storage qu'au stade préliminaire de la définition des données et de leur saisie.

Nous n'avons fait, dans cet essai d'instrumentation, qu'aborder ce problème et nous notons tout l'intérêt qu'il y aurait à traiter ce sujet plus à fond, dans son aspect théorique et pratique d'utilisation.

### CONCLUSION

Nous avons noté les limites d'utilisation du programme de dépistage automatique des anomalies et nous présentons dans le chapitre qui suit, divers plans masse, analysés par ce programme. Il reste cependant à apprécier le degré de pertinence d'un repérage des anomalies, reposant sur la connaissance actuelle de ces anomalies, en examinant la manière dont il représente et synthétise les effets du vent sur un ensemble et comment il peut s'avérer utile pour la prise de décision, dans des situations réelles.

En premier lieu, les anomalies apportent une connaissance des effets du vent limités aux abords immédiats des bâtiments générateurs de survitesses. (Nous ne connaissons d'ailleurs qu'approximativement l'étendue de la zone affectée). Les résultats sont indicatifs et théoriques mais ils ne sont pas reliés à la situation climatique vraie de l'ensemble étudié (fréquence, direction, intensité du vent).

Les anomalies amènent à reconnaître des configurations créant des survitesses, mais il n'est pas fait mention des masques ou écrans engendrant des zones de sous vitesses correspondant à des espaces protégés, dont la connaissance est également indispensable pour une prise en compte globale des effets du vent dans un environnement donné.

Ces diverses remarques conduisent à s'interroger sur la possibilité d'aller plus loin dans la recherche d'anomalies ; on pourrait travailler sur la mise à jour de nouvelles anomalies, l'analyse d'effets combinés, la description des anomalies libérées des concepts de forme stéréotypée de bâtiments, la prise en compte d'ensembles quelconques. Mais cette notion d'anomalie

peut-elle représenter seule la totalité des effets du vent ?

Le travail que nous venons d'exposer est surtout expérimental ; il ne permet pas de déboucher sur des résultats opérationnels et définitifs. Les questions soulevées nécessitent des investigations complémentaires qui seraient vraisemblablement entreprises sur des bases différentes de celles qui ont été les nôtres dans les études passées et pour la présente recherche. A l'issue de la présentation des exemples d'application, nous tenterons d'apporter une réponse quant à la pertinence des anomalies, par une exploration systématique d'une zone du grand ensemble du château de Rezé et une analyse des mesures obtenues en soufflerie.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHILOSOPHY DEPARTMENT

PHILOSOPHY 101

LECTURE NOTES

BY [Name]

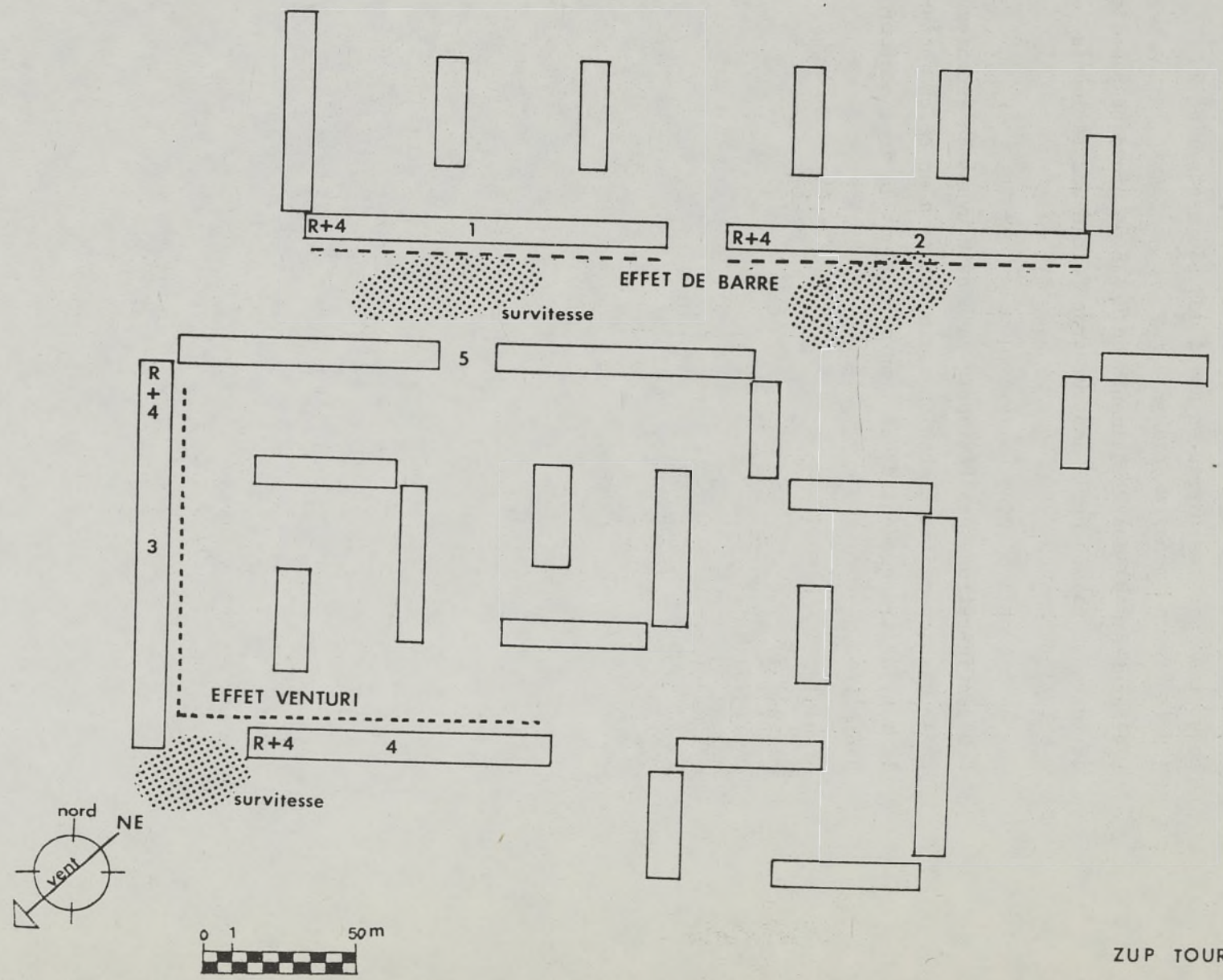
DATE [Date]

III - EXEMPLES D'APPLICATION DU DEPISTAGE AUTOMATIQUE SUR TROIS  
ZONES URBAINES

Appliqué à la zone Nord de la Zup de TOURS, et pour une direction de vent Nord-Est, le programme de dépistage automatique a repéré :

- deux effets de barre provoqués par les bâtiments 1 et 2, qui sont frappés par le vent à  $45^{\circ}$  sur leur axe longitudinal,
- un effet venturi dont les bras sont formés par les bâtiments 3 et 4 ; le vent pénètre dans le col à  $45^{\circ}$  et l'environnement aval, constitué de bâtiments bas n'a pas été considéré comme masque.

Une barre (5) constituée par l'agglomération de 2 bâtiments alignés, a été dépistée par le programme mais l'effet n'a pas été signalé en raison de la présence en amont des barres 1 et 2. Il en est de même pour la barre 3, formant un des bras du venturi, qui est masquée par les bâtiments 5.



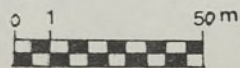
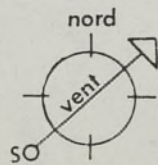
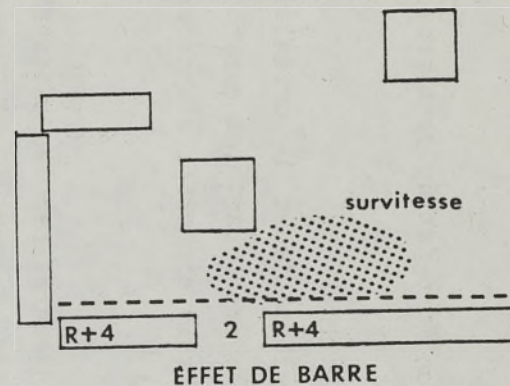
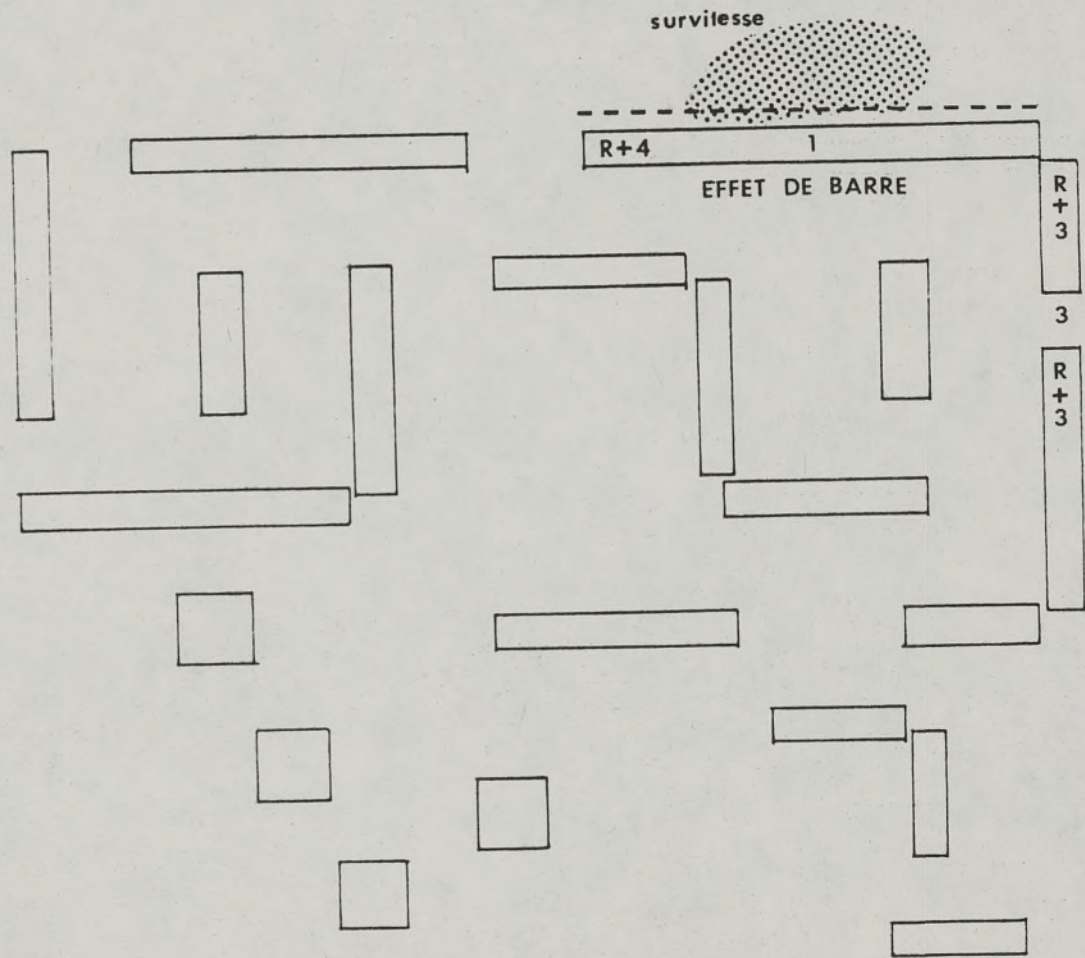
ZUP TOURS, NORD



Dans la zone Sud de la Zup de Tours, pour une direction de vent Sud-Ouest, le programme n'a déposé que 2 effets possibles, constitués par les barres en R + 4 des bâtiments 1 et 2.

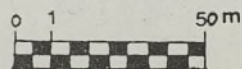
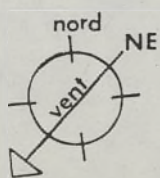
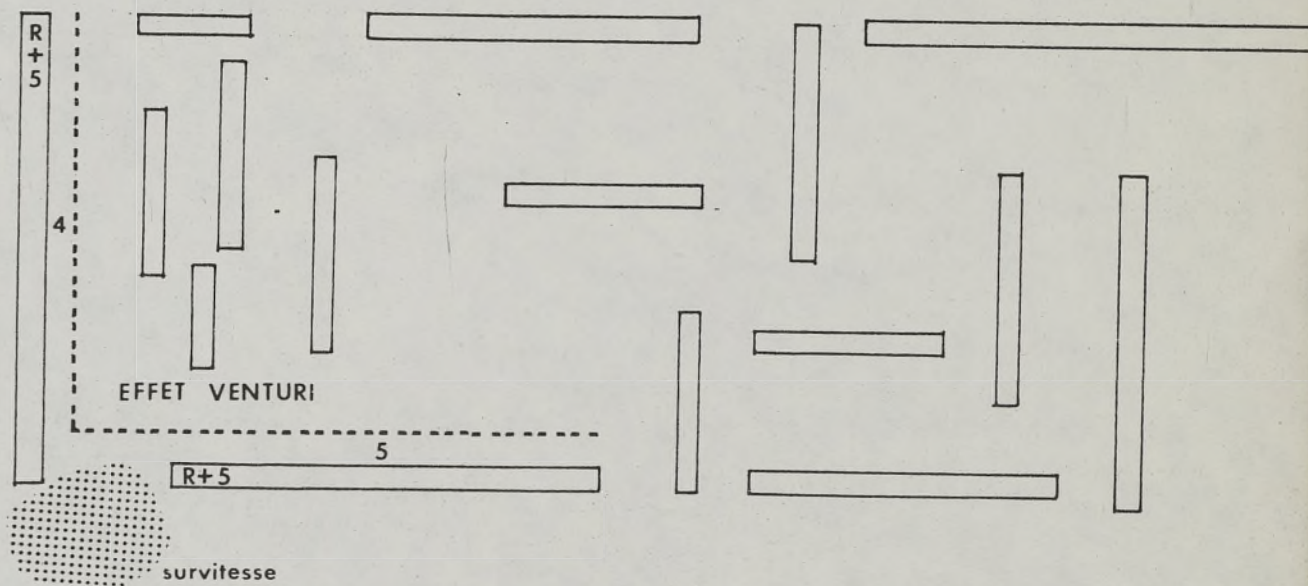
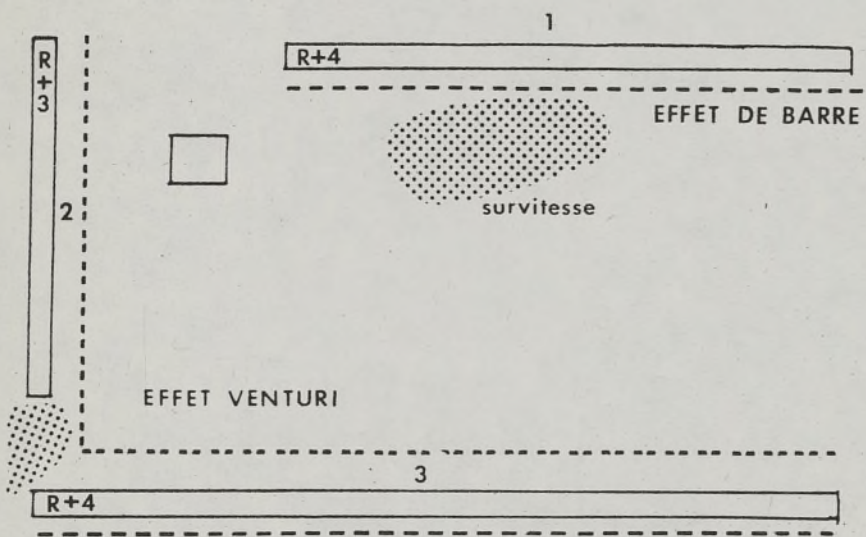
L'alignement (3) des 2 bâtiments en R + 3 ne provoque pas d'effet de barre en raison de la hauteur trop faible des bâtiments (<R + 4).

Les configurations des bâtiments en L ne peuvent en aucun cas créer des zones d'accélération assimilables à un effet venturi, la zone d'étranglement étant trop étroite et le vent contournant l'obstacle.

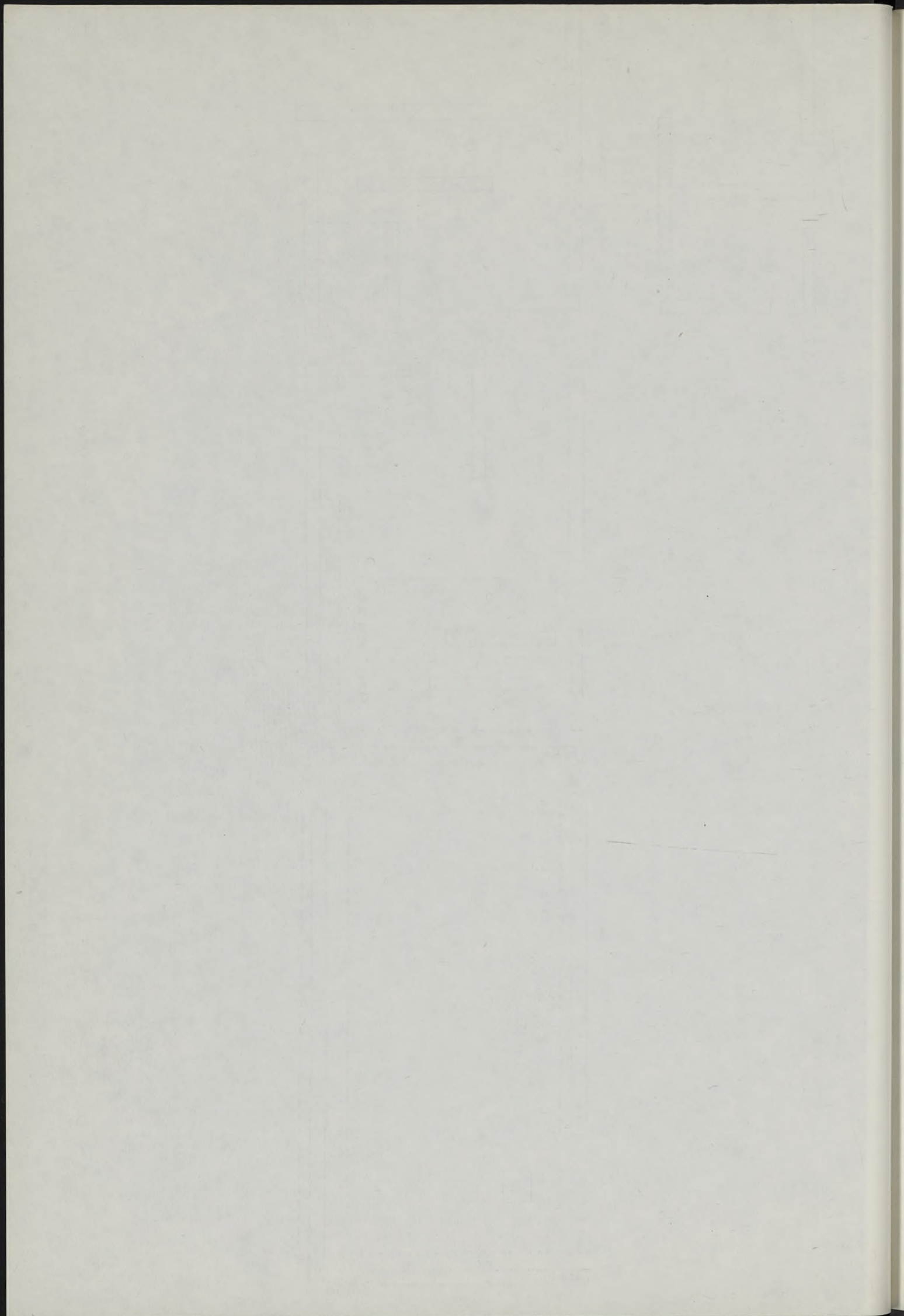


A Sarcelles, la direction Nord-Est du vent provoque les effets suivants :

- Un effet de barre sur le bâtiment 1 orienté à  $45^\circ$  par rapport au vent. Le bâtiment 3, présentant les caractéristiques morphologiques d'une barre, voit son effet s'annuler, par la présence en amont du bâtiment 4.
  
