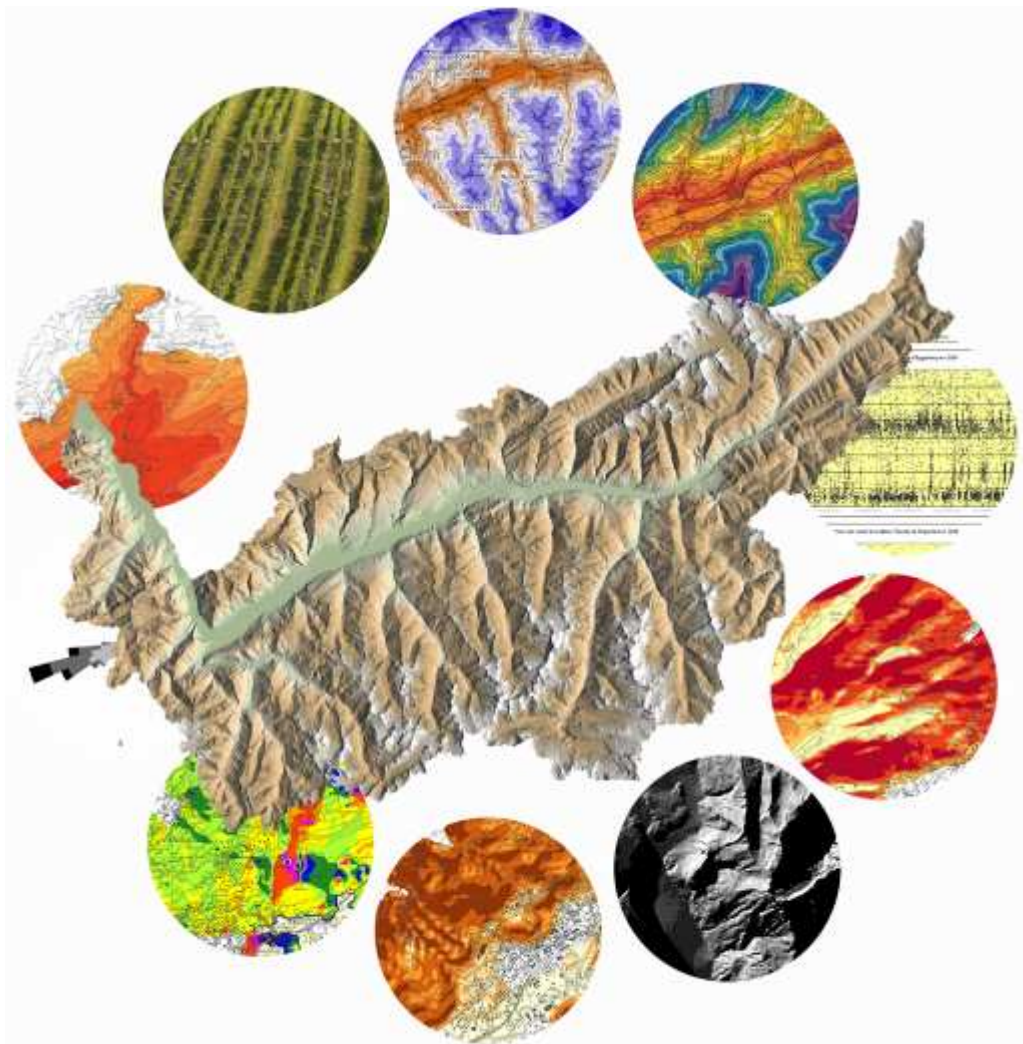


Etude des terroirs viticoles valaisans

MODÉLISATION DES PARAMÈTRES MESOCLIMATIQUES DU VIGNOBLE VALAISAN



Karine Pythoud

Laboratoire de système d'information géographique – EPFL

Février 2007

Prologue

Ce travail est le fruit du mandat confié au Laboratoire de Systèmes d'information Géographique (LaSIG) de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) par L'Interprofession de la Vigne et du Vin du Valais (IVV). Mme Karine Pythoud a assumé sa réalisation sous la supervision du soussigné.

Il fait partie intégrante du projet Terroirs viticoles entrepris par la même association. Une meilleure connaissance de la plante et de son environnement pédo-climatique apparaît aujourd'hui indispensable pour faire les bons choix de cépages tout en tenant compte des impératifs économiques.

La méthodologie appliquée s'est fortement inspirée d'une étude précédente réalisée pour le vignoble du canton de Vaud. Cependant, la taille de son équivalent valaisan et la géographie complexe de la vallée du Rhône ont considérablement augmenté les difficultés. De nouvelles solutions ont dû être trouvées pour établir un zonage du vignoble en fonction des variables climatiques retenues tout particulièrement en ce qui concerne les effets des vents.

Les résultats sont consignés dans le présent rapport et sur un ensemble de cartes. Si nous sommes confiants dans la pertinence du zonage proposé, il convient néanmoins de ne pas rechercher des nuances à l'échelle de la parcelle. Il est fort probable que certains vigneron, connaissant leur exploitation dans le détail, ne retrouvent pas sur ces cartes des variations locales qu'ils ont, le cas échéant, observées. Ces cartes sont donc à interpréter à l'échelle à laquelle elles ont été reproduites, c'est-à-dire à l'ordre du 1:25'000.

L'ensemble des données sont réunies dans une base informatisée de sorte que toute nouvelle information peut y être intégrée et améliorer ainsi la connaissance du vignoble.

Nous remercions l'IVV de nous avoir confié ce mandat et toutes les personnes qui y ont contribué par leurs conseils et par leur connaissance des microclimats valaisans.

Lausanne, le 26 février 2007.

Tables des matières

ETUDE DES TERROIRS VITICOLES VALAISANS	1
1. INTRODUCTION	5
2. DONNÉES DE BASE	7
2.1 LES DONNÉES GÉOGRAPHIQUES DE BASE	7
2.1.1 <i>Les fonds cartographiques</i>	7
2.1.2 <i>Le modèle numérique d'altitude</i>	7
2.2 LES DONNÉES CLIMATIQUES	10
2.2.1 <i>Les données Meteosuisse</i>	10
2.2.2 <i>Le réseau RESIVAL</i>	12
2.2.3 <i>Le réseau Agrométéo</i>	13
3. LES PARAMÈTRES GÉOMORPHOLOGIQUES DU VIGNOBLE : L'ALTITUDE, LA PENTE ET L'ORIENTATION	15
4. LA TEMPÉRATURE.....	17
4.1 LA TEMPÉRATURE DE L'AIR EN VALAIS	17
4.2 L'ALTITUDE COMME APPROXIMATION DE LA DÉCROISSANCE THERMIQUE ALTITUDINALE.....	18
4.3 LES MODELES DE REGRESSION – FONCTIONS SPLINE.....	19
4.4 ENQUETES.....	21
4.5 LE GEL	21
4.6 LES NIVEAUX THERMIQUES DE SCHREIBER	22
5. LE RAYONNEMENT SOLAIRE OU ÉNERGIE SOLAIRE REÇUE	24
5.1 GÉNÉRALITÉS	24
5.2 DÉFINITION DU RAYONNEMENT SOLAIRE	24
5.3 LES DONNÉES DE RAYONNEMENT DU RÉSEAU MÉTÉOSUISSE	25
5.4 MODÉLISATION DE LA RADIATION SOLAIRE	26
6. LA PLUVIOMÉTRIE	32
6.1 GÉNÉRALITÉS	32
6.2 LES DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES DU RÉSEAU MÉTÉOSUISSE.....	32
6.3 MODÈLES « WSL ».....	36
7. LES VENTS EN VALAIS.....	41
7.1 GÉNÉRALITÉS	41
7.2 LE SYSTÈME DE VENTILATION DE LA VALLÉE DU RHÔNE	42
7.2.1 <i>Le régime des brises</i>	42
7.2.2 <i>Le foehn</i>	45
7.2.3 <i>Rapport des vents aval-amont</i>	49

7.2.4	<i>Autres vents rencontrés</i>	50
7.3	RÉSEAUX DE MESURE DES VENTS.....	50
7.3.1	<i>Les données du réseau Meteosuisse</i>	50
7.3.2	<i>Les données du réseau Agrométéo :</i>	54
7.3.3	<i>Les données du réseau Resival</i>	57
7.3.4	<i>Réseau Haut-Valaisan</i>	60
7.4	INTÉGRATION DES DIRECTIONS ET DES INTENSITÉS DES VENTS VALAISANS	62
7.4.1	<i>Enquêtes du groupe Vitival</i>	62
7.4.2	<i>Synthèse régionale du Léman au Vispéral</i>	64
7.4.3	<i>Cartes des intensités de la brise et du foehn</i>	67
7.5	MODÉLISATION DE L'EXPOSITION AUX VENTS	69
7.5.1	<i>Description du modèle et application</i>	69
7.5.2	<i>Cartographie finale des vents</i>	73
8.	INDICE CLIMATIQUE MODÉLISÉ	76
9.	LISTE DES CARTES DU DOSSIER CARTOGRAPHIQUE CLIMATIQUE	80
10.	DISCUSSION ET SYNTHÈSE	83
11.	BIBLIOGRAPHIE	84
12.	ANNEXES	87

1. Introduction

Le Valais est une unité géographique à part entière, qui comprend plusieurs zones climatiques. Alors que le Haut-Valais et la région du Simplon ont un climat de type montagnard humide avec des précipitations annuelles élevées et des températures moyennes relativement basses, la zone entre Brig et Martigny est plutôt de type continental, avec des influences méditerranéennes (forte amplitude thermique journalière et annuelle, faibles précipitations annuelles). A l'aval de la cluse du Rhône, le climat du plateau prédomine; pluviométrie relativement élevée, avec une moyenne annuelle qui dépasse les 1000mm d'eau. Les deux hautes chaînes montagneuses, les Pénines au sud, dont les sommets culminent à plus de 4000 m sur la quasi totalité de la longueur, ainsi que les Alpes bernoises au nord, avec des sommets culminants entre 3000 et 4000m, protègent le Valais central des perturbations venant de l'Atlantique et de la Méditerranée. Cette zone jouit donc d'une relative aridité, accentuée par le phénomène de foehn fréquent dans la région. Sierre est l'endroit le plus sec de la Suisse, et il y pleut deux fois moins souvent qu'au bord du Léman.

Les caractéristiques géomorphologiques multiples (altitude, pente, orientations), la complexité du relief et des sols ainsi que le régime des vents ont favorisé l'implantation d'une grande diversité de cépages. Le vignoble de Visperterminen est connu pour être un des plus hauts d'Europe (1100m).

L'étude des terroirs viticoles valaisans entreprise sur le modèle de celle conduite dans le canton de Vaud, a pour but de caractériser le vignoble au niveau géopédologique et mésoclimatique. Contrairement à l'étude pédologique basée sur des sondages à la tarière et des profils de sol, la caractérisation des paramètres climatiques n'est pas réalisée directement sur la base de mesures réelles, mais grâce à des modèles permettant d'intégrer la variabilité géomorphologique du vignoble. Les paramètres climatiques tels que la radiation solaire, la pente, l'exposition, l'altitude et les courants conditionnent les échanges thermiques qui déterminent le mésoclimat d'une région.

La température, le rayonnement solaire, ou la vitesse et la fréquence des vents sont des paramètres relevés régulièrement dans les stations météorologiques du réseau MétéoSuisse. Ces mesures ponctuelles ne peuvent cependant pas être extrapolées à l'ensemble du vignoble. Les modèles de calcul utilisés permettent de contourner l'absence de mesures en chaque point du territoire, tout en utilisant les valeurs existantes pour valider les résultats obtenus. Ils ne peuvent cependant pas intégrer tous les effets microclimatiques tels que des descentes d'air froid, des effets de cuvette ou de la réverbération des parois rocheuses. C'est une caractérisation globale à l'échelle cantonale.

L'aspect climatique n'explique pas à lui seul des comportements différenciés de la plante. Il s'insère dans la problématique globale des terroirs, intégrant également les particularités physiologiques de la vigne, les conditions pédologiques et les pratiques culturelles des viticulteurs.

Le modèle numérique d'altitude de 25m de résolution (MNA25), distribué par l'Office fédéral de la topographie, a constitué une des données de base essentielle utilisée dans plusieurs volets de l'étude. Les données climatiques provenant des stations "MétéoSuisse" ont permis de disposer des valeurs comparatives.

Un certain nombre de publications consultées proviennent des travaux de Max Bouët, scientifique valaisan qui reste encore aujourd'hui la référence en matière de climat valaisan. Ses travaux sont fondés sur des observations et mesures personnelles, ainsi que de documents

établis par des services de mesures officiels de l'époque. Il a, entre autres, dépouillé et analysé des enregistrements de plusieurs stations valaisannes et synthétisé grand nombre de connaissances et d'observations sur l'ensemble du canton aux environs des années 1950-1970. Ses travaux restent encore aujourd'hui d'actualité de part l'ampleur du travail effectué sur le climat valaisan. Les publications retenues sont énumérées dans la bibliographie.

La ventilation valaisanne est un des paramètres climatiques les plus complexes à apprécier. La procédure adoptée pour la caractérisation des vents dominants a nécessité un développement plus important de la méthodologie vaudoise et une importante recherche bibliographique. Une enquête a également été réalisée auprès de personnes du groupe Vitival, de manière à pouvoir affiner certains aspects liés aux conditions de ventilation et aux particularités climatiques du vignoble. Le chapitre consacré aux vents valaisans détaille cette démarche. La cartographie des vents n'aurait pas pu être finalisée sans l'appui des chercheurs de la station Agroscope de Pully, qui nous ont aidé à synthétiser toutes les informations concernant la ventilation du vignoble.

Enfin, nous avons également pu bénéficier de résultats issus d'un projet du WSL-Birmensdorf, qui ont permis d'affiner l'aspect thermique et constituent la donnée de base pour l'aspect pluviométrique. Ils sont basés sur des modèles de régression pondérée intégrant le MNA25 et les données du réseau Météosuisse pour la période 1961-1990. Les grilles climatiques réalisées sur l'ensemble de la Suisse ont été retravaillées de manière à satisfaire aux besoins de l'étude valaisanne.

Le présent rapport s'articule de la manière suivante. Le premier chapitre est consacré aux données cartographiques et climatiques auxquelles nous avons eu recours pour la réalisation de l'étude. Il est suivi par la description des paramètres géomorphologiques descriptifs du vignoble valaisan. Les quatre chapitres suivants traitent chaque paramètre climatique étudié dans cette étude des terroirs de manière individuelle; la température, le rayonnement solaire, la pluviométrie et le vent. Un essai d'élaboration d'indice climatique est ensuite abordé dans le chapitre 8. Le rapport se termine par une brève synthèse et l'énumération des cartes climatiques élaborées dans l'étude, disponibles dans le dossier cartographique annexé.

2. Données de base

2.1 Les données géographiques de base

2.1.1 Les fonds cartographiques

Le but final de l'étude climatique réside dans l'établissement de la cartographie de paramètres descriptifs du climat valaisan. La lisibilité des cartes dépend essentiellement des éléments qui permettent au lecteur de se repérer par rapport à ses connaissances de la région concernée. Indépendamment des informations issues des modèles, les cartes doivent donc comporter des fonds cartographiques apportant les repères nécessaires au lecteur, tels que les réseaux routiers et hydrographiques, les agglomérations... Dans le cadre de l'étude des terroirs viticoles du canton de Vaud, le plan d'ensemble raster (cartes pixels) au 1 : 5'000^{ème} avait utilisé comme base cartographique. Vu l'échelle de restitution des cartes, variant du 1 : 25'000^{ème} au 1 : 35'000^{ème} et l'impossibilité de supprimer le tramage dans la zone viticole, le choix pour les restitutions valaisannes s'est porté sur la cartographie au 1 : 25'000^{ème} de l'Office fédéral de topographie. La carte traditionnelle comportant plusieurs couleurs et tramage, le fond utilisé pour les cartes du volet climatique, provient en fait d'une combinaison particulière des différentes couches thématiques raster de la carte. Celles contenant les zones viticoles et forestières ont été supprimées et les couches restantes grisées de manière à garantir une bonne lisibilité lors de la superposition avec l'information thématique représentée. Le centre de compétence géomatique (CC GEO) du canton du Valais nous a fourni ces données, ainsi que le modèle numérique d'altitude (voir chapitre suivant).

La figure ci-dessous montre la différence entre la carte nationale CP 25 de base et celle utilisée comme fond pour les cartes climatiques.

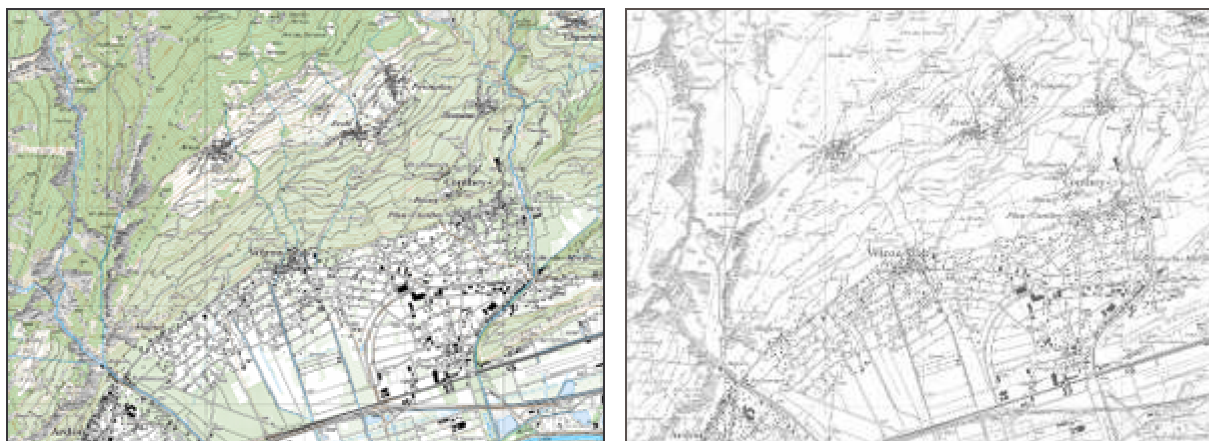


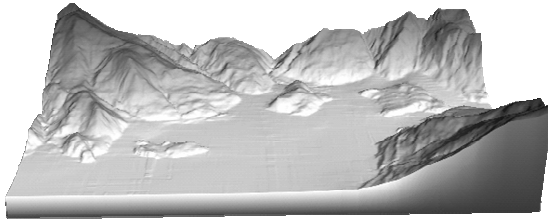
Figure 1 : Extraits de la carte nationale traditionnelle de Swisstopo et de celle utilisée comme fond de carte

2.1.2 Le modèle numérique d'altitude

Les caractéristiques géomorphologiques sont des informations descriptives du vignoble qui entrent dans l'application des modèles utilisés dans ce volet. Les paramètres tels que l'altitude, la pente et l'orientation du vignoble constituent donc les informations de base nécessaires à spécifier avant toute modélisation. Ils sont directement dérivés du modèle numérique d'altitude à 25m (MNA25) de l'Office fédéral de topographie, qui couvre l'ensemble de la Suisse et entre dans un grand nombre d'applications de gestion du territoire.

Quelques définitions :

- L'**altitude** représente la hauteur d'un point par rapport au niveau de la mer.
- La **pente** représente l'inclinaison d'une surface par rapport au plan horizontal et se calcule par la tangente à la surface dans un plan vertical.
- L'**orientation** est la direction déterminée par rapport aux points cardinaux



Vue 3D du MNA25 dans le Chablais

Le MNA25 donne l'altitude de chaque maille de 25m de côté pour l'ensemble du territoire suisse. Il ne donne que les formes brutes de la surface terrestre, sans la hauteur de la végétation, ni celle des constructions. Il repose sur les informations altimétriques de la carte nationale 1:25'000ème, interpolées avec une maille de 25 mètres.

La précision est de l'ordre de 1,5 m sur le Plateau, et varie entre 5 et 8 m dans les Alpes (voir figure 2 ci-dessous). De manière générale, le modèle numérique d'altitude est un bon modèle pour l'appréciation du relief. Il se montre cependant insuffisant dans les terrains accidentés, ainsi que dans les zones de plaines. En effet, le traitement des données de base ne suffit pas dans ce cas à supprimer les « artefacts », responsables des effets de lignages verticaux et horizontaux, que l'on retrouve fréquemment en plaine sur toutes les cartes dérivées du MNA25. Un traitement préalable des zones de la plaine a permis d'atténuer ce défaut, sans le supprimer complètement.

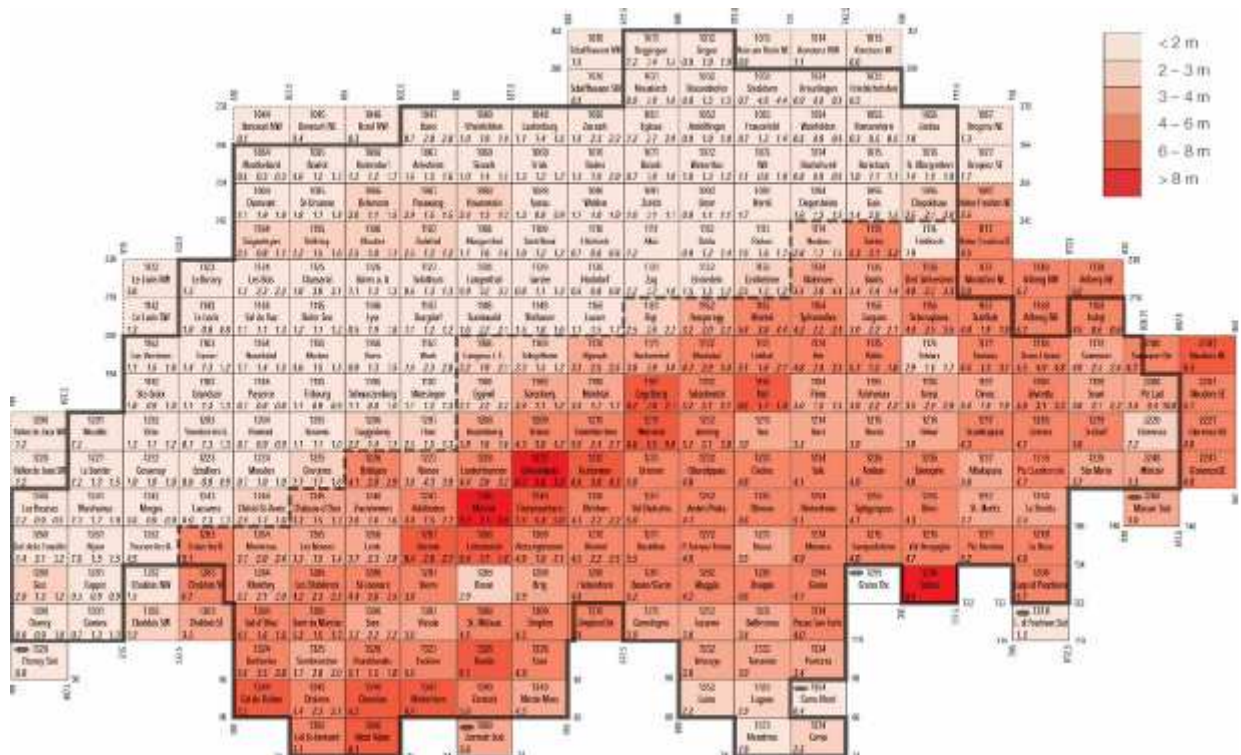
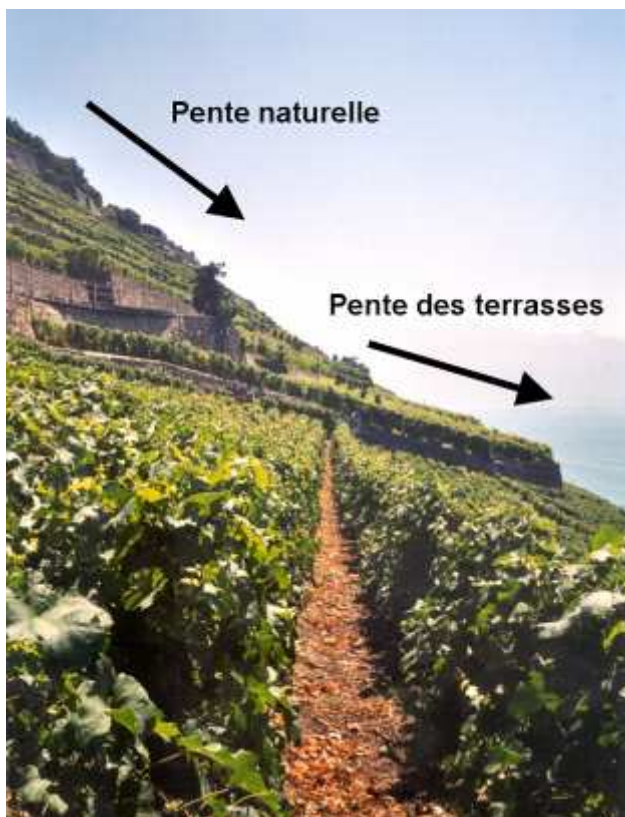


Figure 2 : Carte de l'erreur moyenne du MNA25 au niveau suisse (tiré de Swisstopo)

A l'heure actuelle, l'Office fédéral finalise le traitement des données issues des vols laser réalisés sur l'ensemble de la Suisse, qui permettront de disposer d'un modèle numérique d'altitude à 1 m de résolution pour toutes les surfaces situées en dessous de 2000m. Hormis le fait que le canton du Valais ne disposait que d'un début de couverture de sa superficie, dans la région du Bas-Valais, ce modèle est très difficile à mettre en œuvre pour des surfaces aussi conséquentes que celles couvertes par l'étude des terroirs. Il aurait cependant pu être utile dans la définition des pentes dans les zones accidentées ou de terrasses du vignoble, où le MNA25 se révèle trop imprécis. Dans ces zones, le modèle a en effet tendance à s'approcher de la pente naturelle du terrain, sans tenir compte des particularités locales.

Le calcul de l'ensoleillement est fortement influencé par la grandeur des pentes. Le modèle utilisé calcule la radiation potentielle en chaque point du territoire sur la base du MNA, des pentes et de l'orientation. Pour pouvoir tenir compte des particularités du terrain, en particulier dans les zones de terrasses où la pente des tablards est inférieure à celle de la pente naturelle, il a été nécessaire de prendre en compte cette pente anthropique dans les modèles. Le fichier des pentes a par conséquent été modifié localement sur la base des pentes générales des zones de grands murs, relevées par l'office cantonal de la viticulture. Les zones pour lesquelles les valeurs de pente ont été corrigées apparaissent en vert sur les cartes de pente.

Une surestimation des pentes par le MNA25 implique en effet, une sur / sous-estimation de la radiation solaire selon la saison considérée. Au printemps, le soleil étant relativement bas dans le ciel, les zones de fortes pentes reçoivent potentiellement plus de soleil par unité de surface que les zones plates, alors que ces dernières sont avantagées en été. Cependant, l'effet est supprimé dans le cas de trop fortes pentes, où le rayonnement s'apparente alors à celui des surfaces plates.



La photo ci-contre illustre bien la notion de pente naturelle – pente de terrasse.

Le MNA25 modélisera la pente naturelle du terrain. La pente des terrasses est impossible à apprécier avec une résolution de 25 mètres, alors que certaines terrasses ne font que quelques mètres ! On remarquera que outre les aspects techniques (travail facilité), la correction de la pente des zones très escarpées, permet également de favoriser le captage des rayons solaires au printemps lors du débourrement et pendant la maturation du raisin.

Figure 3 : Photo d'une vigne en terrasse dans le Dezalet-VD [K.Pythoud, 2003]

Tous les paramètres calculés dans le volet climatique concernent des zones assez étendues. L'extraction des zones viticoles, moyennant une zone « tampon » de 100m permet de mieux apprécier les nuances et variabilités présentes dans la zone viticole. Si cette démarche n'était pas effectuée, on verrait rapidement que toutes les vignes sont globalement situées dans des zones aux caractéristiques difficilement *discriminantes* (zones bien ensoleillées, relativement protégées...). Cet aspect se retrouve dans la cartographie de Schreiber, que nous abordons plus loin dans le texte, qui distingue précisément les étages propices à la culture de la vigne.

Pour mener à bien cette démarche, nous avons utilisé la couche vectorielle « vignes » du plan d'ensemble cantonal, qui délimite les zones viticoles de manière assez précise. La figure ci-dessous illustre cette démarche. Certaines zones ont été affinées avec la cartographie des unités de sol, qui était en voie d'élaboration.

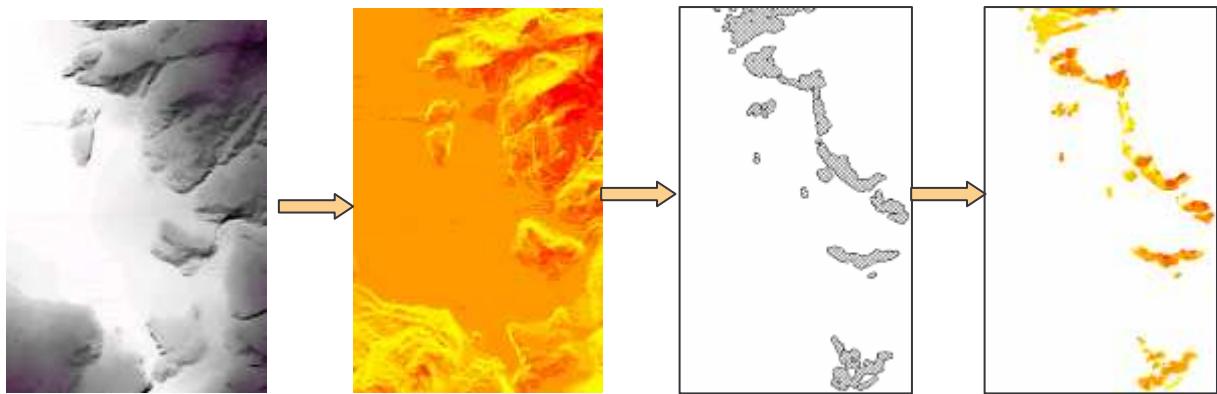


Figure 4 : Procédure d'extraction des grilles à la zone viticole

2.2 Les données climatiques

2.2.1 Les données Meteosuisse

L'Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse) a été chargé par la loi d'effectuer des mesures météorologiques et climatologiques de manière continue dans toute la Suisse. Les réseaux de mesures actuels enregistrent les paramètres météorologiques et climatologiques aussi bien au niveau du sol que dans l'atmosphère. Le premier réseau d'observation météorologique pour l'ensemble de la Suisse est entré en service avec 80 stations en décembre 1863. En raison de leur grande variabilité spatiale, les précipitations ont depuis le début été mesurées à l'aide d'un réseau de stations plus dense que les autres paramètres. Le réseau de mesures original s'est étendu rapidement en raison des nouveaux besoins. Aujourd'hui plusieurs réseaux de mesures sont utilisés. Ils se différencient par leurs méthodes de mesures ou par leur utilité finale :

- **Réseau conventionnel (KLIMA) et réseau automatique (ANETZ)** mesurent les paramètres climatologiques et météorologiques les plus importants. Ils se distinguent par l'automatisation et la fréquence des mesures effectuées. Le réseau de mesure conventionnel mis en place dès décembre 1863 représente le type de stations de mesures classiques avec trois observations par jour. Le réseau de mesures automatique est le réseau le plus complet de MétéoSuisse.

2.2.2 Le réseau RESIVAL

Le réseau Resival a été mis en place pour mesurer et surveiller la qualité de l'air du canton du Valais. Les 11 stations, réparties à proximité de la plaine ou à la limite de la couche d'inversion en altitude, mesurent un certain nombre de paramètres liés à la chimie de l'atmosphère, mais également des paramètres climatiques tels que la température, l'humidité, la pression, le rayonnement ainsi que la direction et la vitesse des vents. Ces derniers sont particulièrement importants dans la circulation des masses d'air et la répartition des polluants dans l'atmosphère. Les stations de plaine sont pour la plupart situées à proximité de zones urbaines ou industrielles ou des grands axes routiers.

Les mesures de ces stations seront utilisées principalement dans le chapitre consacré aux vents. Toutes les stations n'ont pas un intérêt dans le cadre du climat viticole. Peu sont situées véritablement dans les zones de coteaux, déjà mal couvertes par le réseau Meteosuisse. Les stations d'altitude montrent elles des comportements climatiques déjà particuliers. La figure suivante montre l'implantation des stations RESIVAL dans le canton, alors que leurs caractéristiques sont détaillées dans le tableau de la page suivante.



Figure 6 : Carte de situation des stations de mesure RESIVAL

Stations	Alt [m]	Caractéristiques
Massongex	400	En zone rurale, exposé au trafic, proximité industrielle, pas d'habitations.
Evionnaz	490	En zone rurale, exposée à un trafic intense, proximité autoroute, pas de constructions.
Les Giettes	1140	En zone rurale d'altitude, pas de trafic ni de construction, proximité de la forêt.
Saxon	460	Zone rurale (arboriculture), exposée au trafic (proximité autoroute), pas de constructions.
Sion	505	En ville, exposée au trafic, centre ville.
Les Agettes	1060	En altitude en zone rurale, pas de construction (h d'inversion).
Turtmann	620	En zone rurale, exposée au trafic.
Eggerberg	840	En zone rurale, Proximité industrielle, densité d'habitation faible.
Brigerbad	650	Zone rurale exposée au trafic, proximité industrielle, densité d'habitation faible.

