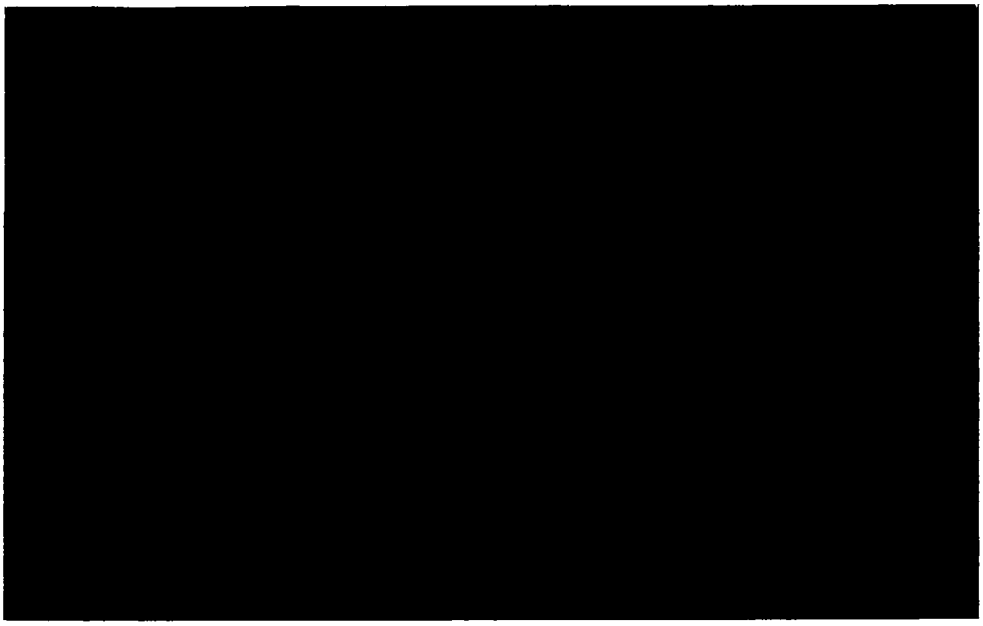

Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt
Rapports de travail de l'Institut Suisse de Météorologie
Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia
Working Reports of the Swiss Meteorological Institute

Zürich

52705

No 108

MESURES DES PROFILS DE TURBULENCE DANS LA COUCHE LIMITE ET OBSERVATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE, PAR FUMIGENE EMIS AU SOL ET EN ALTITUDE

par

Daniel Schneiter, Payerne

février 1982

Observation de la turbulence atmosphérique 551.501.755

RESUME

Les études de la dispersion atmosphérique en terrain complexe, à l'aide de fumigènes, permettent d'observer directement la densité de probabilité marginale des particules émises. Les expériences près du sol mettent en corrélation les mesures de turbulence effectuées à une hauteur de 10 m et les images du panache (profil, élévation et plan) recueillies par un réseau de caméras. Les expériences en altitude associent les mesures du profil de turbulence et l'évolution de cinq panaches fumigènes de couleur, distribués tous les 25 m le long du filin d'un ballon captif. Le traitement graphique des mesures et l'assimilation vidéo des films facilitent le dépouillement des résultats. Ces mesures serviront à la vérification des différentes hypothèses proposées dans les modèles stochastiques (gaussiens ou non) de dispersion atmosphérique.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Studien der atmosphärischen Ausbreitung in einem komplexen Gelände mittels Rauchkörper erlauben eine direkte Beobachtung der Randwahrscheinlichkeitsdichte der emittierten Rauchteilchen. Die Experimente in Bodennähe verbinden die 10 m über Boden durchgeführten Turbulenzmessungen mit den Schwadenbildern (in Seiten-, Vorder- und Planansicht), die von einem Kameranetz aufgenommen werden. Die Experimente in der Höhe verknüpfen Turbulenzprofilmessungen mit der Entwicklung von fünf farbigen Schwaden, die alle 25 m entlang des Kabels eines Fesselballons verteilt sind. Die graphische Darstellung der Messungen und die Videoverarbeitung der Filme erleichtern die Auswertung der Resultate. Diese Messungen dienen der Ueberprüfung der verschiedenen in stochastischen Modellen (Gauss'sch oder nicht) der atmosphärischen Ausbreitung vorgeschlagenen Hypothesen.

RIASSUNTO

Gli studi della dispersione atmosferica su terreno complesso con l'aiuto di fumogeni, permettono d'osservare direttamente la densità di probabilità marginale delle particole emesse. Le esperienze vicino al suolo mettono in relazione le misure di turbulenza effettuate ad una altezza di 10 m e le immagini della nuvola di fumo (profilo, elevazione e piano) raccolte da una rete di cineprese. Le esperienze in altitudine associano le misure del profilo della turbulenza e l'evoluzione delle cinque nuvole di fumogeni colorati, distributi ogni 25 m lungo il filo del pallone frenato L'elaborazione grafica delle misure e l'assimilazione "video" dei film facilitano lo spoglio dei risultati. Queste misure serviranno per verificare le differenti ipotesi proposte nei modelli stocastici (gaussiani o no) di dispersione atmosferica.

SUMMARY

Studies of the atmospheric dispersion over complex terrain, with the aid of smoke plumes, enable the direct observation of the marginal density probability of the emitted particles. Experiments near the ground correlate the turbulence measurements at 10 m height and plume pictures (profile elevation and plan) taken by a network of cine-cameras. Experiments in altitude correlate the turbulence profile, measured by a microaeorological equipment and the development of five smoke plumes of different colors, distributed every 25 m along the cable of tethered balloon. The graphical data treatment and video editing of the films enable easy access to the results. These measurements will be used to check the validity of different assumptions proposed in the stochastic modellings (Gaussian or non Gaussian) of atmospheric dispersion.

