

CHANGEMENTS CLIMATIQUES

QUEL AVENIR POUR LES DESTINATIONS TOURISTIQUES DES ALPES ET DU JURA VAUDOIS?

Gaëlle Serquet et Martine Rebetez



WSL, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage



Etat de Vaud



Promotion économique - Développement régional



Janvier 2013

MANDANTS

Service de la promotion économique et du commerce (SPECo)
Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL)
Pays-d'Enhaut Région
Yverdon-les-Bains Région (ADNV)
Association pour le développement des activités économiques de la Vallée de Joux (ADAEV)
Aigle Région
Région Nyon

PORTEURS DE PROJETS

Office du Tourisme du Canton de Vaud (OTV)

MEMBRES DU COFIL

Canton

Sandra Mordasini, SPECo

Associations régionales

François Margot, Pays-d'Enhaut Région
Sandrine de Coulon, Région Nyon
Christian Minacci, Aigle Région
Dominique Faesch, Yverdon-les-Bains Région (ADNV)
Philippe Solms, CITAV
Eric Duruz, ADAEV

Offices de Tourisme

Andreas Banholzer, OTV
Florence Wagnier, OTV
Isabelle Pasche, OTV
Cédric Paillard, Vallée de Joux Tourisme
Vasja Zalokar, Nyon Région Tourisme
Nicole Favre, Pays d'Enhaut Tourisme
Pierre-Alain Morard, Leysin Tourisme
Serge Beslin, Villars Tourisme
Myriam Pichard, Diablerets Destination Manager

Conseils et accompagnement :

Claude-Alain Blanc, Consultant indépendant

MANDATAIRE

Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL

AUTEURS

Prof. Dr Martine Rebetez, WSL, martine.rebetez@wsl.ch
Dr Gaëlle Serquet, WSL, gaelle.serquet@wsl.ch

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ POUR LECTEURS PRESSÉS	7
1. INTRODUCTION	15
1.1. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	15
1.2. DESTINATIONS TOURISTIQUES CONCERNÉES	15
1.3. FINANCEMENT	16
1.4. DURÉE DE L'ÉTUDE	16
1.5. RÉSULTATS ATTENDUS	16
1.6. MÉTHODOLOGIE	16
2. CLIMATOLOGIE RÉGIONALE	19
2.1. INTRODUCTION	19
2.2. TEMPÉRATURE	19
2.3. PRÉCIPITATIONS	21
2.3.1. <i>Alpes vaudoises</i>	22
2.3.2. <i>Jura vaudois</i>	25
2.3.3. <i>Comparaison des Alpes et du Jura vaudois avec les autres régions de montagnes suisses</i>	27
2.4. ENSOLEILLEMENT	30
2.5. SYNTHÈSE ET CONSÉQUENCES POUR LE TOURISME	33
3. EVOLUTION PASSÉE ET PROJECTIONS FUTURES DU CLIMAT DES ALPES ET DU JURA VAUDOIS	35
3.1. EVOLUTION PASSÉE DE LA TEMPÉRATURE	35
3.1.1. <i>Printemps</i>	36
3.1.2. <i>Été</i>	38
3.1.3. <i>Automne</i>	41
3.1.4. <i>Hiver</i>	43
3.2. PRÉCIPITATIONS	45
3.3. ENNEIGEMENT ET PRÉCIPITATIONS NEIGEUSES	46
3.4. ENSOLEILLEMENT, BROUILLARD ET VENT	49
3.5. PROJECTIONS FUTURES	49
3.5.1. <i>Température</i>	50
3.5.2. <i>Précipitations</i>	54

3.5.3. <i>Enneigement</i>	56
3.6. SYNTHÈSE	58
4. IMPACTS DE L'ÉVOLUTION DU CLIMAT SUR L'ENVIRONNEMENT	59
4.1. FAUNE ET VÉGÉTATION	59
4.2. LAC DE JOUX	60
4.3. GLACIERS ET PERGÉLISOL	61
4.4. CATASTROPHES NATURELLES	65
4.5. SYNTHÈSE ET CONSÉQUENCES POUR LE TOURISME	67
5. LIENS ENTRE LE CLIMAT, LES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES, LES PRÉVISIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET LA FRÉQUENTATION TOURISTIQUE	68
5.1. ETAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES	68
5.2. CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET FRÉQUENTATION TOURISTIQUE DU JURA VAUDOIS	75
5.2.1. <i>Musées</i>	75
5.2.2. <i>Restaurants</i>	75
5.2.3. <i>Bains thermaux d'Yverdon</i>	75
5.2.4. <i>Zoo de la Garenne</i>	76
5.2.1. <i>Remontées mécaniques</i>	76
5.3. CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET FRÉQUENTATION TOURISTIQUE DES ALPES VAUDOISES	76
5.3.1. <i>Remontées mécaniques</i>	76
5.3.2. <i>Offices du tourisme</i>	77
5.4. SYNTHÈSE	77
6. CONSÉQUENCES ET PERSPECTIVES POUR LE TOURISME EN HIVER	78
6.1. FIABILITÉ DE L'ENNEIGEMENT ET VIABILITÉ DES DOMAINES SKIABLES	78
6.1.1. <i>Précipitations hivernales régionales</i>	80
6.1.2. <i>Qualité de la neige</i>	80
6.1.3. <i>Vent</i>	81
6.1.4. <i>Altitude</i>	82
6.1.5. <i>Rayonnement solaire et orientation</i>	82
6.1.6. <i>Rugosité du sol</i>	83
6.1.7. <i>Déclivité et largeur de la pente</i>	88
6.1.8. <i>Fréquentation</i>	88
6.1.9. <i>Préparation des pistes</i>	88

6.1.10. <i>Enneigement artificiel</i>	89
6.2. MESURES D'ADAPTATION ET D'ATTÉNUATION	93
6.2.1. <i>Enneigement artificiel</i>	94
6.2.2. <i>Entretiens des pistes et gestion de l'enneigement</i>	94
6.2.3. <i>Concentration sur les zones les plus adaptées</i>	94
6.2.4. <i>Flexibilité et bénévolat</i>	95
6.2.5. <i>Intervention sur le paysage</i>	95
6.2.6. <i>Partenariat</i>	96
6.2.7. <i>Subventions pour les remontées mécaniques</i>	97
6.2.8. <i>Activités non liées à la neige en hiver</i>	97
6.2.9. <i>Tourisme 4 saisons</i>	98
6.2.10. <i>Tourisme durable</i>	99
6.2.11. <i>Arrêt du ski</i>	99
6.2.12. <i>Mesures d'atténuation</i>	100
6.3. SYNTHÈSE	100
7. CONSÉQUENCES ET PERSPECTIVES POUR LE TOURISME EN ÉTÉ	102
7.1. RÉORIENTATION DES DESTINATIONS DES TOURISTES LIÉE AU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE	102
7.2. IMPACT DE L'AUGMENTATION DES TEMPÉRATURES ET DES PÉRIODES CANICULAIRES SUR LA FRÉQUENTATION HÔTELIÈRE	103
7.3. IMPACTS DE LA FONTE DU GLACIER DE TSANFLEURON	104
7.4. SYNTHÈSE	105
8. CONSÉQUENCES ET PERSPECTIVES POUR LE TOURISME AU PRINTEMPS ET EN AUTOMNE	107
8.1. DES SAISONS PEU ÉTUDIÉES	107
8.2. ÉVOLUTION POTENTIELLE DE LA PÉRIODE FAVORABLES AUX ACTIVITÉS TOURISTIQUES	107
8.3. SYNTHÈSE	108
9. RECOMMANDATIONS	109
9.1. RECOMMANDATIONS POUR L'HIVER	110
9.1.1. <i>Jura</i>	110
9.1.2. <i>Alpes</i>	114
9.1.3. <i>Alpes et Jura</i>	117
9.2. ÉTÉ	118
9.2.1. <i>Jura</i>	118

9.2.2. <i>Alpes</i>	119
9.3. PRINTEMPS ET AUTOMNE	120
9.3.1. <i>Jura et Alpes</i>	120
9.4. TOUTES LES SAISONS	121
9.4.1. <i>Jura et Alpes</i>	121
9.5. MESURES D'ATTENUATION POUR LE JURA ET LES ALPES	122
LES AUTEURS	124
REMERCIEMENTS	124
BIBLIOGRAPHIE	125
LISTE DES FIGURES	130
LISTE DES TABLES	135

RÉSUMÉ POUR LECTEURS PRESSÉS

Cette étude a pour objectifs de permettre à l'OTV ainsi qu'aux milieux touristiques des Alpes et du Jura vaudois de mieux connaître et prévoir les conséquences des changements climatiques sur le tourisme de ces régions.

Climatologie régionale

Le climat régional, sous nos latitudes, est fortement déterminé par le régime des précipitations. La température différencie également le climat d'une région à l'autre, mais à l'échelle d'un pays comme la Suisse elle varie essentiellement en fonction de l'altitude. L'ensoleillement joue aussi un rôle, bien que secondaire, dans les différences entre les régions. En janvier, pour une température maximale de 5 °C en plaine à 400 m, il fera environ 2 °C à 1000 m. En moyenne, le facteur altitudinal correspond au printemps et en été à -0,68 °C par 100 m d'altitude, en automne à -0,52 °C et en hiver à -0,44 °C. Les Alpes vaudoises ayant peu de secteurs à haute altitude et le Jura vaudois aucun, ils offrent à toute saison des températures relativement douces par rapport aux stations qui ont leurs domaines d'activité à plus haute altitude. Ceci est particulièrement important pour les activités extérieures durant les périodes les plus froides de l'année.

Le régime des précipitations varie fortement d'une année à l'autre et tout au long d'une même année en Suisse. Le régime des précipitations en Suisse dépend premièrement de la région dans laquelle on se trouve. La topographie explique également des différences notamment entre des stations géographiquement proches, même s'il n'existe pas une relation linéaire forte avec l'altitude. Dans les Alpes et le Jura vaudois, le printemps est la saison qui comporte en moyenne le plus grand nombre de jours de précipitations tandis que l'automne est la saison où les précipitations sont les moins fréquentes. Les Alpes et le Jura vaudois sont nettement plus arrosés que le Haut-Valais ou l'Engadine et dans des proportions à peu près identiques aux Préalpes et aux Alpes bernoises avec quelques variations suivant les saisons. En hiver, cela constitue un facteur positif pour le tourisme puisque les Alpes et le Jura vaudois reçoivent des quantités plus importantes de neige si les températures sont assez basses. En revanche, cela a pour conséquence négative un important nombre de jours avec précipitations, ce qui n'est pas favorable à la pratique des activités de plein air. En été, le nombre relativement élevé de jours de précipitations, comparativement à l'Engadine ou au Haut-Valais par exemple, mais aussi par rapport aux régions méditerranéennes, peut également avoir un impact négatif sur la pratique des activités de plein air : en juillet et août, il pleut au moins un moment de la journée, souvent sous forme d'orages en soirée, durant 10 à 14 jours par mois en moyenne dans les Alpes et le Jura vaudois. En revanche, l'approvisionnement en eau est en principe bien assuré, avec environ 1500 mm de précipitations annuelles bien réparties sur toute l'année.

Les heures d'ensoleillement possible pour une région varient en fonction du moment de l'année en Suisse. Dès lors, toutes les régions ont moins d'heures d'ensoleillement en hiver qu'en été, en raison de

l'inclinaison de l'axe de rotation de la terre par rapport au soleil. Les stations de plaine présentent, en hiver, des pourcentages d'ensoleillement plus bas que les stations de montagne en raison du brouillard. En été, c'est l'inverse qui se produit à cause de la nébulosité et des orages plus fréquents en montagne. Par ailleurs, les stations du Jura, des Préalpes, des Alpes vaudoises, bernoises et grisonnes présentent à toutes les saisons un ensoleillement relatif un peu inférieur à celui des stations des Alpes valaisannes et de l'Engadine.