- Deux effets venturi engendrés par les bâtiments 2 et 3 et les bâtiments 4 et 5. L'effet venturi (2,3) fonctionne malgré la barre 1 située en amont, mais hors de la zone d'ouverture des bras.



SARCELLES , CENTRE EST



IV - EXPLORATION SYSTEMATIQUE, EN SOUFFLERIE, D'UNE ZONE  
DE L'ENSEMBLE DU CHATEAU DE REZE

### L'ESSAI SOUFFLERIE

Le passage des caractéristiques de l'écoulement de l'air à l'étude de leurs effets dans un groupe de bâtiments, est un problème extrêmement complexe à aborder par le calcul.

Les essais soufflerie permettent de constater les effets (vitesse, intensité de turbulence) par la prise de mesures directes sur maquettes. Leur fiabilité dépend alors d'une simulation correcte des phénomènes atmosphériques en soufflerie.

Le vent est un écoulement d'air qui, aux basses altitudes, présente une forte turbulence (fluctuation en direction et force de la vitesse) et une vitesse moyenne, fonction de la hauteur au niveau du sol. La distribution verticale de la turbulence et de la vitesse moyenne varie en fonction de la nature de la rugosité rencontrée en amont par le vent.

Seules les souffleries à couche limite turbulente permettent une simulation de ces caractéristiques du vent naturel et la transposition aux cas réels, des mesures effectuées en soufflerie.

#### RAPPELS SUR LA STRUCTURE DE LA COUCHE LIMITE ATMOSPHERIQUE

La couche limite est telle que l'influence des effets du frottement dû au sol, se font sentir sur la vitesse moyenne. L'influence combinée des forces de frottement, gradient de pression et force de coriolis, fait que cette vitesse varie légèrement en direction. Pour les hauteurs, qui nous intéressent, l'effet est mineur (variation de direction inférieure à 10° de 0 à 185 m) et peut être négligé. De plus, sous nos

climats, lorsque soufflent des vents forts, la turbulence thermique et les courants convectifs peuvent être également négligés. Par conséquent, la structure de la couche limite, pour un point donné, est définie par le profil de la vitesse moyenne et les caractéristiques de la turbulence.

- Le gradient vertical de la vitesse moyenne

Si la vitesse est pratiquement nulle au niveau du sol, elle croît en fonction de l'altitude jusqu'à devenir constante à l'extérieur de la couche limite. Selon la nature du terrain, et le profil de la vitesse moyenne, la hauteur de la couche limite varie. Une des lois les plus employées pour exprimer ces variations est "la loi en puissance".

Elle s'exprime sous la forme : 
$$\frac{\bar{U}_z}{\bar{U}_{Z_R}} = \left( \frac{z}{Z_R} \right)^\alpha$$

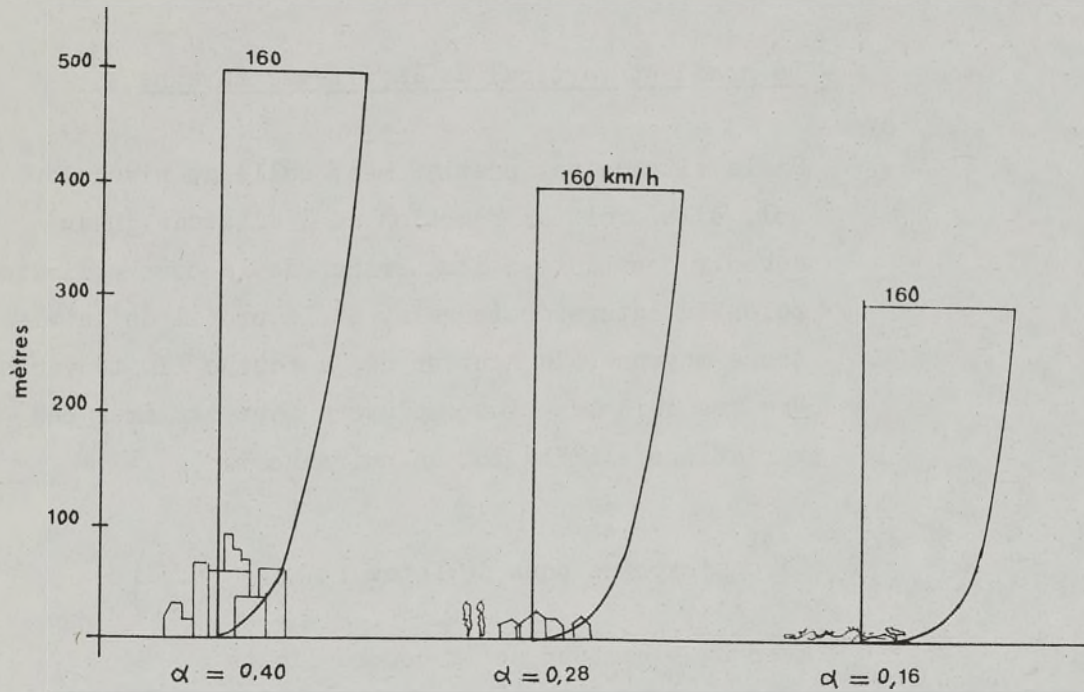
Avec  $Z_R$  = hauteur de la couche limite

Les valeurs standard de  $\alpha$  et  $Z_R$  pour définir les trois types de rugosité principaux, campagne, banlieue, ville, sont :

	$Z_R$	$\alpha$
Rugosité faible (plaine, campagne)	300	0,16
Rugosité moyenne (bois, banlieue)	400	0,28
Rugosité forte (centre ville)	500	0,4



La figure ci-dessous indique les 3 profils de vitesses relatifs à ces valeurs standard.



- L'intensité de turbulence

Elle exprime la fluctuation de la vitesse du vent en module et direction. Les fluctuations longitudinales (c'est à dire sur la composante de même direction de la vitesse du vent moyen) sont prépondérantes et seront seules considérées.

La vitesse instantanée du vent s'exprime par :

$$U_Z(t) = \bar{U}_Z + U'_Z(t)$$

où  $\bar{U}_Z$  est la vitesse moyenne au point considéré, le terme de fluctuation étant tel que :

$$\bar{U}'_Z(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t U'_Z(t) dt \quad \text{soit nul}$$

L'intensité de turbulence est un rapport entre la valeur quadratique moyenne de la fluctuation de la vitesse et une vitesse de référence. Cette vitesse de référence peut être la vitesse au dessus de la couche limite ou la vitesse moyenne du point considéré.

$$\text{Soit :} \quad I_1 = \frac{\sqrt{\bar{U}'_Z^2}}{\bar{U}_G} \quad \text{ou} \quad I_2 = \frac{\sqrt{\bar{U}'_Z^2}}{\bar{U}_Z}$$

$\bar{U}_Z$  variant fortement au niveau du sol, la prise en compte de  $I_2$  introduira une dispersion importante à basse altitude.

Enfin, notons que la valeur quadratique de la fluctuation de vitesse, dépend du type de rugosité et croit avec celle-ci.

LES CONDITIONS D'ESSAIS DE L'ETUDE

L'essai a été réalisé dans la soufflerie à couche limite turbulente C.S.T.B.-U.P.A.N. de NANTES.

La reproduction en soufflerie des caractéristiques dynamiques du vent à l'intérieur de la couche limite, a fait l'objet de nombreuses publications (Référence bibliographique).

On s'intéresse au comportement du vent sur la partie Nord-Est de Rezé. 217 points de mesure ont été retenus.

L'échelle de la maquette, compte tenu des contraintes imposées par la largeur de la veine et par la correspondance entre hauteur des bâtiments et hauteur de la couche limite simulée, a été fixée à 1/300.

On a reconstitué les caractéristiques dynamiques des vents étudiés (secteur N.E. : 20.40.60.80) en tenant compte de l'influence de l'environnement amont immédiat à Rezé. Le secteur Nord-Est a été retenu en raison de la prépondérance de vents forts dans la période hivernale.

La distribution verticale de la vitesse moyenne a été :

$$\frac{\bar{U}_z}{\bar{U}_s} = \left( \frac{z}{z_s} \right)^{0,23}$$

où  $\bar{U}_z$  est la vitesse moyenne de hauteur  $z$

$$\bar{U}_s = 0,95 \bar{U}_e$$

où  $\bar{U}_e$  est la vitesse extérieure à la couche limite  
et  $\bar{U}_s$  est la vitesse à la frontière de la couche limite d'épaisseur.

La sonde de référence se situait à une hauteur équivalente de

10 m au dessus du niveau du sol (afin de permettre un recalage avec les données météorologiques).

La vitesse moyenne origine perçue par la sonde fixe se situait aux alentours de 6 m/s. La valeur quadratique moyenne du terme de fluctuation oscillait entre 1 et 1,15. Simultanément, on mesurait les valeurs de ces deux paramètres en différents points de la zone étudiée, au moyen d'une sonde mobile, se déplaçant à une hauteur équivalente de 1,5 m.

Pour chaque point de mesure, les modifications du couple (vitesse moyenne origine et fluctuation associée) sont évaluées respectivement par le coefficient de survitesse K et l'intensité de turbulence I.

Ils sont tels que :

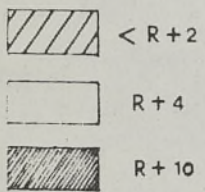
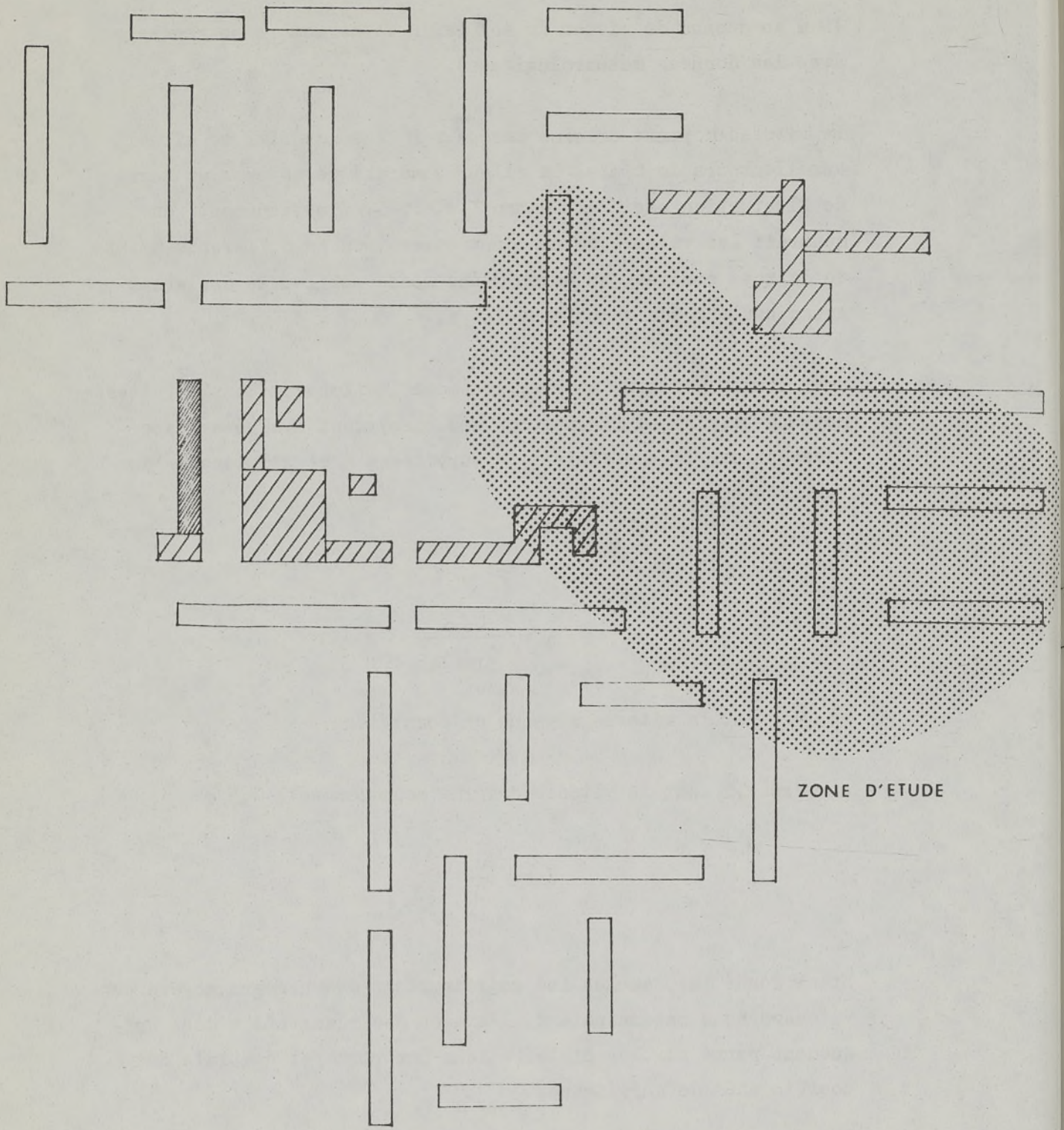
$$K = \frac{\bar{U}_i}{\bar{U}_{\text{ref}1,5}}$$

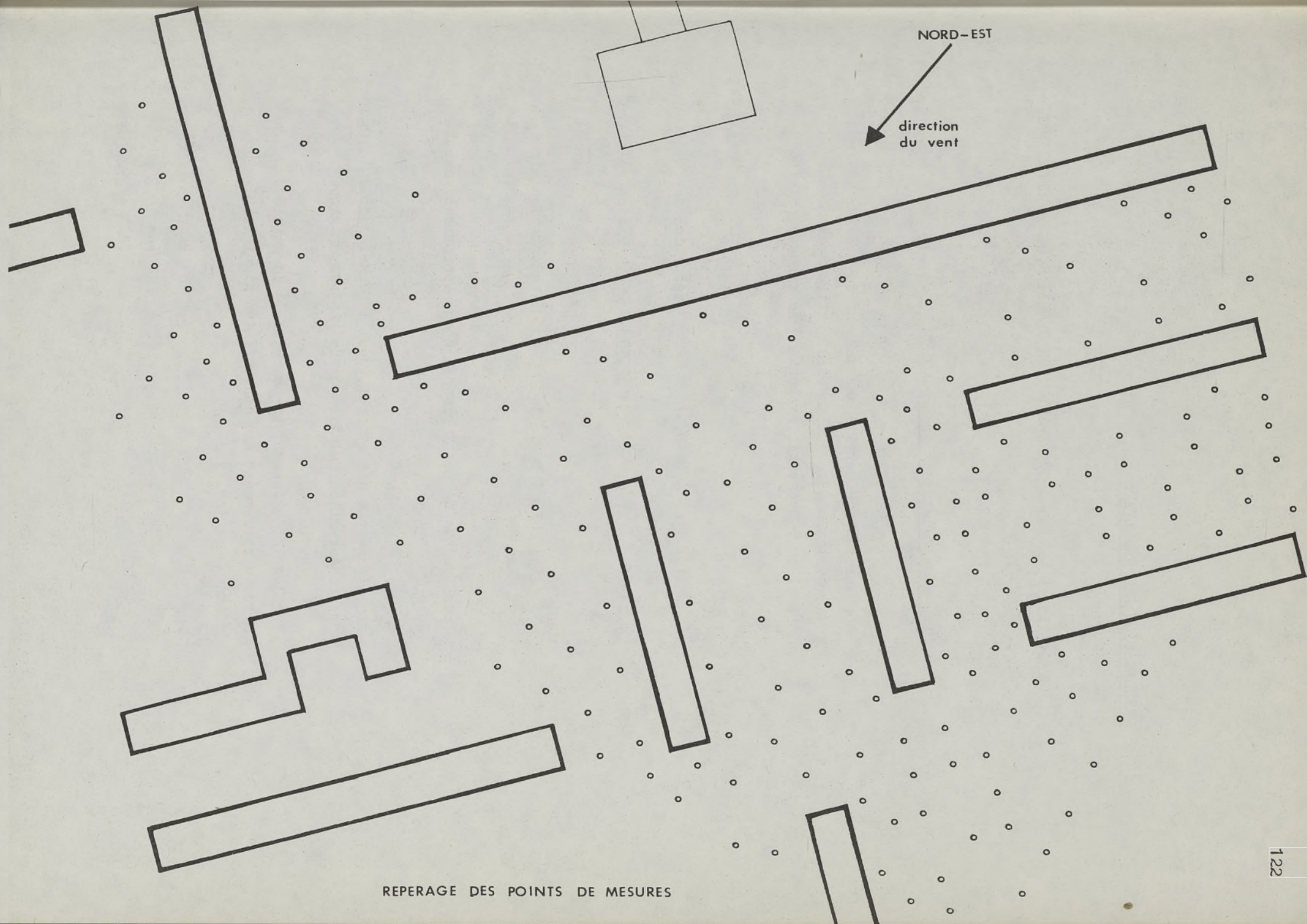
où  $\bar{U}_i$  est la vitesse moyenne en point i

et  $\bar{U}_{\text{ref}1,5}$  est la vitesse origine redescendue à 1,5 m

$$I = \frac{\sqrt{\bar{U}_i^2}}{\bar{U}_i}$$

Etant donné que, seules les modifications des niveaux moyens des vitesses nous intéressaient, l'examen des résultats a donc uniquement porté sur les distributions numérique et spatiale des coefficients de survitesse.





REPERAGE DES POINTS DE MESURES

PRESENTATION DES RESULTATS

RESULTATS NUMERIQUES ET REPARTITION SPATIALE DES COEFFICIENTS  
DE SURVITESSE

Les résultats numériques

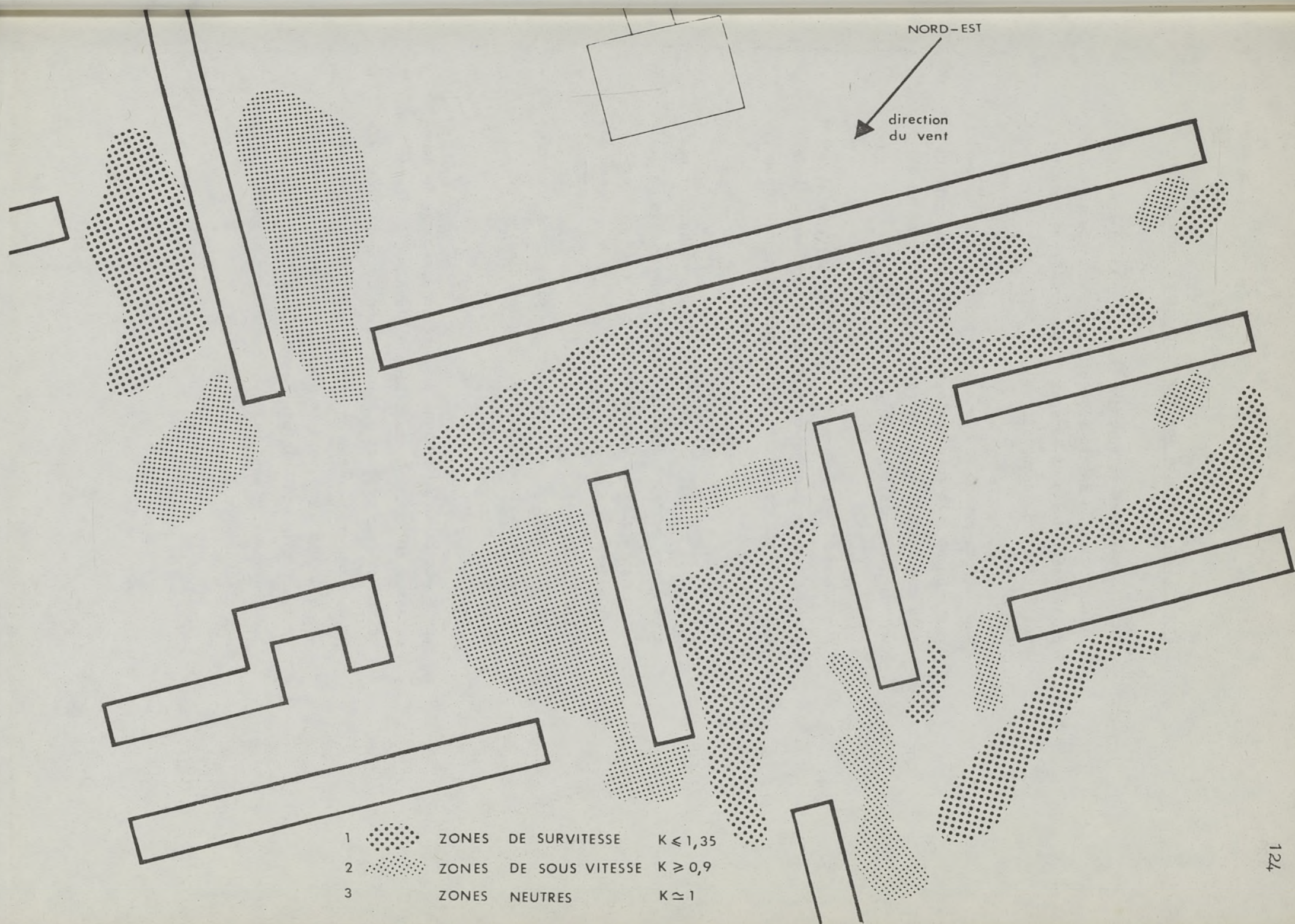
Les mesures des survitesses varient de 0,45 à 1,97 et se répartissent en 3 classes significatives d'un changement de vitesse par rapport à une vitesse origine  $V_i$  :



$c_{11} : \{K, K < 0.9\}$	réduction de $V_i$
$c_{12} : \{K, 0.9 \leq K < 1.35\}$	conservation relative de $V_i$
$c_{13} : \{K, K \geq 1.35\}$	augmentation significative de $V_i$

Les moyennes de ces 3 classes étant approximativement de 0,7 ; 1,1 ; 1,55.