TABLE DES MATIERES

	Page
INTRODUCTION	4
EXPERIENCES FUMIGENES PRES DU SOL ...	5
RESULTATS	5
EXPERIENCES FUMIGENES EN ALTITUDE ...	12
RESULTATS	14
REMARQUES FINALES	14
REMERCIEMENTS	16
BIBLIOGRAPHIE	16

INTRODUCTION

La concentration moyenne au point $\vec{r}$, et à l'instant t, d'un polluant inerte provenant d'une source ponctuelle continue, d'intensité Q (nombre de particules par unité de temps) au point $\vec{r}_s$, est donnée par l'équation générale (réf. 10, 11)

$$\bar{c}\ (\vec{r},\ t) \ = \ Q \int_0^t p\ (\vec{r},\ t \mid \vec{r}_s,\ t')\ dt'$$

$p(\vec{r},\ t \mid \vec{r}_s,\ t')$ est la probabilité pour qu'une particule émise au point $\vec{r}_s$, au temps t', se trouve au point $\vec{r}$, au temps t. Nous supposerons que les accélérations verticales dues à la différence de température entre le panache et l'air ambiant (flottabilité) sont négligeables.

Dans ce cas la densité $\bar{c}(\vec{r},\ t)$ n'est fonction que des conditions de dispersion de l'air ambiant. Les images photographiques du panache, dans la direction z par exemple, donne une représentation de la densité marginale du champ des concentrations (réf. 17)

$$\bar{c}_z\ (x,\ y,\ t) \ = \ \int_0^\infty \bar{c}\ (x,\ y,\ z,\ t)\ dz$$

La distance entre les caméras et le panache doit être suffisante pour atténuer les effets de perspective. Les résultats des modèles numériques susceptibles de calculer le champ $\bar{c}_z(x,\ y,\ t)$ seront directement comparés avec ces images. Les données recueillies lors des expériences fumigènes réalisées au sol et en altitude sur le site accidenté de Payerne (40 km de Lausanne) seront utilisées à la vérification des modèles stochastiques de diffusion atmosphérique, dans des conditions topographiques difficiles par vent faible à modéré.

EXPERIENCES FUMIGENES PRES DU SOL

Les trois composantes d'un anémomètre à hélice XYZ (fig. 1), placé sur un mât à 10 m/sol, sont mémorisées toutes les 5 s, pendant une heure. Trois bombes fumigènes sont mises à feu successivement, près du point de mesure. Pour chaque expérience (tab. 1), les emplacements des caméras ont été déterminés en fonction de la direction du vent moyen et de la position du soleil. Une vue en plan est obtenue par une caméra aéroportée, fixée verticalement sous un ballon captif stabilisé entre 200 et 500 m/sol. Le balisage du terrain (fig. 3) donne les repères nécessaires au dimensionnement de la trajectoire du panache. Des horloges placées dans le champ de prise de vue des caméras assurent la synchronisation entre les mesures de turbulence et les images. Des sondages micro-aérologiques (réf. 19) suivent l'évolution des profils de température, d'humidité, de vitesse et direction du vent pendant les émissions de panache.

RESULTATS

Après correction partielle des non-linéarités (réf. 8 et 18) les composantes 5 s sont mises en fichier et analysées par des programmes graphiques. La courbe obtenue par simple addition des composantes horizontales, dans un ordre chronologique inverse (fig. 4), donne une représentation schématique de la trajectoire réelle du panache (fig. 3). L'ensemble des vecteurs vent horizontaux relevés pendant une heure, sont représentés chronologiquement de gauche à droite (fig. 5). Ce graphique met bien en évidence l'organisation périodique des tourbillons. Les mêmes vecteurs dessinés à partir d'une origine commune (fig.6) établissent la répartition sectorielle des directions et des vitesses qui, dans ce cas précis, occupent presque tous les azimuts.

