

GUIDE PRATIQUE D'INTERPRETATION DES MODELES NUMERIQUES DE LA FAMILLE GFS (USA) POUR EVALUER ET PREVOIR L'AEROLOGIE, LA CLIMATOLOGIE ET LES CONDITIONS ATMOSPHERIQUES POUR LE VOL LIBRE, NOTAMMENT DE PERFORMANCE, DANS LE HAUT-VALAIS.

§ 1. Introduction.....	2
§ 2. Matériel et méthodes.....	3
§ 3. Résultat 1 : évolution générale des paramètres atmosphériques.....	8
§ 4. Résultat 2 : statistiques des jours CCC-OLC.....	17
§ 5. Résultat 3 : structure thermique des vallées.....	28
§ 6. Résultat 4 : nébulosité, orages et humidité atmosphérique.....	38
§ 7. Résultat 5 : brises et vents locaux.....	54
§ 8. Résumé et conclusions	76
§ 9. Références et bibliographie.....	80
§ 10. Annexe : Utilisation pratique des modèles GFS.....	81

Avertissement ! Cet imprimé sous forme de fichier PDF est soumis à la loi sur la protection des droits d'auteur. L'utilisation individuelle et privée est cependant libre et gratuite. Vous pouvez donc télécharger ce fichier puis l'imprimer réellement sur papier (mais ceci ne sera malheureusement pas forcément gratuit, vu le prix du papier et les coûts de votre imprimante).

Néanmoins je n'autorise pas l'utilisation commerciale de cet ouvrage (par exemple publication d'un extrait dans un journal sans autorisation ou la vente de copies dans une école) ni la modification (notamment des en-têtes) ou l'appropriation intellectuelle par un tiers d'une quelconque partie de celui-ci.

D'autre part je n'engage pas ma responsabilité en cas d'accident de vol ou de déception par une prévision erronée. Chaque pilote est responsable de ses décisions de vol.

§ 1. Introduction

Il y a déjà pas mal d'années, j'ai lu avec assiduité le livre de Max Bouët ¹, Climat et météorologie de la Suisse romande. Cet ouvrage de climatologie classique donne une bonne idée du climat et du temps dans différentes parties de la Suisse romande mais s'avère finalement insuffisant et peu adapté pour la compréhension des conditions atmosphériques favorables pour le vol en ascendances thermiques et le vol de distance avec un maximum de sécurité. Ce livre donne des informations trop limitées dans l'espace (elles sont trop axées pour celui qui reste au sol et pas assez en 3 dimensions) et dans le temps (elles sont essentiellement moyennées dans une période trop longue (mois, quinzaine, saison)).

Le but du présent article est donc d'évaluer la climatologie « tridimensionnelle » à petite échelle dans l'optique de rechercher (1) les paramètres atmosphériques favorables et (2) les périodes favorables de l'année pour le vol thermique et de distance dans le Haut-Valais, région principale de cross en Suisse, ainsi que (3) de comparer les paramètres (vents, températures, humidités) climatologiques des stations suisses avec les paramètres atmosphériques des analyses des modèles informatiques de prévisions météorologiques de la famille FNL-GFS (USA). Il s'agit donc d'évaluer statistiquement et rétrospectivement les conditions de vol et les conditions climatologiques dans le Haut-Valais grâce aux données des modèles numériques. Il pourra s'agir finalement d'un guide pratique pour interpréter les modèles en faveur de nos vols et notre sécurité.

Les modèles se sont donc avérés finalement incontournables pour une vision moderne et efficace de l'aérogologie, la climatologie et la prévision des conditions de vol. Cependant, pour ne pas être déçu trop rapidement et facilement des modèles, il faut que le pilote comprenne bien ce qu'est et ce que fournit un modèle, c'est-à-dire quelles sont ses limites intrinsèques. Regardez la figure 1. Pour « nourrir » le modèle, on utilise les valeurs brutes (« row data » en anglais) de mesures des paramètres atmosphériques (températures, humidités, pressions, vents...etc.) effectuées dans le monde entier (radiosondages, stations terrestres et maritimes, avions, satellites, etc.). Ces valeurs sont forcément distribuées de façon irrégulière dans le temps et l'espace. Pour qu'elles soient cohérentes et utilisables, il faut les lisser et les interpoler afin qu'elles soient réparties de façon homogène dans une grille virtuelle régulière tridimensionnelle représentant l'atmosphère dans son ensemble en un temps zéro. Le résultat de ces calculs très compliqués, appelés aussi « assimilation » et effectués par des ordinateurs très puissants, est une « analyse ». L'analyse (appelée aussi « initialisation ») peut donc être considérée comme un état physique moyen, global, objectif et initial de l'ensemble des masses d'air composant l'atmosphère terrestre. Sur une analyse, on ne « voit » donc pas les brises et autres phénomènes locaux par exemple. C'est à nous, par notre expérience pratique de pilotes, de déduire tous les phénomènes locaux utiles ou dangereux pour notre vol en fonction de la description générale de l'atmosphère fournie par les modèles. A partir de l'analyse initiale, l'ordinateur calcule ensuite l'évolution probable de ces paramètres de la grille. C'est le stade de prévision (« forecast » en anglais) proprement dite, par simulation mathématique utilisant les formules des lois physiques régissant l'atmosphère (météorologie dynamique). L'analyse est donc aussi importante que la simulation car sans une analyse fiable de départ, il n'y a aucune chance que les prévisions soient proches de la réalité.

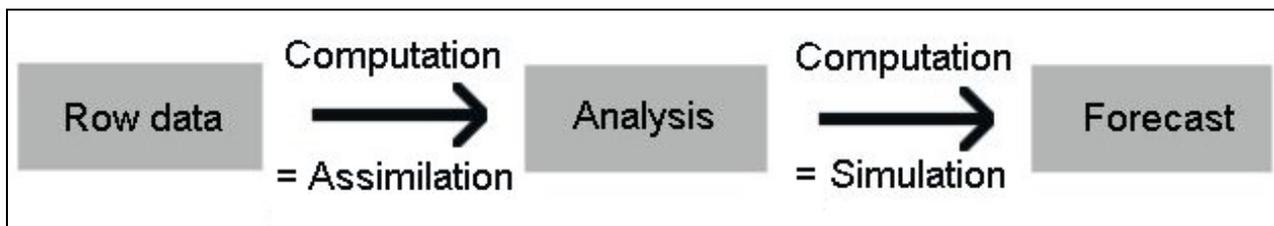


Figure 1 : étapes d'un modèle numérique de prévision météorologique. Les données brutes (« row data ») sont un ensemble hétérogène (temps et espace) de valeurs météorologiques tandis que l'analyse (ou initialisation) et les prévisions (« forecast ») sont des ensembles homogènes (grille virtuelle) de valeurs. L'analyse comme la prévision sont un état physique moyen, lissé et global (synoptique) de l'ensemble des masses d'air composant l'atmosphère terrestre, la première étant un état objectif et initial et la deuxième un état prévu et simulé, issue de l'analyse.

§ 2. Matériel et méthodes

Il y a seulement 2 dizaines d'années, sans Internet et l'ordinateur, une telle étude était tout simplement irréalisable. Le Web est une source immense de données météorologiques, souvent gratuites (pour combien de temps ?) et l'ordinateur m'a permis d'économiser des centaines d'heures de saisie de données et de calculs fastidieux et répétitifs, grâce à une série de copier-coller, à des macros bien ajustées et à un bon tableur (MS-Excel). Je n'ai utilisé que des méthodes statistiques descriptives simples comme la moyenne, les écart-types et les courbes de régression. Les périodes les plus utilisées sont les quinzaines de jours.

Contrairement aux centres européens (notamment celui de l'ECMWF), les centres américains fournissent facilement et gratuitement le quasi ensemble de leurs données modélisées recouvrant le monde entier pour la prévision mais aussi les archives des analyses. Les analyses américaines archivées que j'utilise s'appellent FNL (pour final) ou GDAS (pour Global Data Assimilation System) du NCEP (National Center for Environmental Prediction), sont disponibles sur le serveur de ARL-NOAA (<http://www.arl.noaa.gov/ready/amet.html>) et sont enregistrées depuis 1997 pour l'hémisphère nord ou depuis 2000 pour l'hémisphère sud, jour après jour, toutes les 6 heures. FNL présente les caractéristiques suivantes :

Résolution horizontale de la grille 190 km entre les nœuds. Voir figure 2.

12 couches verticales, de 1000 à 50 hPa, par exemple 925, 850, 700, 500hPa...

Résolution temporelle, 6 heures, autrement dit il y a 6 heures entre chaque analyse, plus exactement à 00, 06, 12 et 18 heures UTC (heures de Greenwich).

Paramètres atmosphériques : pression, température, humidité, vent, proportion de nébulosité totale, précipitations accumulées sur 6 heures, géopotential, chaleur sensible et latente...etc.

Le modèle GFS (Global forecast system) est la simulation issue de l'analyse de la même famille que FNL, mais il a une meilleure résolution spatiale et temporelle. C'est ce modèle que j'utilise souvent en pratique pour mes prévisions.

Pour bien se rendre compte du degré de lissage de l'atmosphère à l'échelle synoptique des modèles, regardez la figure 3 qui montre la représentation du relief des Alpes. Le modèle du NCEP « voit » les Alpes comme une immense colline aplatie, en arc de cercle, et culminant vers 1600 m. Ni les vallées alpines ni même le Plateau sont distinguables ! Malgré cette représentation grossière et très globale, mais homogène et cohérente, de la réalité et après trois ans d'expérience, je peux affirmer que l'utilisation des modèles est une excellente méthode pour prévoir, un à deux jours à l'avance, l'aérogologie locale par un observateur expérimenté de la région. C'est pourquoi j'ai choisi les valeurs des modèles et particulièrement de leurs analyses pour les comparer avec les conditions locales de vol et les valeurs climatiques mesurées de certaines stations suisses.

Une autre question peut venir à l'esprit : Pourquoi utiliser l'analyse FNL plutôt que les prévisions numériques GFS à 24 ou 48 heures ? Il y a deux raisons. Premièrement il n'existe pas d'archives sur les prévisions mais uniquement sur les analyses. J'ai conservé dans mon PC un bon nombre de fichiers de prévisions pendant 3 ans mais je ne possède pas une archive complète et homogène. Deuxièmement, il ne s'agit pas de juger des performances des prévisions numériques mais bien de comparer les conditions de vol et certaines valeurs climatologiques mesurées des stations suisses avec les valeurs lissées des modèles. Peut-être que l'évaluation des performances des prévisions (comparaison analyses et prévisions au même moment) pourra faire l'objet d'un autre article.

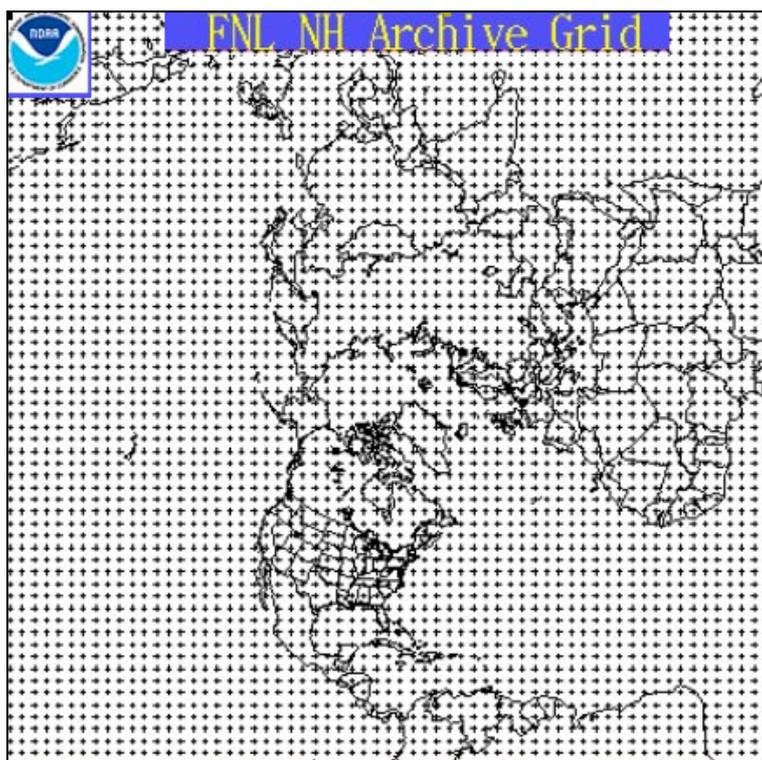


Figure 2 : résolution et distribution des nœuds de la grille horizontale de FNL dans l'hémisphère nord.

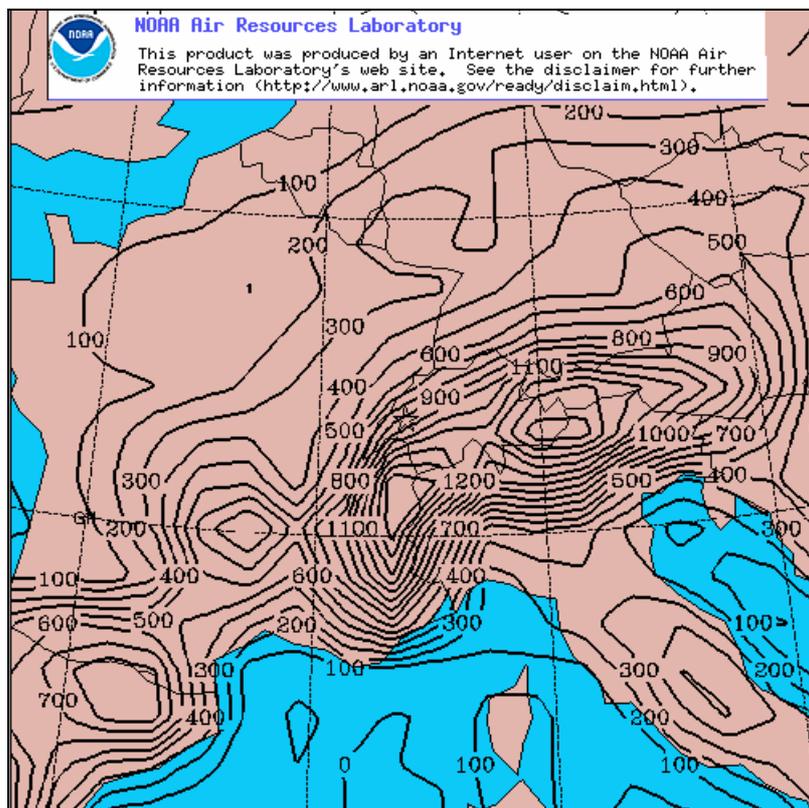


Figure 3 : le relief des Alpes "vu" par le modèle américain. Equidistance des courbes de niveau : 100m.

Pour ne pas trop compliquer les choses, je n'ai choisi qu'un seul point intercalé entre les grilles du modèle : celui de Payerne (latitude N46.81°, longitude E6.91°) et qu'une seule heure par jour, celle de 12h00 UTC (14h00 CEST, heure locale d'été européenne) durant les mois d'avril à mi-septembre, de 1998 à 2004. Les paramètres atmosphériques que j'ai sélectionnés sont la pression réduite niveau mer (en hPa), la nébulosité totale (en %), la somme des précipitations des 6 dernières heures, autrement dit de 6h00 à 12h00 UTC (en mm.), les direction et force (en Km/h) du vent à 850 et 700 hPa, soit à environ 1500 et 3100 m, l'humidité à 850, 700 et 500 hPa (« spread »), soit à environ 1500, 3100 et 5700 m, et la différence de température (en °C) entre 850 et 500 hPa (entre 1500 et 5700 m. environ). Rappelons que le « spread » à un niveau donné est la différence en °C entre la température et la température de point de rosée (de condensation). Plus le « spread » est élevé, plus l'atmosphère est sèche et moins les nuages seront nombreux. Comme ordre de grandeur, des « spreads » de 20, 15, 10 et 5°C correspondent approximativement et respectivement à des humidités relatives de 20, 30, 50 et 70%. La différence de température entre 850 et 500 hPa donne une idée de l'instabilité « sèche » (c'est-à-dire à l'extérieur des cumulus) de l'atmosphère, plus cette différence est importante et plus les plafonds des ascendances seront hauts et celles-ci seront fortes.

La « mesure » que j'ai choisie pour évaluer la qualité d'une journée de vol est la liste des résultats des vols CCC (Cross Country Cup, notre compétition nationale de distance, ouverte à tous) de 1998 à 2003, dans le Haut-Valais, effectués dans l'écrasante majorité des cas depuis Kühboden (Fiesch). Je suis parti du principe empirique suivant : plus il y a de vols et plus la moyenne des distance est grande dans une journée, meilleures sont les conditions de vol dans cette journée. Cette simplification est critiquable, j'en suis parfaitement conscient, mais je n'ai pas trouvé mieux. Comparer les conditions atmosphériques avec mes propres performances aurait été encore moins objectif. L'idéal aurait été un groupe de pilotes, toujours identiques et essayant un vol de distance tous les jours, depuis le même endroit, ce qui n'est évidemment pas possible. Le « groupe » de pilotes CCC n'est évidemment pas homogène et varie d'un jour à l'autre en « qualité » et en quantité. Il y a probablement plus de pilotes le week-end et plus en août qu'un juin. De plus, en 2003, grâce à l'introduction du GPS qui simplifie la déclaration de vol, le nombre de pilotes motivés à participer à la CCC a vraisemblablement augmenté sensiblement par rapport aux années précédentes. Cette même année, la CCC a été incluse dans l'OLC (Online Contest), concours international de distance.

Ensuite, pour essayer de trouver des règles objectives d'interprétation des modèles, je me suis procuré, sous forme électronique, les données (température, humidité ainsi que la direction et la force du vent moyennées sur 10 mn) instantanées et mesurées des stations suisses suivantes à 12h00 UTC soit 14h00 local (heure d'été) de 1998 à 2003, d'avril à août :

Sion	7°20'	46°13'	482 m.
Montana	7°29'	46°18'	1508 m.
Visp	7°50'	46°18'	640 m.
Jungfrauoch	7°59'	46°32'	3580 m.
Ulrichen	8°18'	46°30'	1345 m.
Grimsel-Hospiz	8°19'	46°34'	1980 m.
Aigle	6°55'	46°19'	381 m.
Moléson	7°01'	46°32'	1972 m.
Gd-St-Bernard	7°10'	45°52'	2472 m.
Fey	7°16'	46°11'	737 m.
Zürich-MeteoSchweiz	8°33'	47°22'	556 m.
Locarno-Monti	8°47'	46°10'	366 m.
Evolène-Villaz	7°30'	46°06'	1825 m.
Zermatt	7°45'	46°01'	1638 m.

Tableau 1 : stations suisses choisies pour les paramètres aérogologiques (température, humidité, pression, vents).

Je me suis également procuré les données journalières (insolation et somme des précipitations) des stations suisses suivantes de 1998 à 2003, d'avril à août :

Sion	7°20'	46°13'	482 m.
Montana	7°29'	46°18'	1508 m.
Visp	7°50'	46°18'	640 m.
Ulrichen	8°18'	46°30'	1345 m.

Tableau 2 : stations suisses choisies pour les paramètres climatologiques (insolation et précipitations).

Contrairement aux données des modèles américains, qui sont gratuites, j'ai dû acheter les données des stations suisses, sous forme électronique, à Météosuisse ! Malgré que je sois un citoyen donc surtout contribuable suisse et que je fasse cette étude bénévolement. Vous l'avez compris, avec la passion, on ne compte pas.

Finalement, un grand merci à Monsieur Brunner, habitant Unterbach, village situé en face du massif du Bietschhorn (dans la région de Viège), qui possède une webcam et qui a archivé sur support informatique les images du paysage autour du Bietschhorn, de 2000 à 2002. Ces images m'ont été gracieusement envoyées. Ceci m'a permis de comparer l'aspect du ciel, en particulier l'aspect des nuages, avec les données modélisées (analyse FNL) et celles mesurées (stations suisses) au même moment (c'est-à-dire vers 14h00 local).

Autant que possible, j'ai comparé les résultats d'autres auteurs qui avaient déjà étudié la question vers la fin du 20^{ème} siècle avec les résultats de l'étude actuelle et les ai commentés. De plus, dès que l'occasion se présentait, un parallèle avec les ouvrages classiques de climatologie de la Suisse a été réalisé.

§ 3. Résultat 1 : évolution générale des paramètres atmosphériques

Le premier résultat à obtenir de toutes ces données est une moyenne générale, par période de demi mois (quinzaine de jours), des paramètres. Voir tableau 3.

période	Pres-sion	Pré-cip.	Neb	Tempé-rature		DT	Spread			Vents (force)		T	S	V
				850 hPa	500 hPa		850-500	850 hPa	700 hPa	500 hPa	850 hPa			
Lieu (hPa)	hPa	mm	%	°C	°C	°C	°C	°C	°C	Kmh	Kmh	Jungfrau-joch		
												°C	°C	Kmh
avr 1-15	1012.2	1.0	54	1.7	-23.6	25.3	4.5	10.5	13.6	20.9	33.1	-	5.9	33.7
	8.7	1.4	25	3.4	3.5	3.2	2.5	9.0	8.5	12.1	18.5	4.1	5.8	22.7
avr 16-30	1013.8	0.7	54	4.2	-22.0	26.2	4.5	8.0	10.5	18.1	30.6	-8.0	5.2	32.9
	6.4	1.1	22	3.8	4.3	2.1	2.3	6.1	6.0	10.4	17.9	4.3	5.9	24.2
may 1-15	1016.1	0.8	50	8.4	-18.4	26.8	5.0	9.2	13.5	13.5	24.5	-3.3	4.8	31.7
	4.5	1.4	26	3.6	2.3	2.5	3.0	7.5	8.1	8.0	15.8	2.9	6.3	19.6
may16-31	1016.5	0.9	50	8.8	-17.0	25.8	4.9	9.3	13.6	16.9	27.4	-3.0	5.1	31.8
	4.4	1.5	27	3.6	2.5	2.6	2.6	6.2	8.2	9.6	15.8	3.3	5.8	17.9
jun 1-15	1017.1	1.0	47	11.1	-15.4	26.5	5.3	8.2	11.5	17.2	28.8	-0.7	5.2	28.6
	4.7	1.4	25	4.5	3.0	2.8	2.7	5.4	6.2	8.9	14.7	4.0	5.1	17.6
jun 16-30	1018.7	0.5	33	13.0	-13.5	26.5	7.1	11.6	16.0	14.7	27.3	0.4	6.4	25.3
	3.9	1.0	23	4.3	2.7	2.8	3.5	5.8	7.4	7.1	12.9	3.8	6.1	10.5
jul 1-15	1015.1	1.1	47	11.4	-13.3	24.8	4.1	7.5	12.7	19.2	32.4	-0.2	3.4	30.1
	4.3	1.8	27	3.6	2.8	2.8	2.2	5.3	7.0	10.5	15.5	3.3	3.0	14.4
jul 16-31	1016.6	0.9	36	13.4	-12.8	26.1	5.6	9.0	15.7	14.8	25.8	1.1	5.6	20.6
	3.3	1.3	26	3.1	2.7	2.4	2.4	5.5	7.8	8.8	14.1	3.3	6.0	14.2
aug 1-15	1017.4	0.9	37	14.5	-12.1	26.6	6.2	9.6	15.5	14.3	23.5	2.1	6.2	20.3
	4.2	1.4	29	4.4	2.4	3.5	3.8	6.3	7.7	8.8	15.6	3.5	6.3	13.9
aug16-31	1016.5	0.7	39	13.8	-12.5	26.3	5.9	9.8	13.3	13.9	26.3	1.4	6.3	20.9
	3.1	1.2	25	3.3	1.9	2.7	2.9	6.1	7.4	9.3	17.0	2.6	6.3	16.7

Tableau 3 : moyennes (en haut) et écarts-types (en bas), par quinzaine de jours, des paramètres aérogologiques de l'analyse FNL et de ceux du Jungfrau-joch. A comparer avec le tableau 4.

Les paramètres intéressants ou marquants de ce tableau peuvent être représentés graphiquement pour bien résumer la tendance. Sur les graphiques suivants, les couleurs vives représentent les moyennes par période et les couleurs claires correspondantes représentent les courbes « tendance », pour les mordus en math plus exactement de régression polynomiale du 2^{ème} degré.

Les valeurs moyennes de pression n'apprennent pas grand-chose. De mai à août, elles varient autour de 1016.5 hPa avec des écarts-types d'environ ± 4 hPa. En avril, elles sont sensiblement plus basses, autour de 1013 hPa avec des écarts-types d'environ ± 7 hPa.

Les valeurs de nébulosité totale moyenne vers 14h00 sont plus intéressantes. Elles baissent sensiblement d'avril à août, en moyenne de 55% à 37%. Les étés ont donc tendance à être moins nuageux que les printemps. Voir figure 4.

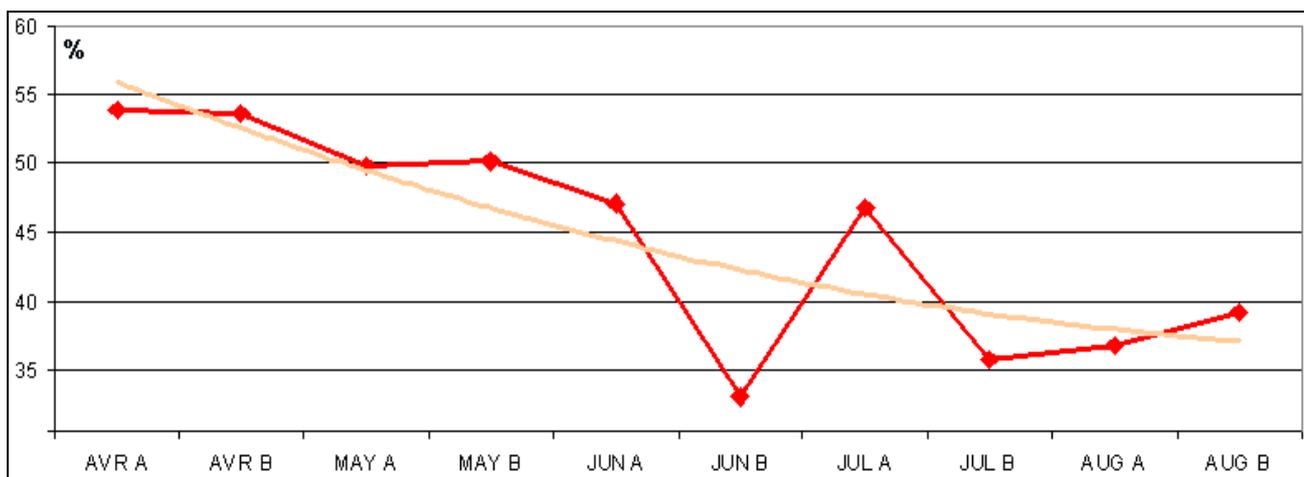


Figure 4 : évolution de la nébulosité totale moyenne en % d'avril en août par quinzaine de jours à 14h00 local, heure d'été CEST (12h00 UTC), au-dessus de Payerne. En orange la courbe « tendance »

L'humidité varie peu mais diminue cependant légèrement (« spread » augmentant) d'avril à août. Grosso modo, le « spread », d'avril à août, passe de 13 à 14 °C à 500 hPa, de 4 à 6 °C à 850 hPa et ne varie pas significativement (il reste aux alentours de 9.5 °C) à 700 hPa. Voir figure 5.

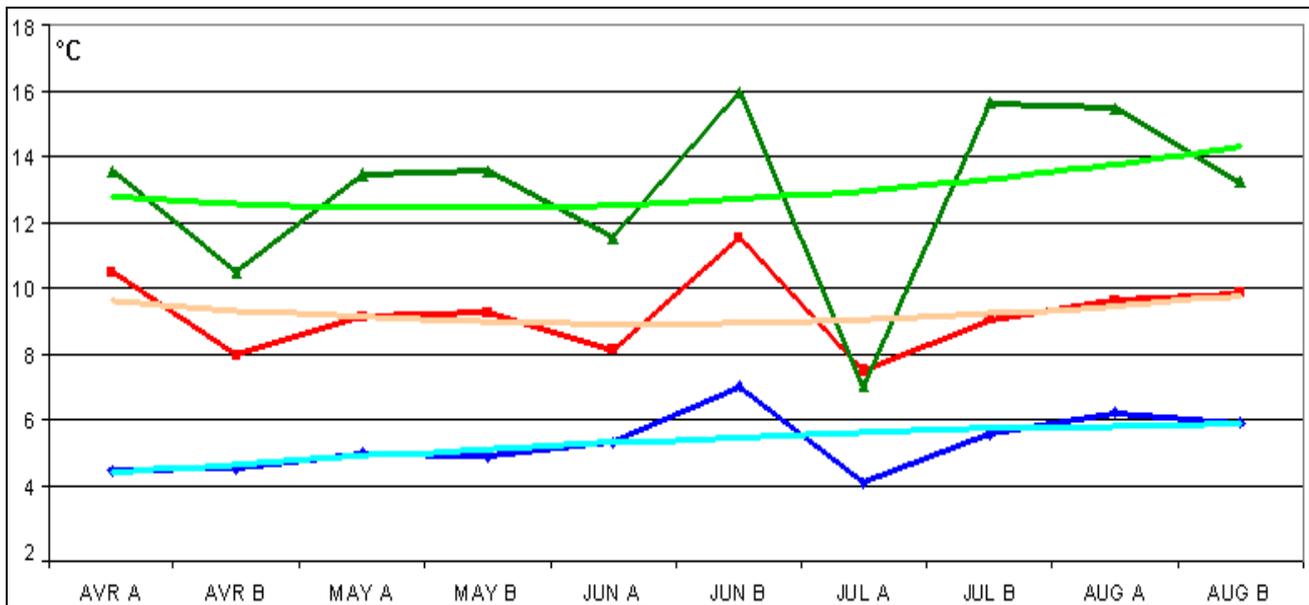


Figure 5 : évolution de l'humidité (« spread » en °C) atmosphérique moyenne d'avril en août par quinzaine de jours à 14h00 local, heure d'été CEST (12h00 UTC), au-dessus de Payerne. En vert à 500 hPa, en rouge à 700 hPa et en bleu à 850 hPa. En clair, les courbes « tendance ».

Les températures à 850 et à 500 hPa augmentent évidemment de façon régulière d'avril à août (voir figure 6) mais la différence de température entre ces deux couches ne varie presque pas et garde une valeur moyenne d'environ 26°C.

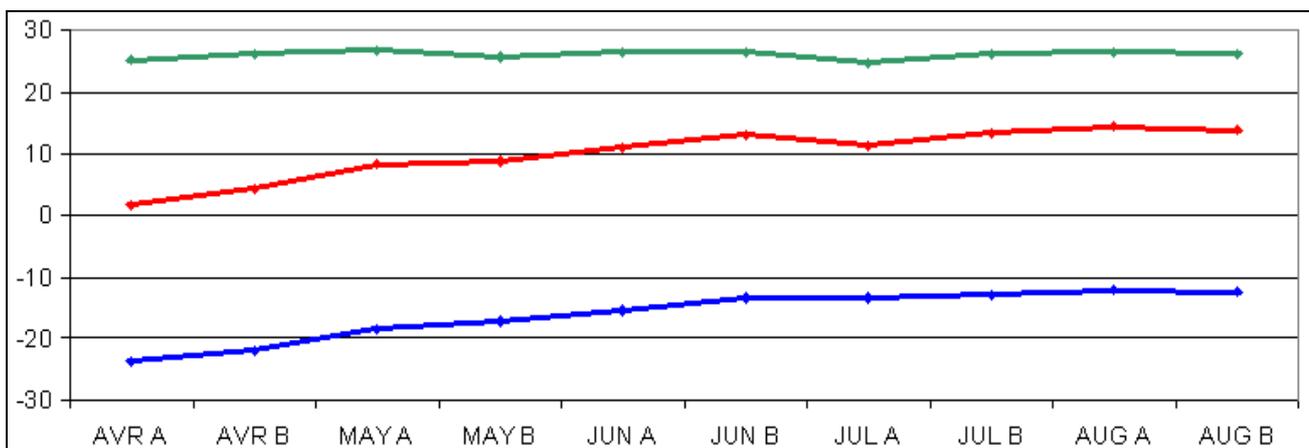


Figure 6 : évolution de la température atmosphérique moyenne (en °C) d'avril en août par quinzaine de jours à 14h00 local, heure d'été CEST (12h00 UTC), au-dessus de Payerne. En bleu à 500 hPa, en rouge à 850 hPa et en vert la différence de température entre ces deux couches à 850 hPa.

La force des vents géostrophiques (850 et 700 hPa) diminue régulièrement d'avril en août de 31 à 26 Km/h à 700 hPa et de 19 à 15 Km/h à 850 hPa. Pour la station météorologique du Jungfraujoch, la force des vents, mesurée vers 14h00 local, diminue aussi de 34 à 20 Km/h. d'avril en août. Voir figure 7.

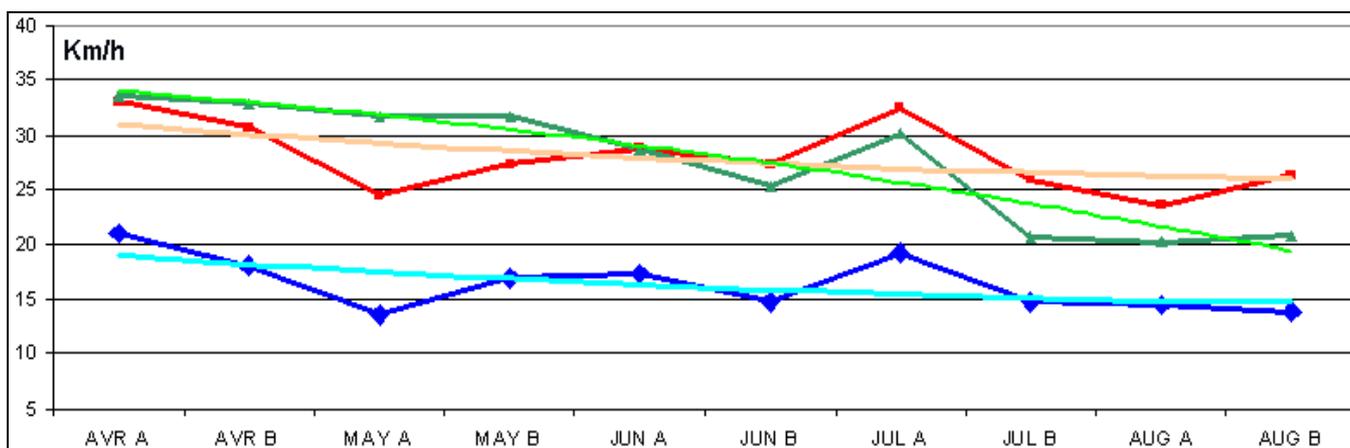


Figure 7 : évolution de la force moyenne des vents (en Km/h) d'avril en août par quinzaine de jours à 14h00 local, heure d'été CEST (12h00 UTC). En bleu à 850 hPa, en rouge à 700 hPa, au-dessus de Payerne, et en vert au Jungfraujoch. En clair, les courbes « tendance ».

On remarquera sur cette évolution moyenne des paramètres que la dernière quinzaine de juin semble particulièrement favorable (Pression élevée, nébulosité faible, précipitations faibles, températures élevées, humidités faibles, vents faibles par rapport à la courbe tendance) et que la première quinzaine de juillet est particulièrement défavorable (Pression basse, nébulosité forte, précipitations fortes, températures faibles, humidités fortes, vents forts par rapport à la courbe tendance) au vol. A mon avis cette « cassure » est très probablement en grande partie fortuite et due au fait que le nombre d'années étudiées est faible (6 ans seulement, mais je n'ai pas mieux). Je suis persuadé que si l'échantillon était plus grand, cette « cassure » ne serait pas ou nettement moins visible.

Il pourrait être aussi intéressant de se préoccuper de la direction des vents géostrophiques à 700 hPa. Vu le nombre de possibilités, en tout 8 par période, (N, NE, E, SE, S, SW, W et NW) et pour ne pas avoir des échantillons trop petits, j'ai renoncé au regroupement par quinzaine de jours. J'ai choisi plutôt 2 périodes : le printemps (avril à mi-juin) et l'été (mi-juin à août). La différence entre les 2 périodes n'est pas frappante. Les vents du secteur ouest dominant en toute période. Au printemps les vents d'est, de SE et du sud sont un peu plus fréquents qu'en été. Les vents d'ouest, du nord et du NW sont un peu plus fréquents en été qu'au printemps. Les vents du NE sont peu à moyennement fréquents en toute période. Voir figure 8.

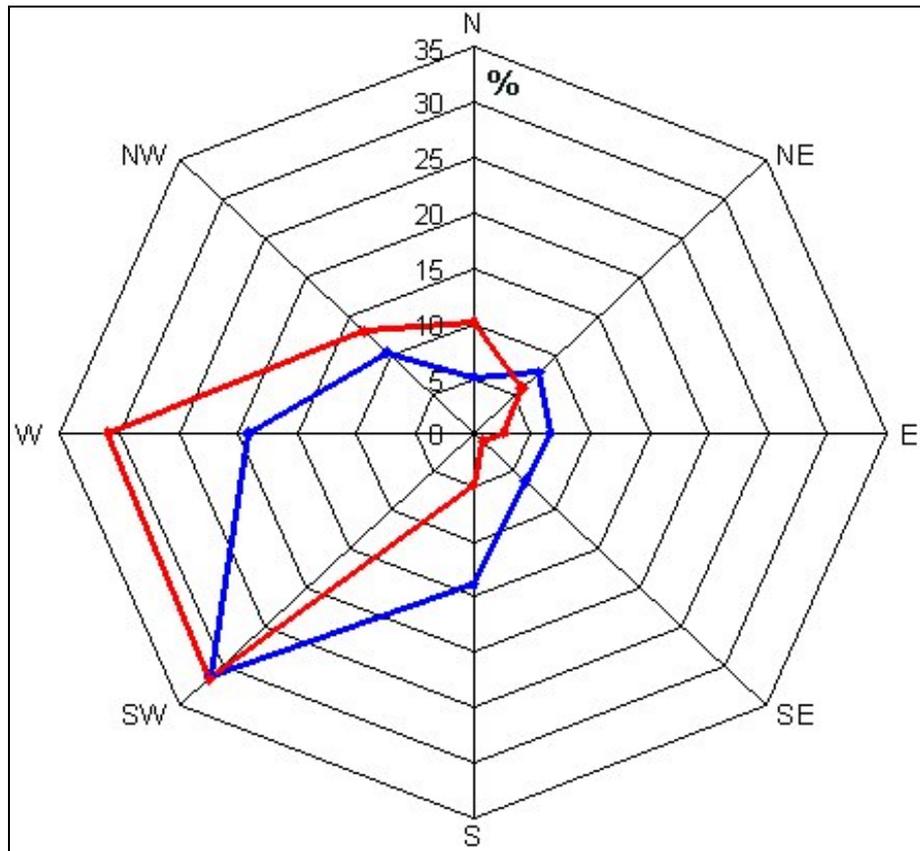


Figure 8 : rose des vents géostrophiques à 14h00 local (12h00 UTC), au niveau de 700 hPa, au-dessus de Payerne. En rouge de mi-juin à août, en bleu de avril à mi-juin. Fréquences des directions en %.

Finalement, la différence horizontale transalpine de pression atmosphérique est aussi un facteur important pour évaluer les conditions de vols. Pour rappel, plus cette différence est faible voire s'approche de zéro, plus les conditions sont saines et calmes. Au contraire, plus cette différence est élevée (déjà à partir de 4 hPa), plus l'atmosphère devient dangereuse et turbulente et plus le foehn (du nord ou du sud selon le sens de la différence) est probable. Pour des raisons pratiques, les valeurs mesurées à 14h00 local entre les 2 stations suisses Zurich et Locarno-Monti, me semblent préférables aux valeurs de pression fournies par l'analyse FNL. Les valeurs de chaque station doivent évidemment être ramenées à même altitude pour que la différence ait un sens. Celle-ci doit pouvoir être aussi prévisible pour être utilisable dans la pratique, sinon elle ne reste qu'une étude théorique sans application concrète. Or MétéoSuisse fournit, chaque jour, moyennant finances, un petit graphique intéressant, issu de son modèle aLMO (« Alpine Model ») qui donne les valeurs prévues (calculées), assez souvent exactes, de cette différence de pression. Voir figure 9.

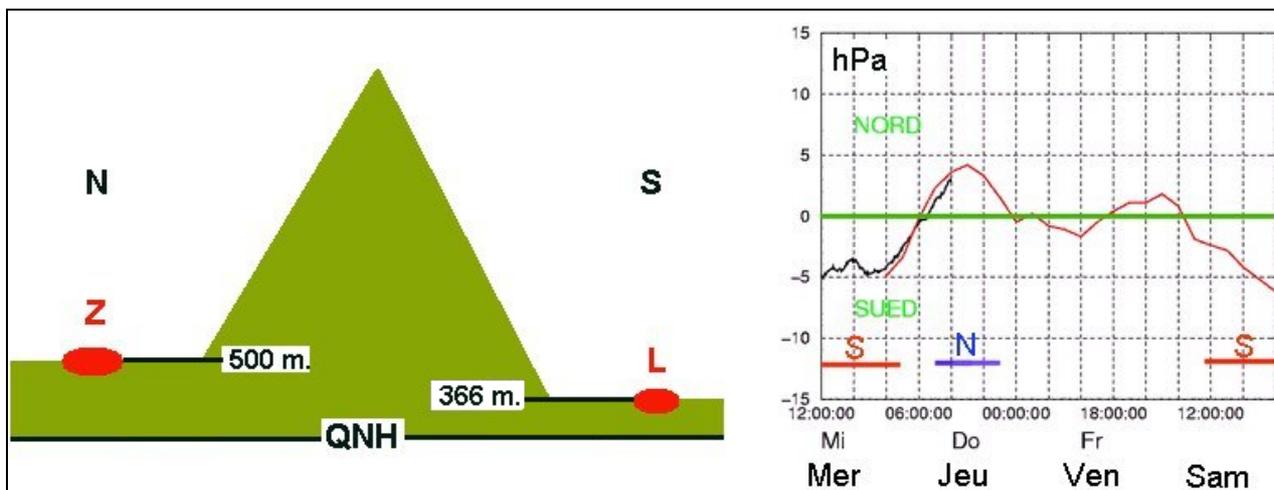


Figure 9 : Schéma de la situation des stations de Zurich = Z et de Locarno = L. Exemple de graphique (barogramme). En noir, courbe des mesures. En rouge, courbe prévue. S = période de surpression sud. N = période de surpression nord.