Figure 7 : Caractéristiques des stations de mesure du réseau Resival

Ce réseau est destiné à documenter les mesures d'immissions polluantes. Elles sont réalisées avec des capteurs correspondants à ce besoin spécifique, notamment, les capteurs de force de vent ne sont linéaires que pour des vitesses inférieures à 50 km/h. Donc dans les cas où les vitesses sont supérieures, les mesures sont à considérer avec prudence. L'autre remarque importante à faire concerne la localisation de la station de Sion. Située en pleine ville, elle est passablement influencée par les constructions environnantes et le trafic. Les données de directions et de vitesses sont donc dépendantes de sa localisation et resteront donc ici indicatives.

2.2.3 Le réseau Agrométéo

Le réseau Agrométéo a été développé dans le but de mettre à disposition de l'agriculture un site regroupant des données climatiques et météorologiques mesurées dans les parcelles, ainsi que des informations utiles pour la gestion de problèmes phytosanitaires (www.agrometeo.ch). L'image ci-dessous montre la localisation actuelle des stations du réseau.

Ces stations ne sont pas en service depuis très longtemps, et les mesures qui nous intéressent concernent principalement l'aspect de ventilation. A ce niveau, seules 4 stations valaisannes mesurent les vitesses et directions des vents depuis 2002-2003. Nous verrons dans le chapitre consacré aux vents que ces stations apportent quand même des éléments qui permettent de confirmer certains aspects. Les autres paramètres sont difficilement utilisables de part la longueur des séries de mesure.

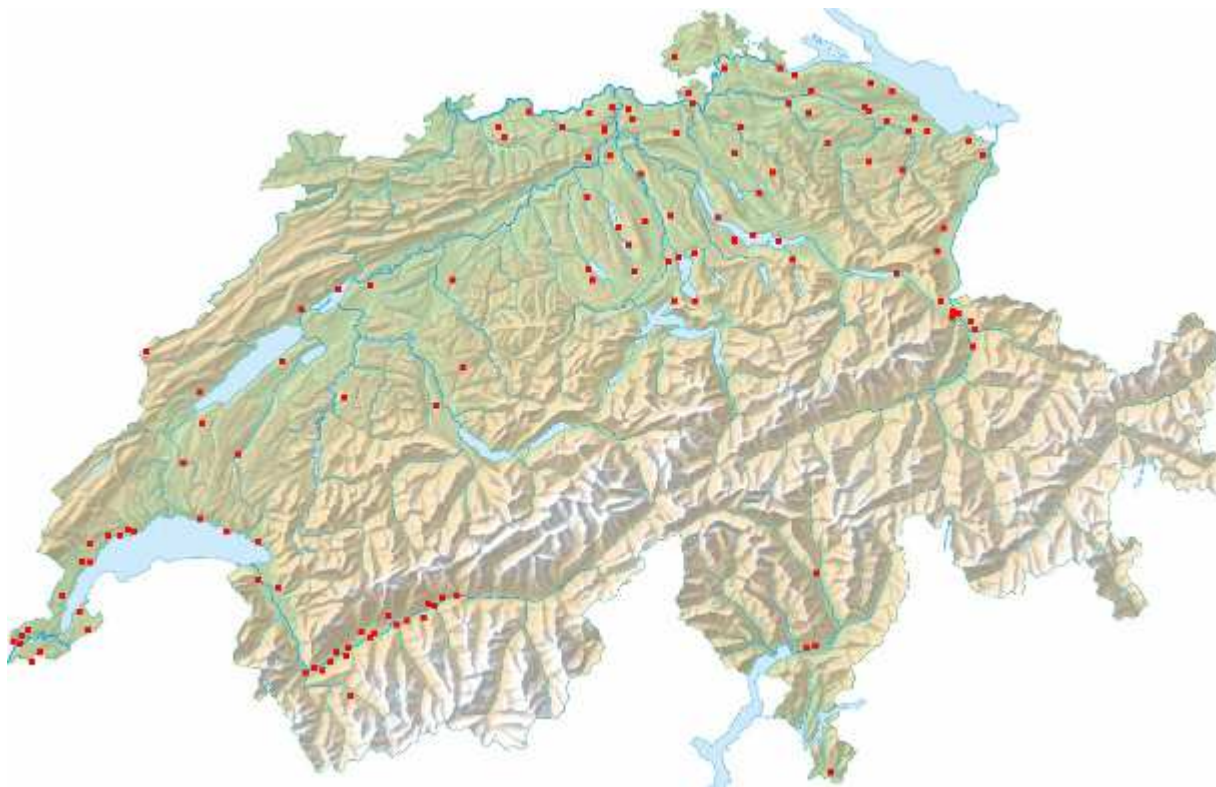


Figure 8 : Localisation des stations Agrométéo en Suisse

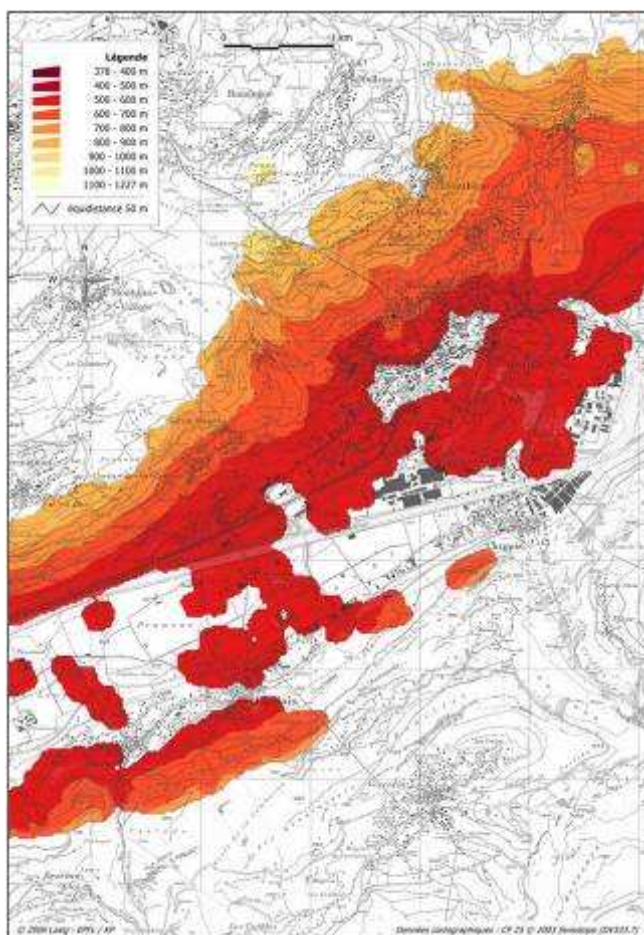
3. Les paramètres géomorphologiques du vignoble : l'altitude, la pente et l'orientation

Les cartes des paramètres géomorphologiques du vignoble font partie des données de base établies dans ce volet. Comme vu précédemment, ces informations sont faciles à déterminer dans les logiciels SIG standards comprenant des fonctions d'analyse spatiale. Alors que l'altitude est une représentation simple du modèle numérique d'altitude, les pentes et orientations sont issues de fonctions spécifiques qui mettent en oeuvre le MNA25. Les résultats prennent la forme de grilles raster, qui fournissent une valeur d'altitude, de pente ou d'orientation pour chaque maille de 25m. Pour des raisons de lisibilité et de taille des fichiers, ces grilles sont transformées. Dans un premier temps, on extrait les mailles situées à proximité du vignoble selon la démarche expliquée précédemment. Un zonage est ensuite effectué selon la répartition statistique des valeurs (histogramme), de manière à garantir une représentation optimum de l'information. Chaque zone englobe ainsi les mailles dont les valeurs sont comprises entre les intervalles choisis. La couche issue de cette procédure est ensuite superposée au fond cartographique. La mise en page finale aboutit à la création de la carte, telle qu'elle est disponible dans le dossier cartographique annexé. Cette démarche est effectuée pour chaque paramètre cartographié.

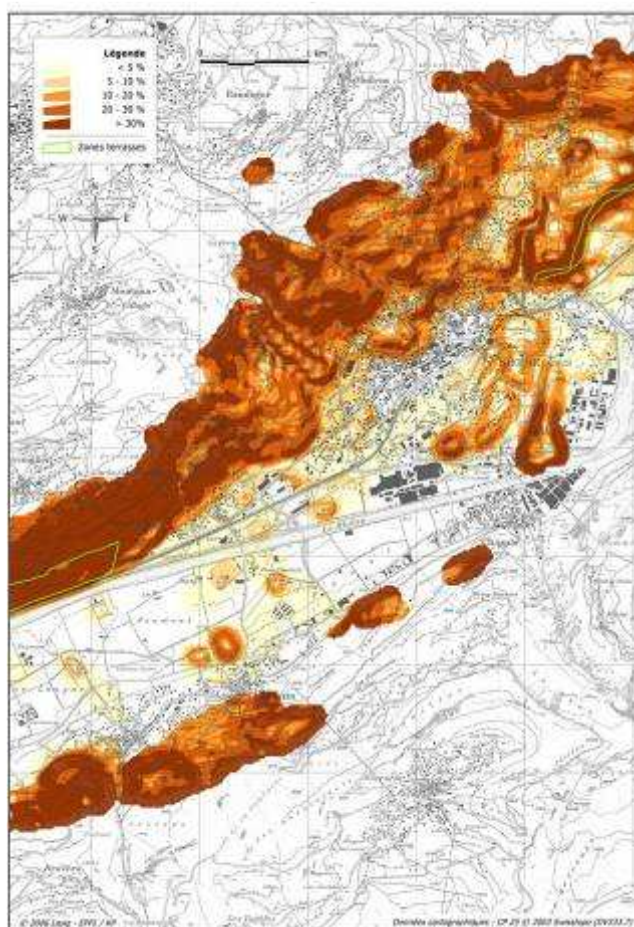
Les images de la page suivante présentent un extrait de ces trois cartes élaborées pour les paramètres géomorphologiques (région de Chippis). Un exemple de chaque carte originale est inséré dans les annexes (*Annexes 2 à 4*).

Le dossier cartographique comprend pour chaque région valaisanne :

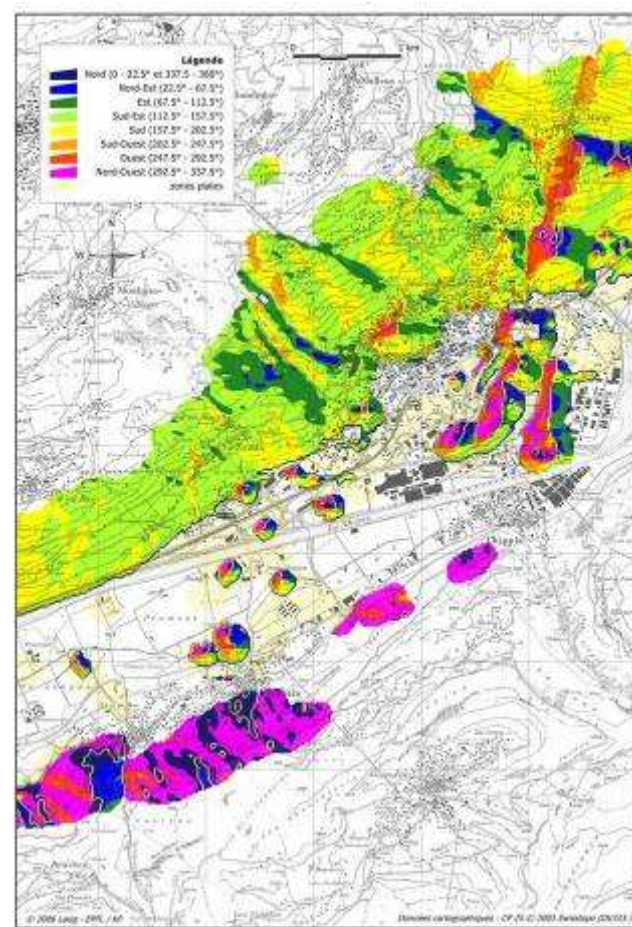
- Carte des altitudes
- Carte des pentes
- Carte des orientations



Altitude



Pentes



Orientations

Figure 9 : Extraits des cartes d'altitude, de pente et d'orientation du vignoble

4. La température

4.1 La température de l'air en Valais

Le climat valaisan est par définition un climat de type continental avec des influences méditerranéennes, caractérisé entre autres par de fortes variations quotidiennes et saisonnières de la température. Ces variations thermiques sont beaucoup plus fortes en Valais que dans la région lémanique. Globalement, les températures hivernales sont plus froides mais l'été est plus chaud. L'absence de lac n'apporte pas d'effet tampon sur la température de l'air.

L'amplitude thermique se monte à 12-13°C à Sierre (Chippis) en été et de 7-8°C en hiver, alors qu'elle n'atteint à Montreux que 9°C en été et 5-6°C en hiver. En hiver, le lac réchauffe le littoral lémanique et en été il refroidit localement l'air en étant plus froid. Les ciels clairs de la vallée du Rhône accentuent la déperdition calorifique pendant la nuit, alors que les courants froids ont déjà tendance à couler le long des flancs jusque dans la plaine ou ils s'accumulent et perdent encore de la chaleur par rayonnement. Globalement le Valais a plus de jours très froids et très chauds que le plateau. Par contre, les températures annuelles moyennes sont relativement proches, bien que légèrement inférieures en Valais pour les raisons que l'on vient d'aborder. Le tableau suivant présente les valeurs moyennes de températures des stations Météosuisse pour la période 1961-1990 :

Station	Alt [m]	Tmoy avril	Tmoy sept	Tmoy annuelle
Zermatt	1638	2.0	9.0	3.5
Evolène-Villa	1825	1.2	8.8	3.5
Ulrichen	1345	2.1	9.8	3.1
Montana	1495	3.2	10.8	5.2
Grächen	1550	3.4	10.9	5.2
Fey	737	8.2	14.3	9.0
Aigle	381	8.7	14.3	9.1
Visp	640	8.8	14.3	8.6
Montreux	405	9.1	15.5	10.1
Sion-aero	483	9.4	14.6	9.2

Figure 10 : Températures moyennes en avril, septembre et sur l'année d'après les normes climatologiques de Météosuisse pour la période 1961-1990

Les journées sont plus chaudes dans la vallée du Rhône car les versants ensoleillés amènent plus de chaleur par rayonnement solaire. En comparaison, sur les bords du Léman à Montreux, la brise du lac n'amène aucune chaleur et a même un effet inverse. La végétation valaisanne, et plus particulièrement celle des coteaux sud, ressemble déjà à celle du Midi de la France. On ne peut cependant y cultiver l'olivier en raison du trop fort risque de gel en hiver.

Du point de vue viticole, les températures relativement fraîches de l'hiver en Valais permettent aux bourgeons de débourrer rapidement et de manière assez homogène quand la température remonte. « En automne, les différences de température marquées entre le jour et la nuit favorisent une maturation lente du raisin, qui permet le développement des arômes et la synthèse des composés responsables de la couleur et des tanins des raisins » (J. Vallat, *Evolution socio-économique de la viticulture valaisanne* 2003).

4.2 L'altitude comme approximation de la décroissance thermique altitudinale

En théorie, le gradient de température est une fonction affine de l'altitude. En Suisse, la température relative diminue en moyenne de 0,65 °C par 100 m d'élévation et le gradient thermique théorique dépend donc uniquement de l'altitude de chaque point. L'altitude est donc un très bon indicateur de la température, à l'exception de certaines situations topographiques qui réagissent différemment (cuvettes, fonds de vallées...). La figure 11 montre la carte d'altitude pour le vignoble des environs de Conthey, dont les détails de l'élaboration ont été présentés au chapitre précédent.

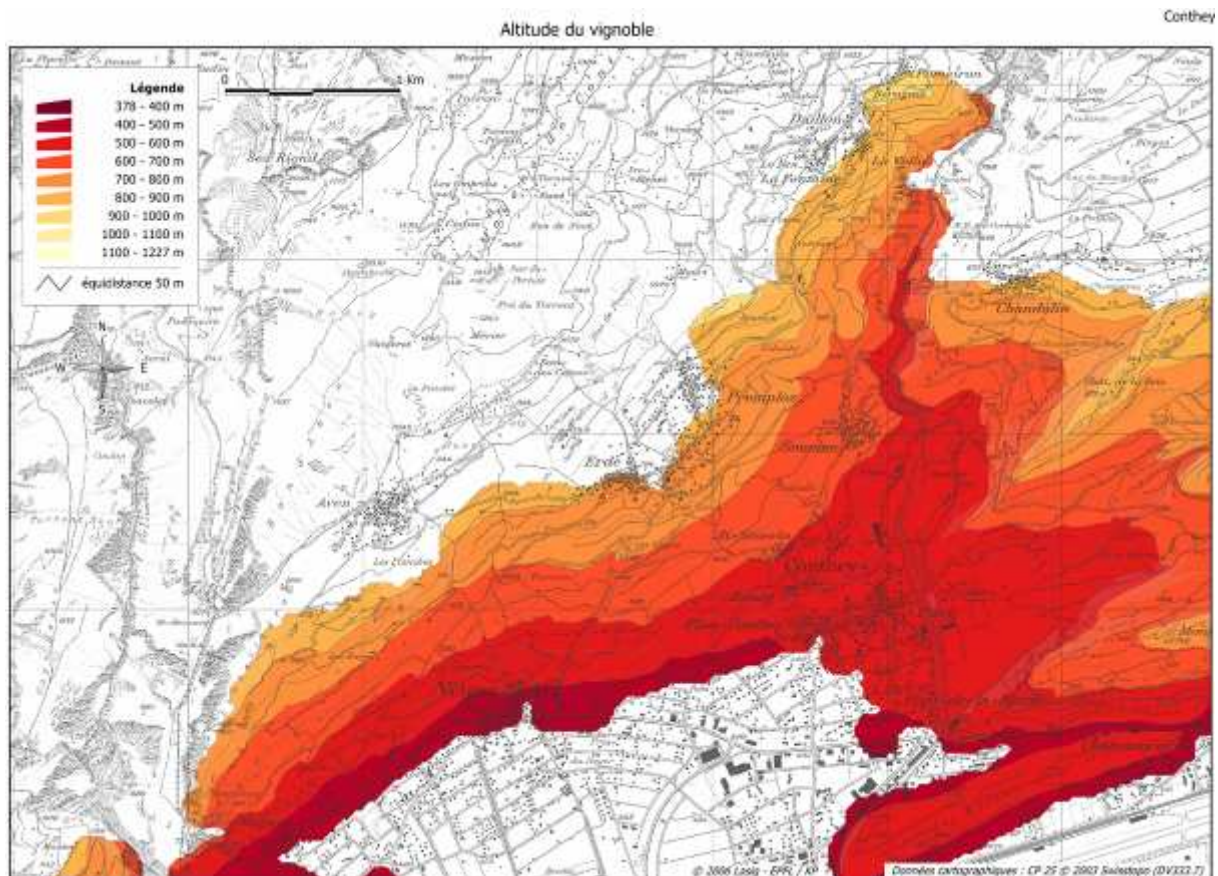


Figure 11 : Extrait de la carte d'altitude pour la région de Conthey

Ce modèle a cependant des limites. Les effets microclimatiques liés entre autres aux pratiques culturales ne sont pas intégrés, tout comme les mouvements thermiques, le brassage des masses d'air par le vent et le réchauffement des rangs à proximité des grands murs dans les zones de terrasses. Nous verrons dans la dernière partie du rapport comment approcher au mieux l'effet climatique, en tenant compte de l'effet de la radiation solaire.

4.3 Les modèles de régression – fonctions SPLINE

Dans le cadre de ce projet, nous avons également pu disposer des grilles de température moyenne élaborées par N. Zimmermann du WSL à Birmensdorf. Elles sont issues du même principe que la température diminue de 0.3 à 0.6 °C par 100 m de dénivellation positive selon les régions et les saisons considérées. La constante, nommée constante adiabatique, est une constante régionale (donne la température à une altitude de 0m. pour un endroit donné).

$$T = a + b * A$$

Avec :

T : Température théorique

A : Altitude

a : Constante adiabatique (= température à altitude nulle)

b : Facteur de décroissance altitudinal

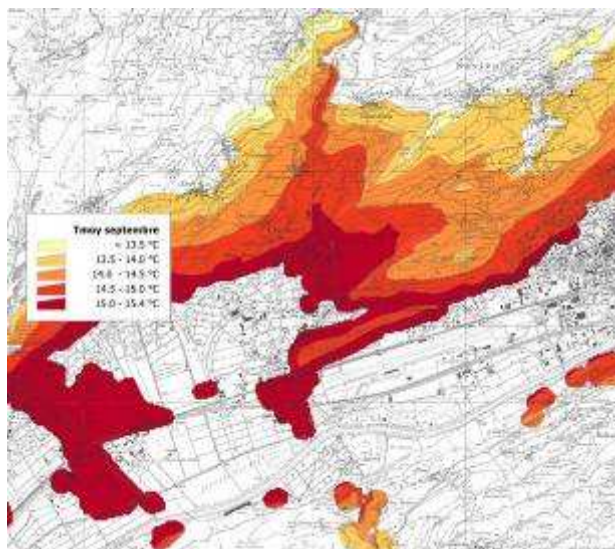
Un modèle de régression linéaire a ensuite été utilisé pour permettre l'interpolation spatiale des données de température. Toutes les stations du réseau ont été standardisées au niveau de la mer en utilisant un coefficient de régression pour pouvoir séparer des tendances régionales au niveau de l'altitude. Des fonctions SPLINE ont ensuite été utilisées pour interpoler les valeurs moyennes réduites au niveau de la mer. Les paramètres de la régression ont ensuite permis de reprojeter les valeurs à l'altitude effective de chaque point. Nous avons ensuite récupéré les grilles des températures moyennes pour les mois d'avril, de septembre ainsi que les valeurs annuelles. Ces grilles ont ensuite été extraites pour la partie du vignoble et un zonage des valeurs a ensuite été réalisé selon le protocole décrit plus haut. Le dossier des cartes comprend donc pour l'aspect thermique, la carte d'altitude, qui permet de donner une indication générale de la décroissance altitudinale, ainsi que les cartes de températures moyennes pour les mois d'avril, de septembre et les températures moyennes annuelles pour la période de 1961-1990.

Les extraits de cartes de la figure 12 montrent pour une même zone, les trois cartes de température moyenne issues des modèles du WSL, ainsi que la carte d'altitude, correspondant au modèle de température de base. Un exemple de chacune des cartes de température moyenne pour les mois d'avril, de septembre et la température annuelle est disponible en annexe (Annexes 5a – 5c).

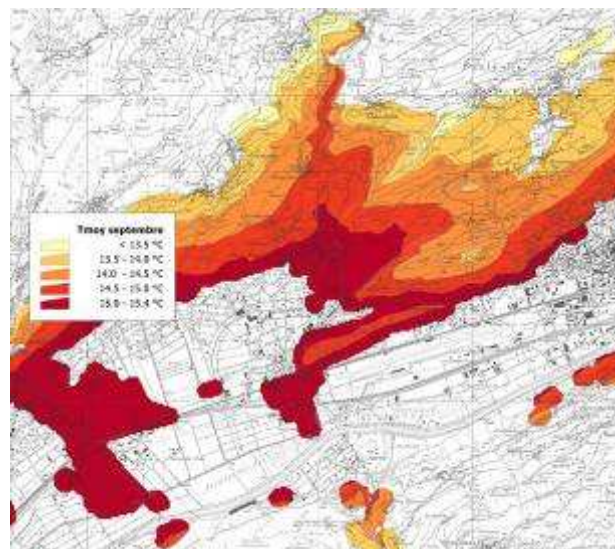
On remarque donc rapidement que la différence entre les modèles issus du WSL et la carte d'altitude reste faible. La répartition des zones est quasi identique, les modèles restant basés sur le modèle numérique d'altitude, seules des valeurs de température moyenne pour chaque mois sont associées aux zones. La carte d'altitude peut apporter cette même variation relative en étant transformée en indice altitudinal. Cela nous permet de confirmer notre hypothèse de base, utilisée dans le canton de Vaud ; la modélisation du gradient thermique théorique par l'intermédiaire de l'altitude relative des différents points du vignoble reste une solution efficace et relativement simple à mettre en œuvre.

Cependant, ces modèles, issus des mesures du réseau *Météosuisse* et du facteur altitudinal ne peuvent pas tenir compte des effets microclimatiques reconnus localement. Les phénomènes tels que l'accumulation d'air froids dans les cuvettes, la circulation d'air dans les fonds de vallées, ainsi que les effets thermiques localisés liés à l'orientation des versants ne sont pas pris en considération par ce type de modèle.

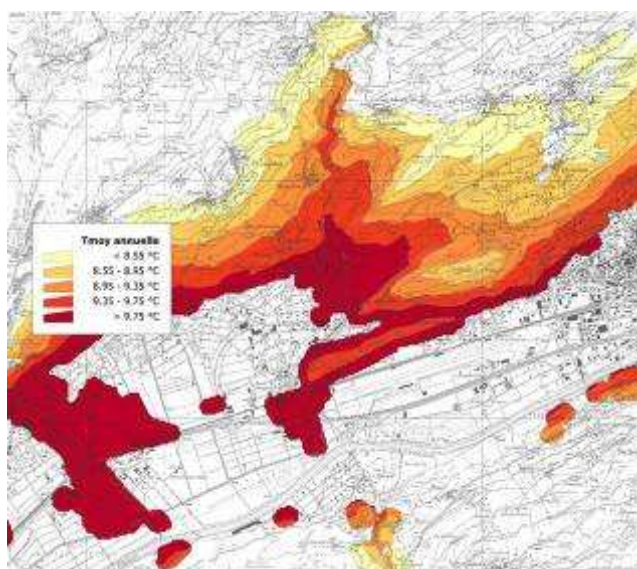
Température moyenne modélisée au mois d'avril



Température moyenne modélisée au mois de septembre



Température moyenne annuelle modélisée



Altitude

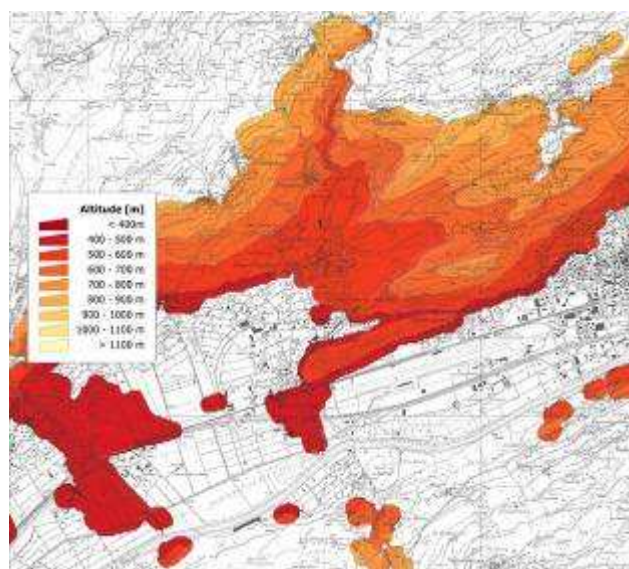


Figure 12 : Extraits des cartes de températures moyennes issues du modèle WSL et de la carte d'altitude

Max Bouët avait montré que le versant adret de la vallée du Rhône a une température moyenne légèrement plus élevée à niveau égal que l'envers. Il avait mesuré un gradient de température moyenne de $0.73\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$ entre Sion et Evolène et de $0.5\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$ entre Sion et Montana. En hiver, les écarts entre la plaine et la montagne diminuent et varient selon les versants et la situation météorologique de $-0.2\text{ }^\circ\text{C}$ à $0.2\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$ à cause du phénomène d'inversion thermique. En mai, les écarts sont les plus élevés et se montent à $0.8\text{--}0.9\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$.

Ce dernier point montre bien le fait que durant l'été, les écarts entre les deux versants sont quasi nuls et que si la vigne est principalement implantée sur le versant sud des Alpes Bernoises, cela provient de la différence d'ensoleillement. Primault en 1966 avait également montré que les températures moyennes des deux versants étaient quasi semblables.

Les modèles fournissent donc des informations pertinentes à l'échelle du canton, mais ne peuvent avoir la prétention d'approcher les valeurs réelles à une échelle beaucoup plus locale, celle de la parcelle.

Dossier cartographique de chaque région valaisanne comprend :

- Carte de la température moyenne au mois d'avril (1961-1990)
- Carte de la température moyenne au mois de septembre (1961-1990)
- Carte de la température moyenne annuelle (1961-1990)

4.4 Enquêtes

Les enquêtes réalisées auprès du groupe Vitival, hors l'aspect ventilation, devaient permettre de préciser des particularités climatiques difficiles à apprécier avec des modèles de calcul. Elles demandaient de préciser si la zone viticole comprenait localement des zones particulièrement chaudes, froides et de placer les zones gélives actuelles. Les retours n'ont cependant pas été suffisants pour couvrir l'ensemble de la surface viticole. Nous avons donc difficilement pu intégrer ces remarques dans le résultat final. Ces informations nous sont utiles dans le sens où elles confirment que les effets microclimatiques n'apparaissent que rarement dans les grilles modélisées, et que d'autres moyens devraient être mis en œuvre pour pouvoir apprécier ces phénomènes. Nous verrons dans la dernière partie, que pour certaines zones, les zones chaudes mentionnées par les personnes avaient globalement une bonne correspondance avec les valeurs élevées de l'indice climatique.

4.5 Le gel

La Valais est soumis parfois au gel de printemps, qui est essentiellement du gel par rayonnement qui apparaît quand le ciel est clair. La plaine reste alors plus froide que le coteau, où la température augmente jusqu'à 100m environ au-dessus de la plaine. Les ruptures de pente dans le coteau subissent les mêmes effets que la plaine en ralentissant et en stockant les masses d'air froid que glissent le long de la pente. Les zones les plus sensibles au gel sont donc le haut du coteau et la plaine, ainsi que les endroits particuliers dont la morphologie entraîne le stockage des masses d'air froid. L'étude, réalisée sur l'ensemble des zones de cultures par M. Roten et B. Primault en 1964, avait permis de définir les zones sensibles au gel, suite à l'extension des cultures sensibles dans la plaine fraîchement assainie et vers le haut des coteaux. Elle avait ainsi permis de définir quelles zones devaient prioritairement être protégées des coups de gel. La carte de l'époque n'est cependant plus utilisable aujourd'hui, car le phénomène de gel a passablement évolué ces dernières années. Le point de vue du gel n'a pas été abordé plus précisément en dehors des enquêtes et son aspect très localisé montre qu'il nécessiterait une étude particulière.

Le tableau suivant donne le nombre de jours moyens annuels dont la température minimale journalière est inférieure à 0°C, ceci également pour le cumul des mois d'avril à juin pour la période 1961-1990. Ces informations sont extraites des données Météosuisse.

Station	Altitude [m]	Avril-juin	Année
Genève-Cointrin		3.2	77.8
Pully	461	0.9	47.2
Montreux	405	0.8	53.3
Aigle	381	2.4	82.9
Fey	737	4.0	83.8
Sion-aero	483	2.6	97.5
Visp	640	6.5	126.1
Evolène-Villa	1825	26.1	154.7
Montana	1495	20.7	148.0
Ulrichen	1345	34.9	207.9
Grächen	1550	23.9	164.6
Zermatt	1638	28.3	182.2

Figure 13 : Nombre moyen de jours de gel (avril à juin, année) d'après les valeurs des normes climatologiques de Meteosuisse [1961-1990]

Ces valeurs confirment les considérations précédentes. La plaine valaisanne est globalement plus soumise au gel que les abords directs du lac léman. Sur l'année, un coteau comme Fey a moins de jours de gel que la plaine.

4.6 Les niveaux thermiques de Schreiber

Les relevés des stades phénologiques effectués par K.-F. Schreiber à la fin des années soixante ont abouti à la création de la carte des niveaux thermiques au printemps de l'ensemble de la Suisse au 1 :200'000ème. Moins précise que celle du canton de Vaud réalisée à l'échelle du 1 :100'000, elle fournit les niveaux thermiques relatifs et les possibilités d'exploitation agricole, basés sur la floraison de différentes espèces végétales. Pour l'étage de la vigne, le découpage est fait en trois zones (assez chaud, chaud, très chaud). Bien que l'échelle de restitution soit peu adaptée à l'étude du mésoclimat, cette cartographie reste intéressante et mérite d'être intégrée au présent dossier. La carte de Schreiber est disponible sous forme d'un découpage du canton en trois cartes. La légende originale très complète est fournie à part. Elle mentionne entre autre le nombre de jours de végétation par année par zone. Contrairement au canton de Vaud où la relative précision de la carte avait permis de digitaliser les zones. L'échelle de la carte valaisanne rend le zonage trop imprécis. Cette carte est donc fournie sous forme d'image scannée à partir du document original. La figure 14 en présente un extrait, alors qu'une des trois cartes du dossier cartographique et la légende originale sont disponibles en annexe (*Annexes 6a et 6b*).