Fig. 1: Capteur XYZ et bombe fumigène à 10 m/sol

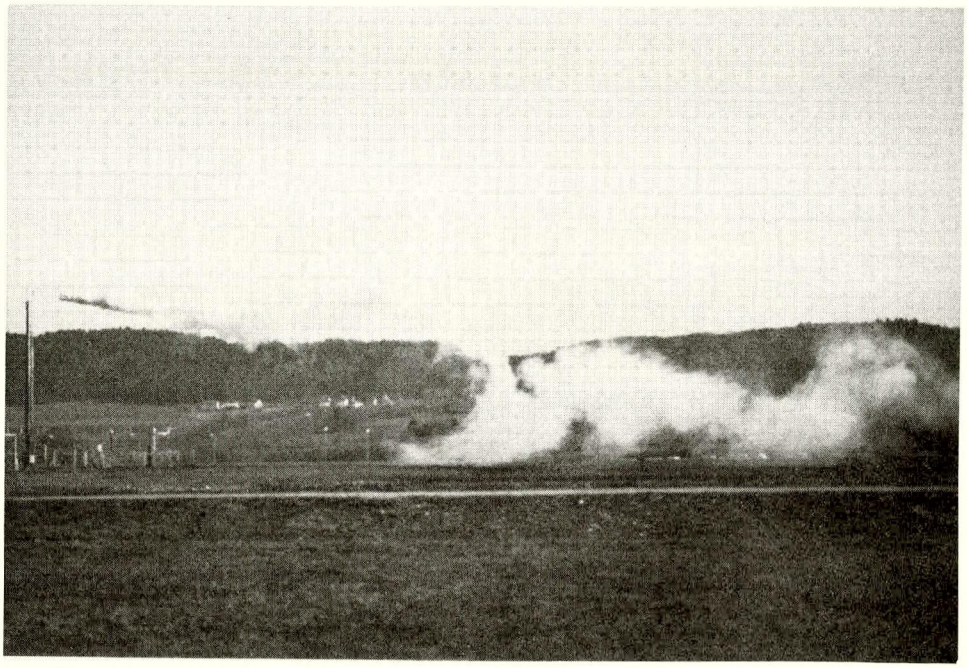

Fig. 2: Rabattement du panache dans un profil de vent logarithmique

TABLEAU 1 : Expériences fumigènes près du sol

	BOMBES FUMIGENES				EMPLACEMENTS CAMERAS				MESURES	
NO	DATE	HEURES	DUREES	POIDS	8 mm	8 mm	8 mm	16mm	XYZ	h / sol sondages
1	3.3.78	14h59'30"	1'50"	2 kg	L100	--	--	--	--	--
2	3.3.78	15h16'30"	3'30"	2 kg	L100	--	--	--	--	--
3	3.3.78	15h31'30"	3'10"	2 kg	L100	--	--	--	--	--
4	8.3.78	9h26'50"	3'10"	2 kg	F 75	--	--	--	--	--
5	8.3.78	10h04'50"	3'10"	2 kg	F 75	--	--	--	--	--
6	9.3.78	16h42'20"	3'10"	2 kg	F 75	--	--	T 85	--	--
7	9.3.78	16h52'10"	3'10"	2 kg	L 75	--	--	T 85	--	--
8	9.3.78	17h02'30"	2'30"	2 kg	L 75	--	--	T 85	--	--
9	11.3.80	15h20'50"	2'50"	2 kg	G 50	--	--	L 50	XY-	--
10	11.3.80	15h38'25"	3'05"	2 kg	G 50	--	300m	L 50	XY-	405m
11	11.3.80	15h48'30"	3'18"	2 kg	G 50	--	500m	L 50	XY-	399m
12	12.3.80	9h12'25"	2'50"	2 kg	G 50	--	500m	L 75	XY-	677m
13	12.3.80	9h25'30"	2'50"	2 kg	G 50	--	500m	F 75	XY-	--
14	12.3.80	9h38'27"	2'58"	2 kg	G100	--	500m	F 75	XY-	709m
15	12.3.80	15h10'15"	3'10"	2 kg	K100	--	500m	L 75	XY-	497m
16	12.3.80	15h26'17"	3'43"	2 kg	K100	--	500m	--	XY-	--
17	12.3.80	15h34'35"	2'45"	2 kg	K100	--	500m	L 75	XY-	435m
18	17.3.80	14h13'25"	2'55"	2 kg	L 75	--	--	T 85	XY-	497m
19	17.3.80	14h24'05"	3'08"	2 kg	L 75	--	--	T 85	XY-	--
20	17.3.80	14h35'15"	3'00"	2 kg	L 75	--	--	T 85	XY-	508m
21	18.3.80	11h10'02"	2'58"	2 kg	T 85	P100	500m	P100	XY-	499m
22	18.3.80	11h24'50"	2'48"	2 kg	T 85	P100	500m	P100	XY-	--
23	18.3.80	11h40'20"	3'10"	2 kg	T 85	P150	500m	P100	XY-	505m
24	18.3.80	14h25'22"	3'00"	2 kg	H150	F100	300m	F100	XY-	499m
25	18.3.80	14h34'12"	3'20"	2 kg	H150	F100	500m	F100	XY-	--
26	18.3.80	14h43'55"	2'20"	2 kg	H150	F100	500m	--	XY-	508m
27	3.4.81	14h17'17"	2'53"	2 kg	S150	H150	500m	B150	XY-	306m
28	3.4.81	14h42'53"	8'03"	5 kg	S150	H150	500m	B150	XY-	290m
29	6.4.81	15h15'00"	3'15"	2 kg	C100	H150	--	B100	XYZ	287m
30	6.4.81	15h30'00"	9'15"	5 kg	C100	H150	--	B100	XYZ	314m
31	6.4.81	15h45'00"	2'50"	2 kg	C100	H150	--	B100	XYZ	241m
32	7.4.81	14h15'00"	2'45"	2 kg	C100	H150	--	B100	XYZ	495m
33	7.4.81	14h26'00"	9'36"	5 kg	C100	H150	--	B100	XYZ	494m
34	7.4.81	14h44'00"	2'45"	2 kg	C100	H150	--	B100	XYZ	497m
35	7.4.81	16h15'00"	2'42"	2 kg	--	H150	200m	B100	XYZ	402m
36	7.4.81	16h33'45"	10'15"	5 kg	C100	H150	200m	B100	XYZ	246m
37	7.4.81	16h49'20"	2'50"	2 kg	C100	H150	200m	B100	XYZ	462m
38	8.4.81	14h15'00"	3'00"	2 kg	C100	H150	200m	B100	XYZ	802m
39	8.4.81	14h30'00"	9'45"	5 kg	C100	H150	200m	--	XYZ	498m
40	8.4.81	14h45'00"	3'20"	2 kg	C100	H150	200m	B100	XYZ	501m
41	8.4.81	15h14'58"	2'42"	2 kg	C100	H150	--	B100	XYZ	523m
42	8.4.81	15h25'00"	9'30"	5 kg	C100	H150	--	B100	XYZ	507m
43	8.4.81	15h39'22"	2'28"	2 kg	C100	H150	--	B100	XYZ	514m