Sur l'ensemble des mesures, seul le quart semble indiquer une conservation relative d'une vitesse origine.

Sur les  $3/4$  restant, un peu plus de la moitié des mesures représente une augmentation significative de la vitesse origine.



- |   |   |                       |               |
|---|---|-----------------------|---------------|
| 1 |  | ZONES DE SURVITESSE   | $K \leq 1,35$ |
| 2 |  | ZONES DE SOUS VITESSE | $K \geq 0,9$  |
| 3 |   | ZONES NEUTRES         | $K \approx 1$ |



### Répartition spatiale des coefficients de survitesse

En reportant les valeurs des coefficients de survitesses à leur point de mesure respectif, on constate qu'elles définissent des sous-espaces formés des représentants des classes ci-dessus définies.

Chaque sous-espace est de taille non négligeable, soit, par rapport à la zone cartographiée, soit par rapport à la concentration du nombre de mesures (le semis de points n'est pas régulier).

Les classes 1 et 3 forment des taches compactes et homogènes incluses dans un espace ouvert appartenant à la classe 2, qui ne modifie pas de manière sensible les vitesses originelles.

La densité du semis de points ne fait pratiquement pas apparaître de représentants isolés d'une classe au milieu d'une autre classe. Les rares cas constatés se trouvent inclus dans la classe 2.

On peut néanmoins se demander si un plus grand nombre de mesures n'aurait pas indiqué, pour les classes 1 et 3, un manque d'homogénéité.

Les zones caractéristiques de survitesses comme de sous-vitesses se trouvent aussi bien à l'aval qu'à l'amont des bâtiments (par rapport à la direction du vent), leur axe de développement étant en général orienté pour les zones les plus étendues, dans le sens de la grande longueur du bâtiment adjacent à la zone considérée. On peut noter que ces zones ne sont pas représentatives à chaque fois, des classes 1 ou 3.

Les zones de survitesses occupent une surface totale du même ordre que celles représentatives des sous-vitesses. Si les zones de survitesses sont localisées à l'intérieur des ensembles bâtis, on rencontre des zones protégées sans qu'il n'y ait aucun effet de masque apparent, ce qui est le cas en amont du bâtiment 1.

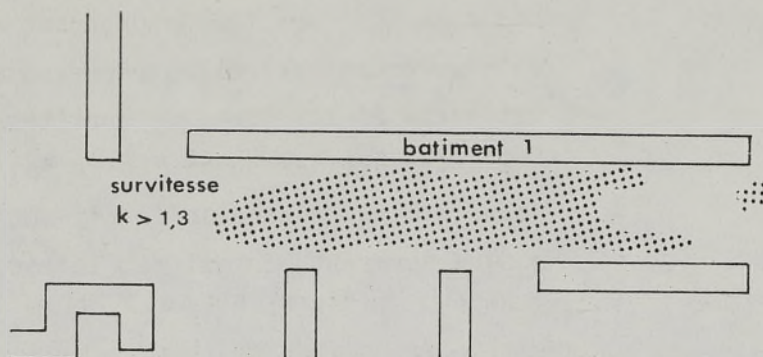
#### LES ZONES DE SURVITESSES ET LES ANOMALIES

La recherche des zones de survitesse par la détection des anomalies conduit à la détermination d'une seule zone d'accélération pour toute la zone étudiée.

##### - L'effet de barre provoqué par le bâtiment 1

La direction de vent, la porosité négligeable située en amont du bâtiment devraient provoquer une accélération sur une bande en aval du bâtiment sur une longueur d'environ 3 fois la hauteur - avec un maximum d'accélération au centre arrière.

Les résultats chiffrés confirment les prévisions de l'influence de cette configuration. On peut cependant noter que la forme de la zone affectée n'est pas aussi simple que la définition l'a laissée supposer. Il est certain que si l'influence de l'environnement sur cette configuration n'est pas décisive (ne provoque pas d'effet de masque), elle prend cependant une part importante sur la distribution spatiale de la zone affectée.

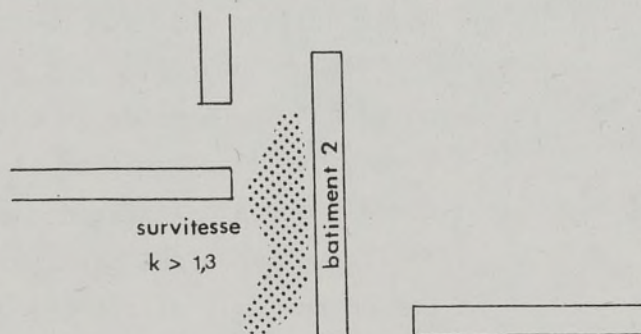


Bien que l'on s'attendait à ce que le centre arrière de la barre soit surtout touché par ce type d'anomalie, l'étendue de la zone neutre au NE, en arrière de la zone théoriquement affectée n'était pas prévisible.

- Les autres zones de survitesse

Si l'effet de barre a bien eu lieu, il représente moins de la moitié des zones d'accélération constatées, l'autre moitié étant provoquée soit par des formes isolées, soit par un ensemble de bâtiments.

Une zone d'accélération bien marquée est provoquée par la présence du bâtiment n° 2



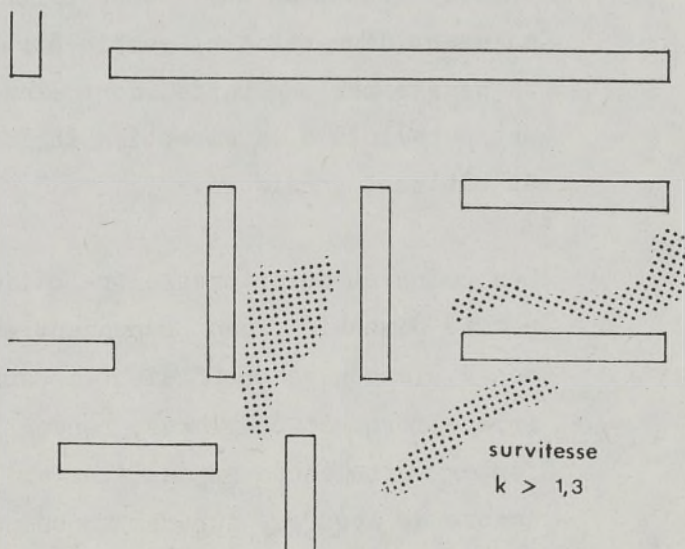
La zone affectée se situe en aval et essentiellement au centre arrière. L'effet semble équivalent à celui produit par le bâtiment 1. La direction du vent, la zone affectée et la forme de l'immeuble pourraient faire penser à un effet de barre.

Cependant, la construction à l'origine de cette anomalie, n'est pas une barre selon les définitions retenues initialement.

En effet, l'un des paramètres de la définition d'une barre est que la longueur soit au minimum égale à 8 fois la hauteur. Pour le bâtiment considéré, le rapport n'est que de 6.

En assimilant cette construction à une barre, on ferait alors une approximation de 20% sur la valeur du paramètre.

Les surfaces restantes affectées également d'un fort coefficient de survitesse sont localisées dans les espaces libres entre les bâtiments. Elles sont provoquées par des arrangements spatiaux, non répertoriés dans tous les types d'anomalies prévus.



Ces zones peuvent être adjacentes au volume, en bande parallèle à la grande longueur de ce dernier, ou bien, relier l'espace inter-bâtiments suivant un axe de développement orthogonal à la direction des constructions. Elles peuvent être également isolées au milieu d'un espace "neutre" de la classe 2.

Si une explication de l'apparition de ces zones de survitesse est toujours possible a posteriori, elle ne possède pas par son aspect ponctuel, un caractère systématique susceptible d'être généralisé.

#### MESURES PONCTUELLES ET ZONES REPRESENTATIVES

En examinant la répartition spatiale des diverses mesures, on peut tenter de rechercher des sites privilégiés de l'espace inter-bâtiments où les coefficients de survitesse seraient représentatifs d'une portion du tissu urbain.

##### - Aux abords immédiats des bâtiments :

Un coefficient de survitesse calculé au centre arrière ou avant d'un bâtiment semble être représentatif de sa classe sur une bande, dont l'axe de développement est parallèle à la direction de la grande longueur du bâtiment considéré.

Les coins et ouvertures entre bâtiments, espaces de petite dimension, sont cependant marqués par la présence des 3 classes de coefficient de survitesse, aux formes irrégulières et complexes, rendant ainsi compte des fortes turbulences et de l'instabilité. Un très petit nombre de mesures, sur ces zones ne peuvent par conséquent,

représenter la complexité de l'écoulement des vents.

- Les espaces interbâtiments.

Ils sont en général constitués de zones de sous ou de survitesses assez importantes, mais l'irrégularité de la forme et de leur position ne permet pas de définir l'axe privilégié de représentativité d'une mesure ponctuelle, située par exemple au centre d'un espace inter-bâtiments.

Il est donc très difficile, à partir de quelques mesures ponctuelles effectuées en soufflerie, d'avoir une estimation correcte de la forme et de la répartition des zones de sous et de sur-vitesses à l'intérieur d'un ensemble bâti.

## CONSEQUENCES DE L'EXPERIMENTATION

### DEGRE DE PERTINENCE DE LA RECHERCHE PAR ANOMALIE ET VALIDITE DES INSTRUMENTATIONS PROPOSEES

Il semble bien que la recherche des zones de survitesse dans un plan masse donné, utilisant la méthode d'analyse par type d'anomalies, ne soit pas opérationnelle, tout au moins pour notre étude de cas. Pourtant, le support spatial de l'expérience était entièrement analysable par ce genre d'investigation.

L'importance des effets non prévus tend à montrer que ce type d'analyse qui n'intègre pas le contexte urbain et porte sur le repérage morphologique de bâtiments considérés isolément, peut voir les effets éventuellement s'annuler (effet de masque), lorsque ces bâtiments sont plongés dans un ensemble plus vaste.

Or, ce sont finalement des arrangements spatiaux de bâtiments sans caractéristiques remarquables, qui provoquent dans leur majorité, des zones d'accélération, dont l'importance et la répartition dépendent de chaque type d'arrangement.

La diversité et la complexité des différents contextes possibles, font penser que cette méthode d'approche n'est peut être pas, dans son principe, la plus satisfaisante. On peut, en tout cas, conclure que l'instrumentation proposée au chapitre précédent, n'est pas opérationnelle puisque les bases sur lesquelles reposait le dépistage automatique, n'ont pas été confirmées par l'essai systématique.

En attendant la mise au point éventuelle de modèles mathématiques évolués, les essais en soufflerie semblent encore être le moyen le plus acceptable pour la simulation du champ de vitesse dans les ensembles bâtis.

Cependant, ces applications ne sont pas sans poser certains problèmes liés en particulier, à la densité souhaitable des points de mesure, et à la signification pratique des coefficients obtenus.

- Densité des points de mesure et validité des conclusions des résultats souffleries

La lourdeur de ce type de simulation implique le plus souvent la prise en compte d'un nombre très limité de points. Ces derniers devraient donc en théorie, être représentatifs de zones homogènes pour l'aménageur. Dans ces conditions, un coefficient de survitesse serait significatif de la zone que chaque point étudié est sensé représenter.

Or, d'après ce qui a été dit précédemment, il est très peu probable que, pour un point étudié, la zone représentative du coefficient de survitesse calculé, recoupe le zonage fonctionnel.

- Signification pratique des coefficients de survitesse

Les valeurs des coefficients de survitesse sont sans signification réelle si elles ne sont pas accompagnées des conditions dans lesquelles ces coefficients ont été calculés. "K" est adimensionnel, c'est à dire représentera le même facteur de pondération en un point



de l'espace quelque soit la vitesse initiale du vent, ceci pour un contexte fixé, c'est à dire une direction de vents, une hauteur du point de mesure, un type de rugosité. Il est évident qu'une même valeur de K, pour deux contextes différents, ne provoquera pas la même interprétation des données initiales sur le vent (en fréquence par seuil de vitesse et moyennes tri-horaires).

Cette interprétation des résultats des simulations nécessite donc un croisement très précis avec les données météorologiques locales.

NOISHTONOG - A

Les essais en soufflerie, par des mesures directes, paraissent actuellement le seul moyen d'évaluer le comportement du vent à l'intérieur des ensembles bâtis. Ils dispensent aussi bien des mesures in situ que de la modélisation mathématique des écoulements d'air sur un ensemble d'obstacles, qui posent un problème aérodynamique très complexe.

Cependant, si les résultats en soufflerie sont en eux-mêmes très précis, leur interprétation, dans une réalité climatologique donnée, pose, quant à elle, de sérieux problèmes.

Les rares mesures de vérification in situ qui ont été faites parallèlement aux essais en soufflerie sont loin de montrer une totale correspondance entre la réalité et la simulation. Ces recalages n'ont d'ailleurs jamais été faits de manière systématique ; ils portaient seulement sur un nombre réduit de points et sur un laps de temps trop court pour la prise en compte de multiples situations météorologiques.

Ces écarts de résultats ne sont pas dus principalement au type d'instrumentation mais aux conditions de simulation, et, dans une moindre mesure, à la définition du coefficient de survitesse.

En effet, les conditions de simulation sont telles que seul l'ensemble des vents forts est simulé (vents d'origine dynamique). Or, dans la réalité, ce sont en général les vents d'origine thermique (inférieurs en gros à 5 m/s) qui sont majoritaires.

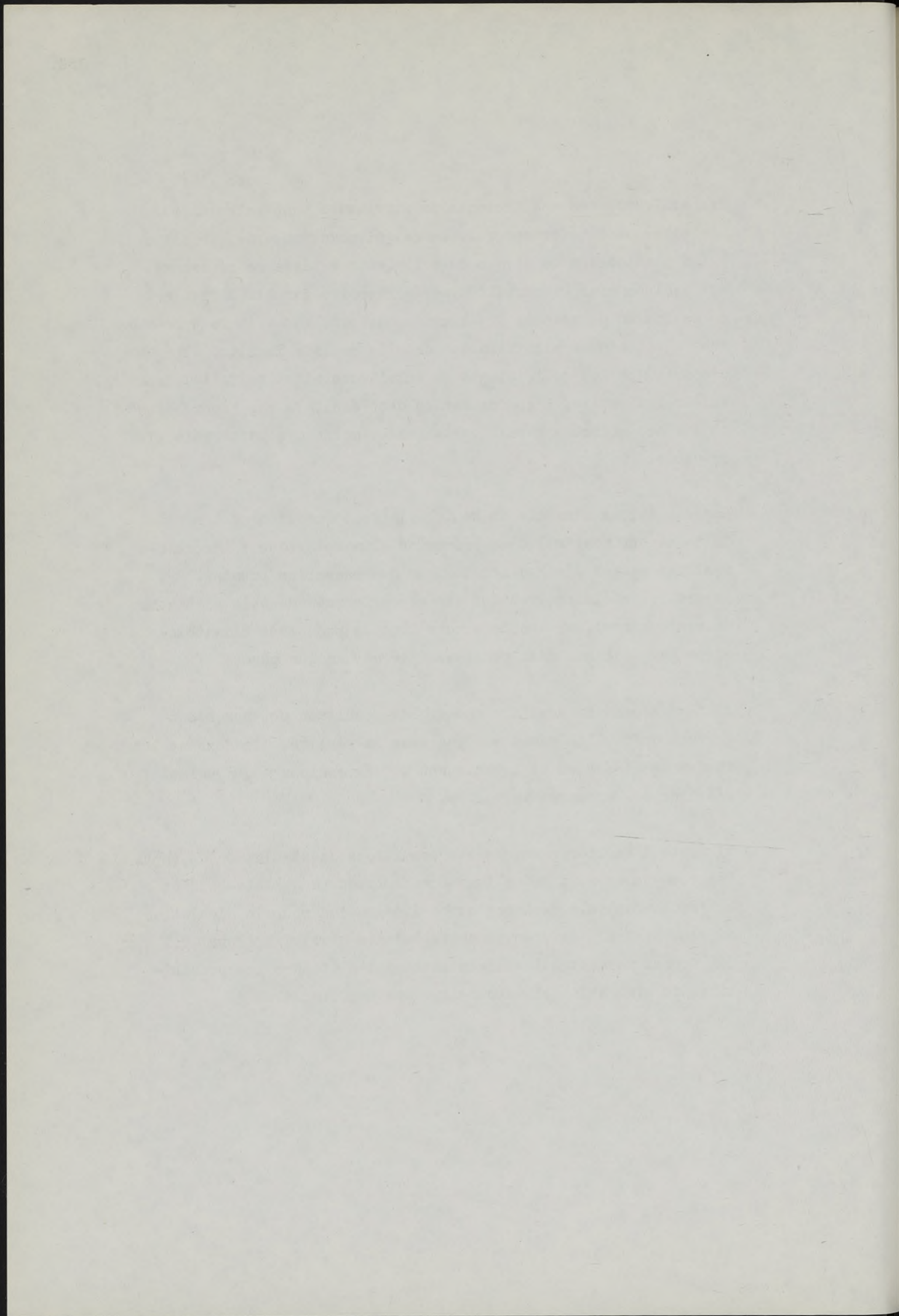
Les coefficients de survitesses trouvés ne seraient applicables qu'à des vents d'origine dynamique (même s'ils sont rabaissés à moins de 4 m/s par l'influence de l'environnement).

Par ailleurs, ces coefficients de survitesse sont calculés sur une vitesse de référence qui, en ce qui nous concerne, se situe à 1,5 m au dessus du niveau du sol. Cette vitesse de référence est évaluée pour un certain type de rugosité par l'application de la loi en puissance. Or, à cette hauteur, les valeurs trouvées n'ont aucune signification dans la réalité in situ. Il s'ensuit que les coefficients de survitesse n'ont en fait qu'une valeur indicative. L'approximation des résultats par "fourchette" et surface affectée serait certainement moins frappante mais plus crédible.

Les conditions d'essais en soufflerie font que l'on ne traite qu'un aspect ponctuel d'un phénomène climatologique : l'écoulement des masses d'air à l'intérieur des ensembles urbains. Or, malgré les réels progrès qui ont été effectués dans la simulation du vent naturel, on aborde encore trop ce phénomène climatologique par le biais d'un problème d'aérodynamique pure.

Il faut cependant admettre que si les résultats obtenus n'ont souvent qu'un lien assez éloigné avec la réalité, ils donnent les tendances générales et constituent un dégrossissage qui permet d'éviter des erreurs flagrantes.

Il reste à améliorer encore les conditions de simulation du vent. Des recherches sont actuellement effectuées (aux Etats-Unis et à l'Ecole centrale de Lyon) sur l'intégration pour la simulation du vent naturel de phénomènes turbulents d'origine thermique. Cet apport permettrait vraisemblablement d'étendre les possibilités de simulation climatologique des souffleries.



