

4  
# 4652

**Fach Kollokium 89/1**

**ISM - Zurich**

**le 25 octobre 1989**

---

**Quelques aspects de la simulation et des mesures du vent dans la  
couche limite atmosphérique**

**Dr. J.-A. Hertig**

*Lausanne, le 27 septembre 1989*



**ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE**

No 531.104  
H/mc

**IHE**

**LASEN - Laboratoire de Systèmes Energétiques**

**Prof. G. Sarlos**

## **1. Introduction**

Le problème de la mesure du vent dans les basses couches de l'atmosphère recoupe de nombreuses autres préoccupations liées aux écoulements atmosphériques. En effet, les mesures du vent doivent non seulement être correctes, du point de vue méthodologique, mais de plus correspondre aux besoins des utilisateurs.

Le problème de métrologie est en lui-même fort compliqué, puisque le vent est un écoulement turbulent instationnaire, en intensité et en direction.

De plus, diverses définitions du vent sont données en fonction de l'utilisation qui est faite de la mesure, par exemple, la durée de moyennage souhaitée peut différer d'une application à l'autre. En outre, la mesure effectuée peut avoir une représentativité spatiale ou physique différente suivant l'endroit (en plan et en altitude) choisi pour la mesure.

Ce sont ces trois notions : métrologie, définitions utilisées et représentativité qui seront développées dans ce document.

Au préalable, un rappel de la physique des écoulements dans les basses couches de l'atmosphère permettra d'évoquer les définitions et les bases conceptuelles.

## **2. La basse couche de l'atmosphère**

On distingue les vents en altitude de ceux des basses couches de l'atmosphère afin de séparer les phénomènes météorologiques à grande échelle des phénomènes locaux.

On sait que les phénomènes atmosphériques ont des échelles spatiales et temporelles fort différentes.

On distingue, sur la figure 1, les phénomènes à macro-échelle représentés par la circulation générale et les grands anticyclones, des phénomènes à méso-échelle, cyclones, fronts, tornades, typhons et écoulements régionaux liés à la topographie. Les phénomènes à micro-échelle tels que les orages, cumulus, écoulements autour des bâtiments, jets, panaches de cheminées, etc. sont des perturbations de la couche-limite planétaire.

Les basses couches de l'atmosphère sont naturellement liées aux phénomènes à méso-échelles. Il s'agit des couches en contact immédiat avec le sol et créées par l'interaction entre les flux de chaleur, de rayonnement, d'humidité à la surface et les écoulements, d'origine thermique, liés à la topographie.

Si les vents sont modérés à faibles en altitude, les variations des flux décrites ci-dessus provoquent des brises de pentes et des vents de vallée qui, dans les situations les plus complexes, entrent en interaction et se superposent en plusieurs couches de vitesse, direction, température et humidité différentes. Les bassins fermés par l'orographie se remplissent d'air froid et les couches en inversion voient leur épaisseur augmenter. Il y a parfois formation de brouillard à leur surface. L'épaisseur des couches dépend de la topographie et de la nature de leurs interactions.

Dans ce cas, la couche en contact avec le sol est appelée couche d'inversion. Lorsque le vent en altitude est fort, le système de couches multiples et la couche en inversion sont balayés. Le vent en altitude se propage jusqu'au sol. Il est alors freiné par les obstacles tels que les bâtiments, les arbres et les forêts, les collines, les blocs, les escarpements, ainsi que par les prairies et les champs. A l'échelle des vents en altitude, dont l'épaisseur est de quelques milliers de mètres, ces obstacles apparaissent comme des rugosités. Chacune de ces rugosités génère des tourbillons qui par interaction entre eux forment une couche turbulente s'étendant du sol jusqu'à 500 ou 1000 m. Cet écoulement turbulent présente un profil de vitesse dont l'allure générale croît de manière monotone avec l'altitude. Le profil de vitesse est analogue à celui des couches limites turbulentes qui se créent à la surface des objets solides. C'est pourquoi, on appelle la couche immédiate, en contact avec le sol, "couche limite atmosphérique".

Deux lois mathématiques sont utilisées pour décrire la couche limite :

La loi logarithmique 
$$U = \frac{u_*}{k} \left( \ln \frac{z}{z_0} + \frac{34.50 z f}{u_*} \right) \quad (2.1)$$

où  $f =$  paramètre de Coriolis

et la loi de puissance 
$$\frac{U}{U_{\text{ref}}} = \left( \frac{z}{z_{\text{ref}}} \right)^\alpha \quad (2.2)$$

La formulation (2.1) du profil logarithmique est due à Harris et Deaves [1]

La première est issue de la théorie des couches limites turbulentes pour laquelle elle a été développée sur la base de très nombreuses expériences en laboratoire.

La rugosité  $z_0$  est une caractéristique universellement retenue qui, malheureusement, ne correspond pas à la hauteur des aspérités. Cette loi présente l'inconvénient de nécessiter deux paramètres d'ajustement,  $u_*$  et  $z_0$  qui ne sont pas mesurables directement.

La loi de puissance, largement utilisée par Davenport [2], fait l'objet de la prédilection des physiciens de l'atmosphère qui s'occupent de prévoir la turbulence atmosphérique.

Outre le fait que cette loi ne nécessite que l'ajustement de l'exposant  $\alpha$  sur les mesures effectuées, elle reste valable par n'importe quel choix d'un niveau de référence  $z_{\text{ref}}$  pour lequel la vitesse  $u_{\text{ref}}$  est connue.

De plus, l'intensité de turbulence s'écrit :

$$\frac{I}{I_{\text{ref}}} = \left( \frac{z}{z_{\text{ref}}} \right)^{1/\alpha} \quad (2.3)$$

et elle a un profil conjugué à celui de la vitesse.

La figure 2 montre la variation de la vitesse et de l'exposant  $\alpha$  en fonction de la rugosité du sol.

On voit que le freinage, plus important dû à la ville, augmente la valeur de l'exposant jusqu'à 0,4 ainsi que l'épaisseur de la couche limite jusqu'à 800 m, voire 1000 m. Au contraire, en bordure de mer, ou sur un grand plan d'eau, l'exposant diminue jusqu'à 0,16 et l'épaisseur jusqu'à 200 m.

Il est intéressant de relever encore la variation de la densité de probabilité en fonction de la hauteur (figure 3), ainsi que le spectre de la turbulence (figure 4) qui représente la quantité d'énergie en fonction de la fréquence ou de la dimension des tourbillons.

Il est important de retenir que le taux d'énergie fluctuante par rapport à l'énergie fluctuante totale des tourbillons, en fonction de l'inverse de leur échelle, suit une courbe quasi universelle, mesurable aussi bien en laboratoire, à très petites dimensions, que dans l'atmosphère avec des dimensions de quelques centaines, voire milliers de kilomètres.

### **3. Problèmes de métrologie**

Le vent de la couche limite atmosphérique est turbulent. Dans un épisode donné de vent établi, l'allure de la vitesse est présentée à la figure 5. On voit que la vitesse moyenne est constante dans le temps, de même que la densité de probabilité et l'écart type des fluctuations. Ces trois grandeurs étant définies univoquement, elles sont mesurables. Seule la réponse en fréquence du capteur, sa répétitivité, sa sensibilité et sa robustesse fixent sa précision. Des anémomètres sensibles et ayant une bonne réponse en fréquence peuvent être utilisés pour la mesure des fluctuations et des extrêmes de vitesses (figure 6), alors que des anémomètres de grande masse, très précis mais de plus mauvaises réponses en fréquences conviennent mieux à la mesure de la moyenne (figure 7).

Malheureusement, la turbulence atmosphérique est de plus instationnaire, cela signifie que la moyenne, l'intensité de turbulence et la densité de probabilité sont variables dans le temps (figure 5).

Ces grandeurs, de plus, différentes suivant la direction du vent qui varie elle-même aléatoirement en fonction du temps.

Par conséquent, ces grandeurs; vitesses, directions, intensité de turbulence, valeurs extrêmes, densité de probabilité et spectres, ne sont plus définies univoquement; elles dépendent de la durée de moyennage. Ceci rend indispensable la connaissance de "modèle" afin de permettre une définition et une utilisation valable des résultats.

### **4. "Modèle" de vent dans la couche limite**

Les premiers modèles, mentionnés ci-dessus, sont ceux des profils de vitesses en fonction de la hauteur approximée par les lois de puissances et logarithmiques.

En ce qui concerne l'approche temporelle du phénomène vent au voisinage du sol, on a l'habitude de recourir à trois approches :

- ① La première développée par Van der Hoven [3] consiste à analyser le spectre du vent en un endroit donné, mais étendu aux longues périodes (figure 10).

On constate que ce spectre, en tout cas pour les Pays -Bas, comporte des régions énergétiquement distinctes, dans la partie de gauche qui représente les longues périodes, on voit un pic à 40 jours, à 4 jours et le cycle diurne ou semi-diurne. Dans la partie de droite; la bosse représente la turbulence. Partant de l'idée que ces bosses sont toujours distinctes, il est possible de traiter ces fréquences séparément et de définir des périodes de moyennage de 10 minutes à 1 heure, couvrant la turbulence et de 1 jour, 1 mois ou 1 an pour les phénomènes à grande échelle.

Cette technique repose donc sur l'hypothèse que les bosses sont séparées, c'est-à-dire qu'il existe un "Spectral Gap" et porte ce nom.

- ② La deuxième s'inspire de la figure 1 définissant les phénomènes et préconise une séparation entre la micro-échelle et la méso-échelle et entre la méso-échelle et la macro-échelle. On a ainsi défini une première durée de moyennage de 10 minutes et une deuxième de quelques heures à 1 jour.
- ③ La troisième approche est utilisée pour l'évaluation des extrêmes. En effet, dans un échantillon de 10 minutes, par exemple, il est possible de calculer les moments statistiques valablement si les mesures sont faites toutes les 1 à 3 secondes ou même tous les 1/10 de seconde. Rappelons que les moments sont :

- la moyenne
- l'écart -type
- l'autocorrélation

Toutefois, la valeur extrême sur les 10 minutes est une valeur aléatoire. Il est donc nécessaire, pour pouvoir associer une probabilité d'occurrence à la valeur extrême, de prendre en considération plusieurs échantillons de 10 minutes, et de disposer d'un "modèle" de calculs statistiques.

Le modèle le plus couramment utilisé est le modèle de Gumbel. On suppose que la population des extrêmes est gaussienne. Dans ce cas, il existe une relation linéaire entre les valeurs extrêmes et le logarithme de leurs probabilités d'être atteints ou excédés. Les figures 8 et 9 montrent des digrammes de Gumbel pour une station ANETZ et l'on peut constater que l'ajustement sur les droites est quasi parfait. On peut ainsi en tirer une valeur extrême.

Ainsi les choix de 10', 1 heure ou de l'extrême de 3 secondes correspondent à des modèles de comportement qui pourraient être mis en défaut. Voyons, par exemple, le spectre de Muttentz (Figure 11) pour lequel aucun "Spectral Gap" n'apparaît de manière évidente.