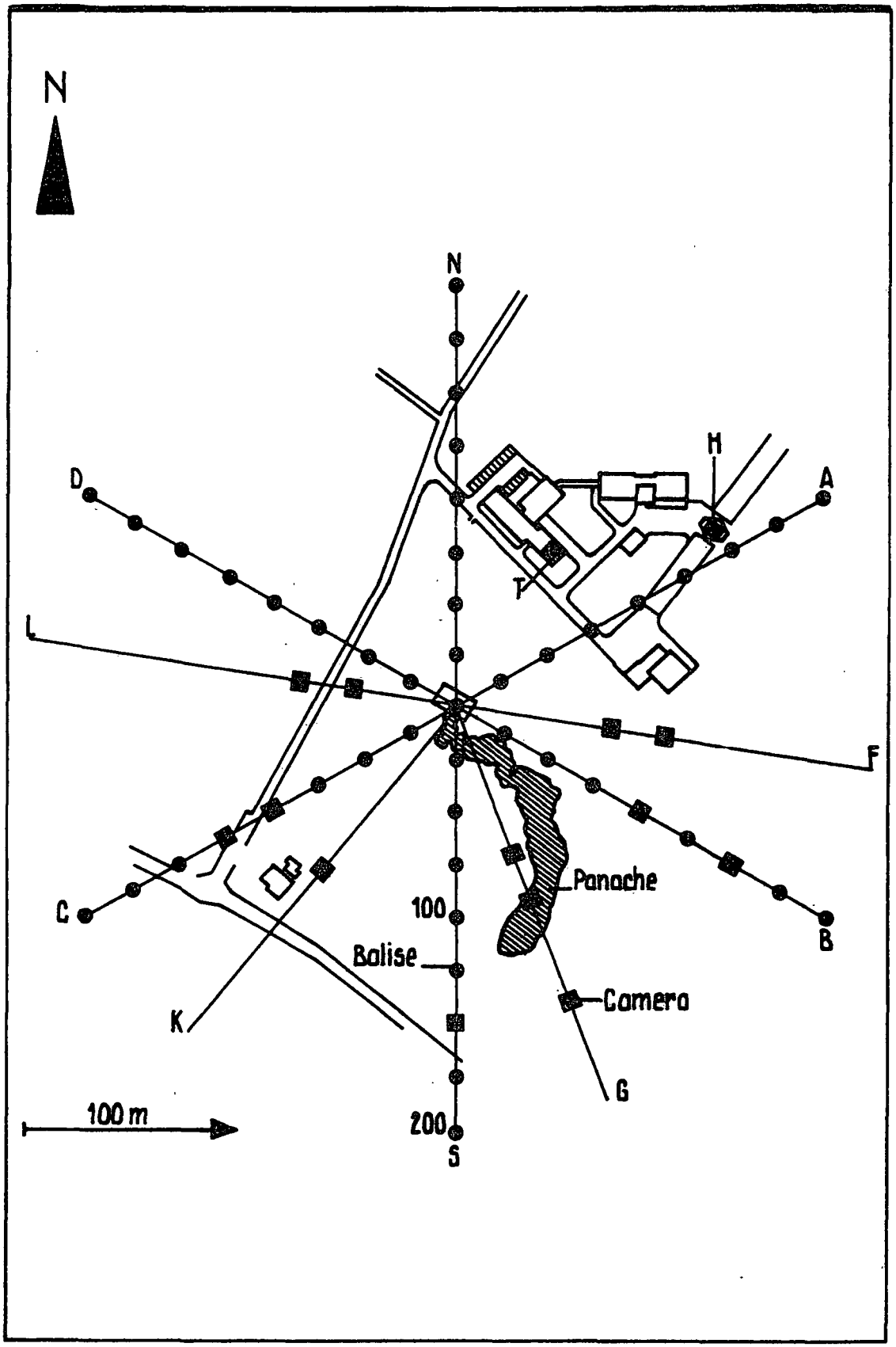

Fig. 3: Plan de situation et relevé du panache No 40, 8.4.1981, 14h46'30"

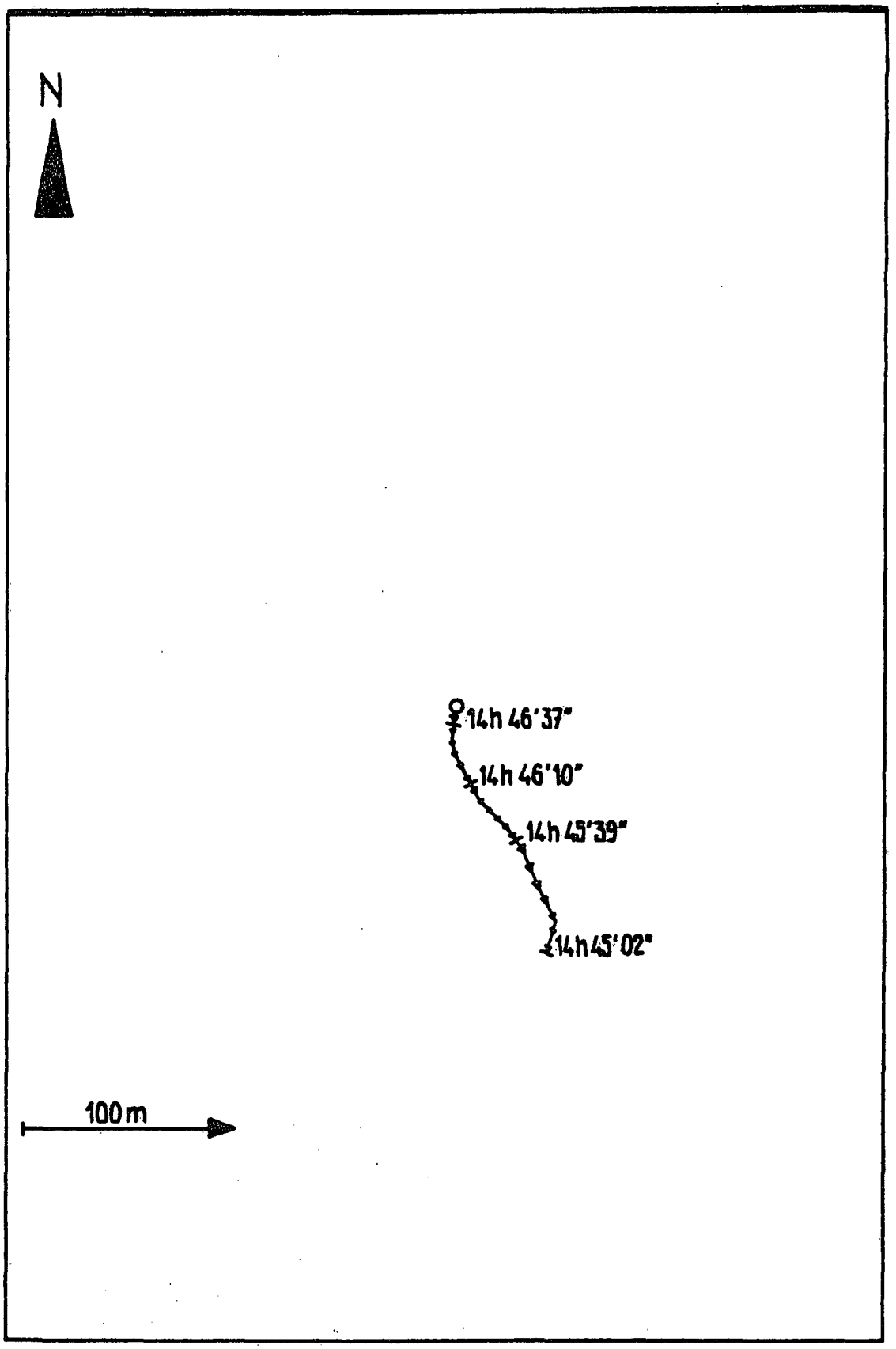

Fig. 4: Transport virtuel du 8.4.1981, de 14h45'02" à 14h46'31"

