

No. 153

OBSERVATION ET PREVISION DES VENTS AU SENTIER
(LAC DE JOUX) DE JUIN 1986 A AOUT 1988

par

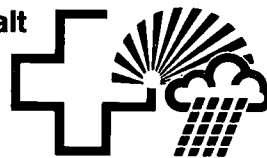
Bernard Dunand, Genève
Pierre Eckert, Genève

Février 1989

Observation du vent
Prévision du vent

551.506.3
551.509.322

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



No. 153

OBSERVATION ET PREVISION DES VENTS AU SENTIER
(LAC DE JOUX) DE JUIN 1986 A AOUT 1988

par

Bernard Dunand, Genève
Pierre Eckert, Genève

Février 1989

Observation du vent
Prévision du vent

551.506.3
551.509.322

Résumé

De nombreux amateurs de sports nautiques se rendant régulièrement au lac de Joux pour y exercer leur activité. Afin d'améliorer la prévision, les vents au Sentier ont été relevés pendant plus de deux ans. Les caractéristiques du vent ont été dégagées grâce à une étude statistique. Nous montrons diverses roses des vents ainsi que des courbes représentant l'évolution diurne de la force et de la direction du vent. Une méthode de prévision quantitative basée sur les vents de La Dôle a été élaborée par simple régression. Les coefficients les plus utiles au prévisionniste se trouvent aux pages 23, 26 et 31.

Zusammenfassung

Zahlreiche Windsurfer begeben sich regelmässig zum Lac de Joux, um dort ihren Sport auszuüben. Mit dem Ziel, die Windvorhersage zu verbessern, wurde der Wind in Le Sentier am Seeufer während mehr als zwei Jahren registriert und anschliessend mit statistischen Methoden analysiert. Verschiedene Windrosen und Tagesgangkurven charakterisieren die Verhältnisse. Durch einfache lineare Regression konnte ein Zusammenhang zwischen dem Wind auf La Dôle und auf dem Lac de Joux quantitativ festgestellt werden. Die für den Prognostiker nützlichsten Koeffizienten befinden sich auf den Seiten 23, 26 und 31.

Riassunto

Numerosi amanti degli sport nautici si recano regolarmente al lago di Joux per praticarvi la loro attività preferita. Al fine di migliorare le previsioni meteorologiche della zona, per oltre due anni a Le Sentier sono state effettuate misure del vento. Le caratteristiche del regime del vento sono poi state elaborate con metodi statistici. Nel presente lavoro sono riportati le rose dei venti e grafici dell'evoluzione diurna. In base ai venti rilevati dalla stazione automatica di La Dôle, è stato realizzato un metodo di previsione per semplice regressione. I coefficienti maggiormente utili al previsionista si trovano alle pagine 23, 26 e 31.

Summary

Many fans of windsurfing are attracted by the good conditions prevailing at the Lac de Joux (Swiss Jura). In order to help the forecast, the winds at Le Sentier have been recorded for more than two years. The main characteristics of the wind have been singled out by a statistical analysis. We show wind roses as well as figures representing the diurnal evolution of the wind force and direction. A forecasting method based on the winds of a nearby mountain station (La Dôle) has been elaborated by simple linear regression.

SOMMAIRE

1. Introduction	1
2. Etude statistique	5
3. Les brises	19
4. Prévision � partir des vents de la Dôle	21
5. Etude des fausse prévisions	32
Appendice (roses des vents 1987-1988)	37

1. Introduction

1.1 Intérêt des vents au lac de Joux

La très forte demande de prévisions de vent pour le lac de Joux, notamment de la part des véliplanchistes en été et des navigateurs sur bateaux à patins quand le lac est gelé, nous a poussé à faire cette étude. De plus, alors qu'il existe de nombreux écrits pour les principaux vents du Léman, rien à notre connaissance n'a été publié pour le lac de Joux.

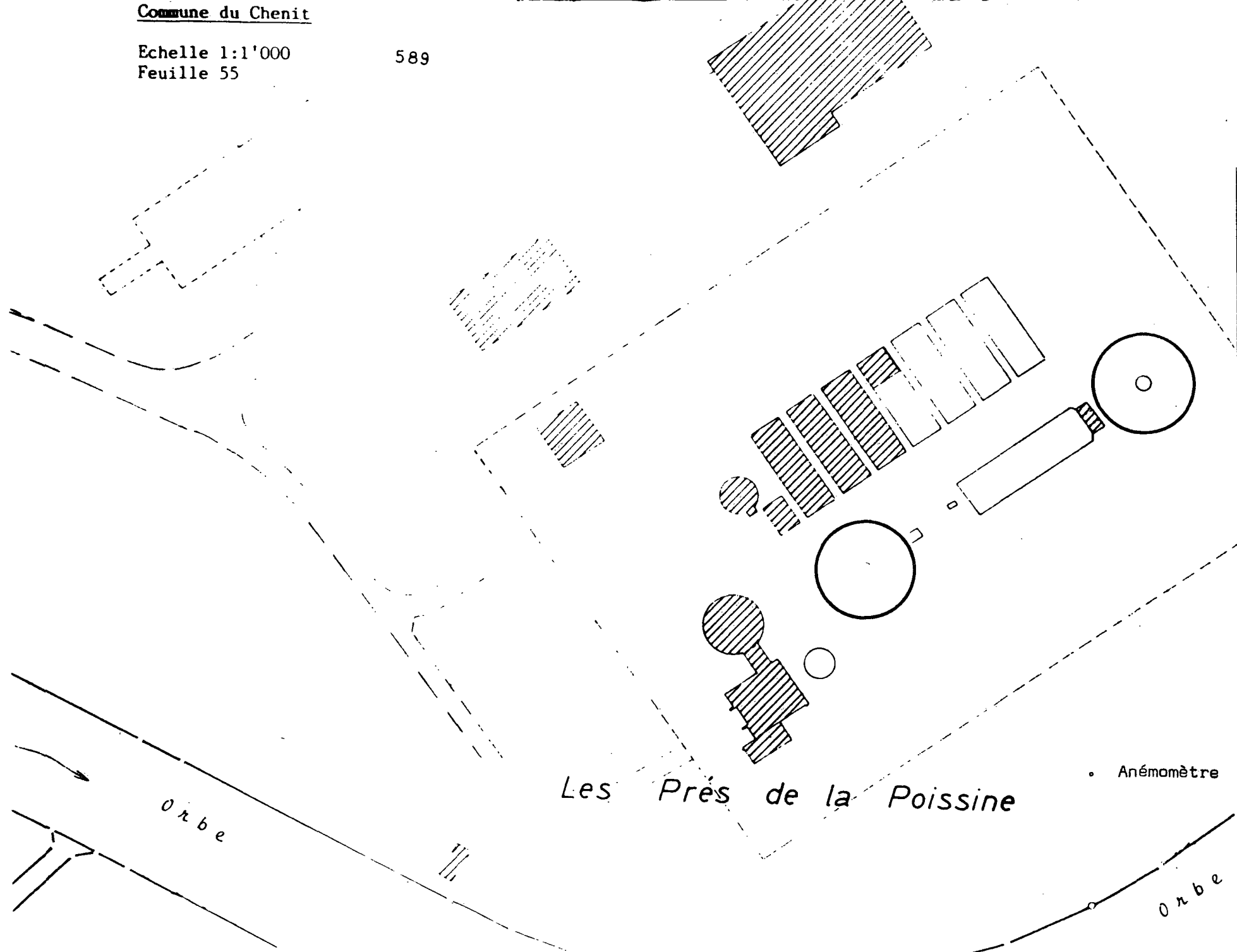
1.2 Situation topographique

Le lac de Joux se trouve dans une vallée parallèle à la crête du Jura, cette vallée est bordée au nord par le Risoux culminant à 1300 m/mer et au sud par les contreforts de la chaîne principale du Jura, qui elle atteint une altitude de 1500 à 1600 m/mer. L'anémomètre du Sentier est situé entre la STEP et l'Orbe, à 750 mètres au sud-ouest du lac, à une altitude de 1007 m/mer. La vallée et le lac sont orientés selon un axe 230-050 degrés (comme la piste de l'aéroport de Genève). La vallée s'élève en pente douce de 150 mètres sur la vingtaine de kilomètres qui sépare le lac de La Cure. A l'est, la vallée est fermée par la dent de Vaulion.

1.3 Les données

Dans un premier temps, le vent a été mesuré durant une année (de juin 1986 à mai 1987) à l'aide d'un anémomètre Woelfle. Les rouleaux ainsi obtenus ont été dépouillés à Payerne par les services compétents et échantillonnés par périodes d'une heure. La force et la direction moyennes du vent sont codées. Dans les cas de vent faible où la direction varie de façon trop importante, le code '0' (variable) est adopté. Toutes ces données horaires ont été transférées sur le disque d'un PC à Genève.





Les Prés de la Poissine

• Anémomètre

Orbe

Orbe

- 3 -

D'autre part, dans un but de comparaison et ultérieurement de prévision, les vents de la même période ont été extraits de la banque de donnée de l'ISM pour diverses stations ANETZ. Afin de disposer d'un échantillon indépendant, les vents de juin 1987 à septembre 1988 ont été dépouillés de la même façon par la suite.

2. Etude statistique

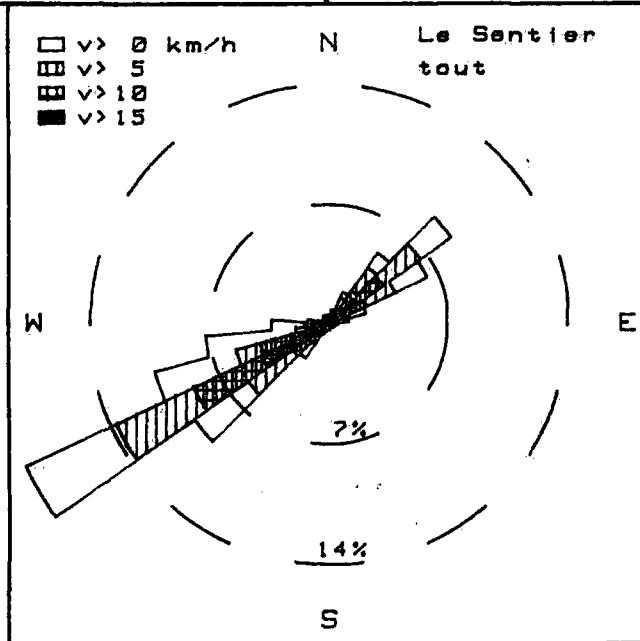
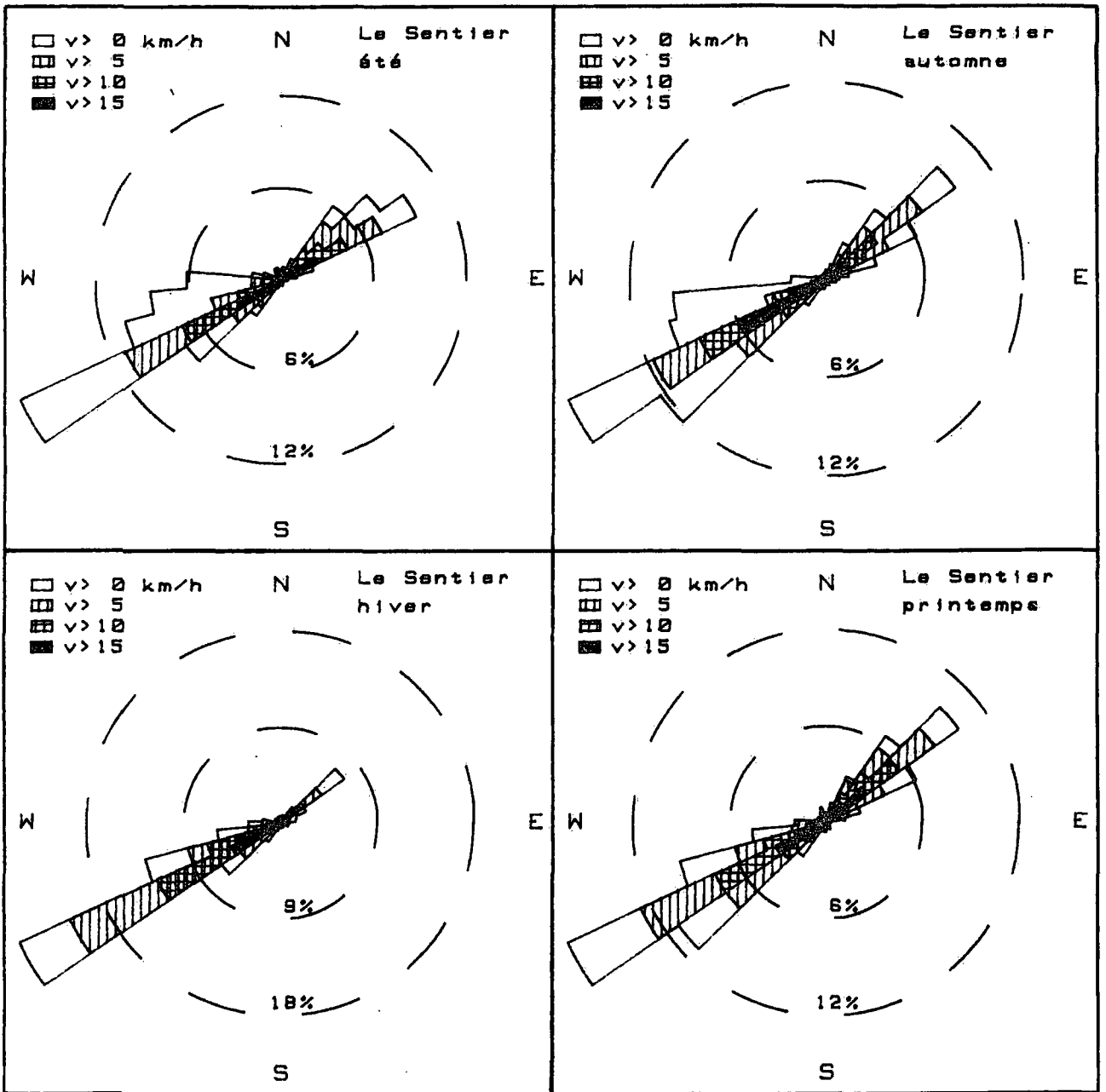
Avant de s'essayer à une prévision des vents au lac de Joux, il convient d'en étudier les caractéristiques statistiques, et éventuellement de les comprendre de façon météorologique. Nous nous intéresserons plus particulièrement à la distribution de la force du vent en fonction de la direction pour déterminer l'effet de la canalisation, ainsi qu'à la force du vent en fonction de l'heure du jour pour mettre en évidence les effets thermiques. A toutes fins utiles l'année a été divisée en 4 saisons :