Il s'agit :

- de l'orographie et de la topographie
- de la rugosité du sol
- des obstacles
- des configurations des instruments et de leurs supports

### ***Influence de l'orographie et de la topographie***

L'influence de l'orographie et de la topographie affecte les vents aussi bien dans leurs répartitions horizontales que verticales. La figure 14 montre trois profils de vitesses mesurés sur une maquette topographique de la région de la Dalla (fig. 15) [4]. Bien que distants de moins de 500 m, ces profils sont totalement différents et attestent de l'importance majeure de cette influence.

En ce qui concerne la mesure du vent, le choix du site doit si possible être fait de manière à éviter les endroits les plus perturbés et il est courant d'installer les anémomètres au sommet de collines ou sur des points dégagés. Ces endroits sont caractérisés par des sur-vitesses dans le profil vertical situées à une hauteur variable au-dessus du sol. Dans ce cas, la mesure doit être corrigée de manière à être représentative de la région.

Pour les stations situées en altitude, au voisinage de sommets montagneux, nous avons admis que c'est la vitesse en altitude qui est recherchée. Les corrections que nous proposons sont le rapport entre la vitesse du vent mesurée à la station et celle du vent synoptique non perturbée et la différence angulaire entre la mesure et le vent synoptique [5].

Ces corrections sont mesurées sur une maquette topographique à l'échelle 1/5000.

Les figures 16 et 17 montrent les corrections à apporter dans le cas de la Dôle. Alors que les figures 18 et 19 montrent le cas de la Jungfrau. Dans ce dernier cas, il n'est plus possible de retrouver le vent en altitude, tellement l'influence de la topographie est forte.

La difficulté de cette mesure est liée à l'influence de la topographie sur le profil vertical de vitesse, car l'anémomètre est toujours situé dans la région du profil à très fort gradient, en dessous de la sur-vitesse. Ceci introduit un fort risque d'erreur. Les coefficients de correction de vitesses sont en outre parfois voisins de 1, car la hauteur de mesures de 10 m à 20 m coupe par hasard le profil juste à la base de cette sur-vitesse.

En ce qui concerne les stations de plaine, de vallée ou placées à flanc des montagnes, il est important de connaître leur espace de validité, en d'autres termes, leur représentativité.

Dans ce cas, c'est le vent à 10 m du sol qui est intéressant.

Nous avons défini que la représentativité d'une station est l'espace dans lequel la valeur mesurée peut être adoptée sans correction. Pour trouver ce domaine, il est



## 5. Approche nouvelle

Nous avons donc proposé d'effectuer une décomposition de grandeurs météorologiques en quatre variables, au lieu des deux du schéma classique.

En effet, dans tous les modèles de turbulence, la vitesse est décomposée en une valeur moyenne et une fluctuation.

$$V = \bar{V} + V' \quad (5.1)$$

Nous proposons de poser :

$$V = \bar{V}_D + \bar{V}_A + V'_A + V' \quad (5.2)$$

$\bar{V}_D$  et  $\bar{V}_A$  sont les composantes moyennes déterministes et aléatoires, alors que  $V'_A$  représente la fluctuation aléatoire imprévisible, alors que  $V'$  représente la contribution de la turbulence

La figure 12 montre cette décomposition en 4 variables. On voit que la valeur  $\bar{V}_D$  déterministe est la vitesse moyenne du vent découlant du phénomène prévisible. Soit une évolution journalière cyclique pour une bise ou une croissance monotone suivie d'une décroissance au passage d'un cyclone.

La valeur  $\bar{V}_A$  est la perturbation du phénomène déterministe. Il peut s'agir d'un front, d'un orage ou de l'arrivée soudain d'un coup de vent dû au passage d'un nuage.

La valeur  $V'_A$  lui est associée en ce sens que les changements de température brutaux peuvent contrarier un changement dans la structure de la turbulence ou enrichir la turbulence de fluctuations, fréquences différentes.

La variable  $V'$  représente, plus classiquement, la valeur de la fluctuation turbulente.

Un modèle de calcul a été écrit et la moyenne est calculée par une moyenne glissante qui est décomposée en une valeur moyenne déterministe et en une moyenne aléatoire. L'écart type glissant est également décomposé en une intensité de turbulence et en un écart-type aléatoire. La figure 13 montre un extrait du résultat obtenu sur un échantillon type de température.

## 6. Représentativité spatiale des mesures

Après avoir considéré le vent comme une couche limite turbulente et avoir décrit les problèmes temporels liés à la mesure, il est nécessaire de parler du problème de la variation des vitesses de vent dans l'espace.

Partant du vent synoptique, on peut identifier quatre facteurs modifiant le champs du vent :

procédé à des calculs des champs de vent à l'aide d'un modèle à méso-échelle et on dessine pour les différentes simulations les surfaces des écarts de vitesse et de direction.

Un bon critère semble la différence de 10 %, soit 1 m/s sur 10 m/s et une erreur angulaire de 5°.

La figure 20 montre une telle surface de représentativité de vitesse, calculée par vent du nord, pour la station des Barges dans le Chablais. La figure 21 montre la représentativité en direction.

Un autre aspect de la représentativité d'une station est lié à la possibilité d'effectuer une interpolation entre les mesures faites à plusieurs stations. Dans ce cas, on est amené à définir des régions au sein desquelles il est possible d'interpoler et entre lesquelles il n'est pas possible de le faire. La figure 22 montre une carte de Suisse et les régions retenues.

### ***Influence de la rugosité***

Nous avons vu que des changements de rugosité avaient pour effet de modifier le profil vertical de vitesse. Ceci a donc un effet négatif pour la comparaison entre les mesures faites à différentes stations, ou à une même station pour des directions de vents différentes.

Il est alors nécessaire de ramener à une rugosité identique les mesures faites dans des directions présentant des rugosités différentes. En choisissant une loi de variation de la vitesse en fonction de la hauteur, cette correction n'est fonction que de la rugosité. Le problème qui se pose ici est de déterminer cette rugosité.

Dans un premier temps, il est possible d'estimer une valeur de la rugosité en fonction de la nature de la couverture du sol en amont de la station de mesures ou de l'endroit où l'on veut calculer la vitesse du vent à partir de valeurs interpolées. Cette estimation est très difficile à faire et dépend de la perception de la personne effectuant le travail.

Dans une deuxième étape, il est possible de déterminer ces rugosités à l'aide des mesures elles-mêmes. En effet, puisqu'il existe une relation entre la rugosité et la turbulence, il est possible de déduire une valeur de la rugosité des fluctuations de vitesses mesurées.

Dans le cas du réseau ANETZ, on dispose de mesures instantanées de la valeur de pointe du vent (moyenne de 1 à 3 secondes).

Ces valeurs sont mesurées en même temps que la moyenne sur 10 minutes.

On dispose donc du rapport :

$$G = \frac{\hat{V}}{\bar{V}} \quad (6.1)$$

En outre G vaut par définition  $G = 1 + g I$  (6.2)



où  $g$  est le coefficient de pic et  $I$  l'intensité de turbulence.

La valeur de  $z_0$  peut être estimée à partir de (6.2), à l'aide de l'équation (2.1) et de l'expression suivante pour l'intensité de turbulence [1].

$$I = \frac{u_*}{U} 2.63 \eta \left( 0.538 + 0.09 \ln \frac{z}{z_0} \right) \eta^{16} \quad (6.3)$$

avec 
$$\eta = 1 - \frac{6fz}{u_*} \quad (6.4)$$

Les équations (2.1), (6.2) et (6.3) peuvent être résolues comme un système de 3 équations simultanées à 3 inconnues, à savoir :  $I$ ,  $u_*$ ,  $z_0$

Un tel calcul a été fait pour la situation de Coire et l'on trouve la rugosité en fonction de la direction, selon le tableau de la figure 23.

Il est ainsi possible de ramener toutes les mesures à une rugosité uniforme et de procéder alors aux interpolations entre stations et au transport de ces valeurs en d'autres sites.

Pour trouver le vent effectif sur ce site, il faut alors estimer la rugosité du sol à cet endroit et faire le calcul en sens inverse.

### ***Influence des obstacles proches***

Il est évident que l'influence des obstacles lointains est pris en compte par la rugosité. En fait, pour les obstacles proches, l'influence est bien différente et on ne peut plus parler de rugosité, on parle de sillage.

Chaque configuration réelle est, du point de vue des obstacles, si compliquée que seul un essai en soufflerie est capable de déterminer cette influence. Pour la correction des mesures météorologiques, on suppose que le terrain est plat et l'on mesure la vitesse au niveau de l'anémomètre avec les obstacles, en fonction de la direction du vent. On calcule ensuite le rapport avec la vitesse mesurée dans une couche limite non perturbée ayant une rugosité de référence.

A l'opposé, on peut être intéressé à déterminer l'influence des obstacles, connaissant le vent non perturbé, interpolé ou déduit de la banque de données corrigée. Là aussi, un essai en soufflerie est nécessaire.

### ***Influence de la configuration des instruments et des supports***

Cette influence est bien entendue spécifique à la mesure elle-même et doit être éliminée des mesures corrigées. Les essais en soufflerie (figures 24 et 25) effectués montrent que cette contribution est faible

Pour faire cette correction, seul un étalonnage de l'anémomètre placé dans la soufflerie sur sa configuration réelle est susceptible d'apporter une correction crédible.

## Résumé du principe de correction des données météorologiques

Suite aux essais en soufflerie et aux calculs décrits ci-dessus, il est possible de corriger les valeurs mesurées. Le logiciel développé à cet effet repose sur le fait que les influences mentionnées ci-dessus sont indépendantes et peuvent être superposées. Cette hypothèse n'est valable que si les influences mentionnées sont d'échelles très différentes. Sinon, il convient de les traiter comme une seule correction.

Le calcul de la vitesse corrigée est fait par la relation :

$$V_c = K_t \cdot K_R \cdot K_D \cdot K_{inst} \cdot V_m$$

et celui de la direction corrigée par la relation

$$\alpha_c = \alpha_m + K_{\alpha t} + K_{\alpha o} + K_{\alpha inst}$$

Les indices :

t	=	topographie
R	=	rugiosité
inst	=	instruments
D	=	obstacles
m	=	mesure

Les coefficients  $K_t$  et  $K_{\alpha}$  sont définis sous forme de vecteurs de 360 valeurs (une par degré) classés dans une banque de données par station météorologique pour les coefficients relatifs à l'influence de topographie et des bâtiments.

Les coefficients liés à l'influence des instruments sont classés par instrument et les coefficients de rugiosité sont recalculés sur la base de données sectorielles de la rugiosité.

L'historique de la station est décrit dans un autre fichier. Le programme, sur la base de l'historique de la station, va chercher, pour chaque période de conditions instrumentales constantes, la valeur des coefficients et corrige les données.

Puis, pour la période suivante, recherche les nouvelles valeurs des coefficients, corrige la suite des données et ainsi de suite. L'organigramme du programme est donné à la figure 26.