## **2. INSERTION CLIMATIQUE**

UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
LIBRARY

I - LE CONTEXTE CLIMATIQUE REGIONAL



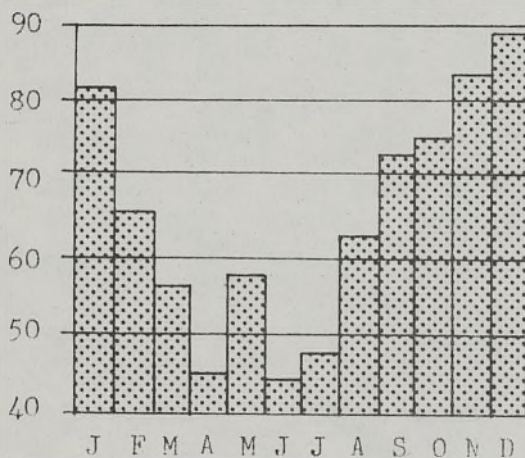
Le climat océanique vrai est marqué par une instabilité du temps, des vents assez forts et une atténuation des valeurs extrêmes des différents paramètres climatologiques.

On peut cependant noter pour la région nantaise une baisse des pluies en saison chaude et un renforcement du maximum en automne-hiver.

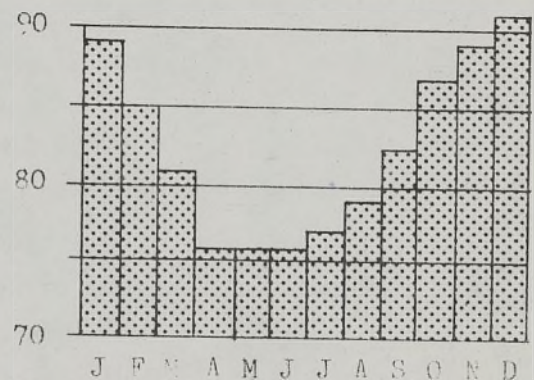
#### PRECIPITATIONS ET TAUX D'HUMIDITE RELATIVE

La moyenne annuelle des précipitations est assez modérée (inférieure au mètre), alors que le taux moyen mensuel d'humidité relative descend rarement au-dessous de 80 %, avec des maximum hivernaux dépassant les 90 %

La courbe pluviométrique indique des valeurs extrêmes assez marquées. Cependant, les niveaux relevés pour la saison chaude ne sont pas suffisants pour aboutir à un changement d'état (soit par dépassement d'un seuil du degré d'évapo-transpiration, soit par passage à une période sèche).



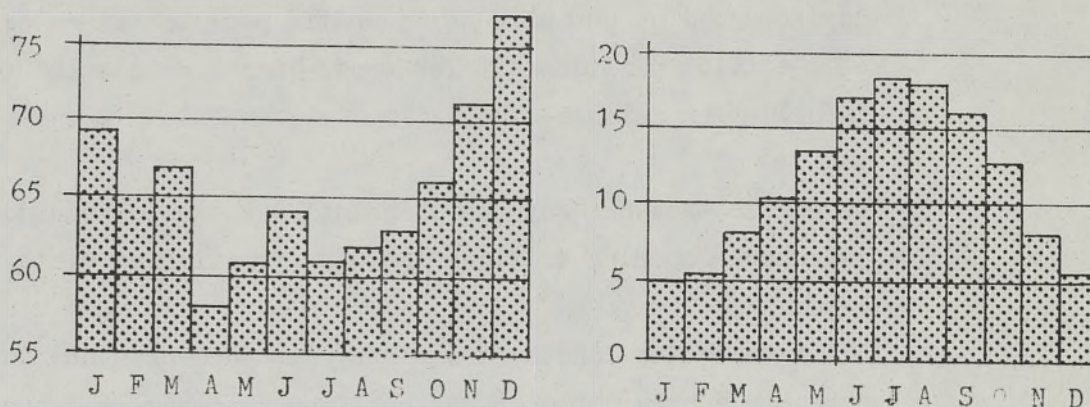
HAUTEURS MOYENNES DES PRECIPITATIONS  
(en mm)



HUMIDITE RELATIVE MOYENNE  
(en pourcentage)

## LES TEMPERATURES

La moyenne annuelle est relativement basse. Elle est l'expression d'une variation saisonnière réelle. En fait, les faibles amplitudes diurnes et mensuelles ne doivent pas masquer la fréquence des variations instantanées de la température. Si l'on reconstituait les moyennes saisonnières, on remarquerait que ce type de variation est beaucoup plus significatif autour de la moyenne hivernale que pendant la saison chaude.



VALEUR MOYENNE DE LA NEBULOSITE TOTALE  
(en pourcentage, de 6 h à 18 h)

TEMPERATURE MOYENNE  
(sous abri)

## LA DUREE D'INSOLATION

La courbe de l'ensoleillement théorique pour la latitude de Nantes, indique une moyenne journalière de l'ordre de 14 h 1/2 pour la période estivale et d'environ 10 h 1/2 pour l'automne-

hiver. La courbe des valeurs moyennes, compte tenu du degré de nébulosité, montre un effondrement de toutes les valeurs, avec des moyennes saisonnières de 5 h 1/2 d'ensoleillement à la belle saison, et une moyenne d'automne-hiver de l'ordre de 3 h, présentant son minimum en Décembre (2,2 h).

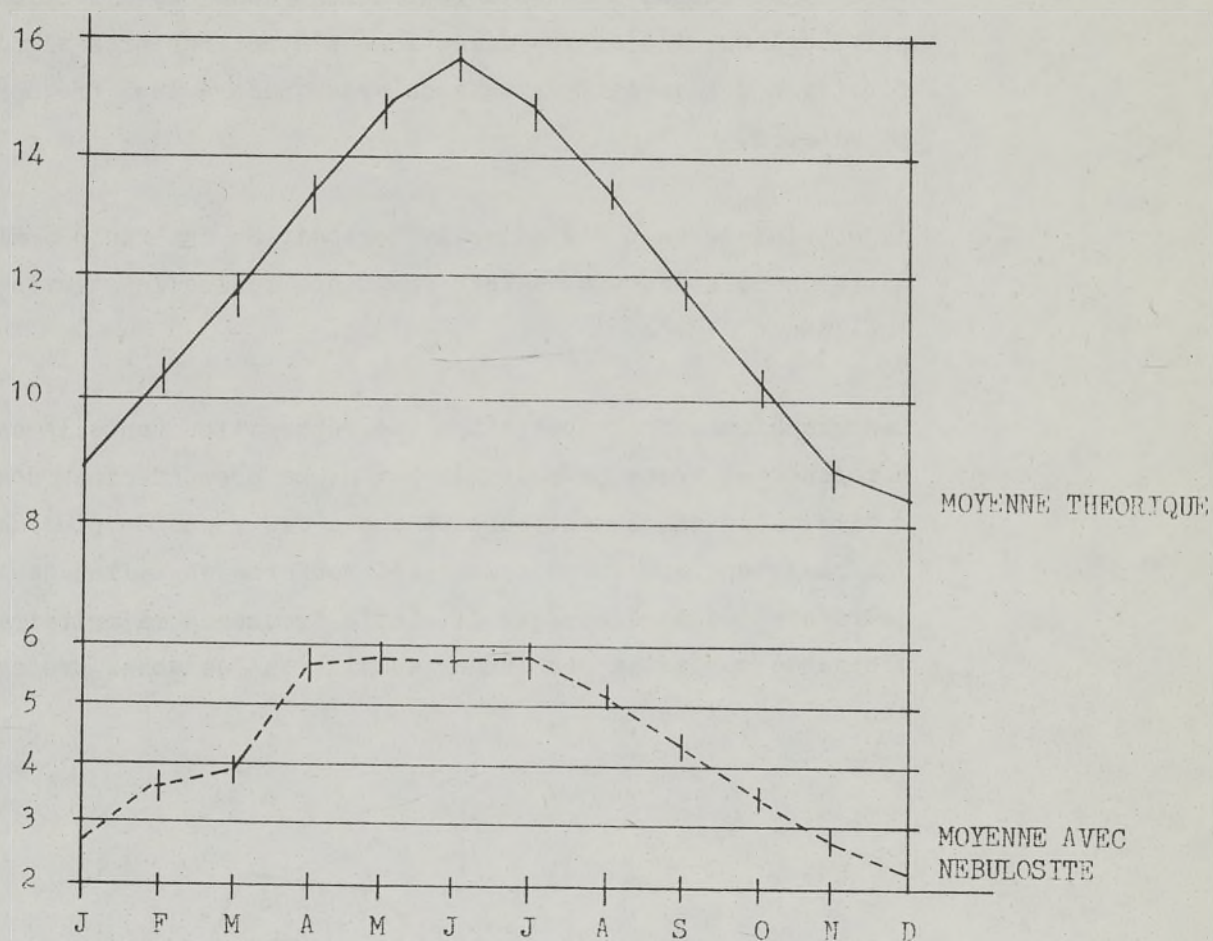
Cette distorsion de la courbe d'ensoleillement indique en outre, une variation intra-saisonnière plus faible en été et plus forte en hiver, ainsi qu'une augmentation des rapports de moyenne intersaisonniers.

Enfin, si la perte de la durée d'insolation journalière est de l'ordre d'un peu plus de la moitié pour la saison estivale, elle atteint pratiquement les trois-quarts de l'ensoleillement théorique en automne-hiver.

La faible présence moyenne du soleil à cette période de l'année ne rendra que plus critique toute affirmation de cette tendance.

L'influence des constructions sur l'absence-présence du soleil sera seule prévisible et systématique à l'échelle des variations instantanées.

Là encore, toute variation, du temps d'ensoleillement en automne-hiver, est beaucoup plus significative du changement d'état qu'en été.



MOYENNE JOURNALIERE D'ENSOLEILLEMENT  
(en heures)

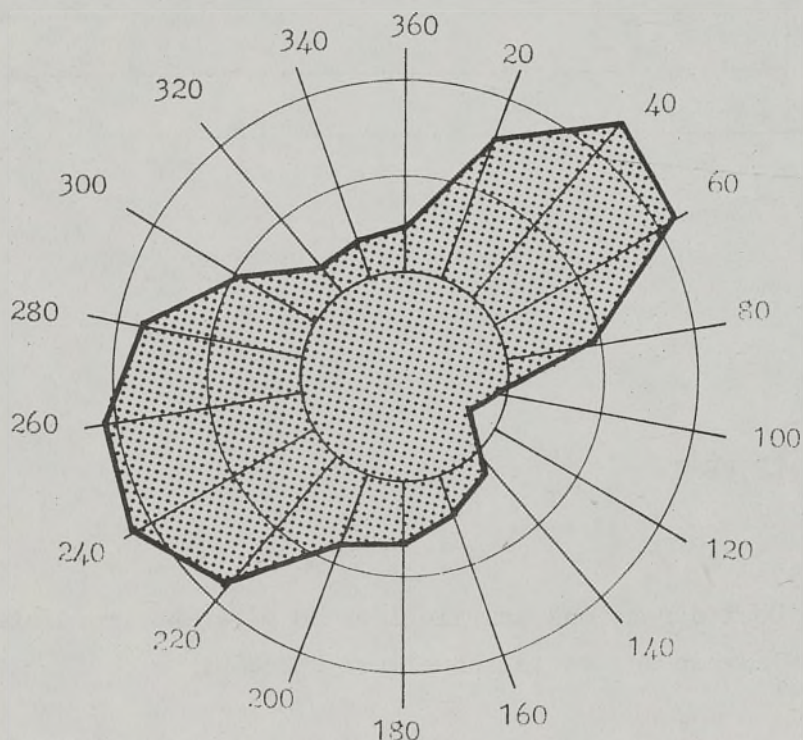
#### LE VENT

Deux directions privilégiées se dégagent immédiatement de la rose des vents annuelle : NE, WSW.

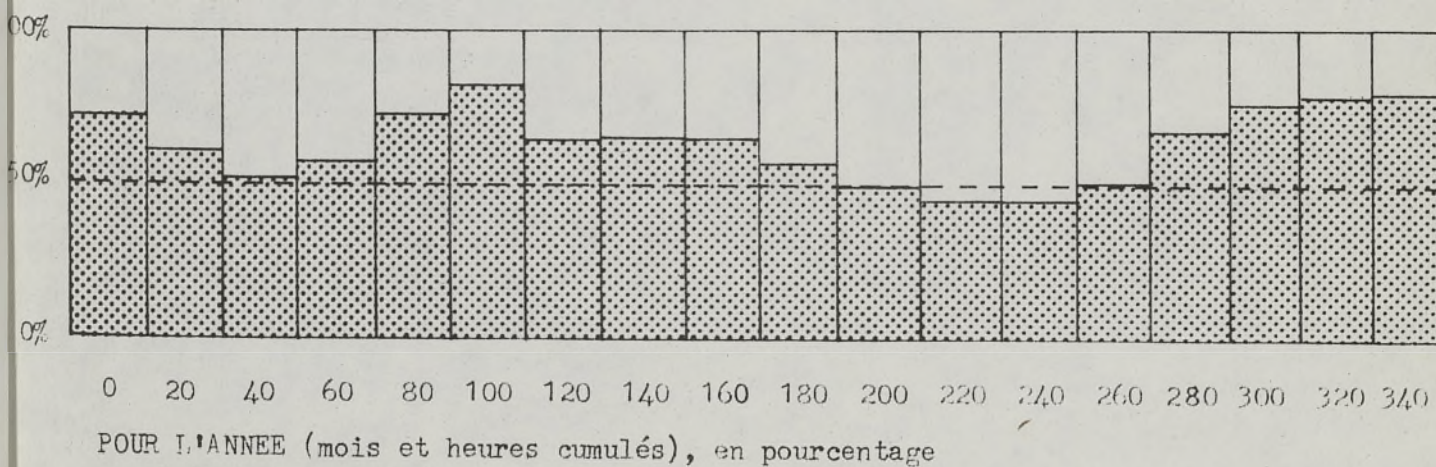
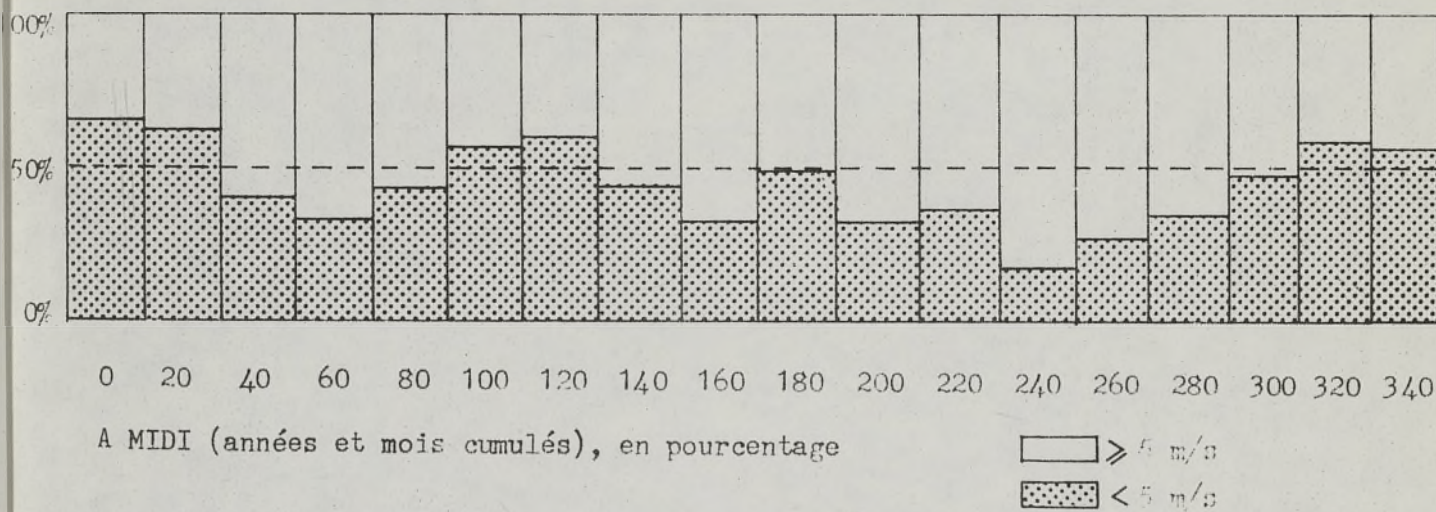
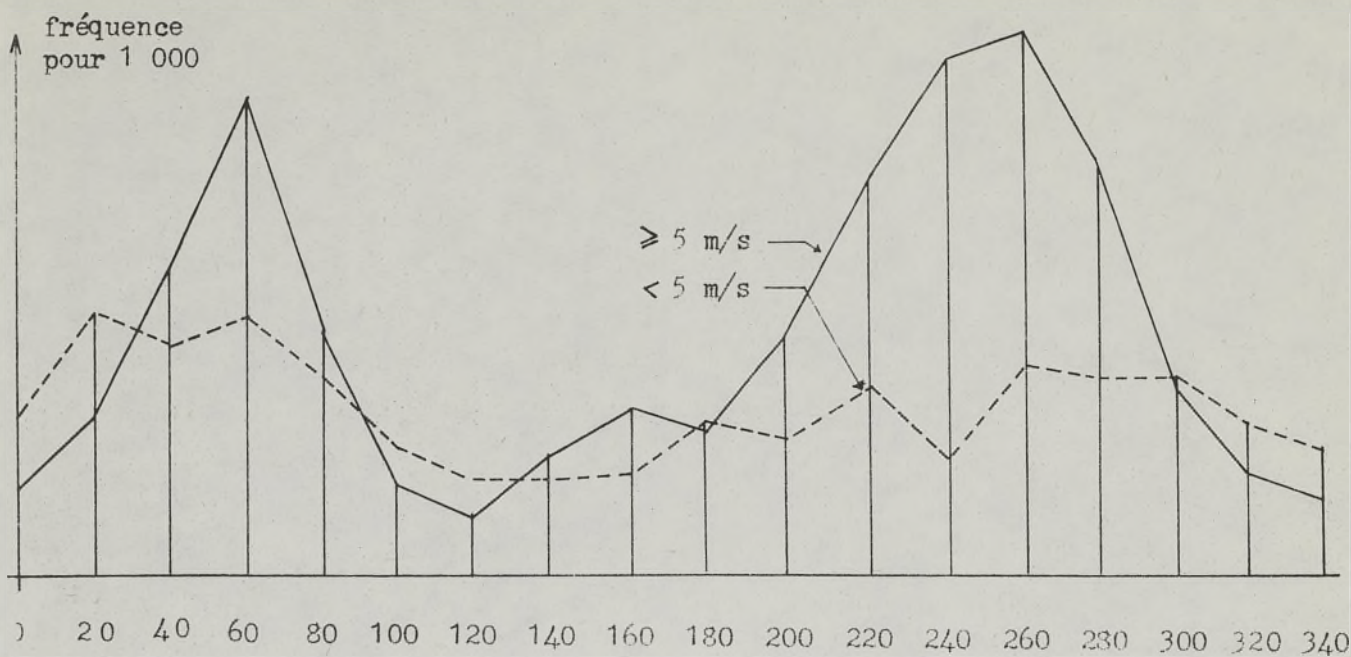
La répartition des fréquences des directions par mois nous indique une nette prépondérance des vents N.E. en automne-hiver et des vents de W et SW en été. Au total, dans plus de 60 % du temps, les vents souffleront dans ces directions privilégiées, les autres directions n'étant pas très significatives des variations saisonnières quant à leur fréquence et vitesse.

Il est intéressant d'étudier la composition des vents dominants du point de vue de leur fréquence mensuelle et éventuellement diurne.