été	: juin, juillet, août	: 2208 heures
automne	: septembre, octobre, novembre	: 2184 heures
hiver	: décembre, janvier, février	: 2160 heures
printemps	: mars, avril, mai	: 2208 heures

2.1 Roses des vents

La répartition du vent en fonction de la direction est représentée sur les roses des vents. Pour le Sentier, remarquons d'abord le cercle qui signifie que plus de 10% des cas ont été classés sous l'appellation direction variable. On reconnaît d'autre part une canalisation marquée dans l'axe 240° - 50°. Il existe de rares cas de vent du nord-ouest (joran), mais la force n'excède alors pas 10 km/h. Ces événements ont principalement lieu au printemps et en été durant l'après midi.

Cette distribution de vallée bien marquée, nous permet de qualifier de sud-ouest (sw) tous les vents du secteur 150° à 330° et de nord-est (ne) tout le reste. On peut alors indiquer numériquement la fréquence de chaque direction pour chaque saison.



	été	aut	hiv	pri	total
# cas	2131	2179	1579	2129	8018
var	139 (7%)	233 (11%)	269 (17%)	283 (13%)	924 (12%)
sw	1301 (61%)	1237 (57%)	995 (63%)	1132 (53%)	4665 (58%)
ne	691 (32%)	709 (32%)	315 (20%)	714 (34%)	2429 (30%)
v > 5 km/h					
# cas	1123 (53%)	1004 (46%)	831 (53%)	1301 (61%)	4259 (53%)
var	3	1	0	2	6
sw	642 (57%)	565 (56%)	678 (82%)	759 (58%)	2644 (62%)
ne	478 (43%)	438 (44%)	153 (18%)	540 (42%)	1609 (38%)
v > 10 km/h					
# cas	593 (28%)	577 (27%)	457 (29%)	701 (33%)	2328 (29%)
sw	351 (59%)	365 (63%)	394 (86%)	401 (57%)	1511 (65%)
ne	242 (41%)	212 (37%)	63 (14%)	300 (43%)	817 (35%)
v > 20 km/h					
# cas	85 (4%)	138 (6%)	87 (6%)	155 (7%)	465 (6%)
sw	33 (39%)	104 (75%)	76 (87%)	92 (59%)	305 (66%)
ne	52 (61%)	34 (25%)	11 (13%)	63 (41%)	160 (34%)
v > 30 km/h					
# cas					71 (1%)
sw					31 (44%)
ne					40 (56%)

On constate une nette dominance des vents du sw, spécialement en hiver, probablement due à la combinaison de deux facteurs : la plus grande fréquence des vents de secteur ouest dans l'atmosphère libre et l'écoulement de l'air froid en direction du bas de la vallée et du Plateau Suisse. A ce sujet, il faut rappeler que nous sommes à 1000 m/mer et que l'enneigement est important en hiver.

On notera également le faible nombre d'heures (1579) où une lecture de l'anémogramme était possible en hiver. Cela est dû au fait que l'enregistrement sur papier ciré est souvent défectueux par grand froid. Un biais systématique a donc pu être introduit sur les vents de l'hiver, car les périodes les plus froides ont été éjectées de l'échantillon. Pour les autres saisons, le taux de lecture est admissible.

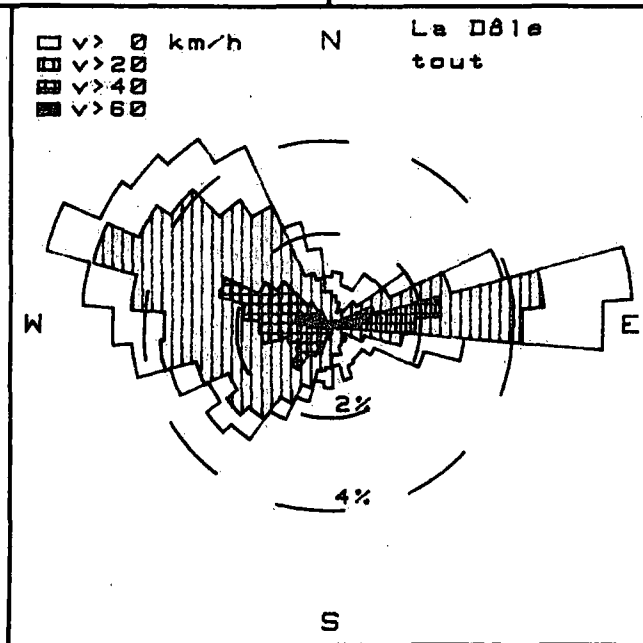
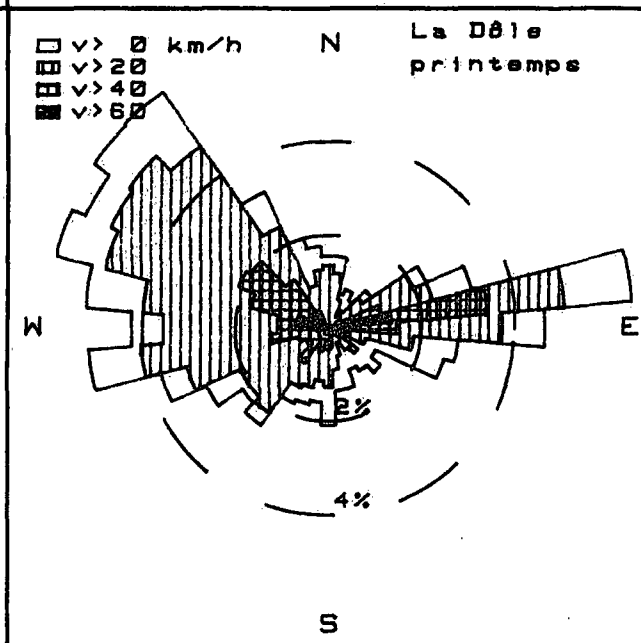
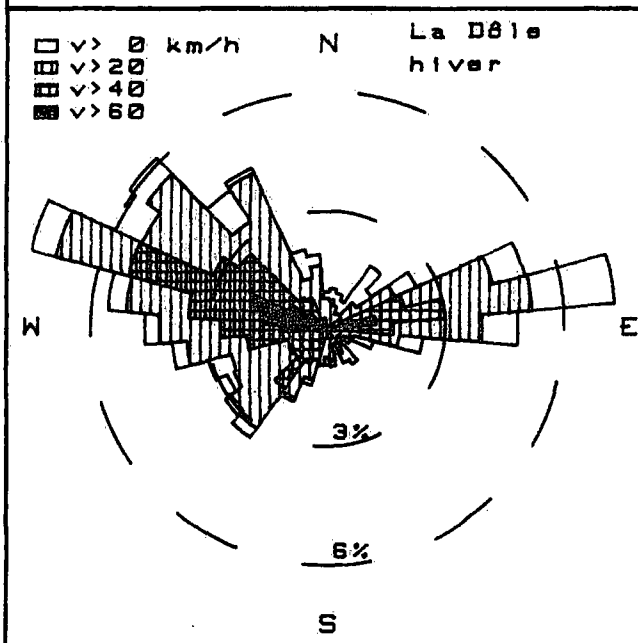
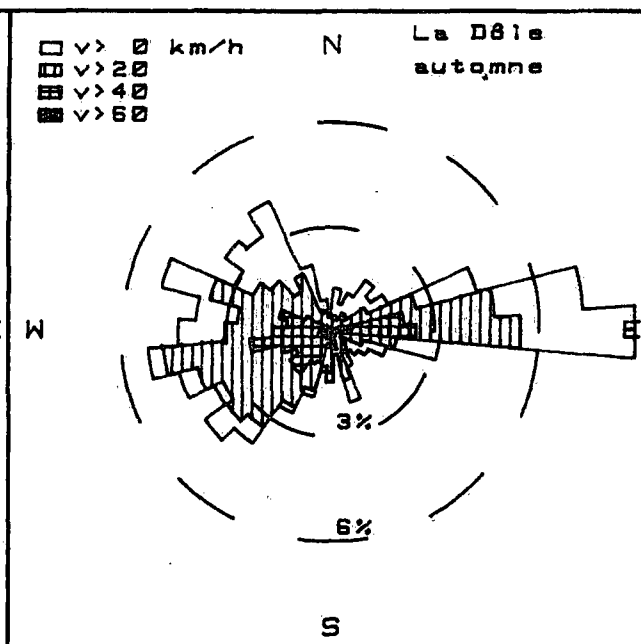
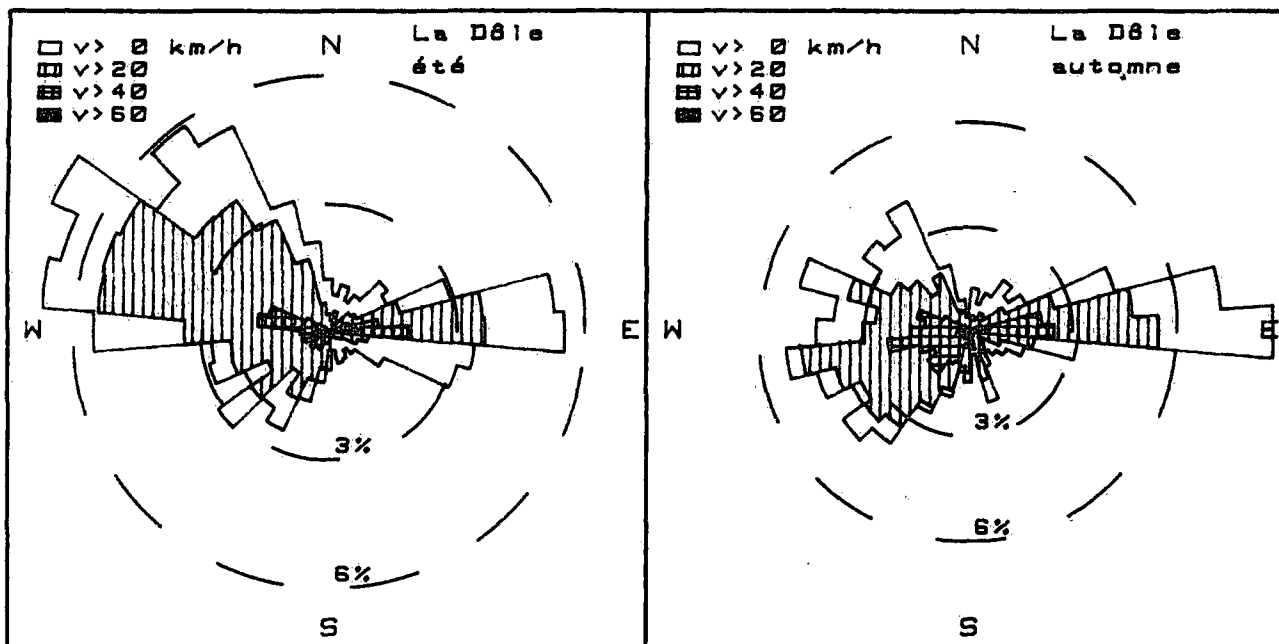
A titre de comparaison, nous reproduisons encore les roses des vents pour les stations automatiques de la Dôle, de Changins et de Genève.