D'autre part, on verra plus loin qu'il existe une bonne corrélation entre les vents géostrophiques à 850 hPa de l'analyse FNL et les différences transalpines de pression mesurées entre les stations de Zurich et Lugano. Les différences de pression sont donc non seulement intéressantes mais aussi utilisables, directement ou indirectement, dans la pratique de la prévision.

Max Bouët¹ s'est aussi intéressé à cette différence de pression, qu'il appelle « gradient de pression transalpin ». Par année, de 1951 à 1970, il a trouvé 11,2% de jours avec une surpression sud de plus de 5 hPa, 22,5% des jours avec surpression nord de plus de 5 hPa et 66,3% des jours avec une différence de pression de moins de 5 hPa. Il a également élaboré un tableau de la répartition de ces 3 différents groupes de jours par mois. La figure 10 montre ce tableau sous forme graphique. Les mois avec le plus grand nombre de jours de faible gradient sont juillet et août, suivis de septembre, octobre, juin et mai. Les mois avec le moins grand nombre de jours à surpression sud sont juin, juillet, août. Les mois avec le moins grand nombre de jours à surpression nord sont août, septembre et octobre. Malheureusement, M. Bouët ne dit pas à quelle heure de la journée il a considéré cette différence de pression.

Pour ma part, je possède les valeurs de pression à Locarno-Monti et Zurich, tous les jours d'avril à août, à 12h00 UTC, de 1998 à 2003. Après avoir réduit les valeurs de pression à même altitude j'ai réparti les différences de pression en 8 groupes : du groupe -15 à -10 jusqu'au groupe +10 à +15 hPa. Voir figures 11 et 12. J'ai choisi la période de quinzaine de jours plutôt que la période mensuelle. J'obtiens néanmoins grosso modo le même résultat que M. Bouët, à savoir : (1) une nette majorité de jours à faibles différences de pression transalpines surtout de mi-juillet à août, (2) une majorité de jours à surpression nord par rapport aux jours à surpression sud, (3) une majorité de jours à surpression sud, légère à importante, au printemps et une majorité de jours à surpression nord, légère à importante, en été.

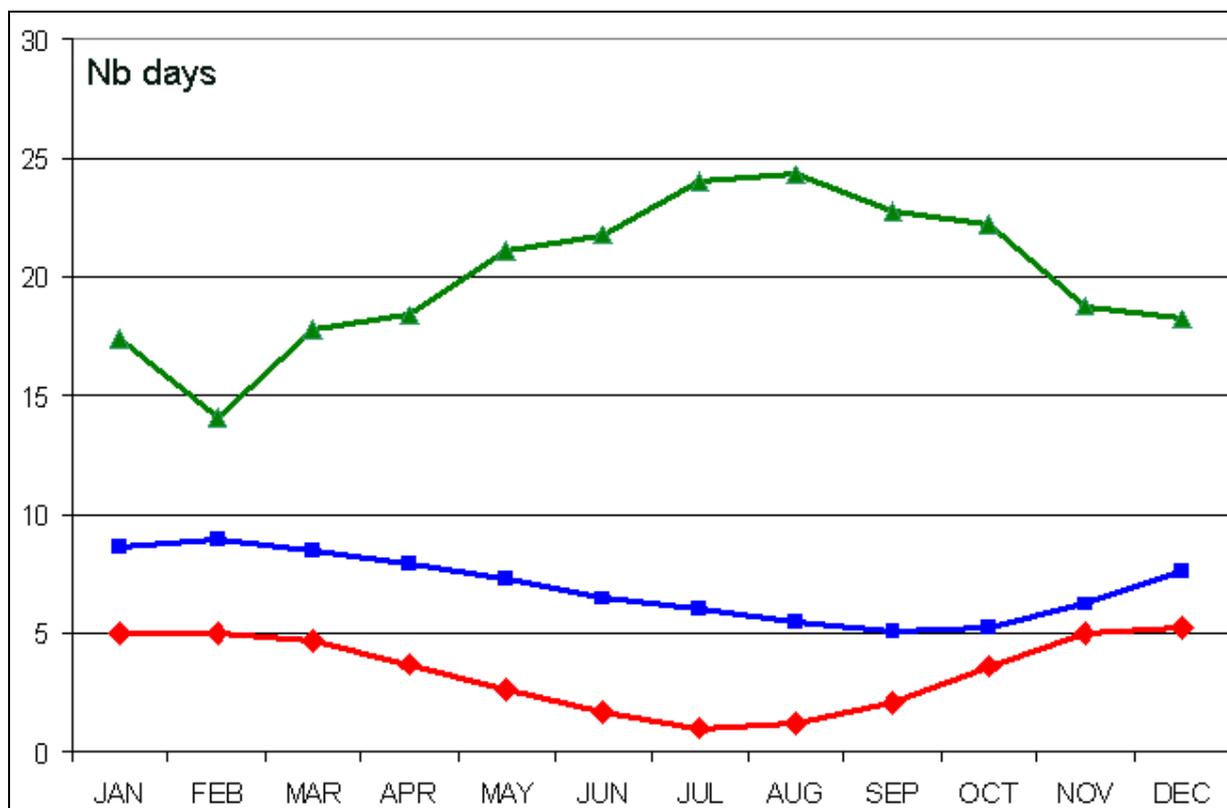


Figure 10 : nombres moyens de jours avec excès (>5 hPa) transalpin sud de pression en rouge, avec excès nord (>5 hPa) nord en bleu et avec une différence < 5 hPa en vert. Statistique basée de 1951 à 1970, adaptée d'après M. Bouët.

Ces statistiques de la nébulosité, du vent et de l'humidité complètent celles classiques des températures de l'air et des précipitations, seules insuffisantes pour nous, pour décrire le climat d'une région. Bouët¹ donne les valeurs moyennes des précipitations à Sion et à Lausanne, qui ne montrent pas cette évolution favorable des conditions de vol d'avril à août. Plus exactement le nombre de jours de pluies par mois varie entre 8 à 11 à Sion et entre 11 à 13 à Lausanne. La hauteur de pluies varie entre 37 et 65 mm. à Sion et entre 72 et 116 mm. à Lausanne. Pour les 2 localités, le mois d'août est le plus pluvieux, donc a priori le moins favorable pour le vol, alors que le mois d'avril est le plus sec, donc a priori le plus favorable. Or les statistiques exposées plus haut montrent que c'est justement le contraire, le mois d'avril est le moins favorable tandis que le mois d'août est le plus favorable.

En conclusion de cette première partie de résultats, on peut dire que malgré que le climat suisse soit décrit comme montagneux, continental à tempéré, humide (précipitation répartie équitablement sur toute l'année), sans période sèche marquée, on constate plus subtilement une légère influence du climat méditerranéen (alternance de périodes sèche-chaude en été et humide-fraîche en hiver) sous la forme d'une baisse de la nébulosité, de l'humidité atmosphérique et de la force des vents avec l'augmentation de température entre avril et août. Ce type d'évolution de climat peut expliquer plus objectivement notre expérience et notre intuition de conditions de vol plus souvent meilleures pour voler en été qu'au printemps.

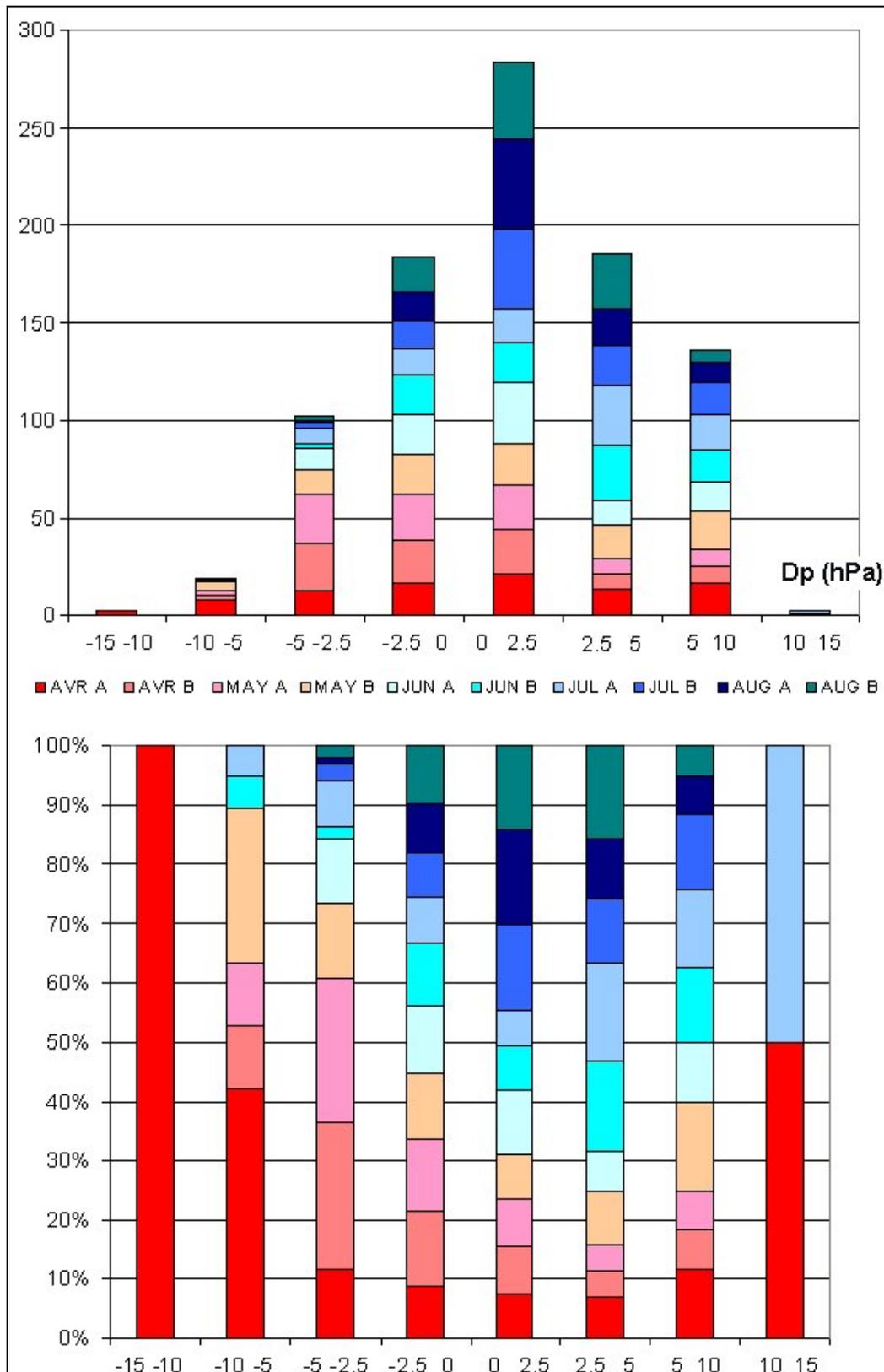


Figure 11 : répartition des groupes de différence horizontale de pression transalpine (Zurich-Locarno), à 14h00 local, d'avril à août, de 1998-2003., par quinze jours.

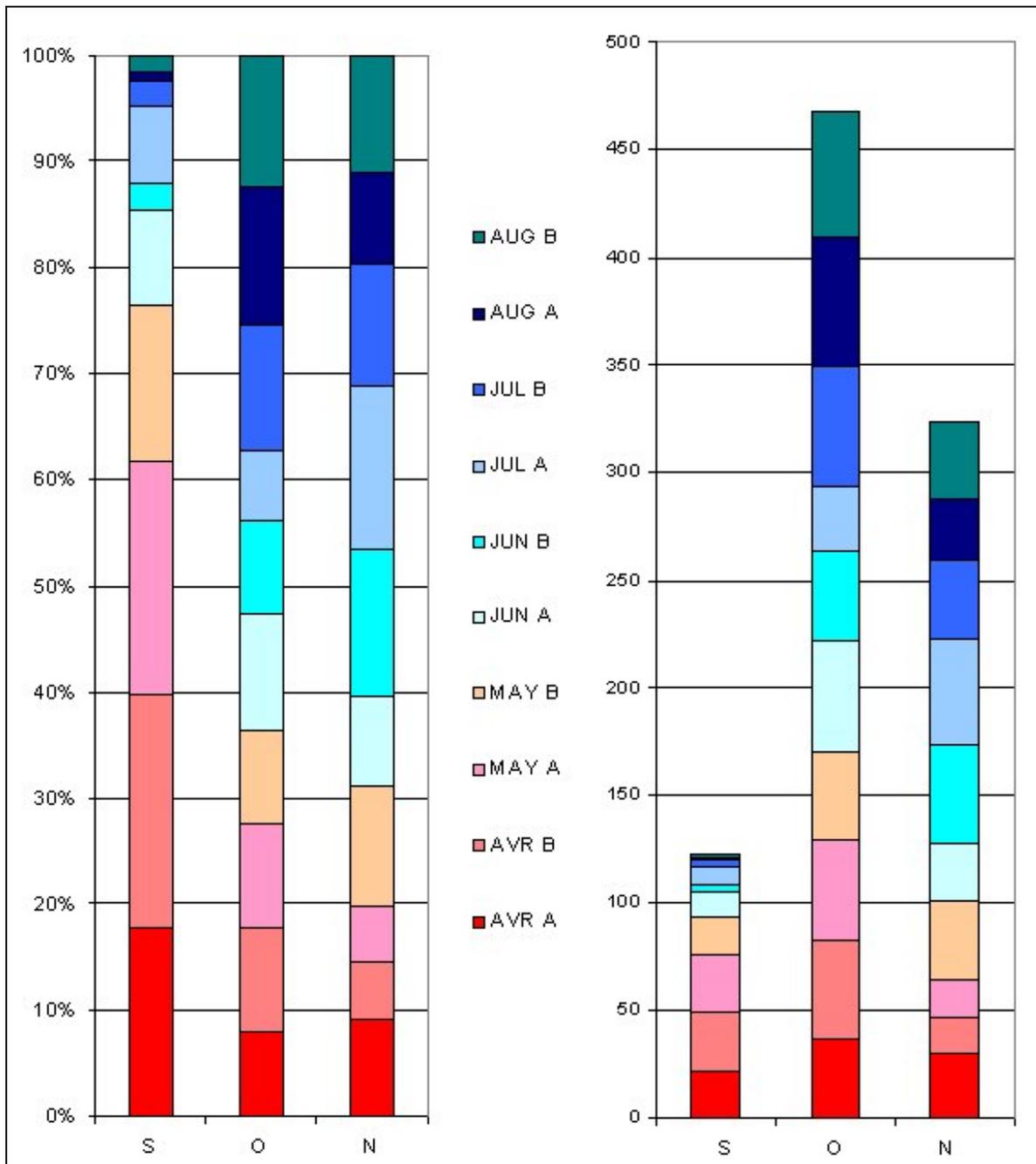


Figure 12 : répartition des groupes de différence horizontale de pression transalpine (Zurich-Locarno), à 14h00 local, d'avril à août, de 1998-2003., par quinzaine de jours. S = -15 à -2.5 hPa. O = -2.5 à +2.5 hPa. N = +2.5 à +15 hPa.

§ 4. Résultat 2 : statistiques des jours CCC-OLC

Après une statistique et analyse en cours d'année purement climatologique, intéressons-nous aux vols CCC-OLC. Sur 918 jours en tout (avril – août 1998-2003), il y a eu 142 jours soit 15.5% où au moins un vol de distance dans le Haut-Valais a été réalisé et 61 jours soit 6.6% où plusieurs vols par jour ont été réalisés. J'ai défini arbitrairement « plusieurs vols » lorsque 3 vols ou plus ont été accomplis d'avril à juin ou 5 vols ou plus l'ont été en juillet et août. Cette différence entre le printemps et l'été a été choisie intuitivement en considérant que le nombre de pilotes essayant un vol de distance au printemps est probablement moins grand qu'en été.

La répartition des journées de vols CCC-OLC par année (figure 13) et par période de quinze jours (figure 14) montre que la meilleure année est évidemment celle de 2003, d'illustre mémoire. L'année la moins bonne semble être 2000. Mais si l'on considère seulement la dernière période de juillet et la première d'août, ce sont les années 1999 et 2002 qui semblent les moins bonnes. Les années 1998 et 2001 semblent bonnes. La meilleure période de l'année est incontestablement la première quinzaine d'août, suivi de la dernière quinzaine de juillet et dans une moindre mesure la dernière quinzaine de juin.

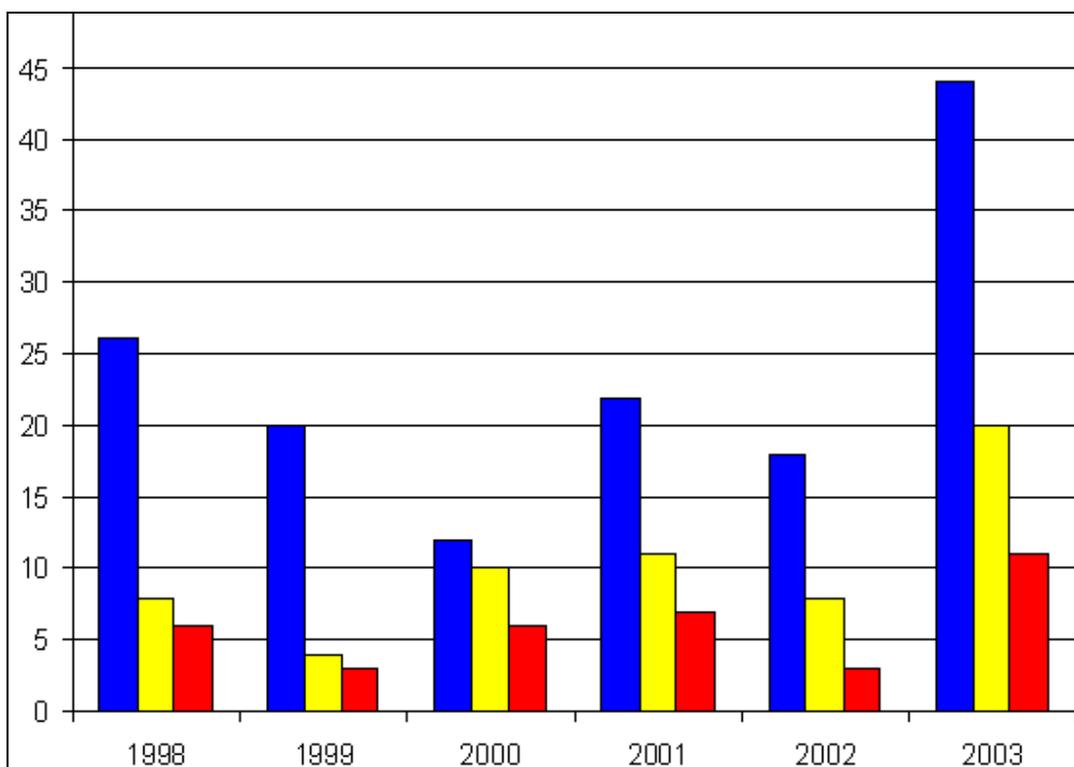


Figure 13 : répartition des journées de vols CCC-OLC par année. En bleu = nombre de journées avec au moins un vol. En jaune, nombre de journées de vols CCC-OLC avec trois vols ou plus d'avril à mi-juin ou 5 vols au moins de mi-juin à août. En rouge, nombre de journées de vols CCC-OLC avec 5 vols au moins de mi-juillet à mi-août.

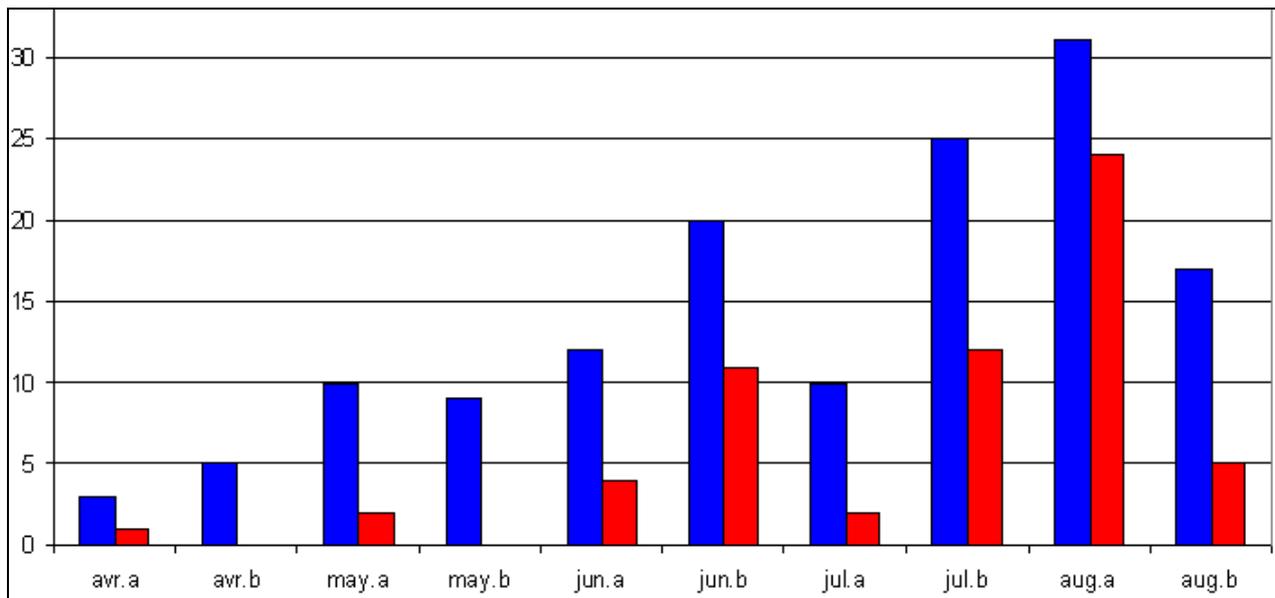


Figure 14 : répartition des journées de vols CCC-OLC par période de 15 jours dans une année. En bleu = nombre de journées avec au moins un vol. En rouge, nombre de journées de vols CCC-OLC avec trois vols ou plus d'avril à mi-juin ou 5 vols au moins de mi-juin à août.

Il est intéressant maintenant de rechercher la valeur des paramètres aérogologiques pendant ces journées à plusieurs vols. Le tableau 4 expose la moyenne des valeurs des paramètres :

	61 jours en tout	Pression	Précipitation	Neb	DT	Spread 850, 700, 500 hPa			Force du vent à 850 et 700 hPa	
moyenne	7 jours	1019.2	0.4	28	27.9	6.6	12.0	14.5	11.0	18.9
écart-type	avril-mi-juin	1.4	0.5	21	2.9	1.4	7.5	8.0	8.0	8.7
moyenne	54 jours	1018.3	0.2	13	28.8	9.4	13.0	20.6	9.1	14.7
écart-type	mijuin-août	3.5	0.4	13	2.3	2.7	4.7	5.4	5.3	8.4

Tableau 4 : moyennes (en haut) et écarts-types (en bas), par saison, des paramètres aérogologiques de l'analyse FNL, à 12h00 UTC, durant les journées où plusieurs vols CCC-OLC ont été réalisés. A comparer avec le tableau 3.

Par rapport aux valeurs moyennes des journées quelconques, les valeurs des paramètres aérogologiques (analyse FNL) des journées à plusieurs vols se distinguent grosso modo de la façon suivante :

1. La pression atmosphérique est de 1-3 hPa supérieure.
2. La nébulosité est de 20-25% inférieure.
3. Les précipitations sont absentes ou très légèrement présentes, ce dernier cas traduisant la tendance aux averses convectives.
4. La différence de température entre 850 et 500 hPa n'est que de 1-2 °C supérieure. Le gradient de température n'est finalement et probablement pas si important pour favoriser des bonnes conditions de vol dans le Haut-Valais.
5. Les « spreads » (850, 700 et 500 hPa) sont de 2-8°C supérieurs, surtout à 500 hPa.
6. Les vents sont notablement moins forts de 5-15 Km/h, surtout à 700 hPa.

La figure 15 représente la rose des vents des journées à plusieurs vols CCC-OLC. Force est de constater que la répartition des fréquences de chaque direction ne se distingue pas sensiblement de celle de la figure 8, représentant la rose des vents des journées quelconques. J'en déduis que la direction des vents à 700 hPa n'a pas d'influence significative pour la qualité des jours CCC-OLC, mais il ne faut pas oublier qu'il s'agit de vents faibles.

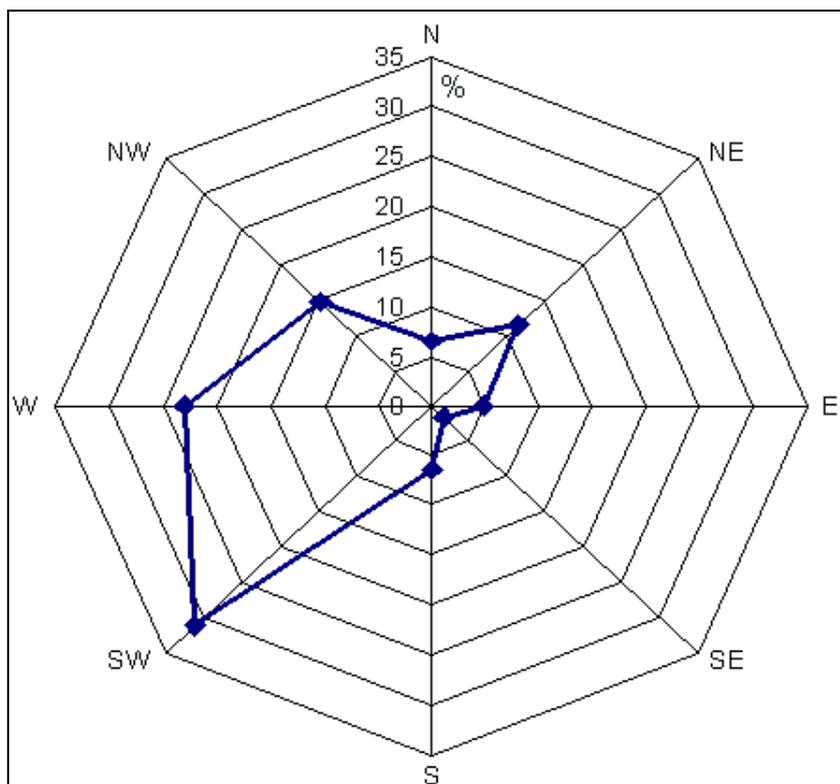


Figure 15 : rose des vents géostrophiques à 14h00 local (12h00 UTC), au niveau de 700 hPa, au-dessus de Payerne, pendant les journées à plusieurs vols CCC-OLC.

On peut par conséquent déduire de façon semi quantitative et empirique que les paramètres prédictifs synoptiques à 14h00 CEST (local), issus des modèles de la famille GFS, favorables aux vols de distance et aux vols thermiques, exploitables de façon intéressante avec une certaine sécurité dans le Haut-Valais sont :

1. Une nébulosité totale (tous les étages) < 40%
2. Une différence de température entre 850 et 500 hPa > 25 °C
3. Un « spread » à 850 hPa > 5 °C
4. Un « spread » à 700 hPa > 8 °C
5. Un « spread » à 500 hPa > 12 °C
6. Une vitesse du vent à 850 hPa < 15 Km/h (env. 8-9 kts)
7. Une vitesse du vent à 700 hPa < 20 Km/h (env. 12 kts)

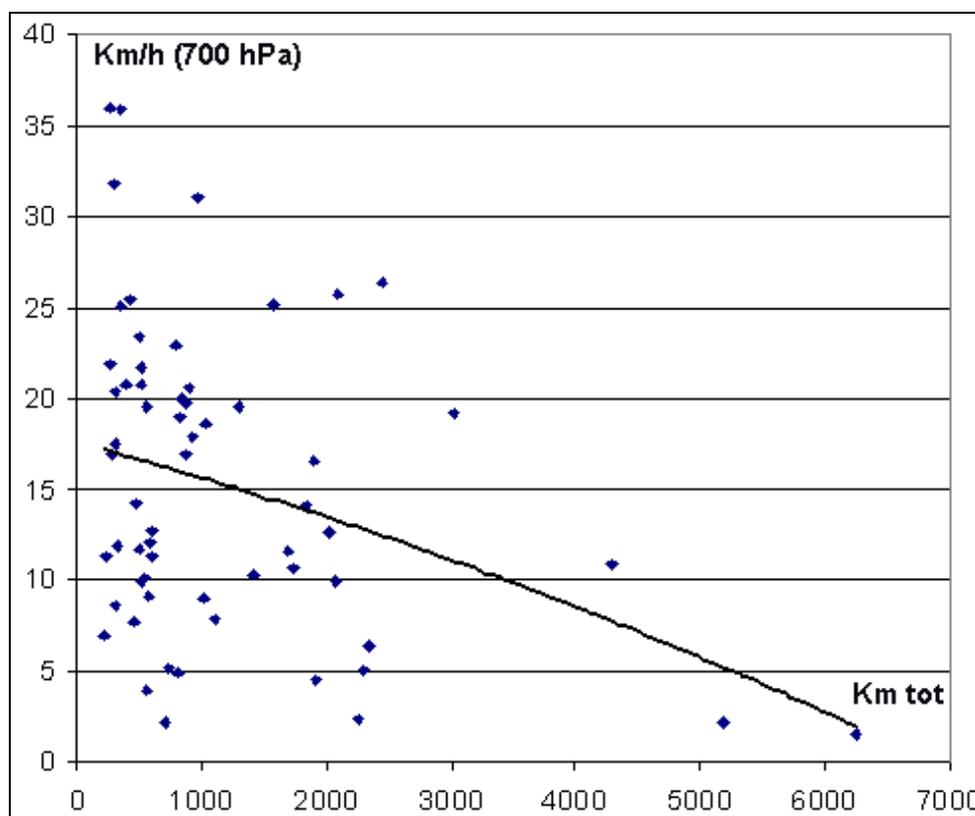


Figure 16 : Corrélation entre la force du vent géostrophique (synoptique) à 700 hPa 14h00 local (12h00 UTC, au-dessus de Payerne, et nombre total de kilomètres parcourus par les pilotes CCC-OLC le même jour. Courbe tendance (régression polynomiale du 2^{ème} degré).

Le facteur le plus important semble donc être la **force du vent**. Personnellement je préfère des vents inférieurs à 10 et 15 plutôt qu'à 15 et 20 Km/h à respectivement 850 et 700 hPa. Vents et thermiques en montagne font mauvais ménage. Les vents forts sont non seulement pas favorables à l'organisation harmonieuse des convections mais ils peuvent être très dangereux par les turbulences qu'ils engendrent. Pour bien montrer le rôle de la vitesse du vent, la figure 16 met en évidence la corrélation entre la force du vent géostrophique (analyse FNL) à 700 hPa, à 14h00 local (CEST), au-dessus de Payerne, et la somme journalière des kilomètres parcourus par l'ensemble des pilotes CCC-OLC le jour même. Plus le vent est faible plus le kilométrage tend à être élevé (plus nombreux sont les pilotes à réussir un plus grand vol). Malheureusement, dans notre région, des vents très faibles à 700 hPa ne sont pas très fréquents.

Il faut cependant remarquer quelques exceptions, plus exactement il y a 9 sur les 61 jours de plusieurs vols CCC-OLC présentant des vents avec des vitesses sensiblement supérieures aux limites définies. Voir tableau 5.

Date			Dir850	V850	Dir700	V700
10	JUN	2003	SW	25.5	SW	31.8
11	JUN	2003	SW	9.3	W	25
20	JUN	2000	S	18.8	SW	25.4
23	JUN	2002	SW	16.2	SW	36
26	JUL	1998	SW	15.4	SW	35.9
29	JUN	2003	SW	16.8	SW	31
20	JUL	2003	S	16.3	SW	26.4
1	AUG	2000	SW	21.8	W	25.7
15	AUG	2001	S	21.3	S	25.1

Tableau 5 : liste des journées à plusieurs vols CCC-OLC où les vents synoptiques (vitesses en Kmh), à 700 hPa, au-dessus de Payerne, à 12h00 UTC, dépassent de façon significative les valeurs limites supérieures habituelles définissant des conditions favorables.

Il s'agit dans tous les cas de vents d'ouest, SW ou sud et souvent avec un gradient horizontal de vitesse (à ne pas confondre avec le gradient de pression) en faveur du Haut-Valais (voir l'exemple de la figure 17). Il ne s'agit jamais de vents forts du secteur N. Ceux-ci semblent donc aussi redoutables que le foehn du sud.

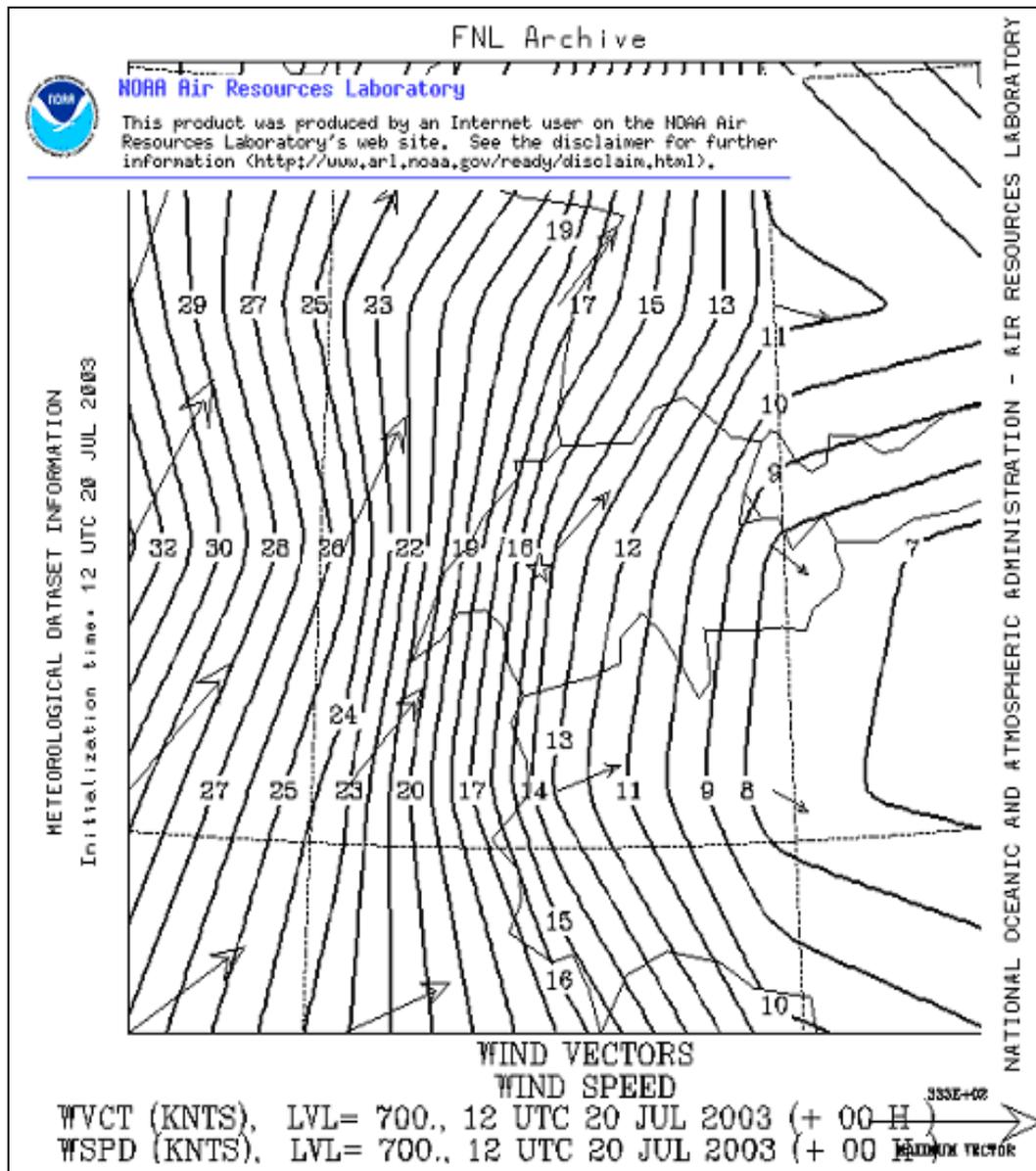


Figure 17 : exemple (20 juillet 2003) de gradient horizontal de vent géostrophique mis en évidence par une carte synoptique FNL (vecteurs et vitesses en noeuds). Les courbes représentent les isolignes de vitesses (appelées isotach). A ne pas confondre avec des isobares ou des isohypses ! Au-dessus de Payerne on trouve environ 15 kts alors qu'au-dessus du Haut-Valais on trouve 12 kts et 8 kts au-dessus de l'Engadine.

Le deuxième facteur aérogologique synoptique de l'analyse FNL, dans l'ordre d'importance, semble être l'**humidité atmosphérique**. Si elle est plus prononcée, c'est-à-dire que si les « spreads » sont plus petits, que celle décrite ci-dessus, cela entraîne un risque de surdéveloppement cumuliforme et d'orage ainsi que des bases de nuages peu élevées (plafonds bas). Au contraire, si l'atmosphère est trop sèche (« spreads » élevés), les thermiques seront volontiers bleus. Nous verrons ceci plus en détails par la suite.

Le facteur le moins important semble être la **différence de température** (DT), correspondant au fameux gradient de température, entre 850 et 500 hPa. Cependant, si DT est plus petite que 25 °C, le plafond risque d'être trop bas sans que les ascendances soient forcément faibles et tranquilles. Or la moyenne des DT des journées quelconques est aussi sensiblement au-dessus de cette limite de 25°C. Par conséquent, en considérant seulement la répartition verticale des températures, la majorité des journées quelconques seraient donc favorables aux convections. C'est pour cette raison que je considère que DT est le facteur le moins important.

Pour bien mettre en évidence cette importance relative du DT, j'ai recherché tous les jours avec des paramètres aérogologiques favorables, décrits plus haut, sauf avec un DT inférieur à 25 °C. Il n'y en a pas beaucoup, seulement 25 (2.7 % de toutes les journées = $25 \cdot 100 / 918$) alors qu'il y a rétrospectivement 87 (9.5%) journées potentiellement favorables (tous les paramètres favorables) sur les 918 jours d'avril à août de 1998 à 2003. Parmi les journées à faible DT, il n'y a d'ailleurs qu'une seule journée (30 juillet 2001 avec 7 vols d'une moyenne de 67 Km et présentant des plafonds moyens de 3200 m.) avec plusieurs vols CCC-OLC mais son DT de 24,1 °C n'est pas très bas et proche de la limite de 25°C La limite de DT=25°C semble donc bien choisie. En dessous de 24°C, il semble que les chances d'avoir des plafonds élevés et de réussir un long vol de distance soient faibles.

En considérant les **paramètres dans leur ensemble**, sur les 61 jours de plusieurs vols CCC-OLC, 30 soit 49.2% laissent apparaître toutes les conditions favorables. Sur les 31 jours restants, une minorité de journées présentent des vents modérément forts (les 9 jours du tableau 5) mais la majorité d'entre elles, ne laissent apparaître qu'une légère déviation de 1 à 4 paramètres, par exemple 1-2 °C de moins que la limite des « spreads » (respectivement 5, 8, 12 °C à 850, 700 et 500 hPa) ou des vents légèrement supérieurs (1-4 kmh) aux limites de 15 et 20 Km/h (respectivement à 850 et à 700 hPa). En conclusion, ces valeurs limites des paramètres aérogologiques pour définir des bonnes conditions de vols semblent valables et suffisantes pour le Haut-Valais. Un dernier facteur non décrit est celui de l'absence de fortes pluies la veille. Une statistique à ce sujet montre que les jours avec paramètres favorables ne sont qu'exceptionnellement précédés de jours de fortes pluies. En effet, les jours suivants de fortes pluies présentent souvent, entre autres, une forte humidité atmosphérique. Par conséquent, ce facteur de pluies de la veille, qu'il faut néanmoins et évidemment garder à l'esprit, serait redondant. On reviendra plus loin sur cet aspect.

Il y a quelques années (aux alentours des années 80), au moins 3 auteurs dont moi-même, ont déjà recherché et exposé par écrit les valeurs, issues d'observations statistiques, des paramètres aérogologiques pour des bonnes conditions de vol dans les Alpes: G. Truog² pour la Suisse, J. Schmalzl³ pour le Tyrol autrichien et J. Oberson⁴ pour le Valais. En relisant ces 3 ouvrages, je me rends compte maintenant de deux problèmes principaux qui limitent un peu l'utilité de leurs résultats. Premièrement, les valeurs des paramètres sont celles de mesures durant la nuit et le matin précédent la journée de vol. Cela veut dire que les méthodes proposées permettent une prévision seulement à partir du matin précédent juste le vol et que l'évolution possible des valeurs en cours de journée n'est guère prise en compte.

Deuxièmement il y a manifestement redondance de paramètres. A côté des paramètres fournis par les radiosondages, on prend en considération ceux (vents, températures, humidité) des stations de mesures au sol ainsi que les valeurs de pressions atmosphériques au sol et de

géopotentiels (courbes d'égales pressions en altitude). Tous ces facteurs dépendent les uns des autres. Par exemple si les vents sont faibles au radiosondage, il y a toutes les chances qu'ils le soient aussi aux stations au sol. De même si les pressions au sol et les géopotentiels sont élevés (situation anticyclonique), il y a beaucoup de chance que l'atmosphère soit sèche et que les vents soient faibles. Mais, à l'époque (1980-1990) les modèles étaient moins performants (rapidité, précision, résolution) et surtout beaucoup moins disponibles (Internet) qu'actuellement. On compensait donc probablement cette absence de modèle par une redondance de paramètres. On élaborait ainsi des systèmes de scores, certes intéressants, mais fastidieux et assez longs à réaliser en routine. Grâce aux modèles, on peut donc restreindre le nombre de paramètres au minimum utile, nécessaire et suffisant, pour faire des prévisions rapides et valables. De plus les modèles permettent de faire des pronostics la veille au soir voire même avant.

Il faut cependant remarquer que ces 3 travaux « anciens » ainsi que les résultats actuels présentés ici arrivent grosso modo aux mêmes conclusions : Pour de bonnes conditions de vols il faut des vents faibles en altitude, une répartition plate de la pression au sol, un gradient de température modérément élevé ainsi qu'une atmosphère modérément sèche en basse altitude et une atmosphère sèche en haute altitude. Concernant en particulier le gradient de température, J. Schmalzl ³ trouve une moyenne de gradient quasi identique entre les jours quelconques et les jours de vols de distance dans le Tyrol. Par contre les valeurs de gradient sont plus dispersés autour de la moyenne pour les jours quelconques. Autrement dit les valeurs extrêmes de ce gradient (soit trop petites, soit trop grandes) sont défavorables au vol de distance.