## Conclusions

La complexité phénoménologique de la couche limite atmosphérique explique les problèmes posés par la mesure de la vitesse. La possibilité de disposer de modèle de comportement de cette couche limite permet de définir les mesures effectuées et d'en tirer le plus grand parti. En effet, la nature instationnaire du vent, son hétérogénéité spatiale et sa variabilité en intensité aussi bien qu'en direction rendent nécessaires des mesures adaptées aux problèmes posés. Il ne nous semble pas possible d'effectuer des mesures à caractère universel. On distingue ainsi les mesures météorologiques, des

mesures climatologiques ou destinées à l'analyse de phénomènes particuliers. Ces préoccupations sont à l'origine de plusieurs réseaux apparemment concurrents, mais orientés sur des finalités différentes.

Le problème de la variation temporelle de la mesure est compliqué par celui posé par la représentativité spatiale. La répartition verticale ne suit pas toujours les lois attendues, surtout en terrain complexe et la représentativité en plan d'une mesure doit être appréciée.

Un projet conduit au LASEN avait justement pour but d'établir :

- le transfert des mesures des stations en altitude au vent synoptique;
- la correction nécessaire pour éliminer les influences des bâtiments;
- la mise à un niveau comparable des influences de la variation de la rugosité;
- l'énoncé d'une représentativité en plan des stations, que ce soit par transposition directe des résultats autour du point de mesure, ou par interpolation entre stations situées dans une région de même entité climatologique.

L'ensemble de ces travaux a abouti à un programme de calcul des corrections. La méthodologie ainsi développée pourrait servir de base pour la correction d'autres réseaux de mesures météorologiques, climatologiques, de pollution de l'air ou d'alarme "vent".

## **Remerciements**

Nous tenons à remercier la direction, les collaborateurs de l'Institut Suisse de Météorologie pour leur aide précieuse et, en particulier, Messieurs Heimo, Dosseger et Wasserfallen qui ont collaboré activement à la mise en place de ce projet.

Nous sommes redevables au comité du projet "aspect aéraulique de l'énergétique du bâtiment" d'avoir donné l'impulsion de départ et soutenu sans restriction ce projet.

Nos remerciements vont également au Fonds National qui a assumé le financement du projet.

Enfin, notre reconnaissance va aux collaborateurs du groupe aéraulique du LASEN qui ont tous oeuvré à la réussite de ce projet, en apportant à tour de rôle une contribution à un aspect ou à un autre de l'étude, ceci sous la houlette de M. Jacques Ehinger qui assuré avec compétence la conduite de ce projet.

## **Références**

- [1] R.I. Harris, D.M. Deaves, 1980 : The structure of strong winds.  
Wind Engineering in the Eighties. Proc. CIRIA Conference Nov. 1980.
- [2] Davenport A. G., 1963, The relationship of wind structure to wind loadin  
Proceedings of the 1st conference on "Wind effects on building and structures"  
(Teddington).
- [3] Van der Hoven I, 1957 : power spectrum of horizontal wind speed in the frequency  
range from 0.0007 to 900 cycles per hour. J. Meteo., No 14.
- [4] Hertig J.-A., M. Berney, D. Ruffieux : Caractéristiques des vents extrêmes sur le site  
du pont haubané projeté sur la Dala. Mesures in situ et essais en soufflerie.  
IENER, 28.4.86, No 527.101
- [5] Hertig J.-A. and J. Ehinger : Analysis of the influence of topography on climatic  
exposure of buildings (Climatological Data Transfer). LASEN, Swiss Federal  
Institute of Technology Lausanne, Switzerland. No 531.105/15.10.89

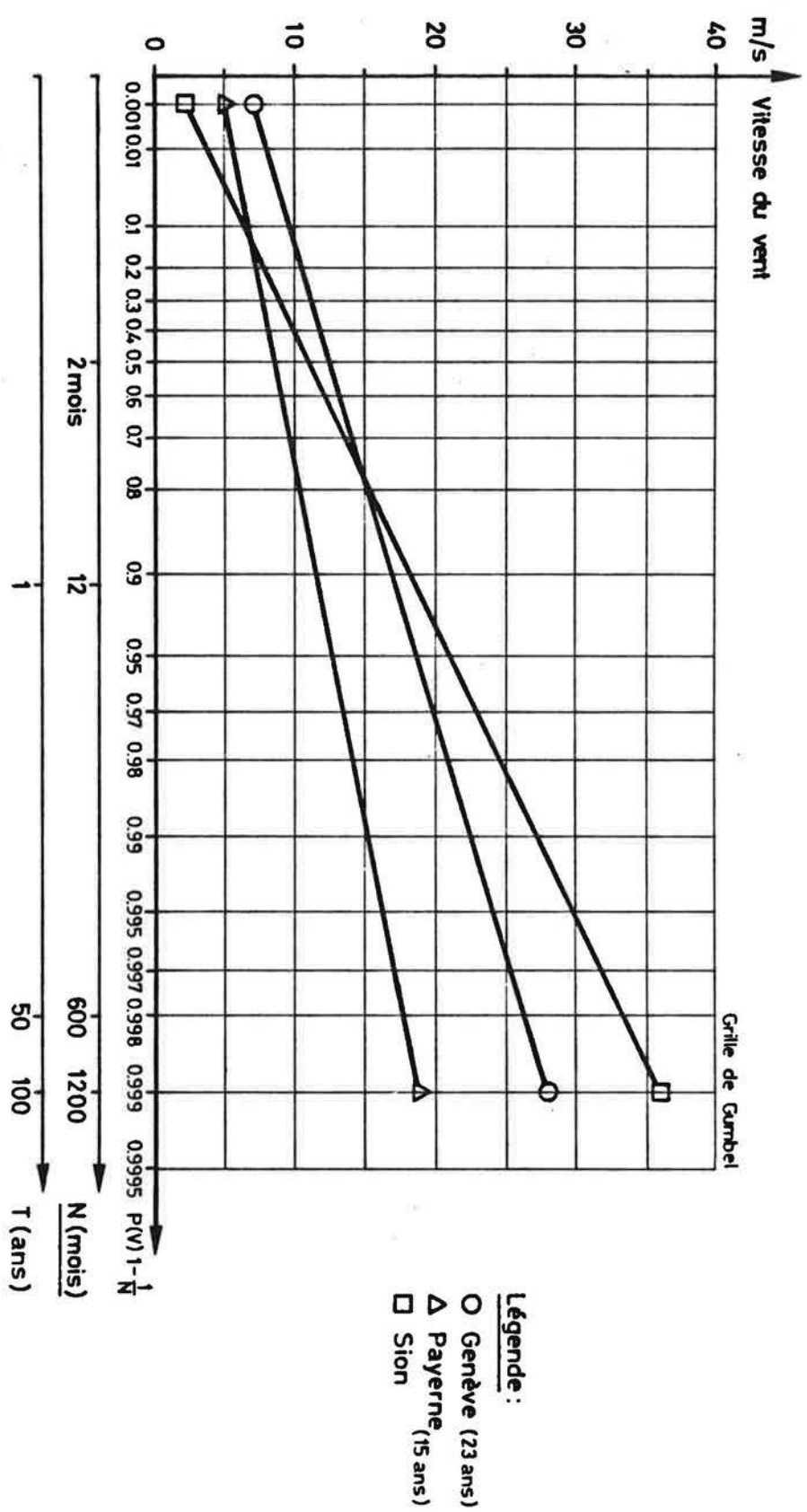
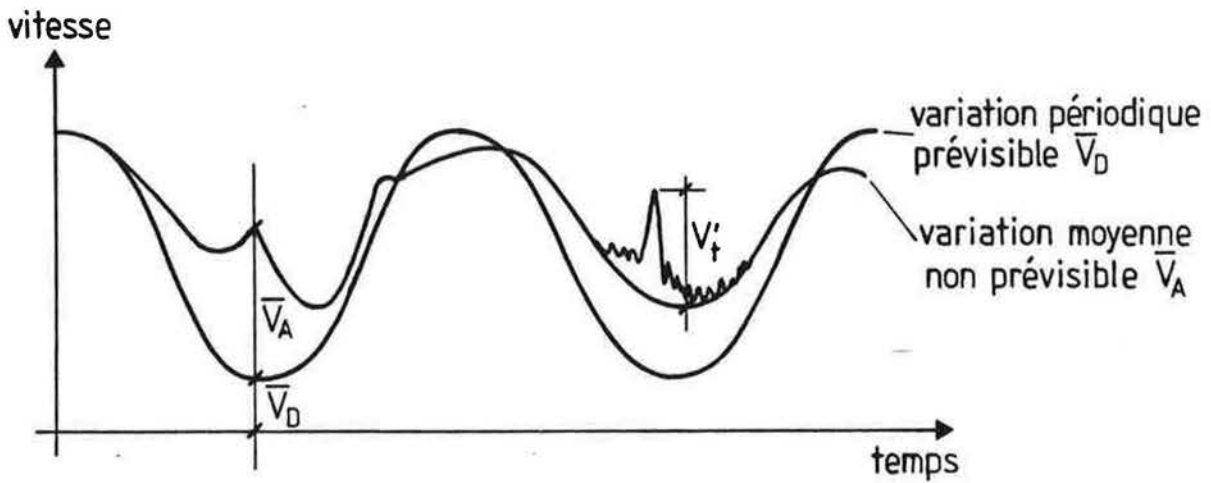


Fig. 9 Vitesse du vent en fonction de la période de retour. Distribution des valeurs maximales mensuelles (moyenne sur 10 min) pour les stations de Genève, Payerne et Sion.

IPEN N 508.116



$V'_t$  est décomposé  
 en  $V'_A$  et  $V'$

tel que 
$$\frac{\sqrt{V'^2}}{(\bar{V}_D + \bar{V}_A)} = I$$

$I$  = intensité de turbulence  
 et 
$$\sqrt{\bar{V}_A'^2} = \sqrt{V_t'^2} - \sqrt{V'^2}$$