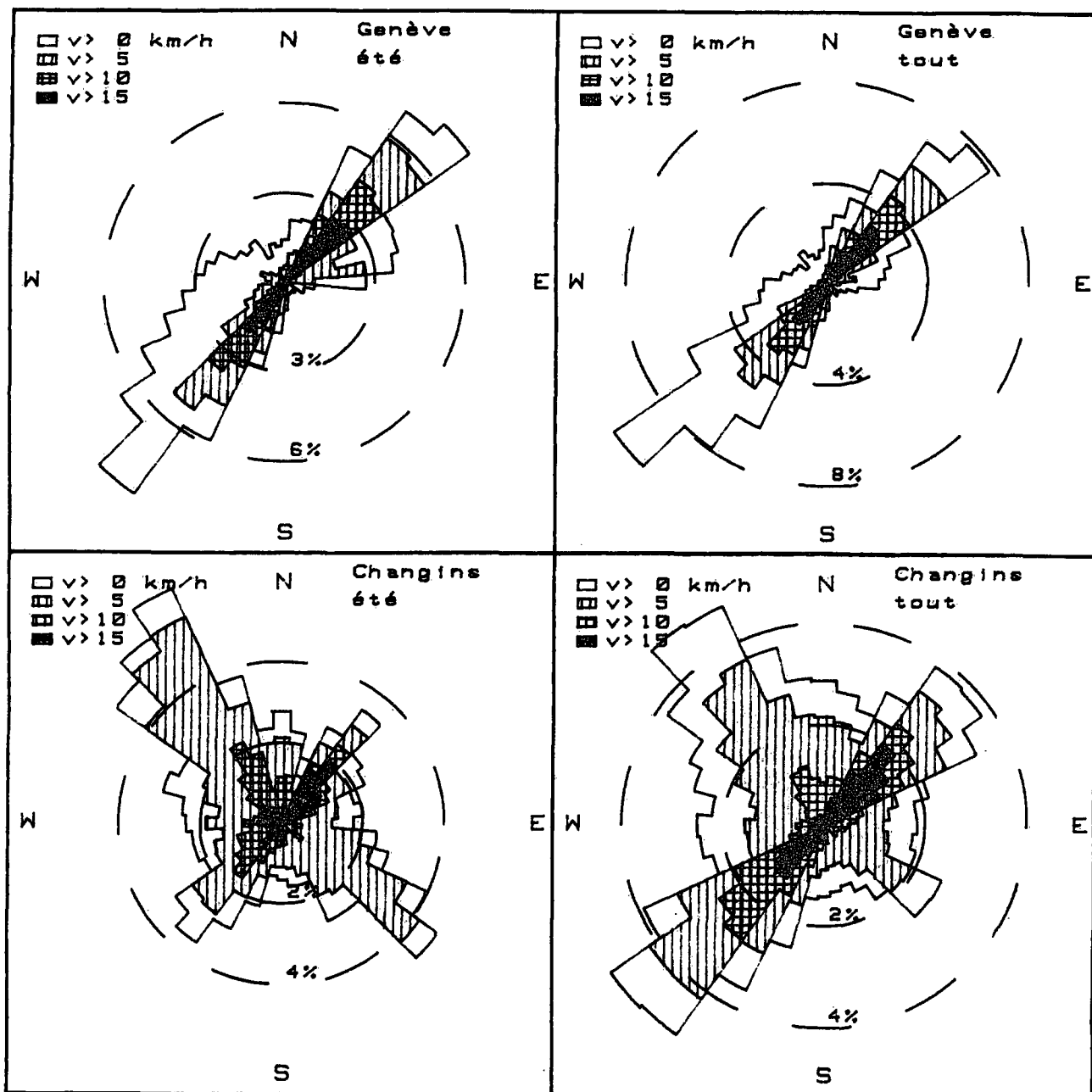
A la Dôle, le vent est supposé être peu canalisé, mais il reflète tout de même les contraintes géographiques imposées par la chaîne du Jura, le Plateau Suisse et les Alpes. Le secteur des vents d'est est relativement bien délimité, alors que le secteur ouest est très ouvert, s'étendant largement du sud-ouest au nord-ouest. Il est important de noter l'abondance des vents du nord-ouest, perpendiculaires à la vallée de Joux.

Changins se distingue par la combinaison d'une circulation de vallée sw-ne et d'une composante nw-se. Cette dernière s'explique par les brises du lac et les ascendances-descendances le long du Jura et à travers le col de la Givrine. Les vents les plus forts sont toutefois orientés selon l'axe du Plateau.

Genève est par contre caractérisée par une circulation de vallée presque pure et ressemble passablement à la rose des vents au Sentier. Les situations du sud-ouest et du nord-est se présentent cependant de façon plus équilibrées. En voici la statistique :

	v > 0 km/h	v > 5 km/h	v > 10 km/h	v > 20 km/h	v > 30 km/h
# cas	8760	4392 (50%)	2435 (28%)	573 (7%)	99 (1%)
sw	4808 (55%)	2132 (49%)	1197 (49%)	212 (37%)	24 (24%)
ne	3913 (45%)	2260 (51%)	1238 (51%)	361 (63%)	75 (76%)



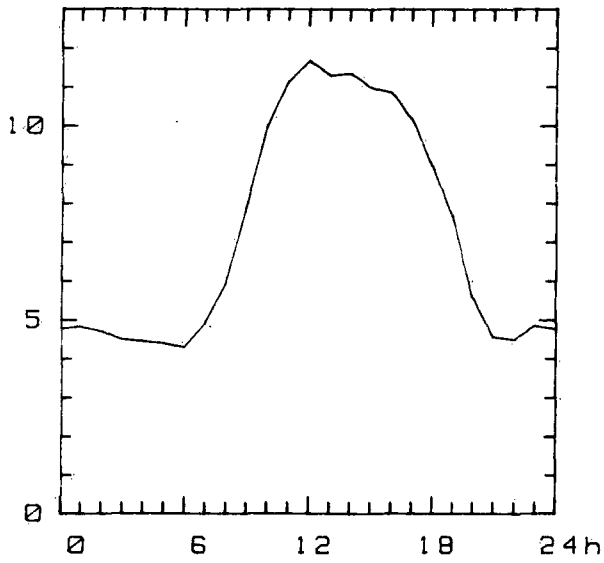


Les vents excédant 10 km/h sont légèrement moins nombreux à Genève qu'au Sentier (28% au lieu de 29%). Cette tendance est plus marquée en été : 26% à Genève contre 28% au Sentier. Cette faible différence motive toutefois nombre d'amateurs de planche à voile à effectuer le déplacement à la vallée de Joux. Des compléments sur ce sujet seront fournis au prochain paragraphe.

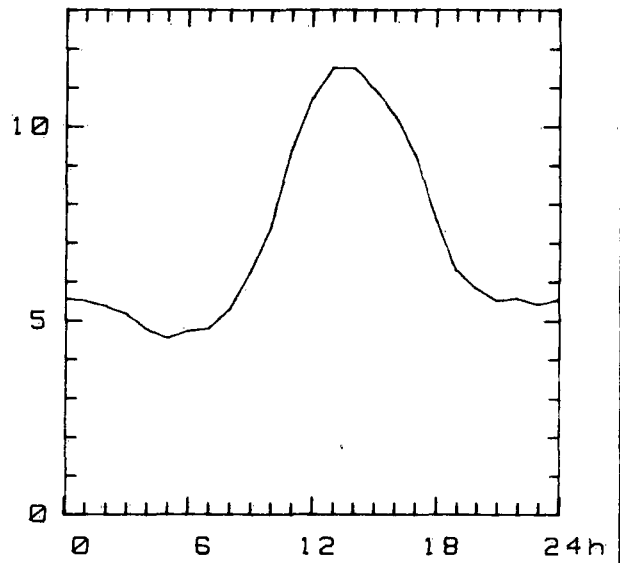
2.2 Evolution diurne de la force du vent

Afin de déterminer les effets moyens de l'évolution diurne et ses éventuels effets thermiques, nous calculons ici la vitesse moyenne du vent en fonction de l'heure du jour. Ces valeurs sont reportées sur les graphiques suivants.