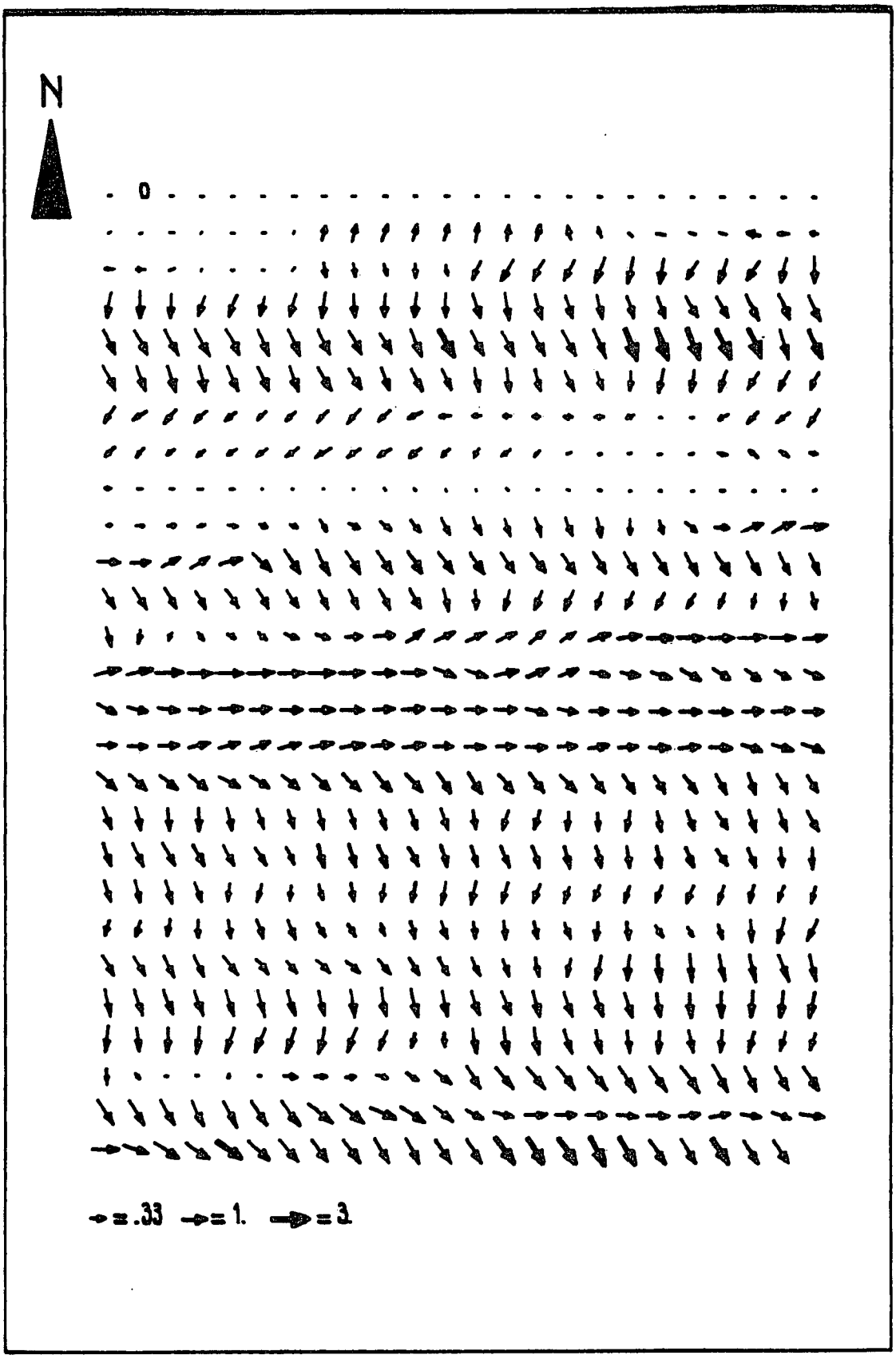

Fig. 5: Vecteurs vent horizontaux mesurés toutes les 5 s (échelle logarithmique), 8.4.1981, de 14h01'02" à 14h57'39"