Fig. 12 Décomposition en 4 variables



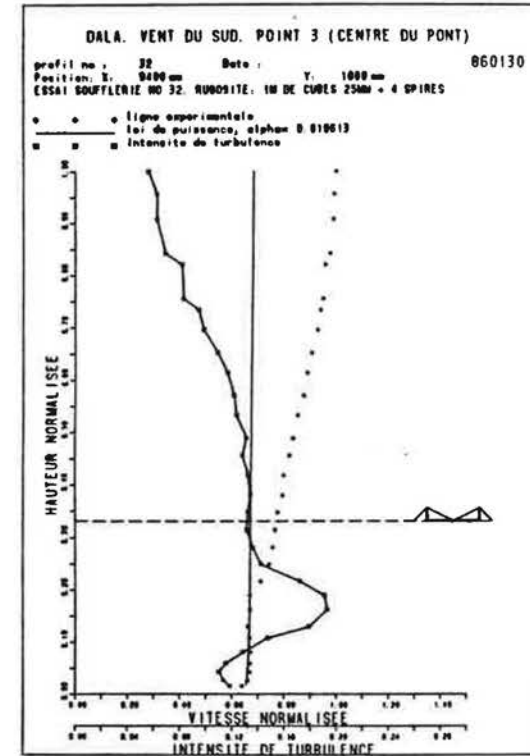
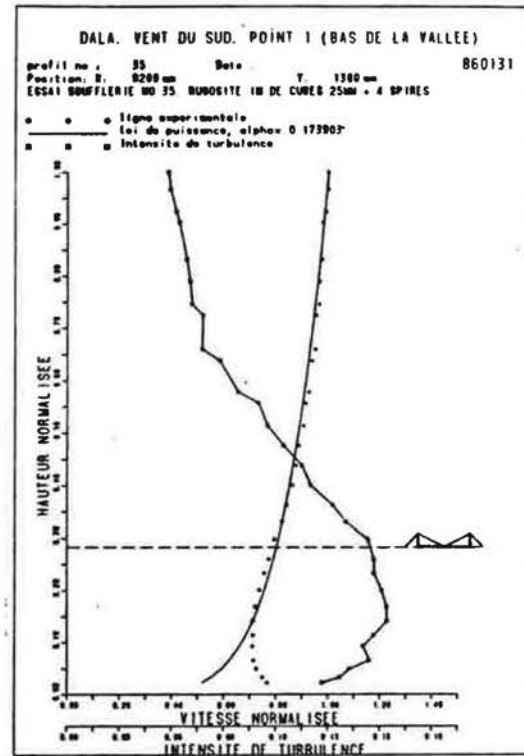
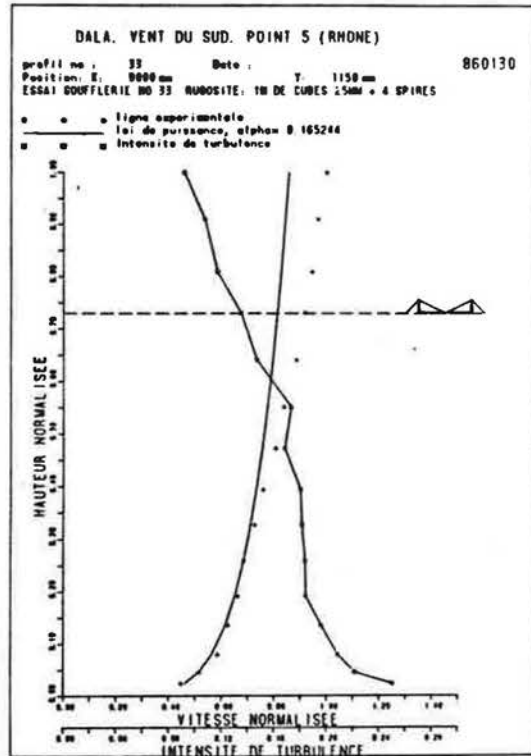


Fig. 14 - Vent du sud. Profils verticaux de vitesse moyenne et d'intensité de turbulence

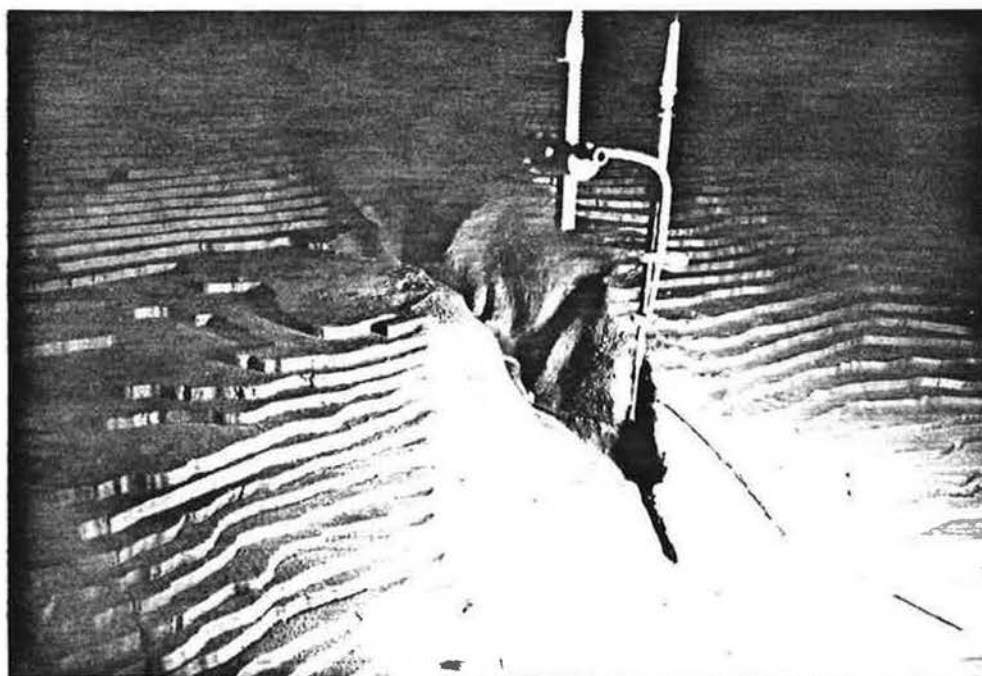


Fig. 15 : Maquette topographique de la Dalla et anémomètre à film chaud

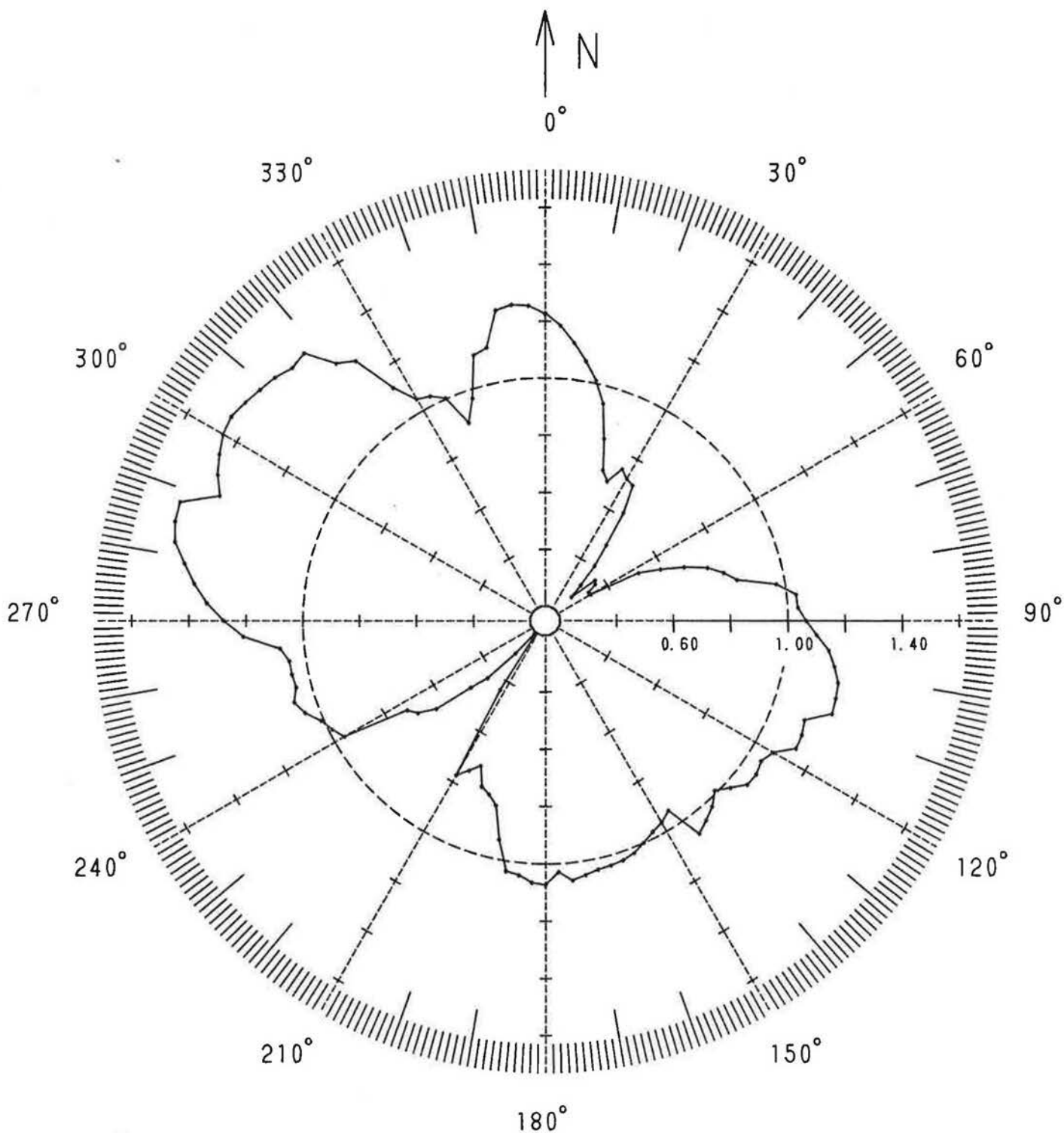
# MESURES DE VITESSES

Experimentateur: BERNEY M. Date: 3-NOV-89

Essai numero: 340

JUNGFRAU-JOCH 1/5000. FILM CHD A ~4 MM DU SOL

## RAP. DE VIT. SOL/ALTITUDE



ANGLE POLAIRE = DIRECTION D'OU VIENT LE VENT (ALTITUDE)