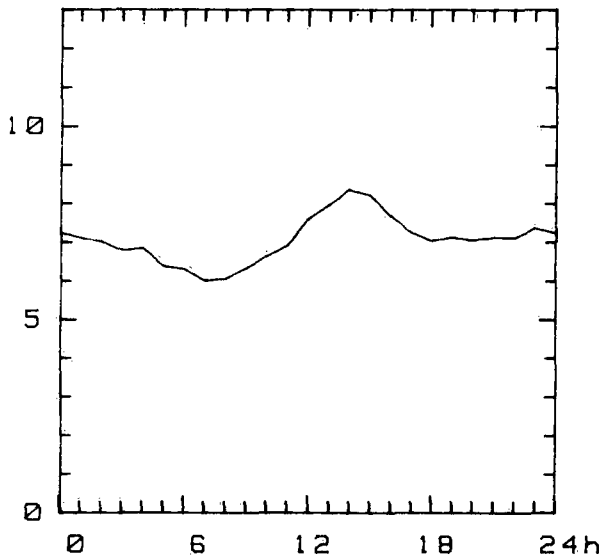
km/h Le Sentier, été



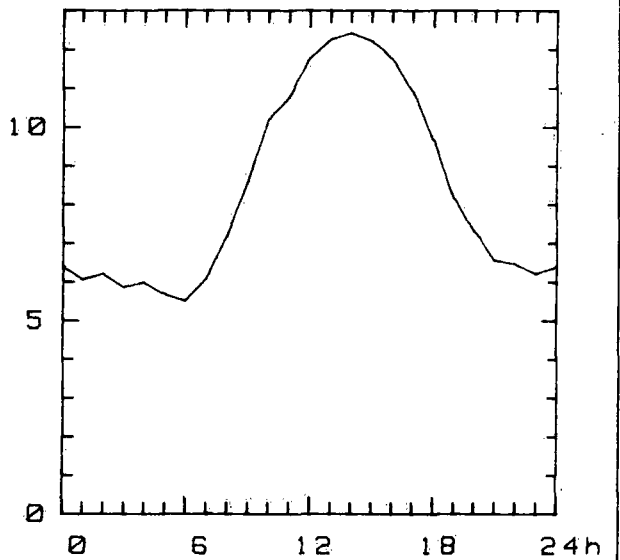
km/h Le Sentier, automne



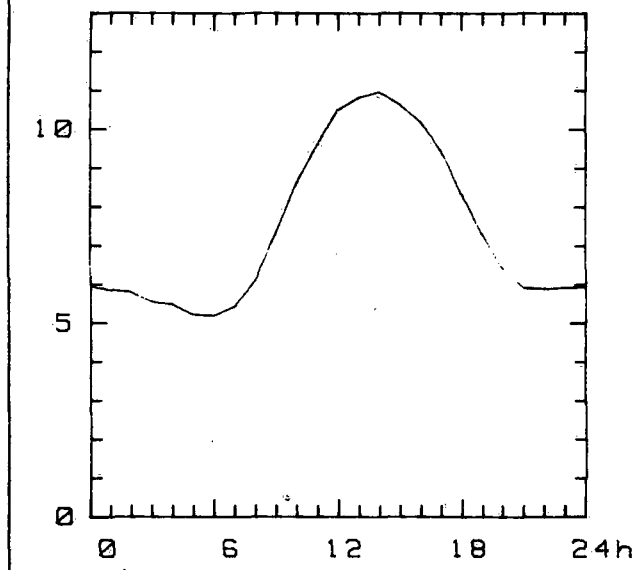
km/h Le Sentier, hiver

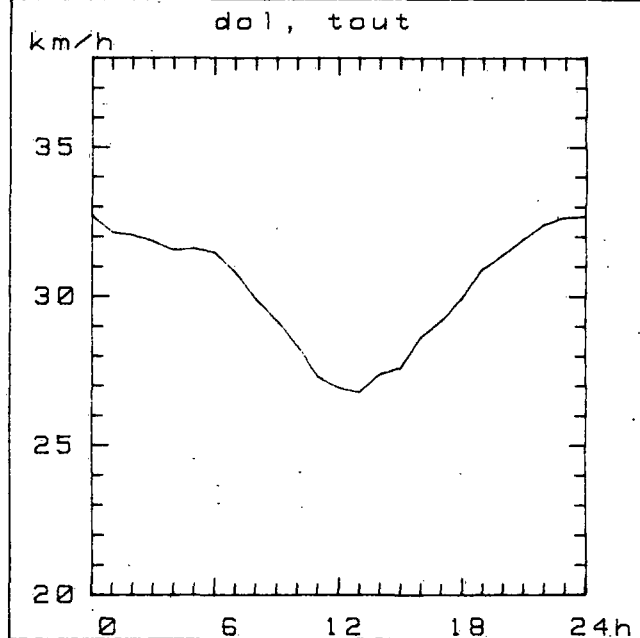
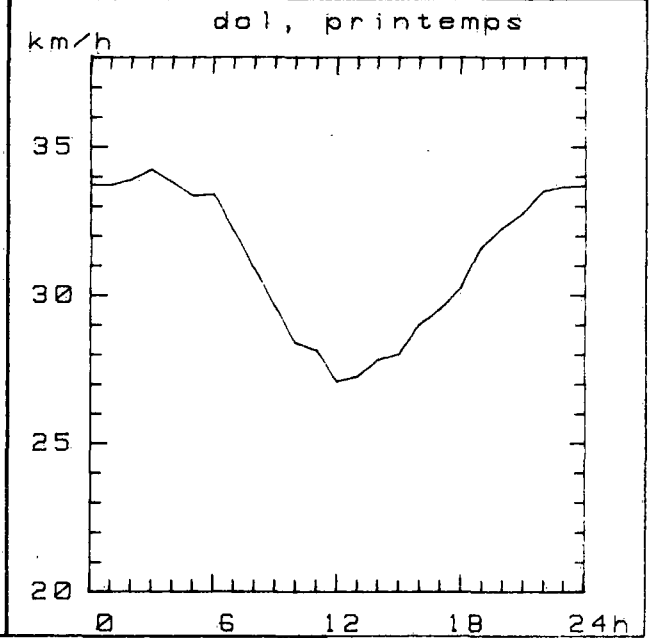
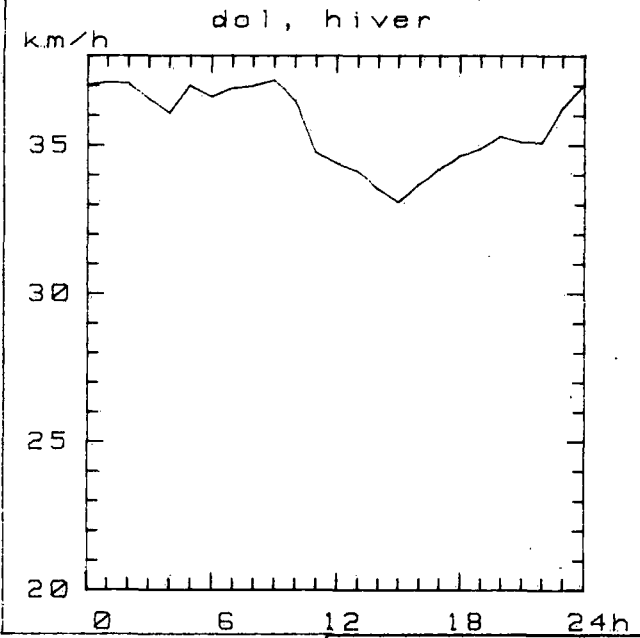
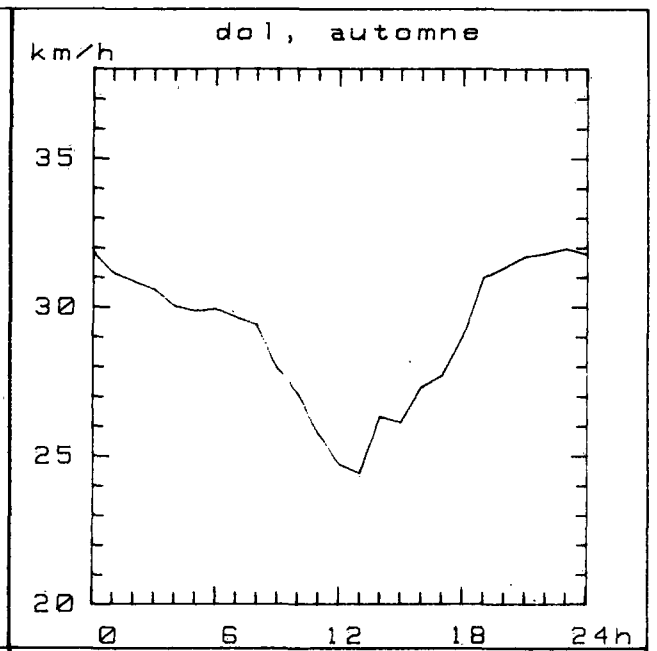
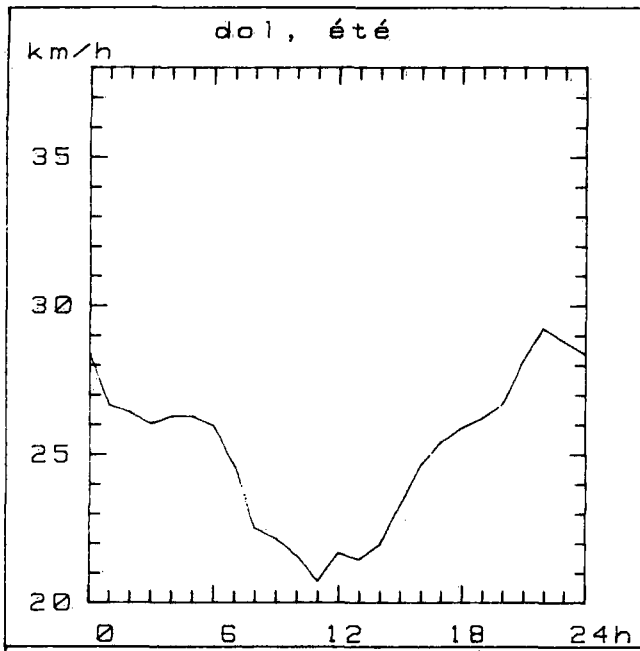


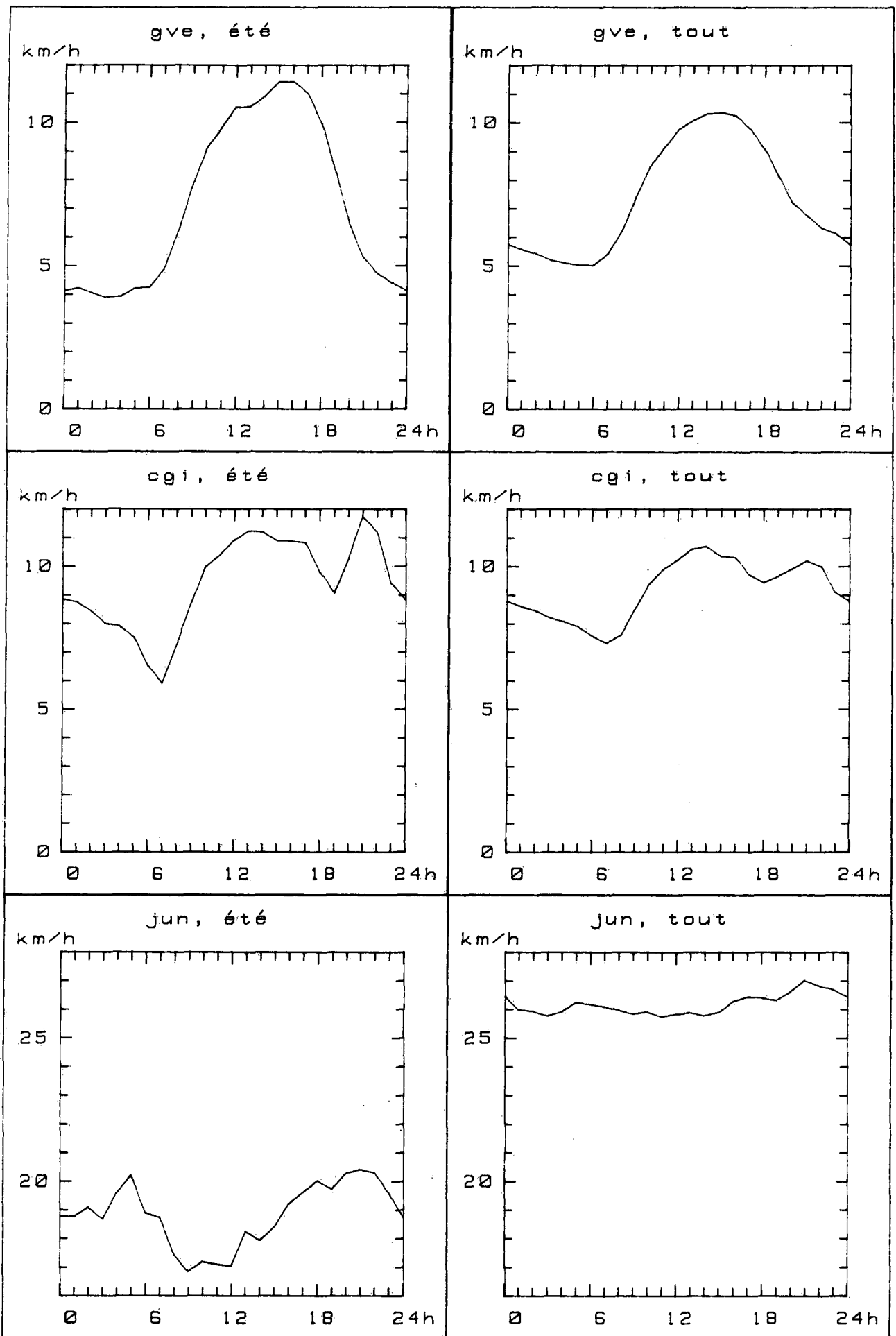
km/h Le Sentier, printemps



km/h Le Sentier, tout





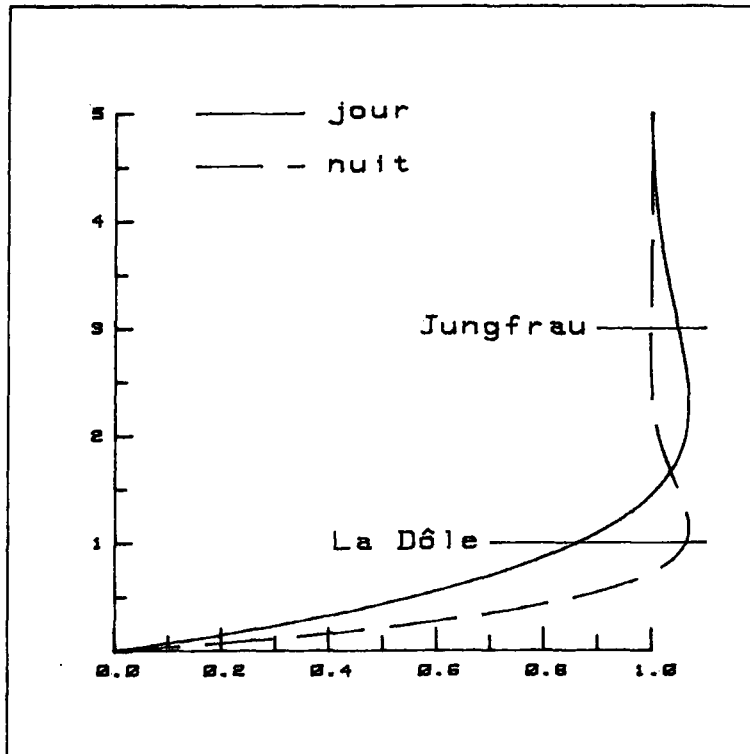


Au Sentier, on constate que le vent est minimal au lever du jour vers 6h et maximal aux heures chaudes de la journée vers 14h. Le maximum étant environ deux fois plus fort que le minimum. Cet effet est nettement plus grand en été qu'en hiver, où l'on a seulement 6 km/h le matin et 8.4 km/h l'après-midi. L'influence thermique est donc indubitable. Elle intervient non seulement comme moteur d'un vent de vallée, mais également comme générateur de turbulence sur une couche plus ou moins épaisse de l'atmosphère avoisinant le sol. Cette turbulence permet aux vents d'altitude de mieux entraîner l'air du fond de la vallée.

Genève présente une distribution journalière analogue, mais les vents moyens au Sentier sont généralement plus forts que ceux de Genève (l'excès peut atteindre 10%). A Changins, on observe la même évolution diurne, mais un maximum secondaire apparaît vers 21 heures, plus particulièrement en été. Cela vient de l'effet conjugué de la brise de terre et du vent descendant le Jura. On peut dire que ces trois stations (Le Sentier, Genève et Changins) sont typiques d'une circulation de plaine, avec des vents généralement plus forts l'après midi qu'à l'aube.

La Dôle présente par contre des caractéristiques opposées. Le maximum est atteint vers 23 heures et le minimum vers midi. En valeurs relatives, l'effet est moins marqué qu'en plaine, mais il est tout de même bien présent : en été nous avons 20.7 km/h à 11h et 29.2 km/h à 22h. Il est toutefois presque inexistant en hiver.