Revenons aux paramètres issus des analyses FNL. Puisque l'on connaît maintenant les valeurs des paramètres qui définissent les journées de bonnes conditions de vol, on peut rétrospectivement et plus objectivement, en se passant des résultats CCC-OLC qui dépendent aussi subjectivement des pilotes et pas seulement objectivement des facteurs aérogologiques, rechercher la répartition des journées favorables, par année et par quinzaine de jours, en incluant d'autres années comme celle de 2004 et d'autres périodes comme celle de la première quinzaine de septembre. Voir figures 18 et 19.

On trouve 107 journées favorables sur les 1176 journées d'avril à mi-septembre et de 1998 à 2004, soit environ 9,1%, autrement dit presque une journée sur 10 en moyenne. L'année 2003 est évidemment la meilleure avec 24 journées favorables. L'année 1999 est la moins bonne avec 6 journées seulement. 2004 n'est pas fameuse, surtout à cause du printemps. Cette année a été rattrapée par le mois de septembre où l'on trouve 4 bonnes journées dans sa première quinzaine. Voir figure 18.

Les 2 périodes de l'année les plus favorables semblent être le mois de mai, avec 21 jours soit environ 3 jours en moyenne par an et surtout la période de mi-juillet à mi-août avec 34 jours, soit un peu moins de 5 jours en moyenne par an. La première quinzaine de septembre ne se défend pas trop mal avec environ 1-2 journées de bonnes conditions par an, grâce à l'année 2004. A noter que l'on ne retrouve déjà plus la « cassure » défavorable de la première quinzaine de juillet (voir précédemment la figure 7 ainsi que la figure 19).

De 1998 à 2003 (avril-août) 30 des 87 journées potentiellement favorables (tous les paramètres favorables) ont été exploitées soit 34.5%. C'est-à-dire que parmi les 87 journées favorables, 30 seulement ont été l'objet de plusieurs vols CCC-OLC. Le printemps est particulièrement concerné puisque cette proportion est encore plus petite. En été, cette proportion est plus grande, ce qui n'est pas étonnant car les pilotes ayant congé sont moins nombreux au printemps qu'en été. Avec le nouveau règlement CCC-OLC qui utilise le GPS et Internet pour valider les vols, ce qui est moins contraignant que les photos, les choses vont peut-être changer car les pilotes sont plus nombreux à essayer cette compétition. La proportion des jours favorables utilisés va certainement grimper.

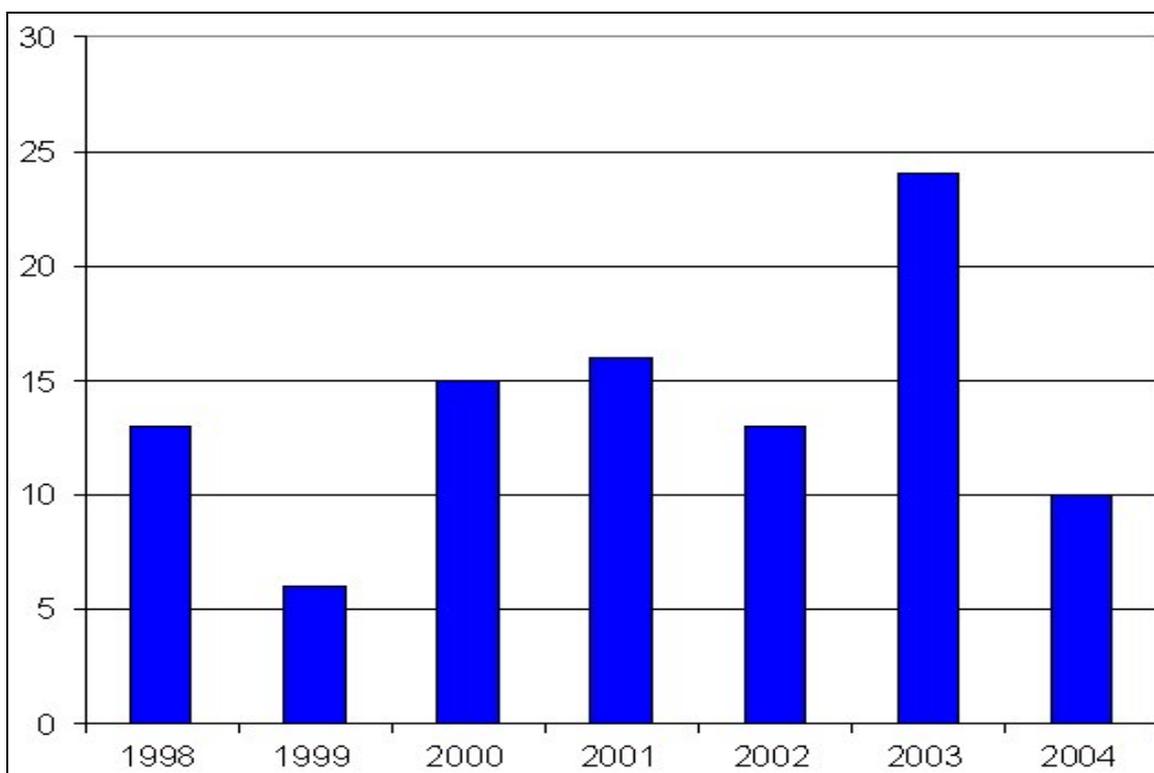


Figure 18 : répartition par année des journées avec tous les paramètres aérogologiques (FNL, Payerne, 14h00 local) favorables aux vols thermiques et de distance dans le Haut-Valais.

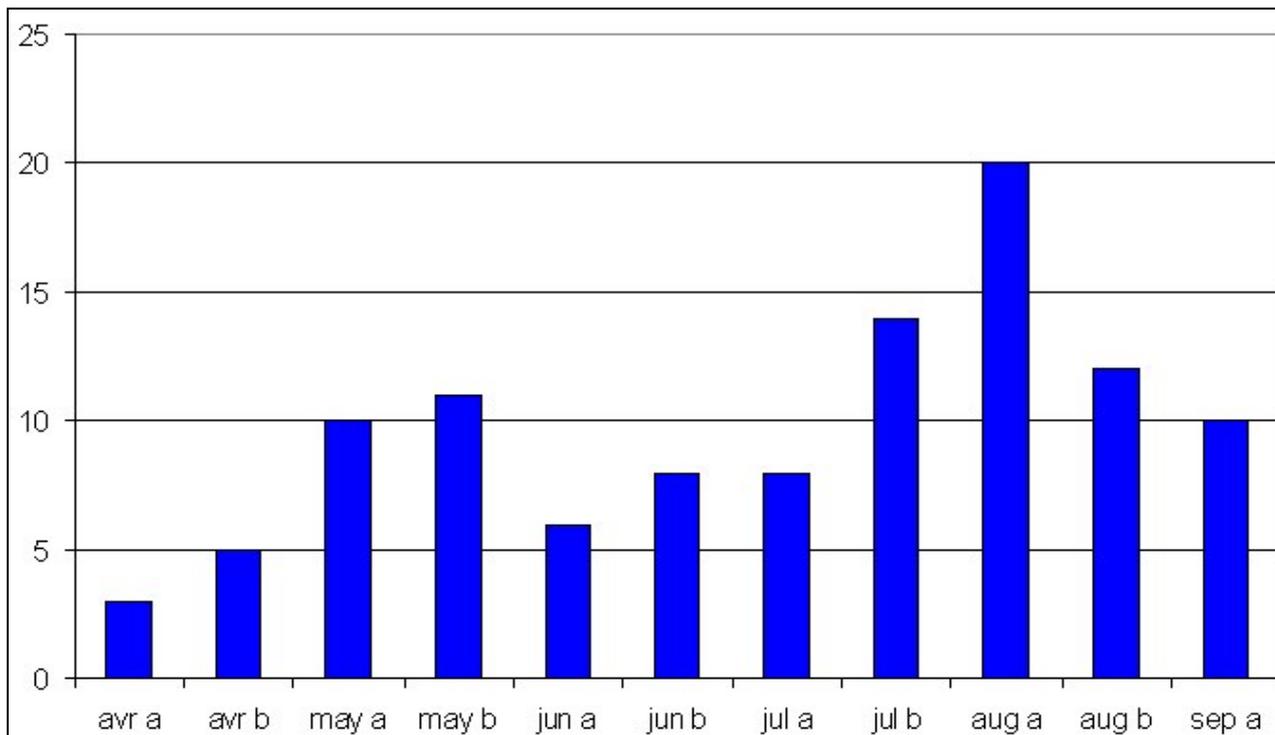


Figure 19 : répartition par mois (de 1998 à 2004) des journées avec tous les paramètres aérogologiques (FNL, Payerne, 14h00 local) favorables au vols thermiques et de distance dans le Haut-Valais.

Une remarque concernant ces périodes de vols : J. Schmalzl ³ trouve que les périodes les plus favorables dans le Tyrol autrichien, entre 1981 et 1987, sont celles de fin mai à début juin et dans une moindre mesure du milieu de juillet. A l'époque, je trouve moi-même ⁴ pour le Valais que le mois d'avril tend à être meilleur que celui de mai et que celui de juillet est meilleur que celui du mois d'août (années 1977-1989). Cette répartition est donc légèrement différente que celle montrée à la figure 19 (1998 à 2004). S'agit-il d'une fluctuation purement statistique (échantillonnage trop petit) ou d'une des manifestations subtiles du changement climatique ? Peut-être un peu des deux. Subjectivement et intuitivement, il me semble qu'autrefois (années 80), les conditions de vol étaient en général meilleures en début de saison. On abandonnait vite nos rêves et ambitions après les premiers jours d'août. Tandis qu'actuellement, les meilleures journées sont plus nombreuses en été surtout depuis la fin juillet jusqu'à la fin du mois d'août.

La présence de pluies la veille du jour de vol peut être aussi déterminante. Le sol mouillé par de fortes pluies se réchauffe moins et plus lentement qu'un sol sec car une bonne partie de l'énergie solaire est utilisée pour évaporer l'eau (chaleur latente). Si le sol est moins chaud, l'air susjacent se réchauffe moins et donc les convections sont moins fortes. On l'a dit auparavant, il y a environ 1 jour de pluies sur 3 dans notre pays. Donc environ 30 % des jours quelconques

sont précédés de jours de pluies variant de quelques dixièmes de mm à 10 voire plus mm de hauteur d'eau par jour. Pour les jours de vols CCC-OLC (1998-2003) 90 % des jours sont précédés de jours avec aucune pluie (moyenne entre Sion, Visp, Montana, Ulrichen) et seulement 10 % sont précédés de faibles pluies qui ne dépassent pas 1 mm. de hauteur. Sur la même période, si on choisit les journées uniquement sur la base des paramètres favorables de l'analyse FNL, un peu plus de 80% des journées ne sont précédées d'aucune pluie. Environ la moitié des journées restantes ne sont précédées que de faibles pluies (<1mm.) alors que l'autre moitié est précédée de pluies modérées (1 à 10 mm.). Cela veut dire que déjà avec des paramètres (analyse) favorables, la journée est déjà beaucoup plus rarement précédée de précipitations la veille qu'une journée quelconque. Cela montre une fois de plus que tous les éléments météorologiques sont souvent dépendants les uns des autres et qu'on atteint vite une redondance de paramètres prédictifs.

§ 5. Résultat 3 : structure thermique des vallées

Les études de comparaison entre les températures (profil vertical) de l'atmosphère alpine (air libre des vallées) et celles de l'atmosphère des contrées plates adjacentes sont relativement sporadiques. Elles montrent cependant un fait essentiel : en milieu de journée et de mars à septembre, l'atmosphère alpine est en général plus chaude que celle des contrées plates. Ce phénomène, se situant à mésoéchelle, n'est évidemment pas mis en évidence par les modèles synoptiques comme FNL et GFS ni même de façon claire par le modèle suisse caractérisé pourtant par une meilleure résolution et qui se définit pourtant comme modèle à méso échelle. J'ai pu obtenir quelques documents ^{5 à 12} sur le sujet. 5 résultats me paraissent plus particulièrement intéressants :

- 1) Le deuxième fascicule de l'atlas suisse de climatologie ⁵ décrit entre autres un exemple d'anticyclone d'été. Notamment il montre la différence de températures entre l'atmosphère alpine et celle du Plateau suisse. Voir figure 20. L'atmosphère des vallées est d'environ 5-6 °C plus chaude que celle du Plateau vers 1000-1500 m. D'autre part, la couche convective (celle où se produisent les ascendances thermiques et où le gradient de température est proche de 1°C/100 m.) s'étend jusqu'à une altitude de 1200 m environ sur le Plateau et s'étend d'environ 1500 m à 3500 m dans les vallées. Dans les larges vallées, comme celle du Valais central, la couche comprise du sol à 1500 m. semble donc assez stable et peu propice aux ascendances thermiques.
- 2) U. Nickus et I. Vergeiner ⁷ réalisent une étude originale sur la question en calculant les profils lissés et moyens de températures à différents endroits du Tyrol, à différentes périodes de l'année et lors de situations météorologiques différentes, à partir des valeurs de pression et de températures de quelques stations de montagne. Voir figure 21. Les résultats sont semblables à l'exemple 1. Mais ici on peut se rendre compte que plus la vallée est haute et étroite et plus son atmosphère est chaude durant la journée. De plus, les hautes vallées présentent une couche convective épaisse partant du sol, au fond de la vallée, jusqu'à plus de 2500 m. d'altitude. Inversement, à l'aube, l'atmosphère des vallées est un peu plus froide.
- 3) Lanzinger ⁸ trouve entre autres que le nombre d'inversions et d'isothermies en moyenne altitude est un peu plus important au-dessus d'Innsbruck qu'au-dessus de München. Cela renforce la notion de stabilité des basses couches des larges et profondes vallées. Voir l'exemple 1.
- 4) Neiniger et Liehti ⁹ ont étudié pendant plusieurs étés l'atmosphère et l'aérodynamique, notamment par sondage local, du Goms (vallée de Conches). Neininger m'a gracieusement donné en 1988 je crois, une copie de quelques exemples de mesures. Voir figure 22. Le résultat est très semblable à ceux des exemples précédents.

La raison principale de cette surchauffe de l'atmosphère alpine est d'origine géométrique. Le petit volume d'air emprisonné dans une vallée est, à surface chauffante égale voire supérieure, réchauffé plus et plus vite que le volume d'air sur un sol plat. B. Neininger trouve plus exactement un réchauffement atmosphérique deux fois plus rapide et deux fois plus important environ dans la vallée du Goms que sur un pays plat de même latitude, donc avec un rayonnement solaire semblable (durée et intensité). D'autres facteurs sont évoqués : atmosphère plus pure et plus transparente en montagne (donc plus de rayonnement solaire

atteignant le sol pour le réchauffer), sol plus efficace au réchauffement de l'air sus-jacent, etc. Ces facteurs ne jouent probablement qu'un très petit rôle.

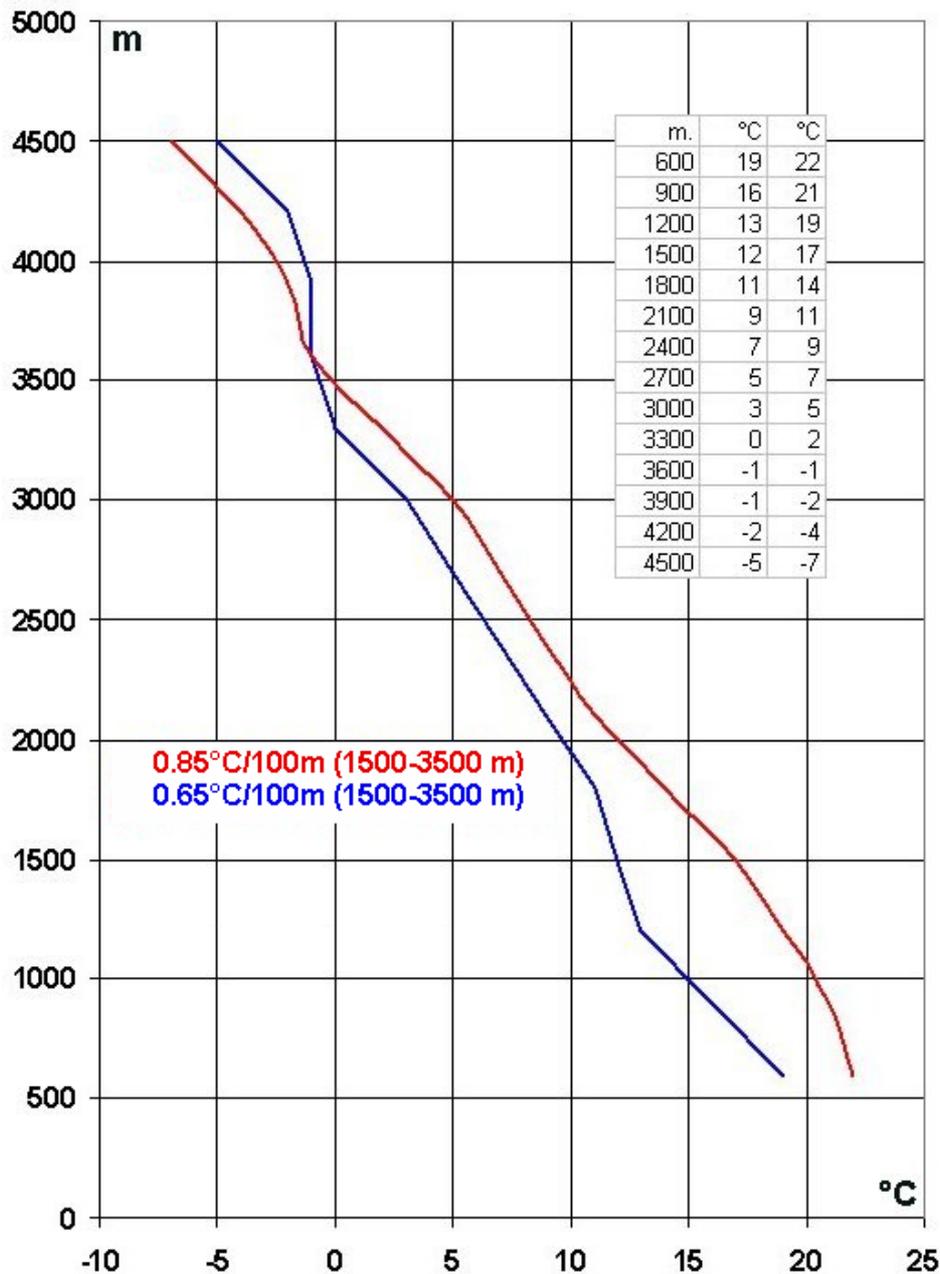


Figure 20 : exemple de structure thermique lissée d'une vallée alpine en comparaison avec celle du Plateau suisse lors d'une situation anticyclonique, le 21 juin 1979 vers midi. Adapté d'après l'atlas suisse de climatologie, 2^{ème} fascicule. En rouge la courbe de température dans les Alpes et en bleu la courbe au-dessus du Plateau. Le gradient de température dans les Alpes entre 1500 et 3500 m s'approche beaucoup plus du gradient adiabatique (1°C/100m) que celui au-dessus du plateau.

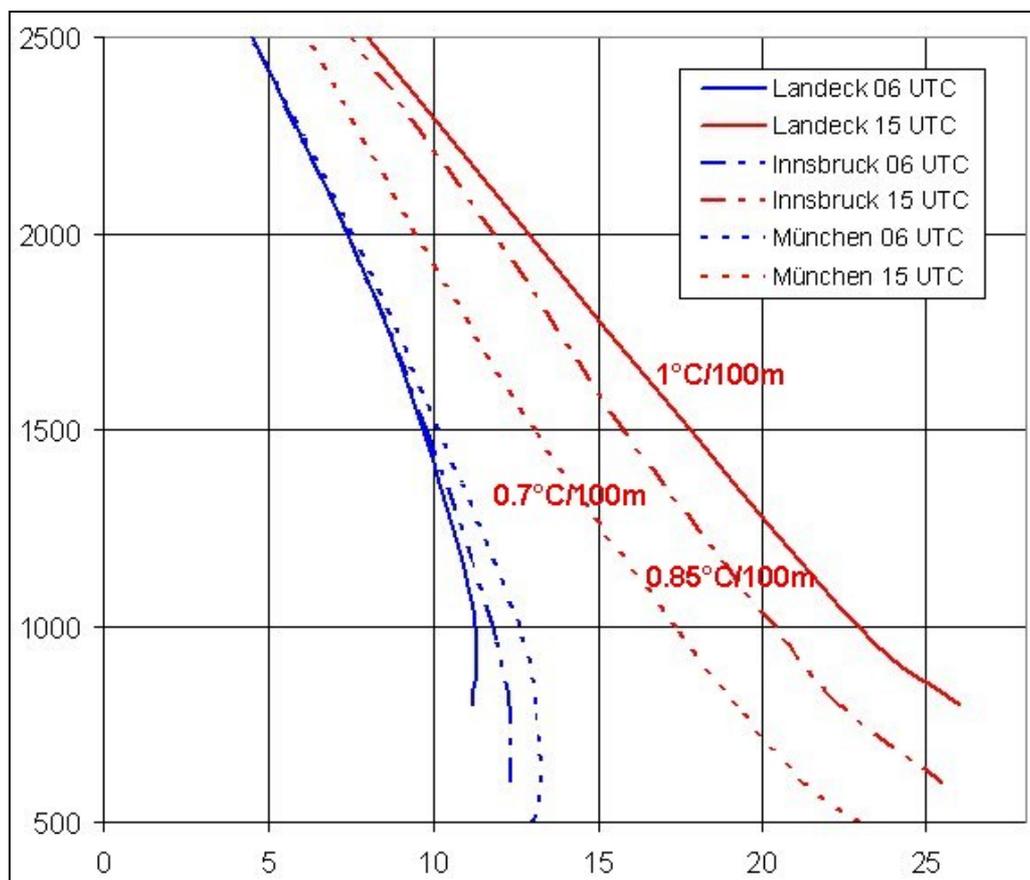


Figure 21 : Courbes de températures moyennes (mai à juillet, jours ensoleillés) calculées et lissées autour de et dans le Tyrol autrichien. Landeck se trouve en amont de la vallée de l'Inn, 60 Km. à l'ouest d'Innsbruck. Modifié et adapté d'après les données de Nickus et Vergeiner. Au fur et à mesure qu'on s'approche de la partie amont de la vallée, le gradient de température entre 1000 et 2000 m par exemple augmente et approche le gradient adiabatique de $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

- 5) Ekhart ¹⁰ met en évidence, entre autres, par thermogramme, une chute discrète (1-2°C) mais brusque de la température de l'air au fond d'une large vallée débouchant sur les pays plats du nord des Alpes (vallée de la Salzach, au sud de Salzburg), dès que le vent de vallée se lève, en fin de matinée. La température croît à nouveau par la suite, lentement, mais apparemment sans pouvoir rattraper son retard et son déficit. Ces mesures ont lieu pendant une situation anticyclonique le 5 et 6 septembre 1941. Le vent de vallée semble donc agir comme une advection d'air froid, dans les basses couches atmosphériques de cette vallée, jusque probablement assez loin en amont. Plus de 50 ans plus tard, Tranquillini ¹¹ objective aussi ce phénomène juste sur le rivage en amont du lac de Garde (Italie), situé lui-même dans une vallée, pour les mois de mai à septembre, mais de façon un peu plus marquée et dès le milieu voire le début de matinée, probablement à cause de la proximité du grand lac. Du point de vue température, le vent de vallée agirait donc comme le vent du lac ou de mer. Urfer ¹² ne trouve pas ce phénomène de refroidissement dans une haute et étroite vallée des Alpes (Dischmatal bei Davos).

A noter que Bouët¹ survole le sujet et n'indique, sur un petit tableau, que le gradient vertical de température moyen de l'atmosphère en Suisse pour chaque mois de l'année. Il trouve ainsi un gradient moyen de 0.63°C/100m. de mai à juillet et de 0.61°C/100m. pour avril et août. Mais il faut avouer que ceci ne nous est pas très utile.

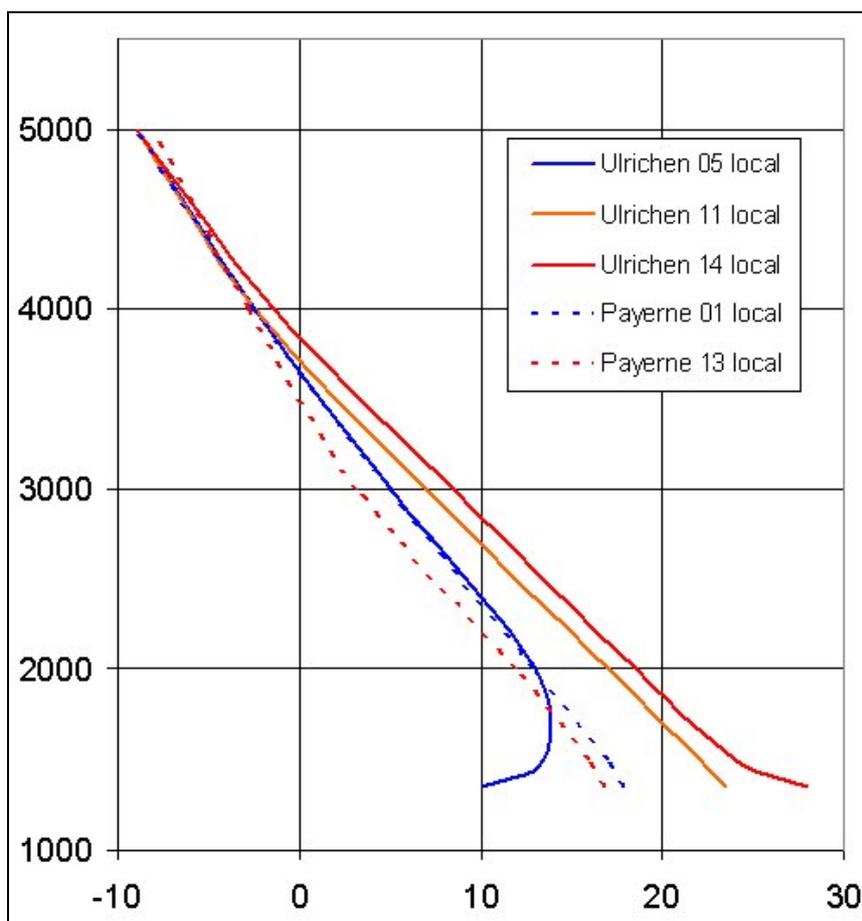


Figure 22 : exemple de courbes de température, dans le Goms et au-dessus de Payerne, le 15 juillet 1982, adapté d'après Neiningner. La surchauffe atmosphérique de la vallée par rapport au radiosondage est très claire. La couche convective adiabatique (1°C/100m.) de la vallée, s'étendant jusqu'à 4000 m. environ est aussi bien mise en évidence.

Reprenons les paramètres aérogologiques de notre propre matériel pour le confronter à la revue de la littérature ci-dessus. En choisissant seulement le collectif des jours avec tous les paramètres (analyse FNL) favorables au vol de distance, on remarque une baisse régulière et modérée des différences de température à 12 h00 UTC d'une part entre Aigle et Sion et d'autre part entre Montana et Sion, en cours de saison, c'est-à-dire d'avril à août. Voir figure 23. La première différence passe de 2.5 à 1.9 °C et la deuxième de 6.9 à 5 °C. Dans la large vallée principale du Valais, tout se passe donc comme si d'une part l'advection d'air froid en basse couche et d'autre part la stabilité de basse altitude ont tendance à augmenter d'intensité au

cours de la saison de vol. Bouët ¹ trouve la même chose en étudiant la différence de température maximale moyenne (jours quelconques de 1960 à 1965) entre Montreux et Sierre. En avril il relève la valeur de 2.4 °C. Celle-ci diminue régulièrement jusqu'à 1.6°C au mois d'août.

La différence de température entre l'analyse FNL à 850 hPa, c'est-à-dire à environ 1500 m, et Montana ne change que peu en cours de saison. Elle reste aux alentours de 6°C, un peu moins au début et à la fin de saison et un peu plus au milieu.

Pour avoir une idée de la structure thermique au-dessus de 1500 m, la différence de température entre le Jungfrauoch (3600 m. env.) et respectivement Montana (1500 m. env.), Ulrichen (1350 m. env.) et Zermatt (1650 m. env.) à 12h00 UTC peut être utile. On ne choisit à nouveau que le collectif des jours favorables. Les différences d'altitude correspondantes sont respectivement 2100, 2250 et 2000 m. env. La figure 24 montre l'évolution de ces différences durant la saison de vol. Si l'on tient compte de l'altitude de chaque station, il n'y a pas beaucoup de différences entre les 3 endroits, ce qui signifie que la structure thermique du Haut-Valais durant les beaux jours est assez homogène. Les différences sont maximales en juillet ce qui correspond à des gradients d'environ 0.95°C/100 m. En début de saison on trouve plutôt des gradients d'environ 0.9°C/100m. Cela revient à dire que le sommet de la couche convective adiabatique (1°C/100 m) vers 12h00 UTC se situe en moyenne juste en dessous de l'altitude du Jungfrauoch (3600 m) en été et encore un peu en dessous en début de saison.

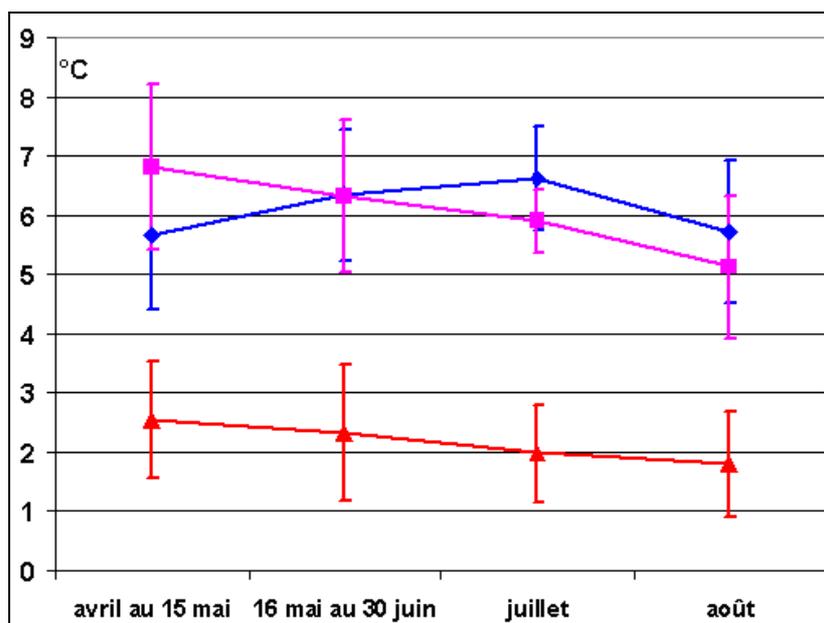


Figure 23 : en rouge, évolution de la différence moyenne de température en °C entre Aigle (400m. environ) et Sion (500 m. env.) à 12h00 UTC. En bleu, différence moyenne de température en °C entre l'analyse FNL à 850 hPa et Montana (1500 m. env.) à 12h00 UTC. En violet, différence de température en °C entre Sion et Montana, à 12h00 UTC. Cela concerne uniquement les jours avec tous les paramètres FNL, à 12h00 UTC, au-dessus de Payerne, favorables pour le vol de distance dans le Haut-Valais (1998 à 2003). Les traits verticaux représentent les écart-types.

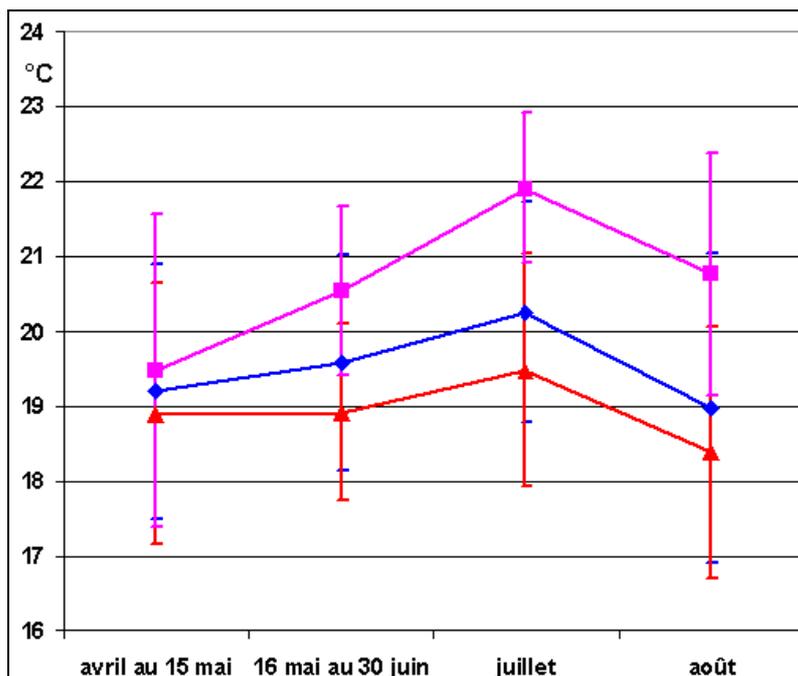


Figure 24 : en rouge, évolution de la différence moyenne de température en °C entre Zermatt (1600m. environ) et le Jungfrauoch (3600 m. env.) à 12h00 UTC. En bleu, différence moyenne de température en °C entre Montana (1500 m. env.) et le Jungfrauoch à 12h00 UTC. En violet, différence de température en °C entre Ulrichen (1350 m. env.) et Jungfrauoch à 12h00 UTC. Cela concerne uniquement les jours avec tous les paramètres FNL, à 12h00 UTC, au-dessus de Payerne, favorables pour le vol de distance dans le Haut-Valais (1998 à 2003). Les traits verticaux représentent les écart-types.

La figure 25 essaye de faire la synthèse de tout ce qui a été dit jusqu'à maintenant. En effet, au printemps où les conditions sont souvent plus turbulentes, on a l'impression que les thermiques sont meilleurs. En fait ils viennent probablement de plus bas. En conclusion et résumé, par rapport à la fin de saison, le début de saison présente :

1. une couche convective qui commence plus bas
2. une couche stable vers 1500 m. moins prononcée
3. un réchauffement des basses couches par rapport aux pays plats adjacents plus marqué alors qu'il est moins marqué au niveau des couches de moyenne altitude (1500-2000 m.)

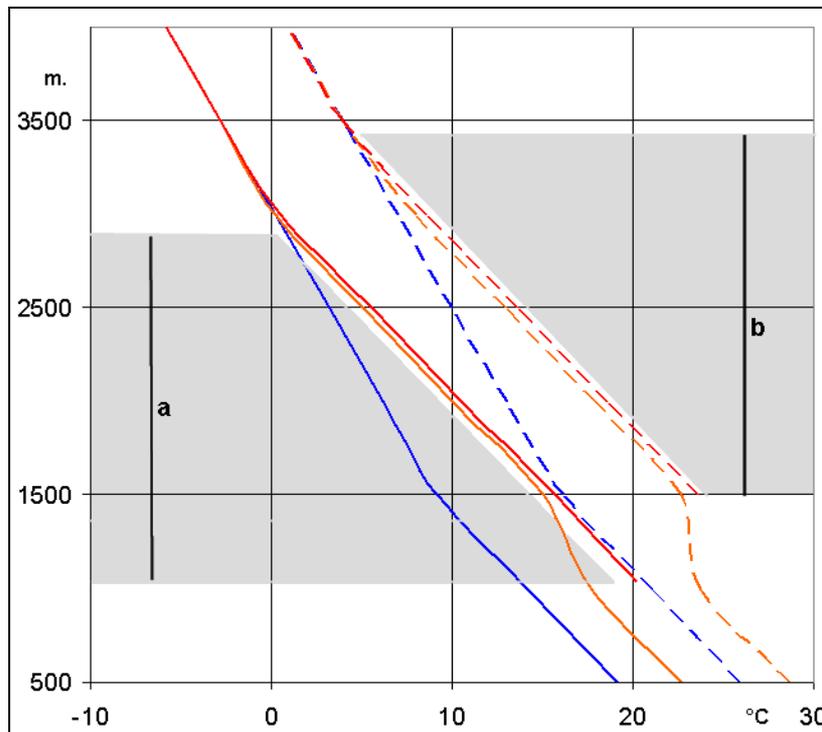


Figure 25 : structure thermique probable des vallées alpines selon les saisons vers 12h00 UTC, en début (traits continus) et vers la fin (pointillé) de saison. En bleu, profil du pays plat adjacent. En orange, profil au-dessus de la vallée principale du Rhône. En rouge, profil au-dessus des pentes ou des petites vallées latérales. a = extension de la couche convective en début et b = extension de cette couche en fin de saison.

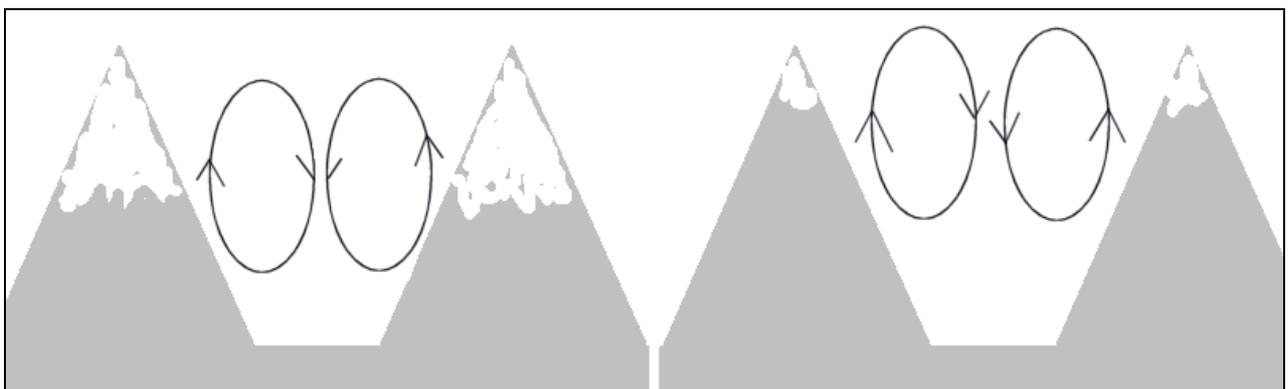


Figure 26 : explication probable de la différence de l'étendue de la couche convective entre le printemps et l'été.

La figure 26 fournit une explication probable de cette différence printemps-été dans la structure thermique des vallées alpines. A cause de l'étendue de la neige, le circuit convectif se produit plus bas au printemps qu'en été. En regardant cette figure, on peut aussi s'imaginer que dans une vallée, la couche convective se forme et s'étend, en cours de matinée, en direction du haut

mais aussi en direction du bas, contrairement aux pays plats où la couche convective ne se développe qu'en altitude. Voir figure 27. Ceci pourrait expliquer la présence de petits thermiques très précoces se développant très tôt sur les pentes élevées de haute montagne.

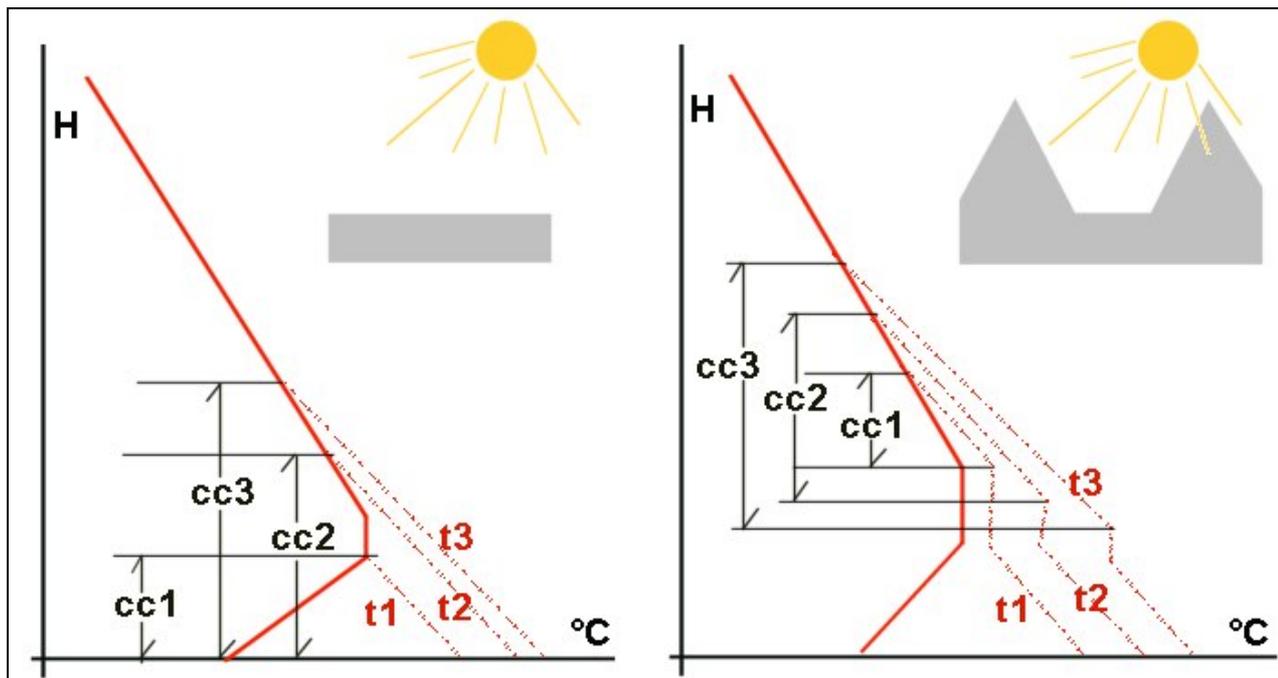


Figure 27 : développement probable de la couche convective (cc) durant la journée en plaine (à gauche) et en montagne (à droite). Cc1, cc2 et cc3 sont les couches convectives correspondant aux courbes de température t1, t2 et t3. H = altitude et °C = température.