Fig. 19 : MESURES DE LA DIRECTION DU VENT

Experimentateur: BERNEY M

Date: 1-NOV-89

Essai numero: 338

Maquette: JUNGFRAU-JOCH 1/5000

points experimentaux: + + +

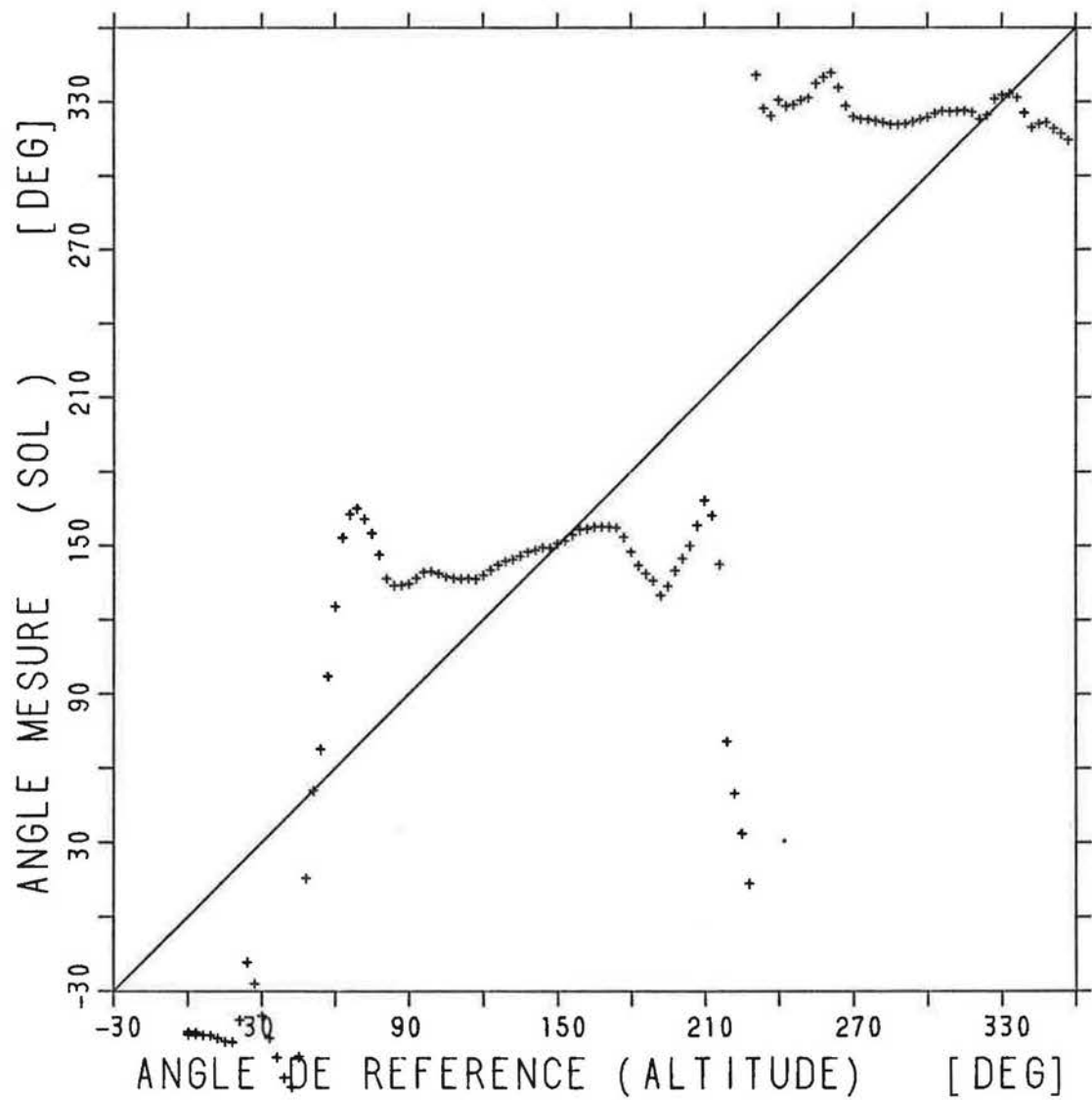


Fig. 17 : MESURES DE LA DIRECTION DU VENT

Experimentateur : BERNEY M. Date : 28-OCT-89

Essai numero : 235

Maquette : LA DOLE 1/5000

points experimentaux : + + +

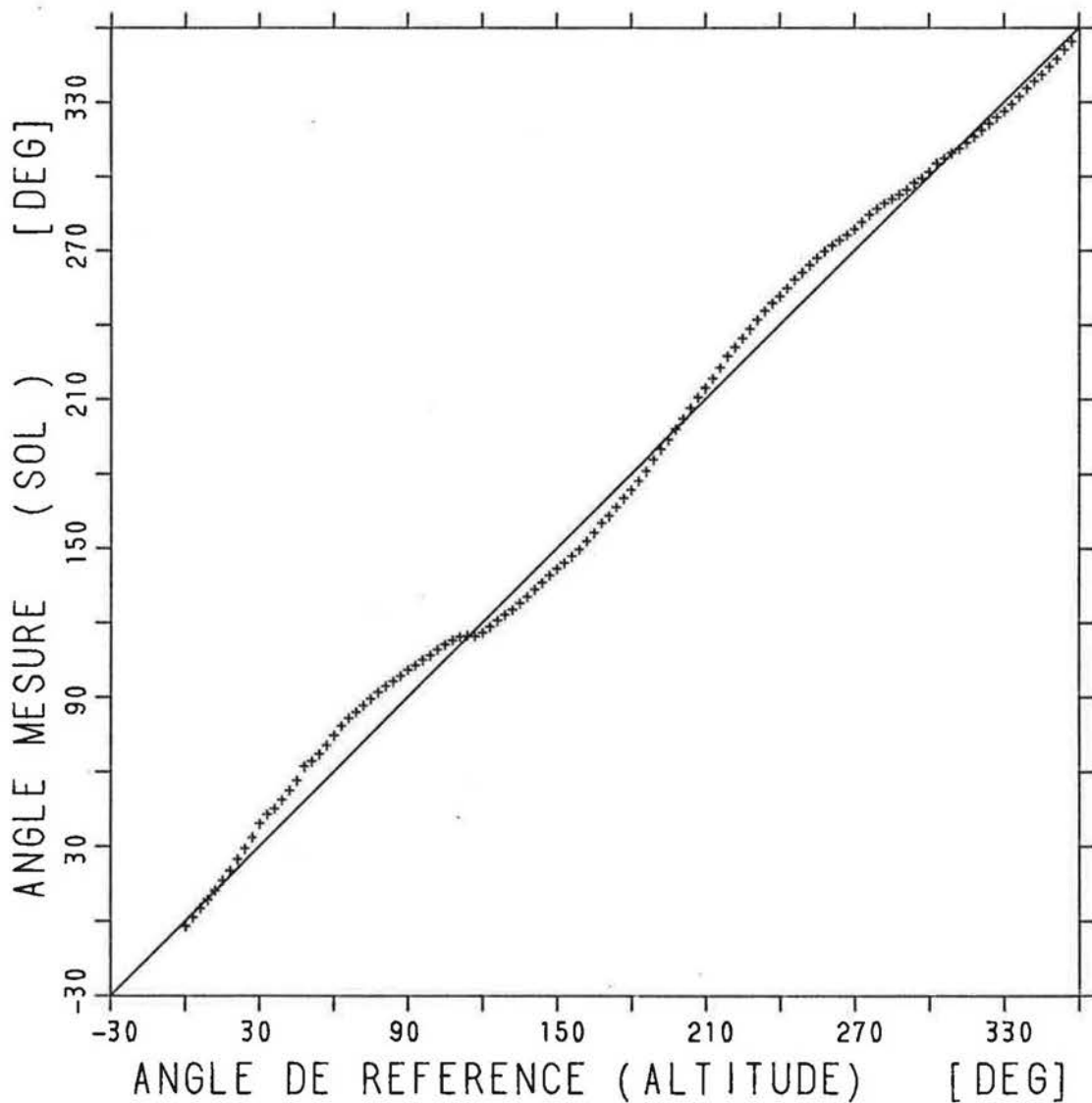


Fig. 16 MESURES DE VITESSES

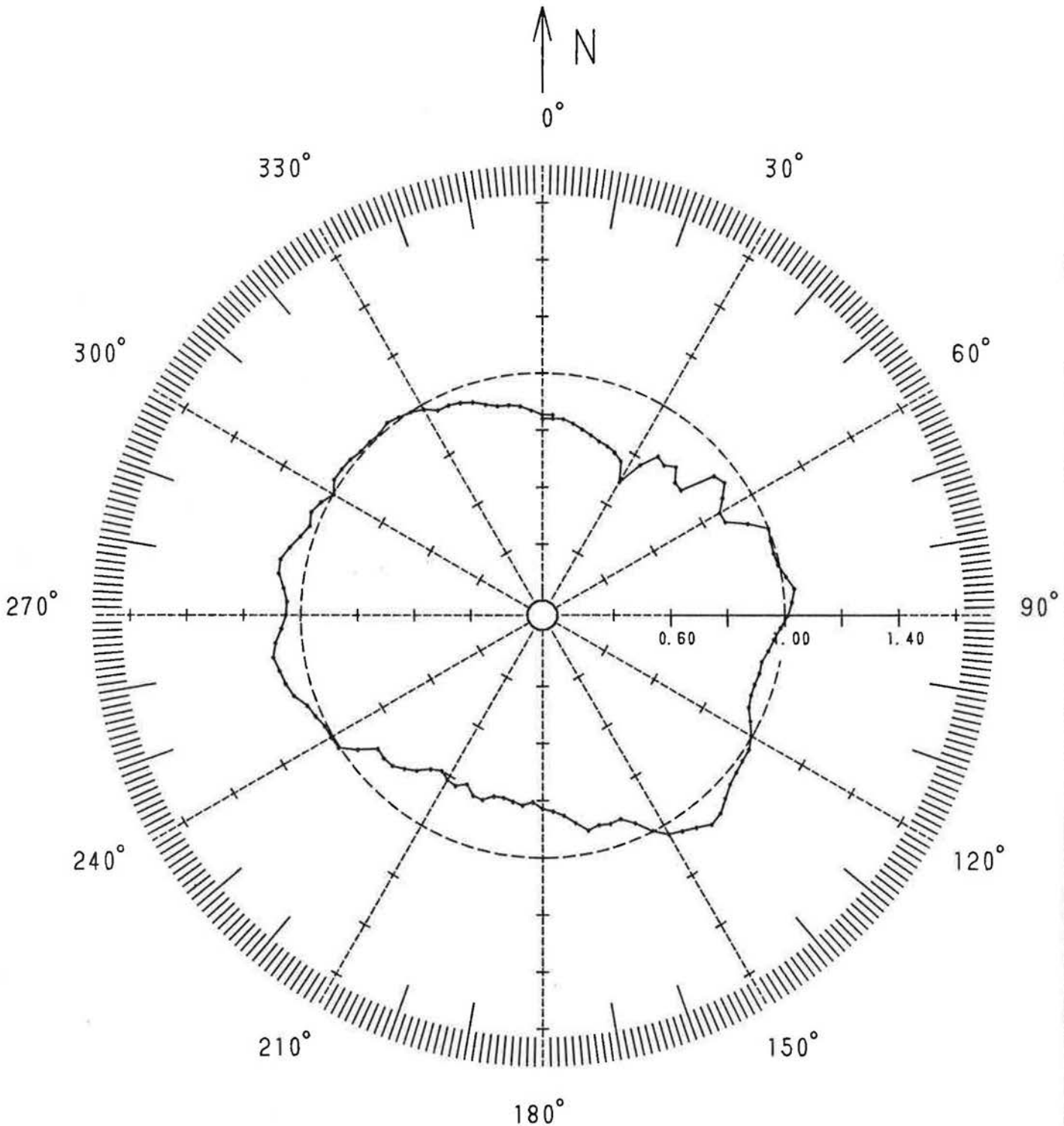
Experimentateur: BERNEY M.

Date: 28-OCT-89

Essai numero: 336

LA DOLE 1/5000. FILM CHD A ~3MM DU SOL

RAP. DE VIT. SOL/ALTITUDE



ANGLE POLAIRE = DIRECTION D'OU VIENT LE VENT (ALTITUDE)



**Représentativité de la station d'Aigle (+)**

Vent d'altitude en provenance du nord.