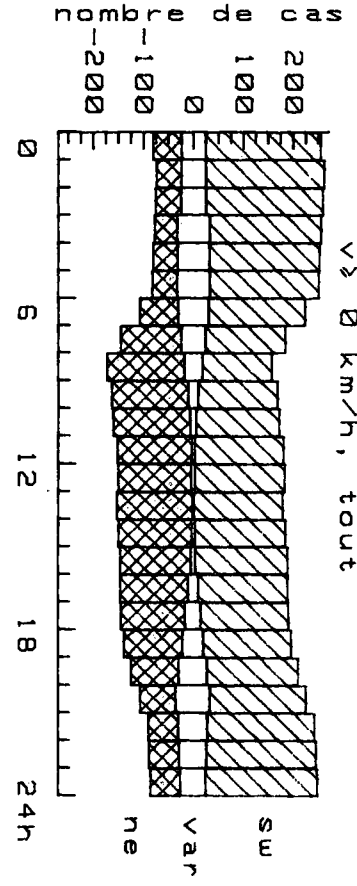
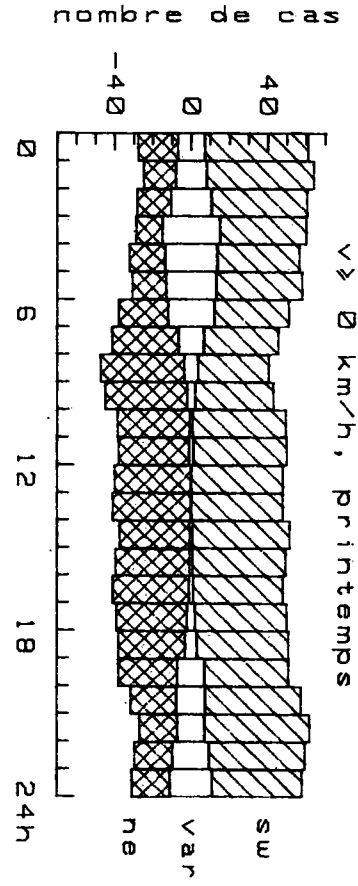
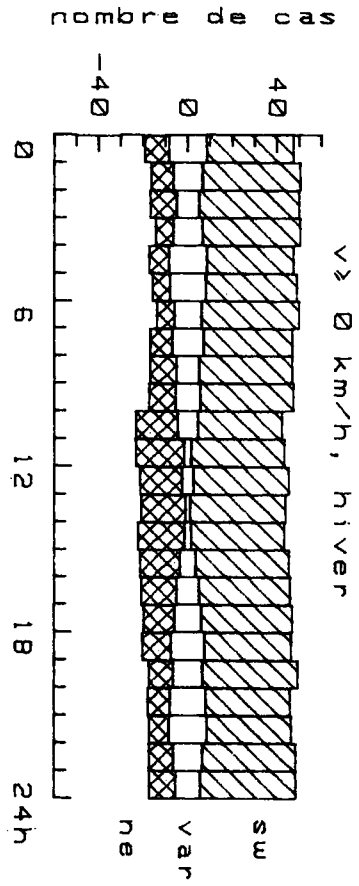
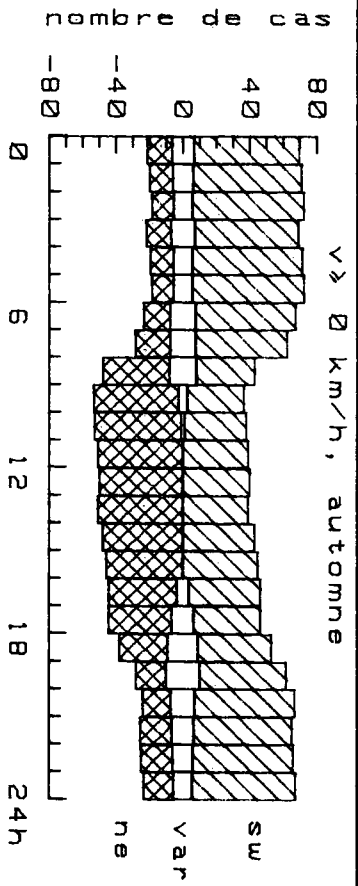
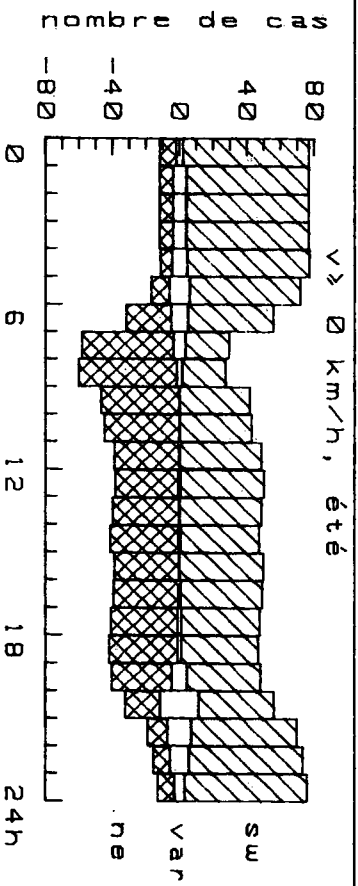
L'explication de ce curieux phénomène réside dans le fait que le sommet de la couche limite (boundary layer) varie suivant l'heure du jour. La nuit, il se trouve au dessous de la Dôle, où l'on mesure simplement le vent géostrophique de l'atmosphère libre. Le jour, par contre, ce sommet se trouve au dessus de la Dôle, si bien que la friction diminue le vent suivant la loi d'Ekman (voir figure). Durant l'hiver, la couche limite se trouve en permanence au dessous de 1500m; en conséquence, on prédit une différence faible entre le jour et la nuit, ce que l'observation confirme.

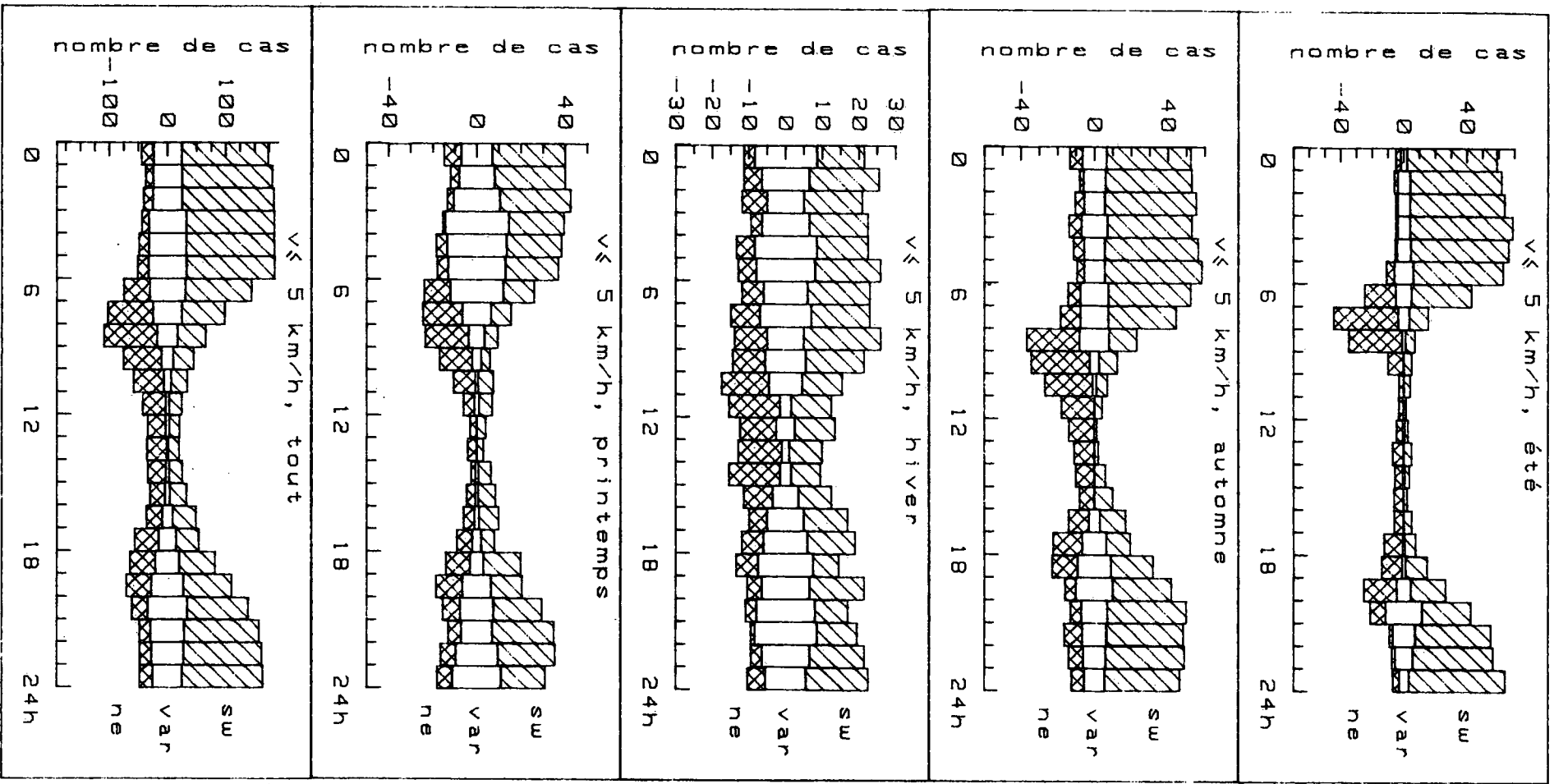


Des résultats semblables sont obtenus pour des sommets d'altitude comparable comme par exemple le Chasseral. Cette évolution diurne, avec des vents plus faibles le jour que la nuit, est donc typique de la moyenne montagne. Selon la théorie, la haute montagne ne devrait pas ressentir d'effet de la couche limite. Un regard aux relevés du Jungfraujoch nous confirme cette hypothèse.

2.3 Evolution diurne de la direction du vent

Après cette étude de la force moyenne comme fonction de l'heure du jour, nous pouvons encore examiner l'évolution diurne de la direction du vent au Sentier. Les graphiques suivants montrent le nombre de cas de vent du sud-ouest, nord-ouest et variable, selon l'heure.





En été, les vents du sw dominant nettement la scène durant la nuit. Il sont généralement plus faibles que 5 km/h. Après le lever du jour, cette tendance s'inverse pendant deux heures, puis les vents sont équilibrés pendant les heures chaudes, tout en étant souvent plus forts que 5 km/h.

L'effet thermique peut donc être grossièrement résumé de la façon suivante : la nuit, le vent à la vallée est déconnecté de la circulation générale et s'écoule vers le bas; le jour le vent suit la circulation générale, tout en étant canalisé. Le même effet se retrouve en automne et au printemps, alors que l'hiver ne présente pas d'évolution diurne.

3. Les brises

3.1 Les brises de la vallée de Joux

Il existe au Sentier une alternance de vent diurne et nocturne dans les situations non perturbées, c'est-à-dire lorsque le vent de gradient est faible à la Dôle, ou mieux, quand la situation est anticyclonique et ensoleillée. Ces brises sont faibles, entre 2 et 6 noeuds. La nuit, le vent descend la vallée, de La Cure en direction du lac, venant donc du sud-ouest. Le jour, il remonte la vallée et souffle du nord-est. La brise nocturne est un vent catabatique dû au ruissellement de l'air refroidi sur les pentes latérales qui s'accumule dans le fond de la vallée. Cette brise descendante est plus fréquente et mieux établie en hiver lorsque le neige recouvre la région et que les nuits sont longues.

Nous avons considéré comme jour favorable à un régime brise diurne et nocturne les jours où il y a eu à la Dôle un ensoleillement supérieur ou égal à 50% , un vent de moins de 15 noeuds et pas de précipitations. Sur 122 jours considérés , nous trouvons: 9 jours en juin, 5 en juillet, 2 en août et 4 en septembre. En regardant l'ensemble des jours où le vent diurne se lève le matin malgré une situation ne correspondant pas à la définition énoncée, nous obtenons alors: 20 jours en juin, 15 en juillet, 11 en août et 9 en septembre. Cette différence est due au fait que bien des journées commencent avec une situation correspondant à la définition, mais finissent, soit par un orage, soit par une transformation synoptique amenant un vent de gradient plus fort à la Dôle.

La brise diurne se lève entre 9h et 10h dans 18 cas sur 20 en juin, 12 sur 15 en juillet, 9 sur 11 en août et 4 sur 9 en septembre. 4 levés se produisent entre 11 et 12h durant ce dernier mois. C'est probablement l'avancement de la saison qui en est la cause.

Pour la brise nocturne, nous obtenons 14 nuits en juin, 4 en juillet, 7 en août et 5 en septembre. Le levé de la brise est très variable, en général assez tard. Il se situe en juin entre 19 et 21 h, en juillet et août entre 22 et 24 h. Il est

probable qu'en hiver la tendance est inversée et que le régime nocturne s'établit plus tôt.