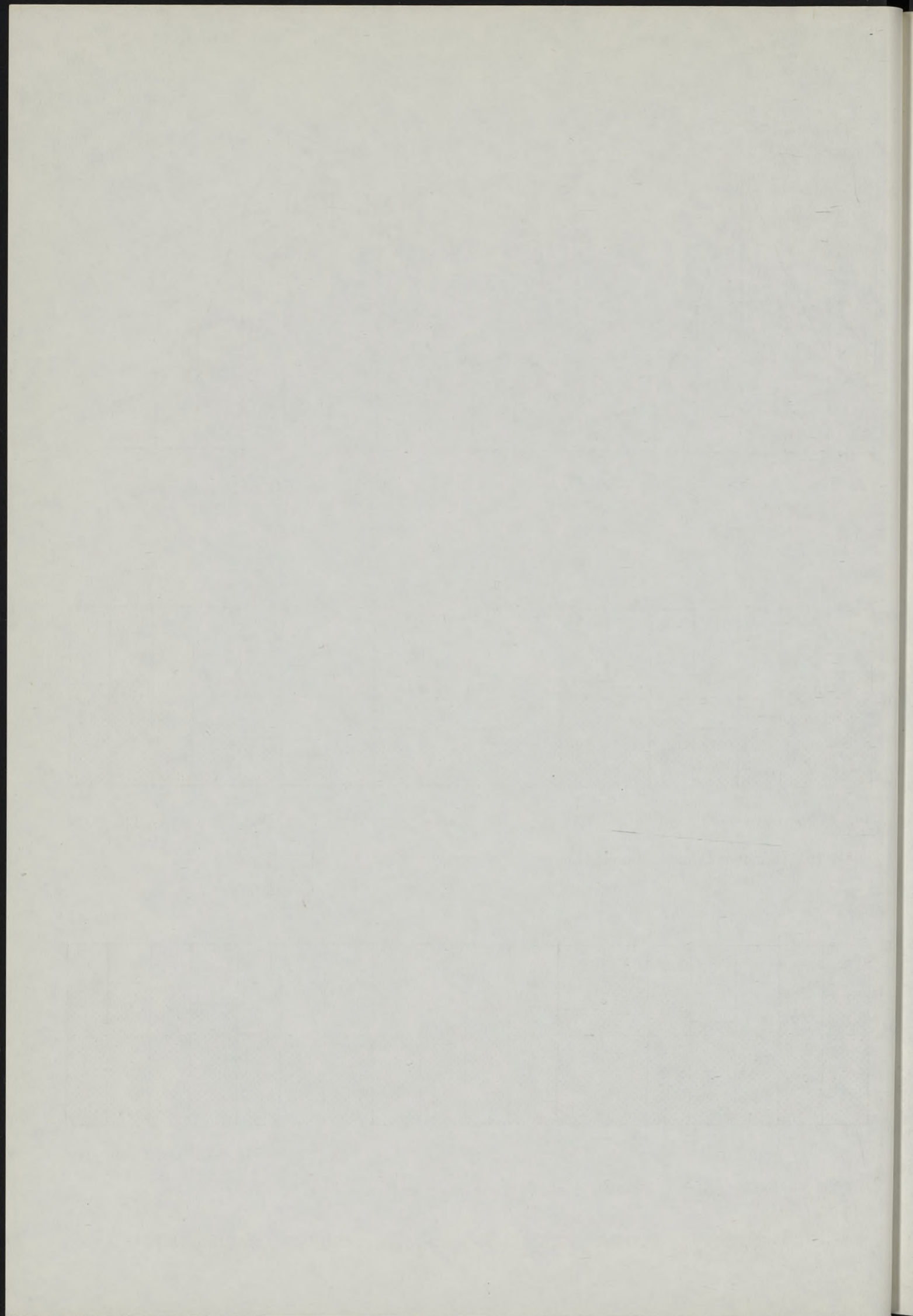
Les graphiques font apparaître une répartition annuelle assez homogène des vents de moins de 5 m/s. La prépondérance des 2 directions NE, SW est surtout due à des vents de plus de 5 m/s. Notons que le phénomène est renforcé en milieu de journée et début d'après-midi. Cette fréquence majoritaire des vents conduit à rechercher aussi bien les zones protégées que celles exposées.



ROSE DES VENTS POUR L'ANNEE A NANTES  
(en fréquence moyenne pour 1000)



FREQUENCE DES VENTS DE VITESSES  $<$  et  $\geq 5 \text{ m/s}$ , SUIVANT LES DIRECTIONS



II - SITUATION DES PARAMETRES VENT ET SOLEIL DANS L'APPROCHE CLIMATOLOGIQUE



En général, aucun des différents paramètres du climat pris isolément ne permet d'établir un diagnostic net du degré de confort. Dans le cas de la région nantaise, la présence fréquente de la pluie et sa répartition irrégulière dans le temps ne permet pas d'en faire un élément caractéristique d'une période ou d'une saison. Par ailleurs, les valeurs extrêmes ne sont pas décisives pour l'appréciation du confort, dans la mesure où il n'y a pas de très grand froid ou de grandes chaleurs.

Pour cette variété du climat océanique, le degré de confort résultera donc davantage de la combinaison de configurations de valeurs des différents paramètres climatologiques, non plus à l'échelle "intersaison" ou des moyennes mensuelles, mais à celle des variations instantanées (à l'image de l'instabilité du temps).

L'influence, sur le degré de confort, des variations des valeurs des différents paramètres est déterminante pour la période d'automne-hiver dans la mesure où ils sont les plus proches de leurs seuils critiques respectifs.

Si les moyennes mensuelles de température hivernale intègrent cette proximité des seuils dans leur ensemble, les variations des configurations se reflèteront sur les écarts instantanés de température.

Pour la période considérée, ceux-ci sont très significatifs du degré de confort, puisqu'ils permettent d'osciller entre des températures froides ou douces pour le climat.

En automne-hiver, à l'échelle de la variation instantanée, la température apparaît comme un bon indice du degré de confort.

A la saison hivernale, il apparaît que le phénomène absence-présence du soleil est représentatif des variations instantanées de température.

Le vent, par sa turbulence et sa vitesse, peut provoquer une gêne à lui seul, mais lorsqu'il est combiné avec la présence ou l'absence de soleil, il trouve ses effets accentués, essentiellement dans la période considérée.

Les deux paramètres "vent et soleil" seront très modifiés à l'échelle micro-locale par la présence de volumes bâtis.

L'analyse des états présence-absence du soleil et les variations de vitesses provoquées par la présence du bâti s'avèrent suffisantes dans le cas de Rezé, pour établir le sens des variations de température en divers points de l'espace étudié. En effet :

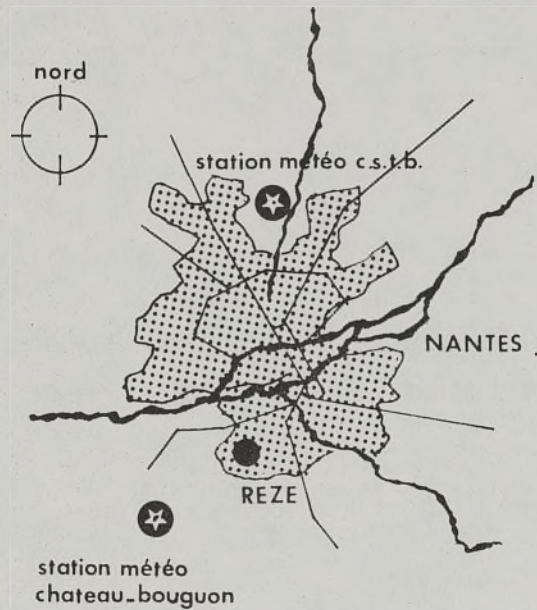
- Les espaces inter-bâtiments sont suffisamment ouverts pour négliger les rétentions de chaleur que l'on constate par exemple dans les grands centres villes, atténuant ainsi les baisses de températures dans l'après-midi. Les faibles hauteurs du soleil hivernal et les forts degrés d'hygrométrie ne pourraient d'ailleurs permettre des rétentions importantes.
- Le second facteur généralement cité, et susceptible d'atténuer les températures hivernales sur un ensemble urbain est la résultante "combustions urbaines" : c'est-à-dire essentiellement le trafic automobile et la chaleur qui se dégage des bâtiments.

Mais à Rezé, considéré dans son ensemble, les espaces sont trop ouverts et le trafic trop peu important pour provoquer en hiver un radoucissement sensible des températures.

Le controle et l'analyse de ces modifications perçues en différents points de l'espace inter-bâtiments, sont par conséquent, utiles dans une approche du confort.

III - MODES DE TRANSFORMATION DES PARAMETRES RETENUS A L'ECHELLE  
LOCALE ET MICRO-LOCALE

La présence d'une ville de 400 000 habitants comme Nantes, est de nature à modifier, dans son environnement proche, les données sur le vent et les températures fournies par la station météo régionale de Château-Bougon.



Cependant, la proximité géographique et l'absence d'influence orographique permettent de transformer de manière relativement systématique, les données statistiques fournies par la station météo pour le cas du secteur considéré de Reze, supposé dégagé de ses bâtiments.

Le problème de la validité des données, rapporté à leurs valeurs, à leur type et à leur mode de transposition, se pose à une échelle plus fine.

### MODIFICATIONS DES DONNEES METEO POUR LE VENT

Pour le vent, il faut retracer "son histoire" par une définition du taux de turbulence et du gradient vertical de vitesse, avant même d'envisager les perturbations introduites par l'implantation et les formes des bâtiments.

C'est à l'échelle micro-locale, que ces perturbations seront analysées comme des modifications de la structure fine du vent pour chaque point de l'espace étudié.

Les données dont nous disposons sont d'une part, les relevés statistiques du vent fournis par la station météo, et d'autre part, les coefficients de survitesse correspondant aux mesures prises pour des points de l'espace de Rezé lors des essais en soufflerie.

#### LES DONNEES METEOROLOGIQUES PRISES EN COMPTE :

- Les fréquences d'apparition de chaque vitesse moyenne pour une période donnée.

Dans le cas de la région nantaise, la période hivernale présente d'importantes différences mensuelles vis à vis de ce phénomène.

Nous avons donc établi les distributions des fréquences pour chaque mois, définissant une journée type du mois.

- Les variations trihoraires

Chaque seuil de vitesse possède une courbe de fréquence diurne particulière et propre à chaque mois. Cette courbe rendra significative ou non la prise en compte, pour une

période de la journée, des fréquences d'apparition du seuil de vitesses associées.

Nous avons donc établi les tableaux mensuels des variations trihoraires (de 3 h à 24 h) par seuil de vitesse et par mois, toutes directions confondues.

#### INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT

Elle est du type :

$$\bar{V}_z^i = Q \times \bar{V}_{10\text{ m}}^{\text{MN}}$$

où  $\bar{V}_z^i$  : vitesse moyenne au point "i", situé à l'altitude  $z$ , issu de  $\bar{V}_{10\text{ m}}^{\text{MN}}$

$\bar{V}_{10\text{ m}}^{\text{MN}}$  est une vitesse moyenne à 10 m

$Q$  = coefficient intégrant l'influence de l'environnement et le coefficient du survitesse (influence du site bâti).

Cette relation va provoquer un nouvel ensemble de vitesses possibles, formant une partition de l'ensemble des vitesses météo. Les groupements des données relatifs à cette partition seront de nature à modifier les valeurs des paramètres exposés ci-dessus pour un même seuil de vitesse.

Nous nous attacherons à décrire des modes de transformations, leur niveau d'intervention, employé pour modéliser l'influence de l'environnement sur la répartition de la vitesse des vents. Nous définirons une relation simple entre 2 types de données différentes afin d'aboutir à une connaissance des mêmes types de données fournies par la station MN, mais appliqués à n'importe quel point de l'espace étudié, à Rezé.

MODIFICATIONS DES DONNEES METEO, POUR LE SOLEIL

L'influence de site sur les données d'insolation (degré de nébulosité) est un phénomène trop complexe pour envisager un mode de transformation systématique des données météo de la station voisine aux données locales, analogue à celui utilisé pour le vent. L'échelle des modifications ne se situe pas au niveau de la définition d'un type de tissu (urbain, campagne). Elle est liée au contexte plus global de la situation géographique de la zone étudiée (relief - plaine - plateau, échanges dynamiques hors de la couche limite). Les seules bases possibles et utilisables seraient donc les mesures réalisées in situ.

Cependant, les données d'insolation enregistrées à la station météo de Nantes peuvent s'appliquer au site de Rezé, en raison de sa proximité, de la régularité et l'uniformité du relief et du paysage.

A l'échelle micro-locale, nous pouvons calculer pour divers points de l'espace, leur durée d'ensoleillement théorique, liée à la présence et à l'impact des objets constituant l'environnement ; en supposant toujours présent le soleil, donc un degré de nébulosité, en site dégagé, nul.

Ces mesures devraient être mises en relation avec des données locales concernant les fréquences d'apparition du soleil, afin d'établir un bilan réel d'ensoleillement d'un point.

Les deux types de mesures sont d'ordre différent : l'une est une mesure climatologique (basé sur des relevés statistiques), l'autre détermine l'influence des formes construites sur un phénomène analysé hors du contexte climatologique.

Les données météo n'interviennent donc pas dans l'établissement des mesures microlocales. Le croisement de ces données relève plus de la superposition que de la mise en relation. En effet, la durée d'inso-



lation vraie pour un point, ne se réduit pas obligatoirement à la somme des 2 pourcentages d'insolation calculés (météo, sites construits) puisque la répartition dans le temps de la nébulosité est aléatoire, dans la période considérée, et les possibilités de recoupement des périodes d'ombre sont multiples.

Définir le niveau de pondération du coefficient de nébulosité dans la prise en compte du bilan d'ensoleillement théorique est donc très difficile à formaliser de manière systématique. Notons que les causes de ces difficultés proviennent à la base, du contexte climatique tempéré servant de support d'application à l'instrumentation.

Dans d'autres contextes climatiques, aux degrés de nébulosité beaucoup plus réguliers et typifiés (climats tropicaux ou subtropicaux), la pondération des données microlocales par le degré de nébulosité local aurait été beaucoup plus pertinente et facile à établir. Il resterait néanmoins à définir les éléments de l'environnement qui influent sur les variations du degré de nébulosité de façon à permettre le passage des données de la station météo au site local.

### INFLUENCE DU VENT ET DE LA NEBULOSITE SUR LES TEMPERATURES

En ce qui concerne les températures, on peut s'attendre à des variations (positives pour Rezé), à l'échelle locale par rapport aux données météo. Pour le secteur de la rose des vents et la période retenus, les pôles respectifs des modifications des données sur le vent et le soleil interviennent schématiquement de la manière suivante :

- L'effet d'ilot de chaleur de la ville diminue très rapidement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de celle-ci. Il sera d'autant plus important que le contexte urbain immédiat à Rezé provoque une fréquence plus importante des vents calmes (  $\leq 2$  m/s).
- Les vents plus forts vont diminuer l'importance des phénomènes de rayonnement. Cependant, la prépondérance des échanges dynamiques provoqués par les vents de secteur NE, engendre le même phénomène de radoucissement des températures puisque l'air, traversant la ville avant d'arriver sur Rezé, va se charger de calories.

L'influence de la vitesse du vent sur les écarts de températures, bien que réelle et quantifiable par des observations in-situ (cf bibl.13) n'aura pour nous, qu'une valeur indicative puisque d'une part, le sens des variations de température apportées par les modifications des vitesses de vents est unique, et que d'autre part, cette variation serait beaucoup trop fine pour qu'elle soit significative à l'échelle locale (notamment en ce qui concerne les températures moyennes annuelles et mensuelles).

Quant à l'influence du degré de nébulosité, l'étude de P. DUCHENE-MARULLAZ met bien en évidence que, pour des vents faibles, plus le degré de nébulosité est faible, plus les écarts de température sont importants ( $|\Delta T| < 0,5 \%$ ) ; dans notre cas, ils seraient positifs pour Rezé, les vents venant de la ville.

A la suite de cette rapide évaluation de l'ampleur des modifications des paramètres retenus, (Rezé étant considéré comme un tout homogène, face à l'influence de son environnement urbain), il semble que, seules les modifications de la structure du vent soient assez significatives pour que leur modélisation par des lois plus ou moins empiriques puisse se substituer à des observations in-situ.

MODIFICATION DE LA STRUCTURE FINE DU VENT

1) A L'ECHELLE LOCALE : LE GRADIENT VERTICAL DE LA VITESSE MOYENNE.

La baisse des vitesses moyennes repérées à 10 m au-dessus du sol entre la station météo et Rezé en site dégagé, peut être évaluée en utilisant la loi empirique de variation de la vitesse moyenne avec la hauteur.

Une des distributions les plus simples pour un écoulement turbulent est la loi en puissance décrite dans la première partie de ce chapitre. Elle s'exprime suivant la forme :

$$\frac{\bar{V}_z}{\bar{V}_{10}} = \left( \frac{z}{10} \right)^\alpha$$

où  $\bar{V}_z$  est la vitesse moyenne à une certaine altitude  $z$   
 $\bar{V}_{10}$  est la vitesse moyenne à 10 m  
 $\alpha$  est un paramètre lié à la rugosité du sol.

Les valeurs couramment admises pour les sites "campagne" et "banlieue" sont respectivement :

$$\alpha = 0,14$$

$$\alpha' = 0,25$$

$$z = 270 \text{ m}$$

$$z' = 330 \text{ m}$$

$z$  et  $z'$  étant les hauteurs de la couche limite turbulente pour lesquelles la vitesse du vent  $\bar{V}_G$  n'est plus influencée par la nature du sol.

$$\text{On a : } \bar{V}_G = \bar{V}_{10m}^{MN} \times \left(\frac{270}{10}\right)^{0,14} = \bar{V}_{10m}^{\text{banlieue}} \times \left(\frac{330}{10}\right)^{0,25}$$

D'où :

$$\bar{V}_{10m}^{\text{banlieue}} = \bar{V}_{10m}^{MN} \times 0.66$$

On peut penser que cette réduction théorique de 34 % des vitesses des vents météo est une estimation correcte puisque P. DUCHENE MARULLAZ, à partir de données enregistrées simultanément au C.S.T.B. de Nantes et à Château-Bougon, en déduit la relation de corrélation :

$$\bar{V}_{\text{CSTB}} = \bar{V}_{\text{MN}} \times 0.67$$

Et ceci, en dépit d'une distance géographique et d'une influence orographique beaucoup plus importante qu'entre Rezé et la station météo.

Si l'on s'intéresse maintenant à la modification de la composition des vitesses des vents à une hauteur de 2 m pour un même type de rugosité, on a :

$$\bar{V}_{2m}^{\text{Rezé}} = \bar{V}_{10m}^{\text{Rezé}} \times \left(\frac{2}{10}\right)^{0,25}$$

Donc, la relation entre les vitesses moyennes de vents, relevées à la station météo à 10 m et celles estimées en site dégagé à Rezé, à une hauteur de 2 m, est :

$$\bar{V}_{2m}^{\text{Rezé}} = \bar{V}_{10m}^{MN} \times 0.44$$

Ce qui donne la composition des vitesses suivantes :

VITESSES METEO (m/s)

	2	3	4	5	6	7	8	>8
2								
3								
4								
5								

VITESSES  
RESULTANTES  
A REZE, A 2 M  
(en site dégagé)

Le tassement des vitesses moyennes est important. La majorité des vents calmes correspond à des échanges thermiques liés à des phénomènes radiatifs puisque la classe des vents inférieurs ou égaux à 2 ms est composée de vents ne dépassant pas les 5 m/s.

Il est probable que la répartition diurne des vents calmes soit assez homogène. En effet, les fréquences maximum prévisibles en milieu de journée des vents météo de 4 et 5 m/s, sont compensées par les maximum de nuit pour les vents de 2 et 3 m/s. En revanche, les vents de 3 et 4 m/s, ne devraient plus posséder la même répartition diurne telle qu'elle apparaît à Château-Bougon.

Il faut être prudent quant à l'évaluation brute pour la loi en puissance de la composition des vents en "site dégagé", à une très faible hauteur du sol. Plus la zone étudiée se situe près du niveau du sol, plus la composition théorique des vitesses du vent sera modifiée par les accidents très locaux (nature du sol, type de végétations....)

En fait, cette estimation n'est significative que statistiquement, sur un espace fictif de référence.

Cependant, en recréant les conditions générales de la structure fine du vent atteignant Rezé, l'utilisation de la loi en puissance permet un recalage des données statistiques au coefficient de survitesse.