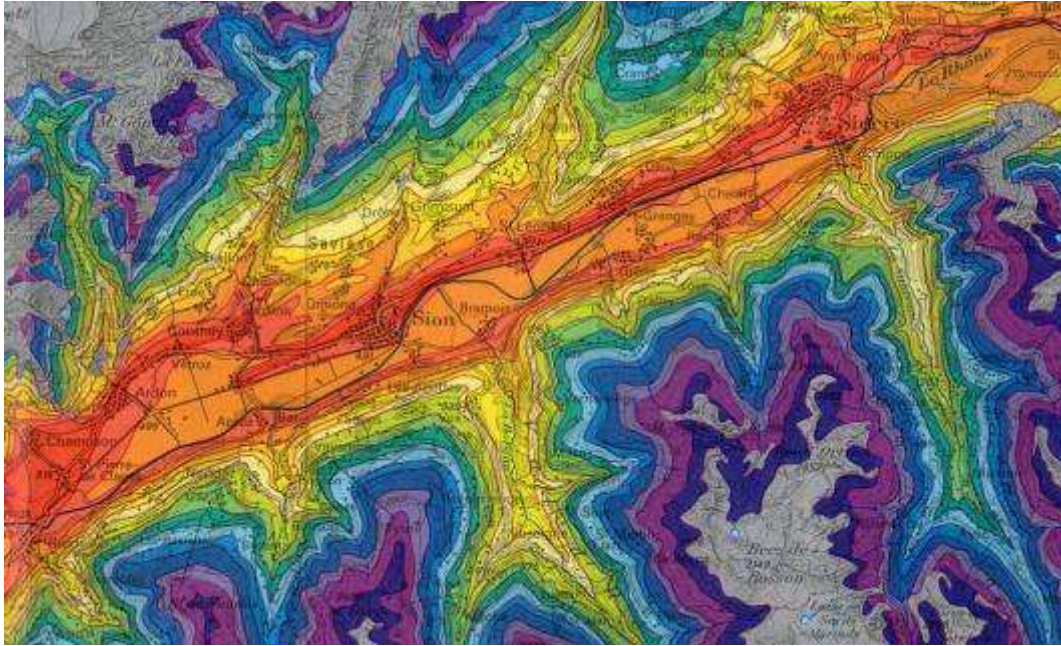


Figure 14 : Extrait de la carte des niveaux thermiques au débourement pour la région de Chamoson – Sion

Dossier cartographique comprend :

- Carte des niveaux thermiques au printemps selon Schreiber

5. Le rayonnement solaire ou énergie solaire reçue

5.1 Généralités

Du point de vue des potentialités climatiques, le rayonnement est un des paramètres importants de la définition d'entités mésoclimatiques homogènes. L'étude du rayonnement solaire en Valais est particulièrement intéressante par l'orientation très variable des coteaux viticoles. Par ailleurs, séparé géographiquement du plateau par la cluse de Saint-Maurice, le Valais est une entité climatique à part entière. C'est une région connue pour son intense luminosité. L'ensoleillement annuel moyen est le plus élevé de Suisse avec le sud du Tessin et se monte en moyenne à environ 2000 heures par année. Globalement, le versant sud des Alpes bernoises est mieux exposé au soleil de part son orientation.

Contrairement aux autres régions du plateau qui subissent régulièrement les stratus automnal et hivernal, le Valais ne le connaît que très rarement. La mer de brouillard telle qu'on la connaît sur le plateau est rare en Valais en amont de Saint-Maurice. Max Bouët avait montré qu'il arrive en moyenne 10 fois par année alors que, sur le Plateau, les valeurs sont 5 à 10 fois supérieures. L'insolation relative est donc globalement sur l'année un peu supérieure à celle des cantons de Vaud et de Genève (55 % sur l'année contre 47% à Lausanne), même en hiver où elle reste relativement élevée (47 % à Sion, 48% à Montana, contre 18% à Zürich et 23% à Genève sous la nappe de stratus, ceci pour les mois de novembre-janvier). Dans le Bas Valais en aval de Saint-Maurice, le stratus se forme beaucoup plus facilement (environ 30 jours par année). Dans les vallées latérales, l'ensoleillement durant l'hiver y est court de part la profondeur des vallées.

5.2 Définition du rayonnement solaire

A l'échelle du globe, le gradient latitudinal de l'insolation provient de la géométrie de la rotation de la terre autour du soleil. A l'échelle du paysage, la topographie est le facteur déterminant dans la distribution de l'ensoleillement. La variabilité altitudinale, l'orientation des surfaces (pente et orientation) et l'ombre projetée par le relief proche ou lointain engendrent des variabilités locales du rayonnement. Selon la saison et l'heure, le rayonnement solaire direct est maximum à une pente et une exposition données. On distingue donc pour un lieu donné :

- le rayonnement potentiel, qui est la quantité potentielle d'énergie qu'un endroit peut recevoir avec un ciel sans nuages.
- Le rayonnement réel qui est la quantité d'énergie réellement reçue par ce lieu compte tenu de la couverture nuageuse. Le modèle de calcul permet de calculer le premier, alors que le deuxième pourrait être estimé à l'aide de valeurs de nébulosité, difficiles à connaître localement, car les valeurs disponibles sont peu nombreuses.
- Le rayonnement diffus provient lui de la réflexion sur la couverture nuageuse alors que le rayonnement indirect, provient de la réflexion sur les murs, le sol environnant et la végétation. C'est un paramètre très difficile à quantifier à grande échelle. Il est également

fonction du bilan d'énergie¹ et la plupart du temps il est négligé, tout comme les phénomènes mésoclimatiques localisés.

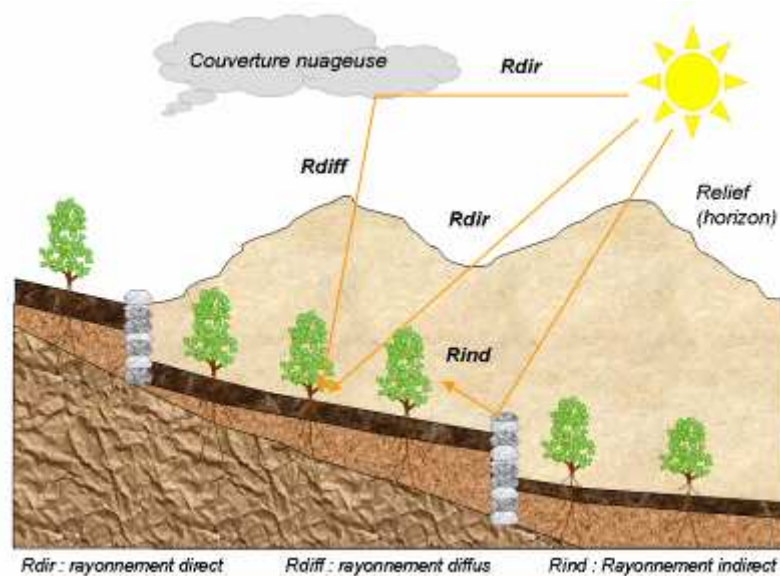


Figure 15 : Différents types de rayonnement solaire reçus par les ceps de vignes

Les diverses techniques culturales pratiquées dans les vignobles ont une influence importante sur le mésoclimat du sol et de l'air dans les rangs de vignes [Calame, 1993]. Bien qu'il conditionne en finalité la qualité et la typicité des vins, ce paramètre n'est pas intégré à l'échelle de l'étude.

L'ensoleillement des vignobles est étroitement dépendant des conditions géomorphologiques des parcelles. Les zones de terrasses relèvent à ce niveau de situations particulières. L'influence des murs intervient à deux niveaux. Les terrasses diminuent la pente globale du vignoble, comme on l'a vu précédemment, mais des mésoclimats très localisés sont engendrés par la réverbération aux abords des murs. Ces derniers sont impossibles à modéliser et l'influence locale des murs n'a, par conséquent, pas été prise en compte dans le cadre de ce projet.

5.3 Les données de rayonnement du réseau Météosuisse

Les données de rayonnement des stations Météosuisse sont fournies depuis 1981 (1978 à Pully). Elles sont représentatives des conditions locales des stations, et l'extrapolation des valeurs à l'ensemble du territoire n'est donc pas envisageable sans tenir compte des conditions topographiques et géomorphologiques locales. Les modèles de calcul du rayonnement solaire potentiel représentent donc les seules solutions susceptibles d'intégrer plus précisément sa variation temporelle et spatiale à l'échelle du paysage. Le tableau suivant fournit les valeurs moyennes des normes climatologiques des stations Météosuisse pour la période 1981-2000. La

¹ Une partie du rayonnement direct est utilisé pour l'évapotranspiration de la surface du sol (herbé ou non-herbé)

longueur des séries de mesures du réseau Agrométéo n'est pas suffisante pour entrer dans une telle comparaison.

Station	Rayonnement global [Wh/m ² /j]				Durée d'ensoleillement [h/j]			
	avril	juin	sept	annuel	avril	juin	sept	annuel
Aigle	4248	5472	3648	3336	5.1	6.2	5.9	1711
Fey	-	-	-	-	5.8	7.6	6.0	-
Montana	4800	5976	4104	3816	5.8	6.8	6.8	2071
Pully	4248	5832	3696	3360	5.7	7.1	6.1	1763
Sion	4824	6168	3984	3696	6.4	7.7	6.8	1990
Ulrichen	3720	5568	3672	3480	4.8	6.1	5.8	1666
Visp	3576	6024	3960	3528	6.8	7.6	7.0	-
Zermatt	3840	5592	3840	3624	4.9	5.8	5.5	1666

Figure 16 : Valeurs de radiation solaire et de durée d'ensoleillement d'après les normes climatologiques de Meteosuisse [1981-2000]

Nébulosité

La différence entre le rayonnement potentiel et le rayonnement réel dépend évidemment surtout de la nébulosité. Le pourcentage de nébulosité est fourni par l'intermédiaire d'estimations visuelles du ciel relevées dans 26 stations qui couvrent ainsi le territoire suisse. Cette mesure n'est aujourd'hui pas encore automatisée, mais Météosuisse envisage de le faire à moyen terme. Globalement, à l'exception de la zone du Bas Valais et de certains vignobles situés dans les vallées latérales plus facilement soumises à des précipitations, la radiation potentielle calculée permet d'apprécier les différences d'ensoleillement réelles entre les différentes positions du vignoble, car la couverture nuageuse y varie peu. La radiation effective (en heures) ne serait effectivement qu'une pondération par les valeurs de nébulosité, quasi constante pour la zone entre Martigny et Brig. Les seules stations de mesure de ce paramètre, proches de la zone viticole valaisanne, sont celles de Montreux, dont on sait que la couverture nuageuse est bien différente que celle du Valais central et celle de Grächen, déjà plutôt soumise au climat montagnard de la vallée de Conches. Dans les deux cas, la nébulosité annuelle se monte à respectivement environ 63% et 50%.

5.4 Modélisation de la radiation solaire

La quantification de la radiation solaire reçue potentiellement par chaque point du vignoble sera déduite indirectement de la radiation globale potentielle. Le modèle utilisé, exploité par le logiciel *Solar Analyst*, calcule l'ensoleillement potentiel pour une région donnée à partir d'un modèle numérique de terrain.

Solar Analyst calcule les grilles correspondant à la radiation globale, directe et diffuse exprimée en joules par m² (ou watt-heure par m²) pour n'importe quelle durée (instantanée, journalière, mensuelle,...), ainsi que le nombre d'heures d'ensoleillement potentiel. Les seules informations

à définir, outre le modèle numérique de terrain qui permet ensuite de déduire également la pente et l'orientation, est la latitude moyenne de la zone géographique ainsi que la période d'intégration de l'énergie (date spécifique, intervalles de temps ...).

Les périodes de calcul de l'énergie ont été choisies en fonction de la phénologie de la vigne. Elles devaient être suffisamment restreintes pour que les comparaisons soient pertinentes. On est parti du principe que le rayonnement potentiel aux alentours des dates critiques était déterminant dans le développement physiologique de la vigne. Les périodes définies pour le vignoble valaisan sont:

- 5 au 25 avril : période de débourrement
- 1^{er} au 20 juin : période de floraison
- 25 juillet au 5 août : période de véraison
- 25 août au 25 septembre : période de maturation

La radiation sur l'ensemble de la période de végétation a également été calculée (1^{er} avril au 30 septembre). Comme pour les autres paramètres, les grilles sont ensuite extraites pour la zone du vignoble et traitées de manière à obtenir la carte définitive, selon la procédure décrite au chapitre 2. La figure ci-dessous donne un extrait du rayonnement potentiel pendant le débourrement pour la région de Miège. Les valeurs correspondent à la radiation potentielle journalière.

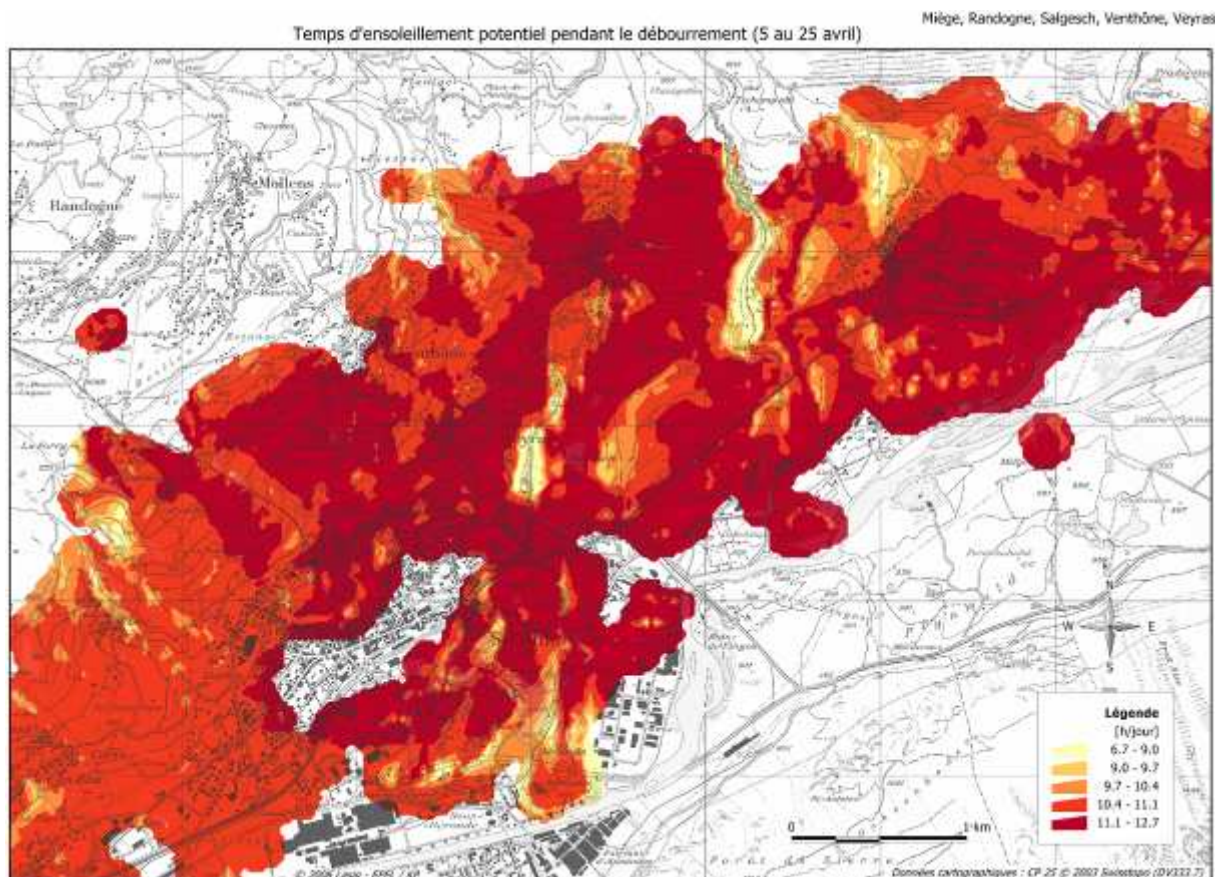


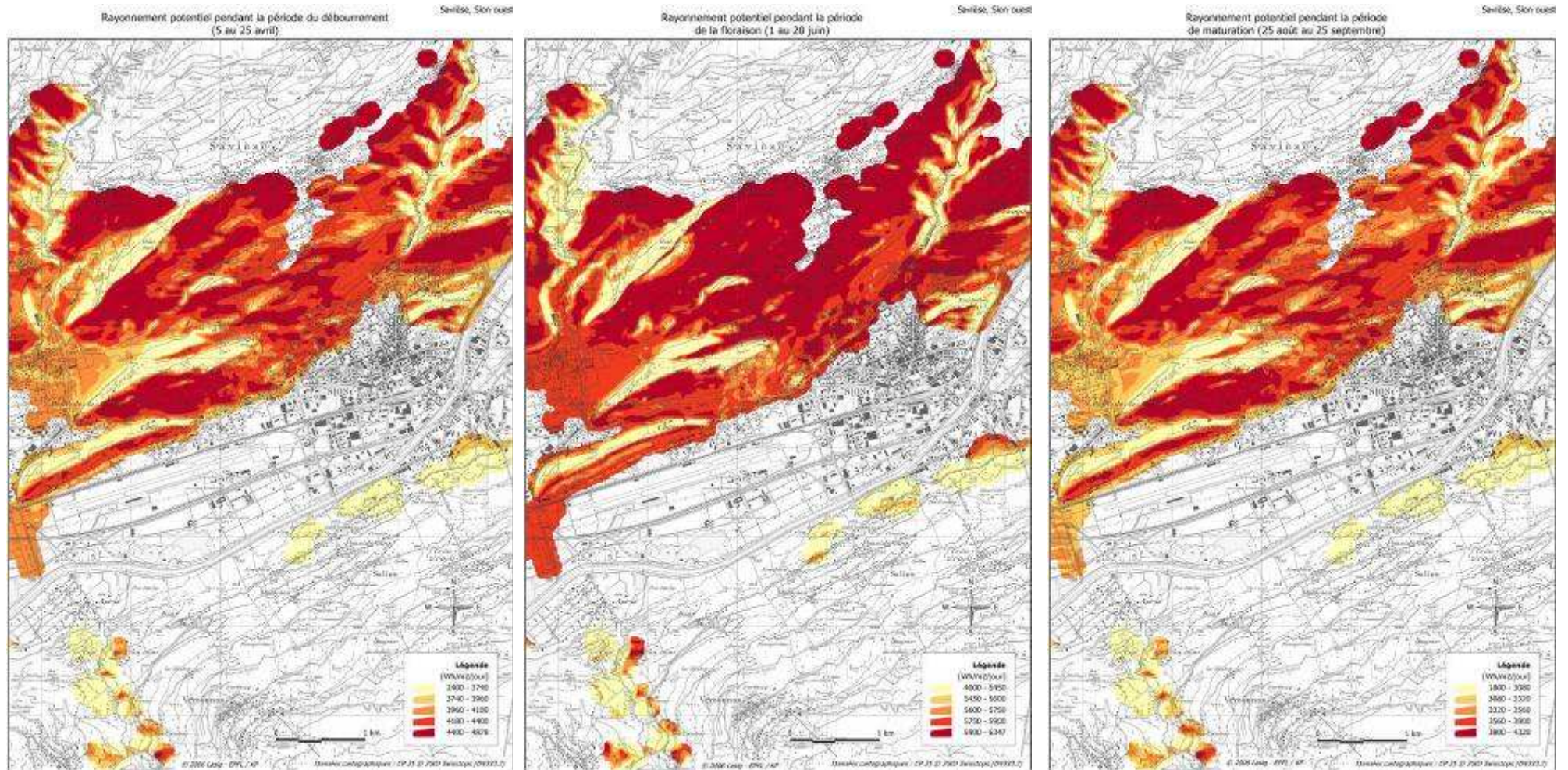
Figure 17 : Temps d'ensoleillement journalier potentiel durant le débourrement pour la région de Miège

Les calculs réalisés ont permis de connaître, pour chaque période considérée, le rayonnement global potentiel indicatif pour l'ensemble des zones viticoles valaisannes en Wh/m^2 , sans tenir

compte de la couverture nuageuse. Les cartes établies fournissent donc des indications quant à l'énergie potentielle maximale que peut recevoir une parcelle, compte tenu de la période considérée et de sa situation (pente, orientation), sans se préoccuper des véritables conditions météorologiques, qui ne peuvent qu'atténuer les valeurs potentielles résultantes. Le nombre d'heures d'ensoleillement potentiel journalier moyen est également calculé et cartographié pour chaque période définie ci-dessus.

Le tableau de la page suivante donne les cartes réduites de rayonnement pour la région de Sion pour les différentes périodes de calcul. Un exemplaire conforme de chacune des cartes est fourni en annexe (Annexes 7a à 7e : Rayonnement potentiel, Annexes 8a à 8e : Durée d'ensoleillement potentielle).

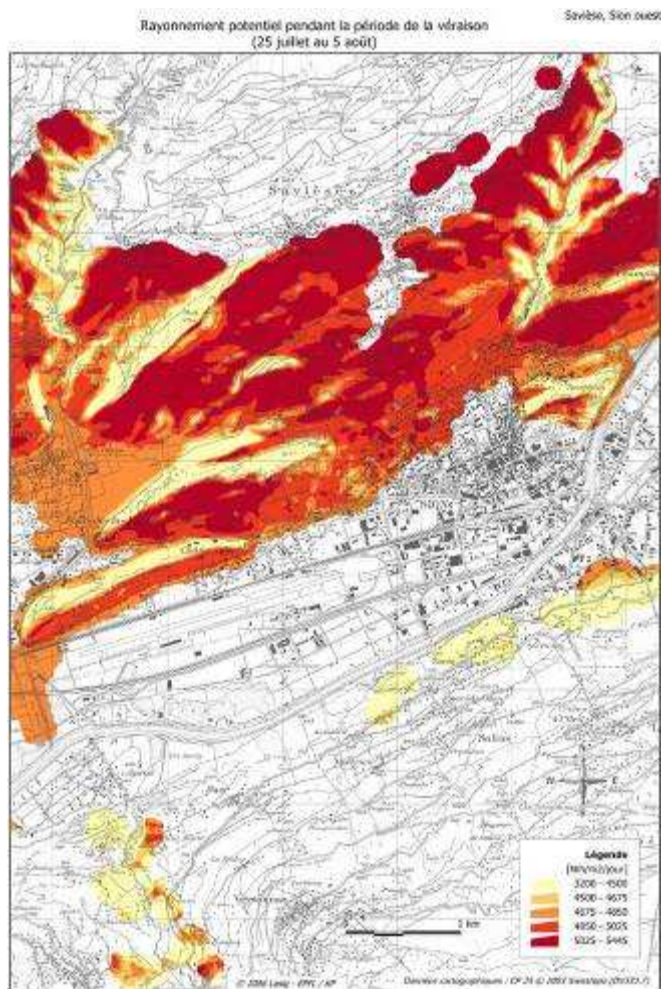
Figure 18 : Cartes du rayonnement potentiel pour les différentes périodes de calcul



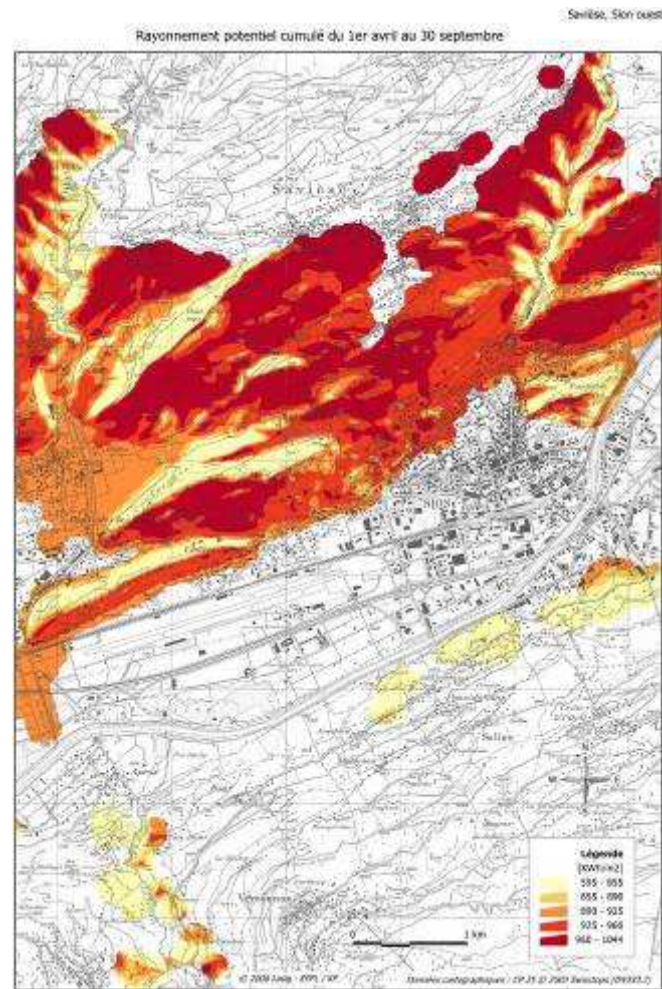
Rayonnement potentiel (débournement)

Rayonnement potentiel (floraison)

Rayonnement potentiel (maturation)



Rayonnement potentiel (véraison)



Rayonnement potentiel (avril-septembre)

Dossier cartographique comprend :

- Rayonnement potentiel pendant le débourrement [$\text{Wh/m}^2/\text{jour}$]
- Rayonnement potentiel pendant la floraison [$\text{Wh/m}^2/\text{jour}$]
- Rayonnement potentiel pendant la véraison [$\text{Wh/m}^2/\text{jour}$]
- Rayonnement potentiel pendant la maturation [$\text{Wh/m}^2/\text{jour}$]
- Rayonnement potentiel sur l'ensemble de la période de végétation
Rayonnement potentiel pendant le débourrement [$\text{Wh/m}^2/\text{jour}$]
- Ensoleillement potentiel pendant le débourrement [h/jour]
- Ensoleillement potentiel pendant la floraison [h/jour]
- Ensoleillement potentiel pendant la véraison [h/jour]
- Ensoleillement potentiel pendant la maturation [h/jour]
- Ensoleillement potentiel sur l'ensemble de la période de végétation [h/jour]

6. La pluviométrie

6.1 Généralités

Le Valais central est l'endroit le plus sec de Suisse, il y pleut quasiment deux fois moins souvent que sur les bords du lac Léman. C'est la configuration du relief qui induit cet état de fait. Les courants pluvieux passent la barrière des Alpes et redescendent dans la vallée du Rhône où ils se dessèchent par réchauffement adiabatique. Max Bouët a dit à ce propos : "*En Valais dans le fond de la vallée entre Martigny et Brig, la pluie est un accident quelque peu insolite, alors qu'ailleurs elle fait partie du pensum habituel !*" Sur le versant exposé au sud, les hauteurs de pluie augmentent plus rapidement avec l'altitude que sur l'autre versant. De manière générale, le mauvais temps y est quasiment aussi fréquent que dans le reste de la Suisse romande, les précipitations sont par contre plus rares et de plus courte durée. Avec l'élévation de l'altitude, les précipitations augmentent également comme dans les autres régions à cause de l'effet orographique (ex. Montana 1495 m. – 1004 mm/an, Grand-Saint-Bernard 2472 m. - 2336 mm/an !). Le Vispertal est pauvre en pluie à cause de son exposition au foehn. La vallée de Conches a un climat hivernal plus rude, avec d'abondantes chutes de neige ou de pluie par temps de foehn.

6.2 Les données pluviométriques du réseau Météosuisse

Les normes climatologiques pour la pluviométrie disponibles chez Météosuisse fournissent pour ce paramètre des informations importantes. Comme vu auparavant, nous avons synthétisé les données mensuelles des vingt dernières années (1986-2005) sur la base des annales de pluviométrie disponibles à Agroscope Changins, ceci pour les stations situées à proximité directe du vignoble. Les valeurs annuelles des autres stations ont également été retenues.

Les hauteurs d'eau moyennes de cette période ont ainsi pu être comparées aux valeurs des normes pluviométriques de la période 1961-1990, utilisées dans la plupart des synthèses et modèles à l'heure actuelle. Toutes les valeurs compilées pour les stations de mesure retenues sont récapitulées dans l'annexe 9 (Annexe 9a : détails pour les stations proches du vignoble, Annexe 9b : Pluviométrie annuelle de toutes les stations valaisannes), alors que la comparaison entre les valeurs des deux périodes sont fournies dans le tableau de la page suivante. Ce tableau montre des petites différences essentiellement mensuelles, mais les valeurs annuelles ne varient que très peu. Les écarts de la pluviométrie annuelle moyenne restent faibles compte tenu de la variabilité interannuelle globale,

Les hauteurs d'eau moyennes mensuelles et annuelles sont complétées par le nombre de jours pluvieux par mois et par année (précipitations sont supérieures à 0.9 mm). Les tableaux des figures 20 et 21 donnent respectivement les valeurs moyennes de pluviométrie pour quelques endroits du canton, ainsi que le nombre de jours pluvieux pour la période 1961-1990. On y voit que les jours de précipitations durant l'été changent peu pour les stations considérées, à l'exception de celle de Montreux, région connue pour être la plus pluvieuse du canton de Vaud ainsi que les stations d'altitude soumises à un régime montagnard. Par contre, sur le plan annuel, les stations valaisannes ont passé 30 % de jours pluvieux en moins. Elles se distinguent également par les hauteurs d'eau relativement limitées qui tombent lors de chaque épisode pluvieux.

Station	Altitude [m]	Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre		Annuelle	
		61-90	86-05	61-90	86-05	61-90	86-05	61-90	86-05	61-90	86-05	61-90	86-05	61-90	86-05	61-90	86-05
Ulrichen	1345	98.0		104.0		90.0		67.0		99.0		67.0		103.0		1137.0	
Brig	666		64.4		54.2		60.5		42.7		50.1		44.4		74.3		707.6
Ackersand/Stalden	700		51.1		49.0		50.0		37.6		48.2		42.4		66.5		541.9
Visp	640	47.0	52.3	46.0	42.2	45.0	44.8	36.0	42.5	42.0	43.1	32.0	41.8	57.0	63.7	599.0	588.8
Sierre	565		42.9		44.7		56.1		52.0		63.0		47.9		62.6		669.2
Montana	1508	59.0		65.0		80.0		74.0		80.0		51.0		70.0		982.0	
Sion-aero	483	36.0	39.0	41.0	41.9	52.0	56.1	48.0	58.0	55.0	58.7	38.0	45.9	50.0	56.9	598.0	608.1
Fey	737	35.0	38.1	41.0	38.0	50.0	54.7	46.0	55.0	53.0	57.5	36.0	45.1	46.0	55.5	542.0	566.0
Montagnier	848		67.0		65.6		81.0		72.2		75.6		63.0		74.5		837.4
Orsières	915		60.4		61.5		74.7		71.7		71.0		63.4		76.4		786.6
Martigny La Batiаз	462		63.3		55.5		74.4		71.0		79.5		60.0		80.3		862.2
Bex	419		83.5		89.2		114.2		118.3		113.8		87.5		87.3		1057.4
Aigle	381	75.0	78.6	87.0	82.4	111.0	108.1	99.0	113.2	114.0	101.0	81.0	87.3	80.0	90.7	1032.0	1021.5
Montreux	405		116.1		123.8		147.1		131.0		128.1		113.4		111.8	1379.0	1301.0

Figure 19 : Comparatif des valeurs de pluviométrie entre les normes climatologiques de Meteosuisse (1961-1990), utilisées pour le modèle WSL et les valeurs moyennes sur la période 1986-2005

Station	Altitude	Pmoy	
		annuelle	végétation
Sion	482 m	598 mm	270 mm
Visp	640 m	599 mm	248 mm
Fey	737 m	542 mm	262 mm

Figure 20 : Données de pluviométrie moyenne pour 3 stations du vignoble valaisan (1961-1990)

Station	VII – VIII	Année
Aigle	21	122
Changins	18	114
Fey	16	81
Montana	20	111
Pully	19	120
Sion	16	83

Station	VII – VIII	Année
Ulrichen	21	117
Visp	15	79
Zermatt	19	92
Grächen	17	84
Montreux	22	136

Figure 21 : Nombre de jours pluvieux moyens durant les mois de juillet-août et pendant toute l'année (1961-1990)

Les recherches effectuées par Max Bouët montrent que les valeurs annuelles de pluviométrie à Sion sur la période 1864-1940 et 1901-1940 se montaient respectivement à 590 mm et 588 mm. Compte tenu des normes de précipitations de Meteosuisse pour la période 1961-1990 et de nos valeurs compilées sur la période 1986-2005, qui se montent en effet respectivement à 598 mm et 608 mm, on remarque que la pluviométrie annuelle moyenne a peu varié au cours du siècle dernier.

Une des caractéristiques de la pluviométrie valaisanne est également l'absence de maximum estival qui se rencontre sur les stations du plateau. Le graphique ci-dessous, basé sur les données de la période 1961-1990 illustre ce principe. Cette situation est induite par la rareté des épisodes orageux en Valais, alors qu'ils sont fréquents dans les autres régions.