3.2 Relation avec les brises du Léman

Pour mieux comprendre le régime des vents de la région nous avons aussi comparé les relevés du Sentier à ceux de Changins. La station de Changins a la particularité d'être située au nord de Nyon, à 5 km du Jura et à 4 Km. du Léman. De plus, elle est placée dans le prolongement exact du col de la Givrine.

Le régime journalier de la brise de la région Changins-Nyon est le suivant par situation de beau temps. En fin de nuit ou en début de journée, le vent souffle du sud-ouest, venant de Genève et ayant très probablement son origine dans la vallée de l'Arve. Elle arrive en fin de nuit sur le petit-lac et se dirige vers Nyon-Rolle à la rencontre des autres brises nocturnes.

A mesure que les flancs du Jura s'échauffent au soleil, la brise tourne au sud puis au sud-est ce qui est bien visible sur la rose des vents de Changins pour les vitesses inférieures à 10 km/h. En cours d'après-midi la rotation vers l'est continue.

Le soir il y a une brusque rupture. Le versant lac du Jura est alors à l'ombre depuis 1 à 2 heures et l'écoulement d'une fine couche de vent catabatique arrive sur la région de Changins, puis sur le lac. Ce vent du nord-ouest, le joran, est également bien visible sur la rose des vents. Pour les habitués de la navigation sur le petit-lac il y a deux zones où le joran est favorisé : la première se trouve entre Versoix et Coppet et correspond à la trouée du col de la Faucille, la seconde se trouve dans la région de Nyon dans l'axe du col de St-Cergue.

La comparaison des heures de lever des brises diurnes et nocturne aux stations du Sentier et de Changins permet de dire que l'on peut sans autre se fier aux heures relevées à Changins pour l'apparition des brises diurnes et nocturnes, car il s'agit d'un phénomène solaire suprarégional.

4. Pr evision à partir des vents de la Dôle

La Dôle est une station de montagne située à 25 km du Sentier. En première approximation, elle mesure le vent qui passe au dessus de la vallée de Joux. D'autre part, étant donnée l'aspect canalisée du vent à la vallée de Joux, on peut lui associer un scalaire v de la façon suivante : la valeur absolue de v est simplement la force du vent, alors que son signe est positif si le vent est du secteur sw et négatif dans le cas contraire. 3 kt signifie un vent du sw de 3 noeuds, alors que -5 kt signifie 5 noeuds du ne (pour le confort des navigateurs, tous les vents sont convertis en noeuds ou en échelle Beaufort pour la suite de l'exposé).

On peut faire l'hypothèse que v est proportionnel à u , la force du vent à la Dôle. En toute généralité, le coefficient de proportionalité dépend de θ la direction du vent à la Dôle et de h , l'heure du jour. On peut également tenir compte d'un effet thermique additionnel et écrire :

$$v = a(\theta, h)u + b(h)$$

En considérant 36 directions et 24 heures, cela conduit à déterminer 864 coefficients a , ce qui est prohibitif pour l'échantillon restreint que nous avons à disposition. Nous nous bornerons donc à considérer que le coefficient d'entraînement a ne dépend que de la direction :

$$v = a(\theta)u + b(h)$$

4.1 Cas général

Les coefficients a et b sont ensuite calculés par régression linéaire. Il n'est pas nécessaire ici de donner la liste de ces nombres. Nous en donnerons toutefois plus loin une version simplifiée, utilisable pour la prévision. On peut construire un tableau de vérification des résultats de la régression.

obs : horizontal, pred : vertical été
 Echelle Beaufort

	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4	0	0	10	16	0	0	1	0	0	0	0	0	0
-3	0	0	4	17	19	18	6	6	3	0	0	0	0
-2	0	0	0	11	54	55	25	62	20	1	0	0	0
-1	0	0	0	4	42	92	79	94	35	4	0	0	0
0	0	0	0	3	1	55	78	181	95	35	3	0	0
1	0	0	0	0	0	14	18	113	114	106	51	7	0
2	0	0	0	0	0	3	2	99	128	98	118	17	0
3	0	0	0	0	0	0	0	12	9	27	44	16	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nous voyons par exemple que 128 événements du sud-ouest sont prévus avec force 2, alors que force 1 a été observée. Les quadrants supérieur droit et inférieur gauche du tableau contiennent des événements où la direction est mal prévue. Nous dirons que la prévision est bonne si l'écart entre le vent prévu et le vent observé est de 0 ou 1 sur l'échelle Beaufort. Elle sera passable pour un écart de 2 et mauvaise pour des écarts supérieurs.

Dans le cas précédent, 75.2% des cas sont bons et 3.9% mauvais. Afin d'être plus utilisables, nous arrondissons les coefficients a au dixième et les coefficients b à l'unité. En voici la liste pour l'été :

a(θ) (θ en dizaines de degrés)

b(h) (kt)

1	-0.4	1	1
2	-0.4	2	1
3	-0.4	3	1
4	-0.4	4	1
5	-0.4	5	1
6	-0.4	6	0
7	-0.4	7	0
8	-0.3	8	-1
9	-0.3	9	-1
10	-0.3	10	-1
11	-0.3	11	0
12	-0.2	12	0
13	0.0	13	0
14	0.0	14	0
15	0.2	15	0
16	0.2	16	0
17	0.3	17	-1
18	0.3	18	-1
19	0.2	19	-1
20	0.2	20	-1
21	0.2	21	0
22	0.2	22	1
23	0.2	23	1
24	0.3	24	1
25	0.3		
26	0.3		
27	0.3		
28	0.3		
29	0.3		
30	0.2		
31	0.2		
32	0.0		
33	-0.1		
34	-0.1		
35	-0.1		
36	-0.2		

Si par exemple nous avons à 8h un vent de 30° et 20 kt à la

Dôle, le vent prévu au Sentier est de $-0.4 * (20 \text{ kt}) + 1 \text{ kt}$ soit -7 kt , donc un vent du nord-est de 7 noeuds. Le signe de a nous indique que le vent au Sentier vient du sud-ouest (signe positif) si le vent à la Dôle est compris entre 140° et 320°, alors qu'il vient du nord-est sinon (signe négatif). La limite à 140° n'est pas importante car les vents de ce secteur sont très rares. La limite de 320° coupe cependant en deux partie les cas assez fréquents du nord-ouest. Elle est bien marquée si le vent à la Dôle est plus fort que 10 kt, mais plutôt haveuse pour les vents plus faibles.

Le fait d'utiliser des coefficients simplifiés ne dégrade que peu la qualité de la prévision :

obs : horizontal, pred : vertical été

Echelle Beaufort, coefficients simplifiés

	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4	0	0	10	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	0	0	4	16	22	22	7	8	3	0	0	0	0
-2	0	0	0	13	54	51	18	68	24	1	0	0	0
-1	0	0	0	3	38	90	78	90	34	5	0	0	0
0	0	0	0	3	2	58	83	175	120	43	6	0	0
1	0	0	0	0	0	14	22	114	86	102	46	6	0
2	0	0	0	0	0	2	1	102	124	88	122	20	0
3	0	0	0	0	0	0	0	10	13	32	41	13	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

73.9% des prévisions sont bonnes et 4.1% mauvaises.

Pour être complets, donnons encore les coefficients simplifiés pour les autres saisons :

	a(θ)			b(h)			
	automne	hiver	printemps	automne	hiver	printemps	
1	-0.2	-0.1	-0.4	1	1	1	0
2	-0.2	0.0	-0.4	2	1	1	0
3	-0.2	0.0	-0.4	3	0	1	0
4	-0.2	0.0	-0.5	4	0	1	0
5	-0.2	-0.1	-0.4	5	0	0	0
6	-0.2	-0.2	-0.4	6	0	0	0
7	-0.2	-0.2	-0.3	7	0	0	0
8	-0.2	-0.2	-0.3	8	0	0	0
9	-0.2	-0.2	-0.3	9	0	0	-2
10	-0.3	-0.1	-0.2	10	0	0	-1
11	-0.3	-0.1	-0.2	11	0	-1	-1
12	-0.2	-0.1	-0.2	12	0	0	-1
13	-0.1	0.0	-0.1	13	0	0	-1
14	-0.1	0.0	0.0	14	-1	0	0
15	0.0	0.0	0.0	15	-1	0	0
16	0.0	0.0	0.0	16	-1	0	0
17	0.0	0.0	0.1	17	-1	-1	0
18	0.0	0.0	0.1	18	-1	0	0
19	0.1	0.0	0.1	19	0	0	0
20	0.2	0.0	0.2	20	0	-1	0
21	0.2	0.0	0.2	21	1	0	1
22	0.2	0.1	0.2	22	1	0	1
23	0.2	0.1	0.3	23	1	0	1
24	0.2	0.2	0.3	24	1	1	0
25	0.3	0.2	0.3				
26	0.3	0.2	0.3				
27	0.3	0.3	0.3				
28	0.3	0.3	0.3				
29	0.3	0.3	0.3				
30	0.2	0.3	0.2				
31	0.1	0.2	0.2				
32	0.1	0.1	0.0				
33	-0.1	0.0	-0.1				
34	-0.1	0.0	-0.2				
35	-0.1	0.0	-0.2				
36	-0.1	0.0	-0.3				

Les taux de réussite sont les suivants :

automne	: 75.7% bon,	3.6% mauvais
hiver	: 88.1% bon,	1.8% mauvais
printemps	: 73.6% bon,	5.5% mauvais

La prévision pour l'hiver est spécialement bonne, mais les situations difficiles de lac d'air froid ont probablement été éjectées de l'échantillon par le mal fonctionnement de l'anémomètre à très basse température.

4.2 Vents de l'après-midi

On peut améliorer sensiblement les performances de la régression pour l'été en tenant compte des remarques du chapitre précédent qui laissaient entendre que le vent de vallée n'est entraîné par les vents d'altitude que durant la journée, alors que la nuit un vent purement local s'établit. Admettons alors que le vent au Sentier ne dépend que du vent à la Dôle et de sa direction selon la loi simple :

$$v = a(\theta)u$$

Le résultat pour les heures 10 à 19 est alors le suivant :

obs : horizontal, pred : vertical été
 Echelle Beaufort

	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
-5	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4	0	0	1	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0
-3	0	0	0	7	37	12	3	0	0	0	0	0	0
-2	0	0	0	3	42	76	22	0	3	1	0	0	0
-1	0	0	0	1	3	52	50	7	7	7	1	0	0
0	0	0	0	2	0	16	12	6	11	15	0	0	0
1	0	0	0	0	0	16	20	5	20	42	7	0	0
2	0	0	0	0	0	6	7	8	24	96	99	4	0
3	0	0	0	0	0	0	0	1	4	21	54	20	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	4	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

avec 84.1% de bonnes prévisions et 5.1% de mauvaises. Et encore, une bonne partie de ces mauvaises prévisions ne concerne que la direction, alors que la force est presque correcte. Une légère amélioration est également possible pour le printemps, mais pas pour les deux autres saisons. Voici encore les coefficients calculés (valables bien entendu de 10h à 19h) :

été

θ	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$a(\theta)$	-0.5	-0.5	-0.9	-0.7	-0.8	-0.7	-0.6	-0.7	-0.5
θ	100	110	120	130	140	150	160	170	180
$a(\theta)$	-0.7	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.3	0.3	0.5	0.6
θ	190	200	210	220	230	240	250	260	270
$a(\theta)$	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
θ	280	290	300	310	320	330	340	350	360
$a(\theta)$	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4

printemps

θ	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$a(\theta)$	-0.5	-0.5	-0.9	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.6
θ	100	110	120	130	140	150	160	170	180
$a(\theta)$	-0.7	-0.7	-0.3	-0.2	0.0	0.0	0.3	0.3	0.2
θ	190	200	210	220	230	240	250	260	270
$a(\theta)$	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4
θ	280	290	300	310	320	330	340	350	360
$a(\theta)$	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.4	-0.4

4.3 Corrélation avec Genève et Changins

On peut encore essayer de corrélérer le vent à la vallée de Joux au vent de stations proches du Plateau, comme Genève ou Changins. La corrélation est assez bonne, mais il faut garder en tête qu'il est plus facile de prévoir les vents de la Dôle que ceux de la plaine.

On obtient donc assez correctement les vents du Sentier en multipliant la bise à Genève par 0.7 à 0.8 et le vent du sud-ouest par un facteur de l'ordre de 1.1 à 1.2. On a des résultats semblables pour la station de Changins, mais la qualité de la régression est moins bonne.