#### A L'ECHELLE MICRO-LOCALE : INFLUENCE DU COEFFICIENT DE SURVITESSE.

Les résultats souffleries sont seuls capables de nous indiquer les transformations de la composition des vitesses moyennes des vents, à une hauteur donnée, pour les différents points de l'espace étudié.

Le coefficient de survitesse (K) pour un point donné est :

$$K = \frac{\overline{V}_z}{\overline{V}_{zR}}$$

où  $\overline{V}_z$  est la vitesse constatée en soufflerie au point donné et à la hauteur z.

$\overline{V}_{zR}$  est la vitesse moyenne de référence à la hauteur en site dégagé compte tenu de la rugosité pour une vitesse  $V_1$  arbitraire envoyée en essai soufflerie.

Puisque l'essai en soufflerie porte sur des coefficients de survitesses calculés à 2 m de hauteur, avec une reconstitution des types banlieue, la modification de la composition des vitesses moyennes des vents entre les données et chaque point de l'espace urbain étudié, est évaluée pour la relation :

$$\sqrt{\text{Point étudié}} = K \cdot 0.44 \times \sqrt{10M}$$

Ainsi, pour deux valeurs de K extrêmes, fréquemment rencontrées, on obtiendrait les compositions des vitesses de vents suivantes :

VITESSES RESULTANTES

K = 0,5

		VITESSES METEO (m/s)							
		2	3	4	5	6	7	8	> 8
VITESSES RESULTANTES	2	■	■	■	■	■	■	■	
	3								■
	4								

VITESSES RESULTANTES

K = 1,5

		VITESSES METEO (m/s)							
		2	3	4	5	6	7	8	> 8
VITESSES RESULTANTES	2	■	■						
	3			■	■				
	4					■			
	5						■	■	
	6								■
	7								

Il est certain que pour des coefficients de survitesse de l'ordre de 0,5 le tassement des vitesses moyennes réduites à des vents météo devient très significatif, quelque soit la période diurne retenue.

Si l'on considère le résultat de l'essai en soufflerie présenté au chapitre suivant, on constate que les coefficients



de survitesse atteignent rarement 0.5. La moyenne des sous-vitesses se situant aux alentours de 0,8, il semblerait, a priori, qu'il n'y ait pratiquement pas d'espace bien "protégé du vent".

En fait, dès que K est inférieur à 0,9, la structure des vitesses des vents pour un point de l'espace se rapproche très rapidement de celle engendrée pour un K de 0,5. Il semble donc que les espaces protégés soient beaucoup plus nombreux qu'en première estimation.

Le coefficient de 1,5 provoque l'apparition de vents de plus de 4 m/s dans les proportions et dans une composition presque équivalente aux vitesses de 3 et 4 m/s en site dégagé "banlieue" pour une hauteur donnée (2 m).

On note aussi la diminution des vents calmes avec des fréquences maximum trihoraires pendant la nuit.

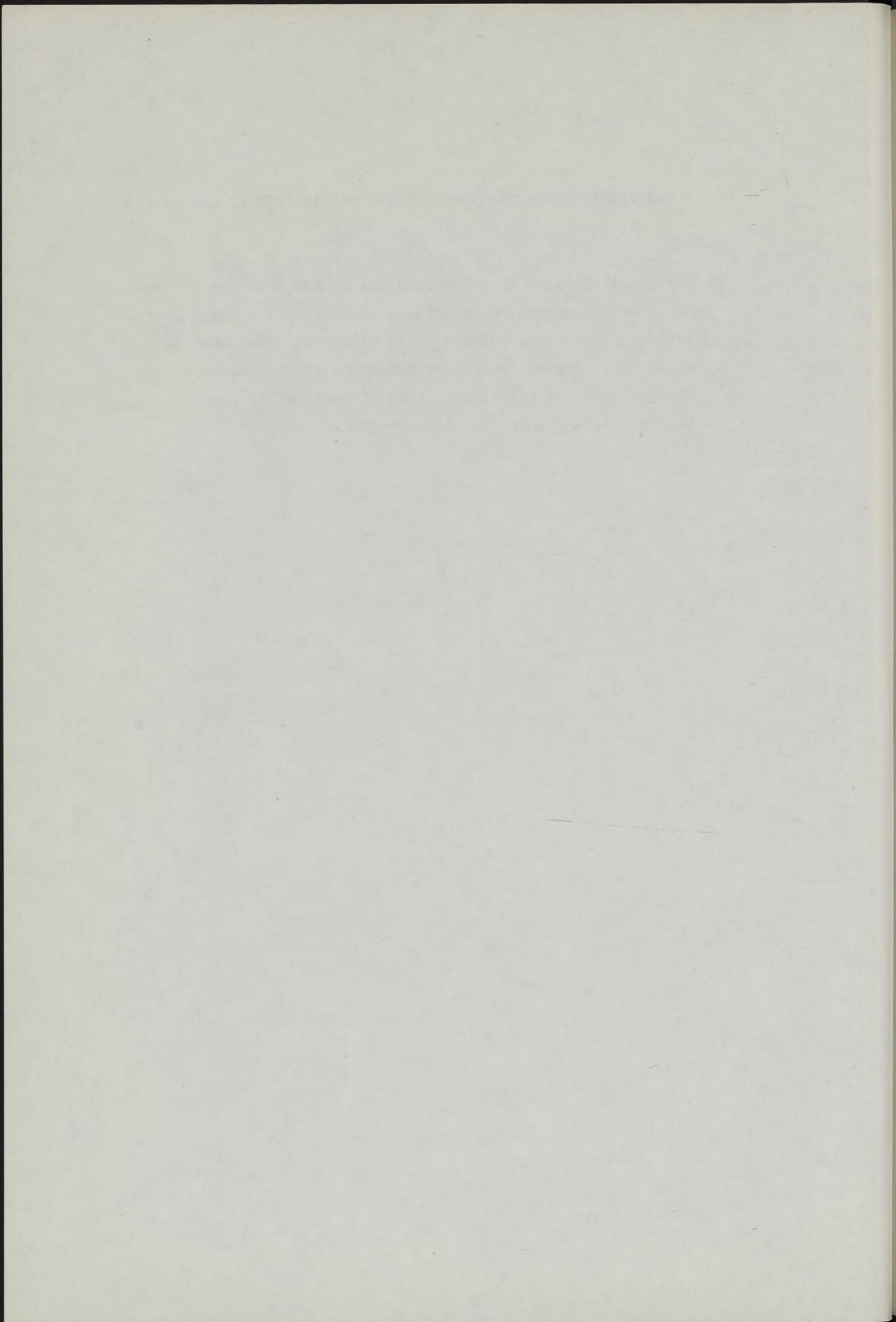
Quant aux vents de 3 m/s, leur variation diurne est probablement modifiée par rapport à celle correspondante en site dégagé (2 m, type banlieue) puisque leur nouvelle composition regroupe des vents météo dont les fréquences d'apparition se situent surtout en milieu de journée.

Nous venons de voir que l'influence de l'environnement quelque soit l'échelle, sur la structure fine du vent, s'étend aux points suivants :

- disparition ou apparition de seuil de vitesse (tassement ou continuité)
- transformation probable du pourcentage des seuils de vitesse.

- modification des périodes diurnes significatives des seuils de vitesse.

Une quantification de ces effets est rendue possible par les modes de transformation décrits ci-dessus. Ils mettent en relation 2 types de données d'ordre différent : les données météo (les pourcentages des vitesses de vents, les moyennes tri-horaires par mois et seuils de vitesse) et le coefficient de survitesse d'un point d'observation.



IV - APPLICATION DES TYPES DE MODIFICATIONS A REZE ET AUX ESPACES ETUDIES

MODIFICATIONS DES FREQUENCES DES VENTS NORD-EST, PAR SEUIL DE VITESSE.

Le manque d'homogénéité du type de données, dans la période retenue, nous a conduits à établir des relevés statistiques mensuels. Le tableau ci-dessous indique, pour les relevés de la station météorologique, la composition mensuelle des fréquences des vents par seuil de vitesse du secteur Nord-Est sur toutes les directions confondues.

Chaque total représente le pourcentage pour le mois considéré, des vents de secteurs Nord-Est, par rapport aux autres directions.

VITESSE METEO EN M/S

	2	3	4	5	6	7	8	> 8	TOTAL
NOVEMBRE	2.2	4	5.5	4.2	4.86	2.7	1.7	3.13	28.3
DECEMBRE	1.9	3.93	5	4.03	3.7	3.8	2.7	2.43	27.6
JANVIER	3.16	5.73	5.43	4.9	5.3	5.1	3.5	3.7	37.1
FEVRIER	1.53	3.5	6.7	7	6.6	4.83	4.4	3.97	38.5

A 10 M, A LA STATION METEOROLOGIQUE.

Nous avons ensuite calculé, à partir de ces données météo, la composition des fréquences mensuelles des vitesses des vents aux différentes échelles.

A Rezé, à une hauteur de 2 m en site dégagé, nous avons vu que la composition des vitesses des vents locaux résultait d'un tassement des vitesses origine.

On obtient ainsi une nouvelle composition mensuelle des fréquences des vents par seuil de vitesse, pour le secteur Nord-Est.

## VITESSE METEO EN M/S

	2	3	4	5	6	7	8	> 8	TOTAL
NOVEMBRE	15.93	7.56	4.83						28.3
DECEMBRE	14.86	7.53	5.19						27.6
JANVIER	19.22	10.63	7.25						37.1
FEVRIER	18.73	11.4	3.57						38.5

A 2 M, A REZE, EN SITE DEGAGE

A l'échelle micro-locale, ces résultats seront à leur tour, modifiés par la valeur du coefficient de survitesse associé à chaque point de l'espace étudié de Rezé.

Pour des points munis d'un coefficient de survitesse faible, il est évident que les transformations des données se résument à la présence pratiquement unique des vents calmes ( $\leq 2$  m/s).

Les coefficients de survitesse, de l'ordre de 1,5 provoquent en revanche, une augmentation des vitesses à l'échelle locale.

Les fréquences d'apparition de ces seuils de vitesses appliquées aux points de l'espace possédant un fort coefficient de survitesse pour le secteur NE et par mois, deviennent :

## VITESSE METEO EN M/S

	2	3	4	5	6	7	8	> 8	TOTAL
NOVEMBRE	6.23	9.7	4.86	4.4	3.13				28.3
DECEMBRE	5.83	9.03	3.7	6.6	2.43				27.6
JANVIER	8.3	10.3	5.55	8.6	3.73				37.1
FEVRIER	5.03	13.7	6.6	9.23	3.9				38.5

A 2 M, A REZE AVEC K = 1,5

## LES VARIATIONS DIURNES

On suppose que les variations des pourcentages tri-horaires par seuil de vitesse et par mois pour le secteur N.E. sont assimilables aux variations toutes directions confondues. Quelque soit le mois considéré, les différentes modifications prévues à partir des compositions des vitesses de vent s'avèrent vérifiées.

En effectuant les transformations décrites au paragraphe précédant, on établit les nouvelles variations trihoraires par seuils de vitesses et par mois, aux différentes échelles. Obtenant alors un tassement des différences inter-mensuelles, nous avons représenté seulement les modifications des données météorologiques à l'échelle locale et microlocale (avec  $K = 1,5$ ), pour le mois de novembre.

		HEURES								
		3	6	9	12	15	18	21	24	TOTAL
VITESSES EN M/S	2	13.6	16.1	13.5	6.8	7.6	14.4	11	16.9	23.8
	3	17.2	17.2	9.1	11.1	11.1	12.1	12.1	10.1	19.9
	4	15.6	8.4	14.4	10.8	18.1	12	10.8	9.6	16.7
	5	5.7	8.6	10	15.7	17.1	11.4	15.7	15.7	14.1
	6	13.6	9.1	18.2	13.6	6.8	15.1	13.6	9.1	8.9
	7	7.1	17.9	10.7	14.3	21.4	10.7	7.1	10.7	5.6
	8	11.1	11.1	11.1	17.9	11.1	0	22.2	14.8	5.4
	>8	3.7	3.7	14.8	29.6	11.1	17.9	11.1	7.4	5.4

DECEMBRE

	HEURES									
	3	6	9	12	15	18	21	24	TOTAL	
VITESSES EN M/S	2	14.2	12.6	11.7	11.3	10.5	12.6	13.4	13.4	47.3
	3	7.9	12.5	12.5	15.9	7.9	12.3	11.3	12.5	18.33
	4	12	8	18	12	22	8	14	6	10
	5	8.1	10.8	13.5	18.9	21.6	5.4	13.5	8.1	8.3
	6	20	12	16	4	4	16	12	16	5.2
	7	10.5	10.5	15.7	26.3	21.1	5.2	0	10.5	3.5
	8	8.3	25	8.3	8.3	16.6	8.3	8.3	16.6	3.1
	>8	20	15	10	15	10	5	10	15	4.2

## NOVEMBRE

	HEURES									
	3	6	9	12	15	18	21	24	TOTAL	
VITESSES EN M/S	2	13.1	18	12.3	8.2	9.8	12.1	13.1	13.1	24.6
	3	14.3	11.9	14.3	9.5	7.1	14.3	10.7	17.8	16.9
	4	13.5	6.2	12.3	12.3	12.3	9.9	17.3	16	16.3
	5	11.3	8	14.5	11.3	14.5	21	14.5	4.8	12.5
	6	11.7	13.7	7.8	19.6	15.7	7.8	9.8	13.7	10.3
	7	21	13.4	18.4	18.4	10.5	5.3	10.5	2.6	7.6
	8	0	25	10.7	14.3	17.8	10.7	10.7	10.7	5.6
	>8	6.6	3	6.6	20	26.6	16.6	6.6	13.3	6

## JANVIER

	HEURES									
	3	6	9	12	15	18	21	24	TOTAL	
VITESSES EN M/S	2	12	13.7	16.1	8.8	7.2	9.7	15.3	16.9	27.7
	3	18.8	15.8	5.9	5.9	8.9	8.9	16.8	13.9	22.5
	4	15.1	13.6	15.1	12.1	12.1	9	15.1	9	14.7
	5	4.9	12.2	19.5	17	7.3	14.6	7.3	17	9.1
	6	5.7	5.7	11.4	14.3	28.6	14.3	2.8	17.1	7.8
	7	12.5	12.5	8.3	12.5	20.8	12.5	16.6	4.1	5.4
	8	14.3	0	7.1	21.4	21.4	21.4	7.1	7.1	3.1
	>8	7.1	9.5	4.3	23.8	21.4	9.5	9.5	7.1	9.4

## FEVRIER



Les différentes fréquences trihoraires, par seuil de vitesse, pour l'ensemble des directions, et pour le mois de novembre, deviennent alors :

		HEURES								
		3	6	9	12	15	18	21	24	TOTAL
VITESSES EN M/S	2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.5	13.2	13.2	12.5	83.5
	3	16.6	11.9	16.6	9.5	11.9	11.9	7.14	14.3	87.5
	4	14.3	17.1	8.6	20	11.4	5.7	8.6	14.3	7.3

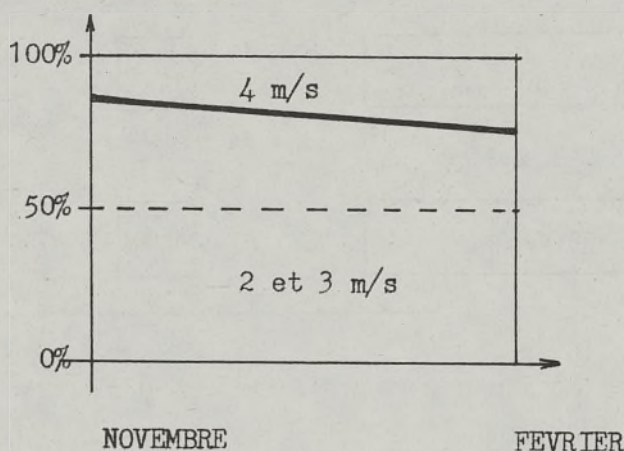
A 2 METRES, EN SITE DEGAGE, A REZE

		HEURES								
		3	6	9	12	15	18	21	24	TOTAL
VITESSES EN M/S	2	12.9	12.9	11.4	10.7	10.1	14.8	13.3	13.3	65.8
	3	9	9	15.9	17	21.6	6.8	13.6	6.8	18.3
	4	20	12	16	4	4	16	12	16	5.2
	5	9.3	15.6	12.5	21.8	18.7	6.2	3.1	12.5	6.6
	6	20	15	10	15	10	5	10	15	4.1
	7									
	7									

A 2 METRES, A REZE, AVEC K = 1,5

Les données météo, pour le secteur N.E., indiquant les fréquences d'apparition par seuil de vitesse et par mois, reflétaient des différences marquantes et non régulières.

Les fréquences calculées en site dégagé à Rezé et à une hauteur de 2 m font apparaître une même structure de données quelque soit le mois avec une diminution progressive des vents faibles (2 et 3 m/s) lorsque l'on va de Novembre à Février. On a schématiquement :

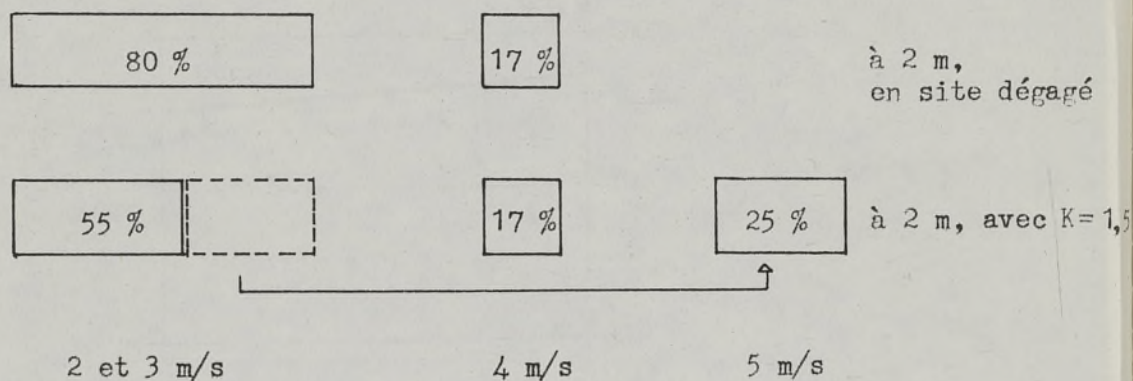


Pour ce qui concerne la composition des vents en un point de l'espace muni d'un coefficient de 1,5, on constate là encore, un type de composition des fréquences par seuil de vitesse, unique pour toute la période retenue. On peut faire les remarques suivantes :

- toujours assez forte proportion des vents faibles (2 et 3 m/s) d'environ 60 % des vents NE.
- création de vents supérieurs ou égaux à 5 m/s des vents NE.

- le pourcentage des vents de 4 m/s se situant entre 15 et 20 % (Il est donc du même ordre qu'en site dégagé, ce qui n'était guère prévisible si l'on se reportait à ses compositions respectives.)

Tout se passe comme si l'influence de la survitesse 1,5 en un point de l'espace de Rezé pendant la période retenue, provoquait les modifications suivantes par rapport au site dégagé "Banlieue" à 2 m.



A l'examen des fréquences mensuelles initiales, on ne pouvait s'attendre à une telle homogénéité de la période retenue pour des points de l'espace de Rezé et ceci indépendamment de la valeur du coefficient de survitesse.

### **3. INTERPRETATIONS**

С. И. ПЕТРОВИЧ

## ETUDE DU CENTRE VILLE DE CHOLET

Les études aérodynamiques ont porté sur les directions N-NE et O-SO, définies à l'issue d'une analyse statistique des vitesses, directions et fréquences des vents sur le site. 32 points de mesure ont été retenus sur la zone du centre ville choisie pour l'essai d'instrumentation.

La configuration irrégulière du tissu urbain ne permettait pas, comme nous l'avons signalé, de procéder à un dépistage automatique des anomalies ; il a fallu recourir à un essai sur maquette en soufflerie.

Simultanément, pour 25 points, définis sur la même zone, on a établi les pourcentages d'occultation théorique des rayons solaires par les bâtiments environnants, ceci pour les différentes périodes de la journée et de l'année (application du programme SOL).