Situation calculée à 10 m du sol

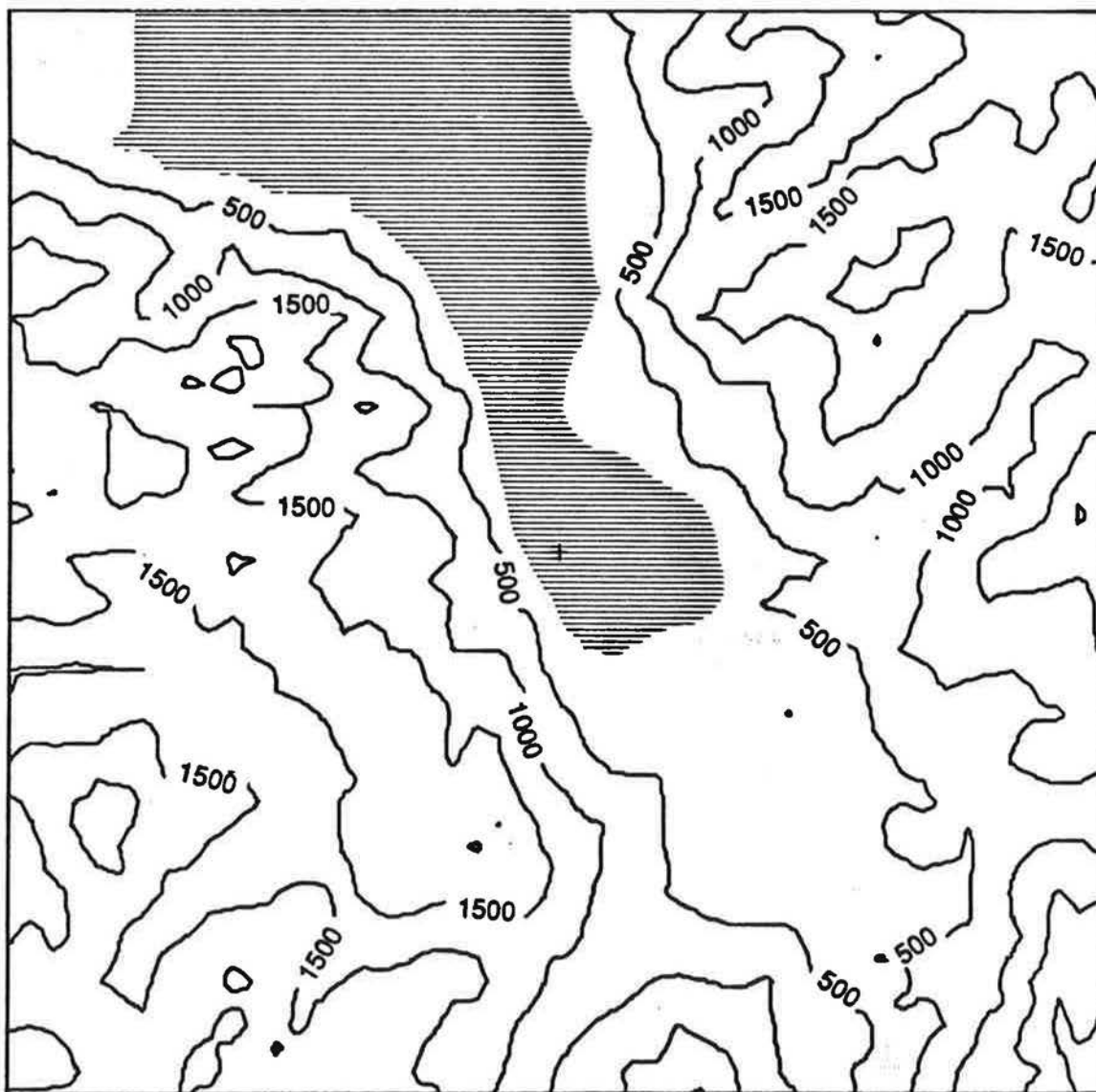
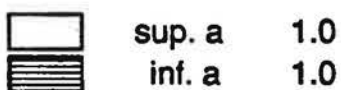


Fig. 20 : Ecart de vitesse (en mètres par seconde)

Représentativité de la station d'Aigle (+)

Vent d'altitude en provenance du nord.  
 Situation calculée à 10 m du sol

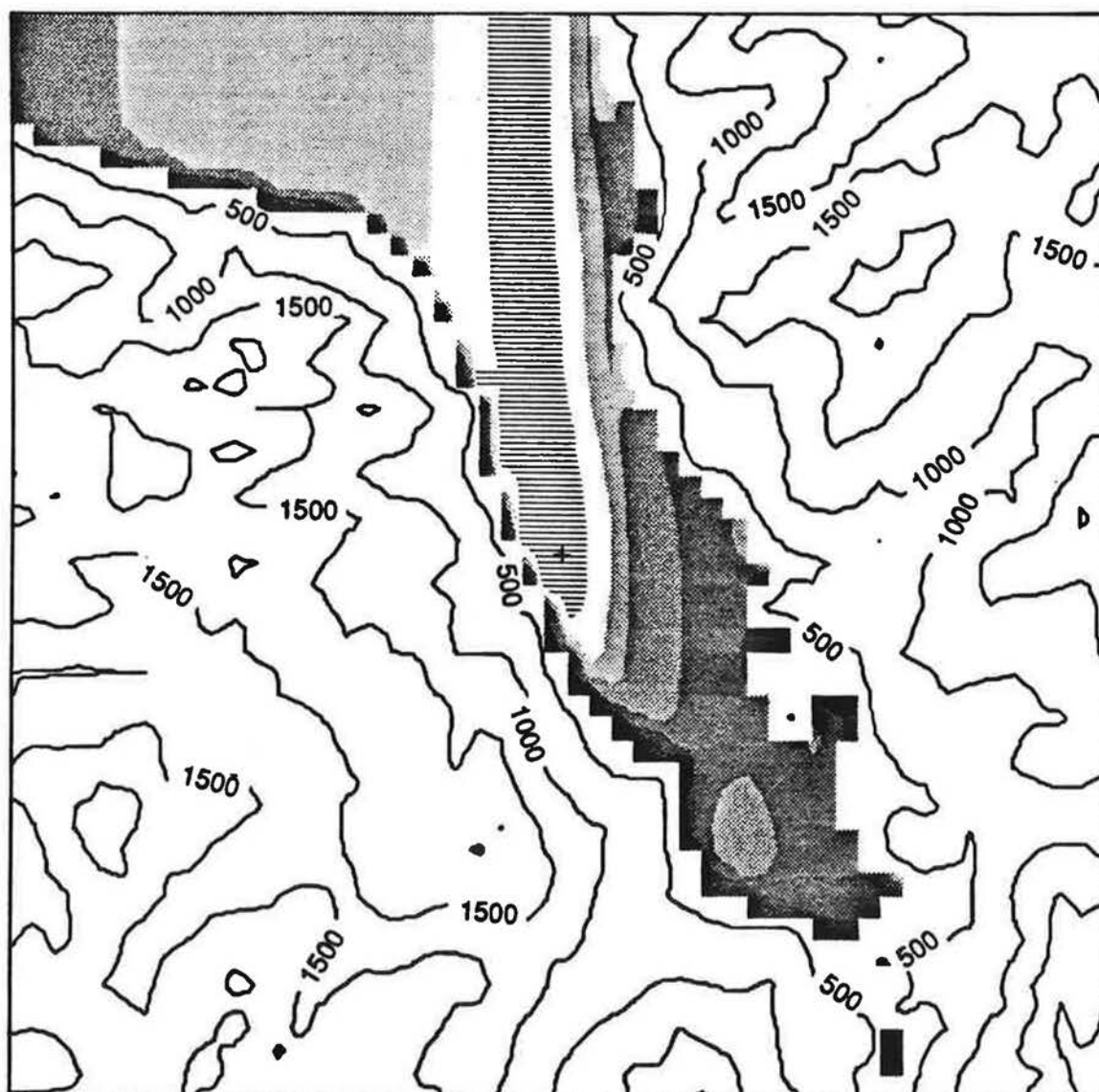
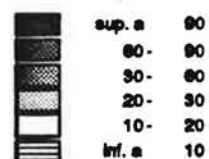
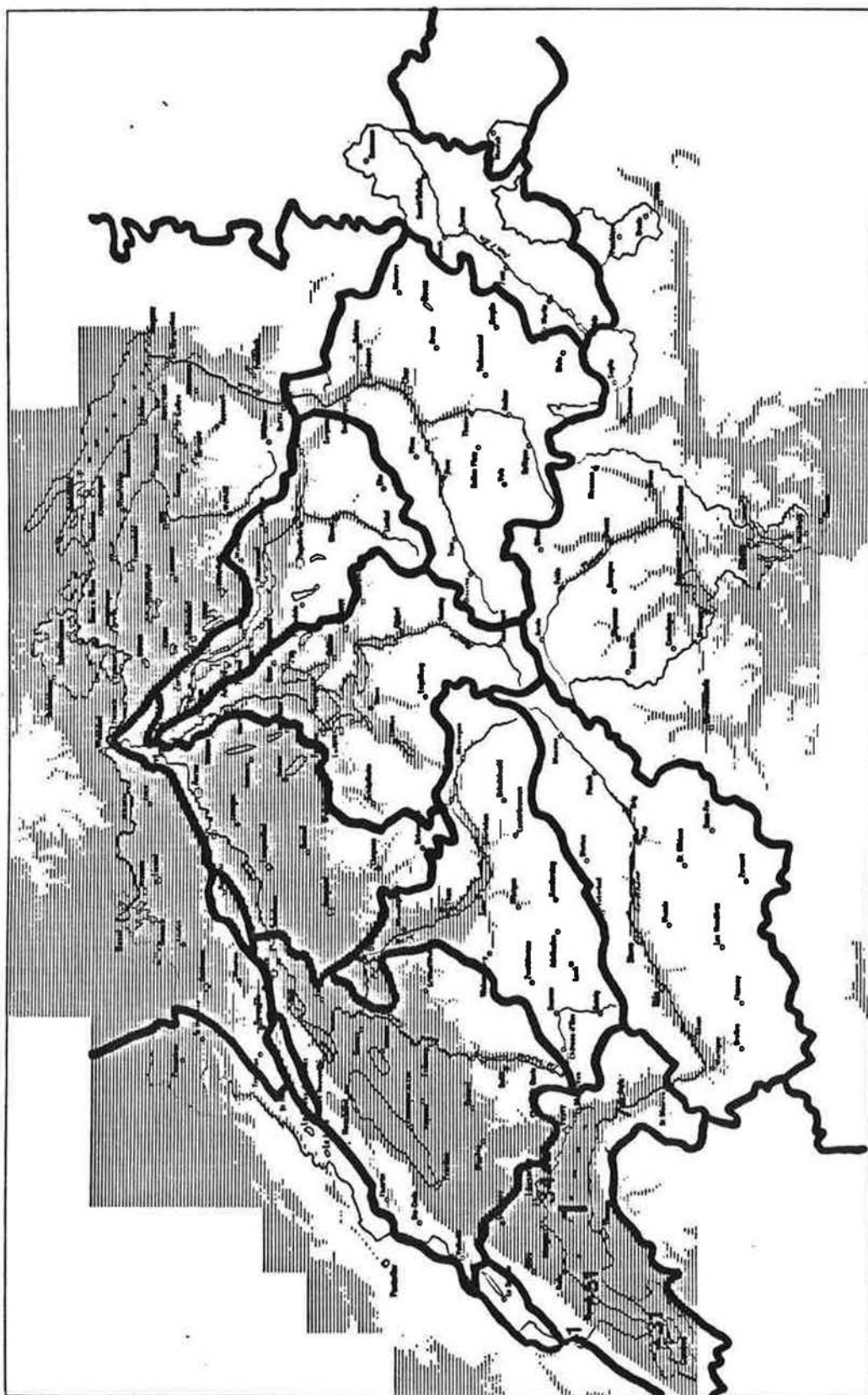


Fig. 21 : Ecart d'angle (degrés)



no de la station  
no du bassin de ventilation  
limite des bassins climatiques  
altitudes < 800 m

Fig. 22 : Carte provisoire des bassins de ventilation de la Suisse.