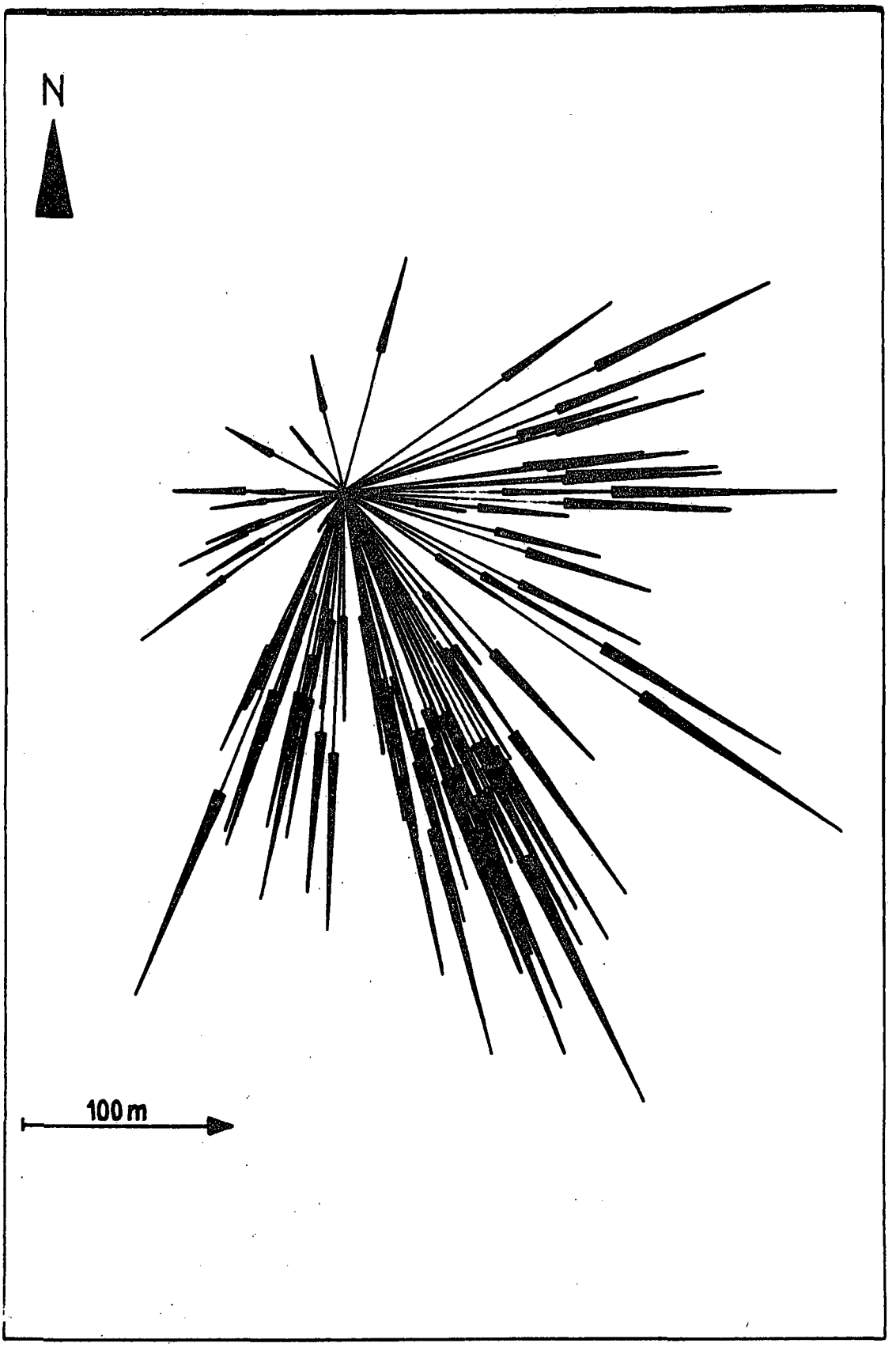

Fig. 6: Faisceau des vecteurs vent horizontaux, mesurés toutes les 5 s (échelle linéaire), sur la même période que Fig. 5

EXPERIENCES FUMIGENES EN ALTITUDE

Les capteurs de la sonde microaérologique MOBILAB (pression, température, humidité, direction du vent) sont complétés par deux hélices d'axes obliques (fig. 7). Ces deux composantes covariantes du vent permettent de calculer la vitesse horizontale et verticale à chaque niveau de mesure. Les sondages sont effectués successivement en montée et en descente. Les mesures sont relevées tous les 5 m et décrivent la structure fine (fig. 9 et 11) de la couche limite. Cinq fumigènes de couleur différente sont placés, tous les 25 m, le long du câble d'un deuxième ballon captif. Ils sont mis à feu par télécommande radio. Deux caméras super 8 filment le panache suivant un axe vertical (fig. 8) et oblique. Une caméra 16 mm, placée sur une colline voisine à une distance de 800 m, donne une vue en axe horizontal (fig. 10 et 12). Un appareil photographique muni d'un objectif "oeil de poisson" d'axe vertical est déclenché toutes les 3 s. Ces images en coordonnées polaires donnent l'azimut et l'élévation des contours de chaque panache.

TABLEAU 2 : Expériences fumigènes en altitude

NO	DATE	HEURE	DUREE	NOMBRE DE FUMIGENES	HAUTEURS	SOMMET DU SONDAGE
1	9.4.81	10h39'00"	1'30"	5	50 m à 150 m	-
2	9.4.81	11h40'00"	1'25"	5	117 m à 217 m	-
3	9.4.81	14h53'15"	1'05"	4	43 m à 118 m	804 m
4	9.4.81	15h41'30"	1'30"	5	53 m à 153 m	992 m
5	10.4.81	08h46'14"	1'21"	4	113 m à 188 m	494 m
6	10.4.81	09h23'00"	1'25"	5	56 m à 156 m	496 m
7	10.4.81	09H58'42"	1'18"	4	53 m à 153 m	505 m
8	10.4.81	11h14'17"	1'28"	5	35 m à 135 m	505 m
9	10.4.81	11h35'15"	1'25"	5	38 m à 138 m	494 m