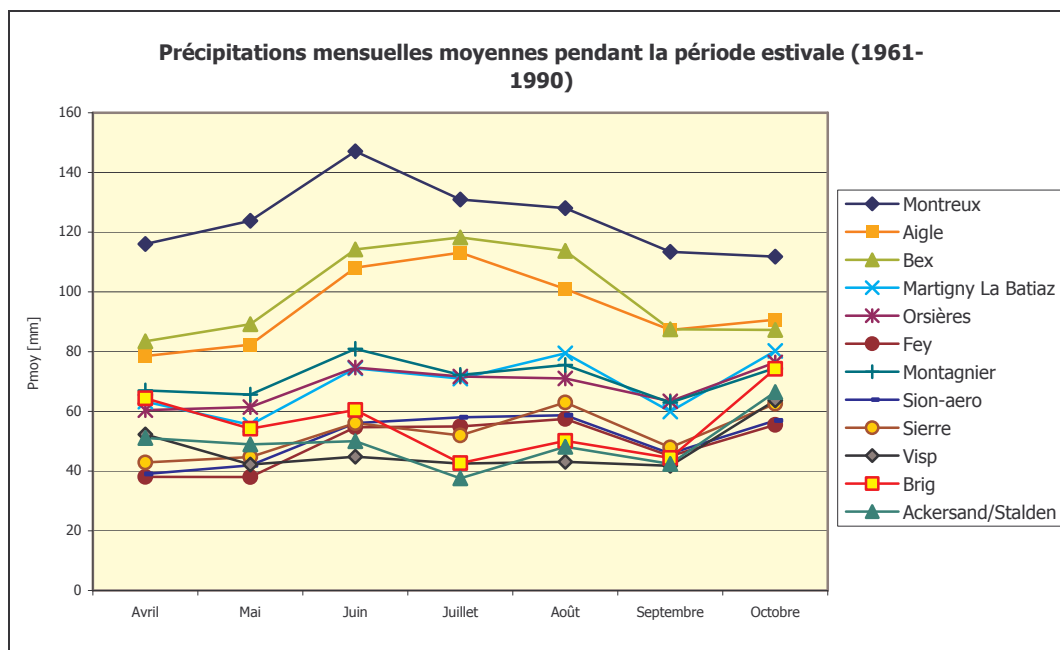


Figure 22 : Précipitations mensuelles moyennes pendant la période estivale sur la base des normes climatologiques suisse (1961-1990)

Accroissement altitudinal

Max Bouët avait déjà montré, sur la base des mesures 1901-1940 et de manière graphique, que l'augmentation de la pluviométrie avec l'altitude ne suivait pas une loi unique. Chaque région, chaque vallée et chaque versant suivant sa propre loi de croissance (facteur régional). Les modèles actuels peuvent intégrer ces variations régionales, pour autant que le réseau de mesures de base soit suffisamment dense, ce qui est loin d'être toujours le cas. Les valeurs d'accroissement altitudinal relevées par M. Bouët sont énumérées dans le tableau suivant.

Profil	Accroissement [mm/100m]
Brig-Reckingen	51
Oberwald-Furka	43
St-Nicolas - Saas	15
Anniviers et Hérens	14
Entremont	14
Adret de Sierre	45
Lavey – Aiguilles	13
Avançon – Grande eau	60
Montreux - Rochers de Naye	93

Figure 23 : Accroissement altitudinal de la pluviométrie sur quelques profils altitudinaux (selon M. Bouët)

Cela confirme les constatations mentionnées précédemment. La situation et les conditions topographiques des vallées valaisannes engendrent des comportements météorologiques bien différents de ceux rencontrés dans les systèmes montagneux à proximité du plateau. Certains endroits, bien que situés à des altitudes relativement élevées, ont des hauteurs d'eau annuelles bien inférieures aux standards helvétiques.

6.3 Modèles « WSL »

Contrairement au canton de Vaud où la spatialisation de l'information s'était simplement faite par interpolation à l'aide de modèles relativement simples. Le Valais montre une variabilité indiquant à la fois un gradient altitudinal et régional, lié aux effets complexes de la ventilation. Encore une fois, les grilles résultantes du projet WSL réalisées sur la base des mesures des stations Météosuisse pour la période 1961-1990 ont été utilisées. Le recours à ces données de pluviométrie ne pouvait se réaliser sans étudier leur évolution entre 1961-1990 et les valeurs actuelles, d'où la justification de compiler manuellement les données des vingt dernières années. Nous avons vu, dans le tableau intégrant les valeurs des deux périodes, que les écarts de la pluviométrie annuelle moyenne sont minimes. Ils justifient ainsi l'élaboration des cartes de pluviométrie sur la base des grilles issues de mesures plus anciennes.

Les grilles « WSL » de pluviométries mensuelles et annuelle ont donc été extraites pour la région viticole élargie, puis combinées selon les périodes d'intérêt. Finalement, un zonage a été réalisé pour chaque grille retenue pour faciliter la lecture de la carte. Compte tenu du cycle végétatif de la vigne, les cartes finales élaborées sont les suivantes : pluviométrie annuelle, hivernale (octobre à mars), estivale (avril à septembre), ainsi que celle des mois de juillet-août. Un exemple de carte de pluviométrie est disponible à la figure suivante.

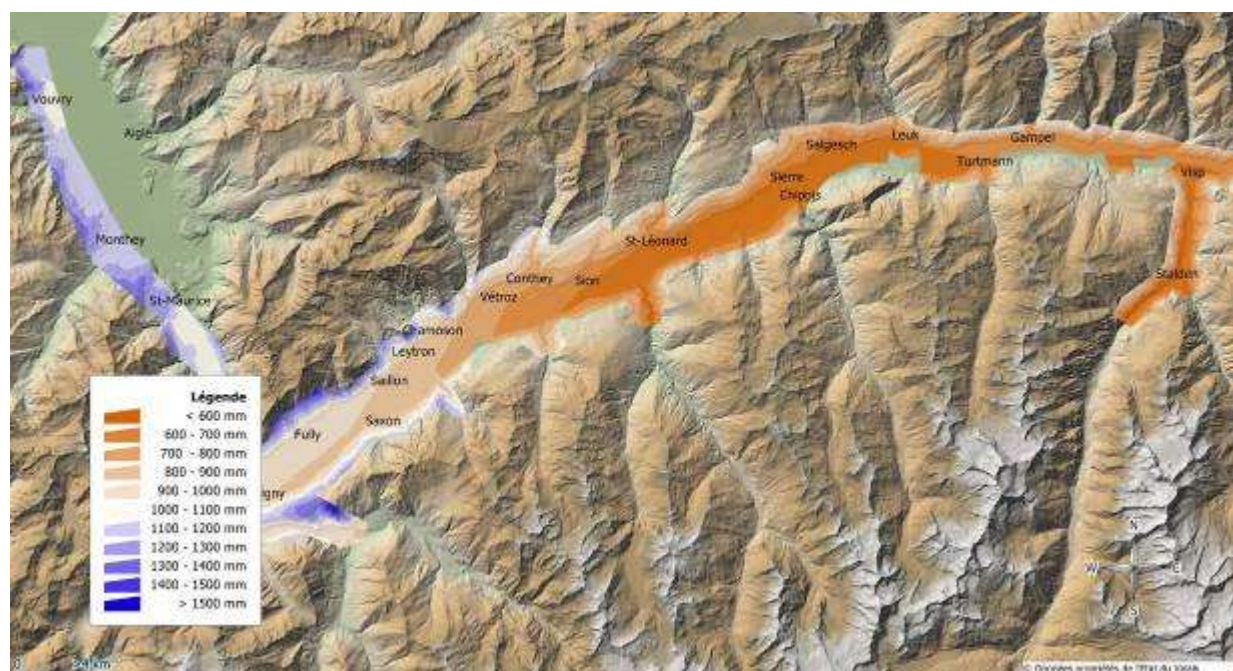


Figure 24 : Exemple de carte pluviométrique établie pour le vignoble valaisan

Les cartes pluviométriques pour chacune période retenue sont disponibles en format A4 dans les annexes (*Annexe 10a à 10d*). Le dossier cartographique comprend pour chaque période, 3 cartes couvrant l'ensemble du canton.

La cartographie de la pluviométrie montre des différences régionales marquées, non seulement dépendantes du facteur altitudinal mais également des effets liés à la circulation des courants dans l'ensemble des vallées et des chaînes montagneuses alentours. La faible pluviométrie caractéristique du Valais central se retrouve nettement. Seules quelques particularités locales sont difficiles à modéliser. Un exemple est celui de la station de Fey, qui fournit des valeurs très basses de pluviométrie bien qu'elle se situe déjà à une altitude moyenne ; la valeur du modèle en ce point est supérieure à celle mesurée. Par contre, le modèle tient bien compte de la différence notable de hauteur d'eau entre la rive gauche et la rive droite du Rhône. La faible pluviométrie du Vispéral se retrouve également.

Pour permettre de faire une comparaison visuelle des valeurs, les stations de mesure Meteosuisse ont été géoréférencées sur la base de leurs coordonnées. Les données relatives aux stations ont ensuite été associées aux points de manière à pouvoir représenter sous forme de cartes thématiques, les cartes issues des modèles et les valeurs ponctuelles des stations. La carte de la figure suivante présente un exemple de cette démarche.

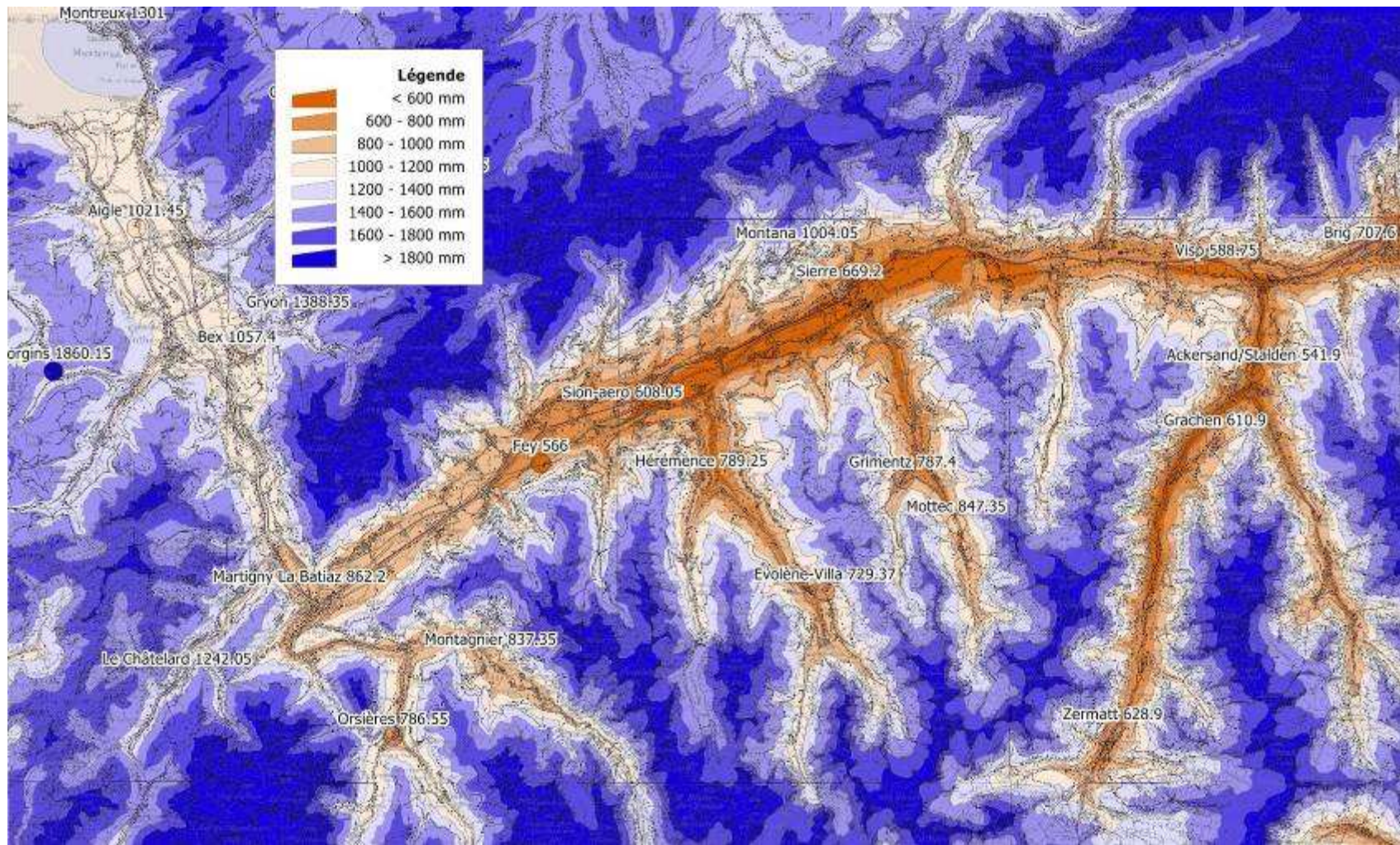


Figure 25 : Carte de comparaison entre les valeurs pluviométriques moyennes sur la période 1986-2005 et la pluviométrie annuelle calculée avec le modèle WSL

Il est intéressant de comparer des valeurs historiques de pluviométrie avec les modèles actuels. La carte de la pluviométrie annuelle est très proche de la carte historique réalisée par Max Bouët sur la base des mesures 1901-1940, visible à la figure suivante (exception faite du niveau de précision). On voit que la faible pluviométrie du Valais central n'est pas nouvelle, et que les hauteurs d'eau sont comparables à celles des grilles extraites des modèles du WSL.

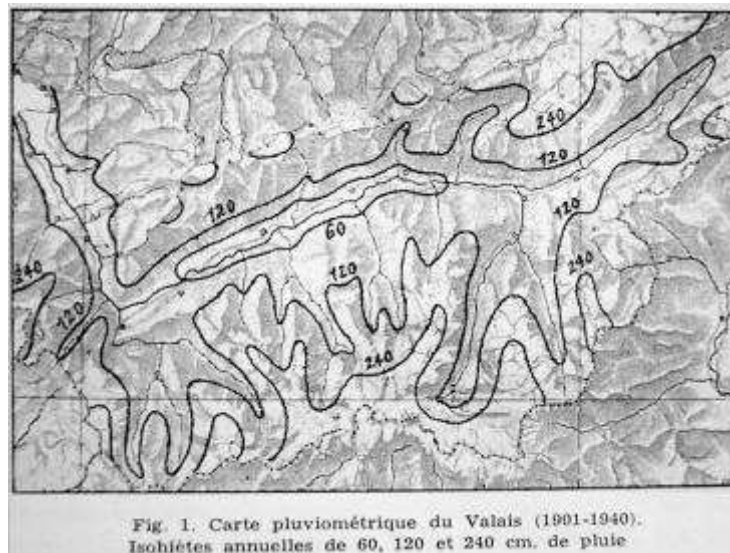
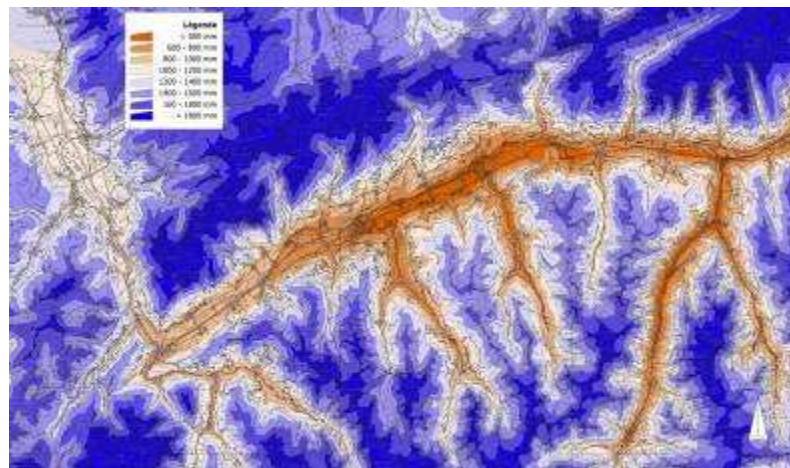


Figure 26 : Carte de la pluviométrie issue de « La pluie en Valais » [M.Bouët, 1950]



Carte de la pluviométrie annuelle issue du modèle du WSL [N. Zimmermann, 2002]

Comme pour les autres paramètres, au vu de l'échelle de traitement des données et le nombre de points utilisés dans la mise en œuvre de modèles, ces valeurs ne doivent en aucun cas être rapportées à l'échelle parcellaire mais bien comme des valeurs régionales indicatives.

Dossier cartographique comprend :

- Pluviométrie annuelle moyenne [mm]
- Pluviométrie en été (avril – septembre) [mm]
- Pluviométrie aux mois de juillet – août [mm]
- Pluviométrie en hiver (octobre – mars) [mm]

7. Les vents en Valais

7.1 Généralités

L'effet du vent sur les parcelles est indéniable. La température est en partie dépendante de l'exposition aux courants, par l'effet reconnu dans les zones abritées du vent. Bien connus la plupart du temps des viticulteurs, ces phénomènes mésoclimatiques restent difficiles à quantifier. L'exposition au vent influence les échanges thermiques au voisinage des pieds de vignes, la sensibilité aux maladies fongiques et aux dangers de gel printanier. En Valais, ce principe est d'autant plus complexe, que le foehn, vent incontournable dans l'étude du mésoclimat, influence le climat viticole à la fois par son effet positif (effet thermique) et négatif (mécanique).

La ventilation de la plaine du Rhône est importante du point de vue de la caractérisation du climat valaisan. A l'exception de l'hiver où les jours calmes sont plus nombreux, l'air de la vallée est continuellement en mouvement d'avril à septembre. On se trouve dans un régime de brises alternées d'aval et d'amont, bien développées durant la saison estivale. Leurs vitesses varient durant la journée, avec un maximum au milieu de l'après-midi et un minimum durant la nuit. Dans les vallées latérales, la circulation est aussi développée mais la vitesse des brises ascendantes est plus faible.

L'intensité et la longue durée de la brise d'aval provoquent une déformation caractéristique des couronnes des arbres fruitiers de Villeneuve à Sierre. Les brises d'été ont une vitesse élevée, elles peuvent dépasser les 16 km/h de moyenne (4.45 m/s). La brise de montagne (brise de pente) se maintient toute l'année autour de 4 km/h (1.1 m/s). Le vent d'aval (fausse bise valaisanne) est lui plus durable que le foehn, mais moins fort.

Comme vu précédemment, la caractérisation de la ventilation en Valais a fait l'objet d'une recherche particulièrement poussée. La méthodologie finale reste basée sur celle développée dans le projet des terroirs vaudois, mais la complexité du facteur a nécessité des adaptations méthodologiques importantes.

Les publications de Max Bouët concernant les vents valaisans ont constitué le point de départ de cette étude valaisanne. Contrairement au canton de Vaud pour lequel il existait une cartographie des courants dominants, établie par Haeberli sur l'ensemble du canton, rien n'avait été fait d'aussi précis pour le Valais, à l'exception du Bas-Valais couvert indirectement par la cartographie vaudoise. Toute la démarche de cette partie du projet a été construite de manière à pouvoir déterminer les vents dominants, leur direction générale et leur intensité. La thèse de Fallot (1991), nous a fourni des indications importantes concernant la circulation générale des vents en Suisse, selon différentes conditions météorologiques. Les grandes directions de circulation pour le Valais sont également visibles. Elles ne donnent cependant pas d'indications quant à l'intensité dans chaque région du vignoble valaisan, et surtout pas d'indications sur les directions dominantes à une échelle plus régionale. Ces cartes sont cependant intéressantes et disponibles également comme information de base en annexe (Annexe 11).

Ces différentes publications nous ont fourni beaucoup d'informations qui a fallu compléter et comparer aux données actuelles des différents réseaux de mesure et aux connaissances empiriques. Ces approches complémentaires ont permis d'aboutir à l'établissement des cartes d'exposition aux courants dominants (brises et foehn), pondérées chacune par des cartes d'intensité propre.

Ce chapitre mérite que je mentionne une anecdote sympathique. Au début du projet valaisan, j'ai eu l'occasion de fouiner dans le grenier familial. Je suis tombée sur le livre de Max Bouët sur le climat des Romands. Je l'ai lu attentivement et quelle ne fut pas ma surprise en arrivant au chapitre des vents valaisans ; un joli gribouillage de très jeune enfant couvrait la page. Ma mère avait pris soin d'y annoter : Karine le 23 décembre 1973 ... j'avais deux ans et sans doute déjà beaucoup d'intérêt pour la ventilation valaisanne ! Fin de la parenthèse.

7.2 Le système de ventilation de la vallée du Rhône

Le système de ventilation du Valais, et en particulier la vallée du Rhône, est en grande partie influencé par la configuration géomorphologique de la vallée et des chaînes montagneuses alentours. Les points suivants résument les conditions générales de circulation des courants qui seront repris au cours de ce chapitre :

- Présence d'un système de vents de sens opposé :
 - d'une part, la brise de vallée / d'aval (vent d'aval ou vent durable) qui souffle globalement dans la vallée du SW au SSW, qui s'observe de l'embouchure du Rhône à la vallée de Conches,
 - d'autre part, la brise d'amont (de montagne) et le foehn qui sont de sens contraire.
- Les vents sont presque exclusivement dirigés selon l'axe de la vallée. L'alternance des brises d'aval et d'amont est quasi quotidienne à l'exception des périodes de mauvais temps
- La vitesse des brises varie au cours de la journée : elle est forte le jour et faible la nuit.
- Apparition irrégulière de vents d'amont les plus violents de tous qui correspondent au foehn.
- Apparition irrégulière de vents d'aval de longue durée qui correspond aux changements de temps.

7.2.1 Le régime des brises

Les brises alternées persistantes caractérisent la ventilation de la plaine du Rhône et dans une moindre mesure les vallées latérales. Ce sont des vents réguliers de beaux temps qui ont un rythme nyctéméral amont – aval - amont pendant les jours clairs en Valais (changement seulement par foehn ou mauvais temps).

Les brises suivent en gros l'axe de la vallée avec quelques déviations dues à la différence d'ensoleillement des deux versants. Elles remontent la vallée du Rhône d'un bout à l'autre jusqu'à la vallée de Conches où elles s'atténuent. Le régime des brises est donc valable pour toute la partie du talweg rhodanien entre Brig et Martigny. Les observations de Monthey montrent qu'elles sont aussi valables dans la plaine du Rhône avant Martigny. La brise diurne est la plus présente dans les secteurs Saint-Maurice – Vernayaz – Martigny et Sion – Sierre – Vièges. Dans le Valais central, elle est alimentée à la fois par la cluse du Rhône et la vallée de Chamonix (sommets moins élevés). La brise nocturne est plus forte dans le Bas Valais qu'à Sierre et à Sion.

Théorie des brises [reprise de Hertig] :

Les vents locaux d'origine thermique parviennent à s'établir lorsque le vent en altitude est faible. Lors du refroidissement nocturne, l'air proche du sol se refroidit et s'écoule le long des pentes donnant naissance à des brises de pente qui convergent au fond des vallées et forment un vent de montagne. Ce vent draine l'air froid descendant les pentes des reliefs vers l'aval. L'air froid est emprisonné au fond des vallées et forment un lac d'air froid caractérisé par une inversion de température dans les basses couches de l'atmosphère.

Le mécanisme s'inverse durant la journée avec le réchauffement du sol par le rayonnement solaire diurne. L'air proche du sol se réchauffe également par conduction et devient plus léger que l'air environnant. Il tend alors à s'élever le long de la pente donnant naissance à une brise de pente ascendante. Ces vents de pente génèrent alors un appel d'air de l'aval et il en résulte un vent de vallée.

Les schémas ci-dessous illustrent le phénomène des brises de pentes et des brises de montagne présentes dans la vallée du Rhône et sur ses coteaux.

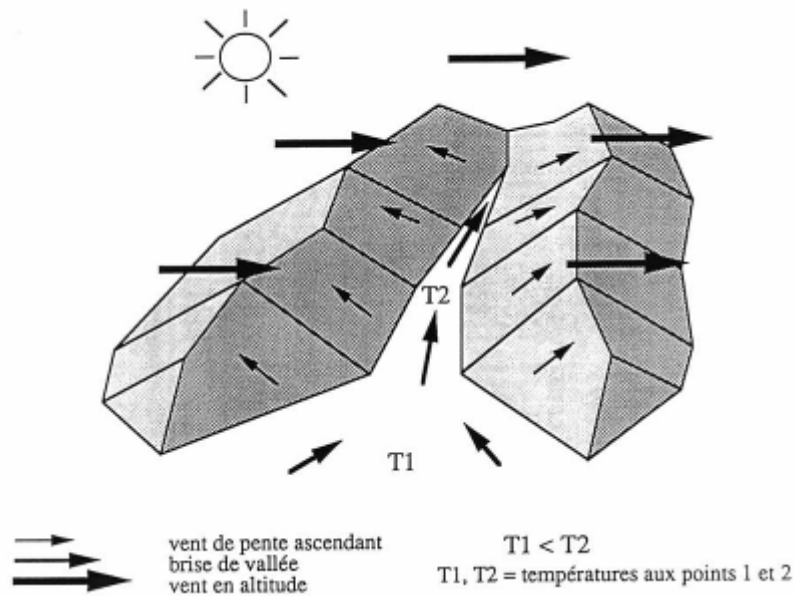


Figure 27 : Brises ascendantes de vallée (jour)- repris de Fallot (1992)

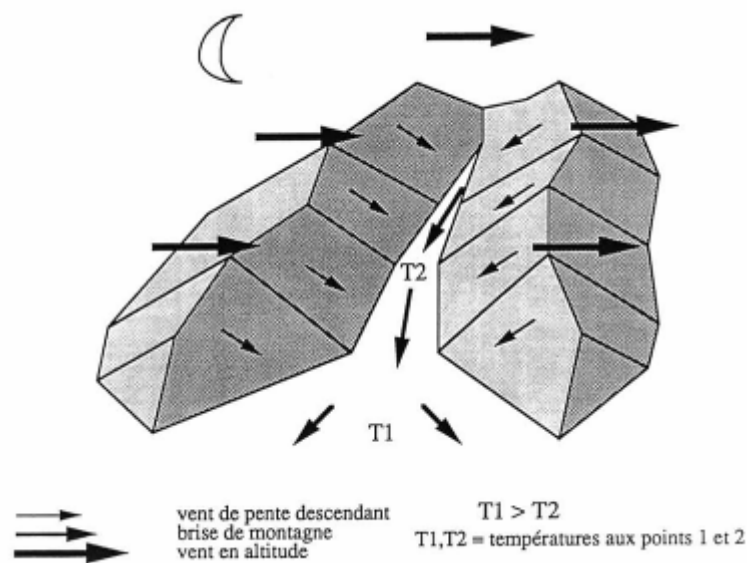


Figure 28 : Brises de montagne (descendantes - nuit) - repris de Fallot (1992)

Pendant le jour, les brises soufflent de l'aval vers l'amont avec un maximum d'intensité au milieu de l'après-midi; de nuit leur intensité est beaucoup plus faible et leurs directions inversées. Le moment où la brise s'inverse, moment appelé « renverse des brises » (brise tourne de 180°) varie au cours de l'année et selon les endroits.

Le graphique ci-dessous, élaboré sur la base des mesures relevées par Max Bouët à Sierre, illustre parfaitement le fait que la vitesse des brises, d'origine thermique, augmente au cours de la journée, puis diminue en soirée.

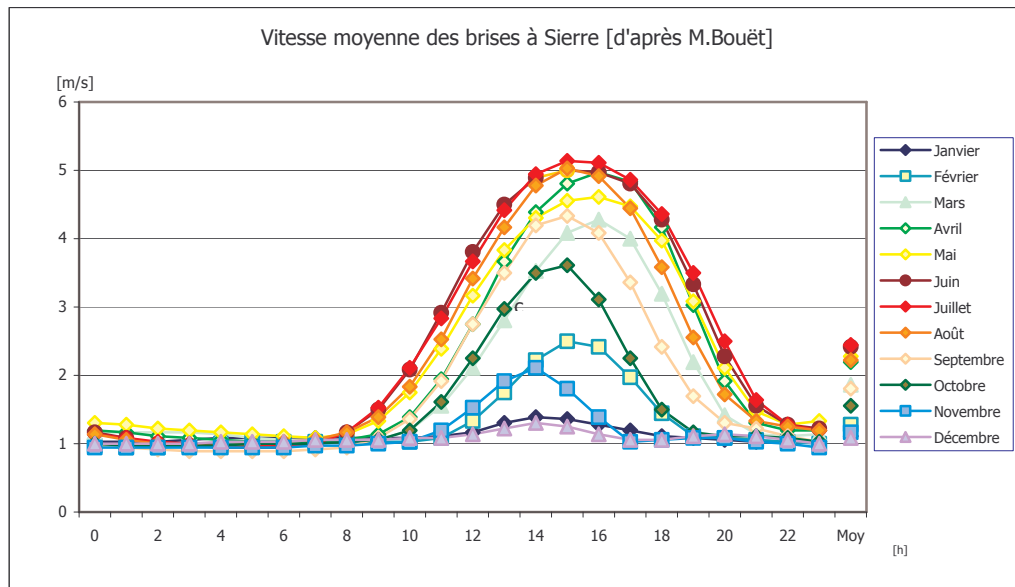


Figure 29 : Vitesse moyenne des brises à Sierre [d'après M.Bouët]

Le graphique similaire qui se rapporte cette fois à l'ensemble des vents qui soufflent à Sierre pour la même période montre que les brises sont effectivement majoritairement à l'origine de la ventilation présente dans la vallée du Rhône. La vitesse de tous les vents entre avril et juillet montre qu'elle est très proche des valeurs de vitesse des brises. En hiver, les vitesses des brises sont faibles et les vitesses de tous les vents confondus légèrement supérieures cette fois de part l'influence certainement des vents d'ouest plus fréquents.

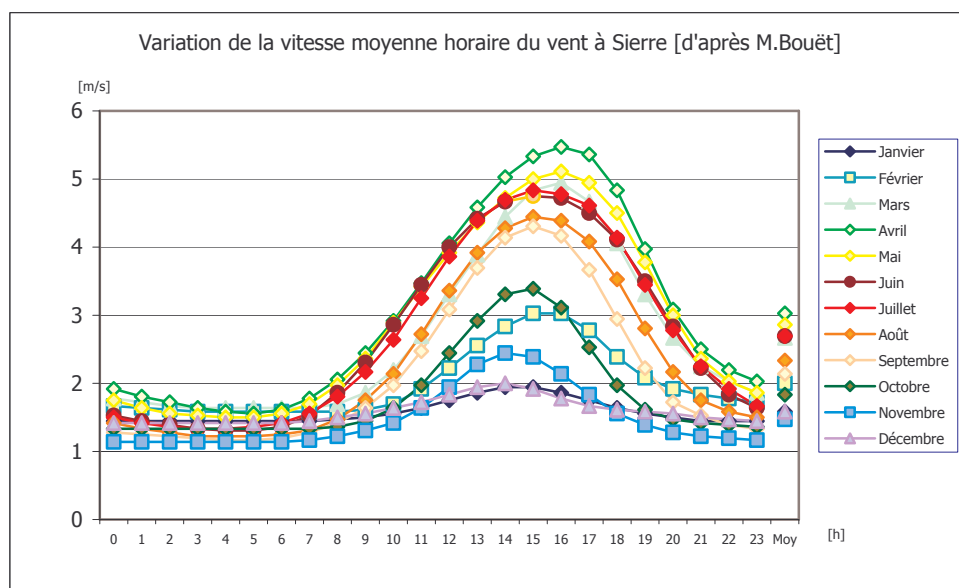


Figure 30 : Vitesse moyenne horaire du vent à Sierre [d'après M.Bouët]

Les vitesses les plus élevées des vents se retrouvent au printemps et en automne, périodes également propices au foehn. En été le vent d'aval est 3 à 4 fois plus important que le vent d'amont, ce qui entraîne un apport d'air important dans la vallée du Rhône. Max Bouët avait également pu montrer que le régime normal des brises est présent 152 jours par an en moyenne (printemps peu, automne beaucoup). Le graphique ci-dessous reprend ses valeurs compilées.