Le choix des emplacements pour l'une et l'autre des simulations relevait à la fois de considérations fonctionnelles (zone affectée à un certain type d'activités) et de l'estimation, a priori, de l'existence d'effets particuliers. Il n'a donc pas été opéré de manière systématique, sous forme d'un semis régulier et rigoureusement commun.

Avant d'aborder l'interprétation conjointe des résultats des simulations des effets aérodynamiques et de l'ensoleillement, il faut préciser d'entrée les obstacles rencontrés et les limites qu'ils fixent à l'opération.

Tout d'abord, pour ce qui a trait au phénomène solaire, on doit rappeler que la définition du rayonnement théorique reçu par un point, ne correspond pas au bilan réel d'ensoleillement. Il faudrait,

pour donner une description plus complète du phénomène, prendre en considération la distribution statistique de la nébulosité, et, au moins à l'échelle mensuelle, effectuer une pondération des pourcentages théoriques obtenus.

Cette précision fait également défaut pour la simulation du vent. Nous avons insisté précédemment sur la nécessité d'aborder le phénomène correspondant d'un point de vue davantage "climatologique" qu'aérodynamique. Ceci implique en particulier, une bonne connaissance de la distribution statistique des vents (en fréquence vitesse et direction) ainsi que la possibilité de simuler des effets thermiques (inducteurs de vents faibles) dans les ensembles bâtis.

Faute des éléments correspondants, les informations sur les effets du vent présentent le caractère assez grossier d'un indice renseignant localement sur une survitesse ou sous-vitesse ainsi que sur l'intensité de turbulence pour une incidence de vent donnée et par rapport à une situation de référence.

Il n'y a donc pas compatibilité entre le niveau relatif de précision (distribution par heure et par mois) obtenu pour la simulation solaire et celui fourni par la simulation aérodynamique.

L'interprétation croisée des résultats ne peut donc se faire que par l'appréciation empirique des effets conjoints pour un secteur donné. Ainsi, dans le cas du Centre ville de CHOLET, peut-on, à partir des simulations effectuées, procéder, soit par mise à jour des zones affectées par les nuisances du vent, dont on vérifiera les conditions théoriques d'ensoleillement ; soit à l'inverse par dépistage des points peu sollicités par les rayons solaires, pour lesquels on cherchera des informations à caractère aérodynamique.

Nous avons opté pour la première solution qui nous a conduit à relever, sur le plan de la zone d'étude, les secteurs qui étaient jugés critiques à l'issue du passage en soufflerie. Parallèlement, nous avons traduit les bilans annuels théoriques d'ensoleillement obtenus par mois sur des histogrammes qui permettent une appréciation globale (du même ordre que celle résultant de l'étude aérodynamique).

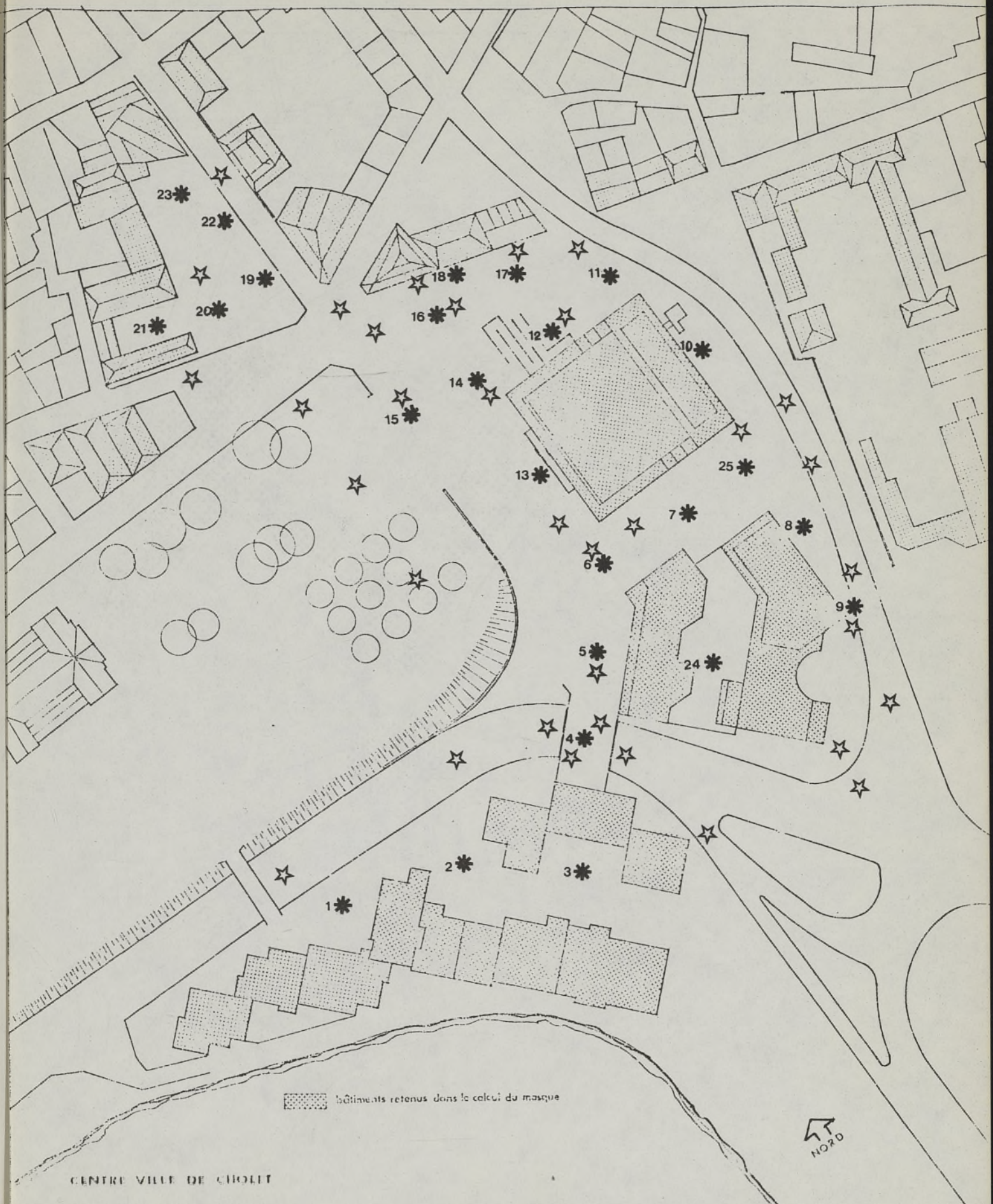



De manière arbitraire, on peut estimer, à la lecture de ces bilans de l'ensoleillement théorique cumulé par mois, que certains points sont peu sollicités par les rayons solaires en raison des masques des bâtiments environnants. Il s'agit spécialement des points (1), (6), (10), (8), (12), à un moindre titre, des points (13), (5), (11), (3).

Nous pouvons conclure, toujours de manière globale, et, sur une appréciation cumulée ne rendant pas compte de la distribution réelle des phénomènes, que des zones du centre ville seront à la fois exposées au vent et mal ensoleillées (zones correspondant aux points (6), (10), (8)).

Ce type d'information peut être utilisé pour l'évaluation a posteriori du projet comme cela a été le cas pour l'exemple présent, soit pour l'évaluation en phase d'instrumentation de la mise en forme.

Ces deux types d'utilisation induisent des diagnostics de modification des dispositions et des volumes projetés ou d'amélioration des conditions locales par création de dispositifs corrigeant les nuisances (pare-vents, écrans, talus... etc).

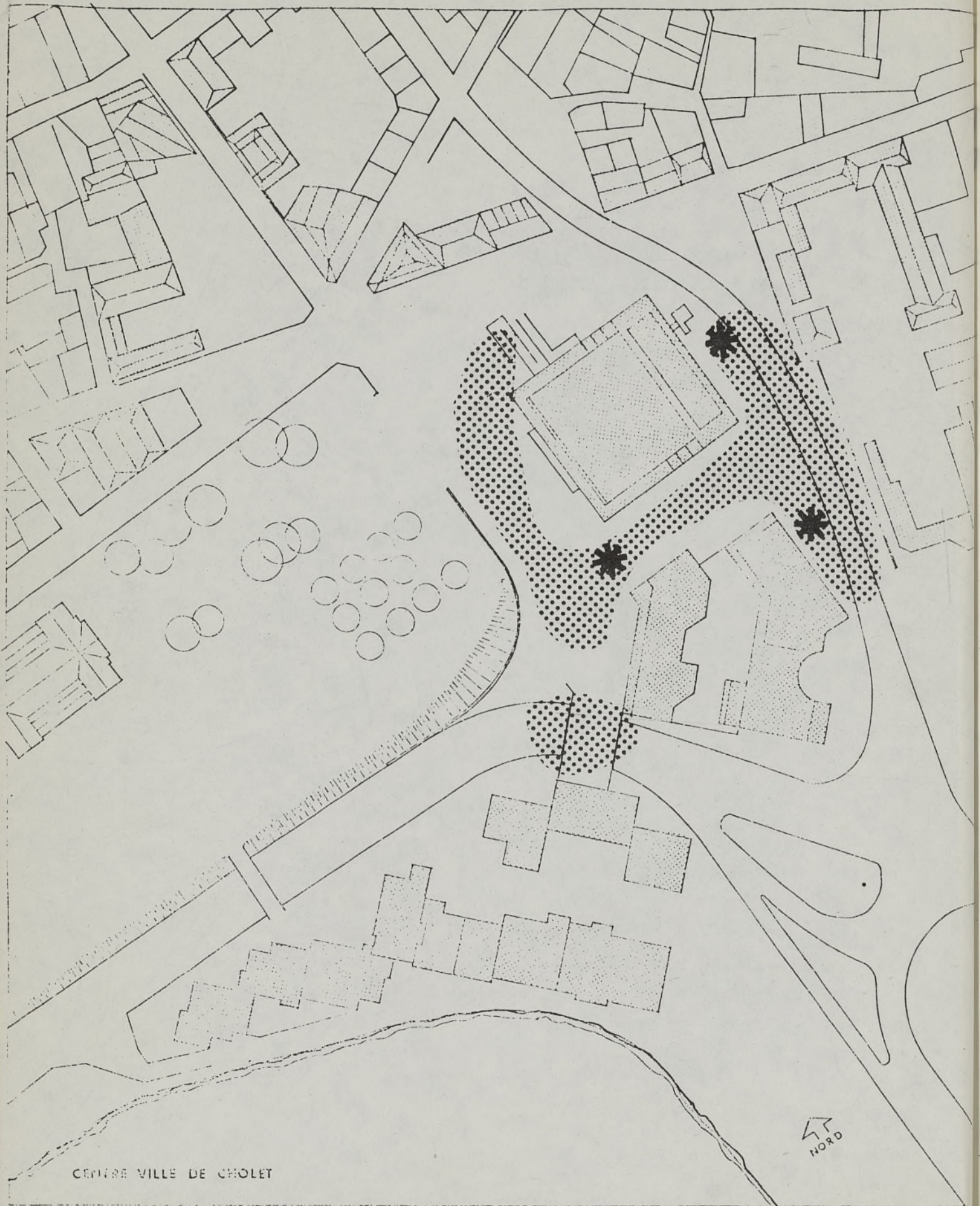


 bâtiments retenus dans le calcul du masque



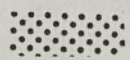
CENTRE VILLE DE CHOLET

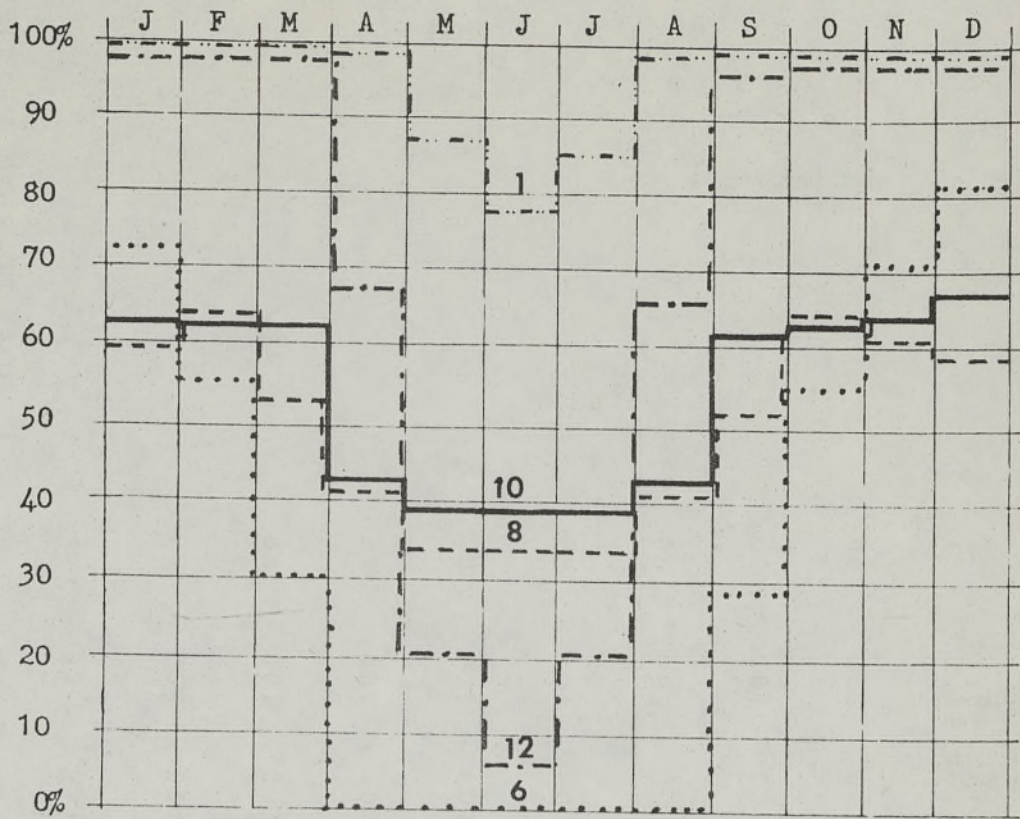
- \* évaluation du masque
- ☆ point de mesure en soufflerie



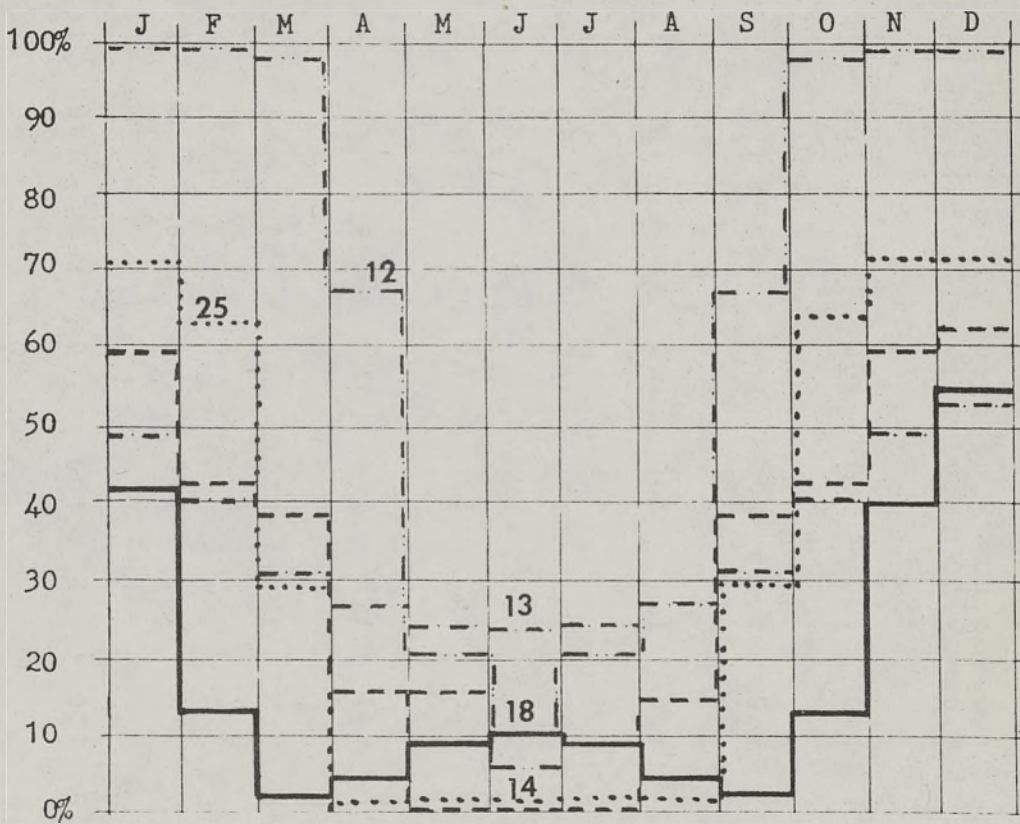
CENTRE VILLE DE CHOLET

NORD

 zones exposées au vent



FREQUENCE D'OMBRE MOYENNE PAR MOIS



FREQUENCE D'OMBRE MOYENNE PAR MOIS

DE	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	
A	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	
DU 1/ 1											
AU 31/ 1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
DU 1/ 2											
AU 3/ 3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
DU 4/ 3											
AU 3/ 4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
DU 4/ 4											
AU 4/ 5	99	100	100	100	99	98	100	100	100	100	99
DU 5/ 5											
AU 4/ 6	66	100	100	100	51	53	100	100	100	100	87
DU 5/ 6											
AU 5/ 7	41	100	100	100	16	25	100	100	100	100	78
DU 6/ 7											
AU 5/ 8	65	100	100	100	50	52	100	100	100	100	86
DU 6/ 8											
AU 5/ 9	99	100	100	100	98	97	100	100	100	100	99
DU 6/ 9											
AU 6/10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
DU 7/10											
AU 6/11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
DU 7/11											
AU 7/12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
DU 8/12											
AU 31/12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	89	100	100	100	84	85	100	100	100	100	

BILAN THEORIQUE D'ENSOLEILLEMENT  
DU POINT 1

## ETUDE D'UN SECTEUR DU GRAND ENSEMBLE DU CHATEAU DE REZE

Nous avons isolé une zone du Château de Rezé pour laquelle nous possédions des informations, obtenues en soufflerie, sur les survitesses provoquées par les vents de direction Nord-Est. Nous avons complété l'étude en calculant, sur 8 points d'observation situés au sol, le bilan d'ensoleillement théorique annuel. Des observations sur le secteur choisi nous ont permis de recueillir une information sur les activités qui s'y déroulent et en général, sur le type d'usage qui en est fait par les habitants.