Dans les Alpes et le Jura vaudois, comme ailleurs en Suisse et dans les autres régions de mêmes latitudes, il faut compter avec une grande variabilité du temps d'une année à l'autre, au-delà des moyennes à long terme, quels que soient la saison et le paramètre mesuré. Le temps qu'il fait, effectif à court terme, est largement déterminé par la répartition des pressions et par la provenance de la masse d'air. Les changements peuvent être rapides et importants. On compte d'ailleurs en moyenne tous les trois jours un passage d'un temps ensoleillé à un temps pluvieux ou réciproquement.

Evolution passée et projections futures du climat dans les Alpes et le Jura vaudois

On s'attend à la poursuite de l'augmentation des températures observée en Suisse depuis le milieu des années 1970. Durant les 3 dernières décennies, on a mesuré une augmentation de 0,57 °C par décennie en moyenne annuelle, 0,38 °C par décennie en hiver et 0,86 °C par décennie en été. Par ailleurs, en hiver, l'isotherme 0 °C se situait en moyenne aux environs de 900 m d'altitude à la fin des années 1990. Depuis les années 1960, il était ainsi monté de 300 m. Les résultats des modèles de 2011 pour la Suisse prévoient une augmentation approximative de 1 à 1,5°C pour 2035. On s'attend également à une augmentation particulièrement importante du nombre de jours très chauds en été.

Cette évolution aura pour conséquence une nette augmentation de la durée des conditions « estivales » en montagne avec des possibilités d'extension des activités touristiques de cette saison. Cette augmentation concernera particulièrement les altitudes des stations des Alpes et du Jura vaudois. Les stations les plus proches des importants bassins de population du Moyen-Pays seront particulièrement concernées par les visites d'une clientèle fuyant les périodes de canicules en plaine. Par ailleurs, la saison estivale va continuer à s'allonger, avec des conditions propices aux activités extérieures qui s'étendront de plus en plus souvent au printemps et à l'automne.

On s'attend à la poursuite de la diminution de la part des précipitations neigeuses par rapport au total des précipitations hivernales. Cette diminution est déjà actuellement la plus forte à basse altitude, modérée à altitude moyenne et, pour l'instant, inexistante en hiver à haute altitude. A l'avenir on continuera d'observer une grande variabilité d'une année à l'autre. L'augmentation de la température depuis le milieu des années 1970 a impliqué un décalage de l'enneigement hivernal de 76 à 86 m par décennie. Ce décalage va se poursuivre en relation directe avec l'augmentation effective de la température. Pour l'avenir, on peut considérer que par degré d'augmentation de la température hivernale, la limite moyenne de l'enneigement subira un décalage de 150 à 230 m en altitude. De 1979 à 2008, on a mesuré une diminution de la proportion des précipitations neigeuses hivernales de 6 à 13 % par décennie aux altitudes situées entre 800 et 1100 m et de 4 à 10 % par décennie entre 1100 et 1400 m. Actuellement, aux altitudes comprises entre 800 et 1100 m, quand il y a des précipitations en

hiver, elles tombent sous forme de pluie environ une fois sur deux. Avec une augmentation des températures durant les prochaines décennies, ce sont les altitudes situées entre 1100 et 1400 m qui seront particulièrement touchées, puisqu'elles risquent d'atteindre le seuil d'un jour sur deux de précipitations sous forme de pluie durant les mois de décembre, janvier et février. A toutes les altitudes, la variabilité, d'un mois à l'autre et d'une année à l'autre, est importante et elle le restera au moins autant à l'avenir.

Concernant la variabilité des précipitations, l'évolution générale va dans le sens d'un risque accru à la fois de précipitations intenses et de périodes de sécheresses. Les Alpes et le Jura vaudois ne présentent pas de vulnérabilité spécifique aux sécheresses, comme c'est le cas pour des régions plus sensibles telles que le Haut-Valais, ou le Tessin en hiver. En revanche, la vulnérabilité face aux précipitations intenses concerne au premier chef toutes les régions montagneuses, dont les Alpes vaudoises. Le Jura est moins concerné en raison de sa géologie et de l'absence de pergélisol.

Impact de l'évolution du climat sur l'environnement

Dans les Alpes en général, y compris dans les Alpes vaudoises, dans la région allant du massif des Diablerets jusqu'aux Dents de Morcles et pour toutes les régions en aval de celle-ci, au-dessus d'environ 2500 m, la présence avérée de pergélisol susceptible de fondre constitue une menace supplémentaire de catastrophes naturelles. Cette fonte, conjuguée aux précipitations, peut occasionner des éboulements, glissements de terrain ou laves torrentielles pouvant momentanément mettre à mal certaines activités touristiques ou l'accès à une station.

L'altitude relativement basse du sommet du glacier de Tsanfleuron le place dans une situation très vulnérable face à l'augmentation des températures. Son recul a déjà atteint près de 2000 m depuis le 19^{ème} siècle, se poursuit sans interruption depuis le début des années 1980 et s'est nettement intensifié depuis les années 2000. On s'attend à ce que le recul se poursuive durant les prochaines décennies, mais la vitesse exacte de ce recul et l'échéance de la disparition du glacier restent encore difficiles à prévoir.

Dans le Jura, le gel du lac de Joux ne devrait pas subir de diminution significative durant les 10 à 30 ans à venir, malgré l'augmentation des températures déjà intervenue et celle qui est attendue. En effet, les températures hivernales restent le plus souvent suffisamment basses dans ce type de vallée pour permettre le gel du lac. Durant les hivers secs, il est généralement possible de patiner sur le lac. Par ailleurs, en cas de manque de neige, cette activité peut faire office d'alternative au ski.

Liens entre le climat, les conditions météorologiques, les prévisions météorologiques et la fréquentation touristique

Le climat fait partie des facteurs importants lors du choix d'une destination par les touristes, mais son importance dépend de leur provenance. Les conditions météorologiques au moment du départ font également partie des facteurs de décision. La décision d'annuler un séjour dépend de la période et de la

longueur de celui-ci. Un séjour long, planifié à l'avance durant la haute saison (hiver / été), ne sera généralement pas modifié si les conditions météorologiques sont annoncées mauvaises. Par contre, durant l'intersaison (printemps / automne), cela pourrait davantage être le cas. De plus, les projets de séjours courts et non planifiés risquent d'être annulés également durant la haute saison en cas de mauvais temps et presque assurément durant la basse saison. Les conditions météorologiques sont donc les plus importantes pour les séjours de courtes durées non planifiés à l'avance et qui ont lieu à l'intersaison (printemps ou automne).

Parmi les variables météorologiques qui influencent la fréquentation touristique, l'ensoleillement est le facteur qui a le plus d'impact, sauf en automne où seule la température semble avoir une influence. Durant les autres saisons, un bon ensoleillement favorise les activités de plein air alors qu'en cas de mauvais temps, ce sont les visites à l'intérieur qui sont privilégiées. Le beau temps favorise par contre également la fréquentation des restaurants d'altitude. Par ailleurs, la température joue aussi un rôle dans la fréquentation touristique mais dans une moindre mesure comparée à l'ensoleillement. Les températures élevées favorisent les activités de plein air. Enfin, l'enneigement est plutôt à considérer comme un prérequis. A partir du moment où il est suffisant, d'autres variables auront une influence.

Conséquences et perspectives pour le tourisme en hiver

Une quantité d'enneigement suffisante durant la saison hivernale est ainsi une condition nécessaire à la réussite d'une saison pour la majorité des prestataires touristiques et notamment pour les remontées mécaniques et les centres nordiques. Avec l'augmentation des températures ces dernières années et la diminution de l'enneigement, un enneigement suffisant n'a pas été garanti chaque année aux altitudes les plus basses et risque de l'être de moins en moins dans les années à venir. L'enneigement d'une zone d'activités liées à la neige ne dépend cependant pas uniquement de l'altitude. De nombreux autres facteurs sont à prendre en considérations dont notamment la quantité de précipitations régionales, l'orientation, la rugosité du sol et les possibilités en enneigement artificiel. Les besoins en enneigement seront ensuite liés au type d'activités pratiqué, celle du ski alpin nécessitant le plus de neige.

La tendance étant à la diminution de l'enneigement à basse et moyenne altitude, les stations qui sont fortement dépendantes des sports de glisse ont plusieurs possibilités de s'adapter. L'enneigement artificiel est la mesure d'adaptation la plus répandue dans les domaines skiables des Alpes suisses. Les responsables des remontées mécaniques des Alpes et du Jura vaudois mentionnent plusieurs raisons qui les ont poussés à opter pour l'enneigement mécanique : créer une couche de fond, garantir de la neige aux périodes clés (début de saison, vacances de Noël et de février), garantir de la neige jusqu'à la station ou sur des pistes qui font la jonction avec d'autres parties du domaine, ou encore enneiger des zones de pistes qui manquent régulièrement de neige à cause de la rugosité du sol, de l'orientation ou pour d'autres raisons.

Suivant les moyens financiers à disposition et les besoins en enneigement, les acteurs concernés des Alpes et du Jura vaudois ont privilégié des enneigeurs à basse pression ou à haute pression. Les premiers sont généralement posés sur roulettes et déplaçables sur les pistes en fonction des besoins alors que les seconds sont des lances fixes situées au bord de la piste. L'enneigement artificiel implique cependant

certain aspects négatifs (investissements et coûts supplémentaires, impacts environnementaux). Avec l'augmentation des températures prévues, le nombre de jours potentiels favorables à la production de la neige artificielle diminuera. Le problème se posera essentiellement pour le début de saison car, avec une augmentation de 2 °C (soit approximativement pour 2050), le nombre de jours potentiels de fabrication de l'enneigement artificiel devrait diminuer en novembre d'environ un tiers aux altitudes supérieures à 2000 m et en décembre dans les mêmes proportions entre 1000 et 1500 m.

Conséquences et perspectives pour le tourisme en été

On s'attend à ce que l'augmentation générale des températures et du nombre de journées caniculaires aient notamment pour conséquences une réorientation des destinations des touristes lors des grandes chaleurs (juin – juillet – août). Les destinations les plus prisées devraient ainsi se situer plus au nord et plus en altitude. En effet, on s'attend à ce que les températures caniculaires rendent les abords de la Méditerranée de plus en plus réhivitoires. De nombreuses inconnues demeurent cependant. On ne sait par exemple pas encore quelle sera la capacité d'adaptation des touristes à l'augmentation des températures et de ce fait quels seront les changements dans leur comportement touristique. A l'heure actuelle, en été, ce sont les séjours courts et réservés à la dernière minute qui sont les plus susceptibles de croître lors de températures élevées en plaine, les touristes étant attirés par la fraîcheur des montagnes. Ce phénomène se manifeste particulièrement en juin. La proximité des stations de montagne à un bassin de population joue un rôle important. Les Alpes vaudoises et le Jura vaudois sont dès lors tout particulièrement bénéficiaires de ces séjours en périodes caniculaires.

Par ailleurs, une des conséquences majeures de l'augmentation des températures sur les zones de hautes montagnes est la fonte des glaciers et du pergélisol qui devrait augmenter le nombre d'éboulements et leur ampleur. Au niveau touristique, cela pourrait entraîner d'une part une perte de l'attractivité paysagère et d'autre part, suite à des éboulements de grande ampleur, des dégâts aux infrastructures et potentiellement à l'image des stations.

Conséquences et perspectives pour le tourisme au printemps et en automne

Les saisons de printemps et d'automne sont nettement moins exploitées que les saisons d'hiver et d'été. Certaines stations ne les distinguent pas dans la comptabilité des nuitées et autres statistiques de fréquentation. Les deux périodes les plus difficiles à exploiter sont celles de fin mars à mi-mai/début juin et celle de novembre. La hausse des températures au printemps et en automne va allonger la saison potentiellement favorable aux activités estivales de plein air en montagne. C'est tout particulièrement le cas dans les Alpes et le Jura vaudois qui bénéficient déjà d'un printemps plus précoce et d'un automne plus tardif que les régions alpines d'altitudes plus élevées. Le potentiel de l'automne est d'autant plus important qu'il s'agit de la saison comportant le moins de jours de précipitations. Ceci est cependant à mettre en relation avec le fait qu'à ces saisons l'annulation et la réservation à la dernière minute sont particulièrement liées aux prévisions météorologiques. Il est et sera toujours important de disposer d'un maximum de flexibilité pour répondre à des conditions favorables qui pourront survenir de plus en plus

souvent, aussi en mai et en novembre. En parallèle, des activités alternatives resteront nécessaires pour les périodes et années où les conditions seront défavorables aux activités extérieures.