4.4 Vérification sur un échantillon indépendant

Après le dépouillement des vents au Sentier de Juin 1987 à septembre 1988, nous avons pu disposer de toute une année supplémentaire, plus un été. Nous pouvons donc appliquer les coefficients calculés précédemment à cet échantillon indépendant. Les taux de réussite sont les suivants :

prévision	bonne	mauvaise
été 87	73.4%	4.0%
été 88	70.3%	5.4%
automne	73.5%	5.5%
hiver	73.1%	8.6%
printemps	75.3%	5.0%
été 87 (10h-19h)	79.9%	5.8%
été 88 (10h-19h)	80.7%	6.0%

Les coefficients de l'été, de l'automne et du printemps semblent donc représentatifs pour effectuer une prévision, puisque qu'ils s'appliquent à une autre année sans baisse notable de la qualité. On observe toutefois une dégradation assez nette du taux de réussite pour l'hiver 87-88. En conséquence, il conviendrait de recalculer des coefficients en tenant compte des deux hivers, mais cela est discutable du fait du caractère exceptionnellement doux de l'hiver 87-88.

De même, la qualité de la prévision diminue d'environ 4 points pour l'été entre 10h et 19h, mais on peut ici essayer de combiner les trois été afin d'obtenir un résultat plus uniforme :

θ	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$a(\theta)$	-0.54	-0.64	-0.69	-0.86	-0.83	-0.84	-0.68	-0.66	-0.66
θ	100	110	120	130	140	150	160	170	180
$a(\theta)$	-0.75	-0.68	-0.53	-0.35	0.08	0.11	0.32	0.35	0.38
θ	190	200	210	220	230	240	250	260	270
$a(\theta)$	0.40	0.41	0.48	0.51	0.53	0.50	0.48	0.44	0.41
θ	280	290	300	310	320	330	340	350	360
$a(\theta)$	0.36	0.35	0.27	0.21	-0.08	-0.27	-0.27	-0.35	-0.50

prévisions	bonnes	mauvaises
été 86 (10h-19h)	83.4%	6.3%
été 87 (10h-19h)	82.0%	5.8%
été 88 (10h-19h)	82.0%	6.0%

Les bonnes prévisions dépassent même les 90% si l'on ne tient pas compte de la direction, cela veut dire que la force du vent est prédite correctement à plus ou moins un degré beaufort près dans plus de 90% des cas. Nous recommandons donc à ceux qui désirent évaluer rapidement le vent au Sentier d'utiliser la table ci-dessus.

Auparavant, il faut bien entendu faire une prévision du vent à la Dôle en tenant compte à la fois de l'état actuel et des vents à 850 hPa prévus par un modèle numérique. Il faut également évaluer l'évolution diurne de ce vent : plus fort la nuit, plus faible l'après-midi (cf 2.2). Cet effet n'est toutefois que moyen et non pas systématique. Il est vraisemblablement mieux marqué si l'ensoleillement est fort et si quelques cumulus se développent sur les crêtes.

Dans le chapitre suivant, nous allons essayer de voir comment on peut détecter les cas échappant à cette simple régression.

5. Etude des fausses prévisions

Voici l'analyse des cas où la différence entre le vent prévu et le vent observé est égale ou supérieure à 3 beaufort, ce qui peut provenir soit d'une mauvaise estimation de la force, soit d'une direction opposée à celle prévue. Nous n'avons pas retenu les cas d'erreur isolée, ne portant que sur 1 ou 2 heures, car il y a des sautes de vent même dans un régime établi.

L'origine de ces brèves modifications est souvent très locale, nuages, en été cumulus, averses et orages, en un mot un écoulement turbulent. Par contre, les séquences de plusieurs heures, ou même des situations répétitives sur 1 ou 2 jours, ont retenu notre attention. Ce contrôle, établi avec les coefficients du chapitre précédant valables de 10 h à 19 h, porte sur les mois de la saison d'été, juin, juillet, août, septembre 1986, 1987 et 1988, de façon à couvrir au mieux la période de l'année où le CMG doit établir une prévision de vent pour la lac de Joux.

5.1 Les cas

1. 14 juin 1986 de 10 à 15 h.

Vent prévu au Sentier: nord-est 1 beaufort puis 0, vent observé nord-est 4 beaufort.

A la Dôle la bise souffle fortement en fin de nuit jusqu'à 35 noeuds et elle faiblit dès 9h, tourne au 330 entre 12 et 15 h et reprend du nord-est dès 16 h en se renforçant. Ce jour là, il y a eu 8 heures d'ensoleillement à la Dôle et 0,1 mm de pluie. Au Sentier et à Changins la bise souffle à force 4 jusqu'à 15 h puis faiblit à 3 beaufort aux 2 stations. On remarque donc qu'une sorte de parenthèse s'est produite à la Dôle, les données nous manquent toutefois pour savoir si le 0,1 mm de pluie est tombé pendant cette période.

2. Le 5 septembre de 13 à 15 h.

Vent prévu sud-ouest 1-2 beaufort, vent observé nord-est 2. A la Dôle sud-ouest 4 beaufort. Dans ce cas la bise avait soufflé à 3 beaufort le matin à la Dôle, puis le vent a

tourné au sud-ouest dès 13 h. Il ne s'est levé qu'à 16 h au Sentier, retard plausible vu la distance entre les 2 stations et l'ensoleillement de 13 h ce jour, qui a certainement favorisé le maintien du reste de bise ou du thermique diurne.

3. Le 19 septembre de 09 à 10 h, de 12 à 16 h et de 18 à 19 h.
Vent prévu calme 0, vent observé bise 3 beaufort.
A la Dôle le matin, il y a eu du sud-est force 3 et dès 16 h de l'ouest force 3. Un front ondule au versant sud des Alpes, il y a déjà une haute pression centrée sur les Iles-Britanniques. Le front ne provoque plus de pluie sur la région et il y a eu 6.3 h d'ensoleillement. Cette situation est donc mal établie. Les vents au travers de la chaîne du Jura sont parfois canalisés, parfois pas.
4. Le 30 septembre de 12 à 18 h.
Vent prévu 0, vent observé bise 4 puis 3 beaufort.
A la Dôle il y a eu de la bise force 4, suivie dès 14 h par un vent très variable de 3 beaufort. Il y a eu 8.5 h d'ensoleillement. Il y avait eu toute une période de bise les jours précédents. Cette bise a continué à souffler au Sentier jusque vers 18 h.
5. Le 14 juin 1987 de 14 à 19 h.
Vent prévu sud-ouest 2-3 beaufort, vent observé nord-est 2.
A la Dôle de 0 à 8 h, il y a eu du nord-ouest 3 beaufort, ensuite du calme et dès 14 h du sud à sud-ouest 3 puis 4 beaufort. La veille, il n'y a pas eu de bise à la Dôle mais un vent du sud-ouest établi. Au sol nous avons une situation de marais barométrique avec un front froid axé Bonn-Sète-Cadix, ondulant faiblement. A 500 hPa, il y a un vent du sud-ouest de 50 kts à Payerne. Le ciel est couvert et l'ensoleillement de la Dôle est nul. Le régime des brises au Sentier est caractéristique d'une journée de beau temps avec du sud-ouest jusque vers 9 h et du nord-est dès 10 h.
6. Le 14 juillet de 16 à 19 h.
Vent prévu sud-ouest 2 beaufort et vent observé nord-est 2.
Au sol faible haute pression de l'Allemagne au golfe de

Gênes. A 500 hPa haute pression sur l'Italie avec du vent d'ouest 15 kts à Payerne. Ensoleillement de 9 h. Là aussi le régime jour-nuit est normal au Sentier et à Changins.

7. Le 13 août de 15 h à 19 h.

Vent prévu sud-ouest 2 beaufort, vent observé nord-est 2. A la Dôle, le vent est du sud-ouest 3-4 beaufort. En fait le sud-ouest s'est levé dès 15 h. Le ciel est clair avec 13 h d'ensoleillement, mais un front s'approche et traversera la moitié nord de la France le 14 à 500 hPa. Le vent d'ouest souffle avec 50 kts à Payerne. Il est probable que d'une part la brise diurne a continué à souffler dans le fond de la vallée et que d'autre part la distance entre les 2 points de mesure explique le retard de la renverse du vent au Sentier, le vent du sud-ouest se lève à 21 h et se renforcera le 14 à l'approche du front.

8. Le 31 août de 10 à 12 h et de 15 à 17 h.

Vent prévu sud-ouest 2 beaufort, vent observé nord-est 3. A la Dôle le vent souffle du sud 3 beaufort, puis de l'ouest dès 15 h aussi à 3 beaufort. Ou la direction plein sud, la canalisation est plus délicate dans le fond de la vallée. Au sol une situation de marais barométrique et à 500 hPa une dorsale. Il y a un ensoleillement de 11.2 h à la Dôle. Au Sentier et à Changins, la brise diurne s'installe le matin dès 9 h.

9. Le 30 septembre de 9 h à 18 h.

Vent prévu sud-ouest 1-2, vent observé nord-est 2-3 beaufort.

A la Dôle vent irrégulier du sud à sud-ouest 3 beaufort, il y a eu 8.7 h d'ensoleillement. Au sol une haute pression est centrée sur Oslo et à 500 hPa, une dorsale est axée de la Norvège à La Corogne. A Payerne, le vent souffle du nord 20 kts. De nouveau le régime de brise diurne et nocturne s'est montré le plus fort tant au Sentier qu'à Changins.

10. Le 28 juillet 1988 de 15 à 19 h.

Vent prévu sud-ouest 2 beaufort, vent observé nord-est 2. A la Dôle, le vent a été du sud-ouest 3-4 beaufort et il y a eu 11.4 h de soleil. Au sol, un anticyclone s'est installé

après le passage d'un front pluvieux et une phase de bise jusque vers midi, ensuite le vent a tourné au sud-ouest, d'abord faible puis s'est renforcé à 3-4 beaufort dès 16 h. Il a augmenté à 5-6 beaufort le soir à l'avant d'un nouveau front qui traversera la région le 29 au soir. Au Sentier et à Changins, le régime de brise diurne a prévalu jusqu'à la nuit.

11. Le 8 septembre de 10 à 13 h et de 17 à 18 h.

Vent prévu sud-ouest 2 et vent observé nord-est 2 beaufort. A la Dôle le vent a soufflé du sud-ouest 3 beaufort et il y a eu 11.6 h de soleil. Au sol une haute pression est centrée sur le sud de la Scandinavie. A 500 hPa, nous sommes sous l'axe d'une dorsale avec un vent du nord 20 kts à Payerne le matin. En fait la bise a soufflé déjà la veille aux 3 stations, il y a eu une interruption au Sentier entre 2 et 8 h où le vent nocturne a faiblement soufflé. Curieusement le vent s'est orienté au sud-ouest à la Dôle dès 4 h et a fraîchi à 3-4 beaufort dès 8 h. Au Sentier et à Changins, les brises diurnes et nocturne ont soufflé sans égard pour le vent de la Dôle. A nouveau le 9, un front s'approche et le vent du secteur ouest s'installe aux 3 stations.

5.2 Remèdes

Les erreurs de prévisions de plus 2 heures consécutives sont principalement dues, comme nous l'avons vu au paragraphe 4.4, à des erreurs de direction. Au vu de l'étude ci dessus, nous pouvons distinguer deux causes distinctes d'erreur :

- a) par vent perpendiculaire à la chaîne du Jura. Le cas le plus fréquent apparaît par Joran, c'est-à-dire pour des vents du secteur 310 à 320 degrés à la Dôle, de vitesse égale ou supérieure à 3 beaufort. Dans ce cas, les coefficients de prévision donnent calme (0 beaufort) alors que l'observation a donné 2 beaufort en moyenne au Sentier mais de direction canalisée aussi souvent sud-ouest que nord-est. Le vent souffle en tout cas, mais la direction semble imprévisible. En 1986, il y a eu pour les 4 mois considérés, 9 cas, en 1987 6 cas et en 1988 7 cas.

Les vents traversiers du sud-est à la Dôle se produisent en général par des situations de foehn, ce qui est rare en été. Ce sont des vents du secteur 130-150 degrés, le faible nombre de cas ne permet pas de tirer de conclusions. Là aussi, la situation synoptique du jour devra être regardée soigneusement. La prévision la plus simple dans ce cas est d'annoncer un vent variable de 2 beaufort.