Truog² trouve une méthode simple et empirique pour déterminer de façon générale le plafond maximal de la couche convective dans les Alpes. Il retranche 4,5°C à la température maximale prévue. Il reporte sur un émagramme cette nouvelle valeur à 850 hPa. (env. 1500 m.). Il tire depuis celle-ci une adiabatique (1°C/100m.) jusqu'à ce qu'elle croise la courbe d'état du radiosonde de minuit. Je me suis inspiré de cette idée en l'adaptant au modèle numérique (analyse FNL) et en me basant sur les résultats de la figure 23. A Montana, donc à 1500 m. dans la vallée du Rhône, il fait en effet environ et en moyenne 6°C de plus qu'à 850 hPa de l'analyse, au-dessus de Payerne vers 12h00 UTC. Sur un émagramme virtuel (calculé) des modèles FNL-GFS (figure 28), on repère le niveau 850 hPa. On y ajoute 6 °C depuis la courbe de température (en rouge sur la figure). Depuis ce nouveau point, on tire une adiabatique (1°C/100m. en violet) jusqu'à ce qu'elle croise la courbe de température rouge. On peut ainsi estimer le sommet de la couche convective où se produisent les thermiques et dans laquelle le gradient de température est de 1°C/100m. Dans cet exemple, ce sommet se trouve vers 3500 m. environ. Il est évident que durant l'après-midi et dans des vallées très hautes et étroites (Saastal par exemple) ce sommet va être quelques centaines de mètres plus haut.

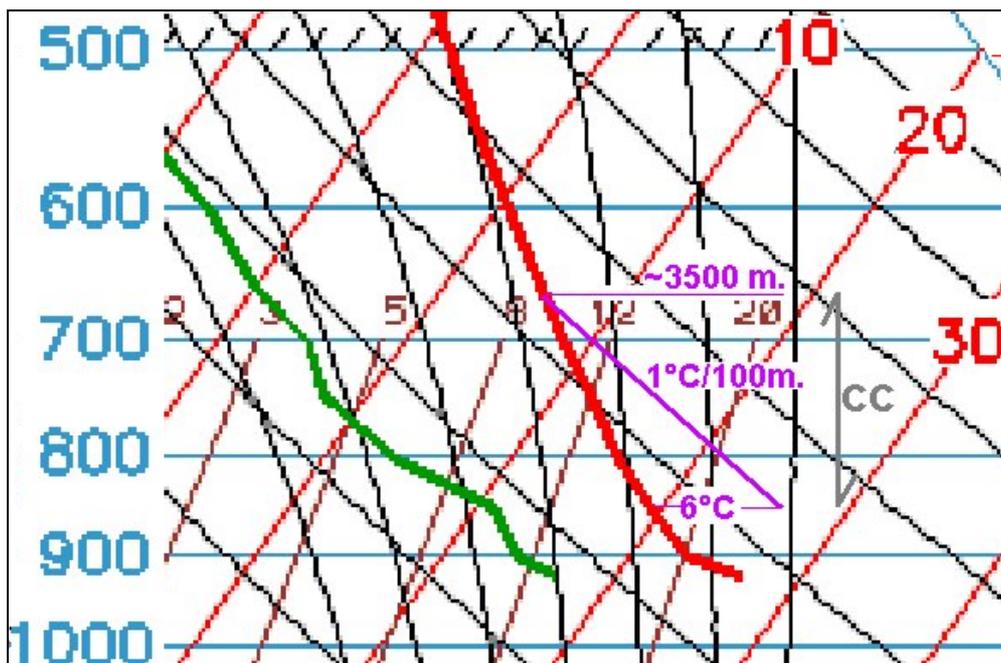


Figure 28 : méthode pragmatique pour estimer l'extension de la couche convective (cc) adiabatique vers 12h00 UTC dans le Valais en se basant sur les modèles de la famille FNL-GFS. Exemple avec le 3 août 2003, parmi les meilleures journées de ces dernières années, la cc s'étend environ entre 1500 m. et 3500 m. soit entre 850 et 660 hPa.

Sur la figure 28, on voit bien que si la courbe de température rouge était moins inclinée sur la gauche, c'est-à-dire que le gradient de température du profil FNL était plus faible, le croisement avec la courbe violette serait plus bas, autrement dit que la couche convective serait moins étendue (plafond plus bas). Ceci va dans le sens de ce qui a été trouvé auparavant : en dessous d'un certain gradient de température ou plus exactement si la différence de température entre 850 et 500 hPa est inférieure à 24-25 °C, la probabilité d'un vol de performance est faible. Pour préciser encore ce phénomène, la figure 29 montre la relation entre la différence de température Montana-Jungfrauoch et celle de la couche 850-500 hPa au-dessus de Payerne de l'analyse FNL à 12h00 UTC. Certes, la dispersion des points est un peu décevante, mais le graphique montre cependant clairement que plus le gradient de température FNL est grand et plus la différence de température entre Montana et le Jungfrauoch est grande également, c'est-à-dire que l'épaisseur de la couche convective dans le Valais est importante.

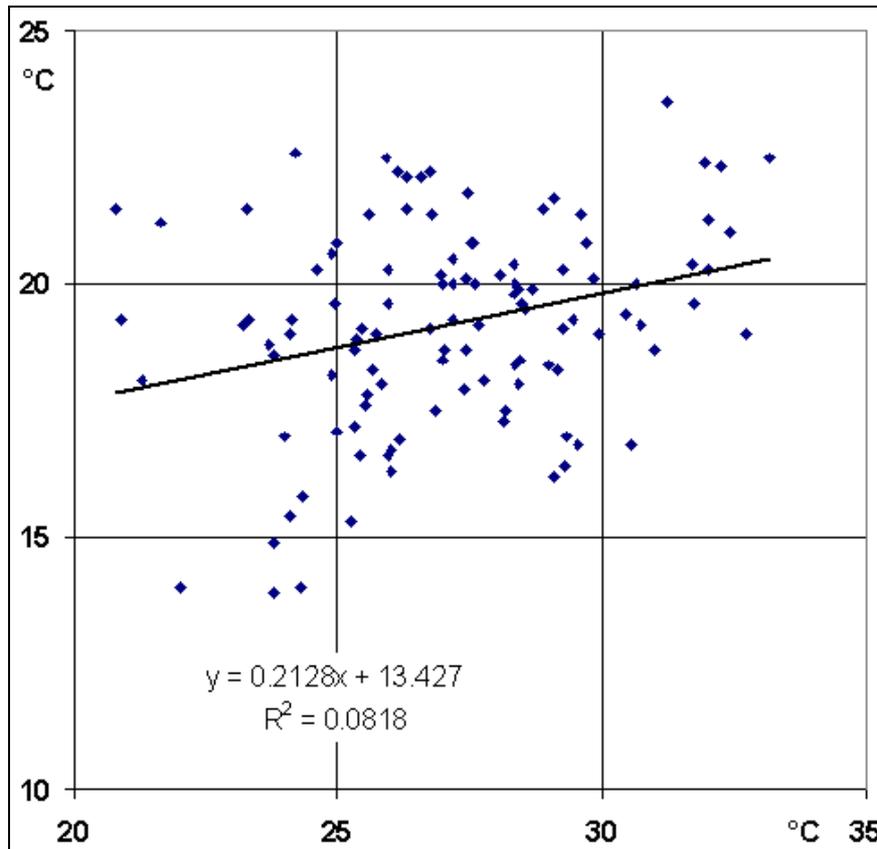


Figure 29 : influence du gradient de température synoptique (analyse FNL, au-dessus de Payerne) sur l'épaisseur de la couche convective dans le Valais (différence de température entre Montana et le Jungfrauoch), à 12h00 UTC. En ordonnée, différence de température entre Montana et le Jungfrauoch. En abscisse, différence de température entre 850 et 500 hPa. Droite de régression.

§ 6. Résultat 4 : nébulosité, orages et humidité atmosphérique

L'humidité de l'air et la nébulosité sont très liées. H. Rotach ¹³ dans une série d'excellents articles parus dans le « Delta Info », ancêtre du « Swiss Glider », en 1985, explique très bien la relation entre ces deux paramètres. On peut dire grossièrement que plus l'air est humide et plus les nuages seront nombreux et bas. La différence, appelée « spread », à une altitude donnée, entre la température et la température de condensation (point de rosée) est une bonne évaluation de l'humidité de l'air. La température de point de rosée est la température à laquelle il faut abaisser une particule d'air pour que la vapeur d'eau contenue dans celle-ci se condense en eau liquide (gouttelettes d'eau en suspension formant un nuage). Il est donc logique que plus le point de rosée est éloigné de la température (c'est-à-dire plus le « spread » est grand), plus l'air est sec. Le « spread » ne peut jamais être négatif ou, autrement dit, la courbe de température de point de rosée (Td), en vert sur la figure 28, n'est jamais à droite de la courbe de température (en rouge). Si la courbe de température et la courbe des Td sont confondues, dans une certaine couche atmosphérique, le « spread » est nul dans cette couche et l'air de cette couche est saturé de vapeur d'eau. La probabilité de nuage (brouillard) est alors maximale à ce niveau. Comme ordre de grandeur, un « spread » de moins de 5 °C (entre 0°C et 5°C) correspond à une couche d'air humide (humidité relative de 100 à 70 %), un « spread » situé entre 5 et 12 °C correspond à de l'air moyennement sec (humidité relative de 70 à 40 %) et un « spread » de plus de 12°C correspond à de l'air sec.

L'humidité des basses couches atmosphériques détermine l'altitude de la condensation, c'est-à-dire l'altitude de la base des cumulus, puisque les cumulus sont le résultat des mouvements convectifs (thermiques) de l'atmosphère qui transportent de l'air du sol en altitude. On peut représenter ce phénomène sur un graphique, lui-même transposable sur un émagramme. Voir figure 30. Sans entrer dans les détails, une particule d'air ascendante, qui par conséquent se détend à cause de la diminution de pression, présente, outre une diminution de température adiabatique (-1°C/100m.) une augmentation d'humidité relative correspondant à une diminution de point de rosée de -0,2°C/100m. Si l'ascension de la particule d'air est suffisante, la température et la température de condensation de celle-ci vont finir par se confondre, ce qui par définition va entraîner une condensation d'eau donc un nuage cumuliforme. On voit bien sur le graphique de la figure 30 que plus To et Tdo sont éloignés et plus le point Tdh = Th est élevé. Mais la couche adiabatique n'est pas infinie et si To et Tdo sont trop éloignés l'un de l'autre, la condensation ne pourra pas se réaliser, on aura donc des thermiques « bleus », sans cumulus.

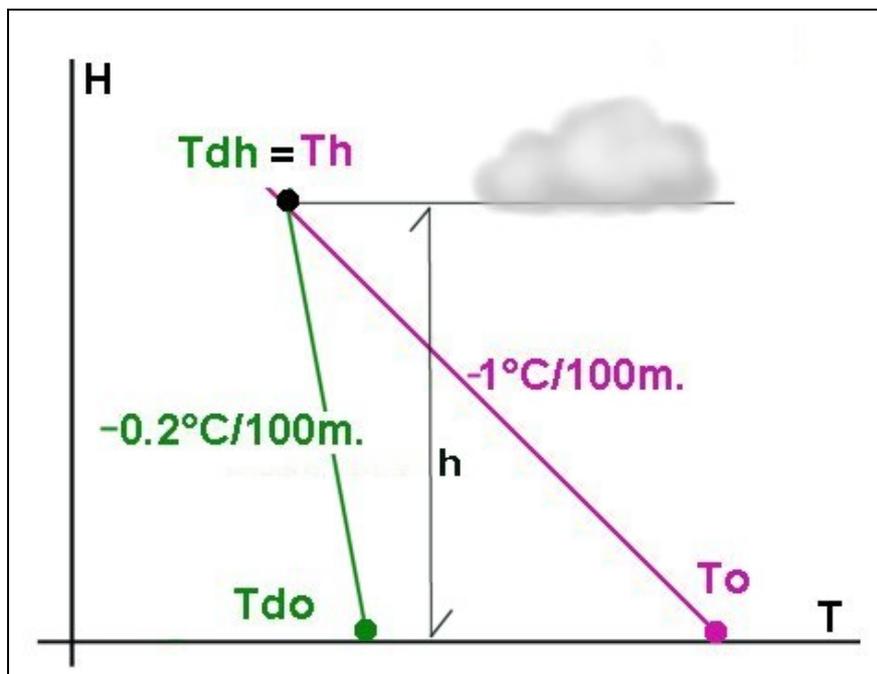


Figure 30 : graphique permettant de trouver l'altitude de la base des cumulus, connaissant la température T_o et la température de point de rosée T_{do} au sol. En altitude, la particule d'air qui est parti du sol présente une température T_h égale à sa température de point de rosée T_{dh} d'où condensation et formation de nuages (ensemble de gouttelettes d'eau). H = altitude. T = température et température de point de rosée. $h = (T_o - T_{do}) * 125$ avec h en m et T_o et T_{do} en °C

Qu'en est-il des vallées alpines et particulièrement du Haut-Valais ? Truog² donne un exemple de la complexité du développement et de la prévision des cumulus en montagne : au nord de Coire (Chur), dans le Rheintal, se dresse une crête de 2800 m dont le nom est Calanda. Durant les jours favorables au vol à voile, sur sa face sud-est, se développe tôt le matin de petits cumulus juste au-dessus des sommets. 2-3 heures plus tard les cumuli grossissent mais leur base s'abaisse d'environ 300-400 m. Finalement, en cours d'après-midi, la base des cumulus remonte au-dessus des sommets. Ce comportement apparemment étrange peut vraisemblablement être expliqué comme ceci : les premiers thermiques viennent de l'air sec des hauts pâturages de Calanda. Avec l'extension progressive de la couche convective de cette vallée (vers le bas et vers le haut), l'air des thermiques provient de l'air plus humide en dessous de ces pâturages, ce qui entraîne un abaissement passager de la base des cumuli. Finalement, avec le réchauffement de l'atmosphère de la vallée, l'humidité relative baisse ce qui entraîne à nouveau un rehaussement de la base des cumulus. D'autre part, l'observateur attentif, voyageant de Villeneuve vers le Haut-Valais en cours d'après-midi ensoleillé, peut assister à l'augmentation progressive de la base des nuages convectifs, passant par exemple de 2000 m. à 4000 m. environ. Chaque vallée a donc ses propres caractéristiques se calquant sur la tendance générale du jour. Plus la vallée se trouve au cœur des Alpes, plus l'air est sec et plus la base des cumuli est élevée. De plus la base des nuages convectifs varie en fonction de la période de l'année. Bouët¹ fournit une statistique intéressante. Voici un extrait de son texte qui commente la figure 31 : « Une observation attentive des nuages de convection des journées ensoleillées en Valais m'a permis de déterminer l'altitude de leur base grâce aux nombreux

repères montagneux des Alpes valaisannes (ubac). Voici les principaux résultats de cette étude portant sur 1126 mesures faites depuis Montana de mars à octobre, seule période durant laquelle les cumulus et cumulonimbus se forment nettement. L'altitude de la base des cumulus, c'est-à-dire du niveau de condensation, croît de mars à juin, reste stationnaire et diminue à partir de septembre; elle varie fortement au cours du jour dans ce sens qu'elle croît le matin jusque vers midi, puis reste à peu près stationnaire l'après-midi. La base des cumulus valaisans (chaîne sud) s'observe entre 1500 et 5000 m ; la fréquence d'apparition la plus élevée concerne la tranche comprise entre 2600 et 3500 m. L'altitude moyenne est de 3160 m ; elle est probablement un peu plus basse au-dessus des Hautes-Alpes calcaires et des Préalpes. Ailleurs en pays de plaine, la base des cumulus est très notablement plus basse ».

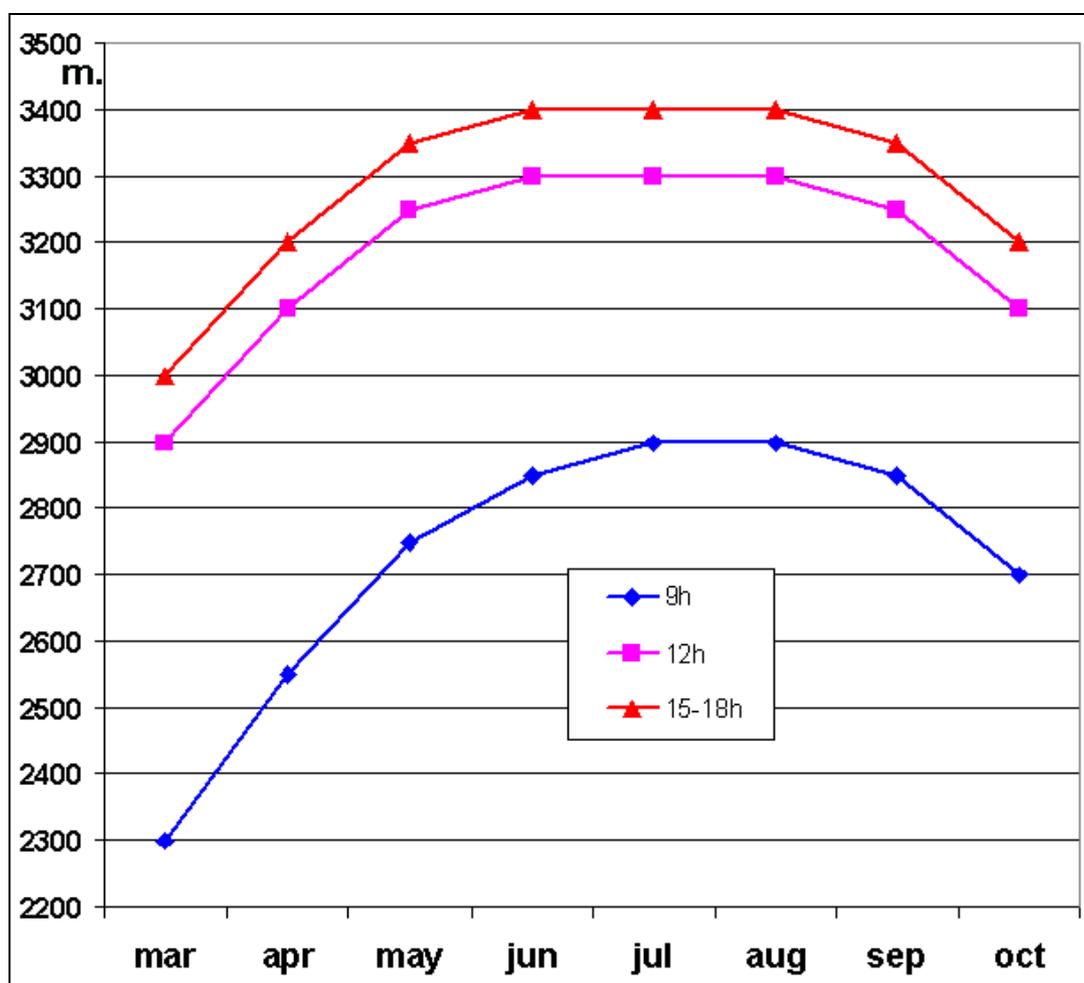


Figure 31 : variation de l'altitude de la base des cumuli en Valais (journées ensoleillées) en fonction du mois et de l'heure, adapté d'après Max Bouët.

Truog² propose une méthode empirique très simplifiée pour prévoir de façon générale l'altitude de la base des cumuli dans les vallées alpines. Puisque l'altitude moyenne des Alpes est d'environ 1500 m, il prend cette altitude (c'est-à-dire environ 850 hPa) pour référence.

Autrement dit il repère le point de rosée à 850 hPa sur le radiosondage de Payerne et le choisit pour le Tdo de la figure 30. Mais le problème est toujours le même. Le radiosondage de minuit est en retard de plus de 24 heures par rapport à l'après-midi lorsqu'a lieu le vol. On peut se poser maintenant la question de savoir si l'on peut appliquer ce principe au profil prévu du modèle FNL-GFS. Il faut d'abord connaître la tendance de la valeur des points de rosées des stations de montagnes (Montana, Ulrichen et Zermatt) vers 1500 m. par rapport à la valeur du point de rosée au niveau de 850 hPa (analyse FNL, au-dessus de Payerne) à 12h00 UTC. La figure 32 montre la relation entre ces valeurs. En milieu et fin de saison (mi-mai à août), le point de rosée de Ulrichen et de Zermatt correspond en moyenne à celui de l'analyse GFS à 850 hPa. Par contre, le point de rosée de Montana est en moyenne supérieur de 3 °C durant cette même période. Pour le début de saison (avril à mi-mai), le point de rosée à Ulrichen et Montana correspond à celui de l'analyse GFS à 850 hPa alors que celui de Zermatt est inférieur de 3 °C à celui de l'analyse.

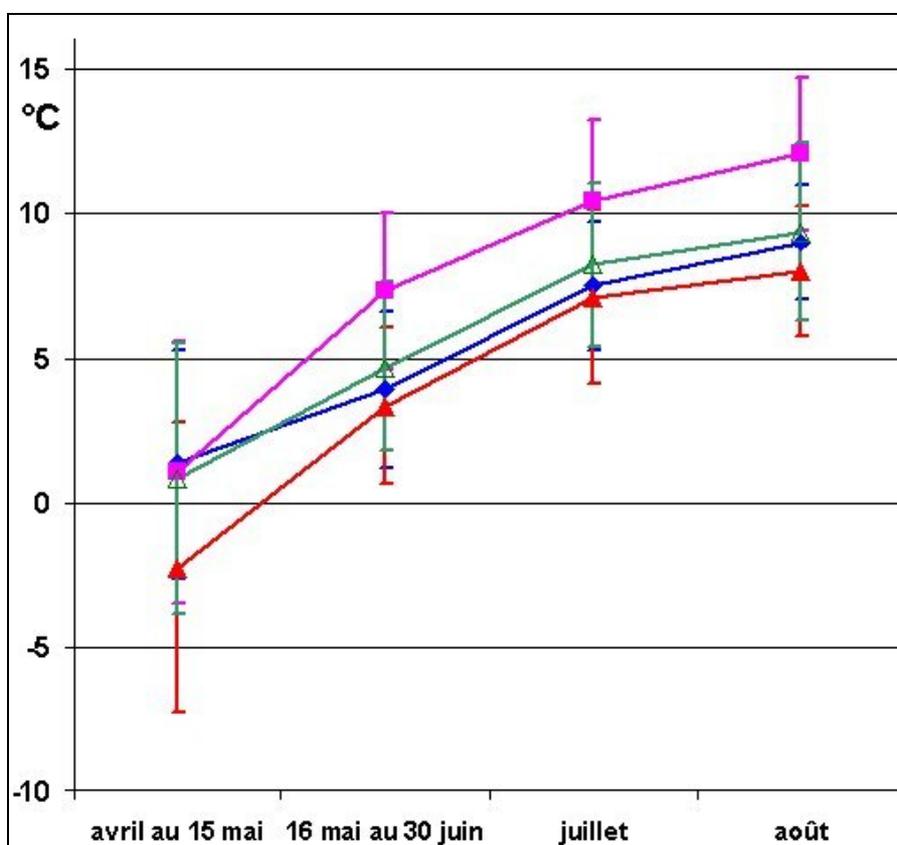


Figure 32 : évolution moyenne de la température de point de rosée (Td) à 12h00 UTC au cours de la saison de vol. En bleu, Td de l'analyse GFS à 850 hPa au-dessus de Payerne. En rouge, Td de Zermatt. En vert Td de Ulrichen. En violet, Td de Montana. Les traits verticaux représentent les écart-types.

Grâce à cette dernière observation, nous pouvons reprendre l'émagramme de la figure 28 et le compléter avec la prévision de la base des cumulus. Voir figure 33. Si l'humidité à 850 hPa est si faible que l'intersection entre les courbes vert clair et violette n'est pas possible, il faut s'attendre à des thermiques sans cumulus (thermiques bleus).

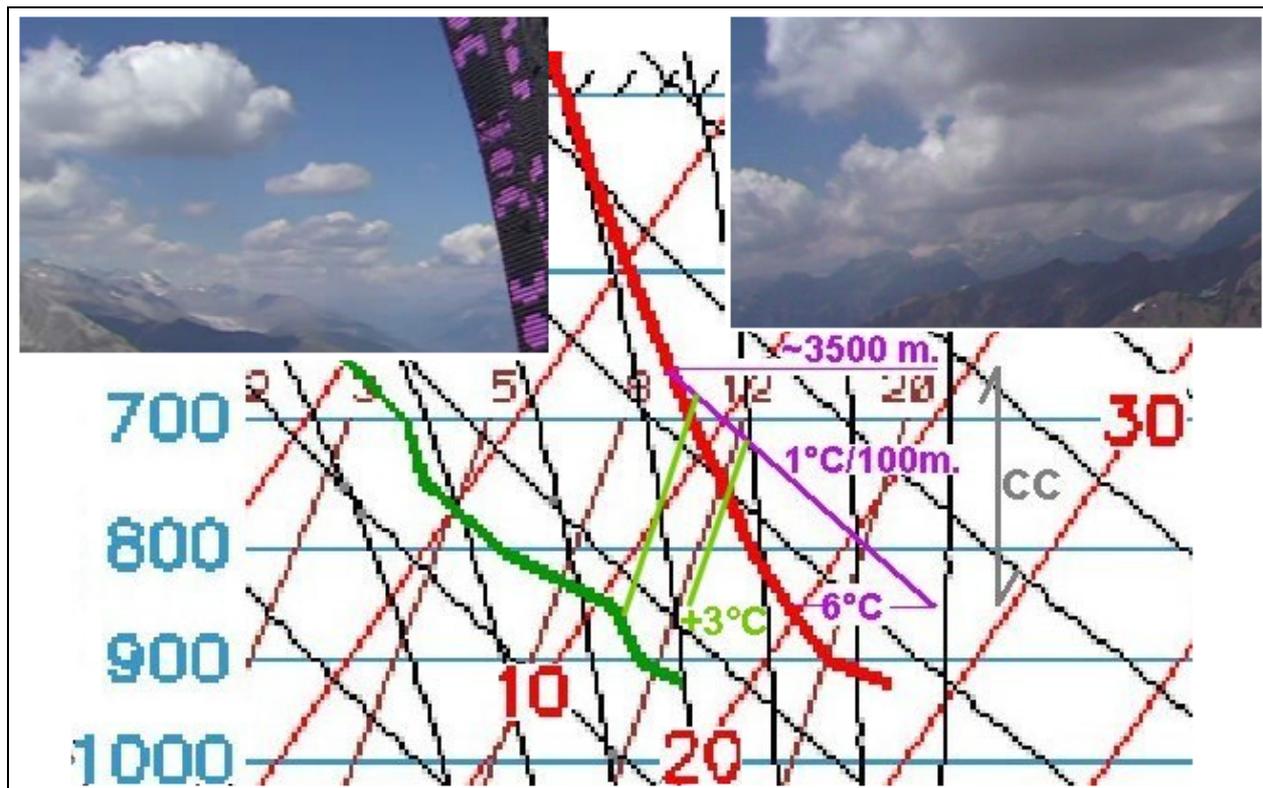


Figure 33 : méthode pragmatique pour estimer l'extension de la couche convective (cc) adiabatique ainsi que l'altitude de la base des cumuli vers 12h00 UTC dans le Valais en se basant sur les modèles de la famille FNL-GFS. Exemple avec le 3 août 2003, parmi les meilleures journées de ces dernières années, la cc s'étend environ entre 1500 m. et 3500 m. soit entre 850 et 660 hPa. Pour estimer la base des cumuli, on tire une droite (vert clair) parallèle aux courbes brunes (-0.2°C/100m.) depuis le point de rosée FNL-GFS à 850 hPa (courbe verte). L'intersection entre la droite vert clair et l'adiabatique violette fournit la hauteur de la base des nuages convectifs, ici environ à 685 hPa soit environ à 3300 m. d'altitude. Pour le Valais central (Montana) la base des nuages est un peu plus basse. On ajoute 3°C au point de rosée FNL-GFS à 850 hPa puis on tire la droite vert clair à partir de ce nouveau point jusqu'à l'intersection de la droite adiabatique violette. On trouve alors une base des cumuli à environ 715 hPa soit à environ 3000 m.

La quantité de nébulosité est aussi un important paramètre pour la qualité des conditions de vol. Plus les nuages sont nombreux, moins il y a de soleil et donc de convections. On peut distinguer 2 types de nébulosité parasite : (1) le surdéveloppement vertical ou horizontal de cumuli et (2) les nuages élevés (altocumulus, altostratus, cirrostratus et cirrocumulus). Le manuel de l'OSTIV-WMO ¹⁴ donne de bonnes indications générales à ce sujet. Il fournit d'abord une règle approximative de réduction de l'épaisseur de la couche convective en fonction de la nébulosité :

90% de réduction pour 8/8 de Cirrus, 60 % de réduction pour 8/8 d'altostratus et 50% de réduction pour 8/8 de stratocumulus. Il faut bien entendu tenir compte aussi de la réduction d'énergie solaire pour les convections elles-mêmes. En outre ce manuel donne encore la relation sous forme de graphique entre le degré d'humidité au niveau de la condensation (base des nuages convectifs) et la quantité en octas de cumulus. Voir figure 34.

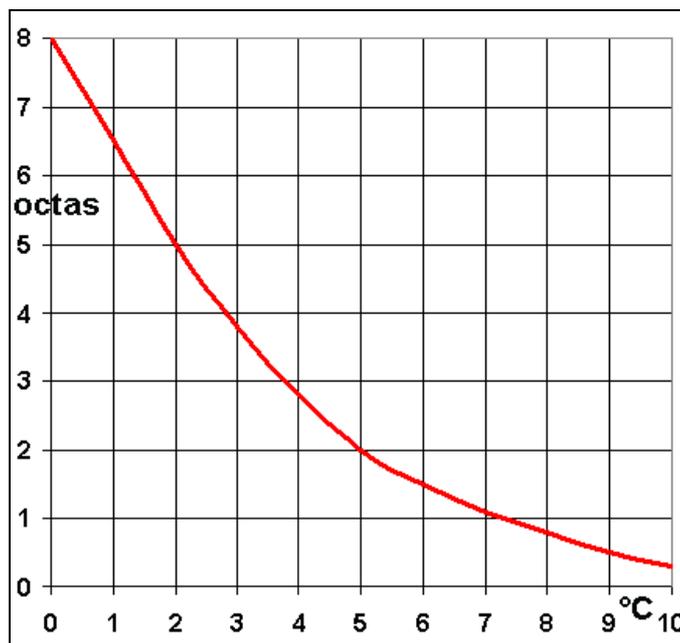


Figure 34 : relation entre le « spread » (abscisse) au niveau de la condensation (base des nuages convectifs) et la quantité (ordonnée) en octas de cumulus. Adapté d'après le manuel OSTIV-WMO de prévision météo pour vol à voile.

Peut-on appliquer ces dernières règles dans la région du Haut-Valais ? A première vue, d'après mon expérience, le graphique de la figure 34 me paraît un peu trop optimiste pour les Alpes. En effet avec un « spread » de 3°C, il me semble qu'il faut s'attendre à plus de 4 octas de cumulus dans nos vallées. Ni les résultats de la CCC-OLC, ni les données des stations de Météosuisse ne fournissent d'indications à ce sujet. Heureusement qu'il existe la webcam de Monsieur Brunner, propriétaire d'un hôtel à Unterbach, en face du massif du Bietschhorn, qui est la chaîne de montagne de l'adret haut-valaisan. Monsieur Brunner m'a gracieusement remis un cd-rom contenant les archives des photos du ciel en face de chez-lui des années 2000 à 2002. L'idée est de comparer l'émagramme de l'analyse FNL de 12h00 UTC au-dessus de Payerne avec une photo du Bietschhorn aux alentours de 12h00 UTC (14h00 local). J'ai ensuite sélectionné 91 photos intéressantes. 36 photos correspondent à des jours avec des paramètres favorables pour le vol thermique selon les conclusions du chapitre 4. Les autres photos correspondent à des conditions particulières comme un gradient de température faible, des couches à 850 ou 700 hPa avec une forte humidité ou des jours avec une grande quantité de nuages élevés. Les

figures 35 à 37 montrent quelques exemples. Dans chaque exemple le raisonnement et les droites y découlant de la figure 33 sont appliqués.

Il faut premièrement vérifier si la relation entre « spread » en altitude et quantité de cumulus de la figure 35 est applicable pour les Alpes du Valais. On se rend compte rapidement qu'une corrélation statistique formelle est difficile à réaliser car définir la quantité de cumulus est une appréciation subjective. C'est pourquoi il me semble qu'une approche semi-quantitative et empirique est plus adéquate. Deuxièmement, à chaque photo examinée, le raisonnement de la figure 33 avec l'intersection des deux droites est examiné. Là aussi une approche semi-quantitative est plus adaptée. Voici le résultat :

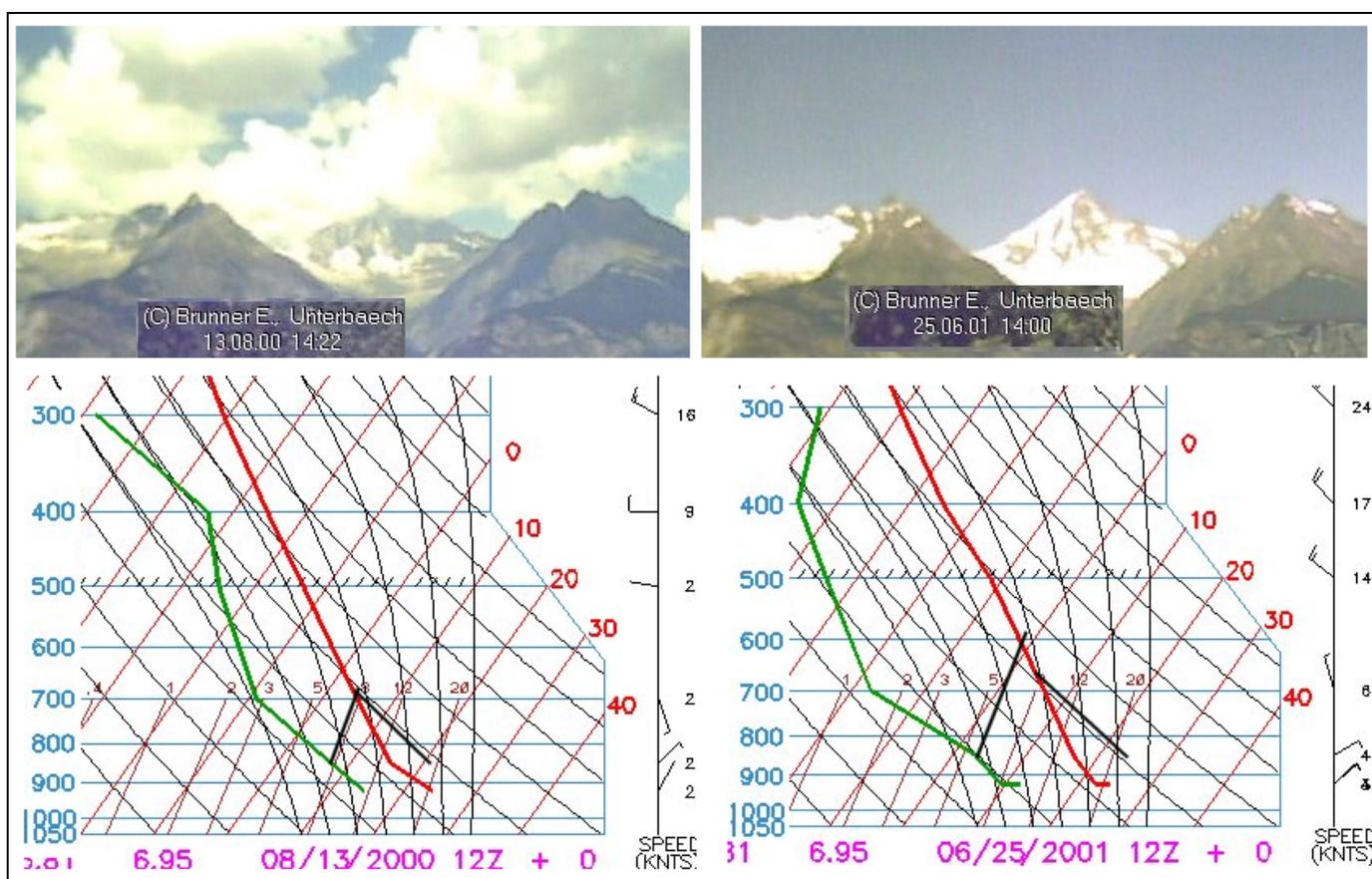


Figure 35 : ciel haut-valaisan du 13 août 2000 et du 25 juin 2001 avec les émagrammes et profils de l'analyse FNL correspondants. Le 13 août 2000, les cumulus sont assez nombreux et gros. On peut parler d'un début de cumulus congestus. La base des nuages se situe vers 3200 m. environ (les sommets au premier plan culminent vers 2800 m.). Le sommet du Bietschhorn est caché. Le « spread » moyen entre 850 et 500 hPa est d'environ 12°C. L'intersection des deux droites noires se situe un peu plus haut que 700 hPa ce qui correspond bien à l'altitude de la base des nuages convectifs. Le 25 juin 2001, il y a un ciel bleu sans aucun nuage. Ceci correspond bien à l'absence d'intersection des deux droites noires. De plus, le « spread » moyen entre 850 et 500 hPa est très grand, plus de 20 °C, ce qui contribue au ciel immaculé.

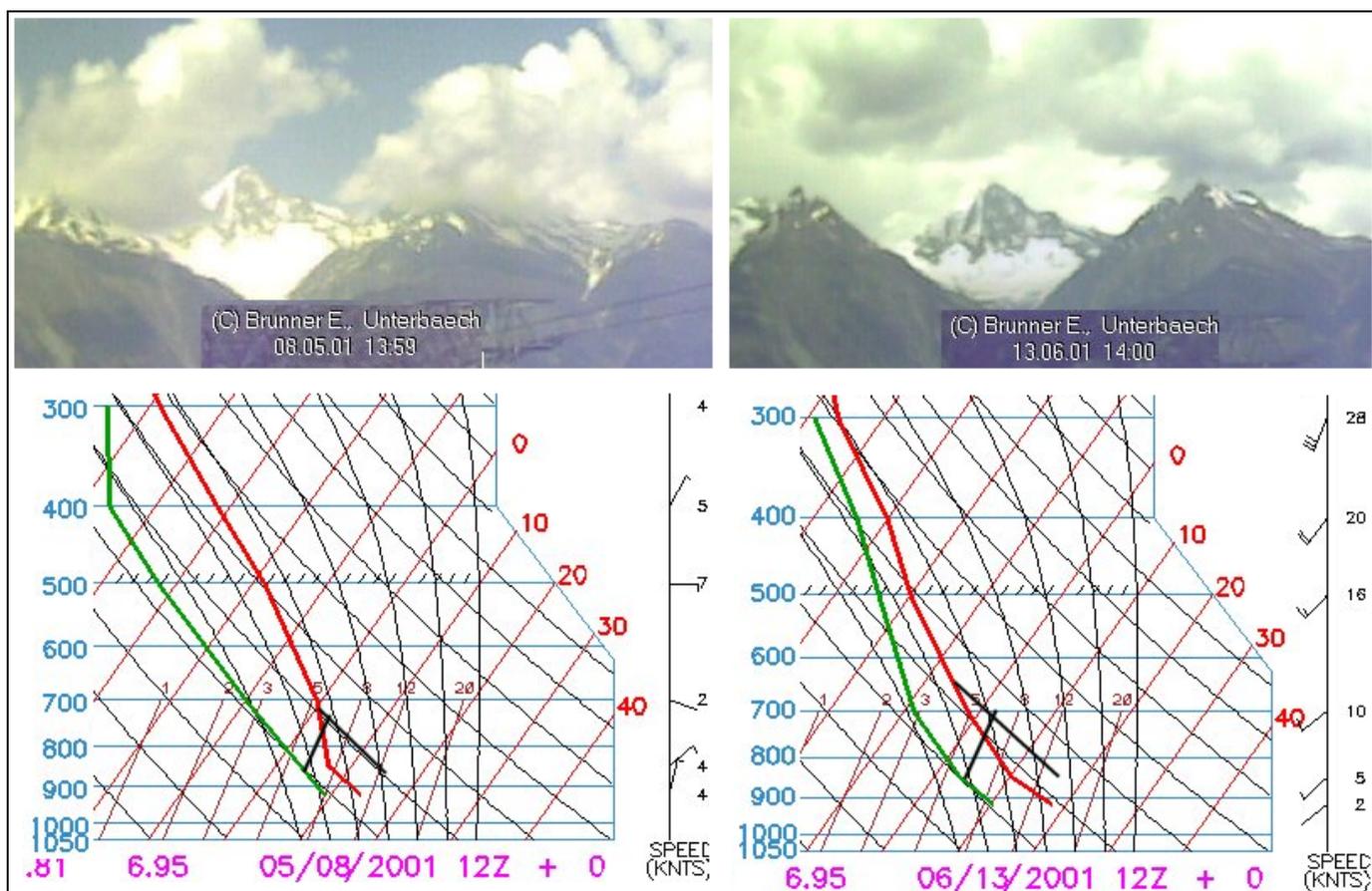


Figure 36 : ciel haut-valaisan du 8 mai 2001 et du 13 juin 2001 avec les émagrammes et profils de l'analyse FNL correspondants. Le 8 mai 200, on trouve une forte humidité à 850 hPa ce qui entraîne une base des nuages (niveau de condensation) peu élevée, vraisemblablement vers 2600 m. Sur l'émagramme du même jour, l'intersection des deux droites noires correspond bien à ce niveau de condensation. Le 13 juin 2001, l'atmosphère est très humide (« spread » entre 3 et 5°C), en particulier entre 700 et 400 hPa. L'intersection des deux droites noires (niveau de condensation) se trouve vers 700 hPa ce qui correspond bien à la base des nuages mais, à cause de la forte humidité en haute altitude, la quantité de nuages atteint presque 100%. Le temps semble en outre précocement orageux.