Recommandations

Les recommandations sont proposées pour trois échéances : court terme (2020 environ), moyen terme (2035 environ) et long terme (2050 environ). L'augmentation moyenne des températures hivernales retenues à ces échéances, par rapport à la période 2000-2010 est de : + ~0,5 °C pour 2020, + ~1 °C pour 2035 et + ~2 °C pour 2050. L'augmentation moyenne des températures estivales retenue pour ces trois échéances, par rapport à la période 2000-2010, est de : + ~0,7 °C pour 2020, + ~1,5 °C pour 2035 et + ~2,3 °C pour 2050. Cependant, plus que l'augmentation moyenne des températures, c'est l'augmentation des extrêmes de température (journées caniculaires) qui pourrait avoir un impact sur la fréquentation touristique. En ce qui concerne les saisons d'automne et de printemps, c'est l'allongement des conditions favorables à la pratique d'activités touristiques extérieures durant ces deux saisons qui est pris en considération.

En hiver, actuellement, lors de précipitations neigeuses ou pluvieuses, il pleut presque une fois sur deux entre 800 et 1100 m, alors qu'entre 1100 et 1400 m, il pleut une fois sur quatre. En 2020, on s'attend à une poursuite du décalage altitudinal observé durant les dernières décennies. Il faut dès lors s'attendre à une grande variabilité de l'enneigement, surtout pour les zones situées au-dessous de 1100 m. A moyen terme (2035), les zones situées vers 1200 m offriront approximativement les conditions actuelles d'enneigement des altitudes proches de 1000 m, les conditions à 1400 m, celles de 1200 m. Enfin, à long terme (2050), les zones situées vers 1400 m devraient connaître approximativement les conditions actuelles des zones situées vers 1000 m. Dès lors, les conditions favorables à la pratique du ski alpin et du ski de fond diminueront proportionnellement dans les Alpes et le Jura vaudois. A court terme (2020), le ski de fond n'est menacé ni dans le Jura ni dans les Alpes. A moyen terme (2035) pour le Jura et à long terme (2050) pour les Alpes, il est recommandé que les tracés des pistes soient modifiés. En ce qui concerne le ski alpin, dans le Jura, les téléskis situés vers 1000 m et au-dessus devraient pouvoir encore bénéficier d'un enneigement suffisant à court terme (2020) certaines années. A moyen terme (2035), une réflexion concernant le maintien ou non du ski doit avoir lieu. Le ski dans les Alpes vaudoises n'est pas menacé à court terme (2020). A moyen terme (2035), les départs en station, surtout les plus bas des Alpes vaudoises, seront toujours plus souvent problématiques. Il sera essentiel de pouvoir offrir une montée dans le domaine sans enneigement. L'enneigement artificiel pourra, dans une certaine mesure, pallier le manque de neige. Cependant, le risque accru de pluie (près d'une fois sur deux lors de précipitations en hiver à 1200 m) et de températures trop élevées devra être pris en considération pour toute nouvelle installation. A long terme (2050), la pratique du ski alpin dans les Alpes vaudoises devrait se concentrer sur les zones les plus en altitude ou qui offrent les meilleures conditions d'enneigement. Concernant l'enneigement artificiel, à 1400 m, il sera confronté aux conditions actuelles d'environ 1000 m. Le risque que la neige fabriquée fonde rapidement suite à des précipitations ou des températures élevées sera grand. Enfin, la pratique des autres activités liées à la neige verra une évolution à peu près identique à celle du ski de fond de chacune des régions. Une grande flexibilité sera nécessaire puisque certaines années pourront offrir un bon enneigement alors que d'autres pas. De plus, afin de

compenser le manque de neige certains hivers, il est recommandé de diversifier l'offre des activités non liées à la neige.

En été, lors de périodes caniculaires, les Alpes et le Jura vaudois ont une carte à jouer grâce à leur proximité aux grands bassins de population de la région lémanique. Les séjours courts et non planifiés à l'avance sont ceux qui sont les plus susceptibles d'être réservés à la dernière minute lors de grande chaleur en plaine. En outre, le lac de Joux offre au Jura un atout supplémentaire pour les vacances à la plage à des températures plus agréables que celles du bord du lac Léman lors de canicules. Par contre, ces deux destinations sont confrontées à de fréquentes précipitations estivales. A l'avenir, dans un climat plus chaud, ceci ne devrait pas changer. Dès lors, il est recommandé de développer ou de continuer à valoriser, d'une part, des offres spéciales qui mettent l'accent sur la fraîcheur des journées et des nuits en altitude et, d'autre part, des activités ainsi que des infrastructures permettant le repos et le bien-être en cas de mauvais temps. En outre, comme on s'attend à ce que les conditions estivales s'étendent au printemps et en automne, ces saisons pourront être davantage exploitées.

Enfin, le tourisme vaudois n'est pas neutre en matière d'émissions de gaz à effet de serre. Le premier moyen de transport utilisé pour se rendre dans les Alpes ou le Jura vaudois est la voiture individuelle. La forte dépendance de ces destinations au tourisme d'excursion les rend d'autant plus concernées. Dès lors, les lignes ferroviaires des Alpes et du Jura vaudois devraient être maintenues et renforcées afin d'augmenter la proportion de visiteurs utilisant le rail par rapport à ceux qui viennent par la route. Ces liaisons devraient être rendues progressivement plus confortables et plus rapides. La deuxième source d'émission de CO₂ liée au tourisme provient des bâtiments. Les efforts d'amélioration dans le domaine du bâti concernent d'autant plus les régions en altitude que la saison de chauffage est plus longue qu'en plaine. Des améliorations dans les domaines de l'isolation et des systèmes de chauffage devraient continuer à être encouragées par le canton et les communes. Il s'agirait également d'exploiter davantage l'énergie solaire, puisque la quantité de soleil disponible dans les Alpes et le Jura vaudois y est plus importante qu'en plaine, surtout en hiver. Ainsi, la pose de panneaux solaires, thermiques ou photovoltaïques ainsi qu'une architecture bénéficiant du solaire passif sont particulièrement rentables.

ALPES VAUDOISES

		Hiver		Eté	
		Atouts	Faiblesses	Atouts	Faiblesses
Climatique	Géographique		Augmentation des températures	Augmentation des températures	
			Diminution de l'enneigement	Augmentation des périodes caniculaires	Augmentation des précipitations extrêmes
Socio-éco.		Premiers reliefs à l'ouest			Premiers reliefs à l'ouest
		Moyenne altitude	Moyenne altitude	Moyenne altitude	Moyenne altitude
		Peu de pierriers			Peu de hautes montagnes
			Fonte du glacier de Tsanfleuron		Fonte du glacier de Tsanfleuron
		Proximité		Proximité	
	Départ de la station indépendant de l'enneigement			Télécabines / trains	

JURA VAUDOIS

		Hiver		Eté	
		Atouts	Faiblesses	Atouts	Faiblesses
Climatique	Géographique		Augmentation des températures	Augmentation des températures	
			Diminution de l'enneigement	Augmentation des périodes caniculaires	
Socio-éco.		Premiers reliefs à l'ouest			Premiers reliefs à l'ouest
		Moyenne altitude	Moyenne altitude	Moyenne altitude	Moyenne altitude
		Peu de pierriers		Peu de zones favorables aux catastrophes naturelles	Peu de hautes montagnes
		Proximité		Proximité	

1. INTRODUCTION

1.1. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'étude « *Changements climatiques : quel avenir pour les destinations touristiques des Alpes et du Jura vaudois?* » vise les objectifs suivants :

1. Permettre à l'OTV ainsi qu'aux milieux touristiques des Alpes et du Jura vaudois de mieux connaître et prévoir les conséquences des changements climatiques sur le tourisme de ces régions.
2. Proposer des orientations permettant aux professionnels du tourisme des Alpes et du Jura vaudois de mettre en place des mesures d'atténuation et d'adaptation concrètes à court, moyen et long terme.

1.2. DESTINATIONS TOURISTIQUES CONCERNÉES

Destinations VD	Altitude min	Altitude max
Château-d'Oex	958	1630
Rougemont	992	2151
Les Mosses-Lécherette	1450	1870
Les Diablerets	1158	2110
Villars-Gryon	1200	2120
Leysin	1250	2000
Saint-Cergue	1044	1677
Ste-Croix/Les Rasses	1200	1583
Vallée de Joux	1000	1679

1.3. FINANCEMENT

Cette étude est cofinancée par le WSL – SLF, par le Canton de Vaud (SPECo) et par les associations régionales de développement économique concernées.

1.4. DURÉE DE L'ÉTUDE

Cette étude a débuté en juin 2009 et s'est terminée fin mai 2012. L'essentiel de la recherche a été faite entre l'été 2009 et l'été 2011.

1.5. RÉSULTATS ATTENDUS

1. Liste des événements climatiques extrêmes survenus ces dernières années.
2. Synthèse des résultats des études et rapports existants sur l'évolution du tourisme en fonction des changements climatiques.
3. Analyse de l'impact du changement climatique sur les destinations des Alpes et du Jura vaudois en fonction de variables touristiques avec indicateurs existants sélectionnés et fournis par les professionnels du tourisme.
4. Sur la base des résultats, identification des opportunités et des menaces liées au changement climatique.
5. Propositions d'orientations (scénarios) pour le développement de l'offre ou du type de marketing.

1.6. MÉTHODOLOGIE

Une recherche documentaire a été effectuée afin de synthétiser les connaissances actuelles concernant l'impact du changement climatique sur le tourisme. Des données météorologiques provenant de MeteoSuisse et du WSL-SLF ainsi que des données touristiques provenant de l'Office fédéral de la statistique (fréquentation hôtelière) et de différents prestataires touristiques des Alpes et du Jura vaudois (remontées mécaniques, musées, offices du tourisme, bains thermaux, restaurants, zoo) ont été analysées.

Une matrice de variables touristiques nous a été fournie par l'OTV (table 1.6.1). Nous avons fait valider cette matrice auprès des responsables des offices du tourisme lors d'entretiens semi-directifs. La table 1.6.1 met en évidence les données que nous avons sélectionnées pour leur pertinence (orange et rouge)

et celles que nous avons obtenues (rouge). Il est à noter que certaines données n’ont pu être obtenues que pour l’une des deux régions d’étude malgré plus de 70 appels téléphoniques auprès de prestataires touristiques. Trois raisons principales en sont la cause : données non disponibles, refus de transmettre ces données faute de temps ou encore refus de transmettre ces données pour des raisons de confidentialité. Par ailleurs, afin de garantir l’anonymat et une meilleure fiabilité des données, 3 jeux de données par catégorie étaient requis. Pour plusieurs catégories, il nous a cependant été impossible de les obtenir. De plus, même lorsque nous avons pu obtenir le nombre de jeux requis, la plupart de ceux-ci manque de données certains mois. Dès lors, ne pouvant garantir la fiabilité des données, les résultats obtenus sont à utiliser avec prudence. Nous ne présentons ainsi ici que des tendances générales.