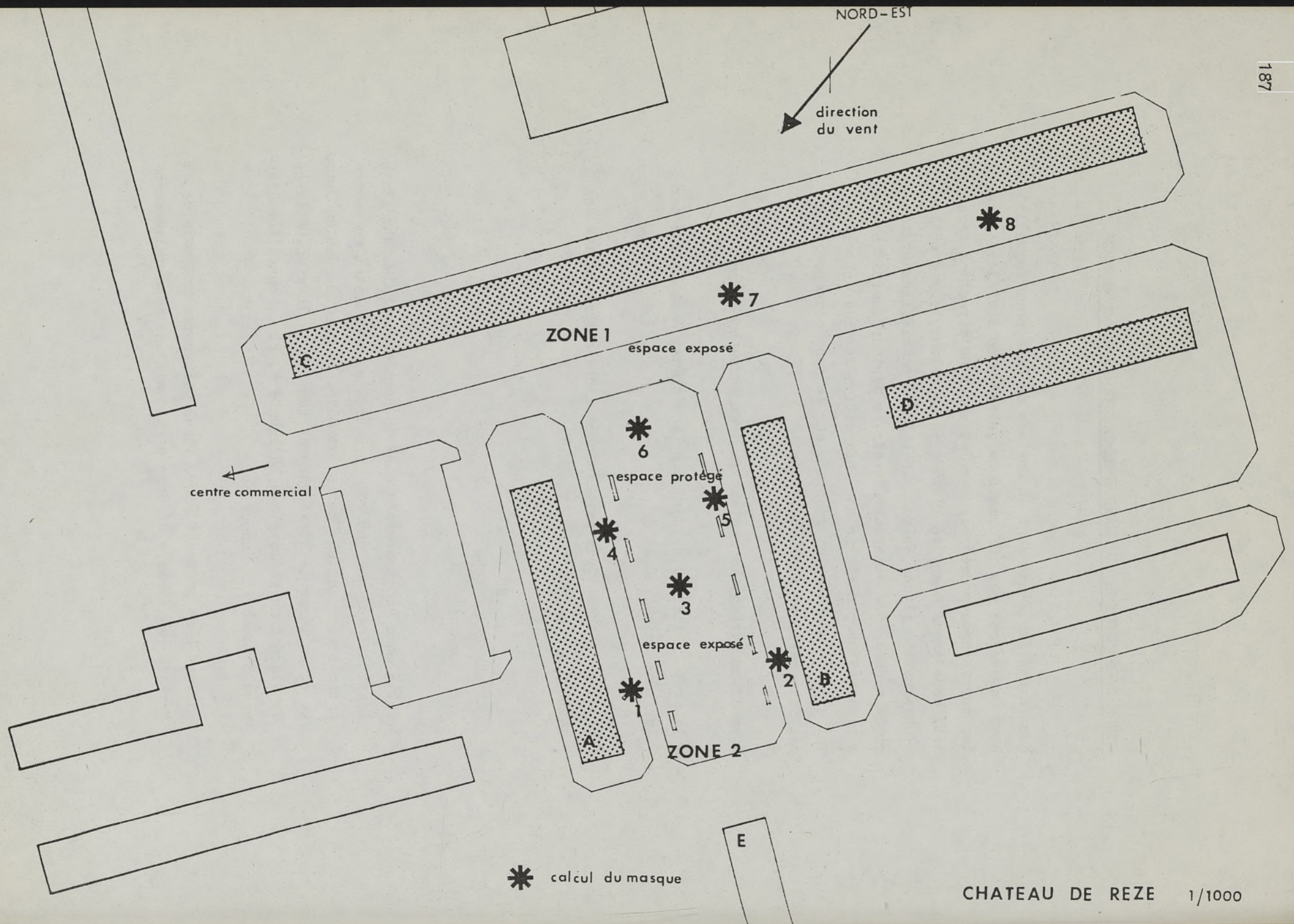
Nous avons partagé le secteur en deux zones homogènes :

- la zone 1, limitée au nord par le bâtiment C et au sud par les bâtiments A, B et D
- la zone 2, constituée par l'espace libre compris entre les bâtiments A et B.

### EXAMEN DE LA ZONE 1

Cette zone est traversée dans la partie centrale, sur l'axe longitudinal, par une voie principale, conduisant au centre socio-commercial du Château de Rezé. De chaque côté de cette voie, un léger talutage gazonné continu le long du bâtiment C, discontinu le long des bâtiments A, B, C, constitue l'espace d'accès aux immeubles.

La zone 1 se présente donc, d'une part comme une voie de transit (voitures), d'autre part comme une zone de desserte



NORD-EST

direction  
du vent

\*8

\*7

ZONE 1

espace exposé

C

D

centre commercial

\*6

espace protégé

\*5

\*4

\*3

espace exposé

\*2

\*1

B

ZONE 2

A

E

\* calcul du masque

des immeubles (principalement C. et D). Au niveau du piéton, les activités se trouvent ainsi concentrées à proximité immédiate des bâtiments C et D ; elles se caractérisent par une dépense en énergie faible : marche lente (aller, retour au centre commercial, entrée et sortie des immeubles), station debout (attente, rencontre, déchargement des provisions) ou assise (lieu de rencontre des enfants, près des accès). Ces activités "calmes", de durée variable, ne permettent donc pas de compenser, par un effort physique, des conditions plus ou moins désagréables de température ou de violence de vent.

Les essais en soufflerie ont permis d'établir que toute la zone 1, à l'exception de l'extrémité est, est soumise à des accélérations de vent importantes, lorsque celui-ci souffle dans le secteur nord est, ce qui est fréquent en hiver ( $K \approx 1,70$  en moyenne). La température faible en cette saison ne fait qu'aggraver cet état. Ces survitesses seraient dues à la présence du bâtiment C en R + 3, en amont de la zone par rapport au vent, qui crée un effet de barre. Des dispositifs de protection devraient donc être envisagés et étudiés.

Dans ce cadre, les résultats de l'ensoleillement deviennent alors très significatifs. En effet, ils sont seuls en mesure d'apporter une légère amélioration à la situation critique due au paramètre "vent" dans la zone. (Notons qu'un calage avec les conditions climatiques de Rezé devrait permettre de quantifier et d'apprécier cet inconvénient plus justement). Les points 6, 7, 8 présentent des bilans théoriques d'ensoleillement très positifs au printemps et en été, mais l'influence du contexte construit se fait sentir, en hiver, en raison de la faible incidence des rayons solaires par rapport au plan de l'horizon. Le point 8 est masqué de façon continue par le bâtiment D ; le point 7 est dans l'ombre par intermittence



(masque de D et de B ou de A) mais possède un bon ensoleillement de 9 h à 11 h et de 13 h à 15 h. Le point 8 montre, quant à lui, un bilan très satisfaisant de 9 h à 13 h quelque soit la saison.

La zone se trouve donc, dans l'ensemble, bien exposée aux rayons solaires. Les obstacles sont peu nombreux et suffisamment éloignés de l'espace piétonnier en bordure du bâtiment C se situant au sud.

#### EXAMEN DE LA ZONE 2

Elle est constituée d'une partie centrale orientée dans l'axe des bâtiments A et B, limitée à l'est et à l'ouest par 2 voies étroites de desserte. Une bande de gazon borde chacun des bâtiments sur toute leur longueur.

Elle correspond en fait à trois ensembles d'activités :

- la desserte des bâtiments piétons : trottoirs, accès aux entrées d'immeubles, activités peu remuantes, discussions, rencontres.
- la zone de voirie, peu fréquentée, les parkings se trouvant à l'extérieur de l'ensemble étudié.
- l'espace central : espace d'activités libres dont le périmètre est jalonné de bancs. Les activités sont ou bien calmes, près des bancs (surveillance des enfants, lecture, repos) et concernent davantage les adultes, ou bien remuantes (jeux, ballon, course, etc...) et intéressent alors les enfants et les jeunes.

La configuration des bâtiments encadrant la zone laisse penser a priori qu'elle est relativement homogène pour ce qui a trait à l'ensoleillement. Les points 1, 2, 3, 4, 5 couvrent la zone :

- 1, 2, à la limite de la voirie et de la desserte des bâtiments au sud,
- 4, 5, à la limite de la voirie et de l'espace central de jeux au nord,
- 3, point central de la zone.

Les bilans d'ensoleillement établis sur l'année indiquent une certaine symétrie des périodes diurnes d'ensoleillement ; les points 1, 4 et 2, 5 étant dans des situations à peu près symétriques par rapport aux immeubles A et B ; le bilan du point 3 est en fait la synthèse des bilans des autres points. Si nous nous intéressons aux fréquences moyennes mensuelles d'ensoleillement, toutes heures confondues, on obtient une relative homogénéité des bilans de points se situant au delà de 60%.

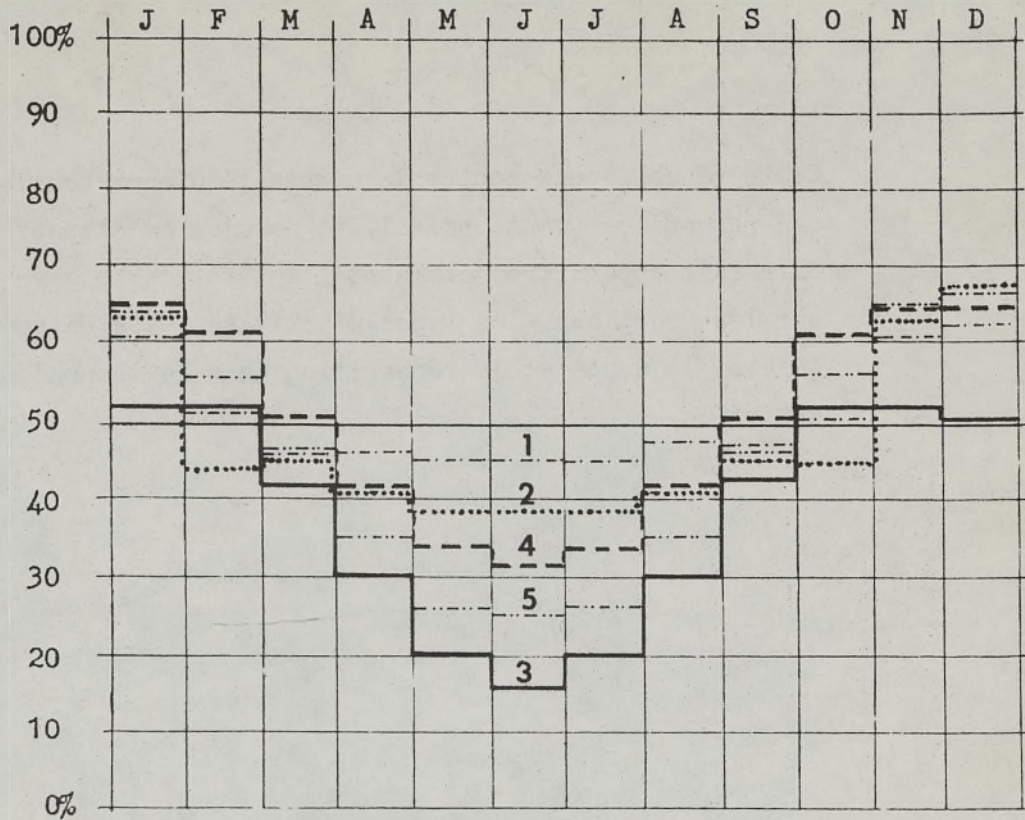
Mais il est nécessaire d'étudier la répartition de ces fréquences moyennes dans la journée, évitant ainsi tout risque d'interprétation hâtive.

Nous constatons pour les points 1 et 4, un ensoleillement maximum durant la matinée (de 9 h à 12 h), le point 4 étant légèrement moins bien ensoleillé avant 9 h, pour toutes les saisons hormis l'été, alors que le point 1 voit une progression de l'ombre entre 9 h et 10 h, en hiver, due à la présence du bâtiment E.

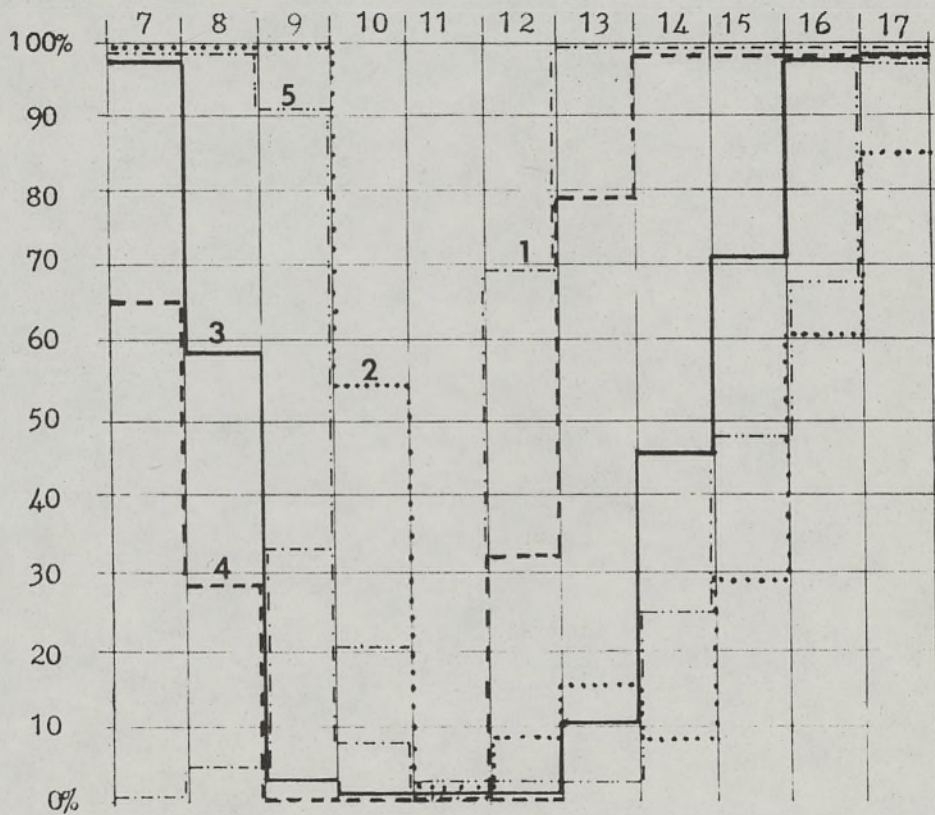
Pour les points 2 et 5, situés à l'ouest du bâtiment B, les bilans sont approximativement inverses dans la journée et c'est l'après-midi que l'on constatera l'ensoleillement maximum. Le point 3 présente un ensoleillement maximum en milieu de journée avec une légère dissymétrie provoquée par l'inclinaison d'environ  $10^{\circ}$  des immeubles A et B, par rapport au Nord.

Pour la zone prise dans son ensemble, le bilan des divers points exprime un déplacement de l'ombre, à proximité du bâtiment B en début de journée, vers le bâtiment A en fin de journée, la partie nord de la zone étant moins bien ensoleillée aux heures extrêmes de la journée, et surtout dans la période hivernale.

Donc, l'espace central vers le sud, reçoit des rayonnements solaires maximum de la zone 2. Les accès aux bâtiments sont le plus souvent à l'ombre (le matin pour B, l'après-midi pour A) et la partie sud-est la plus favorisée. On aurait pu séparer les fonctions (activités calmes, activités remuantes) en caractérisant les espaces qui les supportent. Les activités calmes (repos, surveillance des enfants...) pourraient être regroupées dans la partie sud de la zone, bien ensoleillée, en prévoyant au moyen d'une différence de niveau, ou d'un pare-vent végétal, une protection vis à vis des accélérations des vents nord-est. Les activités plus remuantes, souffrant moins des conditions climatiques, auraient été, dans ce cas, reportées au nord. Pour étudier complètement la question, il faudrait considérer d'autres directions de vents et notamment, la direction Sud-ouest, majoritaire en été. Celle-ci pourrait peut-être engendrer des survitesses dans la partie sud (activités calmes prévues). Celles-ci risqueraient alors de remettre en cause les dispositifs choisis pour la direction nord-est.



FREQUENCE D'OMBRE MOYENNE PAR MOIS



FREQUENCE D'OMBRE MOYENNE PAR HEURE

Cette étude de cas montre la nécessité d'appréhension globale des phénomènes (vent, soleil) et de mise en situation réelle. Elle fait apparaître notamment l'intérêt de recherches basées sur les fonctions, les types d'activités, les catégories d'usagers, la durée et la répartition dans le temps de leurs activités.

# CONCLUSION

COMPETITION

Au terme de ce travail, certaines questions soulevées dans le projet trouvent une réponse ou voient se dessiner les axes de recherches qui permettraient d'y répondre au prix d'investigations de complément. D'autres problèmes, au contraire, qui apparaissaient relativement simples à résoudre, se sont avérés fort complexes et continuent de défier l'objectif d'automatisation que nous nous étions fixé.

Dores et déjà, il apparaît que la mise au point des mécanismes de cette automatisation ne soulevait pas les plus grosses difficultés. Notre attitude est cependant devenue assez rapidement critique devant ces démonstrations ou la "gadgétisation" informatique fait parfois écran à l'interrogation lucide sur la nature des données, sur la signification de leur traitement, sur la portée et les limites de leur croisement avec des données du même ordre ou d'ordres différents.

L'exemple du dépistage automatique des nuisances dues au vent, illustre assez bien, comme nous l'avons précisé, ce type de travers. La relative impasse dans laquelle nous avons stagné un long moment, conduit à préconiser comme règle de ne pas anticiper sur le processus d'élucidation d'un phénomène qui doit passer successivement par :

- l'analyse et la compréhension de celui-ci,
- la modélisation de ces aspects caractéristiques,
- la recherche en dernière part, de ces possibilités de simulation et d'automatisation.

Le travail effectué a permis également de montrer l'importance d'un traitement intégré des données climatiques sectorielles en regard d'un contexte climatologique précis. Une telle approche remet en cause l'utilisation directe, dans le projet ou l'évalu-



ation, de résultats de simulation (ou d'automatisation) pour des paramètres climatiques pris isolément.

Cette nécessité d'une prise en compte climatologique globale et d'une interprétation fine des distributions statistiques des données recueillies, ne doit cependant pas faire oublier les niveaux de transcription ultérieurs relevant respectivement :

- du passage de la climatologie à la bio-climatique, avec la prise en compte différentielle des caractéristiques diverses de l'utilisateur,
- de la transposition des données correspondantes en données architecturales et de la traduction architecturale des éléments liés à l'ambiance bio-climatique.

Pour ce qui concerne les instrumentations de traitement mis à jour, leur expérimentation devrait pouvoir se poursuivre dans des situations d'utilisation variée. Mais, de fait, que ce soit pour des travaux d'implantation de bâtiments, d'affectation et d'aménagement des espaces extérieurs, ou d'évaluation de dispositions existantes, la complexité des opérations d'interprétation telles que celles présentées en (3) montre bien les limites de l'automatisation des effets individuels et croisés des divers paramètres.

Nous nous trouvons très vite confrontés au problème du foisonnement des informations et il devient indispensable de posséder un cadre d'interrogation établissant une lecture sélective des résultats obtenus.

La connaissance précise des affectations et des types d'usage peut constituer le point de départ de cette sélection.

Les prolongements désignés de ce travail peuvent donc ressortir d'une part à l'approfondissement théorique de l'étude des modalités de croisement des données et de la validité des opérations correspondantes, d'autre part à l'application pratique et à l'amélioration des instruments présentés dans des situations opérationnelles de mise en forme et d'évaluation.

## - BIBLIOGRAPHIE -

- 1) P. BAKOULINE, E. KONONOVITCH, V. MOROZ - "Astronomie générale" - Editions de Moscou - 1975
- 2) C. FLAMMARION - "Astronomie populaire" - Flammarion
- 3) C.R.M.A.A. - "Etude comparative des différents systèmes d'entrées des données de plans d'architectes" - 1976 - (MATELT - Plan Construction-Commande 75-35)
- 4) R.M. AYNSLEY - "The environment around tall buildings" - Department of Architectural Science - University of Sydney - 1974
- 5) M. TRINITE - "Problèmes de circulation de vent au voisinage des ensembles bâtis" - Compte rendu provisoire du Colloque du Vaudreuil (Juin 75)
- 6) J. GANDEMER - "La soufflerie à couche limite turbulente" - Cahiers du C.S.T.B. N° 41
- 7) C.R.M.A.A. - "Etude des effets du vent dans le domaine bâti à l'aide d'un dispositif de simulation. - (1973) - Contrat CORDA N° 73/71/23 500
- 8) J. GANDEMER - "Inconfort dû au vent aux abords des bâtiments, étude aérodynamique du champ de vitesse dans les ensembles bâtis" - C.S.T.B. Nantes - EN ADYM 75 - 2.R
- 9) J. GANDEMER, J.P. PENEAU, M.Q. SHAIKH - "Etude sur le champ de vitesse du vent dans les habitations en milieu tropical" - C.R.M.A.A., C.S.T.B. Nantes - 1972
- 10) J. GANDEMER, G. BARNAUD - "Inconfort dû au vent aux abords des bâtiments Etude aérodynamique du champ de vitesse dans les ensembles bâtis : Etude complémentaire - C.S.T.B. NANTES 1974
- 11) P. ESTIENNE, A. GODARD - "Climatologie générale" - Armand Colin - 1970

- 12) Ph. DUCHENE-MARULLAZ - "Introduction à l'étude des micro-climats" -  
C.S.T.B. Nantes - 1973
- 13) Ph. DUCHENE-MARULLAZ - "Vent et température au voisinage d'une ville :  
Comparaison avec la station météo de l'aéroport - C.S.T.B. Nantes -  
EN - CLI 75-4
- 14) B. GIVONI - "Man, climate and architecture" - El Sevier Publishing  
Company limited - 1969
- 15) M. TWAROWSKI - "Soleil et Architecture" - Dunod Editeur - 1967