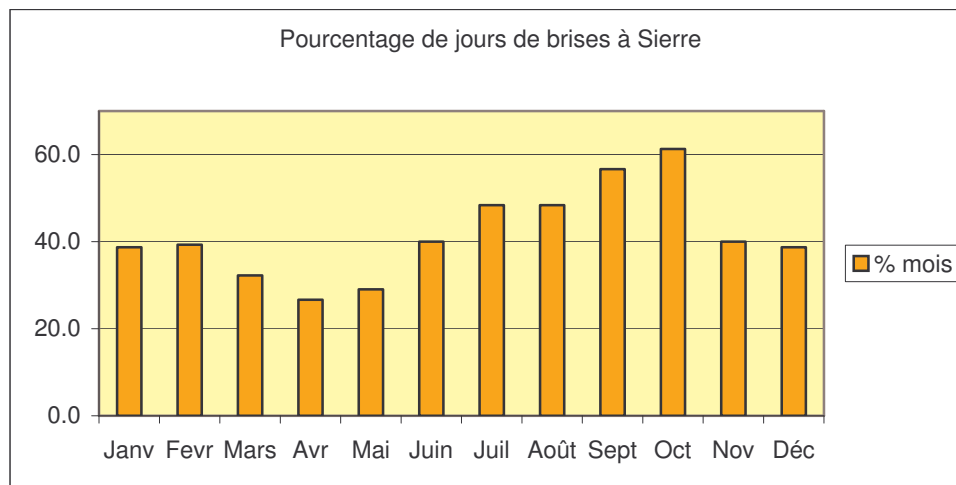


Figure 31 : Pourcentage de jours de brise à Sierre [d'après M. Bouët]

7.2.2 Le foehn

Le foehn est un vent méditerranéen chaud et sec qui s'engouffre dans les vallées alpines et suit le Rhône d'est en ouest. Il limite ainsi les risques de gel et favorise les maturations des baies en automne, tout en limitant la pourriture des raisins. On a également coutume de dire qu'une journée de foehn à basse altitude a le même effet sur un manteau neigeux que 2 semaines de soleil.

Le foehn se distingue de la brise normale de montagne par sa vitesse anormalement grande, une température relativement élevée et une humidité basse, soufflant par excès de pression au Sud des Alpes au dessus de 3000 m.

Le foehn souffle dans les vallées sous le vent dans le cas d'un courant qui aborde une chaîne montagneuse de travers : l'air ascendant au vent de l'obstacle se refroidit et produit de la pluie. Au sommet de la chaîne montagneuse, il est sec mais froid. En redescendant, l'air se réchauffe et se dessèche par compression sans échange thermique et atteint le pied de la chaîne plus chaud qu'au départ. Il y a du foehn quand il y a de fortes précipitations sur le versant sud des Alpes. Si le foehn souffle en Valais, le Tessin, l'Italie du Nord et les régions méditerranéennes de la France connaissent un temps pluvieux.

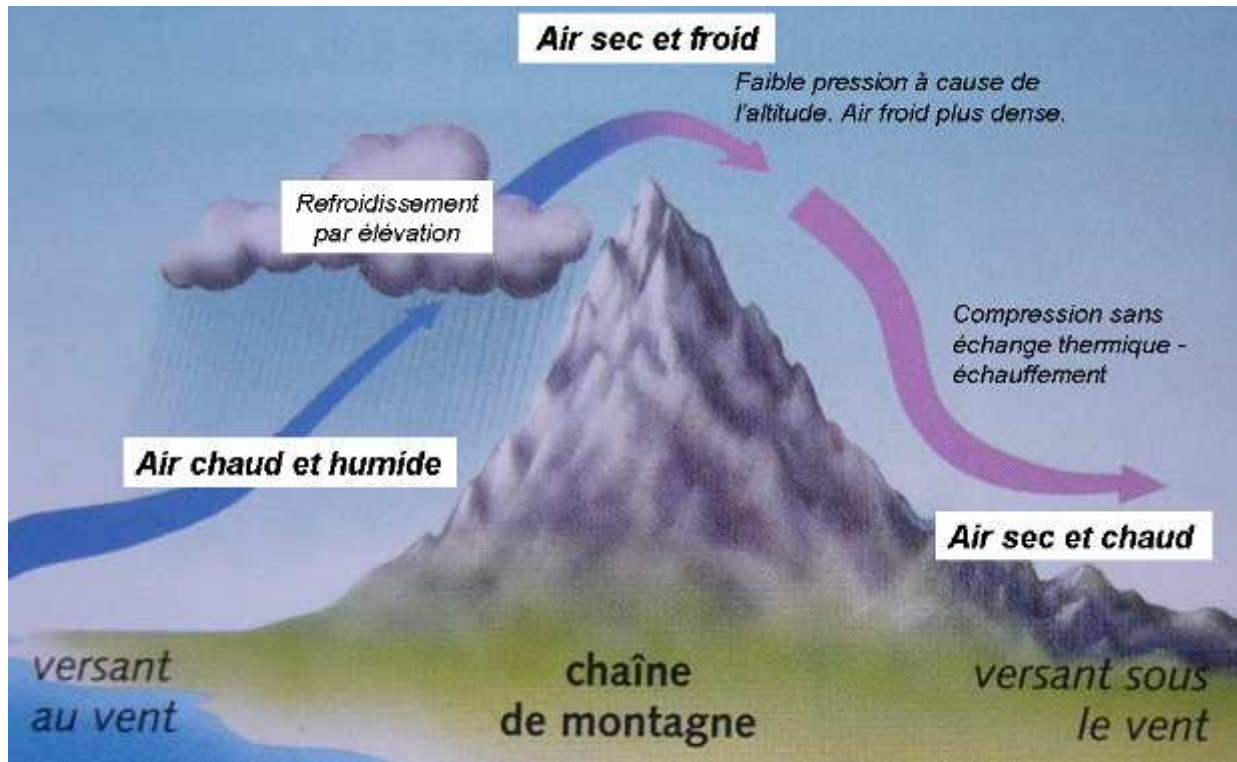


Figure 32 : Schéma illustrant le principe du foehn adapté de "Petit Atlas des climats" L.Chémery

L'installation du foehn au fond de la vallée se réalise pour autant qu'il y ait eu au préalable un vent d'amont au-dessus de 1000m, et d'autant plus si le courant est fort (55 km/h) : le foehn remplace l'air froid de la vallée si il a une vitesse suffisante pour déplacer la masse d'air froide plus lourde. Il dépend également de l'équilibre statique des couches d'air (stratification thermique). Le gradient est plus élevé entre le fond de la vallée et les sommets au milieu du jour, ainsi qu'au printemps (et en automne dans une moindre mesure). Plus le gradient vertical est grand et moins l'air est stable, et plus le foehn peut pénétrer dans la vallée.

Le Valais n'est pas le seul à subir les effets du foehn en Suisse, d'autres régions y sont soumises. La figure ci-dessous reprise de la thèse de Fallot (*source Hack, 1978*), illustre la circulation du foehn en Suisse, et donne par la même occasion des indications de base sur le foehn valaisan. Cette figure avait déjà été réalisée par M. Bouët pour la circulation du foehn en Valais.

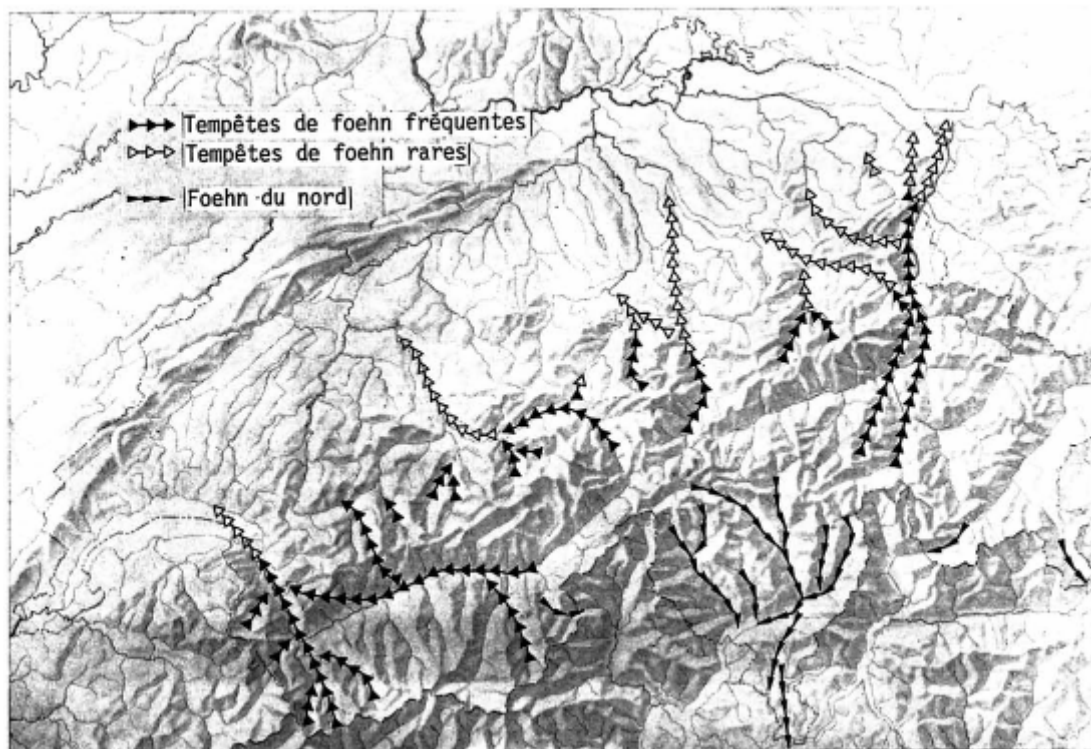


Figure 33 : Circulation du foehn en Suisse [Hack 1978]

Le foehn valaisan

On trouve trois zones de foehn plus ou moins indépendants en Valais. La vallée du Rhône a deux trajectoires de foehn distinctes séparées par une zone calme : Brigue à Sion, puis de Martigny au Léman. La région entre Sion et Saxon est quasi exempte de foehn qui remonte obliquement le long du versant adret en direction des Diablerets et des Dents de Morcles. De manière générale, la rive gauche est protégée du foehn, contrairement à la rive droite qui est globalement très exposée jusqu'à Sion. Quand le foehn souffle à 80 km/h à Sion, il peut encore souffler à 30-40km/h à Leytron alors qu'à Fully il n'y a plus rien. Les vitesses observées à Sierre se retrouvent facilement entre Martigny et Bex.

Concernant les vitesses moyennes des épisodes de foehn, la compilation de 17 années de mesure à l'usine de Chippis par M.Bouët avait permis de montrer que la vitesse moyenne de tous ces coups de foehn se montait à 22.8 km/h. Le détail des fréquences de ces événements par classes de vitesse est donné le graphique suivant.

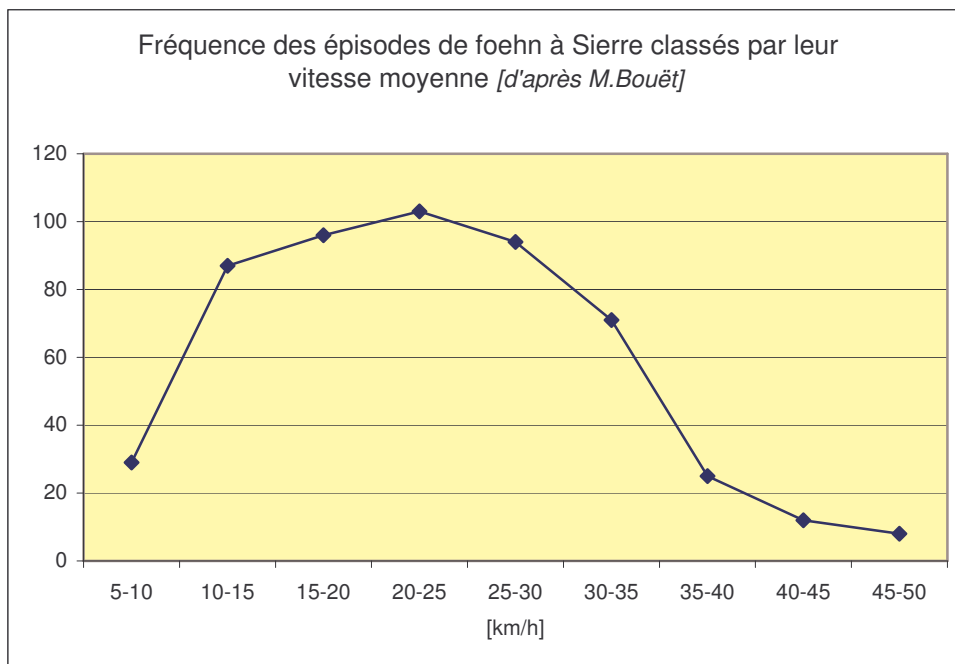


Figure 34 : Fréquence des épisodes de foehn à Sierre [d'après mesures à M. Bouët]

Il y a à Sierre autant de foehn de mars à mai que le reste de l'année. Il influence donc favorablement le débourrement de la vigne. C'est le vent le plus fort observable. Au niveau du transport de masse, il représente 28% du vent d'amont (14 % hiver, 55 % printemps, 21 % été, 14 % automne), mais seulement 9% du vent global (7 % hiver, 16 % printemps, 4 % été, 5 % automne). Sa fréquence d'apparition est quasi la même entre les deux zones à foehn du canton, même si les jours et les heures ne coïncident pas forcément.

Le foehn souffle en particulier au printemps (de mars à mai), où il est relativement fort, et également en automne mais de manière moins importante (mois de septembre et octobre). Le foehn peut souffler à Sierre et à Sion, mais pas dans les hautes vallées ni dans le Bas Valais. Contrairement à d'autres endroits, le foehn en Valais suit aussi un rythme diurne (il commence au milieu du jour et se termine avant minuit). Comme il apparaît en cours de journée, son effet sur la température n'est pas caractéristique durant la journée, il permet seulement de conserver une température assez haute durant la nuit. Il ne se confond donc pas avec la brise d'amont nocturne, à l'exception de sa direction, car il est beaucoup plus fort et se lève au milieu du jour.

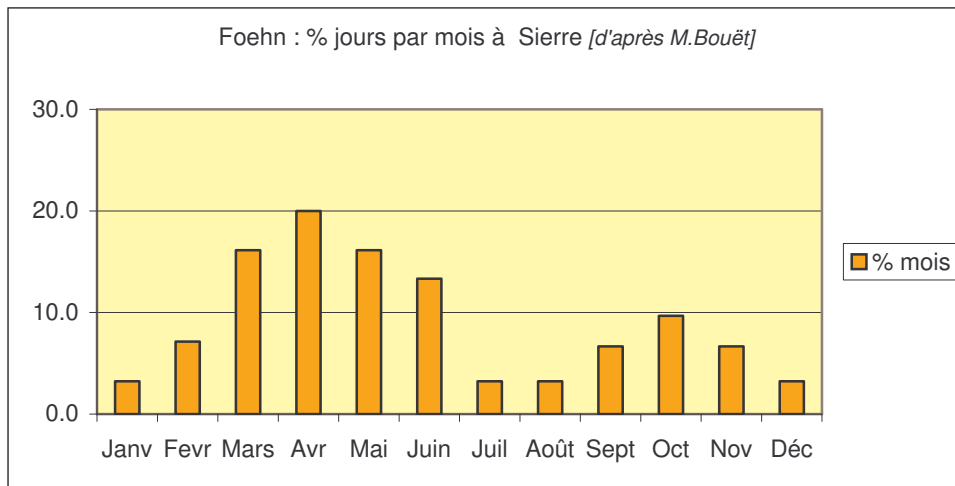


Figure 35 : Pourcentage de jours de foehn par mois [d'après les relevés de M. Bouët]

7.2.3 Rapport des vents aval-amont

Le graphique ci-dessous illustre quant à lui la fréquence du vent d'aval / vent d'amont sur plusieurs périodes de l'année (moyenne de 15 ans de mesures). Il confirme les roses des vents de la vallée du Rhône (voir point 7.3). Le vent d'aval est toujours dominant quelle que soit la période de l'année considérée. En été, il est dominant pour toute la journée alors que le vent d'amont est minoritaire. Sur l'année, les courbes restent semblables mais avec une intensité plus faible. Quant au vent d'amont, il est majoritaire durant la nuit pour toutes les périodes de l'année et diminue fortement durant le jour. On remarque donc que les variations durant la journée et selon la période de l'année sont importantes.

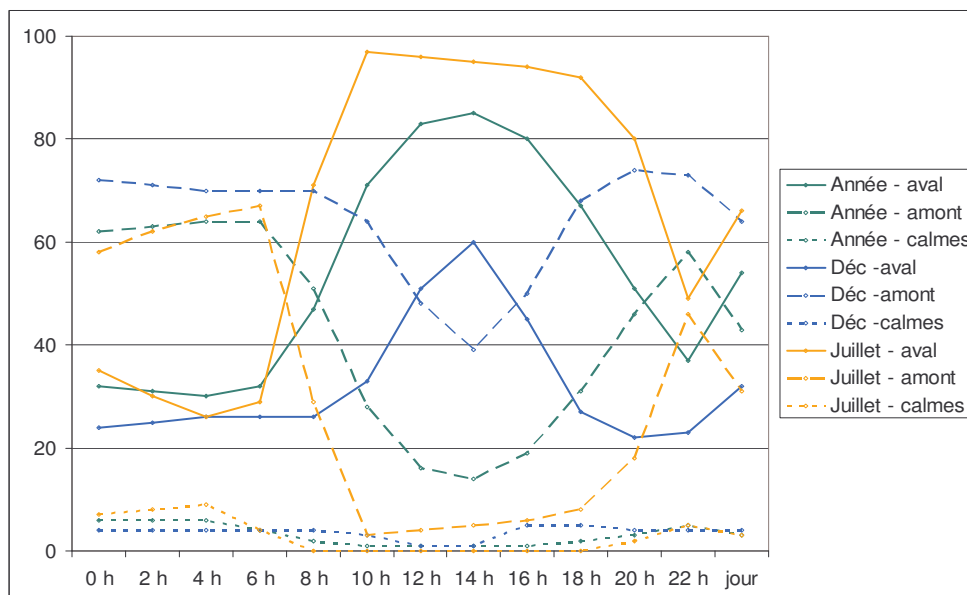


Figure 36 : Fréquence du vent aval – amont et des jours calmes à Sierre [d'après les mesures à M.Bouët]

7.2.4 *Autres vents rencontrés*

D'autres vents soufflent évidemment dans la vallée du Rhône. Bien que moins étudiés dans la présente étude, ils existent et méritent d'être mentionnés.

- *Vent d'aval* : C'est un vent nettement plus fort que la brise de beau temps qui souffle d'aval à l'amont par mauvais temps dans toute la vallée du Rhône (courant de l'W ou NW sur la Suisse). Dans ce cas, le régime des brises disparaît. La situation redevient normale dès l'apparition de la bise sur le Plateau. Ce n'est pas un vent dominant, mais son effet se cumule à l'effet de la brise ascendante.
- *Lombarde* : C'est un vent d'est qui apparaît sur l'adret de la vallée du Rhône (versant sud des Bernoises), qui est complètement absent de la rive gauche. C'est un vent de direction E-NE assez fréquent à Montana (76 jours en moyenne, maximum au printemps et en automne), lié à l'apparition du foehn. Il n'y a pas de foehn à Sierre sans Lombarde préalable, puis simultanée au-dessus de 1000 m d'altitude.
- Les vallées de la rive droite du Valais central sont assez ventées et influencées pas la Lombarde et subissent les vents plongeants (noiroît). Ceux-ci restent cependant peu importants. Ils rafraîchissent l'air dans cette région, sans effet équivalent ailleurs sur le coteau.

7.3 *Réseaux de mesure des vents*

Les diverses conclusions des recherches effectuées par M. Bouët devaient être validées. Dans un premier temps, il était important de rechercher les différents réseaux de mesure des vents existant en Valais et déterminer si les valeurs enregistrées correspondaient à ce qui était mentionné dans les différentes publications consultées.

7.3.1 *Les données du réseau Meteosuisse*

Comme vu précédemment, Meteosuisse dispose d'une cinquantaine de stations sur l'ensemble du territoire suisse qui mesurent également la vitesse et la direction des vents. Les valeurs moyennes sont disponibles dans les normes climatologiques. Comme pour la radiation solaire, les enregistrements des vents sont étroitement dépendants de la situation de la station de mesure. Ce qui est valable en un point peut ne pas l'être 100m plus loin. Cependant, globalement les stations sont implantées dans des lieux représentatifs de la situation générale et dans le cas des stations valaisannes, les résultats visibles sous la forme des roses des vents confirment les multiples affirmations trouvées dans les différentes publications. Les stations qui mesurent le vent correspondent aux stations d'Aigle, d'Evionnaz, de Fey, de Montana, de Sion et de Visp pour la zone qui nous intéresse. Les autres stations valaisannes (Zermatt, Grand-Saint-Bernard, Ulrichen...) sont en situation de montagne et le régime des vents qu'elles connaissent sont bien différents du coteau valaisan.

Les normes climatologiques pour la période 1961-1990 donnent les valeurs de vitesse moyenne mensuelles. Elles sont synthétisées dans le tableau de la figure 37 et sont représentées graphiquement dans la figure 38.

Station	Alt [m]	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Aigle	381	1.9	1.9	2.1	2.4	2.1	1.8	1.7	1.6	1.4	1.5	1.7	1.9	1.8
Fey	737	2.0	2.3	3.2	3.6	3.4	3.8	3.7	3.3	2.9	2.4	2.1	2.0	2.9
Sion	482	1.8	1.9	2.4	2.9	2.7	2.8	2.7	2.4	2.2	1.8	1.7	1.7	2.3
Visp	640	2.5	2.7	3.7	4.3	3.7	3.5	3.3	2.9	2.8	2.5	2.6	2.3	3.1
Evolène-Villaz	1825	1.2	1.1	1.4	1.7	1.8	1.7	1.7	1.6	1.4	1.2	1.1	1.2	1.4
Montana	1508	1.9	1.8	2.0	2.2	2.0	1.9	1.9	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.9
Pully	461	1.7	1.8	1.8	1.8	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.8
<i>Sierre</i>		<i>1.6</i>	<i>2.0</i>	<i>2.7</i>	<i>3.0</i>	<i>2.9</i>	<i>2.7</i>	<i>2.7</i>	<i>2.3</i>	<i>2.1</i>	<i>1.8</i>	<i>1.5</i>	<i>1.6</i>	<i>2.25</i>

Figure 37 : Vitesses moyennes mensuelles et annuelles du vent – tous vents confondus (1961-1990) et (1953-1959 pour Sierre).

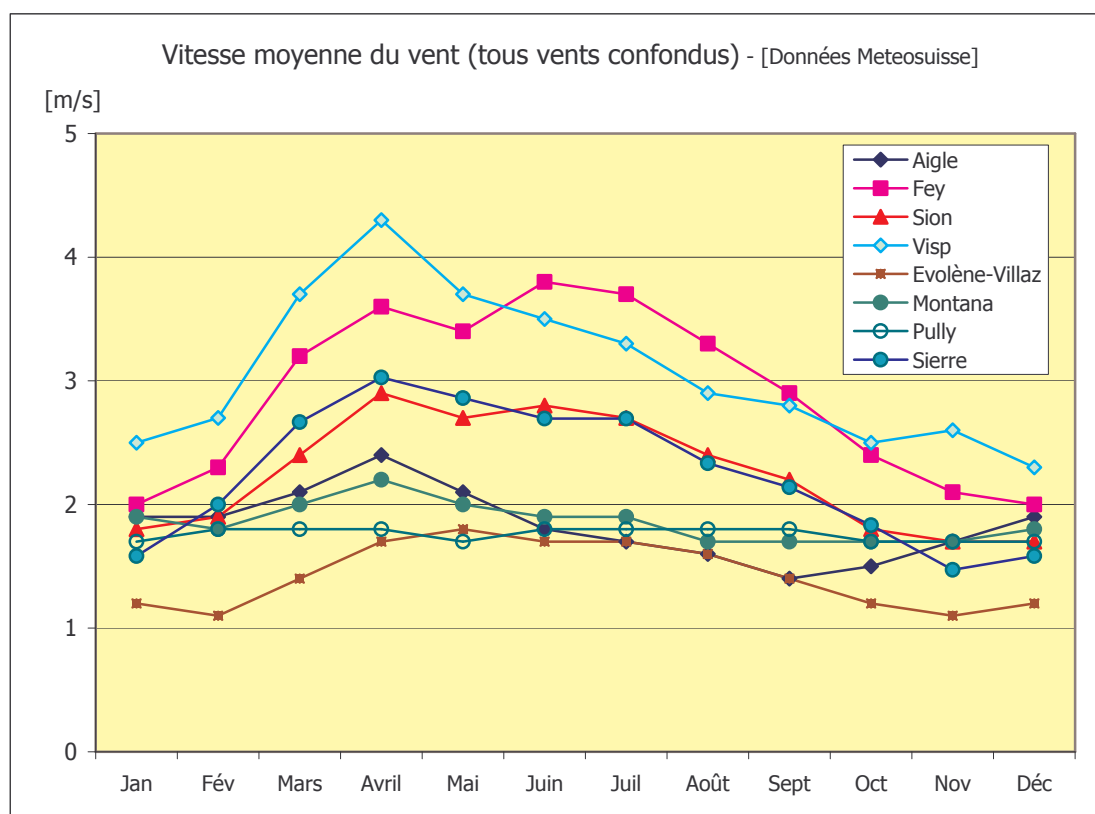
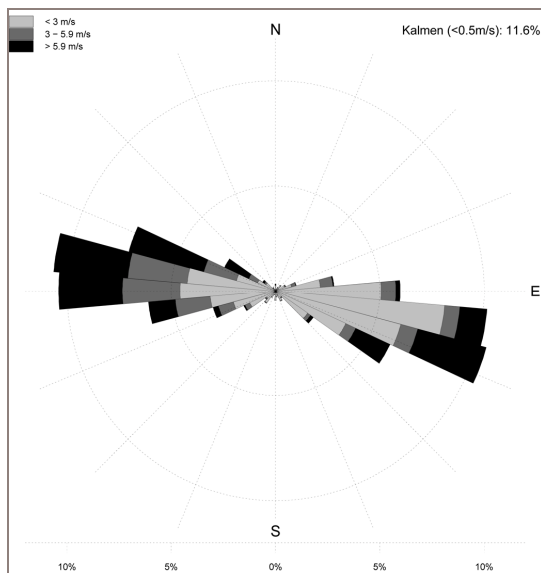


Figure 38 : Vitesse moyenne du vent (tous vents confondus) d'après les données Meteosuisse

On remarque clairement que les vitesses des vents, sont plus élevées dans la vallée du Rhône que sur le plateau ou dans les vallées alpines. Les valeurs élevées se retrouvent par ailleurs surtout durant la période printanière, propice au foehn et au développement plus intense des brises qu'en hiver. La comparaison avec la station de Pully, montre que la vitesse moyenne y est relativement constante durant l'année. A Aigle et à Montana, la vitesse est globalement inférieure et obéit à une distribution proche. Les plus grandes valeurs de vitesse se retrouvent

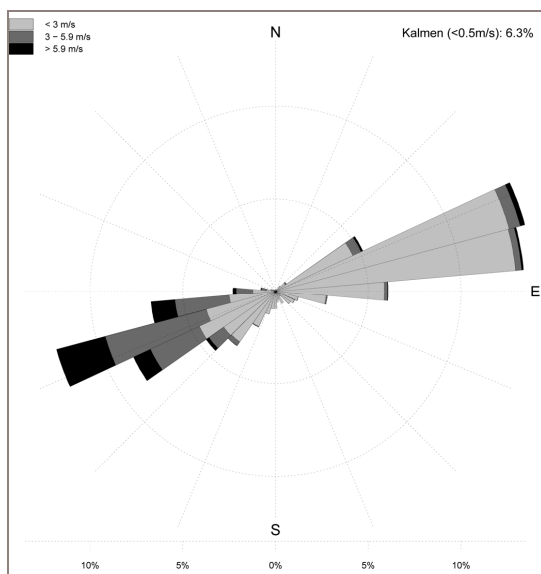
dans les stations de Sion, Fey et Visp, en ne tenant évidemment pas compte des stations de haute altitude, qui sont bien supérieures à ces valeurs. Visp est connu pour être très soumis au foehn, qui souffle particulièrement fort pendant la période printanière. Le pic de la courbe provient donc certainement de son influence. Le reste de l'année, les vitesses y restent élevées par rapport aux autres stations du plateau et des vallées latérales, mais la période hivernale montre des valeurs de près de la moitié. Sion et Fey suivent en gros le même schéma que Visp, mais avec des grandeurs légèrement inférieures. Elles sont toutes deux soumises à l'influence des brises.

Les mesures de vitesses sont intéressantes, mais dans notre cas, nous recherchons également à déterminer la direction des vents. Les roses des vents sont des indications essentielles pour ce facteur, car elles intègrent l'évolution des vents d'une année ou d'une période déterminée. Elles permettent de visualiser à la fois la direction dominante mais également les vitesses correspondant aux directions données. Les différentes roses des vents des stations valaisannes de Meteosuisse sont énumérées ci-dessous.



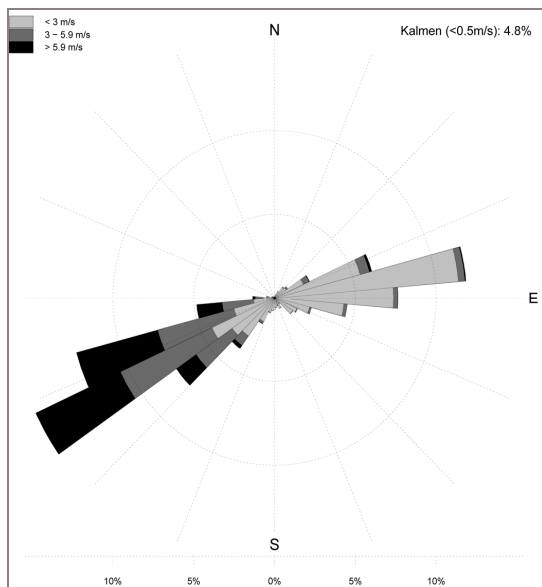
Rose des vents à Visp

La rose des vents montre des directions très marquées, localement déviés par le tracé de la vallée du Rhône. Au niveau des vitesses, c'est l'endroit où elles sont les plus fortes et dans les deux directions opposées. Les vents venant du Haut-Valais, et certainement en particulier le foehn et les brises d'amont, sont quasiment aussi forts et fréquents que ceux venant de l'aval. Ces derniers sont cependant les plus forts, et tous les écrits confirment le fait que la région est soumise à des fortes brises remontantes et des coups de foehn impressionnants.



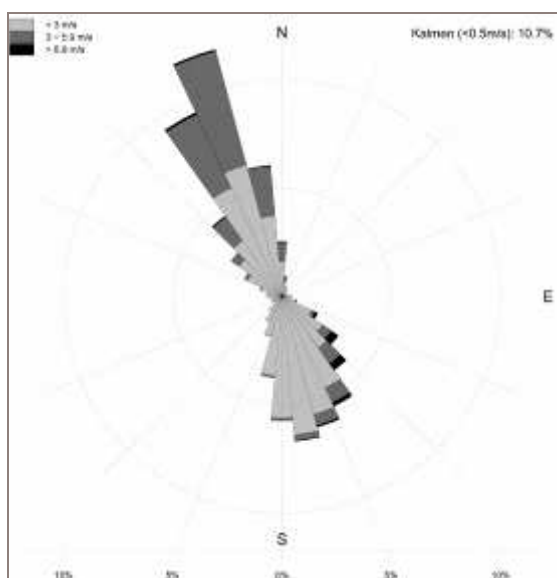
Rose des vents à Sion

La direction générale des vents suit également la trajectoire de la vallée du Rhône. Au niveau des vitesses des vents, plusieurs constatations sont faites ; les vents forts viennent essentiellement du S-SW, correspondant à la brise remontante. Par contre, globalement il y a plus de vent de sens opposé mais d'intensité plus faible. Cela peut s'expliquer par l'influence des brises nocturnes et de l'effet du foehn présent à Sion mais déjà fortement atténué par rapport à Sierre.



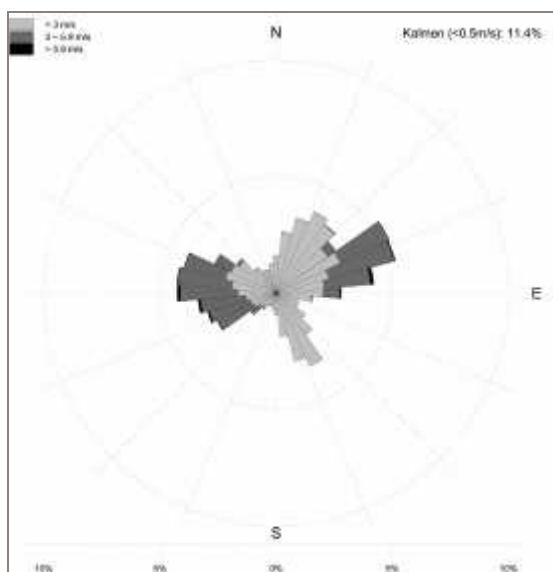
Rose des vents à Fey :

La rose des vents est beaucoup plus nette qu'à Sion. La direction générale des vents est à nouveau parallèle à l'axe de la vallée. Par contre au niveau de l'intensité, la dominance est fortement du W-SW. Ce qui correspond à l'influence quasi exclusive des brises. Le foehn, peu présent dans cette zone ne compense pas la brise montant dans la composante opposée.



Rose des vents à Aigle

Les directions des vents sont strictement dirigées dans l'axe de la vallée du Rhône. Au niveau de l'intensité, on remarque que les deux directions sont bien couvertes, mais que globalement les vents forts viennent majoritairement du nord-ouest. Cela correspond évidemment à l'influence des brises d'aval remontantes et aux vents d'ouest. Les vents descendants sont présents (brise nocturne et foehn), mais leurs vitesses sont moins élevées.