Offre touristique		Indicateurs de suivi	Problèmes rencontrés
Hébergement			
	Hôtel	Nuitées OFS	Seulement Alpes et données mensuelles
	Appt + chalet de location	Taxes de séjour (?), CA?	
	Camping	Taxes de séjour (?), CA?	
	Logement en altitude (cabane, etc.)	Taxes de séjour (?), CA?	
Gastronomie + Nightlife			
	Buvette d'alpage	Chiffre d'affaires (CA) global	Impossible d'obtenir un nombre suffisant de données
	Restaurant d'altitude	CA boissons	Seulement Jura - Mélange altitude et station
	Restaurant en station	CA couverts (alimentation)	Seulement Jura - Mélange altitude et station
	Discothèque	Nbre d'entrées	
	Bar	CA boissons	
Shopping + services			
	Matériel de sport	CA location matériel	Impossible d'obtenir un nombre suffisant de données
	Produits de luxe	CA magasin de luxe	
	Produits du terroir	CA épicerie/maison des terroirs (?)	
	Service météo de l'Office de tourisme	Stat. de fréquentation lien météo (clics internet)	
Transport			
	Entreprise de remontées mécaniques	Nbre d'abonnements journaliers	
	Train à crémaillère	Nbre d'abonnements journaliers	Données inexistantes
	Car postal	CA entreprises de transport	Données inexistantes
		Nbre d'abonnements	
Loisirs Outdoor			
	Ski, snowboard	Nbre d'abonnements journaliers	Compris dans les données des remontées mécaniques
	Ecole de sport de neige	Nbre de cours de sport de neige	
	Ski, snowboard sur glacier	Nbre d'abonnements journaliers	Compris dans les données des remontées mécaniques
	Golf	Nbre d'abonnements journaliers	
	Rafting/canyoning	Nbre de descente	
	Ski de fond	Nbre d'abonnements journaliers	Données inexistantes
	Tennis	Nbre d'abonnements journaliers	
Loisirs Indoor			
	Musée	Nbre d'entrées	Seulement Jura - 3 en haut, 3 en bas
	Piscine	Nbre d'entrées	Impossible d'obtenir un nombre suffisant de données
	Parc d'attraction (karting, bowling, etc.)	Nbre d'entrées	
	Centre sportif (+ patinoire)	Nbre d'entrées	Impossible d'obtenir un nombre suffisant de données
	Zoo	Nbre d'entrées	Seulement Jura - 1 seul zoo
	Centre wellness (spa, bains thermaux)	Nbre d'entrées	Seulement Jura - 1 seul centre wellness
	Fitness	Nbre d'entrées	
	Bibliothèque	Nbre de livres	
	Ludothèque	Nbre de jouets	
Événementiel			
	Festival	Nbre d'entrées	
	Manifestation sportive	Nbre d'entrées/NB années annulées	Pas de données pertinentes
Affaires + formation			
	Séminaire	Nbre de séminaires (+ participants?)	
	Incentive	CA location salles de séminaires	
		Nbre d'incentives (+participants?)	
Recherche d'information sur la région			
	Offices du tourisme	Nb de visites	Seulement Alpes

Table 1.6.1 : Matrice des variables touristiques. En orange, les variables retenues, en rouge les variables dont les données ont pu être obtenues.

Nous avons aussi rencontré certaines limites lors de la collecte des données météorologiques. En effet, les stations de MétéoSuisse ne couvrent pas de manière homogène tout le territoire helvétique. Ainsi, pour les Alpes vaudoises, la station qui présente les données les plus complètes et les plus anciennes est

celle de Château-d'Oex. Nous avons donc utilisé les données de cette station et, en fonction des variables et des années dont nous avons besoin, d'autres stations complémentaires (Col des Mosses, Gryon, Les Diablerets, Les Plans-sur-Bex ou Leysin). Pour le Jura vaudois, les stations de Bullet / La Frétaz, L'Auberson, Les Bioux, Les Charbonnières, La Cure et la Dôle ne présentent, soit que des données pluviométriques, soit pas de séries complètes sur au moins 30 ans pour les variables dont nous avons besoin. Pour les températures notamment, nous avons dû recourir à celles de Chaumont qui se situe dans le Jura neuchâtelois.

En complément aux données des stations localisées sur le terrain d'étude proprement dit, nous avons également exploité, pour certaines recherches, les données des stations de MétéoSuisse et du WSL-SLF situées sur l'ensemble de la Suisse (dont notamment Adelboden, Davos, Jaun, Montana, Poschiavo / Robbia et Zermatt) à titre de comparaison.

Des entretiens semi-directifs auprès des pisteurs, des responsables techniques, des responsables administratifs et/ou des directeurs des remontées mécaniques et/ou des centres nordiques des Alpes et du Jura vaudois ont été menés afin d'obtenir des données quantitatives de fréquentations et des renseignements sur les facteurs d'enneigement des pistes. Au total, nous avons effectué des entretiens auprès de 34 personnes. Dans le but d'obtenir des renseignements concernant le lac de Joux, nous avons également eu des contacts téléphoniques avec les gardes du lac.

La liste des catastrophes naturelles survenues dans le Canton de Vaud, a été obtenue auprès de la section des dangers naturels du Canton de Vaud. Celle-ci n'est pas exhaustive et ne distingue pas l'ampleur des catastrophes.

2. CLIMATOLOGIE RÉGIONALE

2.1. INTRODUCTION

Le climat régional, sous nos latitudes, est fortement déterminé par le régime des précipitations. La température différencie également le climat d'une région à l'autre, mais à l'échelle d'un pays comme la Suisse elle varie essentiellement en fonction de l'altitude. L'ensoleillement joue aussi un rôle, bien que secondaire, dans les différences entre les régions. Nous présentons ici une comparaison des précipitations et de l'ensoleillement pour quelques stations de MétéoSuisse représentantes des régions de montagnes suisses ainsi que les différences de températures en fonction de l'altitude.

2.2. TEMPÉRATURE

Le premier facteur qui influence les écarts de température entre deux lieux en Suisse est l'altitude. Indépendamment de ce facteur, la topographie joue également un rôle, surtout pour les différences de températures minimales et plus particulièrement durant les mois les plus froids. Le facteur régional n'explique que partiellement, et bien après les deux autres facteurs, les écarts de température d'une région à l'autre, à l'exception du sud des Alpes qui affiche toujours des températures plus élevées que ce que l'altitude des sites observés laisserait attendre. Il importe donc peu de comparer les températures des différentes stations météorologiques en fonction de la région. Par contre, la diminution de la température par 100 m d'altitude est intéressante (table 2.2.1) pour comparer les différentes stations touristiques des montagnes suisses.

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T_{\min} °C/100 m	-0.47	-0.52	-0.55	-0.55	-0.52	-0.53	-0.51	-0.49	-0.47	-0.44	-0.47	-0.47
T_{\max} °C/100 m	-0.42	-0.51	-0.63	-0.70	-0.71	-0.69	-0.68	-0.66	-0.61	-0.51	-0.45	-0.40

Table 2.2.1 : Différences de températures [°C] minimales et maximales pour une augmentation de 100 m en altitude. Moyennes des valeurs pour la période 1901-1993 (d'après Baeriswyl et al., 1997: 18).

En janvier, pour une température maximale de 5 °C en plaine à 400 m, il fera environ 2 °C à 1000 m (table 2.2.2). En moyenne, le facteur altitudinal correspond au printemps et en été à -0,68 °C par 100 m d'altitude, en automne à -0,52 °C et en hiver à -0,44 °C.

	400	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Printemps	10	6	3	-1	-4	-8	-11
	15	11	8	4	1	-3	-6
Été	20	16	13	9	6	2	-1
	30	26	23	19	16	12	9
Automne	15	12	9	7	4	1	-1
	10	7	4	2	-1	-4	-6
Hiver	5	2	0	-2	-4	-6	-9
	0	-3	-5	-7	-9	-11	-14

Table 2.2.2 : Températures [°C] minimales et maximales pour différentes altitudes [m] pour le printemps (mars – avril – mai), l'été (juin – juillet – août), l'automne (septembre – octobre – novembre) et l'hiver (décembre – janvier – février). Moyennes des valeurs pour la période 1901-1993.

Les Alpes vaudoises ayant peu de secteurs à haute altitude et le Jura vaudois aucun, ils offrent à toute saison des températures relativement douces par rapport aux stations qui ont leurs domaines d'activité à plus haute altitude. Ceci est particulièrement important pour les activités extérieures durant les périodes les plus froides de l'année.

Lorsque l'on souhaite comparer différents climats favorables à la pratique des activités touristiques en plein air, on utilise généralement des indicateurs qui reflètent la température ressentie par l'être humain. Plusieurs indicateurs ont été développés, le plus courant étant la température mesurée ressentie qui intègre le vent (table 2.2.3).

Vitesses du vent [km/h]	Quoi regarder dans l'estimation de la vitesse du vent	Température mesurée ressentie [°C]									
		0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
0		0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
10	On sent le vent sur son visage; les girouettes commencent à tourner.	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51	-57
20	Les petits drapeaux flottent.	-5	-12	-18	-24	-30	-37	-43	-49	-56	-62
30	Les débris de papier sont soulevés; les grands drapeaux claquent au vent et les petites branches des arbres bougent.	-6	-13	-20	-26	-33	-39	-45	-52	-59	-65
40	Les petits arbres commencent à osciller et les grands drapeaux sont déployés et claquent fortement au vent.	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-54	-61	-68
50	Les grosses branches des arbres bougent; on entend siffler les lignes électriques et on peut difficilement tenir un parapluie.	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63	-69
60	Les arbres penchent et il est difficile de marcher contre le vent.	-9	-16	-23	-30	-36	-43	-50	-57	-64	-71

Table 2.2.3 : Indice et estimation du refroidissement éolien (Environnement-Canada, 2010)

2.3. PRÉCIPITATIONS

Le régime des précipitations varie fortement d’une année à l’autre et tout au long d’une même année en Suisse. Les valeurs présentées dans les figures 2.3.2, respectivement 2.3.3 et 2.3.4 mettent en évidence les spécificités de quelques stations de MétéoSuisse des Alpes vaudoises, respectivement du Jura vaudois et d’autres régions de montagnes suisses.

Le premier facteur explicatif des différences de régime de précipitations en Suisse est la région (figure 2.3.1). La topographie explique également des différences notamment entre des stations géographiquement proches, même s’il n’existe pas une relation linéaire forte avec l’altitude. Les Alpes constituent une barrière pour les précipitations. Les différences entre les régions situées de part et d’autre des Alpes sont ainsi importantes. Les versants nord et sud des Alpes ainsi que le Tessin sont les régions les plus fortement arrosées alors que les vallées du Rhône en Valais, du Rhin et de l’Engadine aux Grisons sont celles qui le sont le plus faiblement (Baeriswyl et al., 1997).

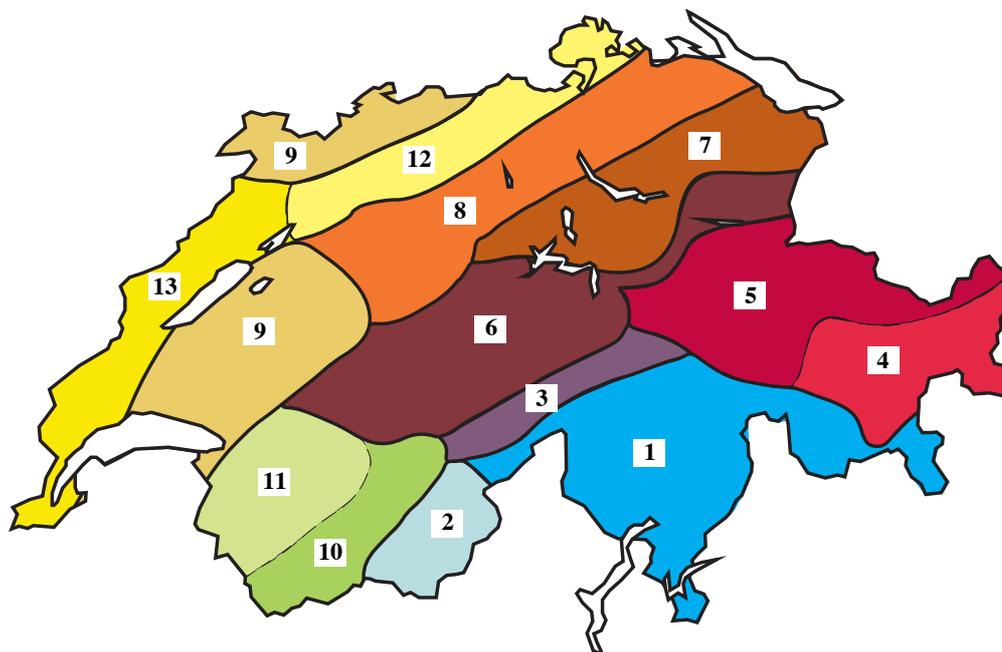


Figure 2.3.1 : Limites des 13 régions de Suisse définies pour les précipitations par Baeriswyl et Rebetez (1997)

Le nombre de jours de précipitations est une variable intéressante car elle est moins sensible aux cas de précipitations fortes que les précipitations totales et elle représente souvent mieux la perception humaine de la fréquence des précipitations en lien avec les activités en plein air. Les figures 2.3.2, 2.3.3 et 2.3.4 présentent également cette variable. Il faut au minimum 1 mm d'eau (ou 1 litre par m²) pour qu'une journée soit considérée comme un jour de précipitations.