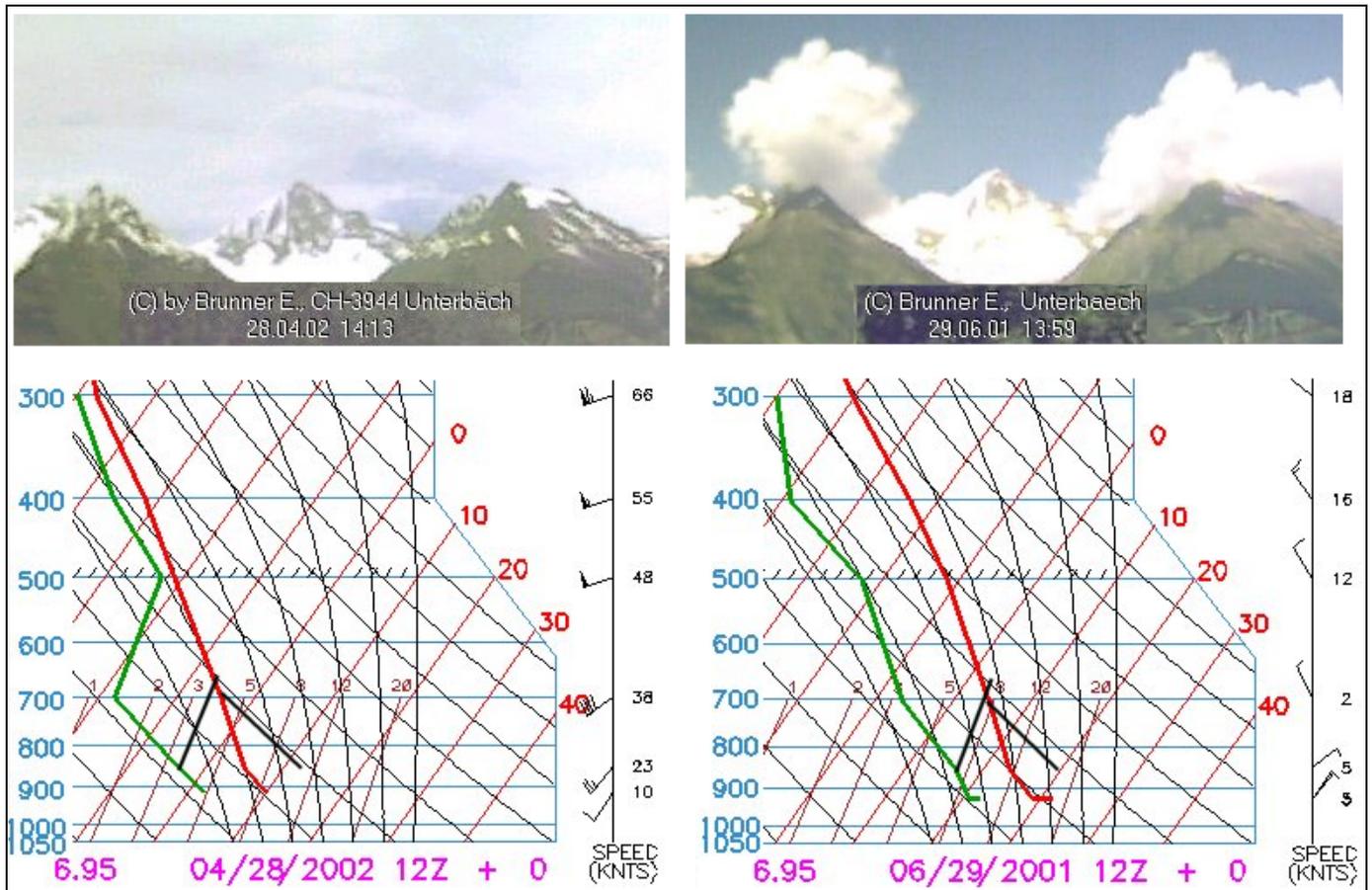


Figure 37 : ciel haut-valaisan du 28 avril 2002 et du 29 juin 2001 avec les émagrammes et profils de l'analyse FNL correspondants. Le 28 avril 2002, il n'y a pas de cumulus probablement à cause d'une part d'un ciel fortement voilé par des nuages élevés qui empêche l'énergie solaire de provoquer les convections et d'autre part par une intersection des deux droites noires juste pas possible. Les nuages élevés sont dus à une forte humidité (« spread » entre 2-4 °C) à très haute altitude (500 à 300 hPa). Pour le 29 juin 2001, le gradient de température n'est pas très grand (différence de température entre 850 et 500 hPa égale à 25 °C). On observe surtout une légère discordance d'altitude entre la base des cumulus à environ 2700 m. sur la photo et une ébauche d'intersection des deux droites noires vers 700 hPa (3100 m. environ). Ceci peut être expliqué par la présence de pluies la veille dans la région (11 mm. environ et en moyenne durant toute la journée précédente pour Sion, Visp, Montana et Ulrichen).

Premièrement, on peut dire que le raisonnement et la méthode de la figure 33 fonctionnent de façon satisfaisante à très bien dans environ 95% des cas. Dans 5 % des cas il y a seulement une légère discordance comme sur la figure 37 et presque toujours il s'agit d'une base nuageuse observée sensiblement plus basse que prévue. Une bonne partie des contradictions sont associées à des fortes pluies la veille. Il n'y a qu'une contradiction importante montrée sur la figure 38, elle-même associée à des pluies assez importantes la veille (10 mm en moyenne).

Deuxièmement, le principe qualitatif de la figure 34 est valable, plus l'humidité est forte au niveau de la base des cumulus et plus la quantité (extension) des cumulus est grande. Par contre, quantitativement, cette figure n'est pas applicable au Haut-Valais. En effet, pour avoir un ciel idéal (quantité de cumulus et altitude de la base des nuages comme on les aime) il faut des « spreads » à l'échelle synoptique du modèle GFS d'environ 7-10 °C à 850 hPa, 10-15°C à 700 hPa et 15-25 °C à 500 hPa. La valeur à 850 hPa semble la plus déterminante. Plus les « spreads » sont supérieurs à ces valeurs, surtout à 850 hPa, plus la probabilité de rencontrer des thermiques bleus est grande. D'autre part des « spreads » inférieurs à 4-5 °C à 850 hPa non seulement entraînent une base nuageuse peu élevée (2500 à 2800 m.) mais tendent à favoriser le surdéveloppement cumuliforme en altitude même si à ce niveau l'humidité est modérée voire assez faible. Voir exemple de la figure 38. Notons encore que si les « spreads » se situent entre 4-7°C à 850, 700 et 500 hPa, le risque de surdéveloppement orageux précoce est presque certain dès le début de l'après-midi, surtout si le gradient de température est fort (différence de plus de 28°C entre 850 et 500 hPa).

Il n'est pas simple de prévoir les nuages élevés qui jouent évidemment un rôle important. On recherche bien sûr une journée sans nuage élevé ou avec seulement quelques petits cirrus inoffensifs. Après examen d'une quinzaine de photos de journées avec divers nuages élevés, il semble que pour être presque sûr de ne pas avoir de nuages de ce type, il faut que les « spreads » à 500, 400 et 300 hPa soient supérieurs à respectivement 15-20, 10-15 et 7-10 °C. Plus le nombre de ces trois niveaux avec des « spreads » inférieurs à ces limites est grand et plus les « spreads » eux-mêmes sont petits, plus le risque de nuages élevés est grand. Voir figure 38. Il y a des cas faciles et caricaturaux. Voir figure 39. La présence d'une perturbation (en général un front chaud ou un front occlus) s'approchant des Alpes est souvent la cause de ces nuages élevés. La présence d'un front (en général à l'ouest) près des Alpes sur une carte synoptique (pression atmosphérique - fronts) peut donc être un signe qui peut aider à la prévision des nuages élevés. L'examen d'une carte synoptique, issu de modèle, de la nébulosité (totale ou des nuages élevés) est aussi très utile. Voir figure 40.

Il nous reste à parler des orages. Pour rappel, il existe deux types d'orages : Premièrement l'orage local (de chaleur) issu de l'évolution d'une ou de quelques fortes convections humides locales et deuxièmement les orages frontaux (de grain) liés à l'arrivée d'un front, habituellement froid. Les deux types d'orages sont plus fréquents l'été. Pour le vol libre, le danger des orages ne réside pas à la foudre et à la grêle, potentiellement dangereux évidemment, mais aux rafales (et aux fortes turbulences) de vent associées à ce météore et qui peuvent atteindre plus de 70 Km/h. Classiquement, c'est la situation de marais barométrique (répartition plate de la pression au sol) qui engendre le plus des orages locaux. En effet, contrairement aux situations anticycloniques, dans une telle situation, il n'y a pas de subsidence (lent mouvement généralisé d'affaissement de la masse d'air qui est ainsi « stabilisée » et asséchée). Un signe annonciateur précoce (matinal) et fidèle sont les altocumulus ou stratocumulus castellanus, selon l'altitude, consistant en de petits nuages cumuliformes à forte extension verticale reliés par des bandes nuageuses, le tout ressemblant à un château avec muraille et tours, d'où le nom latin « castellanus ». Voir figure 40. Ces extensions cumuliformes verticales précoces traduisent la présence de couches atmosphériques très instables et humides donnant des mouvements verticaux d'air saturé de vapeur d'eau à la moindre amorce d'ascendance. S'il y a de telles formations nuageuses le matin (8-10 heures), on peut s'attendre 8 à 9 chances sur 10 à des orages en fin d'après-midi voire plus tôt.

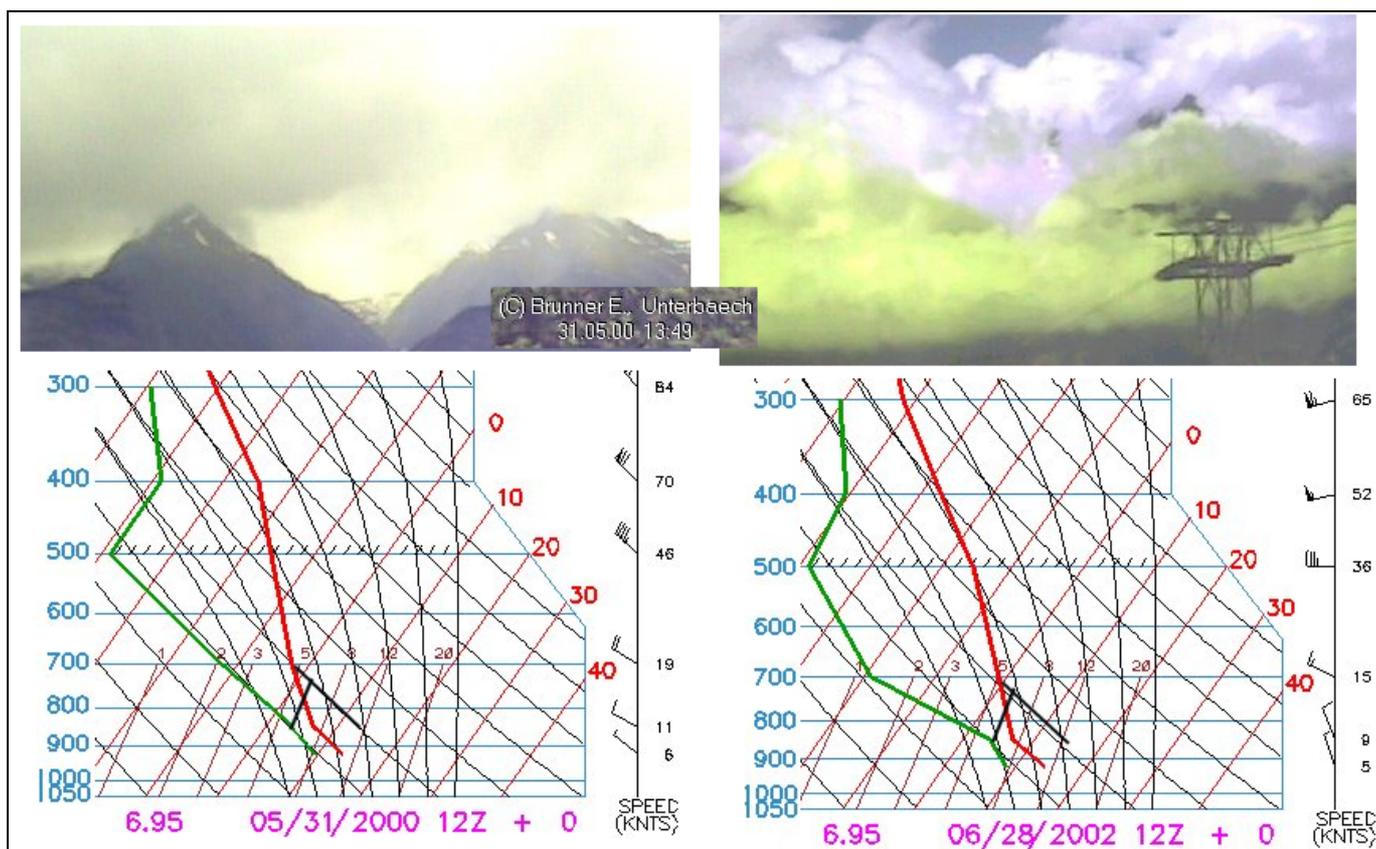


Figure 38 : ciel haut-valaisan du 31 mai 2000 et du 28 juin 2002 avec les émagrammes et profils de l'analyse FNL correspondants. Le 31 mai 2000, malgré une atmosphère plutôt sèche en altitude, il y a manifestation surdéveloppement nuageux. Dans les basses couches l'air est cependant très humide. Le 28 juin 2002 représente la seule contradiction majeure entre une prévision du niveau de condensation (intersection des droites noires) vers 2800 m. et une observation réelle avec des stratocumulus nombreux à moins de 2000 m. Mais cette journée est précédée d'une autre avec de fortes pluies. L'humidité des basses couches est aussi très forte ce qui entraîne de toute façon une base des cumulus peu élevée mais ce qui contribue aussi à une nébulosité en altitude assez importante malgré une atmosphère sèche à ce niveau.

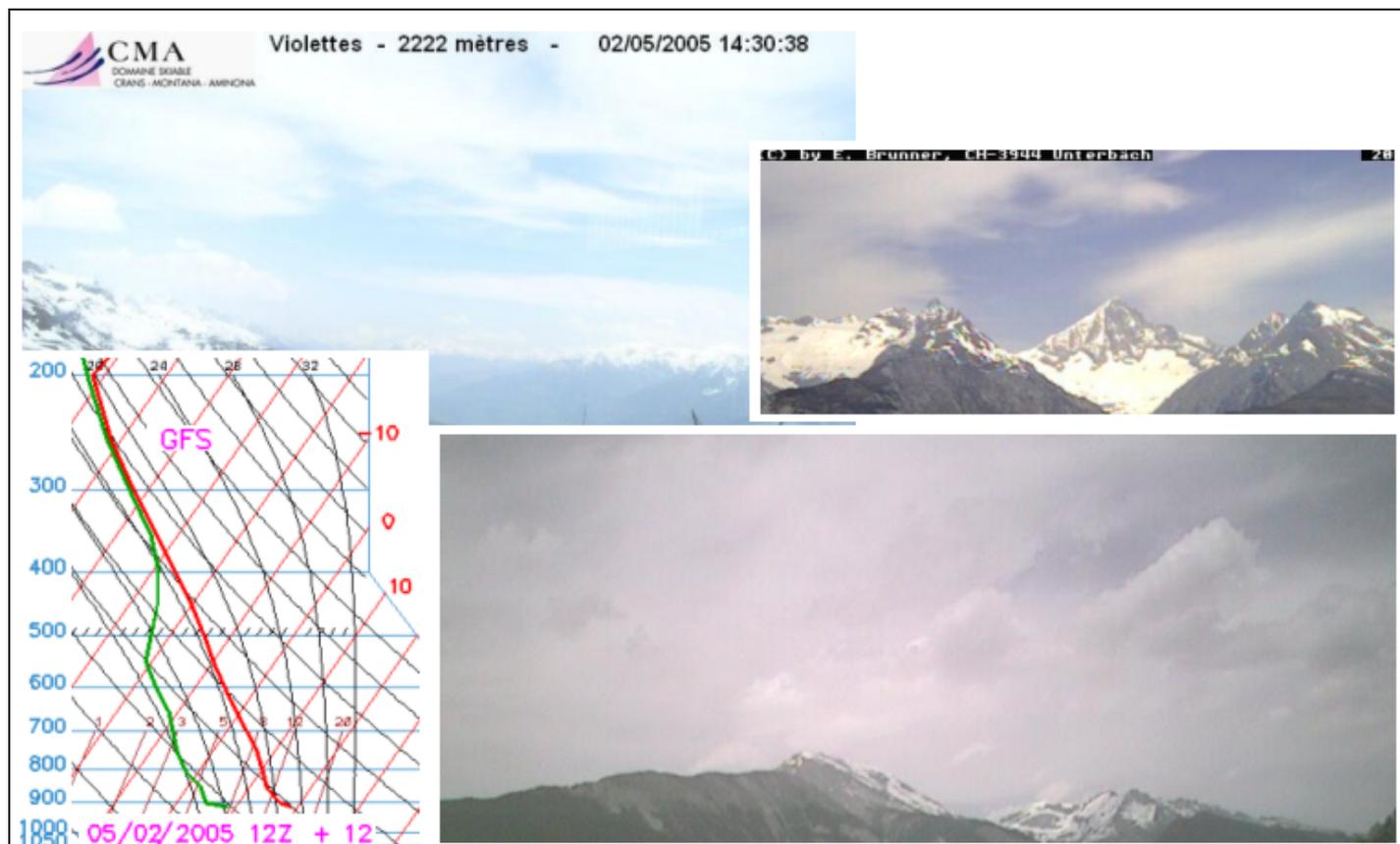
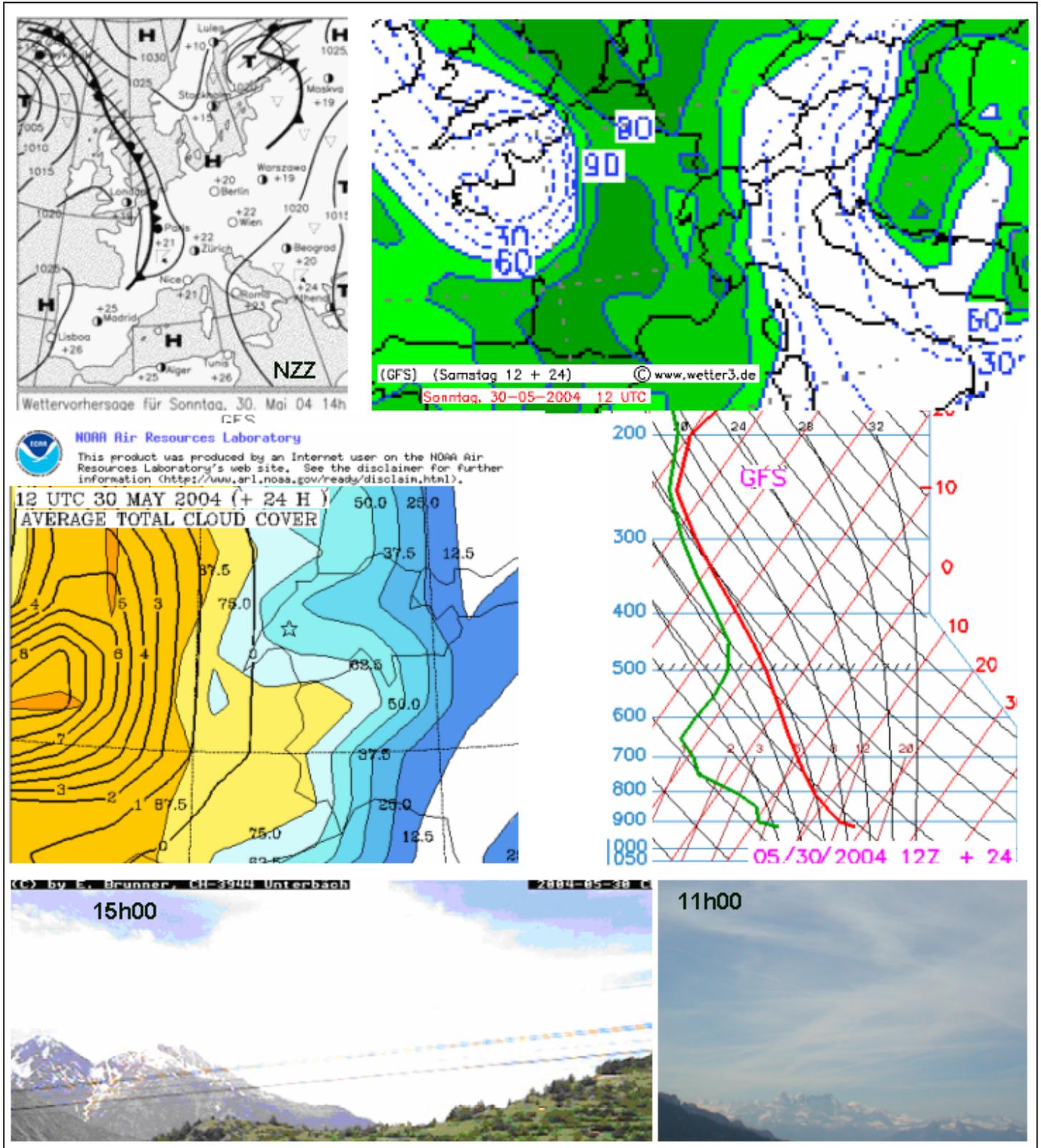


Figure 39 : exemple évident de prévision de nuages élevés pour le 2 mai 2005. Entre 400 et 200 hPa, l'atmosphère est saturée de vapeur d'eau puisque le spread est nul (profil GFS, Payerne, 12h00 UTC). Le résultat est visible sur les photos de webcams du Valais prises vers 14h00. L'émagramme provient du modèle GFS (prévision) plutôt que de l'analyse FNL mais le raisonnement reste le même.

Figure 40 (page suivante) : exemple moins évident de prévision de nuages élevés, le 30 mai 2004. La couche comprise entre 500 et 200 hPa est cependant assez humide et surtout fortement étendue en hauteur (« spreads » entre 2 et 5 °C). La présence de nuages élevés est prouvée par les photos prises dans le Haut-Valais (Unterbach) et depuis Montreux. Il y a d'ailleurs un front occlus sur la France. La partie inférieure de l'émagramme (Payerne 12h00 UTC) montre qu'il est presque impossible d'avoir une nébulosité cumuliforme alors que la carte synoptique GFS (12h00 UTC) à gauche montre la présence de nombreux nuages (nébulosité totale moyenne) venant de l'ouest. Il ne peut donc s'agir que de nuages élevés. La comparaison du profil avec la carte de la nébulosité moyenne totale permet donc d'estimer, dans bien des cas, la quantité de nuages élevés mais pas leur densité ! Une autre carte GFS à exploiter vient des sites Web wetter3.de ou wetterzentral.de qui montre la répartition des nuages élevés sur l'Europe (image en haut à droite).



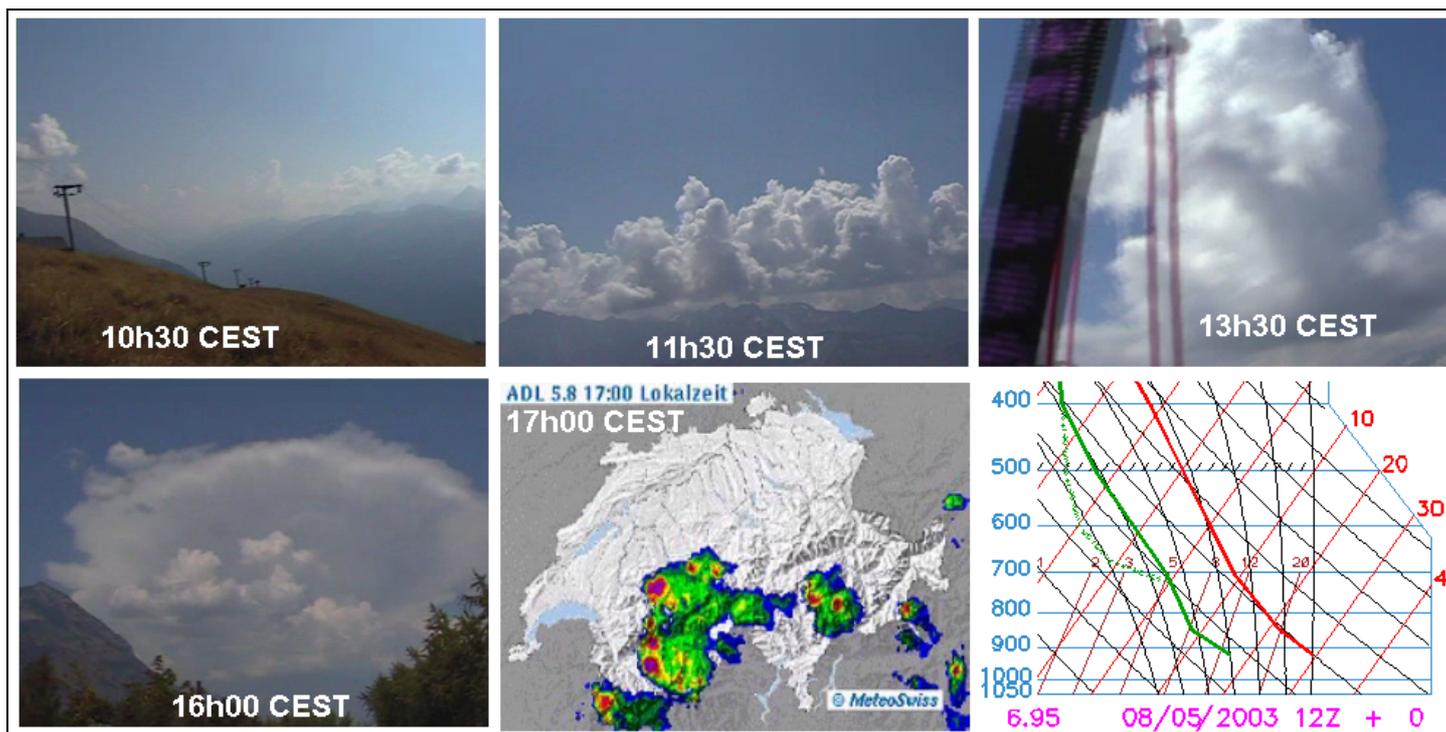


Figure 41 : journée du 5 août 2003 avec orage local étendu dans le Haut-Valais vers 16-17h00 heure local (CEST= central european summer time). Les 3 photos du haut ont été prises vers Fiesch, celle en bas à gauche depuis Martigny. Le « radar » montre l'étendue des précipitations vers 17h00. Sur les deux premières photos, on est frappé par des cumulus précoces en forme de tours (extension verticale importante) reliés entre eux par des stratocumulus donnant l'aspect de château avec ses tours et ses murailles. C'est donc une variante de la famille des castellanus. Pourtant l'atmosphère n'est pas particulièrement humide (12, 10 et 11°C à 850, 700 et 500 hPa) à l'échelle synoptique mais une différence exceptionnelle de température entre 850 et 500 hPa, environ 32°C ! peut expliquer les orages. A Fiesch, déjà vers 10h30 (CEST) des parapentes grimpent allégrement dans les thermiques. D'autre part, en raison du caractère synoptique des modèles, une petite couche plus humide, mesurée sur le radiosondage de midi, entre 600 et 500 hPa, n'est pas mise en évidence sur le profil GFS. Il faut aussi reconnaître que sur le profil GFS prévu 30 heures à l'avance, les « spreads » à 600 et 500 hPa ont été surestimés de 5-10°C en tout cas (courbe verte pointillée).

Si le profil de l'analyse FNL montre des « spreads » inférieurs à 5-8, 8-10 et 10 °C à respectivement 850, 700 et 500 hPa, on peut être presque sûr qu'un orage se développera en cours d'après-midi, surtout si la matinée est très ensoleillée et que le gradient de température est fort. Voir figure 41.

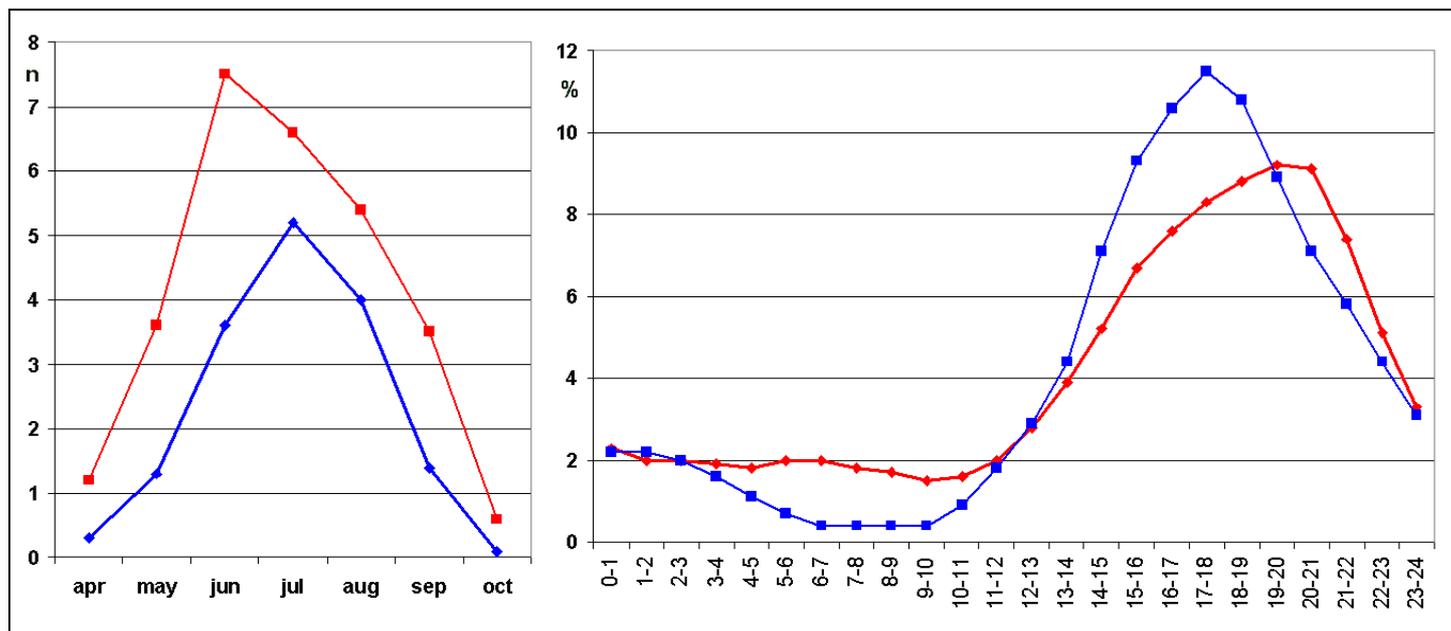


Figure 42 : distribution des orages à Lausanne (en rouge) et à Montana (en bleu) par mois de l'année (à gauche) et par heure de la journée (à droite). n = nombre de jours par mois et % pourcentage des cas. Adapté d'après Max Bouët.

Bouët¹ ne traite pas de la cause des orages notamment de la relation entre l'humidité atmosphérique et la probabilité des orages mais il fournit une statistique intéressante à ce sujet : « La géographie de l'orage en Suisse romande est simple. Le Jura est assez orageux avec 35 jours d'orage par an en moyenne si l'on compte comme telle toute journée ayant présenté au moins un coup de tonnerre, avec ou sans pluie. La région du Gros-de-Vaud et du Grand-Lac compte 32 jours, les Préalpes un peu plus, autant que le Jura probablement. ...A Genève le poste de Cointrin a relevé 26 jours par an (1955-1969)...En Valais, il faut distinguer : le versant adret de la vallée du Rhône avec 21 jours, le talweg avec environ 15 jours et les vallées latérales des Pennines (Ubac) avec 12 à 15 jours par an. Le Valais est donc très nettement moins orageux que le Plateau et le Jura... A titre de comparaison, j'ajoute que le Tessin méridional compte 45 à 50 jours d'orage par an et que l'orage y est de plus longue durée que dans le reste du pays

....Les indications ci-dessus peuvent paraître exagérées. Mais il faut se souvenir qu'il s'agissait de « jours d'orage », c'est-à-dire du nombre de journées où il a tonné au près ou au loin. Si l'on désire s'en tenir à l'orage proprement dit en un lieu, soit tonnerre rapproché et pluie, il convient de prendre à peu près la moitié des nombres indiqués....

....La distribution des orages au cours de l'année n'est pas la même en pays plat et en montagne ; dans les Alpes en effet où la fréquence est plus faible la saison orageuse est aussi plus courte...J'ai relevé le nombre moyen de jours d'orage à Lausanne et à Zurich-Kloten d'une part, à Montana et au Gothard (Gütsch) d'autre part par décades en n'utilisant que des données sûres. 27 ans pour le Plateau et 21 ans pour les Alpes m'ont fourni des fréquences... (voir figure 42 qui montre)...premièrement que la saison orageuse dure du début d'avril à la fin d'octobre sur

le Plateau, avec maximum de fréquence à la mi-juin; deuxièmement que la saison dans les Alpes ne s'étend que du début de mai à la fin de septembre, avec maximum de fréquence à fin juillet.... »

Max Bouët donne ensuite des explications boiteuses pour justifier cette différence notamment il prétend que les convections sont plus faibles en montagne qu'en plaine...! C'est justement tout le contraire !

«Reste à considérer le moment le plus orageux de la journée, et d'une façon plus générale comment se distribue la fréquence orageuse au cours du jour. Un dénombrement des «heures d'orage » portant sur 25 ans dans la région de Lausanne, sur 10 ans à Montana m'a conduit aux fréquences reproduites sur la figure (voir figure 42)... L'examen des courbes révèle des différences régionales, l'allure générale restant la même: minimum à la fin de la nuit et maximum l'après-midi. A Lausanne, le minimum de fréquence est étalé sur la deuxième moitié de la nuit; le maximum se situe vers 20 h, après quoi l'activité orageuse diminue rapidement. En Valais, le minimum a lieu entre 6 et 10 h et le maximum entre 17 et 18 h. »

Personnellement et empiriquement, il me semble que les orages sont plus fréquents en montagne que sur le Plateau, en été particulièrement. Je n'ai cependant pas de statistiques personnelles objectives et précises sur le sujet.

§ 7. Résultat 5 : brises et vents locaux

M. Bouët ¹ traite des vents du Valais, qu'il a étudié essentiellement vers Sierre, dans tout un chapitre de son livre. Voici les conclusions essentielles : Il retient en premier que le climat éolien du pays est caractérisé par : (1) la prédominance des brises alternées de beau temps, d'aval (de vallée, vent anabatique) la journée avec une direction W ou SW et un maximum de vitesse en milieu d'après-midi et d'amont (de montagne, vent catabatique) durant la nuit avec une direction NE et E, surtout durant la saison chaude, (2) la présence occasionnelle, surtout au printemps et en automne, du foehn (du sud), le vent le plus fort de la région et (3) du vent d'aval persistant et renforcé durant le mauvais temps (et je rajoute lorsqu'il y a une nette surpression nord transalpine). Il note également deux directions principales, plus ou moins parallèles à la vallée principale mais grosso modo opposées l'une de l'autre : le vent d'aval (SW à W) et le vent d'amont (E à NE). Le vent d'aval s'observe pendant la brise locale de beau temps durant la journée et le vent d'aval de mauvais temps. Le vent d'amont s'observe pendant la brise locale durant la nuit et le foehn. Les « jours sereins avec les brises locales alternées » ne sont pas précisément définis. M. Bouët explique seulement que la nébulosité et le gradient horizontal de pression atmosphérique sont faibles durant ces journées, sans autre précision quantitative. Il dénombre ainsi en moyenne 8 journées de beau temps en avril (1954-1970). Ce nombre augmente progressivement de mai à septembre : 9, 12, 15, 15, 17. On retrouve la tendance trouvée par la moyenne de nos données de l'analyse FNL (chapitre 3), c'est-à-dire que la chance de rencontrer des jours de beau temps avec des vents faibles augmente d'avril à août. M. Bouët fournit ensuite, pour chaque période de l'année, d'une part le moment de la journée où les brises de beau temps s'inverse d'autre part la moyenne des vitesses de ces brises à Sierre en fonction du moment de la journée. Voir figures 43 et 44.

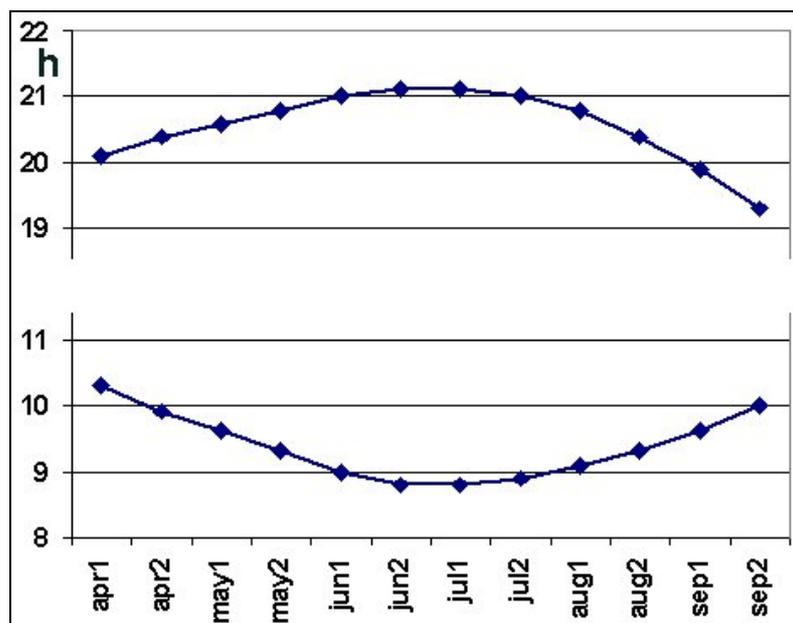


Figure 43 : moment de la renverse des brises de beau temps à Sierre, adapté d'après M. Bouët, à partir de 1500 mesures. En bas, passage du vent d'amont au vent d'aval le matin, en haut passage du vent d'aval au vent d'amont le soir. h = heures de la journée. Par quinzaine de jours.

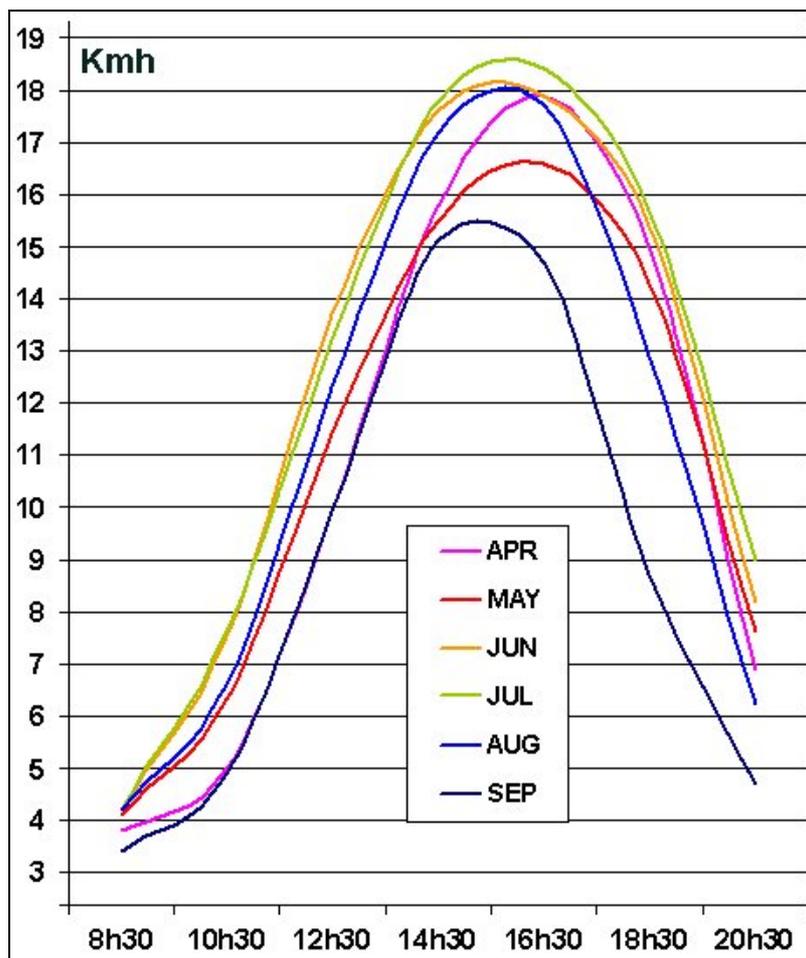


Figure 44 : vitesse moyenne des brises de beau temps à Sierre en fonction de l'heure de la journée et de la période de l'année. Adapté d'après M. Bouët.

Les brises d'aval les plus longues et les plus fortes sont rencontrées en juin et juillet, les brises les plus faibles et les plus courtes en septembre. Il est rassurant et un peu étonnant que la vitesse maximale moyenne soit inférieure à 19 Km/h. alors que le vent de vallée du Rhône, en plein après-midi, a plutôt mauvaise réputation chez les pilotes de parapente. Cela veut dire que si l'on ne vole que dans des conditions calmes (peu de vent synoptique) le vent de vallée devrait être parfaitement gérable, même si ce n'est pas toujours agréable, en dehors des zones de Venturi (Martigny par exemple). Dans le Chablais, la brise d'aval de beau temps, avec une direction N à NW semble un peu plus précoce et plus faible, probablement en relation avec la largeur de la vallée et se termine de façon plus floue (changement de direction NW, SW puis SE). M. Bouët observe en outre que dans les vallées latérales de la chaîne sud (adret) et en amont de Brig, les brises d'aval sont plus faibles. Il décrit aussi pertinemment que dans le Goms (vallée de Conches) les vents descendants prédominent sur les brises d'aval mais son interprétation sur l'origine de ce phénomène est très discutable. Nous verrons juste après pourquoi il y a vent descendant dans le Goms lors des après-midi de beau temps.

Max Bouët décrit ensuite trois vents particuliers du Valais : le vent d'aval (de « mauvais temps »), le Foehn et la Lombarde. Voici l'essentiel commenté dans l'optique du vol libre :

Le **vent d'aval** est un vent de NW à N dans le Chablais et de W à SW dans le Valais, remontant donc la vallée principale du Rhône, plus fort que la brise d'aval de beau temps et durant plus longtemps dans la journée voire jusque dans la nuit. C'est probablement à cause des dangereuses expériences dans ce vent d'aval par des pilotes ne se souciant peu des conditions météo que le vent de vallée a une mauvaise réputation. Comme la brise, le vent d'aval atteint aussi sa vitesse maximale (20-30 Km/h en moyenne) en milieu d'après-midi, vers 16-17 heures, mais est probablement plus rafaleux. Il se produit lorsqu'il existe un flux d'air W ou du NW (surpression transalpine nord) souvent associé à des passages successifs de perturbations (fronts). M. Bouët observe assez justement que lorsque apparaît enfin la bise, sauf si elle est très forte, le régime des brises alternées de beau temps revient. On reviendra un peu plus loin sur ce sujet avec nos propres données.

Je ne vais pas trop m'étaler sur le **Foehn**, traité dans de nombreux ouvrages, et qui ne sera probablement jamais propice au vol libre. Rappelons que l'origine du Foehn est une forte dépression sur l'Europe de l'ouest engendrant un flux d'air sud sur les Alpes avec une nette surpression transalpine sud. Le Foehn se manifeste surtout au printemps et dans une moindre mesure en automne (figure 45).