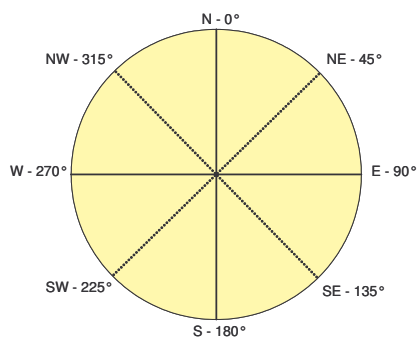


Rose des vents à Montana

Les vents à Montana sont particuliers. On retrouve moins l'influence des brises. Par contre, les vents plongeants des Alpes Bernoises sont également visibles, tout comme le foehn qui peut être très fort à Montana. Les vents d'ouest ont certainement également de l'importance.

7.3.2 Les données du réseau Agrométéo :

Le réseau Agrométéo comporte 4 stations en Valais qui mesurent également les vitesses et directions des vents depuis 2002-2003. Leurs valeurs moyennes annuelles sont disponibles dans le tableau ci-dessous. Les directions moyennes correspondent à la somme des composantes des vecteurs vent et sont donc difficiles à interpréter directement du point de vue des directions dominantes des vents.



Stations	Vitesse moy annuelle [m/s]	Direction moy [°] ²
Arbaz	1.4	146
Bruson	2.3	183
Leytron	3.3	156
Saxon	2.6	173

Figure 39 : Valeurs moyennes de vitesses et directions des vents des stations valaisannes du réseau Agrometeo (2003-2006)

Le graphique de la figure 40 permet lui de distinguer l'évolution des vitesses moyennes horaires dans les différentes stations au cours de la journée. On remarque que ces valeurs rejoignent les mesures effectuées par M. Bouët à Sierre.

² Angle que fait la résultante des deux vecteurs vent par rapport au nord.

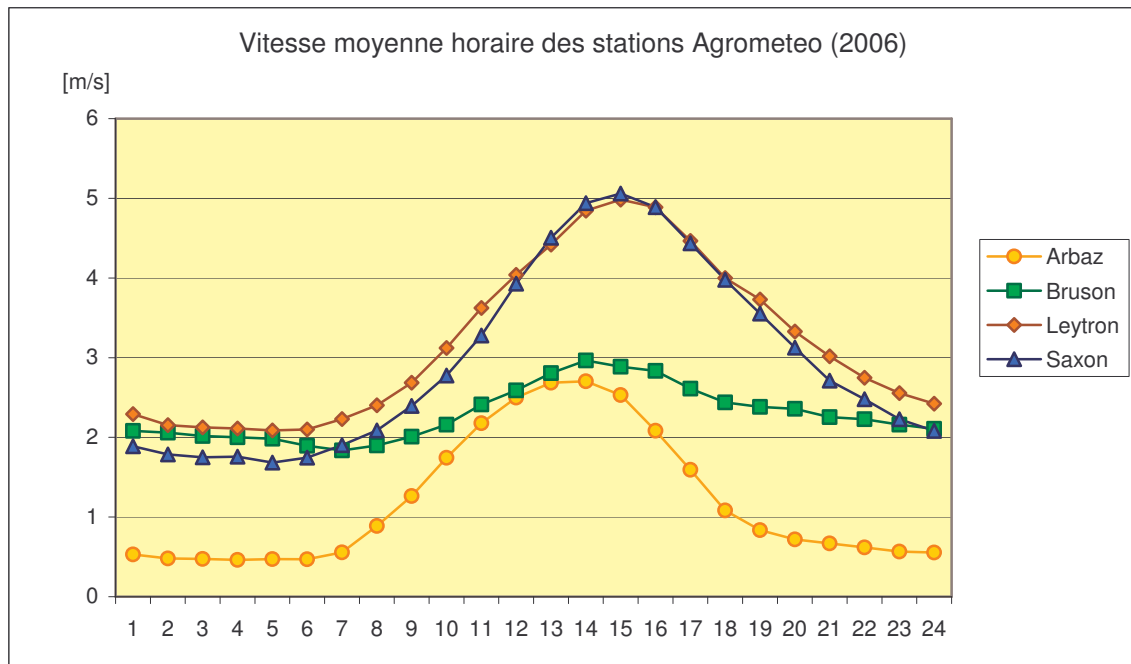


Figure 40 : Vitesses moyennes horaires dans les différentes stations Agrométéo pour l'année 2006

La vitesse des vents varie à la fois au cours de l'année et au cours de la journée. Les vitesses moyennes mensuelles sur la période de mesure sont mises en valeur dans le graphique suivant. Il rejoint également les différents résultats précédents.

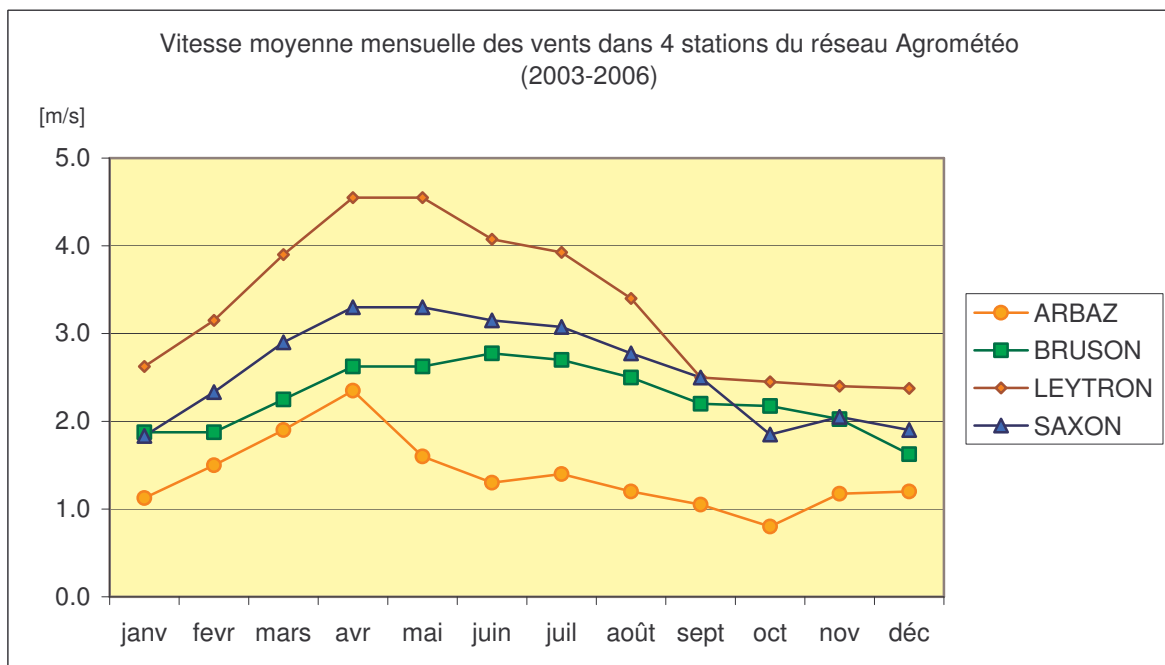


Figure 41 : Vitesses moyennes mensuelles dans les stations Agrometeo pour l'année 2006

On y remarque la différence générale d'intensité des vents entre les périodes estivale et hivernale. Par ailleurs, la station de Bruson située dans une des vallées latérales est également

soumise à un régime équivalent mais avec des intensités beaucoup plus faibles. Comme les stations du réseau Agrométéo sont en activité seulement depuis 2002-2003, les conclusions trop hâtives sont à éviter sur la base de ces mesures. Il est cependant intéressant de voir que la tendance générale se retrouve.

Direction des vents

L'extraction des données du réseau pour les années 2006 permet d'obtenir des graphiques, tels que ceux présentés à la figure suivante. Les mêmes graphiques sont fournis en annexe pour les quatre stations Agrometeo qui mesurent le vent (*Annexes 12a et 12b*).

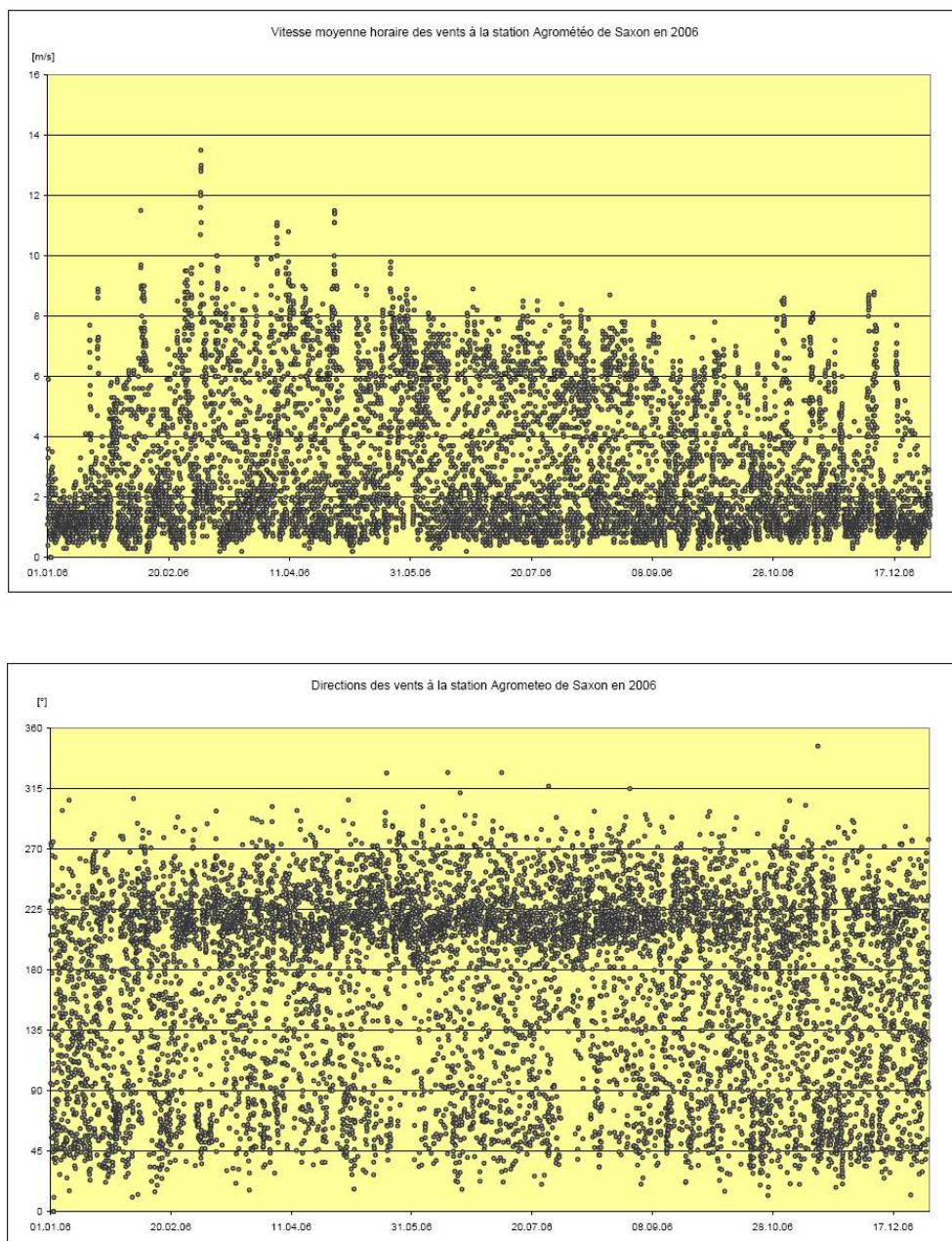


Figure 42 : Extractions des vitesses et des directions horaires de la station Agrométéo de Saxon en 2006

Les données sur l'ensemble de l'année 2006 donnent les indications suivantes concernant les directions des vents.

Stations	Vitesse moy annuelle [m/s]	Direction principale [°]	Direction secondaire [°]
Arbaz	1.4	280	100
Bruson	2.3	180	-
Leytron	3.3	180	20
Saxon	2.6	215	70

Figure 43 : Vitesses moyennes, directions principales et secondaires des vents aux stations Agrométéo en 2006

7.3.3 Les données du réseau Resival

L'extraction des données de vitesses et de directions des vents pour chacune de stations pour l'année 2006 a permis de conforter un certain nombre de points. Les graphes de vitesses et de directions sont présentés en annexe (*Annexes 13a et 13b*). On se bornera ici à présenter ceux d'Evionnaz :

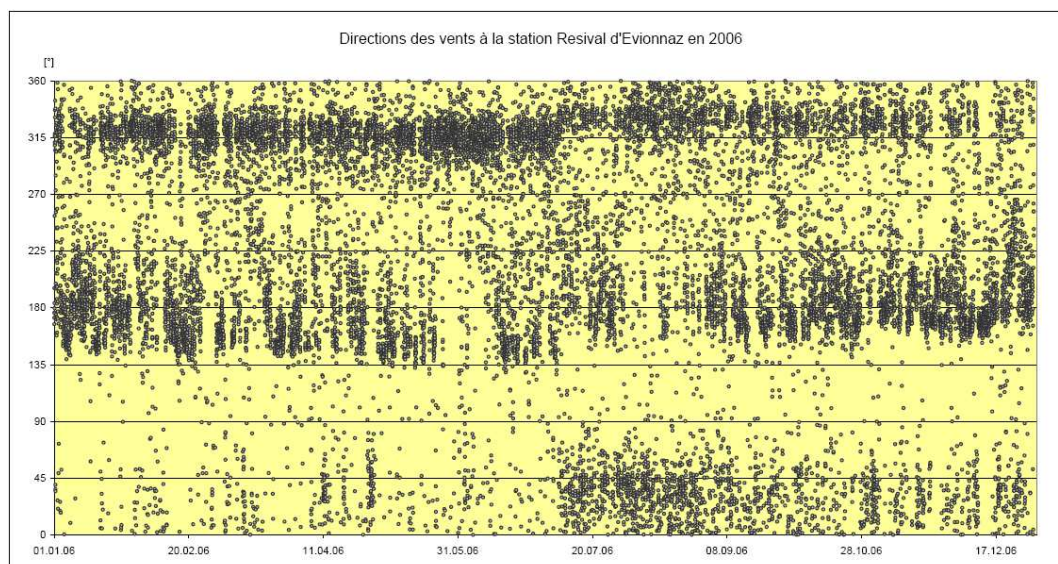


Figure 44 : Directions des vents à la station Resival d'Evionnaz en 2006 (valeurs semi-horaires)

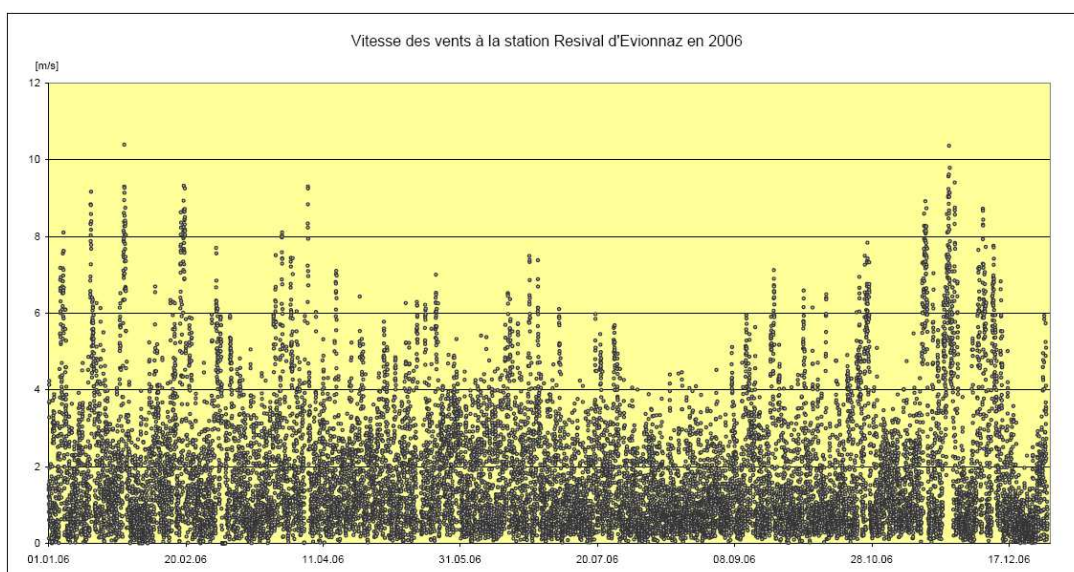


Figure 45 : Vitesse des vents à la station Resival d'Evionnaz en 2006 (valeurs semi-horaires)

Ces graphiques correspondent à une vision annuelle des stations Resival. Les directions générales ressortent fortement, en particulier dans les zones de plaine. L'effet quasi permanent du régime des brises influence cet état de fait. Quant à la vitesse moyenne des vents, il est difficile d'en tirer trop de conclusion. Il faudrait pouvoir reprendre des épisodes particuliers en chaque point de mesure, et voir dans quelle mesure les vitesses varient d'une station à l'autre à un temps donné.

Comme pour le réseau Agrométéo, ils permettent de donner une synthèse concernant les vitesses moyennes et les directions principales.

Stations	Vitesse moy annuelle [m/s]	Direction principale [°]	Direction secondaire [°]
Massongex	1.6	310	145
Evionnaz	1.9	330	180
Les Giettes	1.0	360	180
Saxon	2.75	200	40
Sion ville	0.7	-	-
Les Agettes	0.8	160	(290)
Turtmann	1.6	240	(95)
Eggerberg	1.5	27	210
Brigerbad	1.9	250	67

Figure 46 : Vitesses et directions des vents des stations Resival en 2006

Ces valeurs rejoignent pour la plupart ce qui était déjà constaté dans les autres réseaux de mesure et les différentes publications.

Le réseau Resival est complémentaire au réseau Météosuisse et permet de densifier les points de mesure pas très nombreux dans le canton. Cependant, leurs applications finales sont très différentes, et leurs valeurs doivent être mises en relation avec la localisation effective des stations. Typiquement, les données de vent enregistrées à Sion sont peu représentatives des alentours de part la situation urbaine de la station.

La compilation des vitesses moyennes semi-horaire pour l'année 2006 donne le graphique suivant.

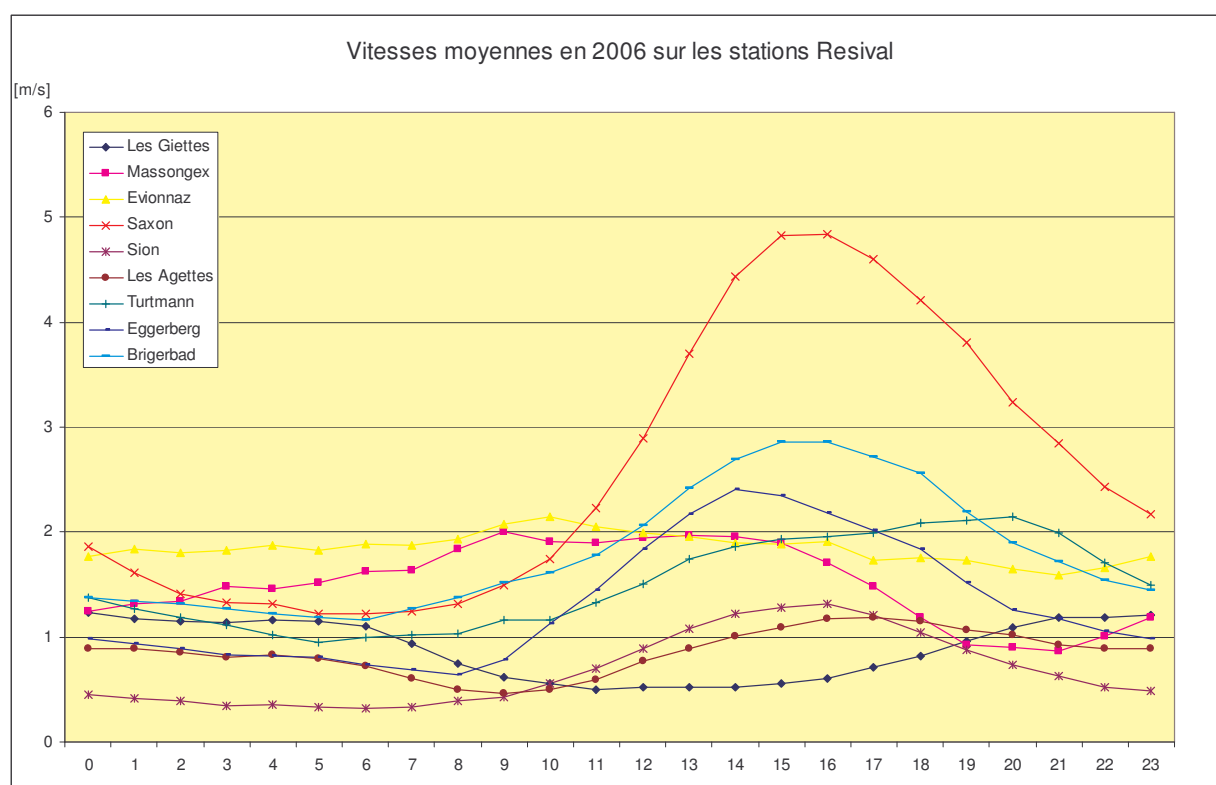


Figure 47 : Vitesses moyennes horaires des stations de mesure du réseau Resival en 2006

On remarque encore une fois les hautes vitesses de l'après-midi à Saxon, dues aux brises montantes, qui rejoignent les valeurs des stations Agrométéo. L'effet des brises est également visible dans les stations du Haut-Valais mais de manière moins étendue. Concernant les stations d'altitude, leur comportement est différent. Les Agettes est aussi soumis aux brises, mais les écarts de vitesse entre la nuit et le jour sont moins importants. Quant à la station des Giettes, les vitesses nocturnes sont plus importantes que le jour. On remarque également que les brises démarrent plus tard et de manière moins intense sur la rive gauche du Rhône (station de Turtmann). La station d'Eggerberg, située en altitude a déjà des valeurs inférieures à celle de Brigerbad pas très éloignée, et un comportement de station de montagne. A Evionnaz, la vitesse moyenne est quasiment constante sur toute la journée, il y souffle sans discontinuité.

A.-M. de Buman, qui a réalisé une thèse sur la qualité de l'air et des régimes des vents en Valais en 1994, avait montré sur la base des données du réseau Resival pour des épisodes

exclusivement hivernaux, que les brises thermiques sont également présentes en hiver, mais ont une intensité plus faible.

Le réseau a permis entre autres au laboratoire de pollution de l'air de l'EPFL de disposer de mesures pour sa campagne de terrain réalisée annuellement avec ses étudiants de 3^{ème} année. Les campagnes réalisées en 2001 et 2002 portaient sur la dispersion des polluants de la plaine dans les vallées alpines (Annivières, Hérens). Les extractions de vitesses et de directions des vents du réseau Resival utilisées durant cette campagne pour la semaine du 27.9.2002 au 3.10.2002 sont disponibles en annexe (*Annexe 14*). Elles permettent de confirmer les directions des vents visibles sur les graphiques de 2006. Des mesures complémentaires effectuées à l'aide d'appareil mobile ont également été effectuées. Certaines sont inutilisables pour nos besoins, car les stations étaient localisées trop près des habitations et ont été perturbées. Par contre, deux d'entre elles, placées respectivement à Niouc et Chandolin, ont montré un régime de brises bien établi. Le traitement des données Resival en 2001, avait également permis de constituer la rose des vents de la station de Sion (ville) et de mettre en évidence l'alternance nuit-jour du régime, même si les vitesses ne sont pas représentatives de la situation de la plaine du Rhône.

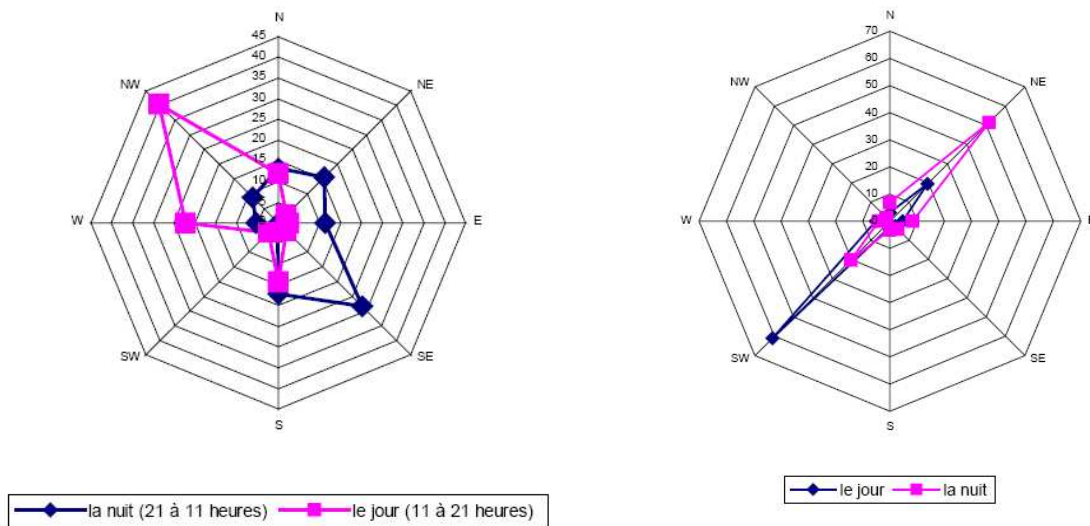


Figure 48 : Rose des vents à Chandolin

Figure 49 : Rose des vents à Sion – Données Resival

(© LPAS, EPFL, oct 2001)

7.3.4 Réseau Haut-Valaisan

David Volken, doctorant à l'ETHZ, a mis en place dans le cadre de son projet de thèse, une série de stations météo sur deux transects à proximité de Visp. Un dans la vallée du Rhône aux environs de Brigerbad, l'autre au début du Vispertal à la hauteur de Stalden.

Sur les 14 stations implantées en 2005, 6 mesures également la vitesse et la direction des vents à 2.3 m du sol. Le but de sa recherche est d'étudier le comportement thermique d'une vallée alpine typique.



Figure 50 : Situation des stations de mesure du vent dans le Vispertal



Figure 51 : Situation des stations de mesure du vent dans la vallée du Rhône

A l'heure actuelle, seules les données de vitesses ont été traitées pour tous les mois entre juillet 2005 et octobre 2006, et m'ont été fournies avec beaucoup d'amabilité. Les graphiques de l'annexe 15 sont une partie des compilations des vitesses moyennes (mesure toutes les 10 minutes).

Comme pour les autres stations valaisannes, on remarque encore une fois l'évolution de la vitesse du vent au cours de la journée et de l'année. Le régime des brises est donc bien présent encore dans la vallée du Rhône à la hauteur de Visp et dans le Vispertal. Le graphique suivant, sélection de l'annexe 15, illustre la situation dans cet endroit du Haut-Valais.

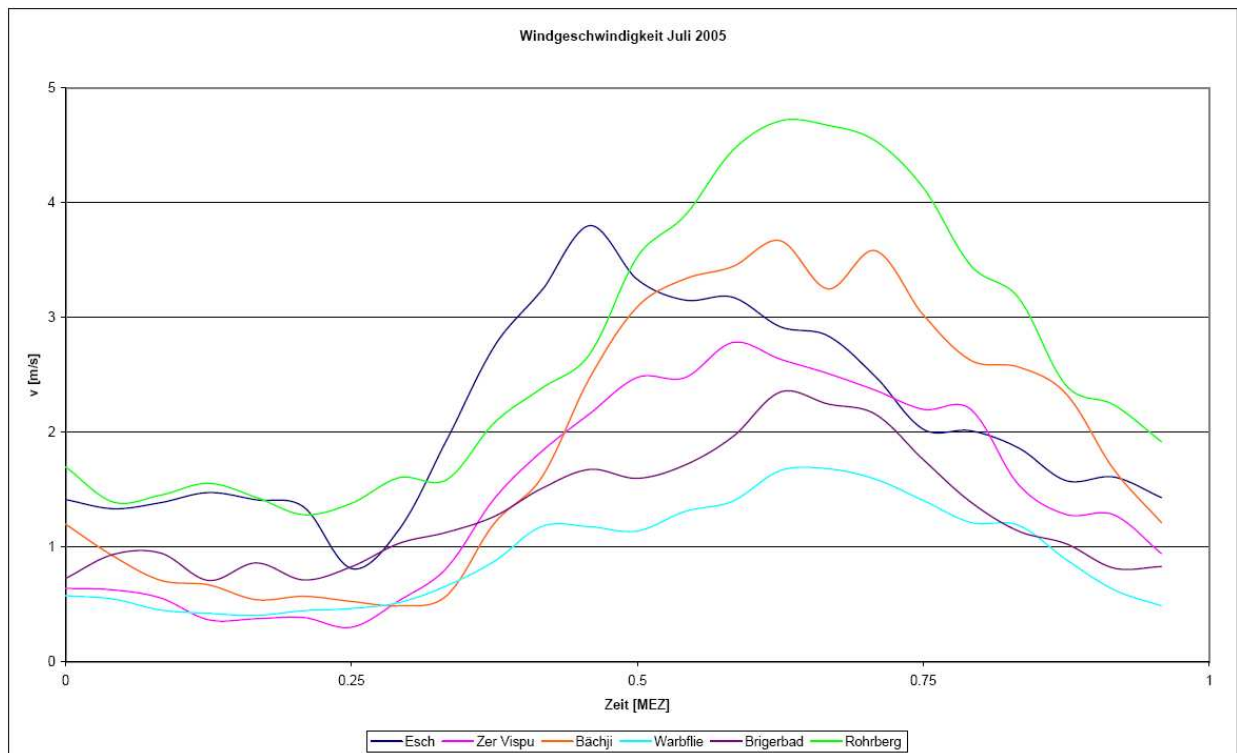


Figure 52 : Vitesse des vents moyennes au cours de la journée pendant le mois de juillet 2005 [D. Volken, ETHZ]

Pour nous, l'intérêt supplémentaire de ces mesures de vitesse est de montrer l'évolution de la vitesse des brises en fonction de l'exposition des versants. Les stations de la première image (Esch, Zer Vispu et Bächji) sont situées de part et d'autre du Vispental. La station d'Esch exposée à l'est est plus ensoleillée le matin, alors que Bächji atteint des vitesses semblables mais plus tard dans la journée, avec l'ensoleillement de l'après-midi. Dans la vallée du Rhône, le même schéma se reproduit, bien que, cette fois, les vitesses les plus grandes se retrouvent à la station exposée au nord. Il faudrait pourvoir déterminer quelle est exactement son exposition par rapport aux brises et au foehn. L'étude approfondie de l'évolution des vitesses journalières de chaque station au cours de l'année montre bien l'effet de l'ensoleillement selon l'exposition et l'encaissement des stations au cours de l'année.

7.4 *Intégration des directions et des intensités des vents valaisans*

Les données des différents réseaux de mesure de directions et vitesses des vents du Valais nous ont permis de confirmer toutes les grandes tendances qui ressortaient entre autres des écrits de M. Bouët. Le régime des brises alterné est observé partout dans la plaine de Rhône et également dans une moindre mesure dans les vallées latérales (intensité plus faible). Le foehn, difficile à mettre en évidence dans les graphiques et données à disposition, est surtout visible dans la grandeur des vitesses des vents venant de l'amont.

Les effets locaux à moyenne échelle étant difficiles à percevoir, il s'est avéré nécessaire d'intégrer ces directions et intensité à l'échelle du canton. Deux méthodes complémentaires ont donc été adoptées. La première a consisté à réaliser une enquête auprès des chefs de groupe de Vitival. Ensuite, compte tenu des résultats très variables et du manque d'informations pour un certain nombre de zones viticoles, le recours au savoir d'autres personnes a été nécessaire. Je remercie ici toutes les personnes d'Agroscope à Pully qui m'ont aidé à finaliser cette synthèse.

7.4.1 *Enquêtes du groupe Vitival*

Les enquêtes réalisées auprès des responsables du groupe *Vitival* ont permis de confirmer un certain nombre d'aspects concernant la ventilation. Chacun disposait de trois cartes vierges de leur région pour dessiner les zones soumises respectivement aux brises, au foehn, ainsi que de placer les régions particulièrement chaudes, froides et gélives. La légende associée (voir ci-dessous) définissait les codes de couleur à utiliser (rouge, orange, jaune et blanc) en fonction de l'exposition de la zone aux brises ou au foehn. Il leur était également demandé de montrer la direction générale des brises et du foehn à l'aide d'une flèche. Un exemple de carte a par ailleurs été montré par une personne de l'OCV aux personnes choisies pour l'enquête, de manière à préciser nos attentes.