2.3.1. Alpes vaudoises

A chaque saison, toutes les stations météorologiques de MétéoSuisse des Alpes vaudoises affichent un nombre équivalent de jours de précipitations. Les différences en quantité peuvent être en grande partie attribuées à l'altitude et à l'orientation. Dans le cas de la station du Col des Mosses, les valeurs particulièrement élevées de novembre et des mois d'hiver sont probablement dues au vent qui, en déplaçant la neige, en ajoute dans le pluviomètre. Les quantités de précipitations y sont ainsi probablement supérieures à la réalité. Pour cette raison, nous n'avons pas tenu compte des moyennes hivernales, automnales et annuelles de cette station dans la description des quantités de précipitations des Alpes vaudoises.

Au printemps (mars – avril – mai), il tombe en moyenne entre 316 et 404 mm de précipitations. En nombre de jours de précipitations, cela correspond à 38 à 40 jours sur 92.

C'est durant les mois d'été (juin – juillet – août) que les précipitations sont les plus abondantes dans les Alpes vaudoises. Durant cette saison, il tombe en moyenne entre 395 et 491 mm. Par contre, cela correspond au nombre de jours du printemps soit 37 à 40 jours sur 92.

L'automne (septembre – octobre – novembre) est la saison qui a le moins de jours de précipitations soit entre 28 et 29 jours sur 91. La moyenne de la somme des précipitations est, quant à elle, comprise entre 301 et 359 mm, correspondant en moyenne à la saison la plus sèche.

En hiver (décembre – janvier – février), il tombe en moyenne entre 318 et 432 mm de précipitations répartis sur 34 jours environ.

Au total annuel, il tombe en moyenne entre 1366 et 1644 mm répartis sur environ 140 jours.

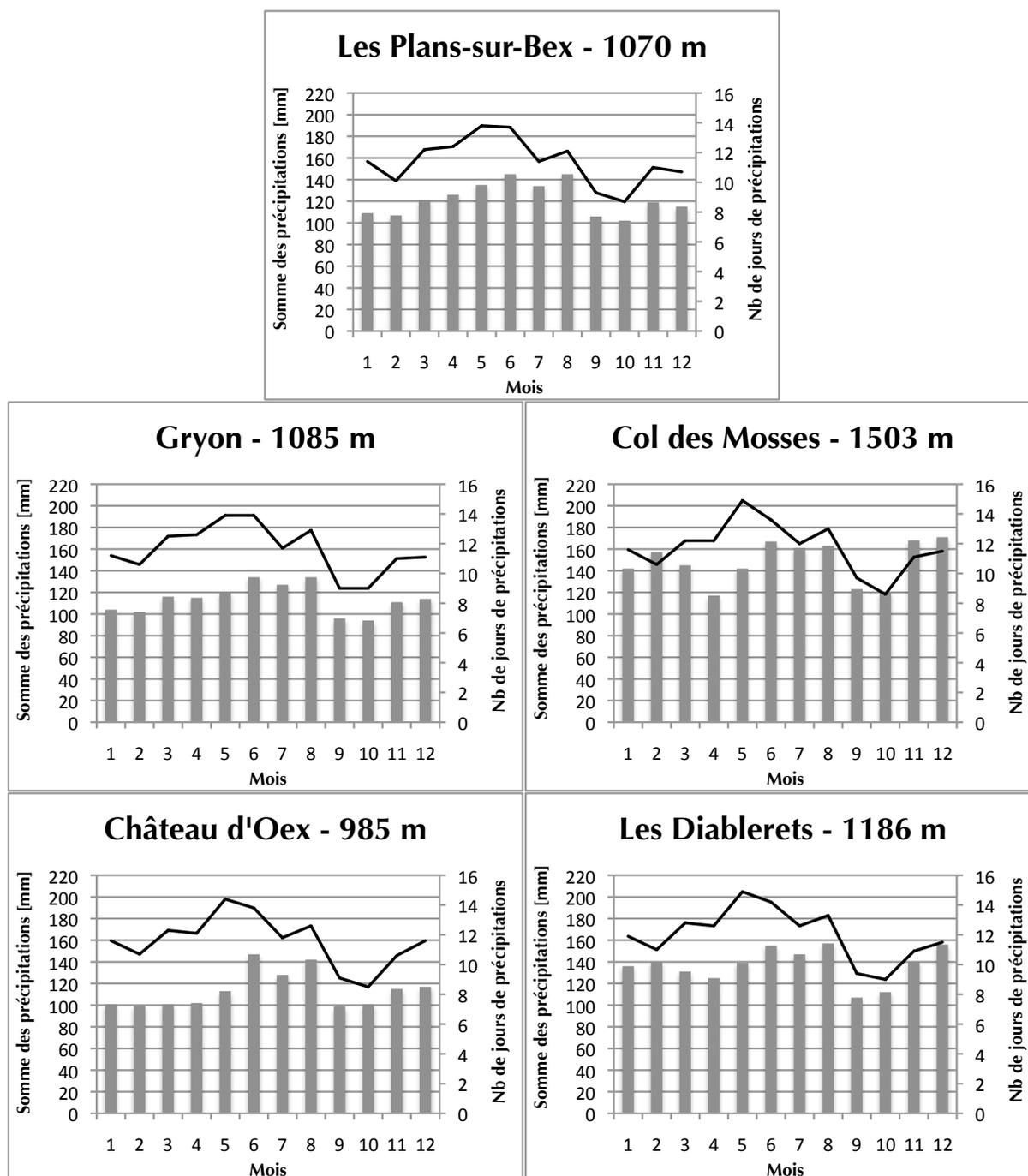


Figure 2.3.2 : Moyenne des précipitations de différentes stations MétéoSuisse des Alpes vaudoises pour la période de référence 1961-1990. Les barres grises représentent la somme des précipitations [mm] et le trait noir le nombre de jours de précipitations.

2.3.2. Jura vaudois

Les stations météorologiques de MétéoSuisse du Jura vaudois sont arrosées de manière assez homogène sauf à Bullet / La Frétaz et à la Dôle. La première, qui est la station la plus au nord-est du Jura vaudois, présente des précipitations nettement moins abondantes que les cinq autres. Elle s'apparente ainsi plus aux stations du Jura neuchâtelois (p. ex. Chaumont) ou du Jura Bernois. Toutes les valeurs minimales présentées ci-dessous sont celles de Bullet / La Frétaz. La Dôle, quant à elle, présente une quantité de précipitations particulièrement élevée en hiver certainement liée au vent qui, en déplaçant la neige, en ajoute dans le pluviomètre. Les quantités de précipitations durant cette saison sont ainsi probablement supérieures à la réalité. Nous n'avons dès lors pas tenu compte des moyennes hivernales et annuelles de cette station dans la description des quantités de précipitations du Jura vaudois.

Le Jura vaudois reçoit au printemps (mars – avril – mai) entre 298 et 452 mm de précipitations. En nombre de jours, cette région est arrosée entre 38 et 45 jours sur 92. C'est la saison avec le plus grand nombre de jours de précipitations, le mois de mai étant le mois le plus arrosé avec des précipitations presque un jour sur deux.

En été (juin – juillet – août), il tombe entre 333 et 432 mm de précipitations répartis sur environ 34 à 38 jours.

L'automne (septembre – octobre – novembre) est la saison qui a le moins de jours de précipitations : entre 29 et 34 sur les 91 que compte la saison. Par contre, avec une moyenne comprise entre 317 et 470 mm, cette saison ressemble au printemps et à l'été en termes de quantité.

En hiver (décembre – janvier – février), il tombe entre 328 et 522 mm avec une moyenne à 452 mm. En nombre de jour, cela correspond à 35 à 41 jours de précipitations.

Durant toute l'année, il tombe entre 1274 et 1859 mm de précipitations sur le Jura vaudois. Sur les 365 jours d'une année, entre 136 et 158 jours reçoivent des précipitations.

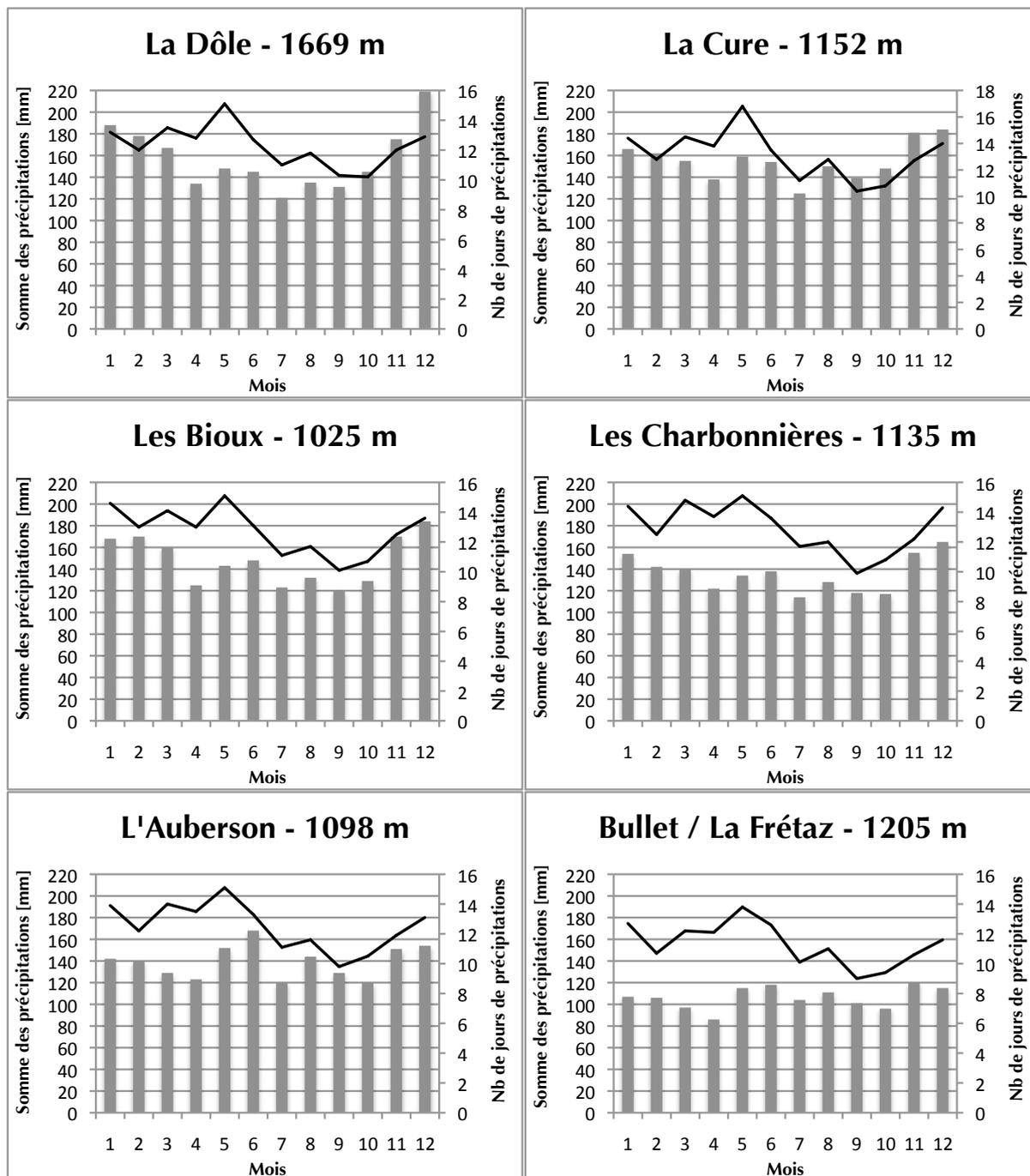


Figure 2.3.3 : Moyenne des précipitations de différentes stations MétéoSuisse du Jura vaudois pour la période de référence 1961-1990. Les barres grises représentent la somme des précipitations [mm] et le trait noir le nombre de jours de précipitations.