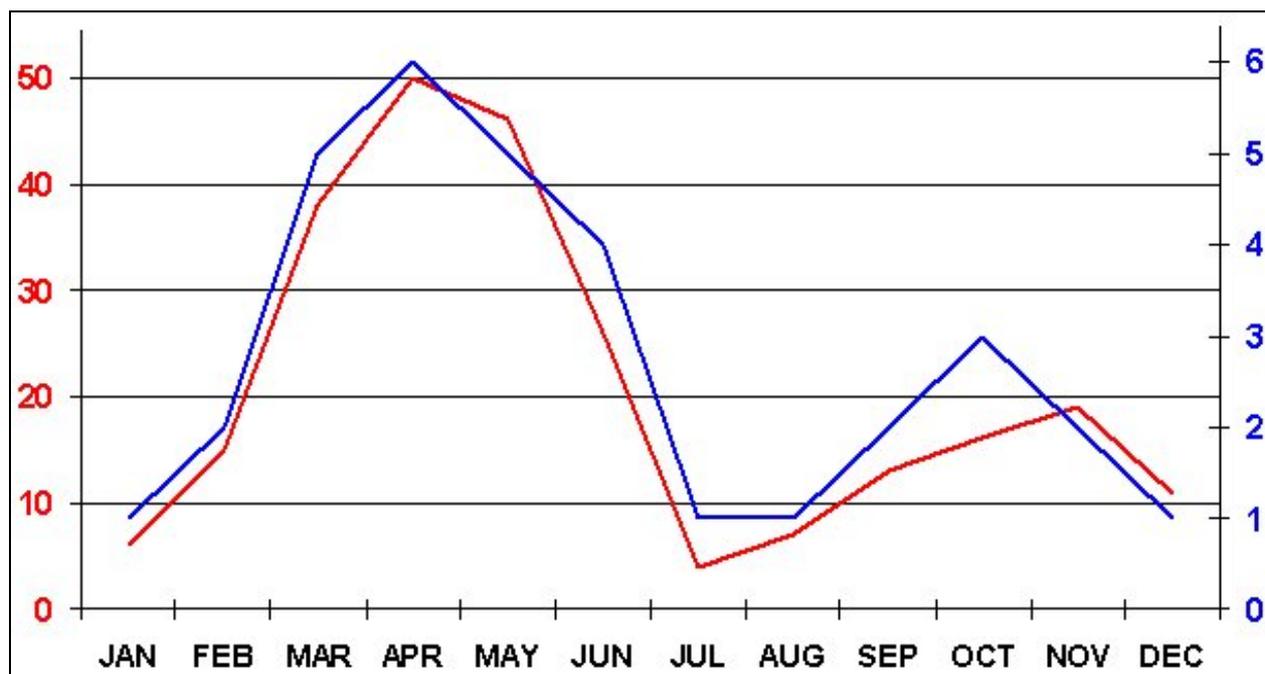


Figure 45 : nombre de jours (en bleu) et d'heures (en rouge) de Foehn par mois. Adapté d'après Max Bouët.

Le Foehn est un vent souvent fort mais surtout irrégulier, turbulent et rafaleux, d'où le danger pour le vol libre. De Brig à Montana souffle un vent E relativement chaud et sec. Dans le Valais central, entre Martigny et Sion, la direction du vent est plus capricieuse, il y a parfois du vent d'aval plus ou moins fort, parfois un calme apparent. En Valais central le ciel est limpide et assez clair avec souvent des nuages lenticulaires en haute altitude, témoins de vents forts avec formation d'ondes. Le « mur de foehn », barrage de nuages orographiques sur la crête sud des Alpes, épargne le Valais central et moins le Haut-Valais. Figure 46.

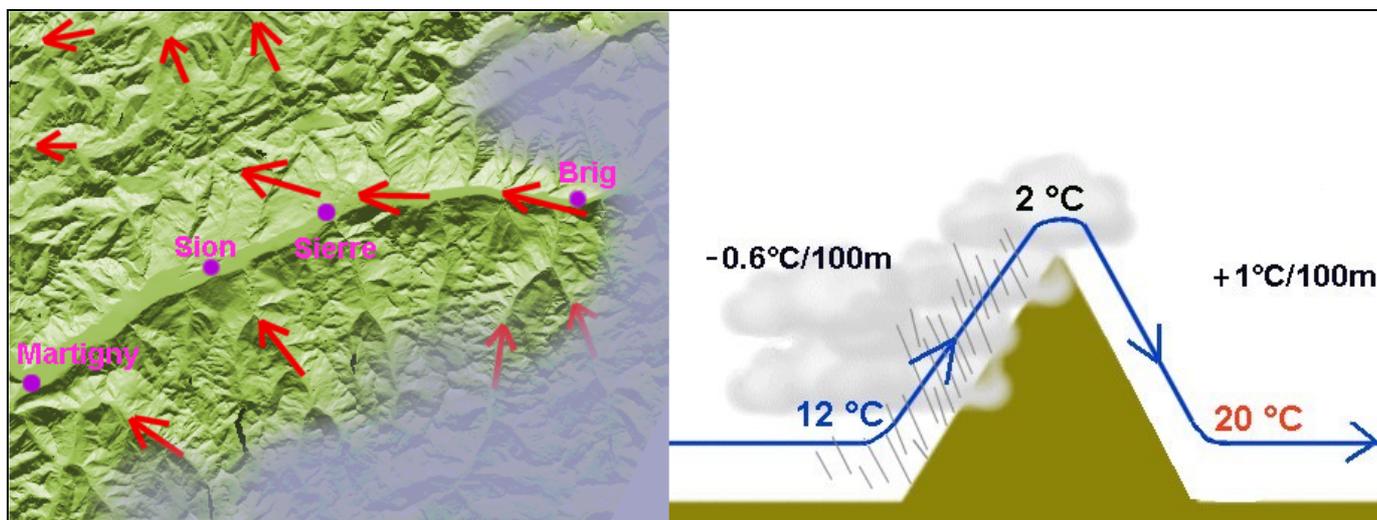


Figure 46 : à gauche, aspect et domaine géographiques typiques du foehn et de son « mur » de nuages au sud. A droite, principe du foehn avec refroidissement pseudoadiabatique humide au vent (nuages et pluies) et réchauffement adiabatique sec sous le vent, expliquant la différence transalpine de température.

La **Lombarde** est un vent E ou SE, faible à fort, soufflant sur l'adret valaisan, surtout à Montana. Dans 90% des cas la Lombarde est associée au Foehn et a donc la même origine. « Il n'y a pas de Foehn à Sierraz sans lombarde préalable à Montana » affirme M. Bouët. Vercorin serait plutôt protégé par la Lombarde. Ce vent est plus durable que le Foehn. Outre l'origine typiquement foehnique, la Lombarde a pour origine, dans 10% des cas, les situations dites d'« est » où un anticyclone se trouve sur l'Europe du nord ou de l'est avec ou sans dépression associée sur l'Italie. Dans ce cas, les vents dans le Haut-Valais ressemblent dans leur direction au Foehn mais ce n'est pas du vrai Foehn puisqu'on a plutôt une surpression transalpine nord. Les vents sont en général moins forts et les conditions de vol peuvent même être acceptables si le vent synoptique reste faible. La bise peut même souffler simultanément sur le Plateau, prouvant que ce n'est pas du vrai Foehn mais ce qui déroutait souvent les pilotes qui ne comprennent pas qu'on puisse avoir du « Foehn » et de la bise en même temps.

Dans l'atlas suisse de climatologie ⁵, deuxième fascicule, une journée anticyclonique est étudiée en détail. La structure thermique verticale de cette journée est présentée à la figure 20. La figure 47 montre la répartition schématique de la pression au sol durant cette journée vers 12h00 UTC.

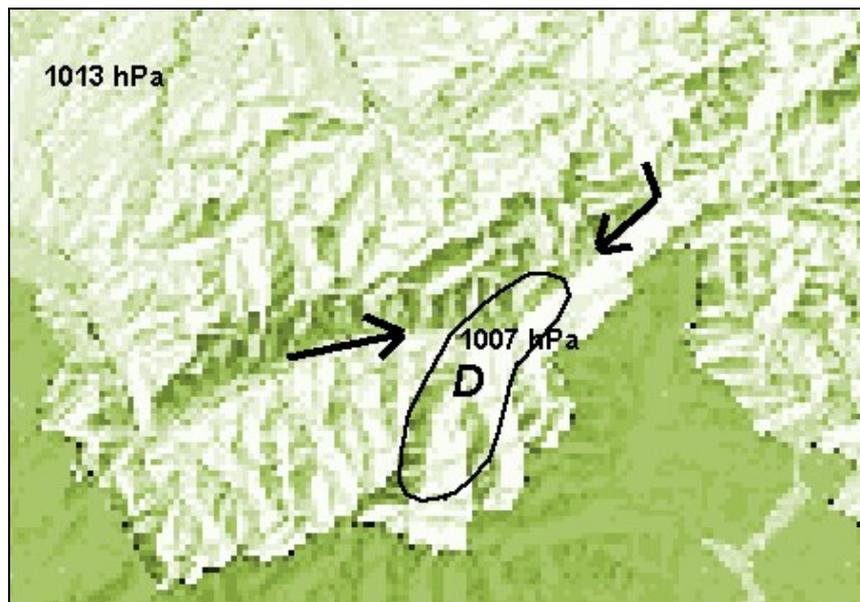


Figure 47 : schéma de la carte des pressions au sol d'une situation anticyclonique, le 21 juin 1979 vers 12h00 UTC. Adapté d'après l'atlas suisse de climatologie, 2^{ème} fascicule.

Une dépression thermique se forme et s'étend entre Fiesch et Zermatt durant les journées ensoleillées de la belle saison. Elle marque en quelque sorte la région où le réchauffement alpin est maximal. Les différences de pressions entre le Plateau et le Haut-Valais peuvent dépasser 5 hPa. La position de la dépression thermique explique pourquoi il y a vent de vallée en aval (Valais central) et vent descendant, depuis le Grimsel, en amont (Goms). Il y a donc une explication thermodynamique aux observations exactes de M. Bouët et des paysans du coin. D'après la loi de Coriolis, les flux d'air devraient entrer dans la dépression en tournant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre autour de la dépression. Dans les Alpes, les vallées canalisent cependant les flux d'air et leur imposent une direction.

Après leur considération sur la structure thermique du Goms, B. Neiningger et O. Liechti fournissent une étude et des réflexions très intéressantes des vents dans la même région. Premièrement ils confirment par des mesures et calculs statistiques que les vents dominants sont descendants (NE) dans le Goms. Ces vents sont les plus forts et les plus irréguliers entre 15h00 et 19h00 local. Voir figure 48. Deuxièmement, grâce à 73 sondages durant les étés 1979 à 1981, lors de vents descendants (NE) à Ulrichen, 3 couches sont identifiées dans le Goms. La première entre le sol (1300 m.) et 2000 m. dans laquelle souffle le vent descendant du NE, la deuxième entre 2000 et 3000 m. dans laquelle souffle dans 90 % des cas un contreflux compensateur du SW et la dernière depuis 3000 m. où dominent les vents synoptiques (par exemple NW).

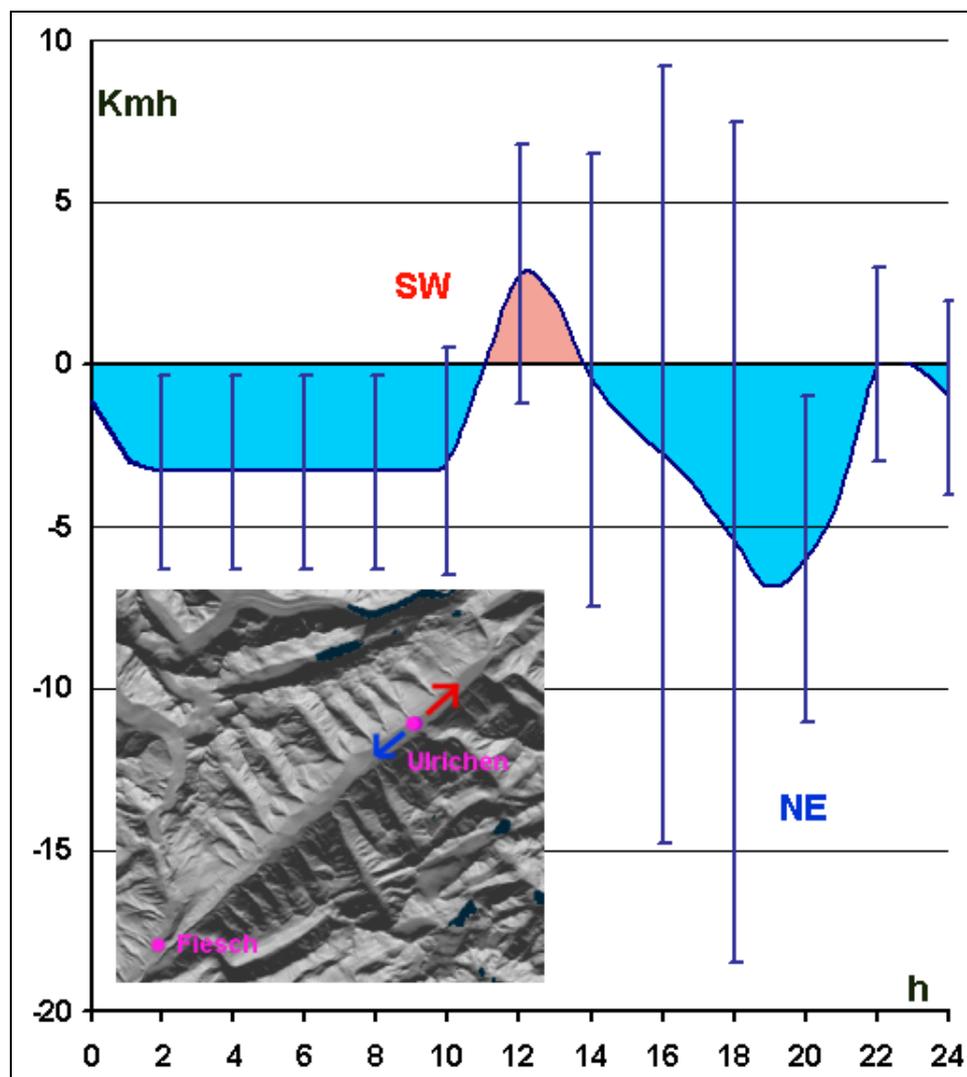


Figure 48 : direction et force moyennes des vents vers Ulrichen, lors de 32 journées ensoleillées de juillet et août 1981. Les traits verticaux représentent les écarts-types. Plus ils sont grands et plus le vent est irrégulier. Adapté et modifié (lissé) d'après Neiningner.

Revenons à nos propres données. Le but est de savoir si l'on peut faire des déductions climatologiques sur les brises locales à partir des données modélisées. Au chapitre 3 (évolution générale des paramètres atmosphériques) il est question uniquement des paramètres FNL. Maintenant on compare les vents synoptiques de FNL avec les vents locaux et la répartition horizontale des pressions. Le collectif choisi est celui des jours avec une nébulosité synoptique FNL totale, au-dessus de Payerne à 12h00 UTC, inférieure à 35%. Cela fait en tout 339 jours. Tout d'abord confirmons statistiquement le bon sens. Plus les vents synoptiques sont faibles en basse couche (850 hPa) et plus ils sont faibles aussi à 700 hPa, et vice-versa. Voir figure 49.

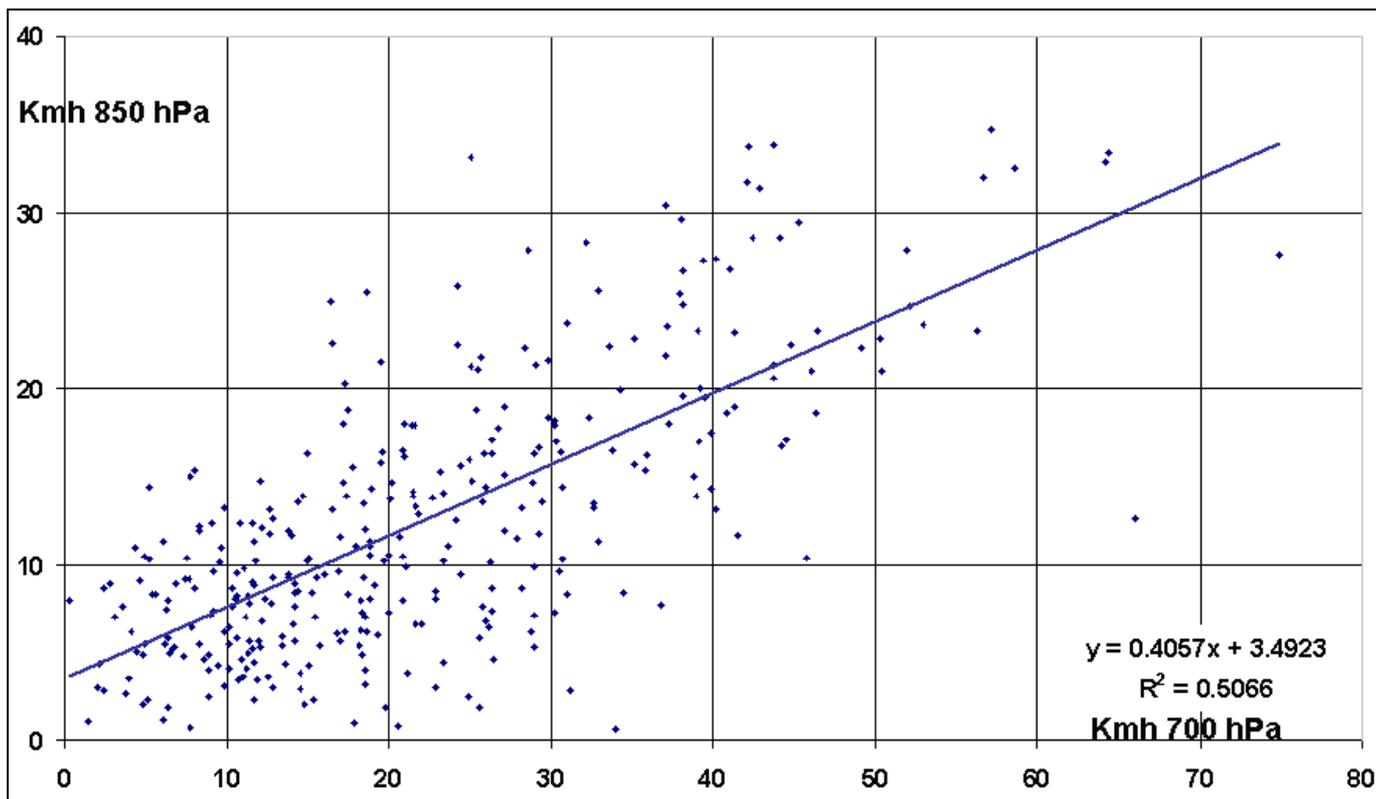


Figure 49 : relation entre la force du vent à 850 hPa et celle à 700 hPa. La tendance générale est donnée par la droite de régression. Collectif de 339 jours avec une nébulosité synoptique FNL totale, au-dessus de Payerne à 12h00 UTC, inférieure à 35%.

Grosso modo, les vents à 700 hPa sont environ deux fois plus forts qu'à 850 hPa.

Deuxièmement, comparons les différences horizontales transalpines de pression avec les directions et forces du vent synoptique FNL à 850 hPa. L'idée de base est la suivante : Plus la différence de pression est grande (ou plus les isobares ou isohypses sont proches les unes des autres) plus les vents synoptiques sont forts et vice-versa. C'est une loi élémentaire de la météorologie. Mais on peut raisonner de façon inverse. Plus les vents synoptiques sont faibles dans les basses couches et plus la différence de pression entre deux points, en l'occurrence transalpine, est faible. Voir figure 50. Cette relation est très importante car, si elle fonctionne, elle permet d'évaluer indirectement la différence de pression via 2 facteurs FNL, la direction et la force du vent à 850 hPa, sans devoir télécharger toutes les cartes synoptiques de pression, ce qui serait très fastidieux. Or justement les figures 51 et 52 montrent que cette relation est assez convaincante. On pourrait donc presque se passer du petit barogramme de Météosuisse. « Presque » car la figure 52 montre que la corrélation entre vitesses du vent à 850 hPa et différence de pression n'est pas excellente. Le mieux est donc de s'assurer que la différence de pression **et** les vitesses des vents soient faibles avant d'aller tenter un vol dans les Alpes.

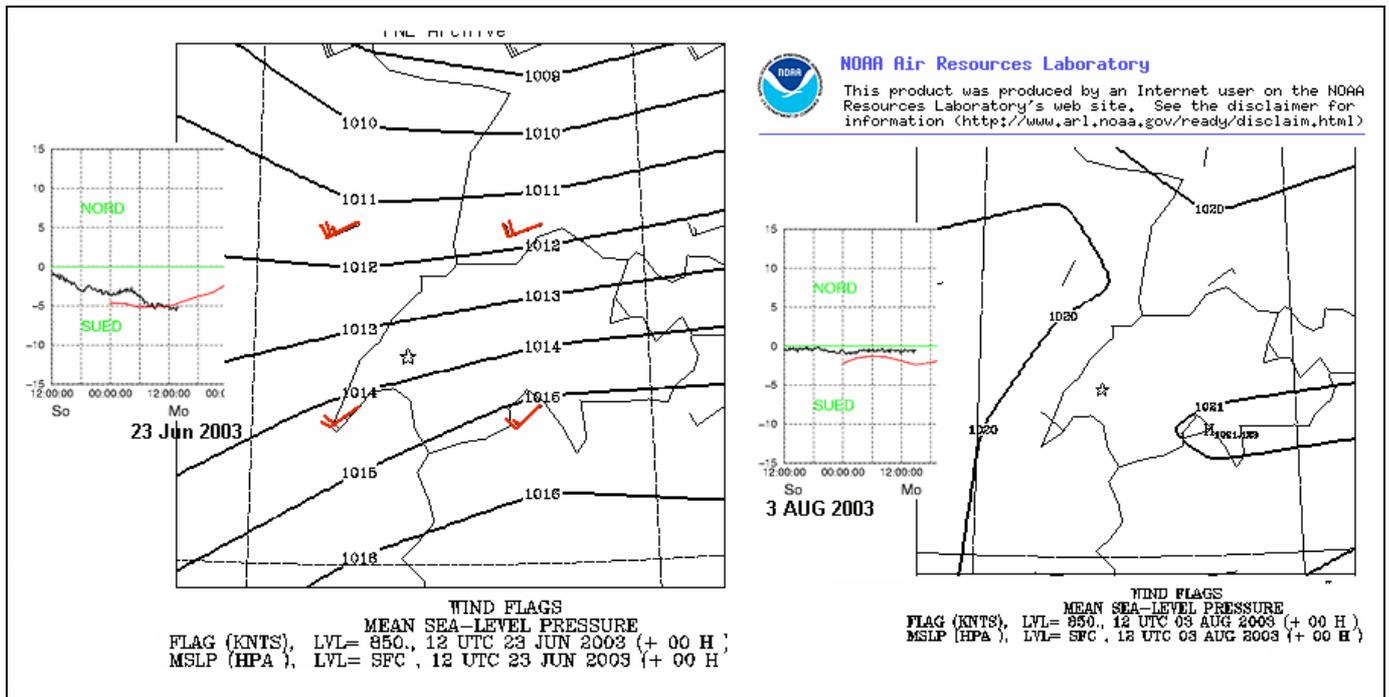


Figure 50 : exemples (23 juin et 3 août 2003) de relation entre le petit barogramme de MétéoSuisse et la carte synoptique FNL (vents à 850 hPa et pression au niveau de la mer à 12h00 UTC). A gauche différence de pression de -5 hPa (surpression sud), isobares 1 hPa serrées (4 passant sur la Suisse) et vents SW forts (15-20 kts). A droite, pas de différence transalpine de pression significative, répartition plate des isobares et vents très faibles (moins de 5 kts). Sur les barogrammes, les courbes rouges sont les courbes prévues par le modèle suisse (aLMo) et les courbes noires sont les courbes provenant des mesures de stations (Zürich et Locarno).

La figure 51 montre que lorsque la différence transalpine de pression se situe entre 0 et +3 hPa (légère surpression nord) il y a presque autant de vents à 850 hPa du secteur nord que du secteur sud. Lorsqu'il s'agit d'une surpression sud (différence négative) les vents du secteur sud prédominent nettement à 850 hPa. Par contre, les vents du secteur nord prédominent lorsque la différence de pression est supérieure à 3 hPa (nette surpression nord).

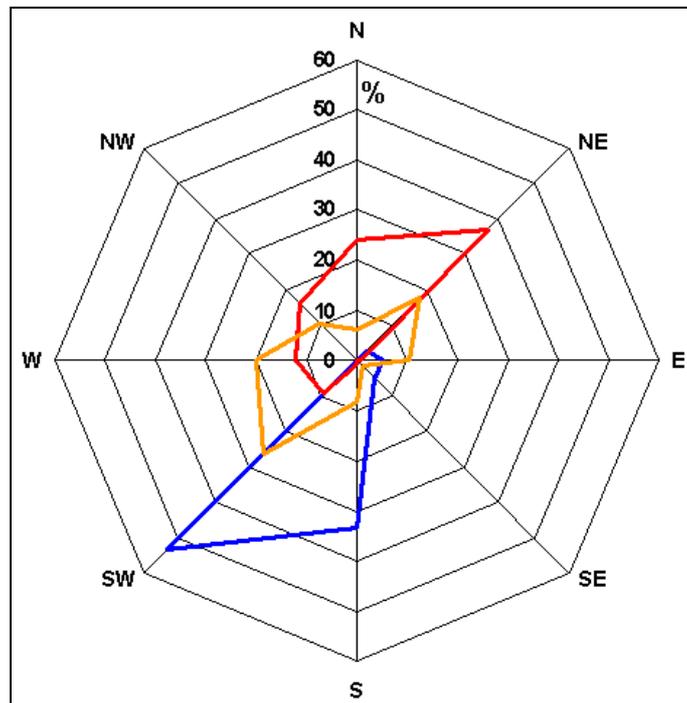


Figure 51 : relation entre direction du vent synoptique FNL à 850 hPa et différence transalpine mesurée de pression à 12h00 UTC. En rouge, la rose des vents (fréquence relative des directions) avec surpression nord > 3 hPa (33% des cas). En orange, la rose des vents avec différence de pression entre 0 et +3 hPa (44% des cas). En bleu, rose des vents avec surpression transalpine sud (différence inférieure à 0 hPa, 23% des cas).

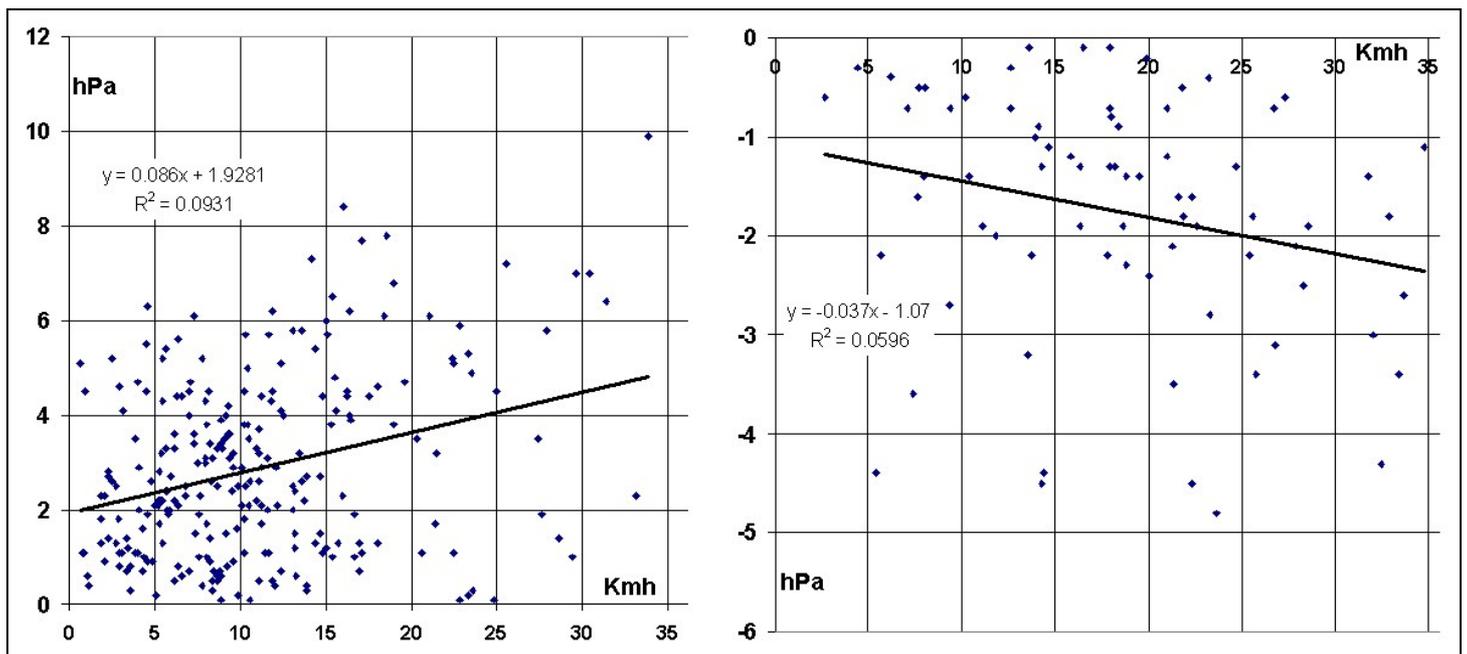


Figure 52 : relation entre la force du vent synoptique FNL à 850 hPa au-dessus de Payerne et la différence transalpine mesurée de pression (Zurich-Locarno) Payerne à 12h00 UTC. A gauche pour les cas de surpression nord (différence positive), à droite pour les cas de surpression sud (différence négative).

Troisièmement et finalement, il est intéressant d'essayer de prévoir la tendance générale des brises locales à mésoéchelle, notamment au fond des vallées, à partir et à l'aide de la tendance synoptique de l'atmosphère issue du modèle FNL-GFS. Les figures 53 à 61 montrent la climatologie éolienne (mesures) au niveau des stations météorologiques du Valais, soit la tendance locale du vent (direction et force) selon la nature du vent synoptique FNL à 850 hPa au-dessus de Payerne lorsque la nébulosité synoptique à cet endroit est inférieure à 35%, c'est-à-dire lorsqu'il y a plutôt du beau temps sur les Alpes suisses. On trouve ainsi un collectif de 338 jours répondant à ce critère. Dommage qu'il n'existe pas de stations à Brig et au Simplon. Les données à ces deux endroits auraient été pourtant très instructives.

Le premier groupe à étudier est celui des jours à vents synoptiques faibles (46 % du collectif). Les différences de pression transalpines sont généralement faibles mais avec le plus souvent une légère surpression nord. Ce collectif est censé représenter les jours de brises locales à rythme nyctéméral mais il n'est pas très facile de choisir la limite des vitesses du vent synoptique pour définir précisément ce groupe. En effet, en examinant et comparant les figures 53 et 60, correspondant respectivement à des jours à faibles et très faibles vents synoptiques, on peut observer malgré tout des différences discrètes entre les deux schémas de vents locaux. Tout se passe comme s'il n'existait pas de jour soumis uniquement à des brises locales et que le moindre vent synoptique, qui est pratiquement toujours présent, influence invariablement, discrètement à fortement, ces brises. Cependant, on peut dresser une tendance générale de la force et de la direction des vents locaux lors de situation proche de l'idéal, c'est-à-dire sans vent synoptique. Voir figures 53 et 60. Au fond de la vallée principale, jusqu'à Brig, souffle un vent d'aval modéré : à Aigle vents de N à NW 11-12 Kmh, à Sion vents de SW à W, 14 Kmh, à Fey vents de W, sensiblement plus forts qu'à Sion, 21-22 Kmh, à Visp vents W 14-16 Kmh. En amont de Fiesch, à Ulrichen, souffle un vent contraire descendant E à NE, 10 -12 Kmh. Dans les hautes vallées latérales et secondaires soufflent un vent de vallée plus ou moins parallèle à l'axe de la vallée, classiquement plus faible, comme le décrit M. Bouët ¹, que le vent de la vallée principale (Rhône). Dans notre étude, il n'y a que la station de Zermatt qui représente les vallées latérales. Ici règne quasi exclusivement un vent du NE, mais étonnement fort : en moyenne près de 20 Kmh, donc nettement plus que dans les stations de la vallée du Rhône. Autrement dit, il faut se méfier en tout cas autant de la brise montante des petites vallées latérales que du vent de vallée de Visp, par exemple. Les stations de Montana et d'Evolène-Villa (qui se trouve à l'ouest et au-dessus d'Evolène) représentent les pentes des vallées. Il est donc logique qu'on y rencontre des brises de pentes montantes vers 12h00 UTC : à Montana une brise du secteur S-SW et à Evolène-Villa une brise W, les deux aux alentours de 10 Kmh en moyenne. Finalement, pour les cols en haute altitude : Grimsel, Grand-St-Bernard et Jungfrauoch, les vents sont assez forts (environ 20 Kmh. en moyenne), canalisés (effet Venturi) et dirigés de l'extérieur vers l'intérieur du Valais : souvent NW au Jungfrauoch, presque exclusivement E au Grand-St-Bernard et N au Grimsel. Tout se passe comme si le Valais, durant les journées ensoleillées, aspire l'atmosphère environnante, d'où la dépression thermique en son centre.

Les figures 54 à 59 montrent le schéma des vents locaux lorsque les vents synoptiques à 850 hPa sont modérés à forts. Pour les vents synoptiques de N et de NE (17% du collectif), correspondant très souvent à des situations de bise avec une surpression transalpine nord en moyenne de 4 à 5 hPa, le schéma des vents locaux en Valais changent peu, comme l'a observé M. Bouët ¹. Notons cependant un vent d'aval légèrement renforcé dans la vallée principale jusqu'à Brig et surtout un vent descendant à Ulrichen sensiblement plus fort. Les brises de

pentons à Evolène-Villa et à Montana) semblent peu touchées mais les vents du N au Jungfrauoch et d'E au Grand-St-Bernard sont nettement plus forts.

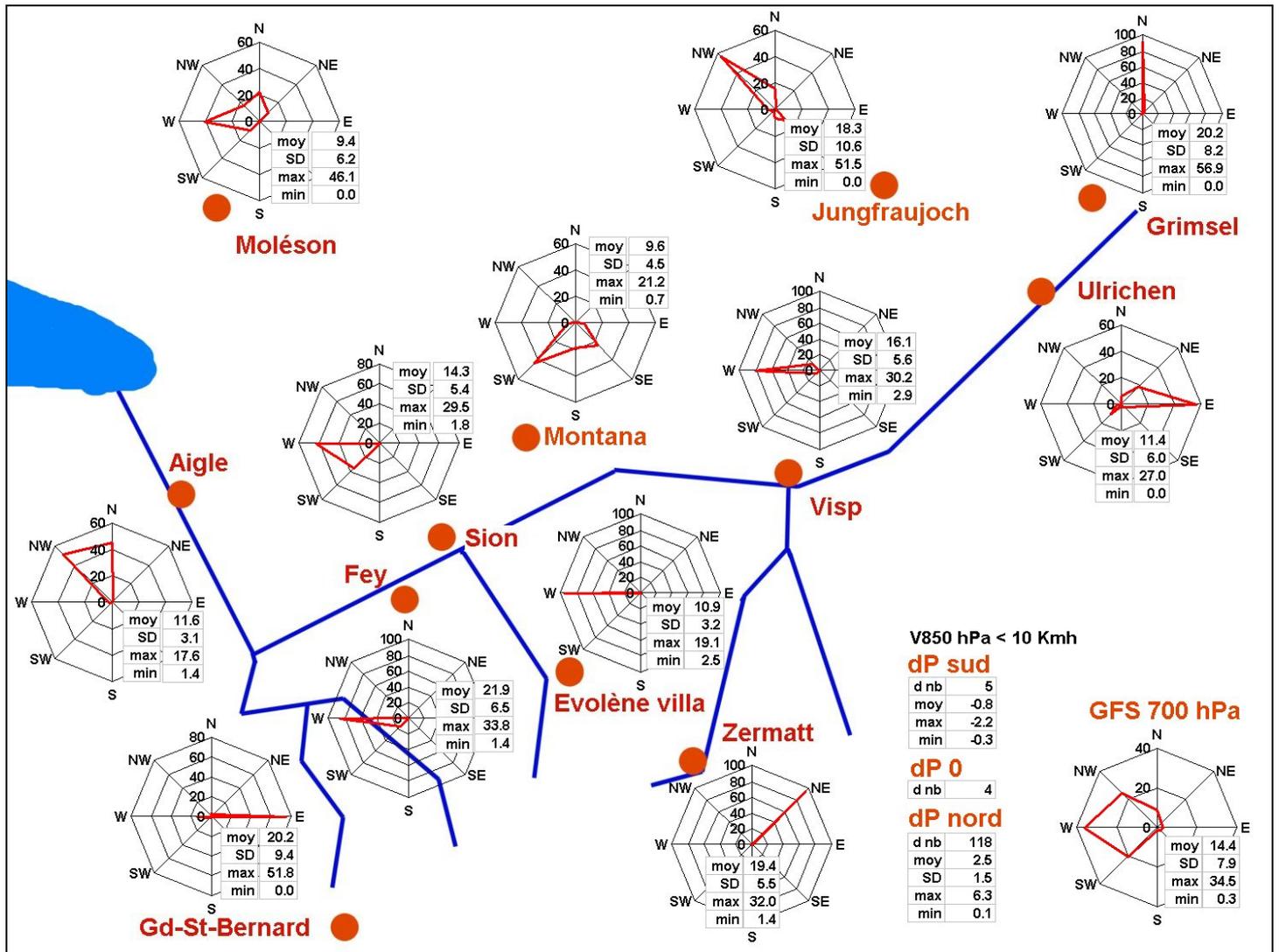


Figure 53 : climatologie éolienne (mesures de la direction et de la vitesse du vent) des stations valaisannes, lorsque les vents synoptiques FNL à 850 hPa au-dessus de Payerne sont **faibles** (vitesse < 10 Km/h) **quelque soient leurs directions** et que la nébulosité générale à cet endroit est inférieure à 35%, à 12h00 UTC. En bas à droite statistique des différences horizontales transalpines de pression (mesures des stations Zurich-Locarno) et rose des vents des vents synoptiques FNL à 700 hPa. à 12h00 UTC également. Moy=moyenne. SD= déviation standard.

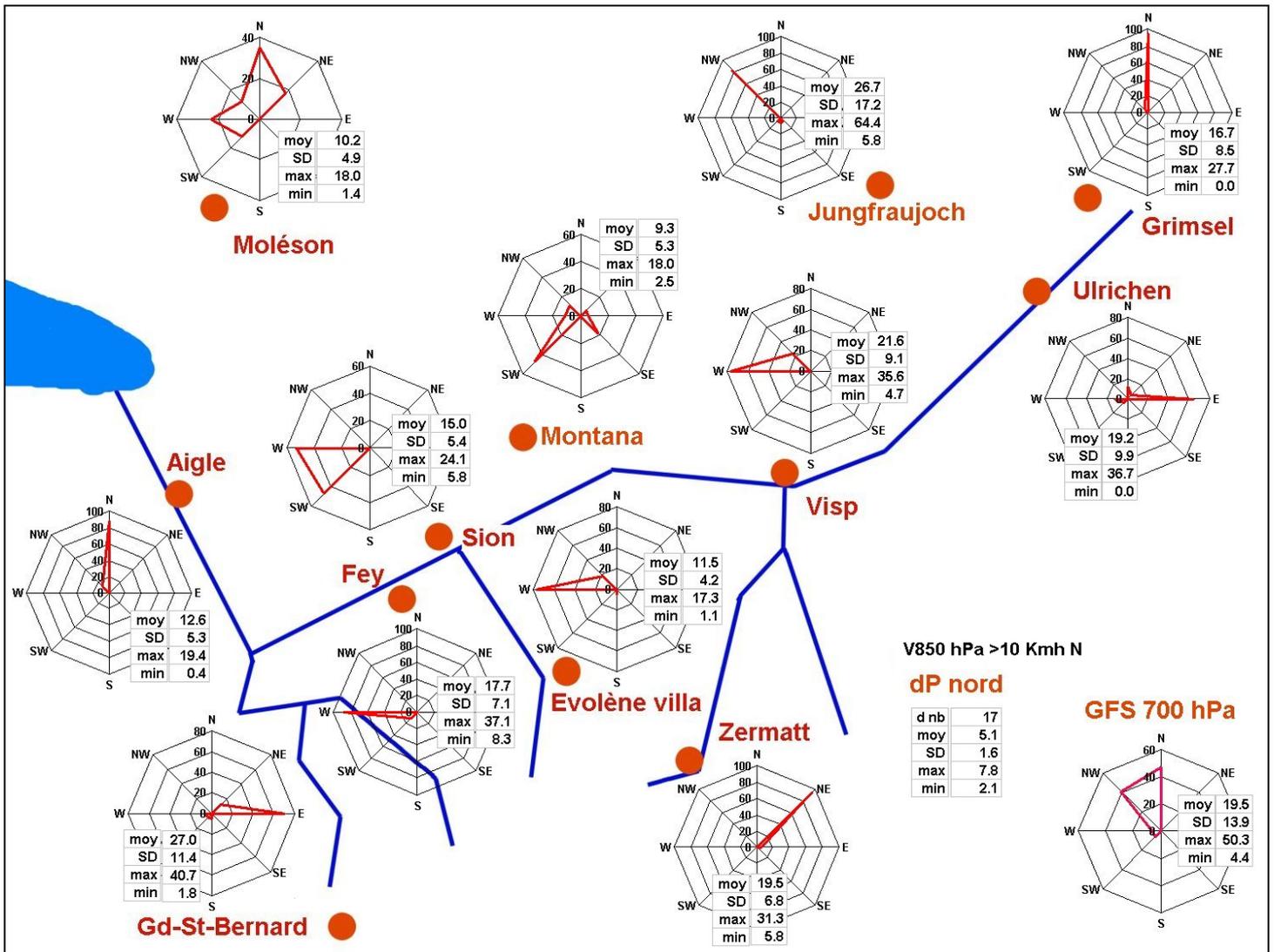


Figure 54 : climatologie éolienne (mesures de la direction et de la vitesse du vent) des stations valaisannes, lorsque les vents synoptiques FNL à 850 hPa au-dessus de Payerne sont **modérés à forts** (vitesse > 10 Km/h) du **secteur nord** et que la nébulosité générale à cet endroit est inférieure à 35%, à 12h00 UTC. En bas à droite statistique des différences horizontales transalpines de pression (mesures des stations Zurich-Locarno) et rose des vents des vents synoptiques FNL à 700 hPa. à 12h00 UTC également.