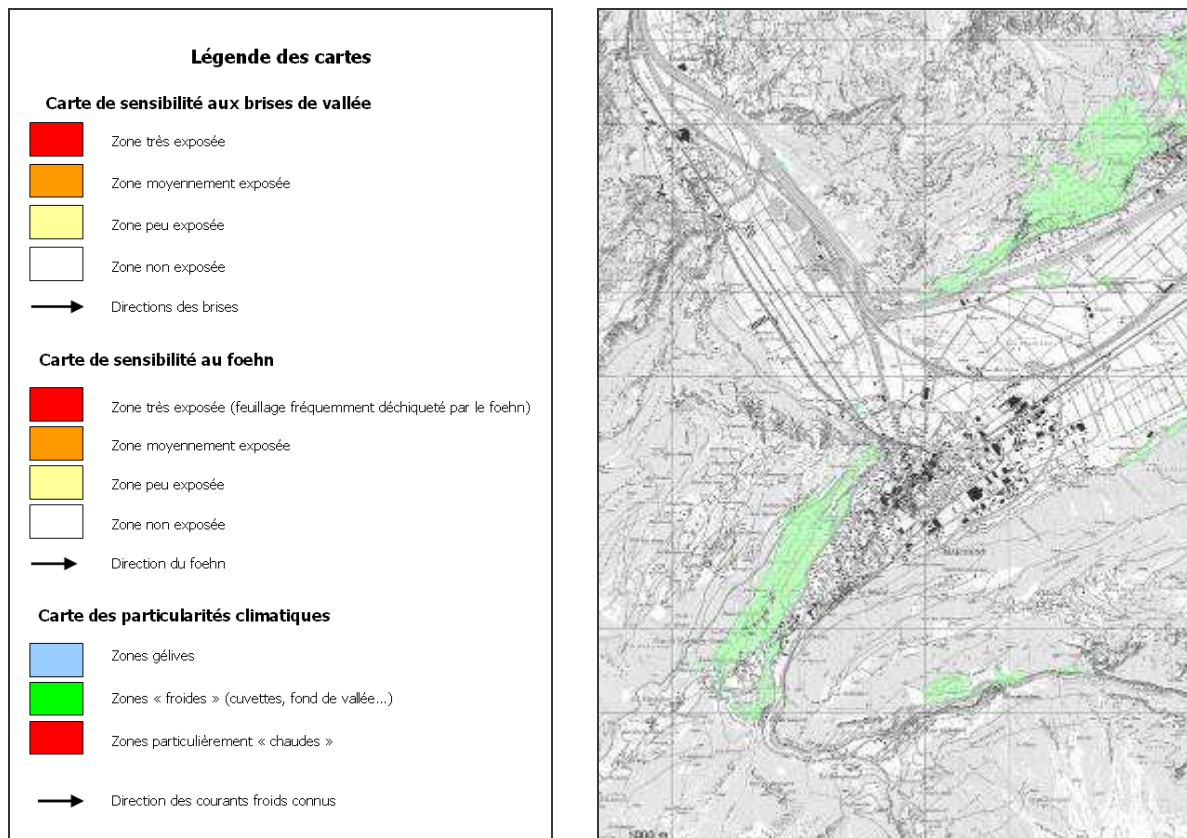


Figure 53 : Exemple de légende et extrait de carte fournies aux personnes de l'enquête

Les cartes n'ont malheureusement pas toutes été retournées à l'office cantonal de la viticulture. Certaines zones ont été très bien couvertes avec parfois même des répétitions, alors que d'autres sont restées complètement vides. Comme dans toutes les enquêtes, les perceptions et l'interprétation de chacun restant variables, certaines cartes bien que retournées, ont été difficilement utilisables.

L'absence de renseignement quant à la direction des brises et du foehn pour le Haut-Valais a été complétée également par les contacts avec David Volken. Il confirme la présence d'un vent de vallée venant du nord pendant la journée et du sud pendant la nuit. Le foehn souffle du sud et sa force dépend des situations de foehn. Il souffle fréquemment de 60 à 80 km/h à Visp (station Anetz Meteosuisse). Dans la vallée du Rhône à l'amont de Visp, il souffle plutôt d'est en ouest (90-100°). C'est l'endroit de Suisse qui connaît le plus grand nombre de jours de foehn par année.

Les résultats pertinents de l'enquête ont été utilisés pour aider à définir la carte des directions générales des brises et du foehn.

7.4.2 Synthèse régionale du Léman au Vispental

Régime des brises

La brise diurne est omniprésente dans la vallée du Rhône. Son intensité est bien connue des cyclistes qui parcourent les routes valaisannes, surtout à contresens... Les vigneronns doivent également organiser leurs travaux en tenant compte de ses heures d'apparition ; à parti de midi, l'intensité du souffle du vent empêche tout traitement dans les vignes.

La nuit, la brise nocturne elle descend dans le sens inverse. Comme on l'a mentionné plus haut, son intensité est beaucoup plus faible que la brise montante.

Bas-Valais



Figure 54 : Carte des courants dominants selon Haeberli, (1971)

Le Bas-Valais est une région particulière du point de vue climatique par rapport au reste du canton. Bien qu'encore soumis au régime du plateau, il connaît déjà le système des brises alternées et comme nous le verrons par la suite, une des branches du foehn y souffle parfois avec violence. A Vouvry, l'effet de la brise est faible à nul car le vignoble est protégé de la brise montante. Aux Evouettes, la brise est moyenne à faible pour les mêmes raisons. A la hauteur de Monthey, la vallée étant plus large, les vitesses diminuent. Monthey est protégé de la brise de la vallée, et peut tout au plus ressentir la légère brise de vallée qui se développe dans le val d'Illiez. Ce dernier est lui soumis au vent de Morgins qui déjette les arbres vers l'est. Ces différents points sont partiellement confirmés par la cartographie d'Haeberli dont nous disposons pour le canton de Vaud, et qui est visible dans l'image ci-contre jusqu'à la hauteur de Bex.

Cluse et coude du Rhône

Dans la zone de la cluse rhodanienne, de Vernayaz à Martigny, la brise diurne de beau temps présente un maximum de vitesse, de part le resserrement de la vallée. La brise remontante normale suit ensuite le coude du Rhône devant les Follatères et sa direction change de 90°. On assiste à un tourbillon, lié à l'effet du courant qui provient de Chamonix par la Forclaz.

La partie est de Martigny est connue pour être très ventée, mais les brises influencent peu le coteau viticole de Martigny Combe qui est protégé de la brise de la vallée du Rhône. Celui-ci est plus exposé au courant qui vient de Chamonix. Le fond de la vallée est plus fortement exposé que les hauts des coteaux. A l'exception du bas du coteau qui peut être gélif, la combe est connue comme une zone chaude. Les vallées des Drances et d'Entremont sont également soumises au régime de brises aval-amont-aval. Le vignoble de Bovernier et Sembrancher est lui

aussi soumis aux brises qui soufflent assez fort dans la vallée, bien que leur intensité soit plus faible que celle du coude de Martigny.

L'image satellite suivante [référence inconnue], illustre bien l'importance de l'apport de la vallée de Chamonix dans le système de ventilation valaisan. Cette vallée a en effet une taille suffisante et une disposition qui favorise l'établissement de courants entre l'ouest et la vallée du Rhône.



Figure 55 : Vue satellite du plateau suisse, de la vallée du Rhône et de la vallée de Chamonix (en bas à droite) [référence inconnue !]

Valais central jusqu'à Visp

Au début du coude du Rhône vers Branson, la brise provient du SSW. La rive gauche du Rhône est beaucoup plus fortement exposée, alors qu'une bonne partie du village de Fully est entièrement protégé de la brise, jusqu'à Mazembroz où elle recommence à souffler fortement. Charrat et Saxon sont très exposés à la brise remontante et les paravents construits dans les vignes protègent les ceps de sa violence. L'intensité décroît ici en montant dans le coteau.

La brise diurne suit ensuite la vallée du Rhône et remonte légèrement latéralement les coteaux sur les versants ensoleillés. Elle est donc beaucoup plus importante sur la rive droite que sur la rive gauche. Cette situation se poursuit jusqu'à Brig.

Dans les vallées latérales de la rive gauche (Hérens, Anniviers), les brises sont également présentes, mais de manière beaucoup plus faibles que dans la plaine. Les enregistrements

effectués par M. Bouët à Evolène montrent que le régime des brises alternées y est présent mais elles y sont moins fortes que dans la vallée principale. Les mesures du LPAS confirment également ce principe. En hiver la brise diurne y disparaît de décembre à février.

A l'exception du début de la plaine du Rhône aux environs de Saxon-Charrat, qui restent très exposés au courant remontant, les coteaux de la rive gauche sont soumis à une intensité plus faible que le reste de la plaine. La brise s'engouffre également dans les vallées latérales.

D'après les enquêtes, on remarque que l'intensité de la brise est moindre dans la partie haute des coteaux ensoleillés.

Les vallées latérales de la rive droite sont relativement protégées de la brise de la vallée du Rhône. Les enquêtes montrent que les vignobles situés à proximité de ces vallons sont beaucoup plus exposés aux courants descendants.

Les effets des courants thermiques localisés ne seront pas pris en considération dans le cadre de cette étude.

La brise diurne qui monte la vallée de Martigny direction le Haut-Valais est encore très présente dans la région de Sierre, Salgesch, Leuk. Elle "s'allume" presque tous les jours à midi pour s'éteindre après le coucher du soleil. De Sierre à Brig, son intensité est plutôt moyenne, autant sur les coteaux (Flanthey, Corin) que dans la plaine du Rhône. Elle suit la vallée du Rhône jusqu'à Brig et s'engouffre également dans le Vispताल, où nous avons vu que le régime des brises est bien présent. A la hauteur de Venthône, Veyras, les coteaux viticoles sont légèrement protégés de la brise remontante. Cette région ressent plus fortement les masses d'air froid qui descendent parfois la montagne. La brise matinale a elle tendance à dévier les jets d'arrosage vers le sud. Toutes les zones sont évidemment soumises à cette brise de nuit qui souffle du haut en bas des pentes. Son intensité est beaucoup plus faible que la brise de jour, mais son effet est essentiellement thermique par le refroidissement qu'elle provoque. Elle n'est pas cartographiée, car son intensité reste beaucoup plus faible que la brise remontante qui suit la vallée du Rhône et remontante latéralement les coteaux.

Foehn

Comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents, le foehn valaisan à deux branches différentes, qui peuvent être totalement indépendantes. La première souffle en gros de Brig à Sion et l'autre de Martigny au lac Léman. La région entre Sion et Saxon est quasi exempte de foehn, qui remonte aux environs de Conthey obliquement en direction des Diablerets et des Dents de Morcles. De Brig à Sion, c'est un vent chaud et sec de vitesse moyenne d'environ 23 km/h (voir paragraphes précédents).

Du Vispताल - Brig à Sierre

Le Saastal et le Mattertal sont exposés au foehn, car leurs cols sont plutôt bas à environ 2800 m. Il n'y a plus de foehn dans la vallée de Conches. La vallée du Rhône de Brig à Sierre est très exposée au foehn, qui peut être très violent. La rive droite est globalement très exposée jusqu'à Sion, à l'exception des coteaux protégés localement par le relief. Comme vu précédemment, il souffle en moyenne à 23 km/h à Sierre, mais il peut atteindre des vitesses moyennes de 50 km/h ce qui est énorme. C'est la région de Suisse avec le plus haut nombre de jours de foehn par année (en moyenne 33 jours par an à Sierre).

Valais central

A partir de Sierre, il continue à souffler fortement sur les coteaux de la rive droite, alors qu'en plaine son intensité baisse. Les coteaux de la rive gauche sont globalement protégés, du moins des effets mécaniques (Chalais, Réchy, ...). Comme dans la partie précédente de la vallée, l'intensité est beaucoup plus faible dans les vignobles protégés localement par le relief. Il diminue ainsi jusqu'à la hauteur de Chamoson, où son intensité est vraiment faible par rapport à celle de Sierre ou de Brig. Si les pointes se montaient à 80 km/h à Sierre, elles diminuent aux alentours de 30-40km/h à Chamoson.

Les vallées d'Anniviers et d'Hérens ont peu de foehn car elles sont protégées par des cols élevés (3000 – 3455 m.). Elles ont chacune leur propre régime de foehn, qui n'atteint en général d'ailleurs pas la vallée du Rhône, de part la forme convexe des vallées dans leur partie inférieure. Des vignobles situés à la sortie des vallées de la rive gauche peuvent localement subir les effets de ces foehns, mais de façon limitée. C'est le cas du vignoble de Vex, protégé du foehn de la plaine, mais qui est soumis de manière modérée au foehn du sud. La vallée est là suffisamment longue pour qu'il puisse s'y développer, contrairement au val de Nendaz, trop court et trop encaissé.

La zone entre Saillon et Fully est totalement protégée (mécaniquement toujours) des effets du foehn, qui est dévié en direction des Muverans. Elle en ressent évidemment les effets thermiques, qui ne s'arrêtent pas à Leytron.

Martigny au Léman

Le foehn qui souffle dans le Chablais valaisan et vaudois est indépendant de celui qui vient du Haut-Valais. Il provient de la vallée des Drances et du Trient où il souffle avec violence dans l'étranglement de Vernayaz. Il rejoint le Léman où il prend le nom de Vaudaire. Les vitesses atteintes de Martigny à Bex sont équivalentes à celles rencontrées à Brig.

Les vallées de Bagne, d'Entremont et le val Ferret sont plus sujettes au foehn que les autres vallées latérales de la rive gauche (cols moins élevés aux environs de 2500 m). Au niveau des vignobles de Bovermier - Sembrancher, le foehn y souffle fortement et suit l'axe des vallées.

Les données disponibles sur la vallée du Trient et le val d'Illiez sont peu nombreuses, mais la faible hauteur de leurs cols (1460 et 1920 m) prête à penser que le foehn doit y passer, mais sans effet thermique.

Le foehn souffle essentiellement dans la partie vaudoise du Chablais (Aigle, Bex) mais très peu du côté valaisan. Les vignes situées entre Vouvry et les Evouettes sont protégées (mécaniquement) des effets du foehn qui ne se fait sentir que faiblement. Il se manifeste cependant jusqu'à Villeneuve. A la hauteur de Monthey, il y souffle en moyenne 30 jours par an.

7.4.3 Cartes des intensités de la brise et du foehn

L'étude des intensités des deux courants dominants retenus pour caractériser le climat valaisan a conduit à l'établissement aux deux cartes de synthèse présentées dans les figures de la page suivante. Elles fournissent une cartographie de leur intensité par région, basée sur une échelle de 1 (nulle à faible) à 10 (forte). La direction générale du vent considéré dans chaque sous région du canton est également visible. Ces cartes sont disponibles en version originale en annexe (*Annexes 16a et 16b*).

La carte fournit l'intensité des courants à l'échelle du canton et se veut aussi intégrée que possible. Elle ne tient, par contre, pas compte des effets localisés du relief. L'échelle de perception de chacun étant évidemment bien différente, un vent fort à Leytron n'a certainement pas la même intensité qu'un vent fort à Sierre, si on parle du foehn. Par ailleurs, des zones protégées localement des effets de la brise ascendante, auront tendance à surestimer l'effet du thermique du matin, qui prend là plus d'importance que la brise dominante sur l'ensemble du vignoble. L'exposition réelle des différentes parties du vignoble aux deux courants retenus, fera elle l'objet du point suivant.

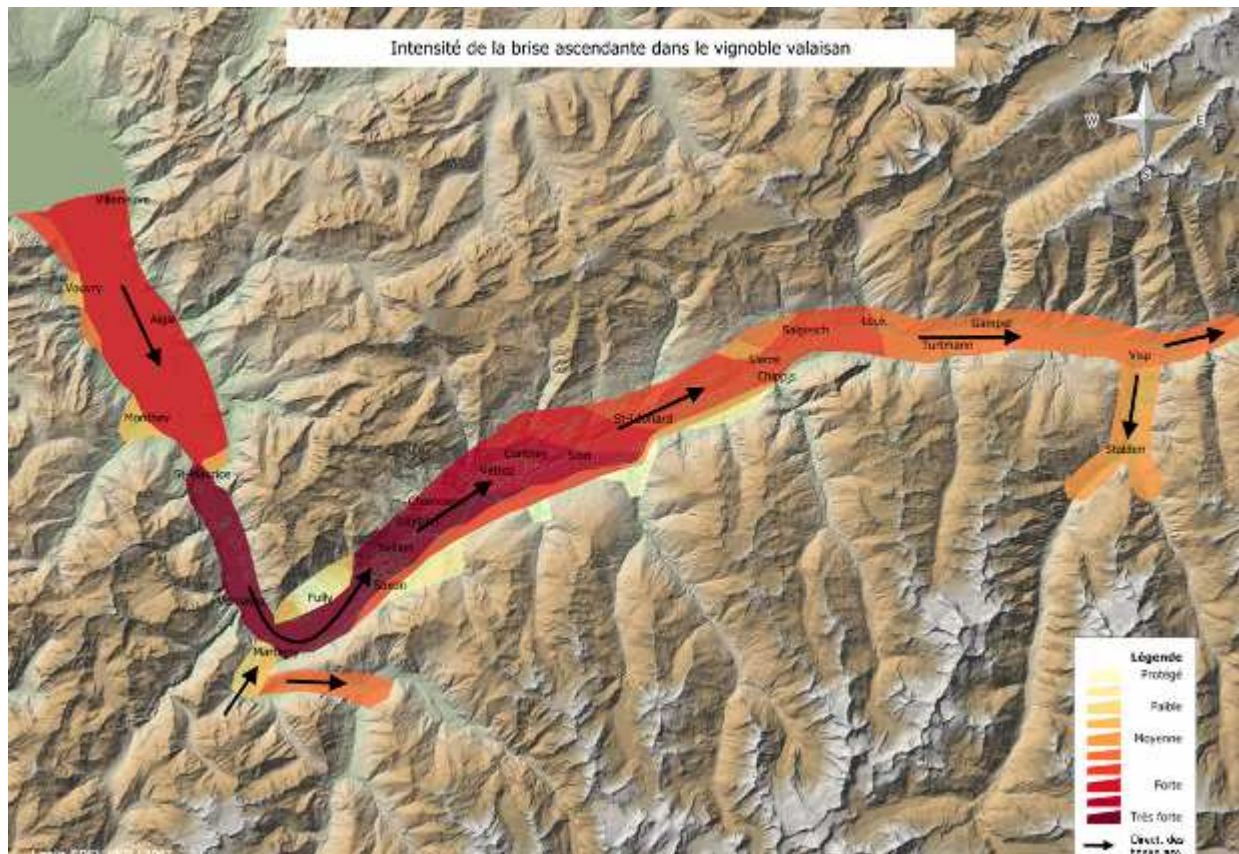
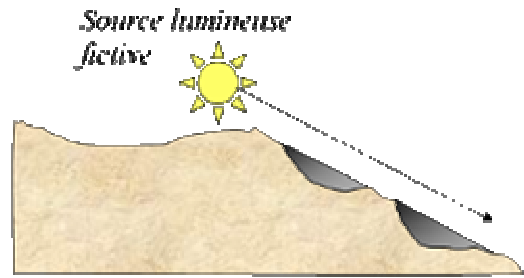
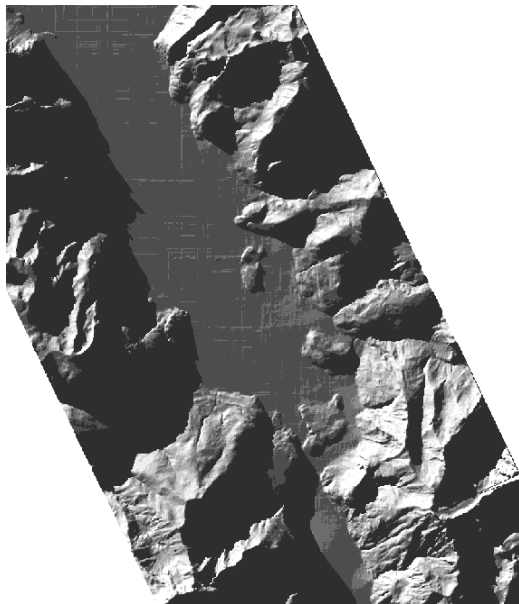


Figure 56 : Carte de synthèse des directions et intensité de la brise ascendante dans le vignoble valaisan

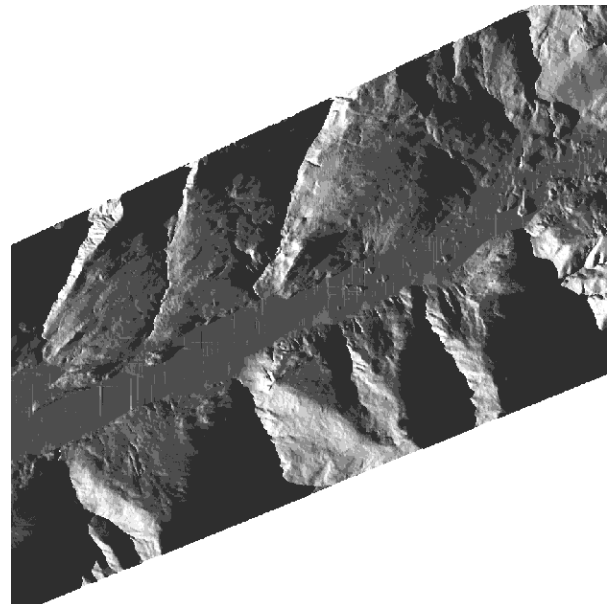
Ensuite, l'approche retenue pour la modélisation de l'exposition aux courants est identique à celle utilisée dans le canton de Vaud, c'est-à-dire celle de l'ombrage. Le modèle numérique d'altitude est à nouveau utilisé comme donnée de base, représentative de la géomorphologie du terrain. Ensuite, une fonction d'ombrage est appliquée à chaque sous modèle d'altitude, issu du découpage des zones.



Dans les logiciels de système d'information géographique (SIG) intégrant des fonctions d'analyse spatiale, les fonctions d'ombrage créent l'ombre d'un rayonnement solaire fictif qui agit sur le relief pour en faciliter sa représentation. Dans notre cas, il ne s'agit pas de rayonnement solaire mais bien d'un courant défini par une direction horizontale (azimut) et un angle vertical. L'azimut est variable selon les zones, alors que l'angle vertical a été choisi de manière à mettre en évidence les effets du relief. Le choix d'un angle trop vertical minimise les effets locaux de la topographie, alors qu'un angle trop faible, surestime l'effet des montagnes à moyenne distance. Les deux images montrent deux extraits de grilles issues des fonctions d'ombrage pour deux régions valaisannes. Il s'agit, dans chacun des cas, évidemment d'exposition à un rayon fictif fixe, sans tenir compte des mouvements réels des masses d'air.



Chablais : 315° - 10°



Sion - Sierre : 350° - 10°

Figure 58 : Exemple d'effet d'ombrage pour deux zones valaisannes

Le Valais a été découpé pour chacun des vents retenus en plusieurs zones où nous avons considéré leurs directions comme constantes. Pour chacune de ces zones, un azimut a été choisi de manière à modéliser l'effet du souffle du vent. Dans les vallées latérales (Martigny, Vispताल), l'angle de hauteur a dû être augmenté de façon à diminuer localement l'effet du relief, qui avait tendance à ombrer l'ensemble de la vallée.

Le découpage choisi, ainsi que les angles utilisés pour modéliser l'effet d'exposition au foehn et aux brises sont résumés dans les figures et tableaux suivants.

Foehn



Figure 59 : Découpage utilisé dans la modélisation de l'exposition au foehn

N° zone	Nom zone	Azimut	Angle h
1	Mattertal	225	20
2	Saastal	165	20
3	Vispéral	185	20
4	Brig-Visp	65	10
5	Visp-Sierre	95	10
6	Sierre-Sion	65	10
7	Sion-Martigny	55	10
8	Martigny-Léman	165	10
9	Martigny-Combe	210	20
10	Bovernier - Sembrancher	95	10
11	Fey	175	20

Figure 60 : Azimuts et angles de hauteur injectés pour chaque zone dans le modèle d'ombrage pour le foehn

Brises

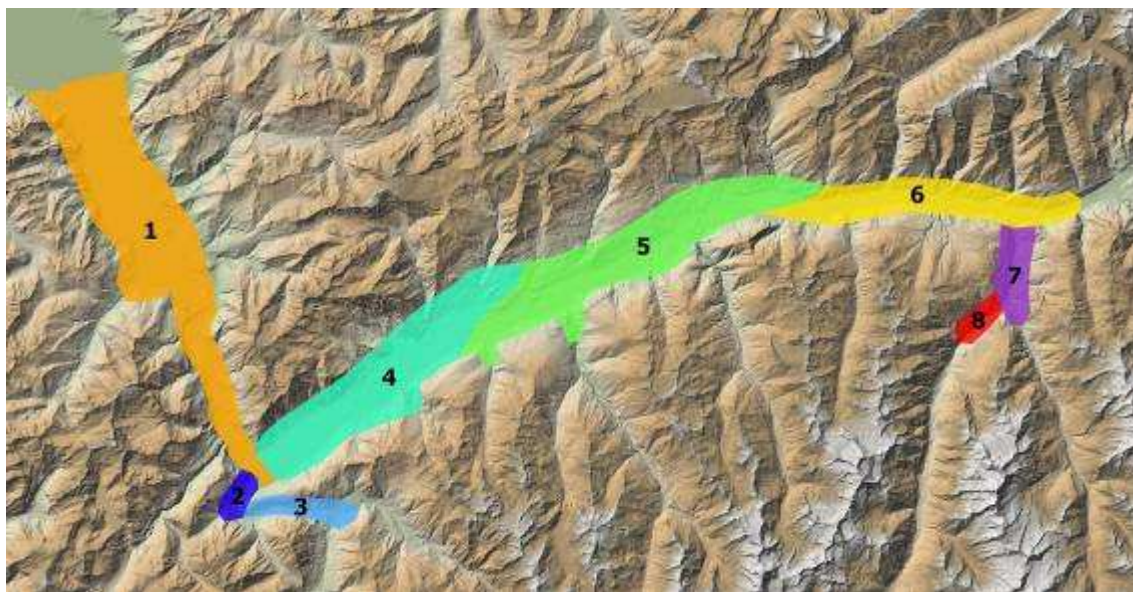


Figure 61 : Découpage utilisé dans la modélisation de l'exposition aux brises ascendantes

N° zone	Nom zone	Azimut	Angle h
1	Bas-Valais	335	10
2	Martigny-Combe	210	20
3	Bovernier-Sembrancher	270	20
4	Martigny-Sion	235	10
5	Sion-Sierre	245	10
6	Sierre-Brig	275	10
7	Vispताल	5	20
8	Mattertal	45	20

Figure 62 : Azimuts et angles de hauteur injectés pour chaque zone dans le modèle d'ombrage pour les brises ascendantes

Les cartes des pages suivantes présentent le résultat du modèle d'ombrage à l'échelle cantonale pour les brises ascendantes et le foehn. Un exemple de carte originale pour chaque vent est présenté en annexe (*Annexes 17a et 17b*).

7.5.2 Cartographie finale des vents

Pour l'étude des terroirs viticoles valaisans, l'effet du vent sera présenté comme une combinaison de :

- l'**intensité** de chaque courant élaboré sur la base des cartes d'enquête, des mesures de vitesse et de la synthèse avec l'équipe d'Agroscope de Pully
- l'**exposition** relative à la direction du courant et issue de la modélisation, traitée dans ce sous chapitre.

Comme pour la pluviométrie, le canton est divisé en trois parties. Pour chaque partie, 4 cartes ont été donc été réalisées.

Le dossier cartographique comprend :

- Carte de l'intensité des brises ascendantes
- Carte de l'exposition aux brises ascendantes
- Carte de l'intensité du foehn
- Carte de l'exposition au foehn

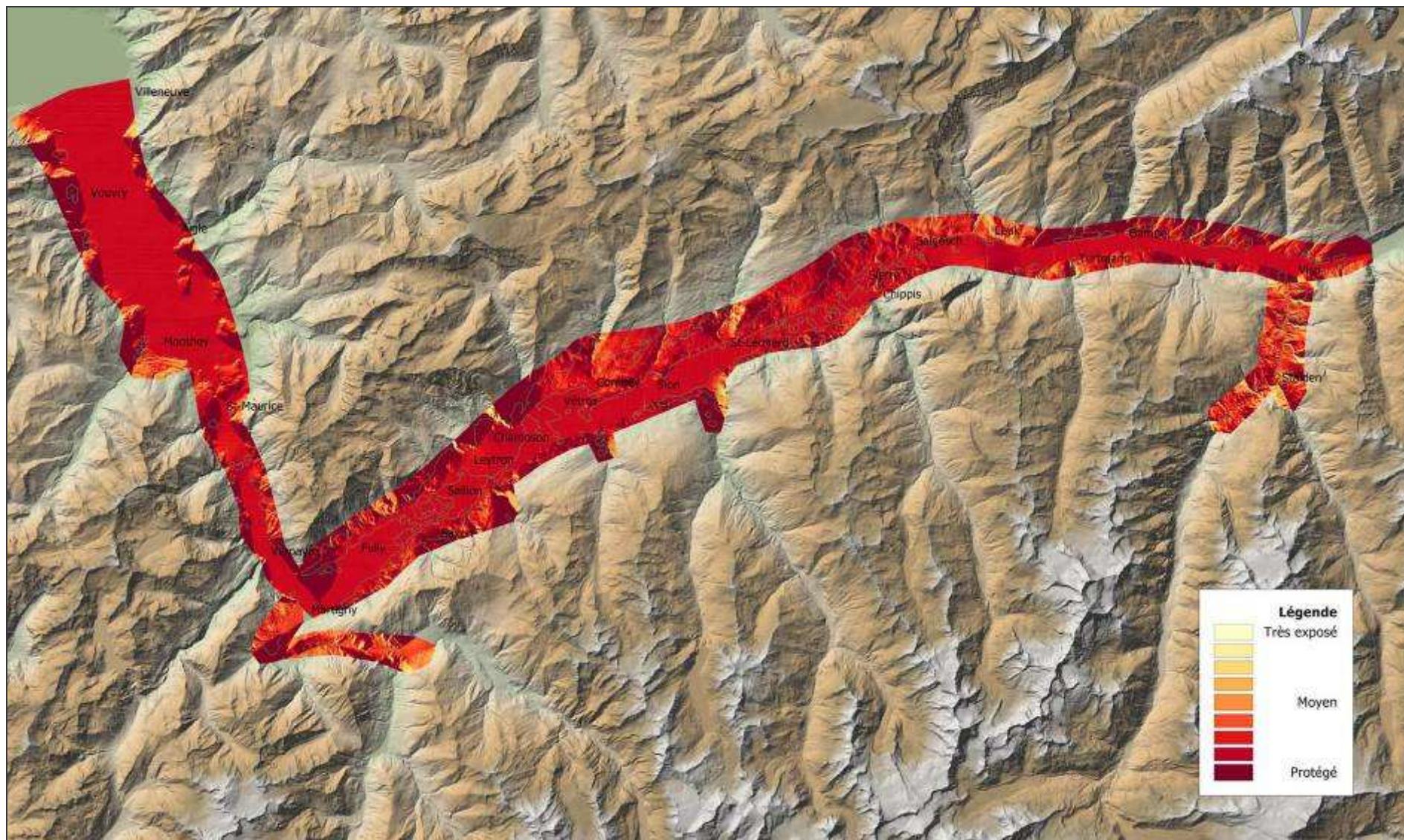


Figure 63 : Carte de l'exposition aux brises ascendantes du vignoble valaisan, sans tenir compte de leur intensité

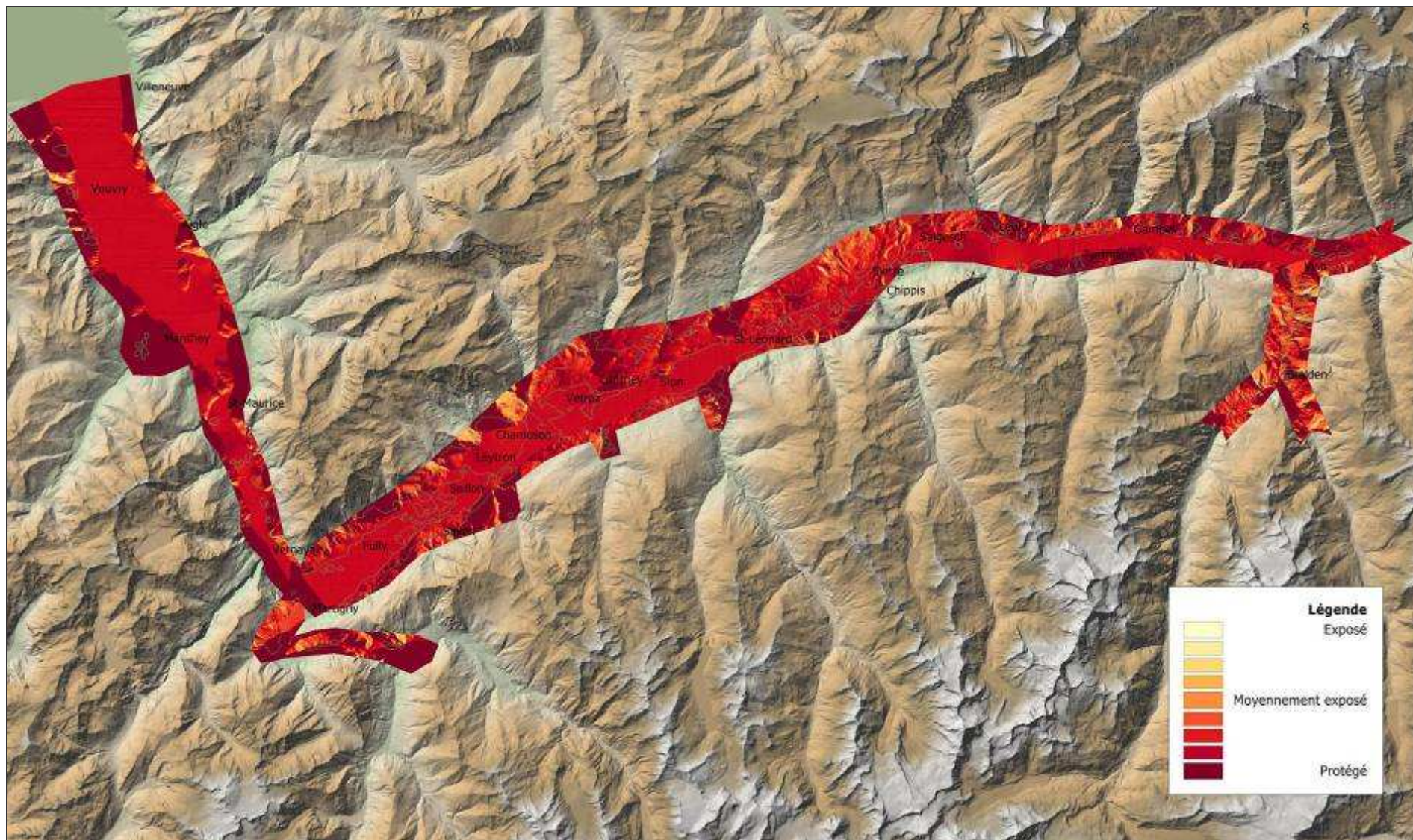


Figure 64 : Carte de l'exposition au foehn du vignoble valaisan, sans tenir compte de son intensité

8. Indice climatique modélisé

Dans le projet des terroirs viticoles du canton de Vaud, un essai de définition d'indice avait été réalisé en combinant les facteurs température, rayonnement et protection aux courants dominants. Des facteurs de pondération avaient été choisis, compte tenu de l'importance prépondérante de l'altitude, qui s'était vu attribuer un poids de 50%, puis du rayonnement avec un poids de 35% et seul 15% avait été conservé pour la ventilation, qui est toujours difficile à apprécier. Son effet réel sur le vignoble est discutable selon les périodes considérées et la situation véritable des vignes.