2.3.3. Comparaison des Alpes et du Jura vaudois avec les autres régions de montagnes suisses

Au printemps, en automne et en hiver, les Alpes vaudoises reçoivent moins de précipitations que le Jura vaudois. En été, c'est l'inverse qui se produit. Ceci se confirme si l'on compare le nombre de jours avec précipitations. En moyenne, le Jura vaudois est durant ces trois saisons arrosé entre 3 et 6 jours de plus, alors qu'en été c'est l'inverse qui se produit (3 jours de plus dans les Alpes vaudoises). Cette situation est due à l'altitude des reliefs alpins, davantage susceptibles de provoquer des orages estivaux que le relief jurassien.

La station de Jaun (figure 2.3.4) dans les Préalpes fribourgeoises reçoit au total annuel plus de précipitations (1717 mm) que les Alpes vaudoises (entre 1366 et 1644 mm) mais dans les mêmes proportions que le Jura vaudois (entre 1274 et 1859 mm). En été, cette station est bien plus arrosée (524 mm) que celles des Alpes ou du Jura vaudois. En ce qui concerne le nombre de jours de précipitations, il y pleut à chaque saison entre 1 et 6 jours de plus que dans les Alpes vaudoises. Par rapport au Jura vaudois, c'est seulement en été qu'il y pleut plus souvent (+ 3 à 5 jours). Les autres mois sont comparables.

Les quantités de précipitations tombant dans les Alpes vaudoises correspondent assez bien à celles des Alpes bernoises représentées ici par la station d'Adelboden (figure 2.3.4), même si cette dernière reçoit légèrement moins de précipitations durant les saisons d'automne et d'hiver (281 et 293 mm). En nombre de jours, c'est en été que l'on remarque une faible différence avec une moyenne de 44 jours à Adelboden alors que les Alpes vaudoises se situent entre 37 et 40. Durant les autres saisons, le nombre de jours de précipitations est équivalent. Par rapport à Adelboden, le Jura vaudois reçoit, quant à lui, plus de précipitations en automne et en hiver et moins en été. En nombre de jours, cela se remarque surtout en hiver, avec 1 à 7 jours de plus de précipitations sur le Jura vaudois et, en été, avec 6 à 10 jours de moins.

Le Valais central, représenté par les stations de Montana et de Zermatt (figure 2.3.4), présente des précipitations bien inférieures à celles que l'on trouve dans les Alpes et le Jura vaudois ou dans le reste de la Suisse. En effet, à toutes les saisons, il tombe plus de deux fois plus de précipitations dans les Alpes vaudoises et dans le Jura vaudois qu'à Zermatt. La différence avec Montana n'est pas aussi extrême mais est tout de même de l'ordre d'une fois et demie de précipitations supplémentaires sur les Alpes et le Jura vaudois, sauf en hiver où l'écart est un peu moins important. Cette forte différence du régime des précipitations se ressent aussi en nombre de jours : à Zermatt, en hiver, on mesure entre 12 et 14 jours de précipitations de moins que dans les Alpes vaudoises et entre 15 et 21 jours de moins que dans le Jura vaudois. A Montana, il y a entre 3 et 5 jours de précipitations de moins que dans les Alpes vaudoises et entre 6 et 12 jours de précipitations de moins que dans le Jura vaudois. La différence est également importante durant les autres saisons : à Zermatt (et à Montana), il pleut, au printemps, de 14 à 16 jours de moins (11 à 13) que dans les Alpes vaudoises et de 14 à 21 jours de moins (9 à 16) que dans le Jura vaudois; en été, de 10 à 13 jours de moins (7 à 10) que dans les Alpes vaudoises et de 7 à 11 jours de moins (4 à 8) que dans le Jura vaudois; en automne, de 7 à 8 jours de moins (5 à 6) que dans les Alpes vaudoises et de 8 à 13 jours de moins (6 à 11) que dans le Jura vaudois. C'est en été que les

précipitations sont les plus abondantes à Zermatt (163 mm) et en hiver à Montana (331 mm). Avec 611 mm de précipitations totales annuelles réparties sur 92 jours durant toute l'année, la région de Zermatt est une des régions les moins arrosées du pays. Montana est également peu arrosée mais dans des proportions moins importantes (982 mm répartis sur 111 jours).

Davos, dans les Grisons, et Poschiavo / Robbia, au sud des Alpes grisonnes, reçoivent également des précipitations moins importantes que les Alpes et le Jura vaudois. La différence avec Davos est fortement marquée : entre une fois et demie et deux fois moins de précipitations à Davos à toutes les saisons sauf en été, saison durant laquelle les précipitations sont comparables à celles du Jura vaudois et à peine inférieures à celles des Alpes vaudoises. Ceci se remarque également en nombre de jours : seul l'été a un nombre de jours de pluie supérieur à Davos que dans les Alpes et le Jura vaudois. A Poschiavo / Robbia, la quantité ainsi que le nombre de jours de précipitations sont, à toutes les saisons, inférieurs à ceux des Alpes et du Jura vaudois. Comme ailleurs au sud des Alpes, l'hiver est la saison la plus sèche dans cette station (157 mm répartis sur 18 jours) et l'été la plus humide (312 mm répartis sur 32 jours).

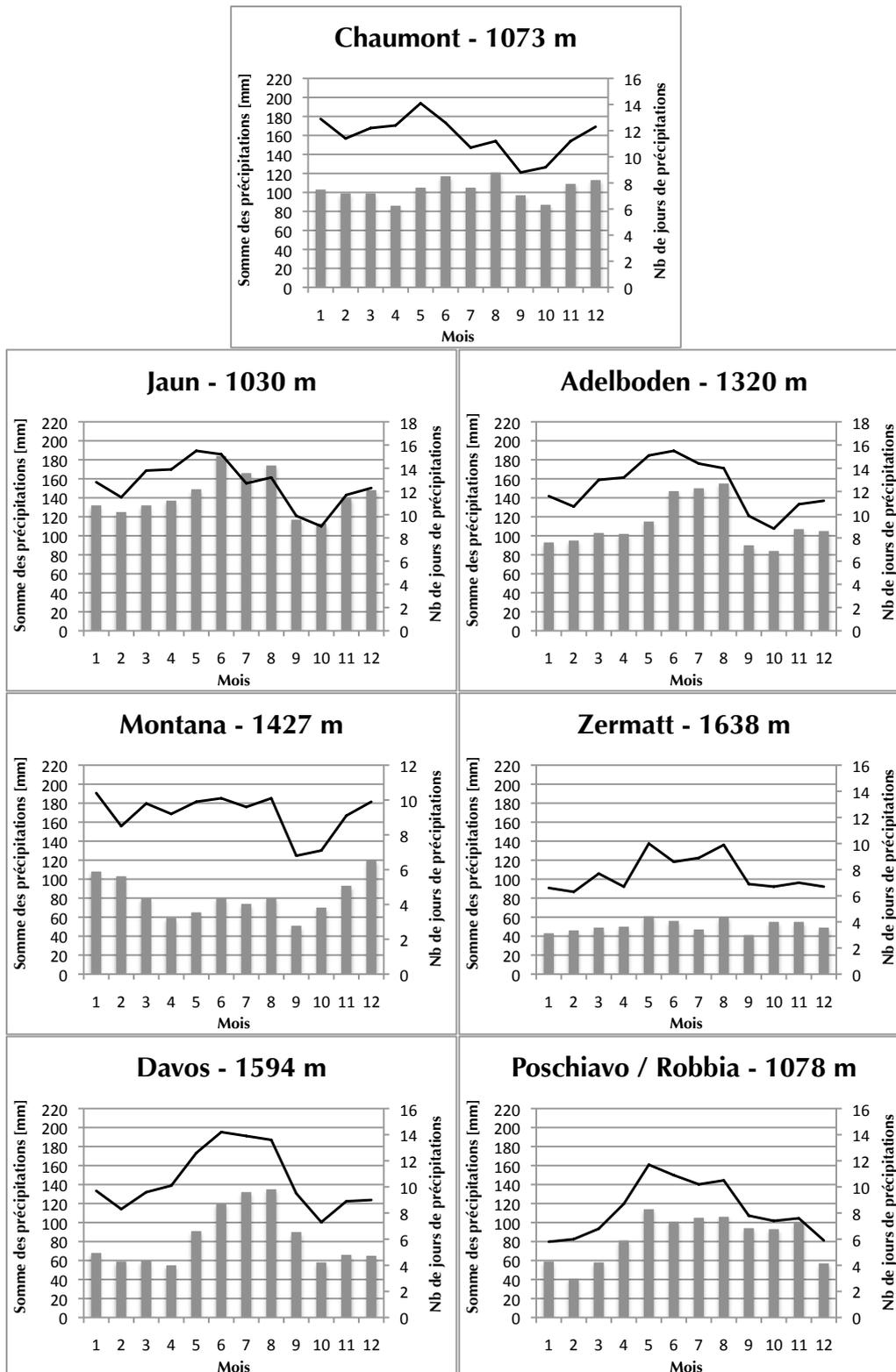


Figure 2.3.4 : Moyenne des précipitations de quelques stations MétéoSuisse des montagnes suisses pour la période de référence 1961-1990. Les barres grises représentent la somme des précipitations [mm] et le trait noir le nombre de jours de précipitations.

2.4. ENSOLEILLEMENT

Les figures 2.4.1 et 2.4.2 présentent les heures d'ensoleillement absolu et l'ensoleillement relatif de quelques stations de MétéoSuisse des Alpes¹ et du Jura vaudois, de la région lémanique et d'autres régions des montagnes suisses².

Les heures d'ensoleillement possible pour une région varient en fonction du moment de l'année en Suisse. Dès lors, toutes les régions ont moins d'heures d'ensoleillement en hiver qu'en été, en raison de l'inclinaison de l'axe de rotation de la terre par rapport au soleil.

Afin de comparer plusieurs stations météorologiques entre elles mais également les différents mois, les valeurs relatives d'ensoleillement sont plus intéressantes que les heures absolues puisqu'elles indiquent le pourcentage d'ensoleillement effectif par rapport à l'ensoleillement maximal potentiel pour chaque mois. Un mois de décembre peut ainsi présenter des valeurs d'ensoleillement relatif plus importantes qu'un mois de juillet, alors que le nombre d'heures y est inférieur.

On remarque que les stations de plaine, qui ne se trouvent pas dans les régions alpines, présentent, en hiver, des pourcentages d'ensoleillement plus bas que les stations de montagne en raison du brouillard. En été, c'est l'inverse qui se produit à cause de la nébulosité et des orages plus fréquents en montagne.

Par ailleurs, les stations du Jura, des Préalpes, des Alpes vaudoises, bernoises et grisonnes présentent à toutes les saisons un ensoleillement relatif un peu inférieur à celui des stations des Alpes valaisannes et de l'Engadine.

¹ Il n'existe aucune station de mesures de l'ensoleillement de MétéoSuisse en altitude dans les Alpes vaudoises, c'est pourquoi nous présentons uniquement les valeurs de la station d'Aigle, qui se trouve en plaine. Les valeurs d'ensoleillement en altitude sont proches de celles de la station d'Adelboden.

² Nous n'avons pas pu prendre les mêmes stations de mesures que pour les précipitations puisque la plupart ne présentent pas des données d'ensoleillement ou inversement offrent des données de précipitations peu fiables (Chasseral et Le Moléson).