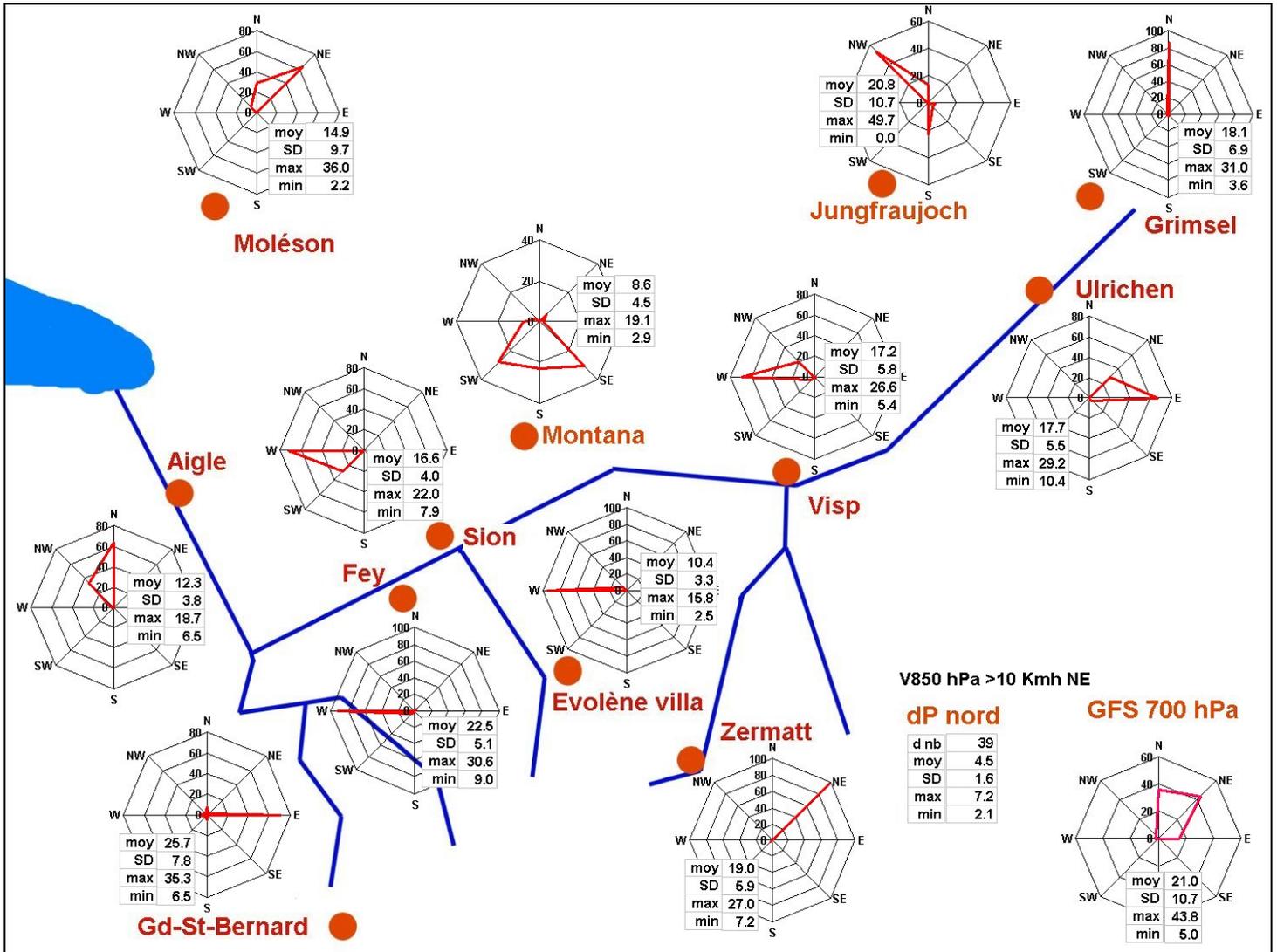


Figure 55 : climatologie éolienne (mesures de la direction et de la vitesse du vent) des stations valaisannes, lorsque les vents synoptiques FNL à 850 hPa au-dessus de Payerne sont **modérés à forts** (vitesse > 10 Km/h) du **secteur NE** et que la nébulosité générale à cet endroit est inférieure à 35%, à 12h00 UTC. En bas à droite statistique des différences horizontales transalpines de pression (mesures des stations Zurich-Locarno) et rose des vents des vents synoptiques FNL à 700 hPa. à 12h00 UTC également.

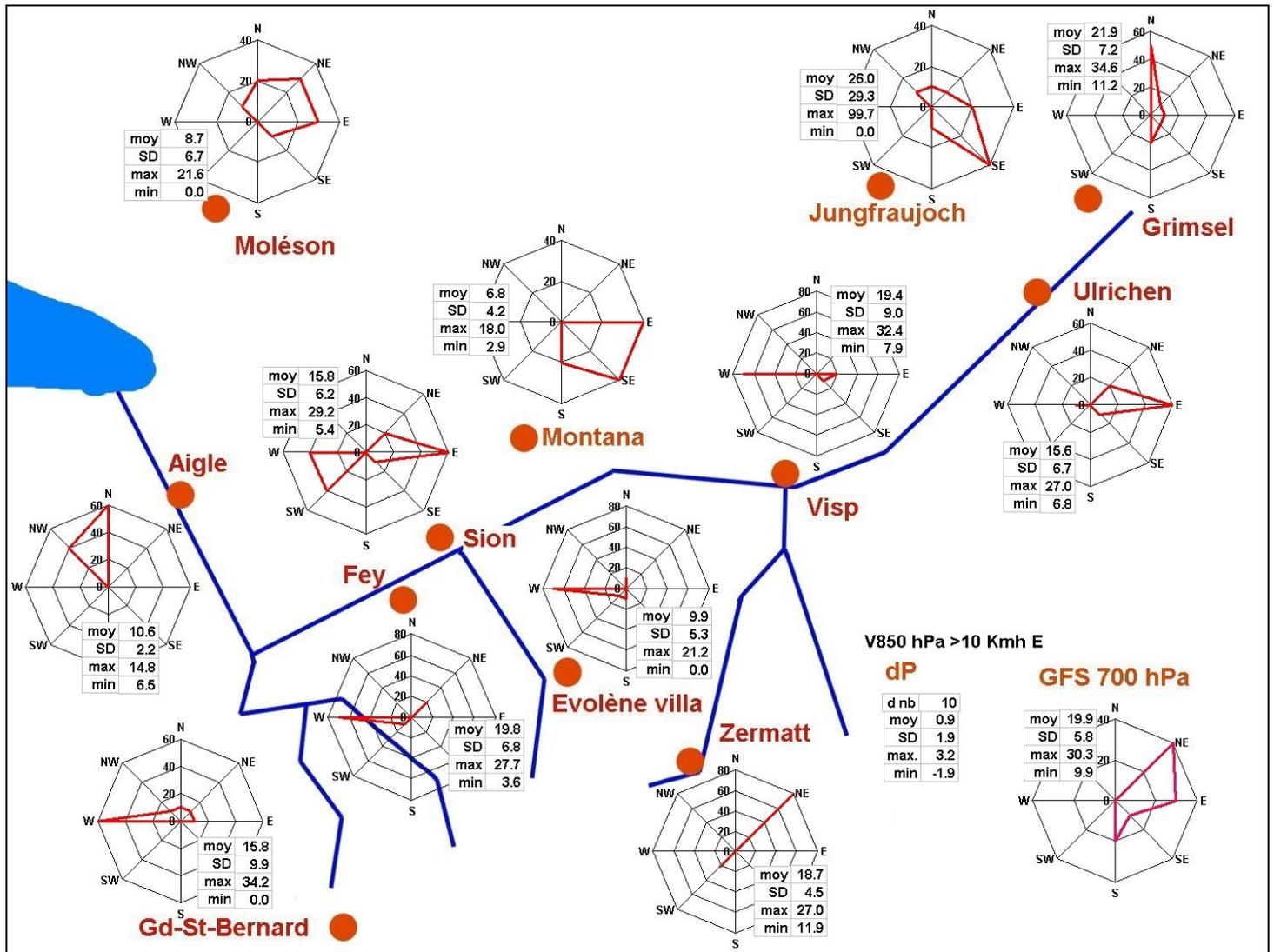


Figure 56 : climatologie éolienne (mesures de la direction et de la vitesse du vent) des stations valaisannes, lorsque les vents synoptiques FNL à 850 hPa au-dessus de Payerne sont **modérés à forts** (vitesse > 10 Km/h) du **secteur E** et que la nébulosité générale à cet endroit est inférieure à 35%, à 12h00 UTC. En bas à droite statistique des différences horizontales transalpines de pression (mesures des stations Zurich-Locarno) et rose des vents des vents synoptiques FNL à 700 hPa. à 12h00 UTC également.

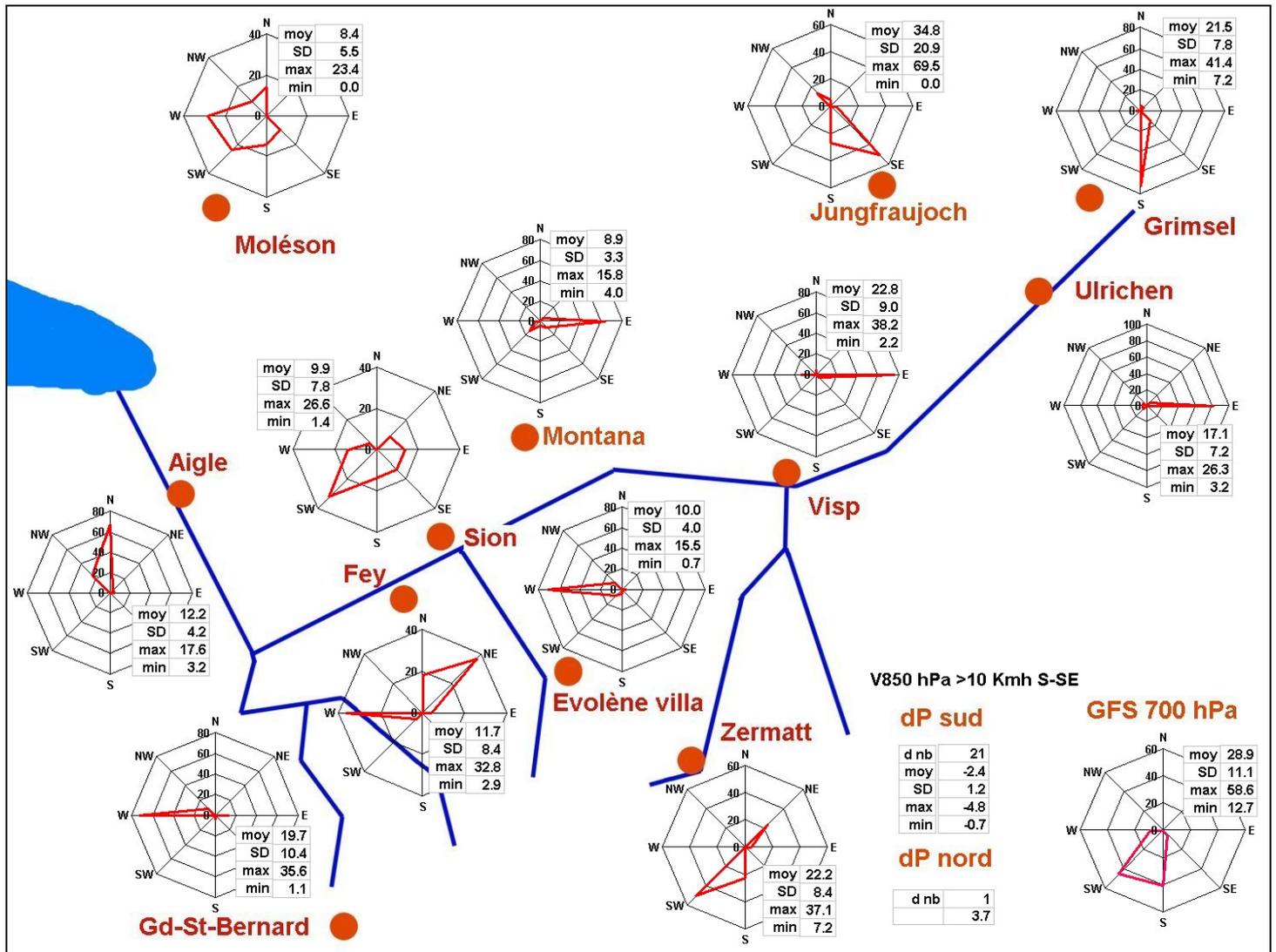


Figure 57 : climatologie éolienne (mesures de la direction et de la vitesse du vent) des stations valaisannes, lorsque les vents synoptiques FNL à 850 hPa au-dessus de Payerne sont **modérés à forts** (vitesse > 10 Km/h) du **secteur S-SE** et que la nébulosité générale à cet endroit est inférieure à 35%, à 12h00 UTC. En bas à droite statistique des différences horizontales transalpines de pression (mesures des stations Zurich-Locarno) et rose des vents des vents synoptiques FNL à 700 hPa. à 12h00 UTC également.

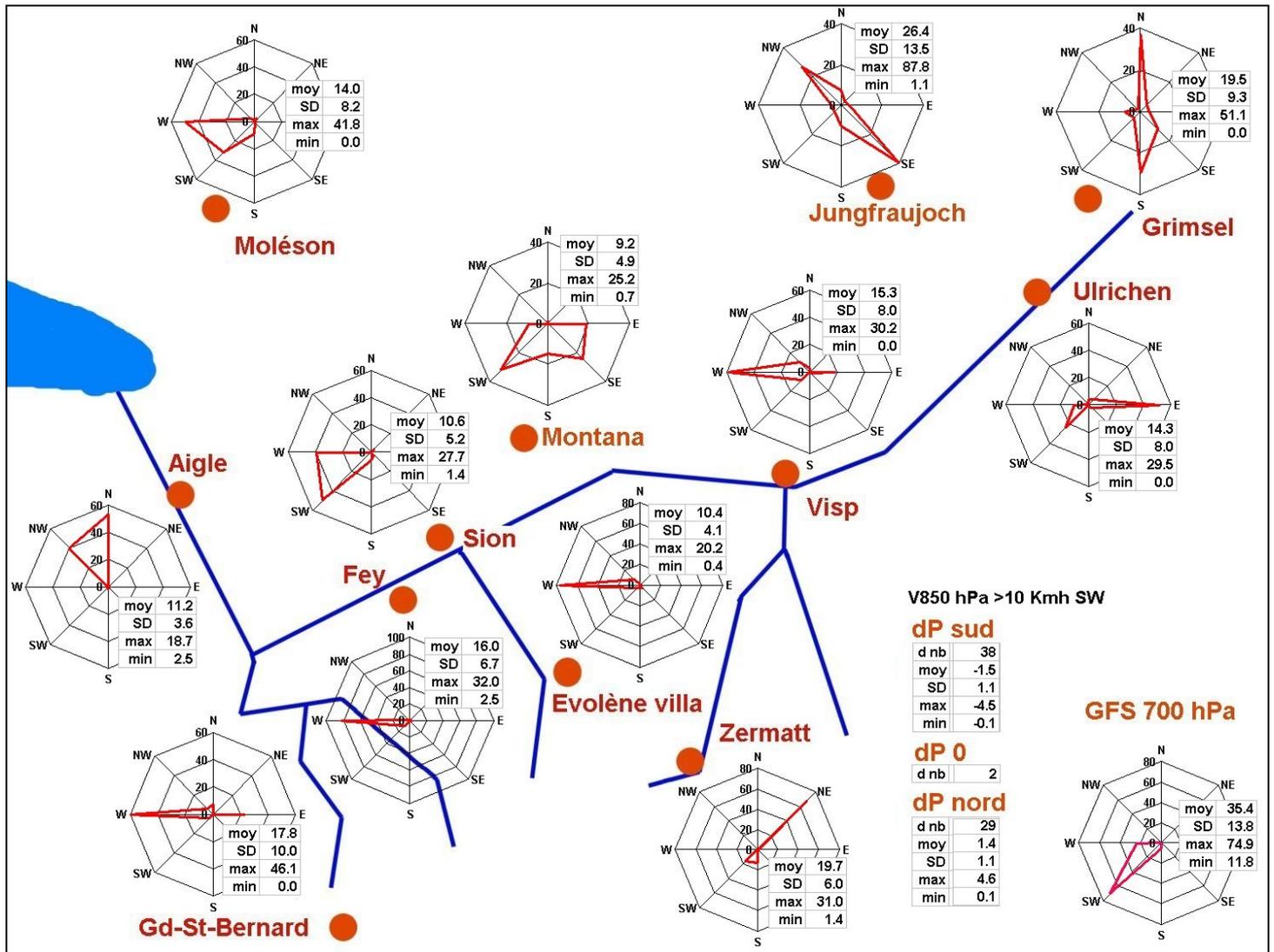


Figure 58 : climatologie éolienne (mesures de la direction et de la vitesse du vent) des stations valaisannes, lorsque les vents synoptiques FNL à 850 hPa au-dessus de Payerne sont **modérés à forts** (vitesse > 10 Km/h) du **secteur SW** et que la nébulosité générale à cet endroit est inférieure à 35%, à 12h00 UTC. En bas à droite statistique des différences horizontales transalpines de pression (mesures des stations Zurich-Locarno) et rose des vents des vents synoptiques FNL à 700 hPa. à 12h00 UTC également.

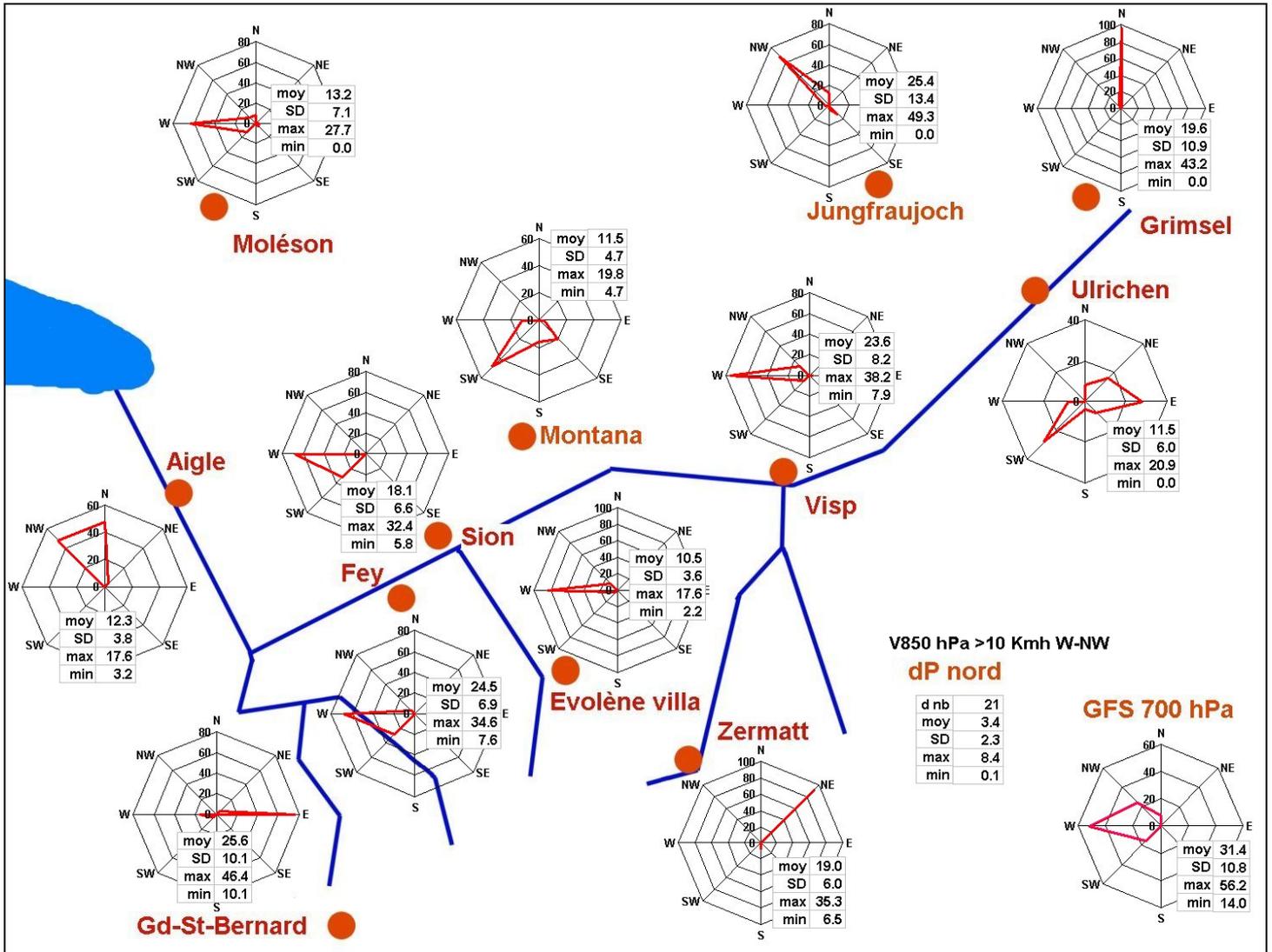


Figure 59 : climatologie éolienne (mesures de la direction et de la vitesse du vent) des stations valaisannes, lorsque les vents synoptiques FNL à 850 hPa au-dessus de Payerne sont **modérés à forts** (vitesse > 10 Km/h) du **secteur W-NW** et que la nébulosité générale à cet endroit est inférieure à 35%, à 12h00 UTC. En bas à droite statistique des différences horizontales transalpines de pression (mesures des stations Zurich-Locarno) et rose des vents des vents synoptiques FNL à 700 hPa. à 12h00 UTC également.

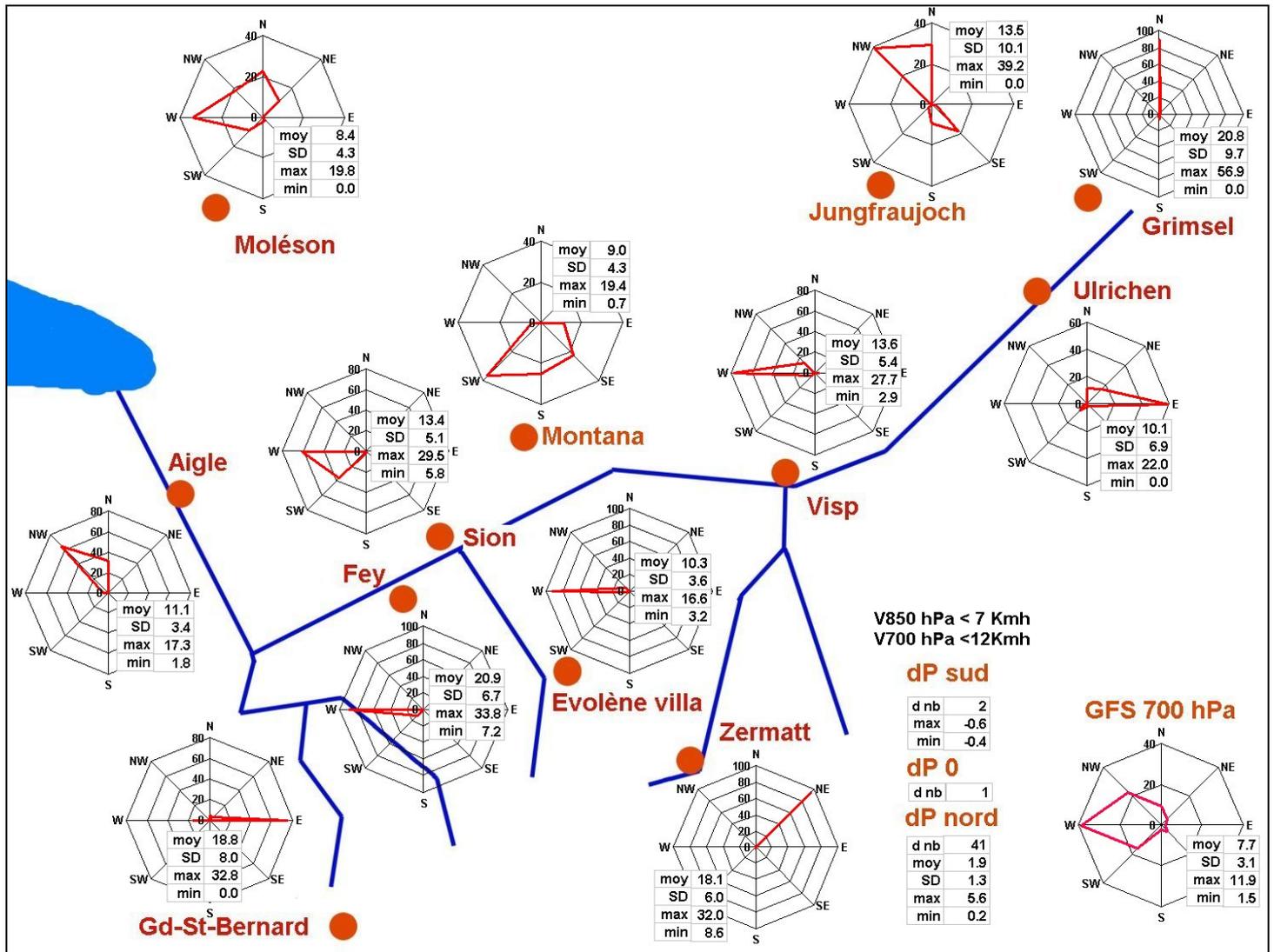


Figure 60 : climatologie éolienne (mesures de la direction et de la vitesse du vent) des stations valaisannes, lorsque les vents synoptiques FNL à 850 et 700 hPa au-dessus de Payerne sont **très faibles** (vitesses respectivement < 7 et 12 Km/h) **quelque soient leurs directions** et que la nébulosité générale à cet endroit est inférieure à 35%, à 12h00 UTC. En bas à droite statistique des différences horizontales transalpines de pression (mesures des stations Zurich-Locarno) et rose des vents des vents synoptiques FNL à 700 hPa. à 12h00 UTC également.

Pour les vents synoptiques à 850 hPa du secteur E, qui correspondent aux situations plutôt rares d'E (3% du collectif) avec en général de faibles différences transalpines de pression, les choses changent passablement. Au Grand-St-Bernard, les vents viennent d'W, à contre-courant, alors qu'ils soufflaient d'E jusqu'à maintenant. Au Jungfrauoch les vents se renforcent un peu et soufflent du SE. Au Grimsel, les vents viennent du N dans 2/3 des cas sinon ils soufflent du S. Les brises de pente ne semblent pas trop perturbées puisqu'elles sont du secteur sud à Montana mais plus avec une composante E (Lombarde) et du secteur W à Evolène-Villa. A Aigle, à Ulrichen et à Zermatt, les vents locaux habituels sont imperturbables (N-NW à Aigle, E à Ulrichen et NE à Zermatt). A Fey et à Sion, il souffle tantôt du secteur W, tantôt du secteur E et à Visp, dans 1/4 des cas il souffle d'E. A ce niveau, le vent de vallée est donc assez perturbé.

Pour les vents synoptiques du secteur SE-S (7% du collectif) avec des surpression transalpines variables (sud ou nord, faibles ou fortes), correspondant assez souvent à des situations de Foehn ou de tendance Foehn, les vents se renforcent souvent nettement au Jungfrauoch et soufflent presque exclusivement du secteur S, comme au Grimsel. Au Grand-St-Bernard, on rencontre à nouveau le vent d'W, à contre-courant. A Sion et à Fey, on trouve tantôt des vents du secteur E, tantôt des vents « de vallée » du secteur W, mais ils semblent sensiblement plus faibles que lors des brises de « beau temps ». Cela correspond assez bien à la zone « calme » entre Martigny et Sion dans les situations de Foehn décrite par M. Bouët ¹. A Ulrichen, Visp et Montana les vents sont presque toujours du secteur E modérés dans les vallées et plus faibles à Montana (Lombarde). A Evolène-Villa la brise locale W de pente semble peu perturbée. A Zermatt par contre il souffle un vent descendant parfois fort dans 2/3 des cas correspondant à des manifestations de Foehn.

Pour les vents synoptiques du secteur SW (20% du collectif), correspondant assez souvent aussi à des situations de Foehn ou de tendance Foehn, il souffle tantôt du secteur S tantôt du secteur N au Jungfrauoch et au Grimsel parfois assez fort. A Aigle, Sion et Fey, souffle un vent de vallée plutôt un peu ralenti à Sion et à Fey. A Visp le vent de vallée (W) souffle dans environ 80% des cas et dans le 20% des cas restant il souffle d'E (descendant). A Montana et à Evolène-Villa, les brises de pentes sont peu perturbées quoiqu'à Montana la composante E (Lombarde) est un peu plus marquée que lors de journée à brise normale (plutôt SW dans ce dernier cas). A Ulrichen, il y a un vent d'aval (SW) dans 20 % des cas et à Zermatt (NE) dans plus de 90 %.

Pour les vents synoptiques du secteur W à NW (7% du collectif) avec des surpressions transalpines invariablement nord, faibles à très fortes (0.1 à plus de 8 hPa), correspondant souvent à des situations d'ouest, avec passages successifs de perturbations, le vent d'aval dans la vallée principale du Rhône est nettement renforcé, comme le souligne M. Bouët ¹. Cependant, il faut se rappeler que pour nos données, on ne considère que le collectif des jours à nébulosité synoptique faible (<35%), ce qui élimine les jours de fort mauvais temps (passage de fronts actifs) où le vent est probablement encore plus fort. A Ulrichen souffle tantôt un vent d'aval continuant celui de la grande vallée, tantôt d'amont (E). Pour les stations d'altitude : Grimsel, Montana, Evolène-Villa, Zermatt et Grand-St-Bernard, la direction du vent est identique à celle des jours à brises normales mais les vitesses semblent un peu plus fortes.

Notons encore que les déviations standards (SD) des jours à vents synoptiques forts sont plus importants que celles des jours à vents synoptiques faibles ou à vents du secteur NE. Ces

dernières journées sont donc non seulement plus calmes mais aussi plus homogènes. On a par exemple des SD entre 8 et 11 kmh pour le Jungfrauoch, le Grimsel et le Grand-St-Bernard lors de jours à vents synoptiques faibles et à vents du secteur NE contre 8 à 25 kmh pour les autres jours. Pour les autres stations, on trouve respectivement les SD de 3 à 7 et de 3 à 10 kmh.

On remarquera qu'à Aigle, il n'y a pratiquement jamais du vent descendant (S-SE) vers 12h00 UTC dans notre collectif. Probablement, on ne rencontre un tel vent que dans des situations de Foehn avérées et associées à une nébulosité synoptique de plus de 35%.

Finalement, il me semble intéressant de se pencher encore un peu plus sur les origines de la Lombarde. Après de nombreux essais infructueux de calculs statistiques avec Montana, j'opte pour la station de Visp. Les jours à faible nébulosité générale (< 35% à Payerne à 12h00 UTC, 338 jours en tout) où l'on rencontre des vents d'E (considérés comme Lombarde) à Visp (47 jours, soit environ 14% des cas), sont séparés en deux groupes : le premier (14 jours) avec des vents synoptiques inférieures à 15 et 20 kmh à respectivement 850 et 700 hPa et le deuxième groupe (33 jours) comprenant le reste des jours. Dans les deux groupes soufflent presque toujours à Montana un vent aussi du secteur E (variant de NE à SE) et très rarement un vent du S ou SW.

Dans la moitié des cas du premier groupe, le vent synoptique à 850 hPa souffle du NE ou de E, ce qui correspond à une Lombarde d'est pouvant être associée à de la bise sur le Plateau. Dans l'autre moitié de ce premier groupe, il s'agit d'une Lombarde de « petit » Foehn avec des vents synoptiques à 850 hPa soufflant du SE à S voire rarement du SW. Dans ce premier groupe la moyenne des vents d'est atteint environ 7.5 Kmh à Montana et 20 Kmh à Visp.

Dans le deuxième groupe, la quasi-totalité des vents synoptiques à 850 hPa sont du secteur S à SW et rarement du secteur E, correspondant donc le plus souvent à une Lombarde de Foehn établi. Ici, la moyenne des vents d'est atteint environ 8.5 Kmh à Montana et 22.5 Kmh à Visp.

En conclusion, lorsque souffle une Lombarde en Valais (qu'on peut donc définir maintenant par la présence des vents E à Visp et du secteur E à SE à Montana), il s'agit très probablement de (1) Foehn bien établi si les vents synoptiques sont forts, (2) soit d'une situation d'Est, avec ou sans bise sur le Plateau, (3) soit d'un Foehn faible (tendance foehn) à modéré lorsque les vents synoptiques sont faibles à modérés.

Les situations de vents ne sont donc pas si simples et si tranchées. Il existe des possibilités et des gradations infinies dans les directions et la force des vents locaux par rapport aux vents synoptiques des modèles. Un vent E à Visp ne signifie pas forcément Foehn. Une faible tendance Foehn (vents synoptiques et différences transalpines de pression faibles) peut être exploitable par le pilote, les brises locales dites de « beau temps » sont en fait toujours un peu influencées par le vent synoptique... On peut simplement dire et redire que plus les vents synoptiques au sol et en moyenne altitude et plus la différence transalpine de pression sont faibles, meilleures et plus saines sont les conditions de vol.

En faisant la synthèse entre l'expérience de vol, la structure thermique de la vallée du Rhône et le schéma des brises locales lors de « beau temps », je suis arrivé à la représentation de la figure 61 des brises de vallée et de pente, quelque peu différente de la représentation classique.

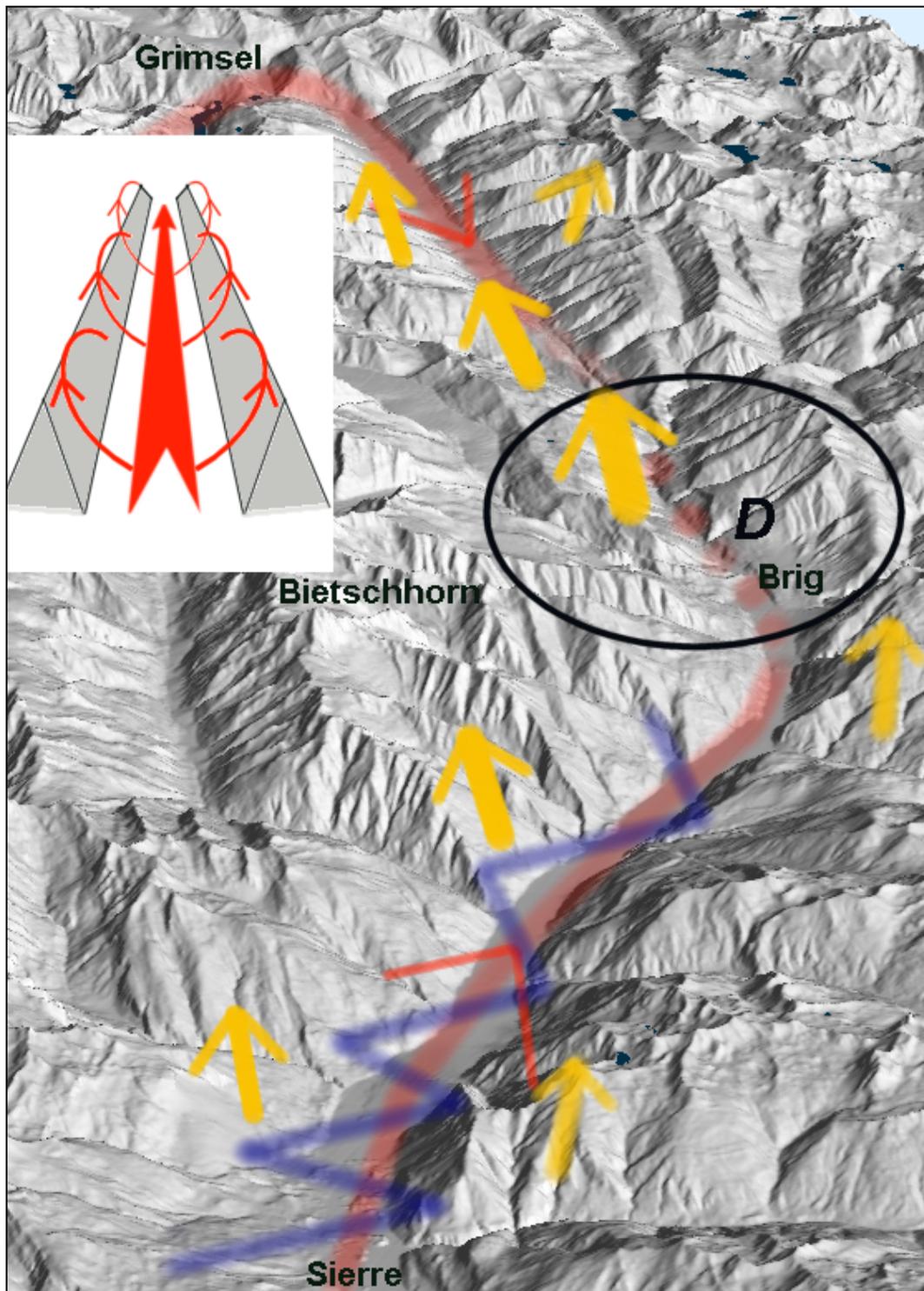


Figure 61 : Schéma probable du vent de vallée et des brises de pente valaisans, modifié par rapport au schéma classique (en haut à gauche) lors de journées de « beau temps » à brise locale. En rouge, brises de fond de vallée. En jaune ascendances thermiques, plus les flèches sont grosses plus les ascendances sont nombreuses et fortes. En violet, couche thermique stable (inversion, isothermie) au milieu et à mi-hauteur de la vallée principale.

La représentation classique du vent de vallée et de ses brises de pente, par exemple dans l'ouvrage de Jochen Von Kalckreuth ¹⁵, où le vent de vallée principale souffle d'aval jusqu'en amont extrême et est alimenté régulièrement par les brises de pente tout le long de celle-ci, me semble un peu simpliste et pas tout à fait exacte. Sur la figure 61, on voit une dépression thermique aux alentours de Brig, donc pas précisément en amont de la vallée du Rhône. Cette dépression est le moteur aspirant principal du vent de vallée en aval (de Montreux à Visp) et du vent descendant en amont (du Grimsel à Münster). Dans cette région centrale, les vents au fond de la vallée sont variables et difficilement prévisibles, parfois calmes parfois rafaleux, parfois d'amont parfois d'aval, au gré des développements thermiques de pente locaux, mais les ascendances convectives y sont particulièrement nombreuses et fortes. Plus on s'éloigne de cette dépression moins les convections sont fréquentes et fortes. De plus, à cause de la couche stable au centre et à mi-hauteur de la vallée à ce niveau, il n'y a probablement que peu d'échange d'air entre le vent de vallée (au fond de celle-ci) d'une part et les convections et brises de pente d'autre part. A ce niveau, les brises de pente et les convections s'alimentent de l'air compensateur descendant aux alentours formant ensemble un circuit fermé de va-et-vient.

B. Neiningen ⁹ pense avoir observé une large ascendance près de Münster, au milieu du Goms, résultant de la convergence des vents d'amont et d'aval. Certes, j'ai exploité parfois personnellement (et j'ai observé des pilotes qui le faisaient) des ascendances étonnantes au milieu du Goms, surtout sur la crête de Bellwald, mais il me semble qu'elles n'avaient jamais la régularité, la taille (diamètre) et la force qui auraient pu compenser l'énorme débit d'air des deux brises opposées. Je pense plutôt que l'ensemble des nombreuses, précoces et puissantes convections dans la zone de dépression thermique est le moteur de ces deux importantes brises de vallée. L'échange d'air et probablement aussi de pollution atmosphérique entre le fond de la vallée principale et l'air en altitude devrait donc prédominer plus à l'intérieur de cette dépression thermique qu'en dehors. Une étude de la distribution des polluants en Valais serait intéressante pour étayer cette idée.

§ 8. Résumé et conclusions

Dans un article précédent ¹⁶ du SwissGlider, j'avais publié un article sur l'utilisation des modèles américains AVN et MRF. Ces modèles n'existent plus et ont été remplacés avantageusement par les modèles GFS, de la même famille. En 3-4 ans il y a eu donc déjà des améliorations autant en performance qu'en présentation. La sobriété et la clarté des cartes, profils (émagrammes virtuels) et météogrammes sont conservées et le principe d'utilisation reste le même (voir annexe du chapitre 10 qui fournit un exemple pratique d'utilisation de GFS via le Web). Un article récent de M. Schultze ¹⁷ explique aussi de façon intéressante l'historique et les limites des modèles numériques en météorologie. Pour bien comprendre la nature globale et synoptique des modèles, imaginez un fleuve, avec des portions droites et régulières et d'autres tourmentées par des méandres, des chutes, des fonds et des berges irréguliers, des gouffres en cul-de-sac dans lesquels l'eau stagne ou tourbillonne... imaginez un « modèle » qui prévoit la vitesse moyenne de l'eau, le débit et la hauteur moyenne de la surface d'eau en fonction de la quantité de pluie précédente ainsi que de l'inclinaison et de la largeur moyennes du lit du cours d'eau... imaginez finalement un pêcheur, très habitué de la partie tourmentée du fleuve et se renseignant tous les jours sur les résultats du modèle. En fonction de ces informations à macroéchelle (synoptique), notre pêcheur pourra s'attendre aux conséquences à microéchelle de sa région fluviale favorite, grâce à son expérience personnelle : zones dangereuses et turbulentes, zones calmes, zones à haut débit, zones à contre-courant, zones riches en poissons.... Appliquons la comparaison : le pêcheur c'est le pilote, le modèle du fleuve c'est le modèle de prévision météo FNL-GFS, le fleuve c'est l'atmosphère de la terre, la portion du fleuve c'est l'atmosphère de la région de vol, en l'occurrence ici le Haut-Valais...