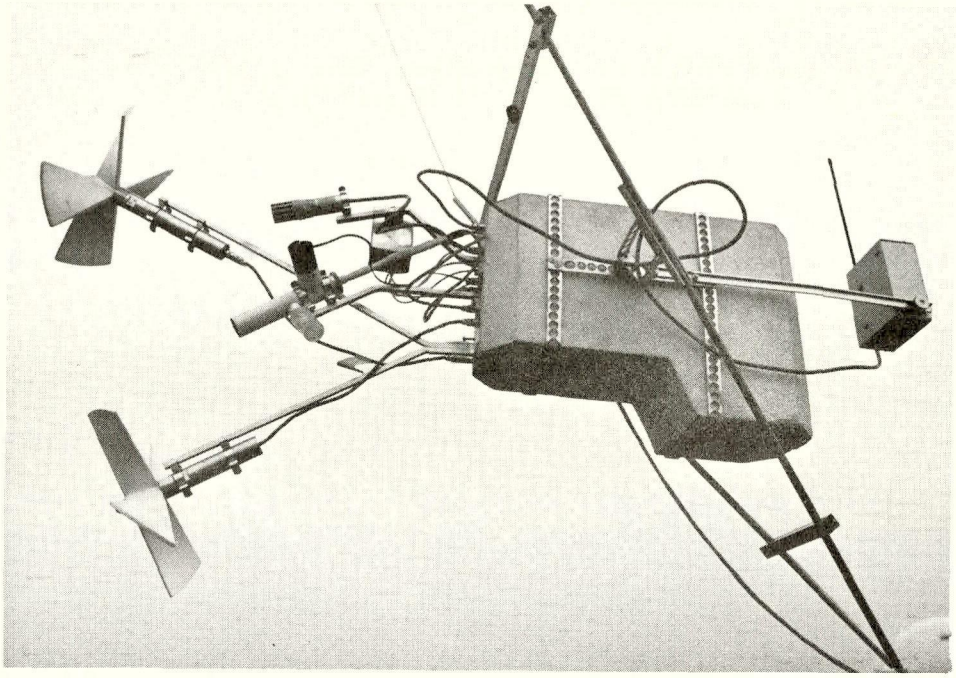

Fig. 7: Sonde MOBILAB avec 2 hélices à ±30°

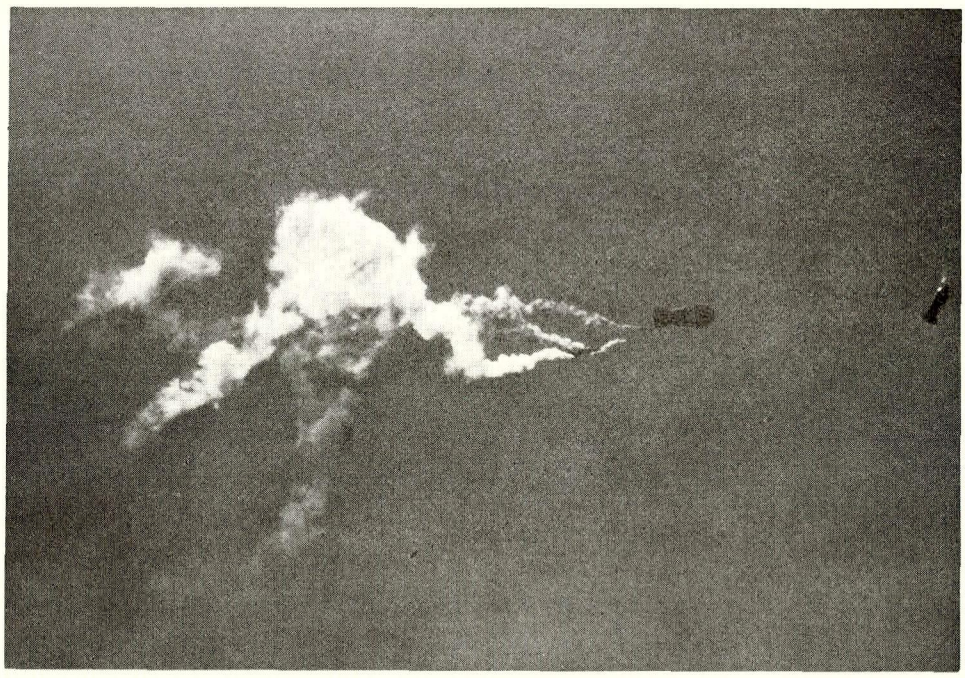

Fig. 8: Cinq fumigènes aéroportés et ballon sonde (vue verticale)

RESULTATS

Les expériences ont mis en évidence la stratification très marquée des conditions de dispersion dans la couche limite atmosphérique inférieure (0 à 200m). Le premier cas (fig. 9 et 10) présente une importante rotation du vent entre 20 m et 80 m. L'absence du vent, presque totale (composantes horizontale aussi bien que verticale) entre 80 m et 100 m, s'avère être un obstacle pratiquement infranchissable pour des polluants inertes. Le deuxième cas (fig. 11 et 12) observé deux heures plus tard, est plus instable (-1,2°C par 100 m, entre 36 et 136 m). Les fortes composantes ascendantes et descendantes du vent provoquent le mélange des panaches à courte distance des points d'émission.

REMARQUES FINALES

Les expériences fumigènes réalisées ces dernières années à Payerne rassemblent des données utiles à l'étude difficile de la dispersion atmosphérique en terrain complexe. Les mesures, les photographies et les films décrivent en détail le comportement de panaches inertes par vents faibles à modérés. Les progrès technologiques disponibles (station météorologique automatique, miniordinateur, caméras à déclenchement automatique, traitement des films par vidéo) donnent de nouvelles possibilités aux expériences déjà réalisées (réf. 2, 4, 5, 12, 13, 15 et 16) qui ont prouvé les avantages de la méthode. Les modèles numériques stochastiques ont pour objectif la simulation de la dispersion lagrangienne des panaches à partir des mesures eulériennes de turbulence au sol et en altitude. Les expériences de Payerne serviront à vérifier différentes hypothèses pouvant intervenir dans le calcul du cheminement aléatoire des particules , utilisé par ces modèles.

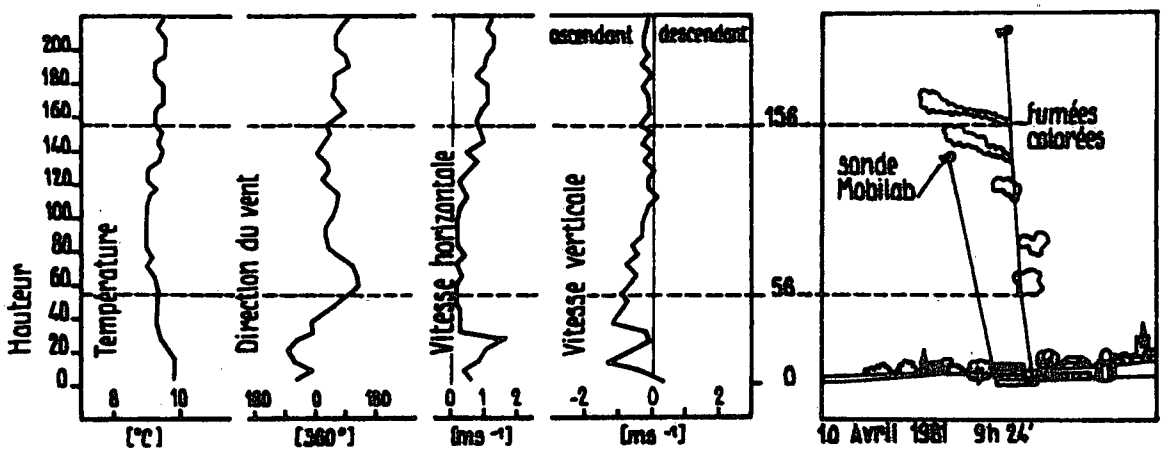

Fig. 9: Sondage MOBILAB du 10.4.1981 de 09h13' à 09h27'