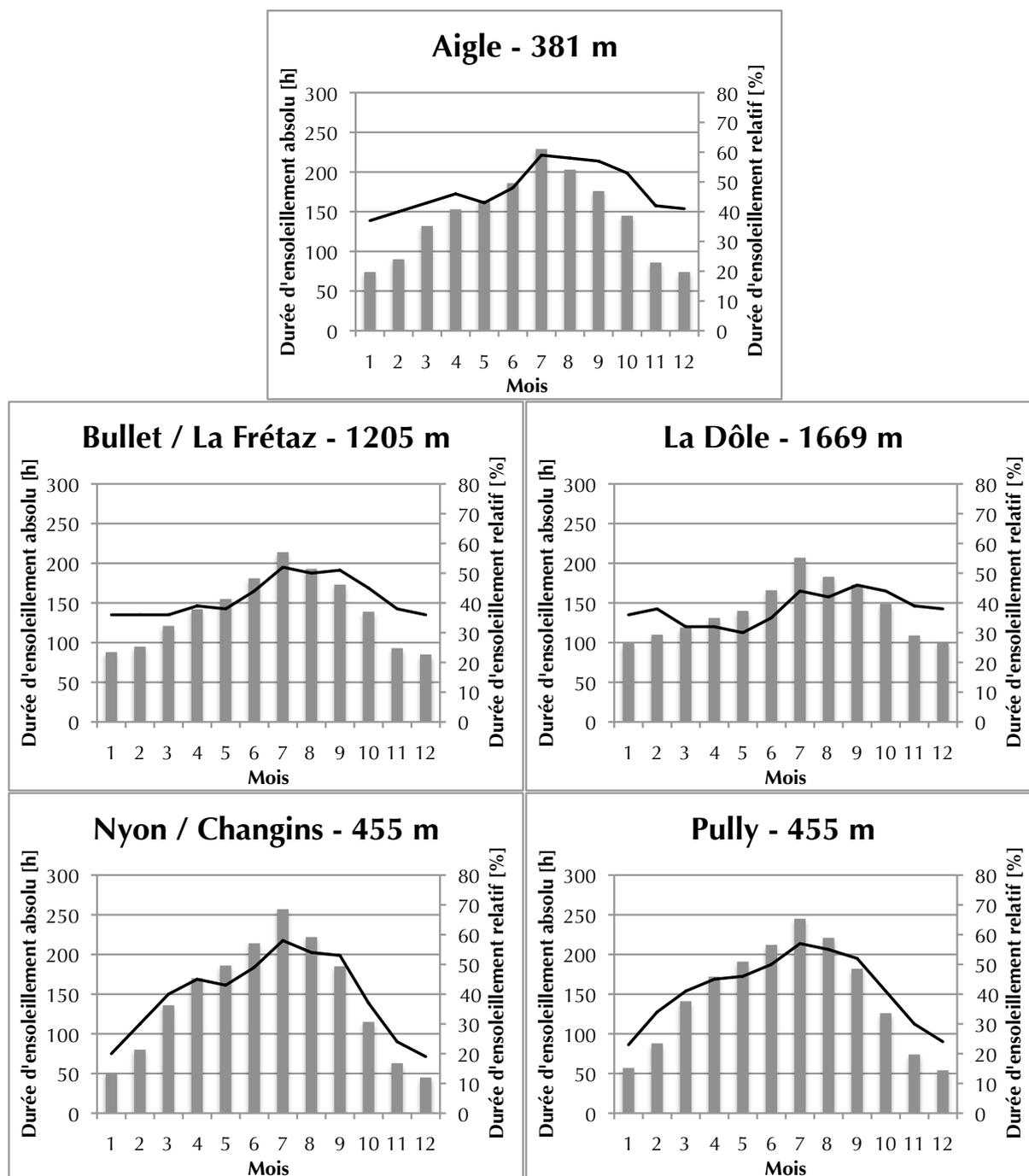


Figure 2.4.1 : Moyenne de l'ensoleillement des stations MétéoSuisse des Alpes et du Jura vaudois et de la région lémanique pour la période de référence 1961-1990. Les barres grises représentent la durée d'ensoleillement absolu [h] et le trait noir la durée d'ensoleillement relatif [%].

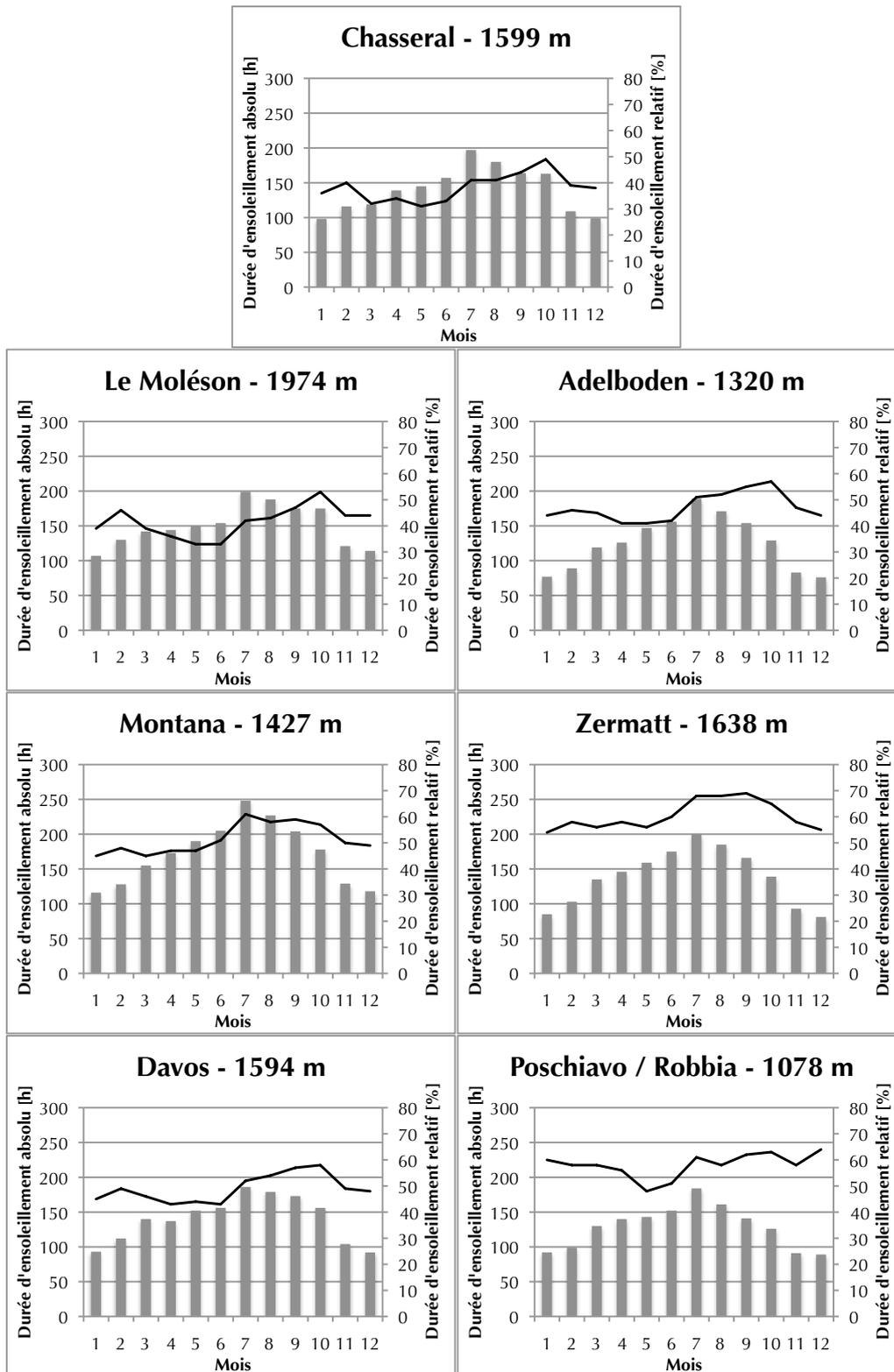


Figure 2.4.2 : Moyenne de l'ensoleillement de quelques stations MétéoSuisse des montagnes suisses pour la période de référence 1961-1990. Les barres grises représentent la durée d'ensoleillement absolu [h] et le trait noir la durée d'ensoleillement relatif [%].

2.5. SYNTHÈSE ET CONSÉQUENCES POUR LE TOURISME

Les précipitations, la température et l'ensoleillement déterminent le climat d'une région. En Suisse les températures les plus élevées se mesurent en moyenne à la fin du mois de juillet et les plus basses à la fin du mois de janvier. Durant les périodes les plus froides de l'hiver, les altitudes moyennes des Alpes et du Jura vaudois, à l'exception d'un secteur de haute altitude, assurent à ces régions des températures hivernales plus favorables à la pratique des activités de plein air que d'autres stations à plus haute altitude où il peut faire extrêmement froid. En été aussi, même durant les épisodes caniculaires, les températures restent relativement fraîches et agréables au-dessus de 1000 m, permettant les activités extérieures durant la journée ainsi que des nuits confortables. Au printemps et en automne, les Alpes et le Jura vaudois ont plus rapidement et plus longuement des températures agréables que les stations de plus haute altitude.

Les régimes de précipitations varient beaucoup, en Suisse, d'une région à l'autre. Dans les Alpes et le Jura vaudois, le printemps est la saison qui comporte en moyenne le plus grand nombre de jours de précipitations tandis que l'automne est la saison où les précipitations sont les moins fréquentes. Les Alpes et le Jura vaudois sont nettement plus arrosés que le Haut-Valais ou l'Engadine et dans des proportions à peu près identiques aux Préalpes et aux Alpes bernoises avec quelques variations suivant les saisons. En hiver, cela constitue un facteur positif pour le tourisme puisque les Alpes et le Jura vaudois reçoivent des quantités plus importantes de neige si les températures sont assez basses. En revanche, cela a pour conséquence négative un important nombre de jours avec précipitations, ce qui n'est pas favorable à la pratique des activités de plein air. En été, le nombre relativement élevé de jours de précipitations, comparativement à l'Engadine ou au Haut-Valais par exemple, mais aussi par rapport aux régions méditerranéennes, peut aussi avoir un impact négatif sur la pratique des activités de plein air : en juillet et août, il pleut au moins un moment de la journée, souvent sous forme d'orages en soirée, durant 10 à 14 jours par mois en moyenne dans les Alpes et le Jura vaudois. En revanche, l'approvisionnement en eau est en principe bien assuré, avec environ 1500 mm de précipitations annuelles bien réparties sur toute l'année.

Le nombre absolu d'heures d'ensoleillement est le plus bas en hiver et le plus haut en été à toutes les saisons, les jours étant plus longs. Mais en hiver, les régions de montagne présentent une durée d'ensoleillement absolue et relative plus importante qu'en plaine, qui se trouve fréquemment sous le brouillard. En termes d'attrait des touristes à la journée, ceci est particulièrement intéressant pour les régions de montagne proches des bassins de population. En été, le Jura, les Préalpes, les Alpes bernoises et vaudoises offrent une durée d'ensoleillement moins longue que celle des régions de plaine, les reliefs occasionnant une nébulosité plus importante et s'installant plus tôt dans la journée par rapport à la plaine.

En montagne, l'ensoleillement relatif varie peu au cours de l'année, grâce à de longues périodes ensoleillées en hiver, au-dessus des stratus. Ceux-ci limitent l'ensoleillement hivernal en plaine, qui est très contrasté entre les saisons. Les régions de montagne en général, et celles des Alpes et du Jura vaudois en particulier offrent ainsi un ensoleillement particulièrement avantageux par rapport à la plaine durant la saison d'hiver au sens large, d'octobre à mars.

Soulignons encore que dans les Alpes et le Jura vaudois, comme ailleurs en Suisse et dans les autres régions de mêmes latitudes, il faut compter avec une grande variabilité du temps d'une année à l'autre, au-delà des moyennes à long terme, quels que soient la saison et le paramètre mesuré. Le temps qu'il fait, effectif à court terme, est largement déterminé par la répartition des pressions et par la provenance de la masse d'air. Les changements peuvent être rapides et importants. On compte d'ailleurs en moyenne tous les trois jours un passage d'un temps ensoleillé à un temps pluvieux ou réciproquement.

3. EVOLUTION PASSÉE ET PROJECTIONS FUTURES DU CLIMAT DES ALPES ET DU JURA VAUDOIS

3.1. EVOLUTION PASSÉE DE LA TEMPÉRATURE

Durant le 20^{ème} siècle, les températures annuelles moyennes ont augmenté de 0,8 °C en Europe (IPCC, 2007b). Pour la période 1979 à 2005, cette augmentation est même plus importante puisqu'elle a atteint 0,41 °C par décennie (IPCC, 2007b; Jones & Moberg, 2003). En Suisse, on observe un schéma identique mais avec une augmentation plus importante durant le 20^{ème} siècle, entre 0,9 °C / 100 ans et 1,1 °C / 100 ans pour les stations au nord des Alpes (Begert et al., 2005). Depuis les années 70, cet accroissement s'est fait dans des proportions encore plus élevées avec 0,57 °C par décennie en moyenne suisse (Rebetez & Reinhard, 2008). La figure 3.1.1 illustre cette évolution depuis les années 1960.