Les analyses sont l'ensemble des données lissées et synoptiques de départ (initialisation) des modèles, réparties dans une grille virtuelle régulière autour de la terre. Puis les prévisions sont les calculs de simulation dans le temps à partir des données de l'analyse. Idéalement une simulation de l'évolution des données atmosphérique par un modèle sur 24 heures par exemple doit trouver des valeurs de ces données identiques à celles de l'analyse 24 heures après. Les analyses FNL utilisées dans cet article peuvent être considérées comme les analyses archivées des modèles de la famille GFS. Pour simplifier l'étude, un seul lieu et un seul moment sont choisis pour les analyses FNL : Payerne et 12h00 UTC ou 14h00 CEST. Les paramètres retenus sont : pression réduite niveau mer, nébulosité totale, la somme des précipitations des 6 dernières heures, les direction et force du vent à 850 et 700 hPa. L'humidité à 850, 700 et 500 hPa et la différence de température (en °C) entre 850 et 500 hPa. Ces paramètres sont ensuite comparés jours après jours avec les résultats des vols CCC-OLC ainsi qu'avec les paramètres (vents, températures, humidité et parfois pluies la veille et ensoleillement) mesurés à 14h00 local dans quelques stations météorologiques suisses. Les conditions de vol semblent les meilleures et les brises locales de « beau temps » les moins dérangées lorsque les vents synoptiques sont les plus faibles, la nébulosité globale est inférieure à 35%, l'humidité atmosphérique est moyenne en basse altitude et faible en haute altitude, la différence de température est environ 26-29°C (ce qui correspond à un gradient de température entre 0.6 et 0.7°C) et une pluie significative est absente la veille. Les valeurs limites supérieures des vents synoptiques sont empiriquement fixées à 15 respectivement 20 Km/h à 850 et 700 hPa, pour

l'ensemble des pilotes mais chacun peut fixer ses propres limites selon son expérience et sa tolérance à supporter les turbulences plus fortes et fréquentes lorsque les vents généraux sont soutenus.

La probabilité de jours avec des paramètres synoptiques FNL favorables augmente d'avril en août avec éventuellement un petit pic dans la dernière quinzaine de mai et un pic plus grand en fin juillet-début d'août. Durant ces journées favorables, se forment des dépressions thermiques centrées sur Brig entraînant, dans la vallée principale du Rhône, une brise W (de vallée) modérée en aval et un vent E en amont dans le Goms. Dans la dépression, les brises sont variables mais pas forcément faibles. Dans les plus petites vallées latérales, souffle la brise de vallée classiquement plus faible que dans la vallée principale, mais pas toujours (exemple de Zermatt vers 14h00). Ce schéma de brises locales n'est pas si solide que cela. En effet, un vent E à Visp (vraisemblablement entre Brig et Leuk) et se prolongeant jusqu'à Montana, appelé Lombarde, souffle assez souvent (14% des journées à faible nébulosité synoptique) et apparaît lors de situation d'est (vents synoptiques du secteur E à 850 hPa) avec ou sans bise sur le Plateau et lors de tendance Foehn ou de Foehn avéré (vents du secteur S à 850 hPa). Inversement, lorsque les vents synoptiques à 850 hPa sont d'W à N, les brises d'aval sont prolongées et renforcées. Il existe en outre une assez bonne corrélation entre la différence de pression transalpine et le vent synoptique à 850 hPa. Plus ce vent est fort et plus cette différence est grande. Si ce vent est du secteur E à S, une surpression sud est probable alors que si ce vent est du secteur W à N, une surpression nord est probable. Finalement la limite supérieure de la différence transalpine de pression, choisie classiquement à 2-3 hPa, à ne pas dépasser pour avoir des conditions pas trop turbulentes, semble être conforme à la réalité.

La température vers 850 hPa (environ 1500 m) dans les vallées semble être en moyenne de 6°C supérieure à celle de l'analyse FNL (Payerne) vers 12h00 UTC. Par contre, la différence d'humidité vers 850 hPa entre les vallées et le modèle ne semble pas très importante, sauf dans le Valais central où l'humidité y est peut-être un peu plus forte (°3C en moyenne). Cette découverte permet de dresser l'allure générale de l'égramme dans les vallées vers 12h00 UTC et de prévoir ainsi grosso modo l'extension de la couche convective, la base des cumulus et la quantité de cumulus. Voir figure 33. Pour que la probabilité de nuages élevés et de surdéveloppement nuageux en moyenne altitude soit faible il semble que le « spread », c'est-à-dire la différence entre la température et la température de point de rosée à une altitude donnée, doive être en moyenne supérieure à 4-5°C entre 300 et 200 hPa et à 15-20 °C entre 600 et 400 hPa.

Est-ce que le résultat de cette étude ne concerne que les pilotes de distance à l'affût des bonnes occasions pour un vol de performance ? Manifestement pas. En effet, j'ai maintenant l'intime conviction que la très grande majorité des grands cross ne peut se réaliser que dans des conditions atmosphériques saines donc profitables à tous les pilotes. Nous sommes par conséquent tous concernés, pilotes de loisir inclus, par ces conclusions. Autrement dit, une bonne journée pour la distance est aussi une bonne journée pour le pilote de loisir.

Quelques pilotes m'ont envoyé des emails pour se plaindre que les modèles ne fonctionnent souvent pas bien en particulier pour les vents et la nébulosité. Certes, les modèles sont perfectibles, surtout après 2-3 jours, comme le montre bien M. Schultze¹⁷ dans la deuxième partie de son article, mais c'est souvent l'interprétation des modèles par le plaignant qui est

erronée. Rappelons-nous de l'histoire du pêcheur de rivière, citée plus haut. L'interprétation des modèles ajoute à notre sport une nouvelle dimension, celle du plaisir de l'interprétation personnelle, locale, nuancée et subtile des masses d'air simulées à l'échelle synoptique par les modèles et d'en assumer la responsabilité, sans maudire le modèle lui-même ni le météorologue professionnel qui est rarement pilote de parapente et en général peu motivé à nous fournir des prévisions spécifiques. L'ordinateur est imbattable pour une simulation (prévision) synoptique de l'atmosphère grâce à la possibilité de réaliser des millions de calculs en un temps record et parce que l'état de l'atmosphère en un endroit dépend de l'état de toute l'atmosphère, au même moment et quelques heures auparavant. "Rendons à Dieu ce qui est à Dieu et à César ce qui est à César" disait un célèbre personnage... on pourrait dire ici "rendons à l'homme ce qui est à l'homme et au calculateur ce qui est au calculateur". Nul homme ne pourra rivaliser avec le modèle dans la précision de l'estimation de l'évolution générale des masses d'air (température, humidité, vents) mais le modèle ne peut pas rivaliser avec l'intuition, l'émotion et la subtilité du cerveau du pilote qui, par son expérience, adapte les informations, issues des modèles, sur l'état des masses d'air dans sa région de vol favorite en essayant de prévoir la qualité des ascendances, leur plafond, la nébulosité (cumulus, nuages élevés), les turbulences, les allures des brises locales, la possibilité de rafales...etc. Dans le fond, le modèle prolonge les sens du vieux pilote. En plus d'apprécier le ciel et l'atmosphère sur place et sur le moment, il anticipe et apprécie une première fois l'air virtuellement, le soir avant, devant son écran, en imaginant ce que provoquera la masse d'air synoptique sur l'atmosphère locale.

Il me semble donc absurde de persister à utiliser les radiosondages de minuit, après s'être réveillé à 5 heures du matin pour prendre des décisions, en essayant, de façon grotesque et maladroite, de singer le modèle qui, dans ce domaine, nous est nettement supérieur. Par exemple il nous est impossible de rivaliser avec un bon modèle pour prendre en compte advections et autres subsidences afin de « corriger » le profil de température. Par conséquent il est plus simple, plus efficace et moins pénible, d'utiliser son cerveau dans le domaine où il excelle, de prendre sa décision tranquillement le soir avant, en consultant le modèle, et de se réveiller à une heure décente, en pleine forme, pour se rendre au site de vol.

Une méthode pour construire son expérience personnelle consiste à noter tous ces vols dans un carnet avec description des conditions (nuages, vents locaux...etc) et de réexaminer rétrospectivement tous les vols avec les analyses correspondantes lors des longues soirées d'hiver. Le présent guide sert de fil conducteur pour une région très spécifique, le Haut-Valais. Par exemple lorsque une situation anticyclonique se présente, avec des vents faibles et de l'air sec à l'échelle synoptique, on peut s'attendre à du joli vent de face (anabatique) donc du SE au décollage de Kühboden (quelque soit la direction des vents généraux), à des thermiques pas trop violents et turbulents, au risque faible d'orage ou de surdéveloppement de nuages, à un vent descendant de NE dans le Goms et à un vent de vallée soutenu mais raisonnable du secteur ouest en aval de Brig, à une température supérieure d'environ 6°C à 1500 m. dans les vallées par rapport à la même altitude sur le Plateau ... Si les vents synoptiques du secteur SW à NE se renforcent, un vent d'est soutenu est très probable entre Brig et Leuk jusqu'à plus de 2000 m... Si les vents synoptiques du secteur N se renforcent, on aura aussi un vent de face au décollage de Kühboden mais il pourra être plus rafaleux et surtout les thermiques risquent d'être très turbulents durant le vol. Il faut aussi savoir qu'une nébulosité totale prévue à 100% peut correspondre à un voile translucide de cirrus laissant passer un soleil suffisant pour des convections utilisables...etc. Je dois avouer que les modèles GFS, grâce à leur disponibilité

presque complète, ont été pour moi une véritable révolution qui a changé ma vie de pilote. Grâce aux modèles, nous devrions progressivement être plus efficaces qu'un météorologue professionnel pour les prévisions locales spécifiques à l'usage de nos plaisir, sécurité et performance de vol.

Il y a encore les « boîtes noires » comme le modèle Alptherm, à méso-échelle, qui court-circuite le raisonnement du pilote. Je dois avouer être personnellement un peu déçu de ce modèle. Sans être, je crois, présomptueux, je pense faire souvent des prévisions plus adaptées à mon utilisation de parapente dans le Valais ou ailleurs à partir du modèle GFS. Cela ne veut pas dire que je réussis à chaque fois mes vols, qui est une question de pilotage et surtout de pouvoir supporter l'aérodynamique forte, même par vents synoptiques faibles. Alptherm me semble souffrir de quelques défauts :

- La base des nuages est souvent surestimée pour le Valais.
- La prévision n'est disponible que le matin et souvent en retard sur l'heure prévue (6 heures)
- L'effet néfaste du vent sur les thermiques est sous-estimé
- Les vents à toutes les altitudes ne sont pas représentés. Il manque notamment une prévision (tendance générale) des brises de vallées qui serait très utile.
- Il y a souvent contradiction entre la quantité de cumulus et la quantité de nébulosité à moyenne altitude (colonnes différentes).
- L'effet de la pluie la veille ne semble pas être pris en considération de façon suffisante.
- Enfin, en été par exemple, je ne vois l'utilité d'annoncer une distance potentielle de 700 Km dans le Goms qui mesure au plus de 30 km alors que dans les régions voisines on annonce des distances potentielles nettement moins élevées.
- La différence de prévisions entre les jours favorables et ceux qui ne le sont pas n'est souvent pas assez nette, par exemple entre le vendredi 27 mai 2005 et le vendredi 10 juin 2005.

§ 9. Références et bibliographie

1. Bouët, Max. Climat et météorologie de la Suisse romande. Payot Lausanne 1972.
2. Truog, Gaudenz. Handbuch für die Segelflugprognose. Rapports de travail de l'ISM, Zürich, 1979.
3. Schmalzl, Johannes. Meteorologische Untersuchungen von Hängegleiter-Streckenflügen im Raum Nordtirol. Diplomarbeit. Leopold-Franzens-Universität. Innsbruck, 1989.
4. Oberson, Jean. Conditions atmosphériques favorables au vol libre de distance dans le Valais et ses alentours alpins. Publication personnelle. Sion, 1990.
5. Kirchhofer, Walter. Atlas climatologique de la Suisse. ISM et Office fédéral de topographie. Wabern-Bern, 1984.
6. Freytag, Karl. Atmosphärische Grenzschicht in Alpentälern während der Experiment HAWEI, DISKUS und MERKUR. Wissenschaftliche Mitteilung Nr. 52. Universität München. Dezember 1985.
7. Nickus, Ulriche and Vergeiner, Ignace. The Thermal Structure of the Inn Valley Atmosphere. Arch. Met. Geoph. Biocl. Ser A 33, 199-215. Universität Innsbruck, 1984.
8. Lanzinger, Andreas. Vergleich zwischen Atmosphäre im Tal und über dem Alpenvorland. Diplomarbeit. Leopold-Franzens-Universität. Innsbruck, 1987.
9. Neininger, Bruno and Liechti, Olivier. Mesoscale Measurements for Gliding Forecast in an Alpine Valley. OSTIV publication XVII- 1983. + Local winds in the upper Rhone Valley. Geojournal, vol 8. no 3. Boston 1984.
10. Ekhart, E. De la structure thermique de l'atmosphère dans la montagne. La Météorologie. Paris, 1948.
11. Tranquillini Mattia. Misure meteorologiche per la caratterizzazione della circolazione atmosferica nota come Ora del Garda. Tesi di Laurea. Università di Trento. 1998.
12. Urfer, Charlotte. Mittlere Temperature- und Windverteilung im Dischmatal bei Davos bei typische sommerlichen Witterungslage. Publication ISM, Locarno-Monti 1981.
13. Rotach, Heinrich. Meteo für streckenpiloten / Météo pour pilotes au long cours. Delta Info, mai et juillet 1985.
14. OSTIV-Secretariat. Handbook of meteorological forecasting for soaring flight. 2nd ed. Technical notes no 158 of WMO. Geneva 1993.
15. Von Kalckreuth, Jochen. En planeur au-dessus des Alpes. SEIDEC éd. Paris, 1985.
16. Oberson, Jean. Modèles numériques pour la prévision/Numerische Modelle für Wetterprognosen, Swiss Glider, SHV-FSVL. Avril 2002
17. Schultze, Micha. Peut-on se fier aux prévisions météo, 2 parties ? Swissglider, no 5 et no 6, mai et juin 2005.

§ 10. Annexe : Utilisation pratique des modèles GFS de READY-ARL

MÉTÉOROLOGIE POUR VOL LIBRE

Auteur : Jean Oberson, FSVL 4427

Date de la première mise en service : 23.08.2001 Date de la dernière mise à jour : 18.05.2006

Remarques, questions et suggestions bienvenues à mon adresse e-mail : [soaringmeteo\(a\)hispeed.ch](mailto:soaringmeteo(a)hispeed.ch)

Il faut bien entendu remplacer (a) par l'arobase qui a été omis ici pour lutte antispam (robots fouineurs d'adresses).

- [Boutique perso : matériel, occasions, brochures de théorie](#)

1. Outils Web de prévisions et d'évaluations météo

- [Outils principaux pour la Suisse romande](#) (GFS, cartes, prévisions meteosuisse, relevés, images satellites, radar, webcams)
- [Modèle numérique GFS NCEP pour le monde entier](#) (Modèle US, interactif, présenté par READY de ARL-NOAA-NCEP)

- [Cartes de wetter3.de issues du modèle GFS](#)
- [Cartes de wetterzentrale.de issues du modèle GFS](#)
- [Meteoblue \(Modèle Uni Basel\)](#)
- [Meteo payante de Meteosuisse](#)

2

[Retour page d'accueil](#) - [Modèle GFS interactif de READY-ARL](#) - [Cartes pressions fronts](#) - [Cartes GFS nuages élevés](#) - [Cartes GFS 500hPa](#) - [Cartes GFS vents 850hPa](#) - [Cartes THEIR vents 850 nébulosité](#) - [Cartes SKIRON vents 850&700hPa](#) - [Cartes SKIRON Néb&précipitations](#) - [Cartes USAF fronts P Néb](#) - [Météogrammes GFS](#) - [Prévisions générales et vav](#) - [Images satellites](#) - [Relevés des stations CH](#) - [Radiosondage de Payerne](#) - [Webcams Valais](#) - [Webcams Romandie](#)

Analyse (J):



(1) Sur la page principale de www.soaringmeteo.com, cliquez sur le lien « Outils principaux pour la Suisse romande » puis (2) sur « modèle GFS de READY-ARL »

[Retour page d'accueil](#) - [Modèle GFS interactif de READY-ARL](#) - [Cartes pressions fronts](#) - [Cartes GFS nuages élevés](#) - [Cartes GFS précipitations](#) - [Cartes GFS 500hPa](#) - [Cartes GFS vents 850hPa](#) - [Cartes THEYR vents 850 nébulosité](#) - [Cartes SKIRON vents 850&700hPa](#) - [Cartes SKIRON Néb&précipitations](#) - [Cartes USAF fronts P Néb](#) - [Météogrammes GFS](#) - [Prévisions générales et v&v](#) - [Images satellites](#) - [Relevés des stations CH](#) - [Radiosondage de Payerne](#) - [Webcams Valais](#) - [Webcams Romandie](#)

MODELES GFS INTERACTIFS du READY de ARL-NOAA

Pour le néophyte, lire l'article : [Modèles numériques pour la prévision](#) pour pouvoir utiliser judicieusement les modèles ci-dessous. Auparavant il y avait les modèles AVN et MRF. Actuellement, **les modèles GFS** (meilleure résolution et plus de paramètres) remplacent avantageusement les anciens modèles AVN et MRF. Les modèles GFS restent cependant strictement identiques. Durée du GFS = 3 jours et du GFSx = 7 jours. Attention l'heure utilisée par les modèles = **heure UTC** (heure de Greenwich). Pour trouver l'heure locale il faut ajouter à heure UTC GMT+ ou - x.

Ou sélectionner ci-dessous des lieux de radiosondages autour des Alpes puis continuer en cliquant sur OK.

Payerne (46.81, 6.95) **3** Heure locale = GMT +1 (heure d'hiver) ou +2 (heure d'été)

Ou sélectionner ci-dessous des lieux de vol ou des lieux marquant en Suisse puis continuer en cliquant sur OK.

Aigle (46.32, 6.98) Heure locale = GMT +1 (heure d'hiver) ou +2 (heure d'été)

Les cartes ci-dessous représentent une "mesure" de la fiabilité du système GFS. Plus les lignes de couleurs sont confondues, plus les prévisions sont faibles. Plus elles sont distinctes, chaotiques et indépendantes, moins les prévisions sont fiables. Sources : www.wetterzentrale.de

Ini: Sun,21MAY2006 06Z	Val: Mon,22MAY2006 06Z	Ini: Sun,21MAY2006 06Z	Val: Tue,23MAY2006 06Z	Ini: Sun,21MAY2006 06Z	Val: Mon,22MAY2006 06Z
------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------

(3) On peut cliquer sur OK pour choisir Payerne ou encore avant choisir d'autres lieux en Suisse ou autour des Alpes (endroits de radiosondage).

The screenshot shows the READY website interface. At the top, there is a navigation bar with links: HOME, HYSPLIT, DISPERSION MODELING, METEOROLOGY, EMERGENCY RESPONSE, STATUS, and CONTACT. Below the navigation bar, the text reads: "Return to: CURRENT METEOROLOGY | STATE WEATHER". The main heading is "READY PRODUCTS FOR LOCATION:" followed by the location "Payerne, (Lat: 46.81 Lon: 6.95)".

DISPLAY PROGRAM What is UTC, GMT, Z time?	METEOROLOGICAL DATA Model Data Status Information on forecast datasets
AUTOGRAM	----Plot up to 6 meteograms at a time----
4 METEOGRAM	-----Choose A Forecast Dataset----- Go
WINDGRAM	-----Choose A Forecast Dataset----- Go
WINDROSE	-----Choose A Forecast Dataset----- Go
5 SOUNDING	-----Choose A Forecast Dataset----- Go
STABILITY TIME-SERIES	-----Choose A Forecast Dataset----- Go
6 INTERACTIVE MAP	-----Choose A Forecast Dataset----- Go
INTERACTIVE MAP (JAVA-BASED)	-----Choose A Forecast Dataset----- Go
DATASET HELP	-----Choose A Forecast Dataset----- Go

At the bottom of the table area, there is a blue button labeled "FORECAST MODEL ANIMATIONS".

Choisir ensuite entre 3 possibilités de présentation :

- (4) Météogramme
- (5) Sondage (profil)
- (6) carte

Les autres présentations me semblent moins utiles pour nous.


READY

[HOME](#) | [HYSPLIT](#) | [DISPERSION MODELING](#) | [METEOROLOGY](#) | [EMERGENCY RESPONSE](#) | [STATUS](#) | [CONTACTS](#)

Return to: [CURRENT METEOROLOGY](#) | [STATE WEATHER](#)

READY PRODUCTS FOR LOCATION:

Payerne,
(Lat: 46.81 Lon: 6.95)

DISPLAY PROGRAM <small>What is UTC, GMT, Z time?</small>	METEOROLOGICAL DATA <small>Model Data Status Information on forecast datasets</small>
AUTOGRAM	----Plot up to 6 meteograms at a time----
METEOGRAM 7	<input type="text" value="Choose A Forecast Dataset"/> <input type="button" value="Go"/>
WINDGRAM	<input type="text" value="Choose A Forecast Dataset"/> <input type="button" value="Go"/>
WINDROSE	<div style="border: 1px solid #00AEEF; padding: 2px;">GFS Model (0-84h, 3hrly, Global)</div> <input type="button" value="Go"/>
SOUNDING	<input type="text" value="Choose A Forecast Dataset"/> <input type="button" value="Go"/>
STABILITY TIME-SERIES	<input type="text" value="Choose A Forecast Dataset"/> <input type="button" value="Go"/>
INTERACTIVE MAP	<input type="text" value="Choose A Forecast Dataset"/> <input type="button" value="Go"/>
INTERACTIVE MAP (JAVA-BASED)	<input type="text" value="Choose A Forecast Dataset"/> <input type="button" value="Go"/>
DATASET HELP	<input type="text" value="Choose A Forecast Dataset"/> <input type="button" value="Go"/>

FORECAST MODEL ANIMATIONS

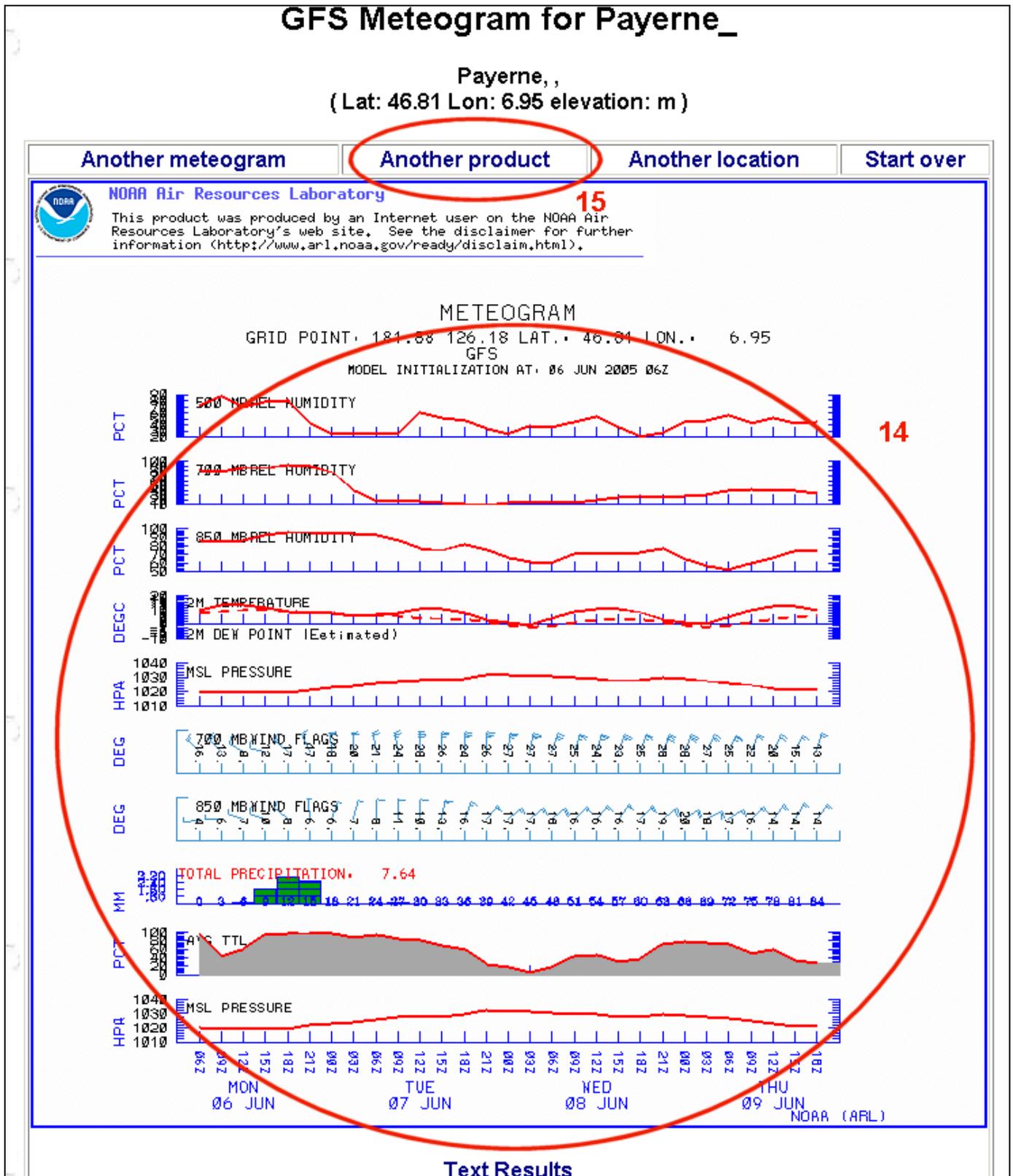
(7) Choisir entre 3 types de modèles GFS : GFS court terme (sur 3 jours) avec des intervalles de 3 heures, GFS à moyen terme (sur 1 semaine) avec des intervalles de 6 heures ou GFS à « long » terme (la semaine suivante) avec des intervalles de 12 heures. Il faut reconnaître qu'après 3-4 jours les prévisions ne sont pas fiables en général, mais sur un jour elles sont très satisfaisantes sauf exceptions.

The screenshot shows the 'GFS Meteogram' web interface. At the top, there is a navigation bar with links: HOME, HYSPLIT, DISPERSION MODELING, METEOROLOGY, EMERGENCY RESPONSE, STATUS, CONTACTS. The main title is 'GFS Meteogram'. Below the title, there are several sections:

- Starting date/time:** A dropdown menu showing 'June 06, 2005 at 06 UTC (+00 Hrs)'. A red circle labeled '8' highlights this dropdown.
- Duration from starting time (hours):** A dropdown menu showing '84'. A red circle labeled '8' highlights this dropdown.
- plot:** Radio buttons for 'Default', 'Default with winds', and 'Choose from below'. A red circle labeled '8' highlights the 'Choose from below' option.
- Parameter Selection (left):** A list of parameters with dropdown menus for altitude. A red circle labeled '9' highlights the entire list. Parameters include Mean Sea Level Pressure (SFC), Surface Pressure (SFC), Temperature - 2 meters AGL (SFC), Relative Humidity - 2 meters AGL (SFC), Accumulated Precipitation (SFC), U Momentum Flux (SFC), V Momentum Flux (SFC), Sensible Heat Net Flux (SFC), Downward Short Wave Radiation Flux (SFC), U-component of Wind - 10 meters AGL (SFC), V-component of Wind - 10 meters AGL (SFC), Relative Humidity (3D), and Relative Humidity (3D).
- Parameter Selection (middle):** A table of parameters with dropdown menus for altitude. A red circle labeled '11' highlights the 'Wind Flags (SFC/3D)' parameter. Other parameters include Mean Sea Level Pressure (SFC), Total Cloud Cover (SFC), Accumulated Precipitation (SFC), Mean Sea Level Pressure (SFC), Temperature - 2 meters AGL (SFC), Relative Humidity (3D), and Relative Humidity (3D).
- Parameter Selection (right):** A list of altitudes with dropdown menus. A red circle labeled '10' highlights the 'SFC' option. Other altitudes include 1000 mb, 975 mb, 950 mb, 925 mb, 900 mb, 850 mb, 800 mb, 750 mb, 700 mb, 650 mb, 600 mb, 550 mb, and 500 mb.
- Output Options:** Radio buttons for 'Graphic and text' and 'Text only'. A red circle labeled '12' highlights the 'Text only' option.
- Meteogram size (pixels):** Radio buttons for '400', '500', '700', '900', and '1200'. A red circle labeled '12' highlights the '1200' option.
- Access Code:** A text box containing 'ipqqe' and a 'Get Meteogram' button. A red circle labeled '13' highlights the text box. Above the text box is a grid of letters: J R S G F M G P B P U W E N, M R G H B V M F G Y G P G Y Z, B S V E G H R X Z Y U I L R J, T Z L P A I G E I K A, A F L P A I G E I K A, Q H T Z F G P Z Y D L N A V, E Z P M E M U M G K E U D B R.

Pour le météogramme :

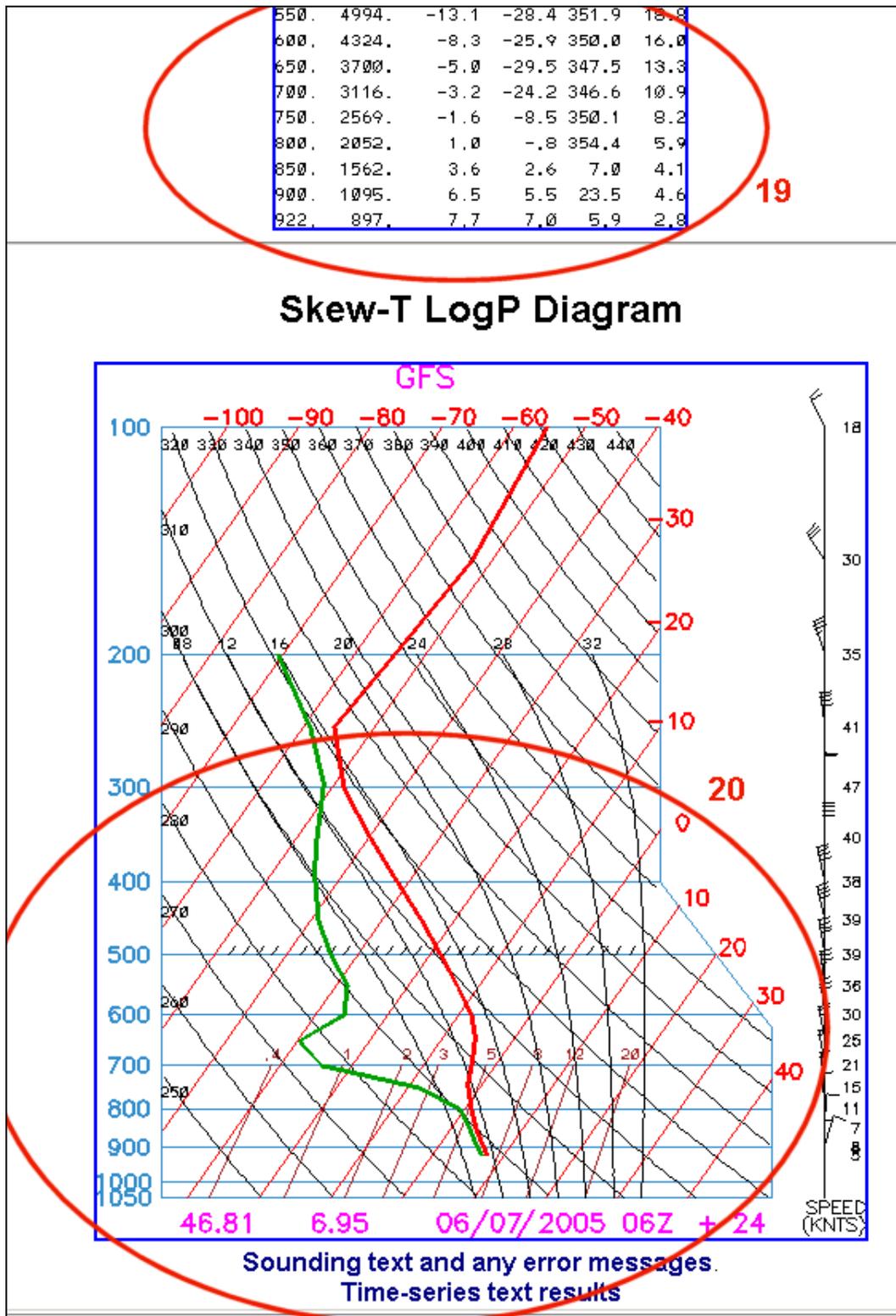
- (8) Ne pas changer la date d'initialisation mais cliquer sur « choose from below »
- (9) Choisir selon vos désirs un des paramètres pour les 1 à 10 lignes du tableau.
- (10) Pour chaque paramètre choisir une altitude en hPa (=mb) ou SFC (= surface). Attention, certains paramètres exigent soit SFC soit une altitude (3D).
- (12) Choisir une taille d'image pour le résultat.
- (13) Mettre le code affiché juste en dessus (gratuit). Pressez le bouton « Get meteogram ».



- (14) On obtient le météogramme souhaité. En abscisse, les jours et les intervalles de temps.
- (15) Continuer avec le lien « another product » pour choisir « sounding » par exemple.

- (16) Choisir une date et une heure. Entre parenthèses le temps après initialisation.
- (17) Il est conseillé de cocher la case « text listing ».
- (18) remettre le nouveau code. Presser le bouton « get profile ».
- (19) On obtient les valeurs numériques sous forme de tableau ainsi que
- (20) l'émagramme du profil (sondage virtuel) GFS pour le jour et l'heure choisis.

On peut continuer avec les cartes en cliquant sur le lien « another product »



ARLPLOT - Meteorological Mapping

This program plots **GFS** meteorological data on a map.

Choose a date/time: June 07, 2005 at 06 UTC (+ 24 Hrs)

Overlay two fields? No Overlay Overlay

	Meteorological Field(s) <small>(SFC = surface field; 3D = above surface field)</small>	Level	Contour	
			type	interval
1	Total Cloud Cover (SFC)	700 mb	Color Filled	12.5
2	6 hr Accumulated Precipitation (SFC)	700 mb	Black Lines	1

Note: choosing a contour interval (X) for Wind Vectors causes only every X vector to be plotted.

Graphic Size (pixels) 400 500 700 900 1200

Map Domain Full Grid Subgrid

Center Latitude (degrees)	Center Longitude (West is negative)	Map Radius (degrees)
46.81	6.95	3

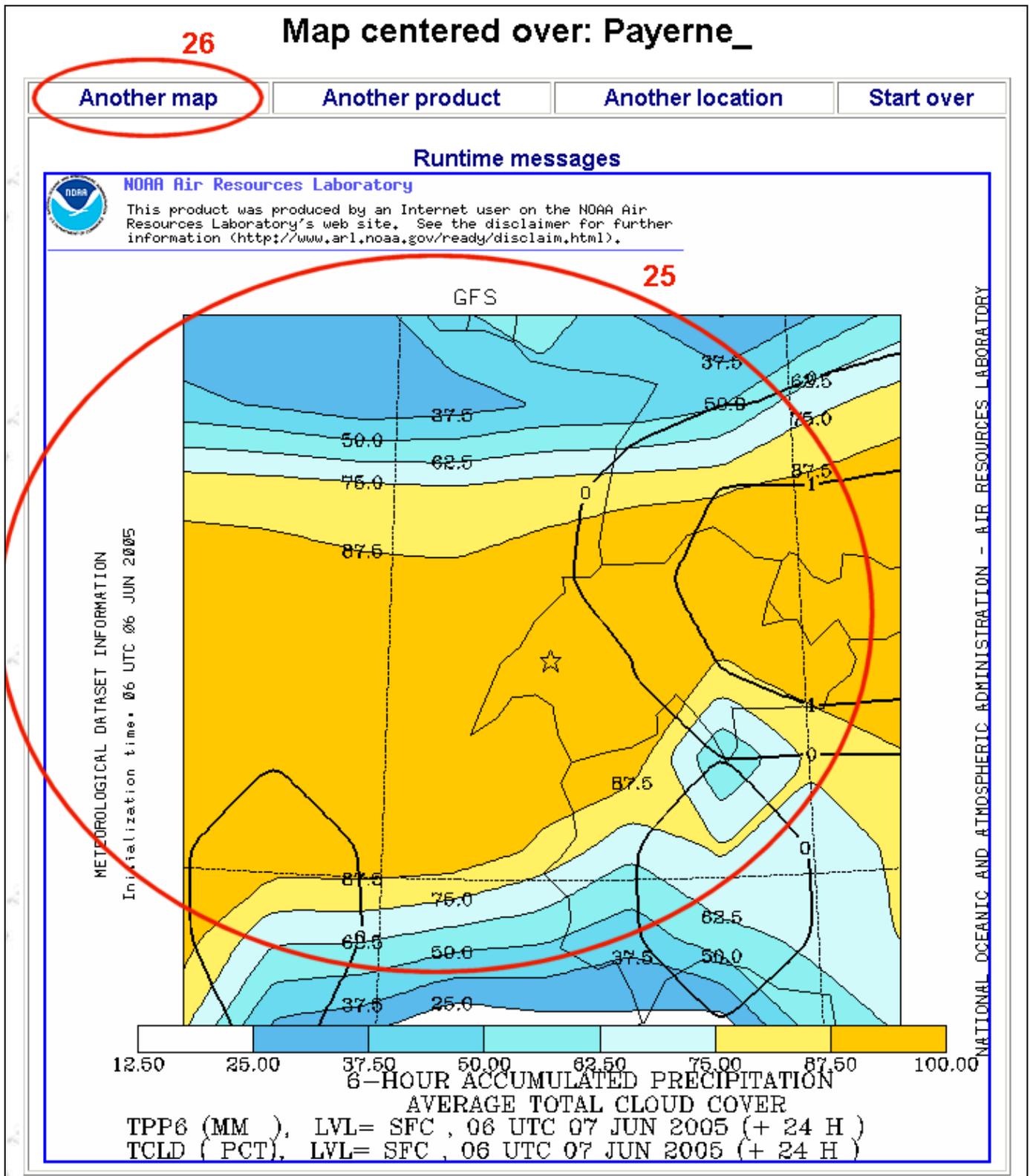
Type your access code (displayed at right) into the text box. This code is an image that cannot be read by a computer. This access code prevents automated programs from requesting access to READY products, which have saturated the system denying others from obtaining products in a timely manner.

READY Use Agreement

Your access code is: **KDAMJR**

Enter the access code from the box above to request product (case insensitive):

- (21) Choisir une date et une heure comme pour le profil. Cocher « Overlay » pour avoir 2 paramètres plutôt qu'un seul sur la carte.
- (22) remplir les caractéristiques des paramètres. Ici en exemple avec la couverture nuageuse et les précipitations.
- (23) Si on vient du lien « another product », pas besoin de saisir les coordonnées mais choisir une taille de carte (en degrés).
- (24) saisir le code, presser le bouton « get map ».



(25) On obtient cette superbe carte. Le choix de 12.5% = 1 octa.

(26) On peut continuer avec une autre carte, par exemple,

(27) une carte avec la vitesse et la direction (vecteurs) des vents à 700 hPa = env. 3000 m.

Map centered over: Payerne_

[Another map](#)

[Another product](#)

[Another location](#)

[Start over](#)

Runtime messages

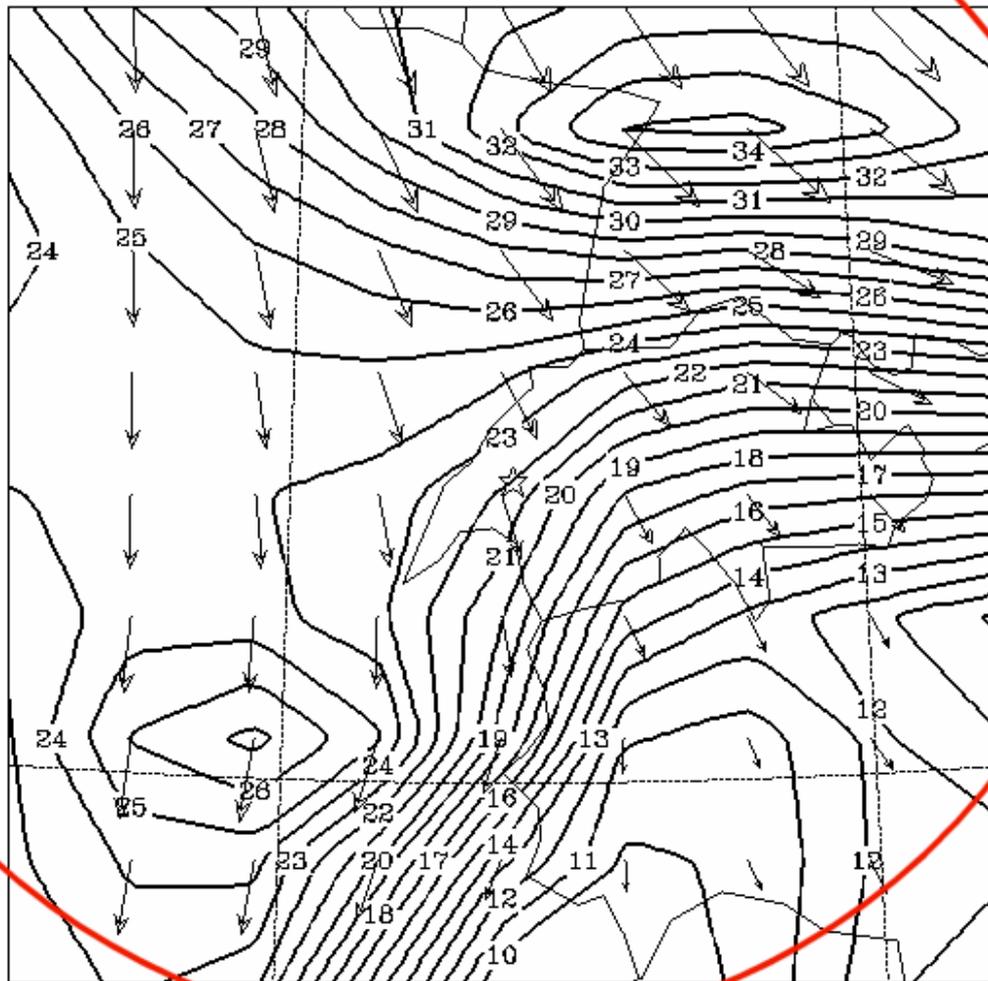


NOAA Air Resources Laboratory

This product was produced by an Internet user on the NOAA Air Resources Laboratory's web site. See the disclaimer for further information (<http://www.arl.noaa.gov/ready/disclaim.html>).

27

GFS



METEOROLOGICAL DATASET INFORMATION
Initialization time: 06 UTC 06 JUN 2005

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - AIR RESOURCES LABORATORY

WIND VECTORS
WIND SPEED

WVCT (KNTS), LVL= 700., 06 UTC 07 JUN 2005 (+ 24 H) → 3000+08
 WSPD (KNTS), LVL= 700., 06 UTC 07 JUN 2005 (+ 24 H) → MAXIMUM VECTOR