Fig. 10: Fumigènes aéroportés

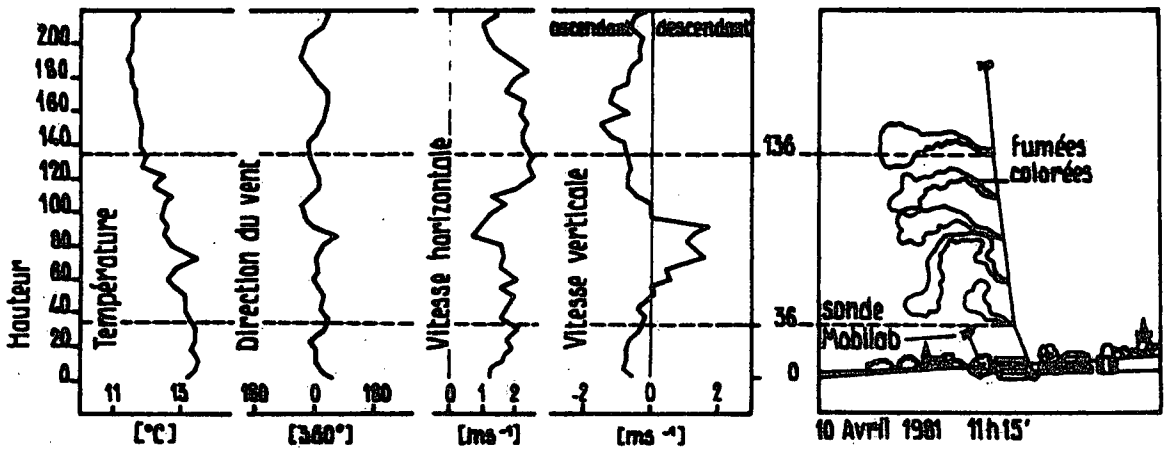

Fig. 11: Sondage MOBILAB du 10.4.1981 de 11h14' à 11h25'

Fig. 12: Fumigènes aéroportés

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pas pu être réalisé sans l'appui déterminant de M. A. Junod, Directeur-suppléant de l'Institut suisse de météorologie, de M. P. Jeannet, Chef de la Section de la protection de l'air, et de ses collaborateurs: Mmes A. Burgdorfer, A. Junod-Rietveld, F. Pahud, D. Spielmann, MM. A. Aepli, H. Berger, P. Tercier, A. Vernez, P. Viatte et P. Wasserfallen. Les graphiques ont été dessinés par Mme M. Schneiter.

INSTITUT SUISSE DE METEOROLOGIE
Section de la protection de l'air
D. Schneiter
1530 Payerne

BIBLIOGRAPHIE

1 F. Baatard et S. Magnin - La mécanique aléatoire de Dedebant et Philippe Wehrle - Bulletin technique de la Suisse Romande Nos 4, 9 et 12, Lausanne 1972

2 N.L. Byzova et E.K. Garger - Experimental study of diffusion parameters with the aid of smoke plumes - Izv. Atmos. and Ocean. Phys. 6(1970) 996-1006

3 R.R. Draxler - Some observations of the along-wind dispersion parameter - AMS, Fourth symposium on turbulence, diffusion and air pollution, Reno, Nevada, Jan. 1979, 5-8

4 E.K. Garger et Lemann - Measurement of vertical diffusion parameter according to smoke plume data - Izv. Atmos. and Ocean. Phys. 14(1978) 101-107

5 F.A. Gifford - Smoke as a quantitative atmospheric diffusion tracer - J. Atmos. Env. 14(1980) 1119-1122

6 S.R. Hanna - Diurnal variation of horizontal wind direction fluctuations in complex terrain at Geysers, California - Boundary-Layer Met. 21(1981) 207-213

7 S.R. Hanna - Lagrangian and Eulerian time scale relations in the daytime boundary layer - J. Appl. Met. 20(1981) 242-249

8 T.W. Horst - Correction for response errors in a three-component propeller anemometer - J. Appl. Met. 12(1973) 716-725

9 S.K. Kao, H.N. Lee et K.I. Smidy - Analysis of the topographical effect on turbulence and diffusion in the atmosphere's boundary layer - Boundary-Layer Met. 8(1975) 323-334

10 R.G. Lamb - A numerical simulation of dispersion from an elevated point source in the convective planetary boundary-layer - J. Atmos. Env. 12(1978) 1297-1304

11 R.G. Lamb - Mathematical principles of turbulence diffusion modelling - A Longhetto: Atmospheric planetary boundary layer physics, Elsevier, Amsterdam, 1980, 173-210

12 T. Mikkelsen - Simulation of obscuration smoke diffusion - Riso National Laboratory, Denmark, Jan. 1979, 73 p.

13 T. Mikkelsen, S.E. Larsen et I. Troen - Some puff modelling principles relevant for dispersion calculation in the atmosphere - Riso National Laboratory, Denmark, Sept. 1980, 29 p.

14 P.K. Misra - Determination of boundary-layer parameters using a vertical Gill anemometer - Boundary-Layer Met. 17(1979) 93-100

15 C.J. Nappo - Atmospheric turbulence and diffusion estimate derived from observation of a smoke plume - J. Atmos. Env. 15(1981) 541-547

16 C.J. Nappo - Relative and single particle diffusion estimates determined from smoke plume photographs - AMS, Fourth symposium on turbulence, diffusion and air pollution, Reno, Nevada, Jan. 1979, 46-47

17 A. Papoulis - Probability, random variables, and stochastic processes - McGraw-Hill, New-York, 1965, 583 p.

18 P.E. Ravussin et R.J. Hopkirk - A gust and turbulence sensor - Ecole polytechnique fédérale, Chaire de la mécanique de la turbulence, Groupe EPFL-ISM, No 102, Lausanne 1979, 27 p.

19 P. Wasserfallen et P. Du Pasquier - Système de sondage dans la basse troposphère de l'Institut suisse de météorologie - OMM, No. 480, Proceedings (1977) 165-167

20 R.B. Wilson, G.E. Start, C.R. Dickson et N.R. Ricks - Diffusion under low windspeed conditions near Oak Ridge, Tennessee - AMS, Third symposium on atmospheric turbulence, diffusion, and air quality, Raleigh, 1976, 269-276

21 O. Yokohama - Measurements of wind fluctuation by a vane mounted on the captive balloon cable - J. Met. Soc. of Japan, 47(1969) 159-166.