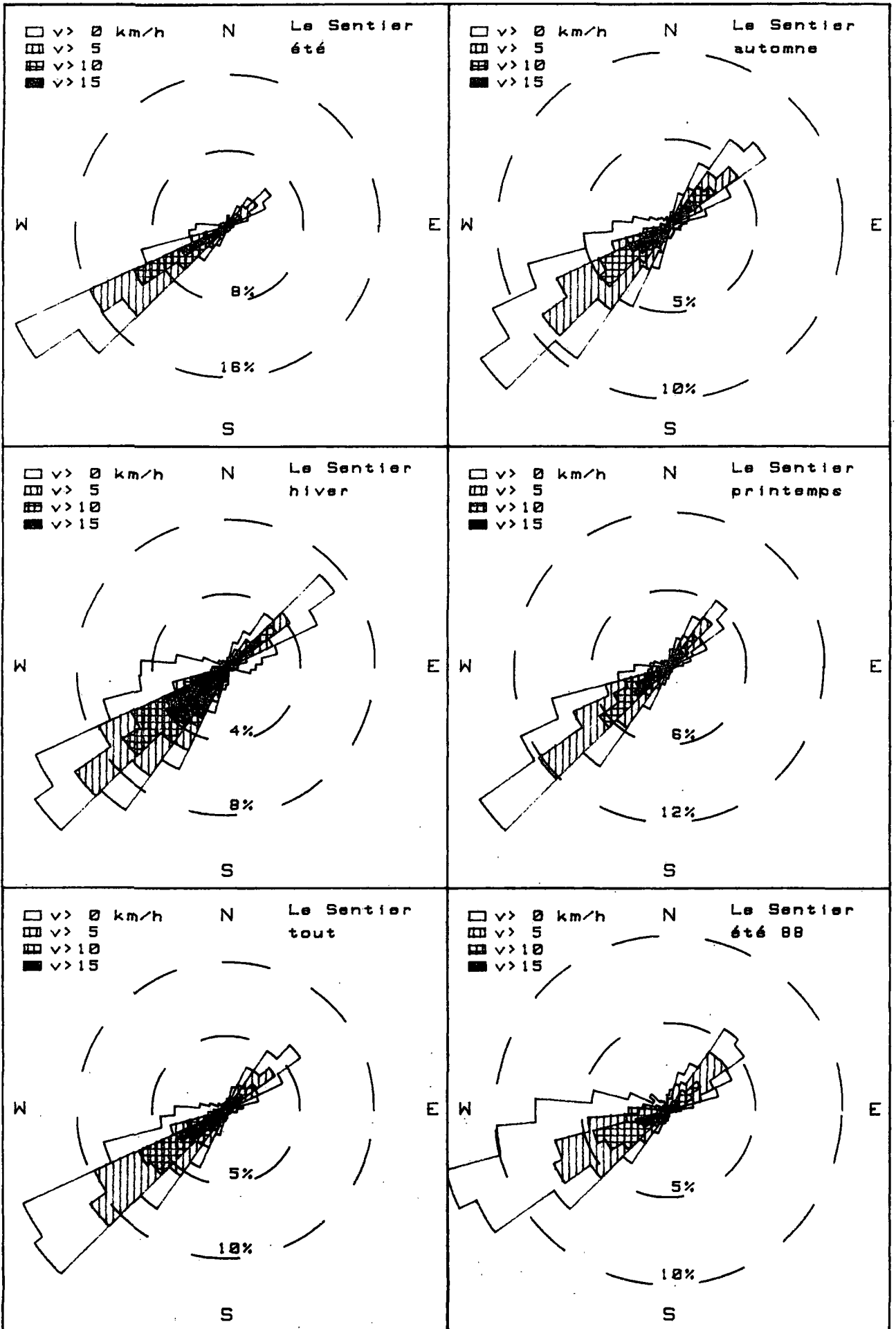
- b) par vent parallèle à la chaîne du Jura . En général dans ces cas, le vent souffle du sud-ouest à la Dôle, ce qui entraîne une prévision de sud-ouest pour le lac de Joux, mais le vent observé est du nord-est. Là, d'une part l'inertie joue un rôle important et d'autre part l'historique de la situation synoptique doit être considéré. Fréquemment une bise qui a soufflé la veille persiste au Sentier, même si le sud-ouest se lève à la Dôle, surtout pendant les heures diurnes où le vent local est du nord-est.

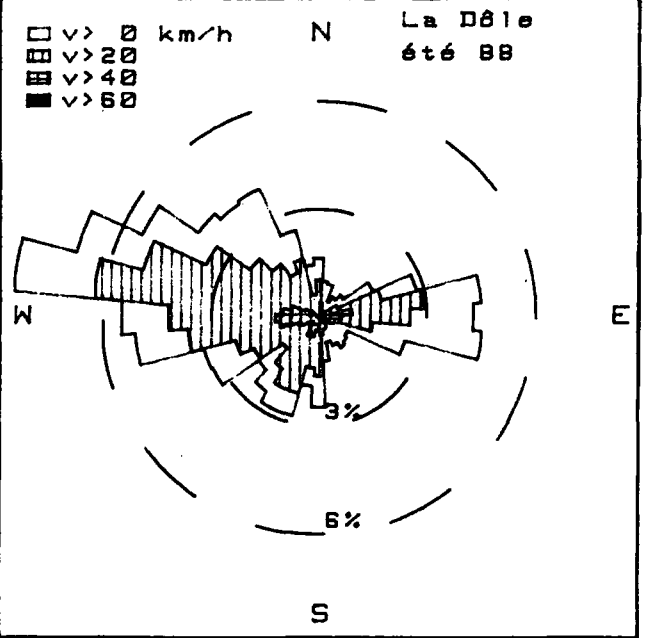
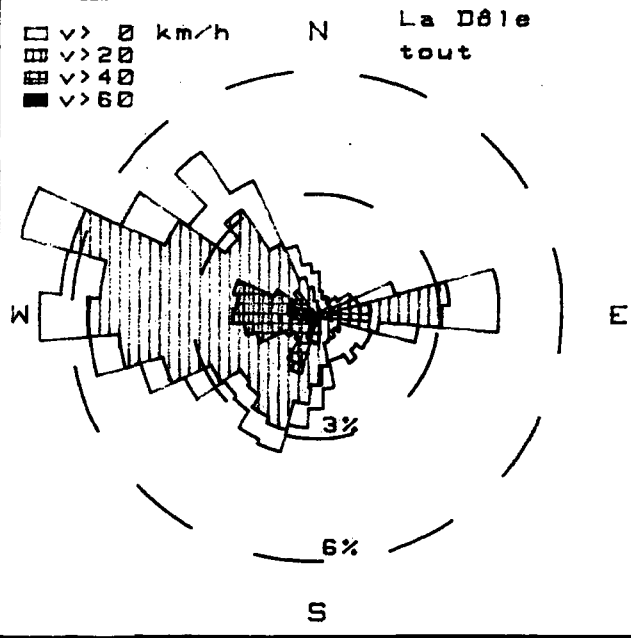
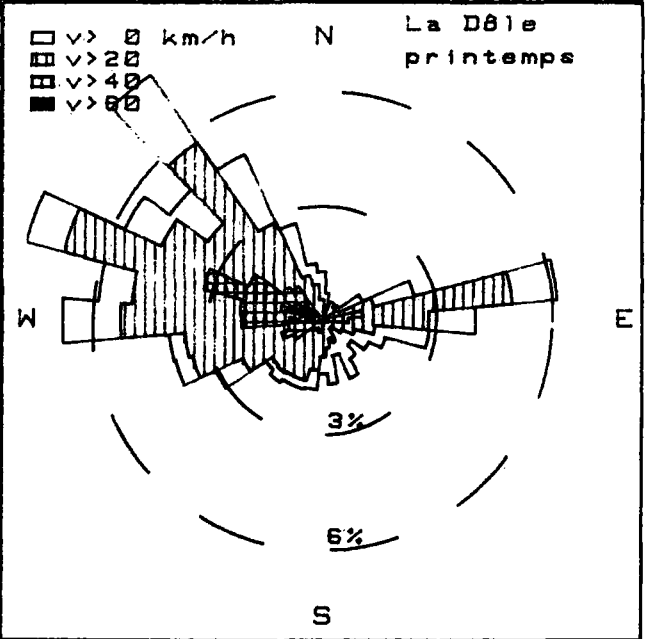
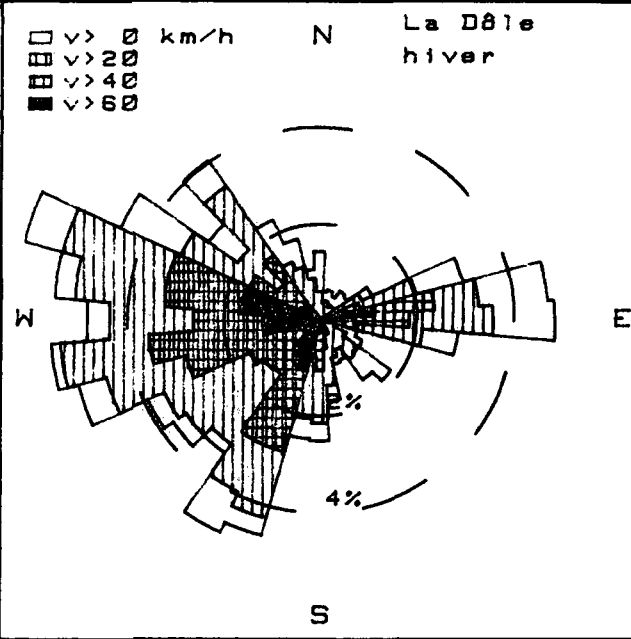
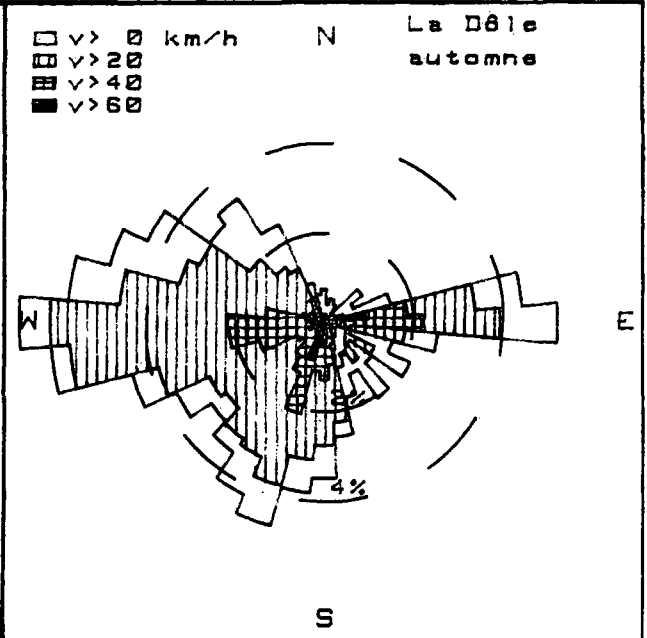
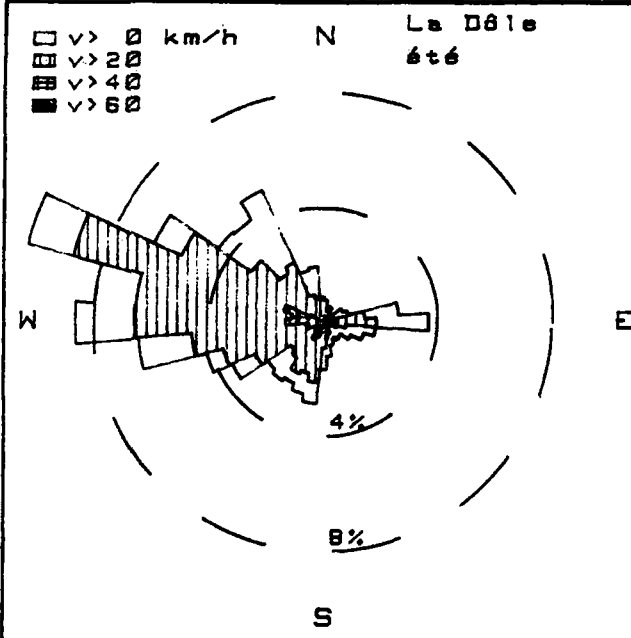
Une situation synoptique typique de maintien du courant de bise au fond de la vallée et de sud-ouest à la Dôle se produit après le passage d'un front froid, lorsqu'un anticyclone mobile traverse le continent en direction de l'est, suivi par l'arrivée d'une nouvelle perturbation. Dans ce cas, alors que la bise était établie à la Dôle et sur les lacs, le sud-ouest s'installe progressivement à partir de l'ouest en altitude et peut mettre plusieurs heures, voire une journée pour atteindre le lac de Joux et le Léman.

D'autre part, il ne faut pas oublier que La Dôle est située environ 20 km à l'ouest du Sentier à vol d'oiseau et 600 m plus haut. Il est connu qu'au niveau du Léman le vent du sud-ouest peut aussi souffler plusieurs heures en rade de Genève et y rester confiné alors que le nord-est persiste entre Versoix et Nyon. Ce cas s'est produit 1 fois en 1986, 5 fois en 1987 et 3 fois en 1988 (pour les mois d'été).

Appendice

Les roses des vents de juin 1987 à août 1988





Adresse des auteurs

Bernard Dunand
Centre météorologique régional
et de l'aéroport de Genève
Case postale 312
CH-1215 Genève 15

Pierre Eckert
Centre météorologique régional
et de l'aéroport de Genève
Case postale 312
CH-1215 Genève 15