Pour le canton du Valais, l'aspect des vents est bien plus complexe. Essayer de définir l'effet de la ventilation sur la vigne l'est encore davantage. Par contre, compte tenu des expositions très variables des vignobles dans la vallée et l'installation prépondérante dans les coteaux de la rive droite, il eut été faux de réduire l'aspect climatique uniquement à l'effet thermique. Nous avons donc tenté de définir un indice climatique valaisan, pour le printemps et l'ensemble de la période végétative, en combinant uniquement un indice altitudinal et un indice de rayonnement (indice en avril et d'avril à septembre). La démarche pour aboutir aux grilles d'indices est reprise de celle utilisée dans le canton de Vaud.

Chaque paramètre est dans un premier temps extrait pour la zone proche du vignoble (zone tampon de 100m autour des zones de vignes). Les valeurs extrêmes sont ainsi exclues. On normalise ensuite les valeurs des pixels de manière à ce qu'elles ne varient plus qu'entre 0 et 1. Cela s'effectue sur la base de l'histogramme des valeurs. Dans le cas ci-dessous, les valeurs réelles minimum et maximum du rayonnement valent respectivement $Z_{min} = 1489 \text{ Wh/m}^2$ et $Z_{max} = 4798 \text{ Wh/m}^2$. D'après la forme de l'histogramme, les valeurs retenues pour la normalisation se monte à $Z_{min}' = 3800 \text{ Wh/m}^2$ et $Z_{max}' = 4700 \text{ Wh/m}^2$, car les premières sont trop extrêmes et ne concernent que 2% des valeurs, et ont tendance à « diluer » les autres valeurs des grilles. Elles sont donc rapportées respectivement aux valeurs Z_{min}' et Z_{max}' .

La normalisation se fait en calculant la nouvelle grille avec l'équation suivante:

$$Z_{norm} = \frac{Z - Z_{min}'}{Z_{max}' - Z_{min}'} \text{ où :}$$

Z_{min}' : Valeur minimum définie sur l'histogramme

Z_{max}' : Valeur maximum

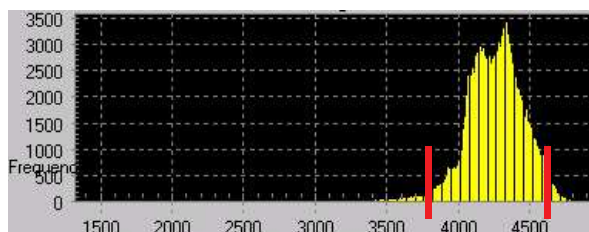


Figure 65 : Histogramme non normalisé de la grille originale

L'histogramme de la grille normalisée devient alors:

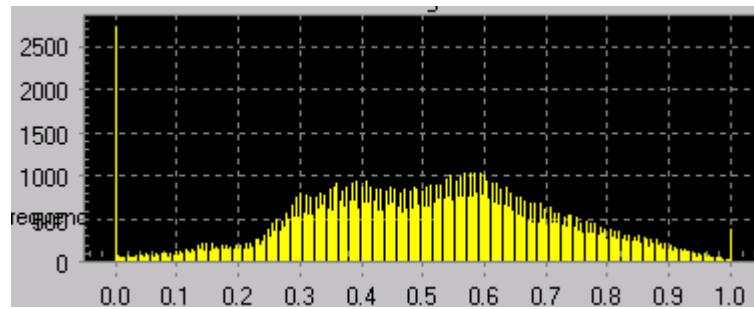


Figure 66 : Histogramme normalisé de la grille : les valeurs varient ici entre 0 et 1

Cette procédure est appliquée pour toutes les grilles utilisées dans le calcul de nos indices climatiques (altitude, rayonnement au débourrement et rayonnement sur l'ensemble de la période végétative).

Il suffit ensuite de combiner ces grilles en les pondérant. Différents essais ont été réalisés et la pondération retenue qui semblait le plus s'approcher de la carte de Schreiber et des résultats des enquêtes est la suivante :

$$I_{clim} = 0.5 * altitude + 0.5 * rayonnement$$

Deux indices ont été calculés, un pour la période printanière sur la base de l'altitude et du rayonnement pendant le débourrement et un pour l'ensemble de la période de végétation, avec le rayonnement correspondant. Ces grilles ont ensuite été transformées en zones de manière à faciliter la lecture des cartes. Un exemple de chacun des indices pour la région de Conthey est disponible en annexe (*Annexe 18a et 18b*).

Le dossier cartographique comprend :

- Indice climatique printanier
- Indice climatique sur l'ensemble de la période végétative

Il est intéressant à ce stade de comparer les indices obtenus avec les données disponibles, c'est-à-dire à ce stade la carte des niveaux thermiques au printemps de Schreiber, et les résultats de l'enquête auprès du groupe Vitival.

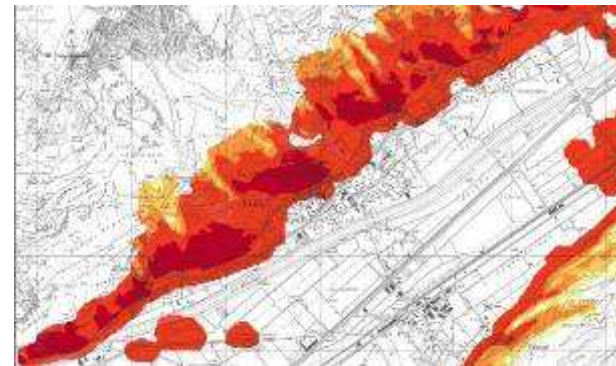
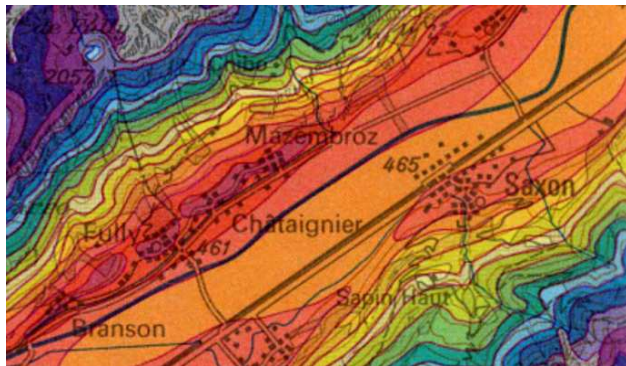
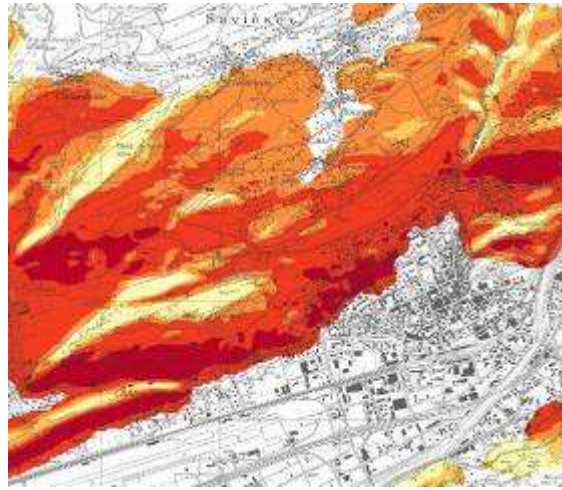
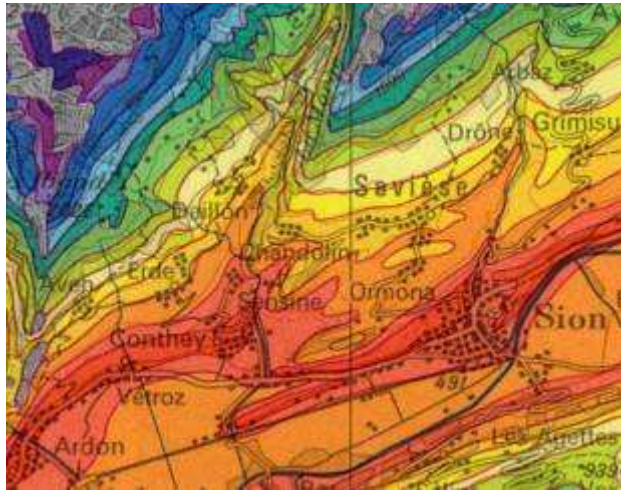


Figure 67 : Diverses formes de représentations de l'aspect climatique pour la région de Conthey et de Fully : la carte de Schreiber, l'indice climatique printanier et le résultat de l'enquête Vitival

Bien que la correspondance ne soit pas toujours facile à faire de part la différence d'échelle de représentation, on voit que les grandes tendances se retrouvent. Ce point mériterait évidemment d'être affiné. Les cartes sont donc indicatives pour la pondération testée et ne devraient pas être prises comme une référence absolue.

Dans le canton de Vaud, nous avons ensuite eu la possibilité de mettre en relation les cartes d'indice climatique avec un certain nombre de mesures réalisées par Agroscope sur des réseaux de parcelles. Nous avons entre autre pu montrer que l'indice climatique printanier avait une assez bonne corrélation avec la date de débourrement des parcelles, les années où il s'échelonnait normalement. De bons résultats avaient également été obtenus entre l'indice climatique sur l'ensemble de la période de végétation et les données de maturation (acide malique, acidité totale...).

La figure suivante présente un exemple de carte thématique réalisée dans le projet vaudois, et qui montre la relation entre la date de débourrement et l'indice climatique printanier. Plus les couleurs entre les points et les zones sont proches et plus la corrélation est bonne. La relation entre les deux paramètres ne peut évidemment pas être parfaite, de part l'importance du sol dans le comportement de la plante (teneur en eau, température, ...).

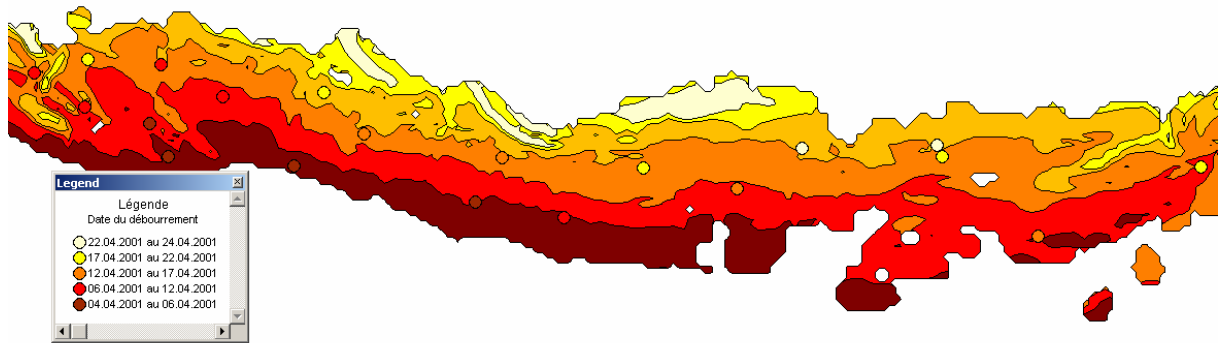


Figure 68 : Cartographie de la superposition de l'indice climatique printanier et de la date de débourrement (Lavaux, 2001)

Faute d'informations acquises à l'échelle de quelques parcelles test, ce volet n'a malheureusement pas pu encore être réalisé pour le canton du Valais. Des essais pourraient cependant être menés éventuellement sur la base des réseaux de l'Office cantonal de viticulture (Réseau cornalin, pinot noir...).

9. Liste des cartes du dossier cartographique climatique

Le dossier cartographique annexé au présent rapport comprend les cartes suivantes :

- Carte des altitudes
- Carte des pentes
- Carte des orientations
- Carte de la température moyenne au mois d'avril (1961-1990)
- Carte de la température moyenne au mois de septembre (1961-1990)
- Carte de la température moyenne annuelle (1961-1990)
- Carte des niveaux thermiques au printemps selon Schreiber
- Rayonnement potentiel pendant le débourrement [$\text{Wh/m}^2/\text{jour}$]
- Rayonnement potentiel pendant la floraison [$\text{Wh/m}^2/\text{jour}$]
- Rayonnement potentiel pendant la véraison [$\text{Wh/m}^2/\text{jour}$]
- Rayonnement potentiel pendant la maturation [$\text{Wh/m}^2/\text{jour}$]
- Rayonnement potentiel sur l'ensemble de la période de végétation
- Ensoleillement potentiel pendant le débourrement [h/jour]
- Ensoleillement potentiel pendant la floraison [h/jour]
- Ensoleillement potentiel pendant la véraison [h/jour]
- Ensoleillement potentiel pendant la maturation [h/jour]
- Ensoleillement potentiel sur l'ensemble de la période de végétation [h/jour]
- Pluviométrie annuelle moyenne [mm]
- Pluviométrie en été (avril – septembre) [mm]
- Pluviométrie aux mois de juillet – août [mm]
- Pluviométrie en hiver (octobre – mars) [mm]
- Carte de l'intensité des brises ascendantes
- Carte de l'exposition aux brises ascendantes
- Carte de l'intensité du foehn
- Carte de l'exposition au foehn
- Indice climatique printanier (avril)
- Indice climatique sur l'ensemble du cycle végétatif (avril à septembre)

La plupart de ces cartes ont été réalisées pour chaque zone du découpage défini à la page suivante. Certains petits vignobles ont été inclus dans des cartes proches afin d'éviter la multiplication des cartes à l'impression.

Seules les cartes de pluviométries et d'exposition aux vents (foehn et brises) ont été réalisées à une échelle plus grande. Dans ces cas, la région du vignoble a été découpée en trois zones :

- Bas-Valais : du Léman à Martigny
- Valais central : de Martigny à Sierre
- Haut-Valais : de Sierre à Brig, y compris les vignoble du Vispéral

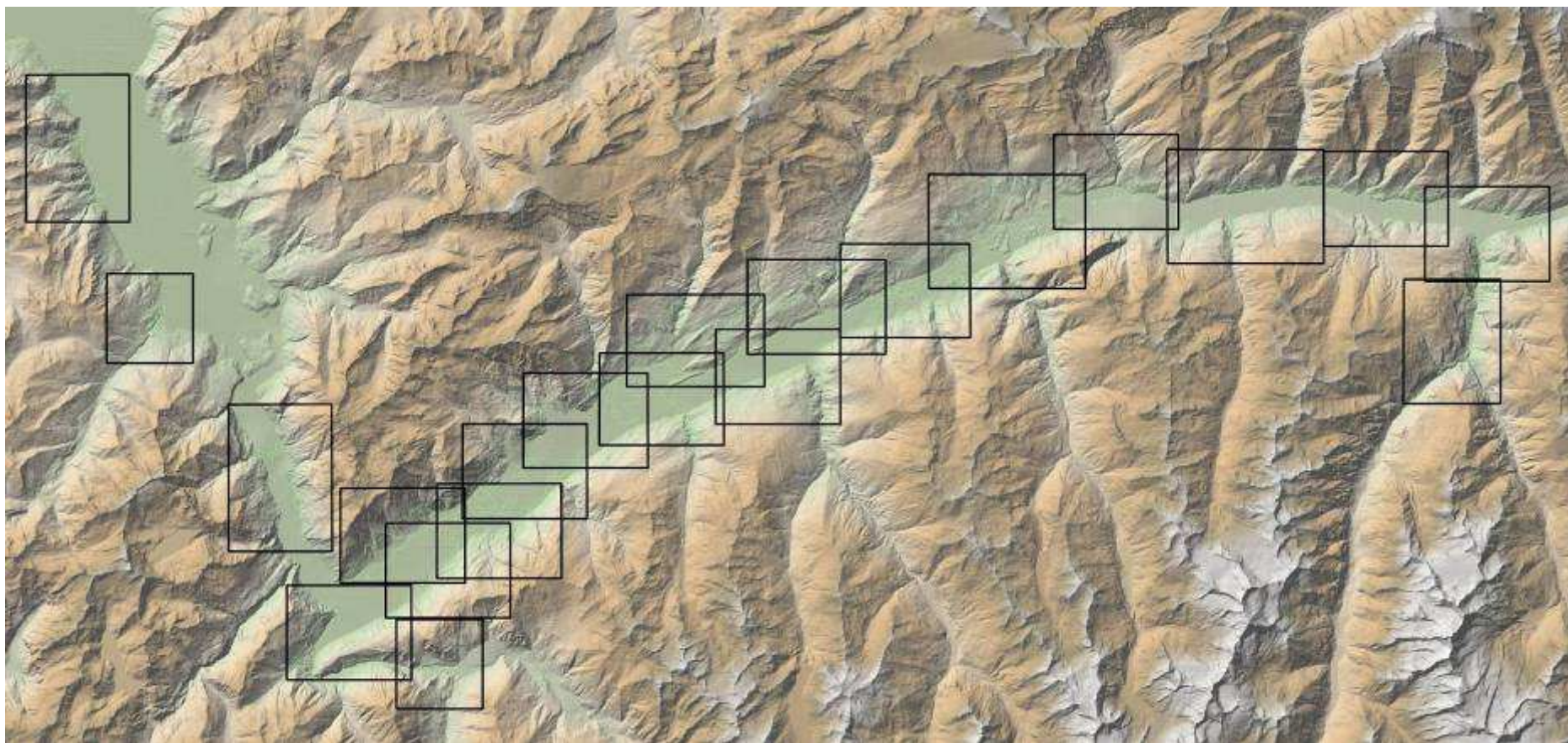


Figure 69 : Découpage du vignoble pour la réalisation des cartes climatiques

10. Discussion et synthèse

Les différents chapitres abordés durant ce projet ont permis de cartographier le vignoble valaisan du point de vue de son microclimat. L'approche utilisée ne permet pas d'intégrer les variations mésoclimatiques à l'échelle de la parcelle, mais apporte cependant un découpage relativement précis à l'échelle du vignoble.

Les paramètres tels que la température, le rayonnement solaire, ou la vitesse et la fréquence des vents sont des paramètres relevés régulièrement dans les stations météorologiques du réseau Météosuisse. Bien que la densité des stations de mesure soit déjà importante, l'extrapolation des valeurs relevées à l'ensemble du territoire n'est pas envisageable sans tenir compte des conditions topographiques et géomorphologiques locales. La caractérisation des paramètres mésoclimatiques à l'échelle du vignoble devait donc passer l'utilisation de modèles. Les données climatiques provenant des stations "Météosuisse" ont cependant permis de disposer de valeurs comparatives ou ont été utilisées comme données de base dans les modèles utilisés.

Les phénomènes microclimatiques restent souvent complexes à quantifier. L'enquête réalisée auprès du groupe Vitival a montré le potentiel d'une telle démarche, sans pouvoir répondre à l'ensemble des interrogations. Le taux de retour des enquêtes n'a pas été suffisant pour couvrir l'ensemble du vignoble, et l'échelle de perception différente des phénomènes par les personnes consultées rend l'interprétation des résultats plus compliquée.

L'étude du rayonnement solaire en Valais est particulièrement intéressante par l'orientation très variable des coteaux viticoles. La variabilité altitudinale, l'orientation des surfaces (pente et orientation) et l'ombre projetée par le relief proche ou lointain engendrent des variabilités locales du rayonnement. L'utilisation du modèle implémenté dans SolarAnalyst basé sur le modèle numérique d'altitude a permis d'apprécier correctement ces différences.

La cartographie de la pluviométrie, basée sur les données Météosuisse et calculée grâce à un modèle développé par le WSL, a fourni des résultats fidèles aux quantités réelles. La comparaison des grandeurs obtenues sur la base des grilles du WSL et des données relevées dans les stations Météosuisse montre qu'elles sont très proches. La pluviométrie valaisanne montre des différences régionales marquées. Elles ne sont pas uniquement dépendantes du facteur altitudinal mais également des effets liés à la circulation des courants dans l'ensemble des vallées et des chaînes montagneuses alentours.

Le système de ventilation du Valais, et en particulier celui de la vallée du Rhône, est en grande partie influencé par la configuration géomorphologique de la vallée et des chaînes montagneuses alentours. L'alternance des brises d'aval et d'amont est quasi quotidienne à l'exception des périodes de mauvais temps. Les informations provenant des différents réseaux de mesure consultés ont permis de confirmer toutes les grandes tendances qui ressortaient entre autres des écrits de M. Bouët. Les résultats pertinents de l'enquête réalisée auprès du groupe Vitival ont été utilisés pour aider à définir la carte des directions générales des brises et du foehn. Ces approches complémentaires ont permis d'aboutir à l'établissement des cartes d'exposition aux courants dominants (brises et foehn), pondérées chacune par des cartes d'intensité propres.

Les résultats issus du traitement du modèle numérique d'altitude restent très liés à sa précision. La cartographie des zones accidentées est donc moins précise celles dont le relief est assez homogène. Pour la modélisation du rayonnement potentielle, les modèles utilisés permettent cependant d'obtenir des résultats prometteurs, intégrant correctement la variabilité du paramètre selon la géomorphologie du terrain.

11. Bibliographie

- Benichou P. et Le Breton O., 1987. *Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. La Météorologie 7^e série n°19.*
- Bouët M., 1972. *Climat et météorologie de la Suisse romande. Payot Lausanne.*
- Bouët M., 1961. *Le vent en Valais (Suisse). Mémoires de la Société vaudoise des sciences naturelles vol. 12, no 79.*
- Bouët M., 1954. *Brise de vallée et température. Bul. de la Murithienne - Sion. - Fasc. 71, p. 56-61.*
- Bouët M., 1949. *Les brises locales à Montana (Valais). Bul. de la Murithienne - St-Maurice. Fasc. 66, p. 21-24.*
- Bouët M., 1952. *Le brouillard en Valais. Bul. de la Murithienne - St-Maurice. - Fasc. 69, p. 1-9.*
- Bouët M., 1957. *Contribution à l'étude de la température en Valais. Bul. de la Murithienne – Sion. Fasc. 74, p. 12-24.*
- Bouët M., 1956. *Contribution à la géographie physique du Valais. Bul. de la Murithienne – Sion. Fasc. 73, p. 10-24.*
- Bouët M., 1954. *Coup de foehn sur le Lac Léman. Bul. de la Murithienne – Sion. Fasc. 71, p. 52-55.*
- Bouët M., 1966. *Extrêmes de température en vallée du Rhône et sur le littoral lémanique. Bul. de la Murithienne – Sion. Fasc. 83, p. 79-86.*
- Bouët M., 1964. *Le foehn à Sierre. Bul. de la Murithienne – Sion. Fasc. 81, p. 1-13.*
- Bouët M., 1958. *Foehn, vaudaire et grain orageux. Bul. de la Murithienne – Sion. Fasc. 75, p. 1-8.*
- Bouët M., 1972. *Le foehn du Valais. Publications de l'Institut Suisse de Météorologie.*
- Bouët M., 1947-1948. *L'insolation en Valais. Bul. de la Murithienne – St-Maurice. Fasc. 65, p. 82-94.*
- Bouët M., 1953. *L'orage en Valais Bul. de la Murithienne – St-Maurice. Fasc. 70, p. 9-24.*
- Bouët M., 1950. *La pluie en Valais. Bul. de la Murithienne – St-Maurice. Fasc. 67, p. 1-22.*
- Bouët M., 1960. *Pluie, neige, brouillard et orage dans le Valais central. Bul. de la Murithienne – Sion. Fasc. 77, p. 8-19.*
- Bouët M., 1949. *La vaudaire du Bas-Valais et du Lac Léman : complément d'étude. Bul. de la Murithienne – St-Maurice. Fasc. 66, p. 14-20.*
- Burgos S., 2004. *Etude géologique, climatique et pédologique de Chamoson. Ecole d'ingénieur de Changins.*
- Calame F., 1993. *Techniques culturales et microclimat de la vigne. Revue suisse de viticulture, d'arboriculture et d'horticulture, vol.25 (5): p.281-287.*

- Castelle T., Hertig J.-A., Fallot J.-M., 1991 : *Protection des routes alpines contre les congères*. LASEN-EPFL, 359 p.
- Catzefflis J., Primault B., Stehler H., 1972. *Analyse de la pluviosité dans le Valais central*. Publications de l'Institut Suisse de Météorologie.
- Chémery L., 2006. *Petit atlas des climats*. Petite Encyclopédie Larousse. 128 p.
- De Buman A.-M., 1994. *Régime de vents et qualité de l'air en Valais*. Thèse de doctorat n°1071 de l'Université de Fribourg. 149 p.
- Dovat J., Steulet J., Kaelin D., Schenker U., Faivre G., Rime J., 2001. *Circulation et qualité de l'air dans le relief alpin*. Rapport de la campagne de terrain des étudiants de la section SSIE de l'EPFL.
- Fallot J.-M., 1992 : *Etude de la ventilation d'une grande vallée préalpine suisse : la vallée de la Sarine en Gruyère*. Thèse N° 995 présentée à la Faculté des Sciences de l'Université de Fribourg, IGUF, 475 p.
- Fallot J.-M., 1997 : *Analyse des vents mesurés dans la vallée du Rhône en amont de Sion*. Rapport destiné au LASEN-EPFL dans le cadre du projet Alptransit, 37 p.
- Favre R., 1998. *Les Terroirs viticoles de Martigny-Combe*. Rapport pour la Cave G. Besse à Martigny.
- Frei C., Schär C., 1998. *A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations*. *Int J Climatol*, vol 18: p.873-900.
- Fu P., Rich P.M., 1999. *Design and implementation of the solar analyst: an arcview extension for modeling solar radiation at landscape scales*. *Proceedings of the 19th annual ESRI Conference, San Diego, USA*.
- Guisan A., Zimmermann N.E., 2000. *Predictive habitat distribution models in ecology*. *Ecological modelling*, vol 135: p.147-186.
- Gyalistras D., 2003. *Development and validation of high-resolution monthly gridded temperature and precipitation data set for Switzerland (1951-2000)*. *Climate research*, vol. 25: p.55-83.
- Haerberli R., 1971. *Carte des dangers de gel tardifs printanier dans le canton de Vaud*. Cahier n°11 de l'aménagement régional du canton de Vaud.
- Hemisoft, 2000. *Solar Analyst User manual* [www.hemisoft.com]
- Hertig J.-A *Eléments de climatologie pour ingénieurs*. Cours pour les étudiants en génie civil de l'EPFL.
- Hutchinson M.-F., 1995. *Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines*. *Int J Geogr Inf Syst*, vol 9 : p.385-403.
- Meteosuisse et Winterthur Assurances. *Situations météorologiques typiques dans la région des Alpes*. Office fédéral de météorologie et de climatologie.

- Meylan P., 1986. *Régionalisation de données entachées d'erreurs de mesure par kriegeage. Application à la pluviométrie. Hydrologie continentale, vol.I, n°1, 1986, p.25-34.*
- Nicolet M., Morand N., Rochat D., Tschärner Th., 2002. *Qualité de l'air: Etude différentielle de deux vallées alpines. Rapport de la campagne de terrain des étudiants de la section SSIE, EPFL.*
- Office fédéral de la statistique, 1997. *Le climat, Statistiques suisse de l'environnement n°7.*
- Primault B., 1978. *Etude méso-climatique du canton de Vaud Cahier n°14 Aménagement du territoire du canton de Vaud.*
- Pythoud K., 2003. *Etude des terroirs viticoles du canton de Vaud. Rapport de synthèse. 138 p.*
- Queney p., 1974. *Eléments de météorologie. Ecole nationale supérieure de techniques avancées. Masson, Paris.*
- Reynard E. 2005. *Les conditions naturelles et la construction des bisses du Valais.. Institut de Géographie de l'Université de Lausanne.*
- Roten M., 1964. *Recherches microclimatiques sur la vallée du Rhône en Valais. Thèse de l'Université de Fribourg.*
- Roten M., Collet Cl., 1992, *Les vents en Suisse, Université de Fribourg.*
- Ruffieux D., Fallot J.-M., Bonvin J.-M., 1986. *Etude de la pollution atmosphérique dans la vallée du Rhône. Rapport n° 532.100 de l'Institut d'économie et d'aménagements énergétiques de Lausanne.*
- Schmutz C., 2001. *Low frequency climate and precipitation variability in the Alpine region. Thèse de l'institut de Géographie de l'Université de Bern.*
- Schreiber K.-F., 1968. *Les conditions thermiques du canton de Vaud. Cahier n°5 de l'aménagement régional du canton de Vaud*
- Schwarb M., 2000. *The alpine precipitation climate. Evaluation of a high-resolution analysis scheme using comprehensive rain-gauge data. Thèse n° 13911 de l'ETHZ.*
- Swisstopo, 2005. *MNT25, Le modèle numérique du terrain de la Suisse. Office fédéral de la topographie, Bern.*
- Vallat J., 2003. *L'évolution socio-économique de la viticulture valaisanne, le rôle de la pluriactivité et son évolution au XXème siècle, son avenir. Actes du colloque 2003 du Musée du vin du Valais.*
- Z'Graggen L., 2001. *Strahlungsbilanz des Schweiz. Thèse de doctorat n° 14158 de l'ETHZ. 196 p.*
- Zimmermann N.E., Roberts D.W., 2001. *Final report of the MLP climate and biophysical mapping project.*
- Zimmermann N.E., Kienast F., 1999. *Predictive mapping of alpine grasslands in Switzerland: species versus community approach. Journal of Veg. Sci. vol 10: p.469-482.*

12. Annexes

- Annexe 1 : Stations Meteosuisse utilisées dans le projet climatique
- Annexe 2 : Exemple de carte d'altitude
- Annexe 3 : Exemple de carte de pentes
- Annexe 4 : Exemple de carte d'orientations
- Annexe 5 : Exemples de cartes de température moyenne (avril, septembre et année)
- Annexes 6a et 6b : Extrait de la carte de Schreiber et légende originale de la carte
- Annexes 7a – 7e : Exemples de cartes de rayonnement potentiel
- Annexes 8a – 8e : Exemples de cartes de durée d'ensoleillement potentiel
- Annexe 9 : Mesures pluviométriques compilées sur la période 1986 à 2005
- Annexes 10a – 10d : Cartes pluviométriques à l'échelle cantonale
- Annexe 11 : Cartes de circulation des vents en Suisse selon différentes situations météorologiques
- Annexes 12a et 12b : Vitesse et direction des vents en 2006 pour les stations Agrométéo
- Annexes 13a et 13b : Vitesse et direction des vents en 2006 pour les stations Resival
- Annexe 14 : Extraction des données météorologiques du réseau Resival utilisées durant les campagnes de terrain du LPAS (EPFL) et 2001 et 2002
- Annexe 15 : Sélection de graphes de vitesses des vents de stations de mesure en Haut-Valais
- Annexes 16a et 16b : Cartes d'intensité des brises ascendantes et du foehn en Valais
- Annexes 17a et 17b : Exemples de carte d'exposition aux brises ascendantes et au foehn
- Annexes 18a et 18b : Exemples de cartes d'indice climatique printanier et sur l'ensemble de la période végétative.