Fig. 23a : Tableau des valeurs de la hauteur de rugosité  $z_0$ , de la vitesse de frottement  $u_*$  et de l'intensité de turbulence  $I$ , en fonction du secteur des vitesses moyennes et extrêmes sur la période d'observations 1978 - 1988 à la station météorologique de Coire.

SECTEUR	VM	G	g	Z0	U*	I
0.000000	2.845122	1.963995	3.890426	0.256853	0.286252	0.247786
5.000000	2.771845	2.035026	4.101317	0.278894	0.284376	0.252364
10.000000	3.024348	1.941346	4.255363	0.149489	0.267917	0.221214
15.000000	3.351667	1.852810	4.479054	0.062766	0.249323	0.190399
20.000000	3.787500	1.769197	4.583813	0.025084	0.241160	0.167807
25.000000	4.240000	1.696738	4.719845	0.008144	0.229162	0.147619
30.000000	4.594167	1.653002	4.732701	0.003970	0.226536	0.137977
35.000000	4.845000	1.645855	4.768088	0.003063	0.231760	0.135454
40.000000	4.848333	1.657271	4.668859	0.004458	0.243050	0.140778
45.000000	4.799167	1.674944	4.604944	0.006592	0.253156	0.146569
50.000000	4.543334	1.697909	4.466999	0.012256	0.260947	0.156237
55.000000	4.255000	1.707011	4.289968	0.019977	0.262551	0.164806
60.000000	3.837288	1.712898	4.191661	0.027366	0.248002	0.170075
65.000000	3.583761	1.698068	3.996694	0.034609	0.240181	0.174661
70.000000	3.133333	1.695922	3.881689	0.044928	0.218235	0.179283
75.000000	2.909575	1.689579	3.726926	0.057122	0.210798	0.185026
80.000000	3.268235	1.444924	3.682432	0.002033	0.146649	0.120824
85.000000	2.719118	1.677123	3.459809	0.081866	0.210233	0.195711
90.000000	2.711321	1.658316	3.412650	0.075673	0.206340	0.192905
95.000000	2.703125	1.697110	3.370171	0.110414	0.222202	0.206847
100.000000	2.684000	1.794337	3.221090	0.254266	0.268064	0.246605
105.000000	2.529630	1.843338	3.309204	0.294923	0.261363	0.254846
110.000000	2.806667	1.845606	3.225981	0.325569	0.300588	0.262124
115.000000	2.655555	1.769874	3.189814	0.232141	0.258898	0.241354
120.000000	2.836000	1.836389	3.205885	0.319007	0.302286	0.260892
125.000000	2.694118	1.788210	3.358420	0.204253	0.254733	0.234697
130.000000	2.677551	1.777439	3.386894	0.184778	0.246987	0.229543
135.000000	2.989189	1.739602	3.609371	0.100770	0.242731	0.204912
140.000000	3.277228	1.642900	3.807061	0.029359	0.212600	0.168871
145.000000	3.704587	1.652303	3.972877	0.021778	0.230325	0.164189

LEGENDE

\*\*\*\*\*

- SECTEUR ORIENTATION DU DEBUT DE SECTEUR DE 5 DEG,NORD A 0 DEG
- VM VITESSE MOYENNE EN m/s MOYNNEE SUR LE NOMBRE D OCCURENCE DURANT LA PERIODE 1978-1988
- G COEFFICIENT DE RAFALE
- g COEFFICIENT D AMPLIFICATION DYNAMIQUE APPLIQUE SUR LA VITESSE MOYENNE
- Z0 HAUTEUR DE RUGOSITE
- U\* VITESSE DE FROTTEMENT
- I INTENSITE DE TURBULENCE

Fig. 23a : Tableau des valeurs de la hauteur de rugosité  $z_0$ , de la vitesse de frottement  $u_*$  et de l'intensité de turbulence I, en fonction du secteur des vitesses moyennes et extrêmes sur la prévision d'observations 1978 - 1988 à la station météorologique de Coire.

SECTEUR	VM	G	g	Z0	U*	I
300.000000	2.525000	1.960396	3.465912	0.408408	0.285772	0.277098
305.000000	2.750000	2.224242	3.646024	0.774154	0.386614	0.335775
310.000000	2.703448	2.159439	3.635780	0.774154	0.379411	0.318897
315.000000	2.718000	2.253863	3.723260	0.780742	0.382841	0.336765

LEGENDE

\*\*\*\*\*

- SECTEUR ORIENTATION DU DEBUT DE SECTEUR DE 5 DEG, NORD A 0 DEG
- VM VITESSE MOYENNE EN m/s MOYNNEE SUR LE NOMBRE D OCCURENCE DURANT LA PERIODE 1978-1988
- G COEFFICIENT DE RAFALE
- g COEFFICIENT D AMPLIFICATION DYNAMIQUE APPLIQUE SUR LA VITESSE MOYENNE
- Z0 HAUTEUR DE RUGOSITE
- U\* VITESSE DE FROTTEMENT
- I INTENSITE DE TURBULENCE

Fig. 23c : Tableau des valeurs de la hauteur de rugosité  $z_0$ , de la vitesse de frottement  $u_*$  et de l'intensité de turbulence  $I$ , en fonction du secteur des vitesses moyennes et extrêmes sur la prévision d'observations 1978 - 1988 à la station météorologique de Coire.



SECTEUR	VM	G	g	Z0	U*	I
150.000000	4.022500	1.608660	4.180897	0.007699	0.215281	0.145581
155.000000	4.151667	1.639703	4.300665	0.008907	0.227011	0.148745
160.000000	4.005000	1.662921	4.562491	0.007612	0.213975	0.145298
165.000000	3.939167	1.660038	4.470562	0.008891	0.214875	0.147641
170.000000	4.019827	1.659447	4.500814	0.008138	0.216779	0.146517
175.000000	4.037838	1.653949	4.517458	0.008138	0.217790	0.144760
180.000000	4.165766	1.649870	4.605813	0.005598	0.213919	0.141098
185.000000	4.151351	1.656901	4.629797	0.005910	0.214680	0.141885
190.000000	4.075675	1.677719	4.582278	0.008671	0.221855	0.147900
195.000000	3.981982	1.696154	4.600926	0.010764	0.223269	0.151307
200.000000	3.987387	1.693854	4.539092	0.011685	0.226251	0.152862
205.000000	4.113513	1.676960	4.532714	0.009316	0.226262	0.149350
210.000000	4.344144	1.667565	4.430418	0.009448	0.239936	0.150678
215.000000	4.453153	1.668015	4.385562	0.010091	0.248497	0.152322
220.000000	4.372727	1.677547	4.215551	0.016023	0.261031	0.160726
225.000000	4.028704	1.723052	4.077493	0.035597	0.272843	0.177328
230.000000	3.565263	1.776794	3.877002	0.082773	0.281015	0.200359
235.000000	3.428986	1.758242	3.678047	0.098895	0.279740	0.206153
240.000000	2.910909	1.840725	3.698430	0.172584	0.265886	0.227319
245.000000	2.800000	2.035714	3.483420	0.172584	0.255018	0.297327
250.000000	2.873684	1.873626	3.349261	0.318270	0.306437	0.260842
255.000000	2.333333	1.900000	2.888571	0.615115	0.297646	0.311573
260.000000	2.660000	1.951128	2.872851	0.615115	0.343994	0.331074
265.000000	3.033333	1.780220	2.838783	0.390110	0.344187	0.274843
270.000000	2.685714	2.861702	2.706443	3.231904	0.782700	0.687878
275.000000	2.290000	2.131004	2.856286	1.198336	0.374217	0.395970
280.000000	2.385714	3.071856	2.677878	3.669180	0.750723	0.773693
285.000000	2.383333	2.545455	2.980449	2.097044	0.514444	0.518531
290.000000	2.414286	2.899408	2.888571	3.018923	0.656631	0.657560
295.000000	2.420000	2.066116	3.262309	0.712731	0.325903	0.326798

LEGENDE

\*\*\*\*\*

- SECTEUR ORIENTATION DU DEBUT DE SECTEUR DE 5 DEG,NORD A 0 DEG
- VM VITESSE MOYENNE EN m/s MOYNNEE SUR LE NOMBRE D OCCURENCE DURANT LA PERIODE 1978-1988
- G COEFFICIENT DE RAFALE
- g COEFFICIENT D AMPLIFICATION DYNAMIQUE APPLIQUE SUR LA VITESSE MOYENNE
- Z0 HAUTEUR DE RUGOSITE
- U\* VITESSE DE FROTTEMENT
- I INTENSITE DE TURBULENCE

Fig. 23b : Tableau des valeurs de la hauteur de rugosité  $z_0$ , de la vitesse de frottement  $u_*$  et de l'intensité de turbulence I, en fonction du secteur des vitesses moyennes et extrêmes sur la prévision d'observations 1978 - 1988 à la station météorologique de Coire.

# TRANSFERT DE DONNEES CLIMATOLOGIQUES

Experimentateur: AL

Date: 26/03/89

Essai numero: 22

Type d'essai:

ETALONNAGE EN ROTATION, PAS DE TROIS DEGRES

Configuration:

appareil:

SCHASTA NO 20516

mat:

150 MM DE DIAMETRE

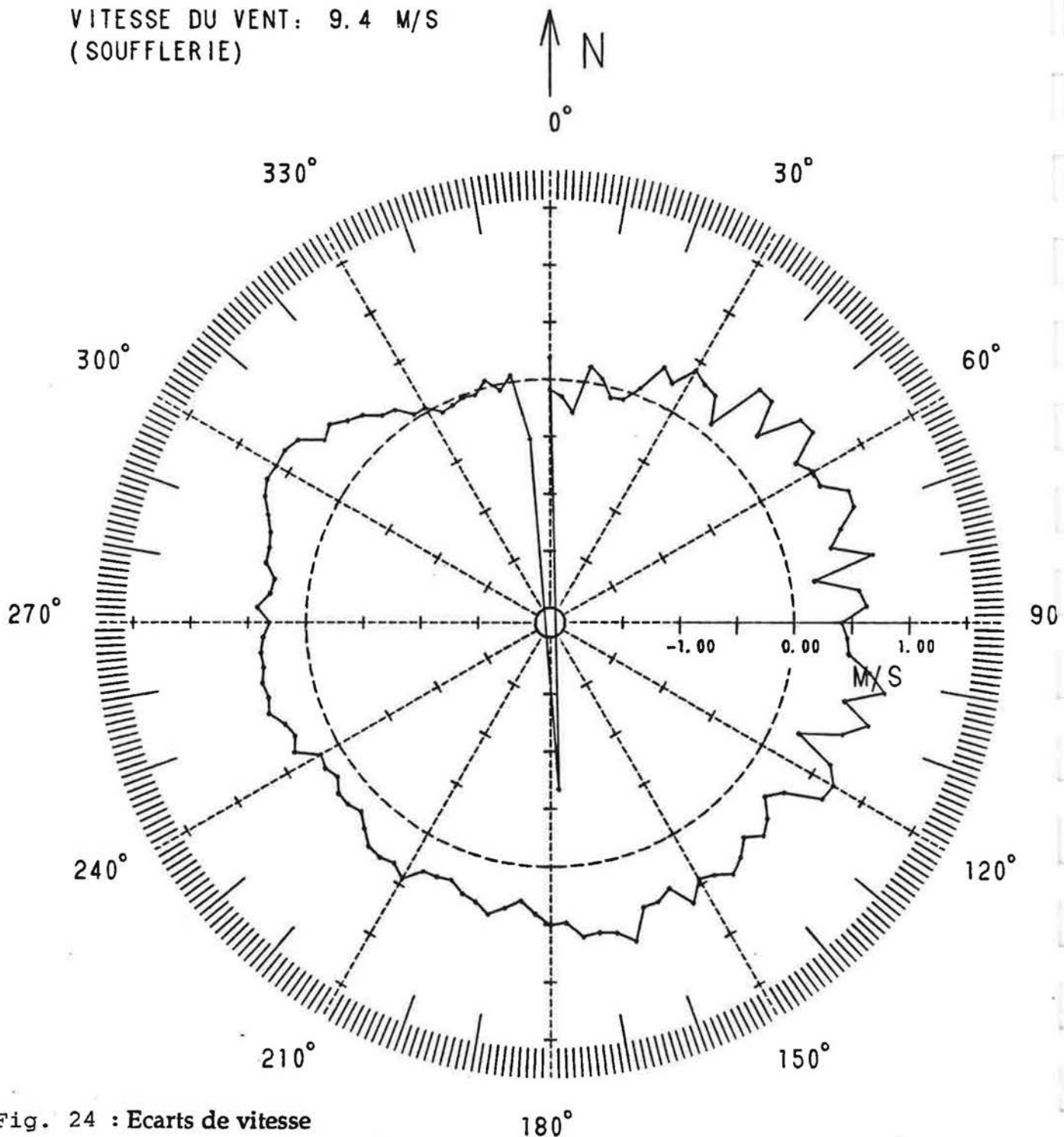
accessoires:

NEANT

Emplacement:

X: 8000 mm

Y: 0 mm



ANGLE POLAIRE = DIRECTION D'OU VIENT LE VENT (SOUFFLERIE)

ECART = MESURE ANEMOMETRE - MESURE SOUFFLERIE

# TRANSFERT DE DONNEES CLIMATOLOGIQUES

Experimentateur: AL

Date: 26/03/89

Essai numero: 22

Type d'essai:

ETALONNAGE EN ROTATION, PAS DE TROIS DEGRES

Configuration:

appareil:

SCHASTA NO 20516

mat:

150 MM DE DIAMETRE

accessoires:

NEANT

Emplacement:

X: 8000 mm

Y: 0 mm

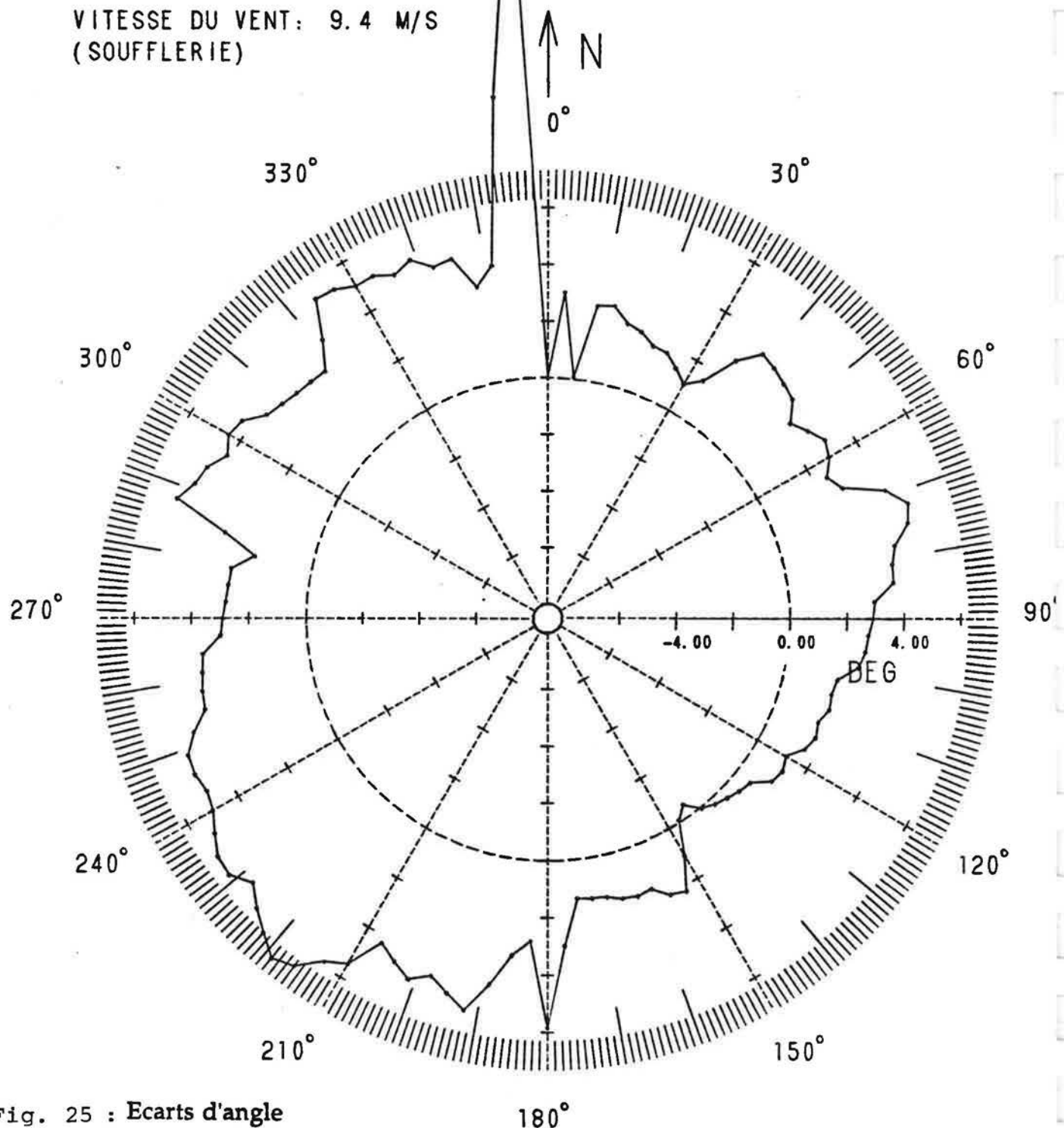


Fig. 25 : Ecart d'angle

ANGLE POLAIRE = DIRECTION D'OU VIENT LE VENT (SOUFFLERIE)

ECART = MESURE ANEMOMETRE - MESURE SOUFFLERIE

### CORRECTION DES DONNÉES ANETZ

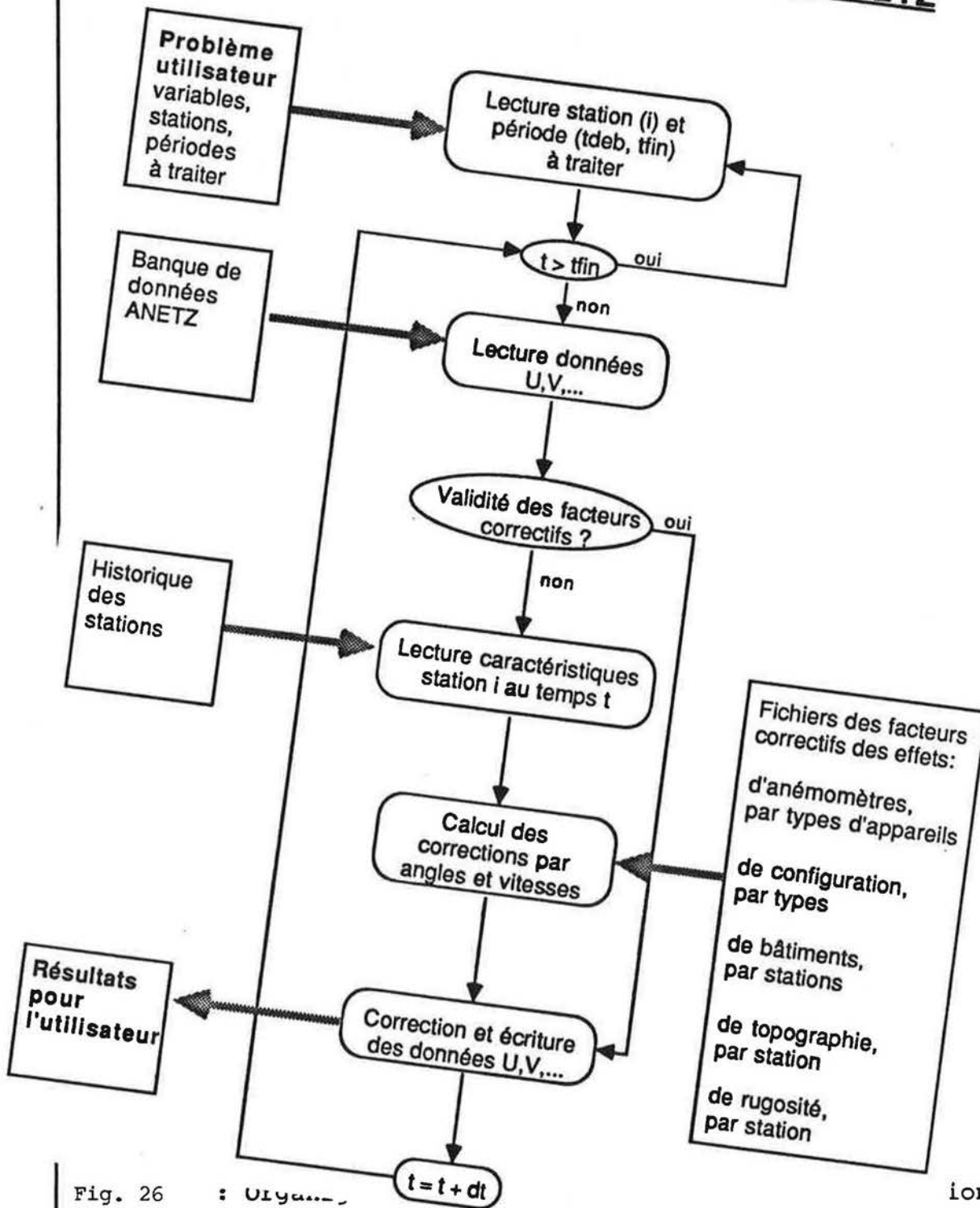


Fig. 26 : Ulysses

ions.