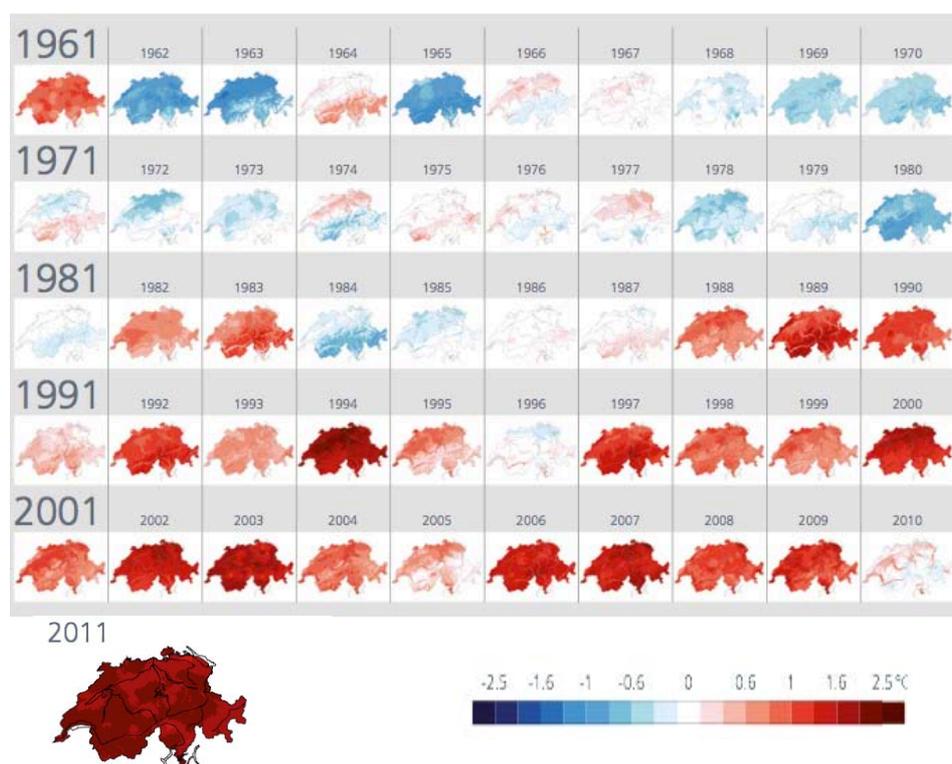


Figure 3.1.1 : Ecarts de la température moyenne annuelle par rapport à la moyenne pluriannuelle (1961-1990) en degrés Celsius. Des écarts positifs (plus chaud) apparaissent en rouge, des écarts négatifs (plus froid) en bleu (MétéoSuisse, 2012).

3.1.1. Printemps

Au printemps, la température a augmenté de 1,61 °C en 110 ans (1901-2010) en moyenne suisse (figure 3.1.2). L'augmentation a été similaire à Châteaux-d'Oex³ et à Chaumont⁴ (figures 3.1.3 et 3.1.4). Les périodes plus fraîches du milieu des années 1950 au début des années 1980 ont probablement été causées essentiellement par la pollution des aérosols (Rebetez, 2011).

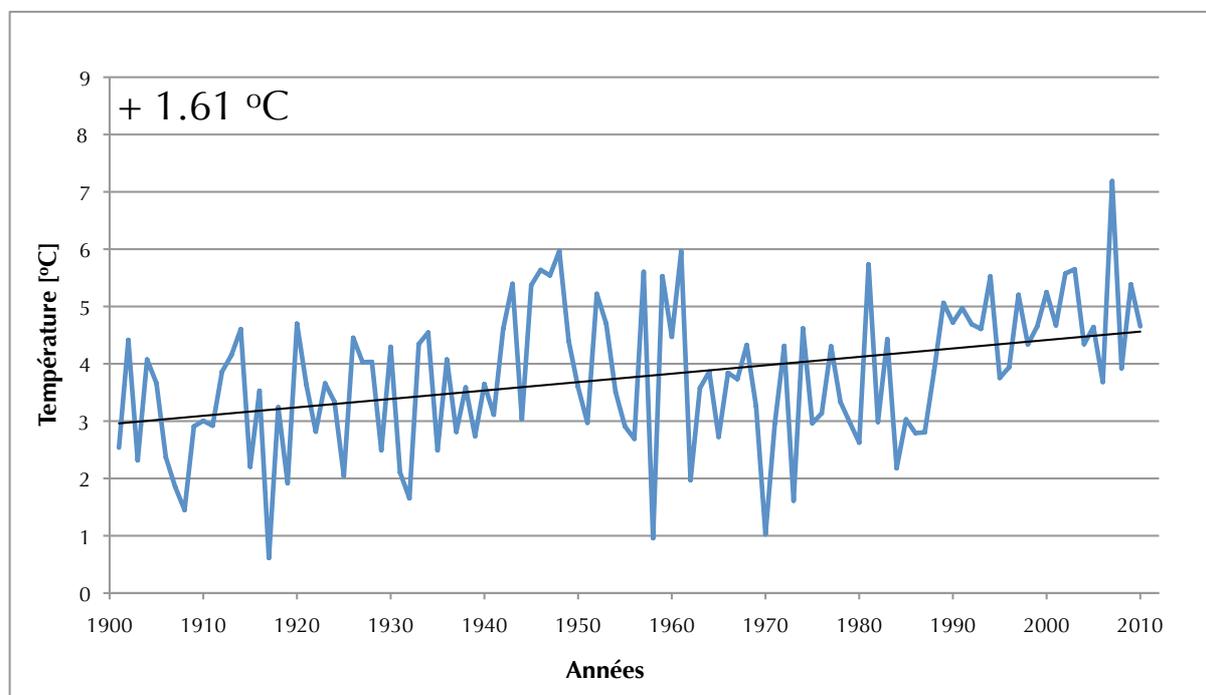


Figure 3.1.2 : Evolution passée des températures moyennes printanières (mars – avril – mai) de douze stations homogénéisées de MétéoSuisse

³ Château-d'Oex est la seule station des Alpes vaudoises à offrir une série de données homogénéisées sur plus d'un siècle.

⁴ Le Jura vaudois n'a pas de station météorologique présentant une série de données de températures aussi longue. La station météorologique de Chaumont, dans le Jura neuchâtelois à une altitude de 1073 m, a été utilisée ici.

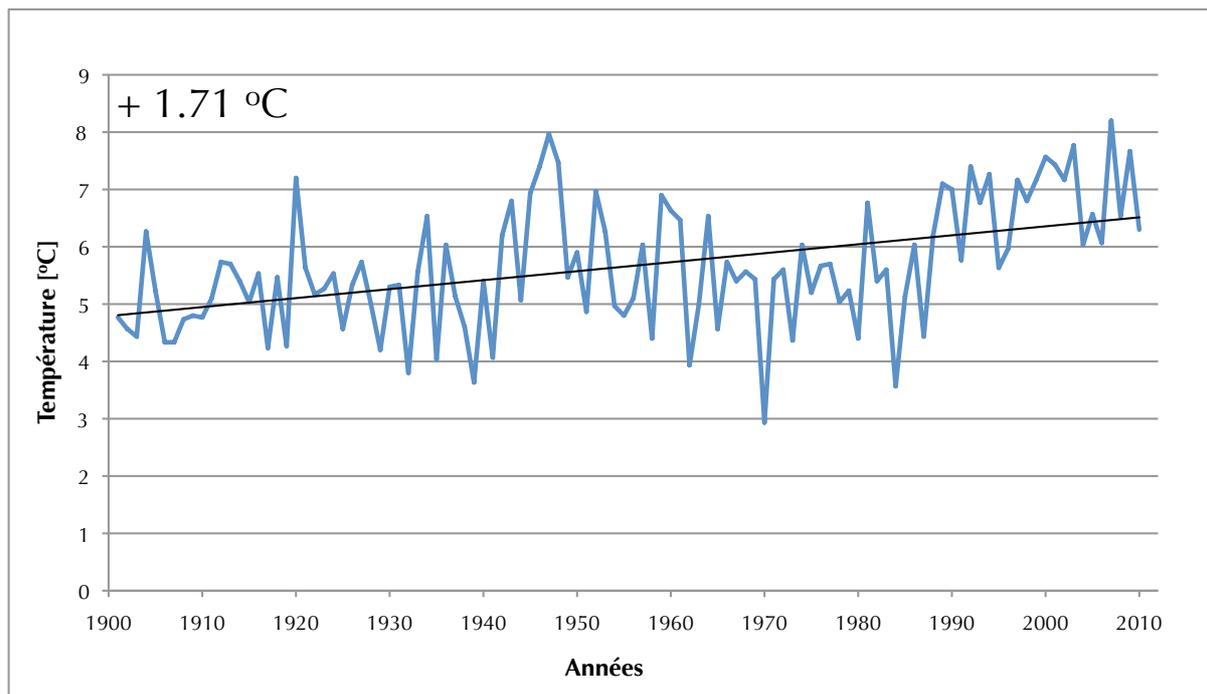


Figure 3.1.3 : Evolution passée des températures moyennes printanières (mars – avril – mai) de la station MétéoSuisse de Château-d'Oex

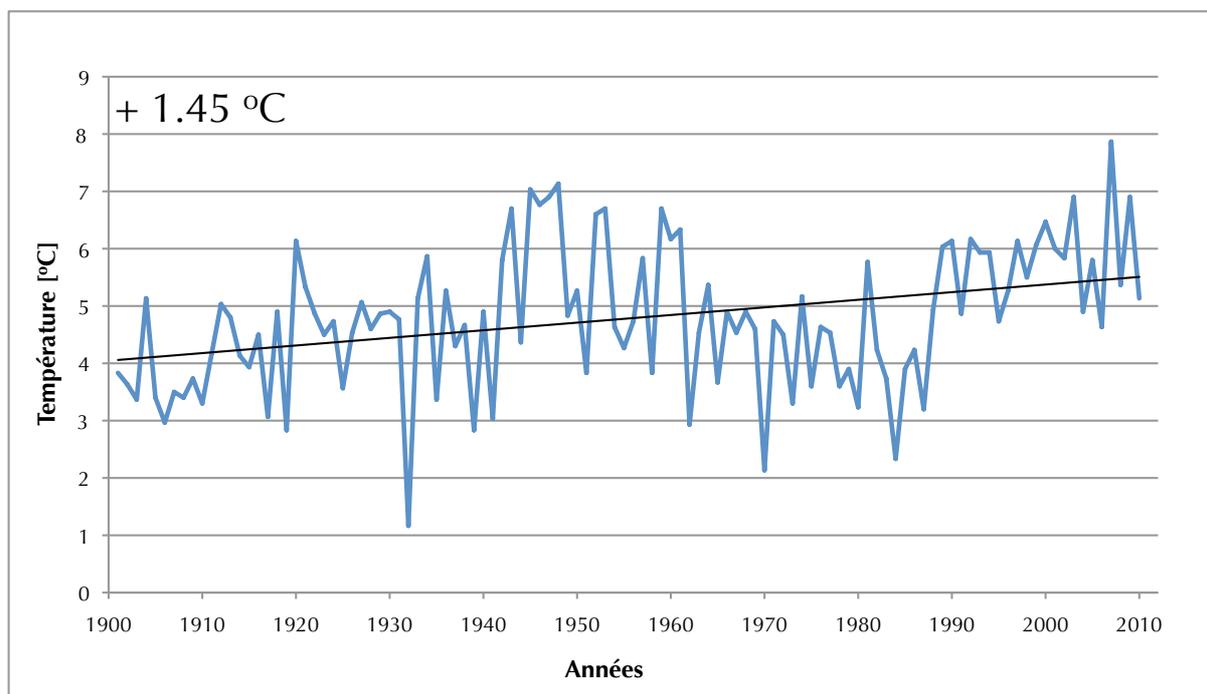


Figure 3.1.4 : Evolution passée des températures moyennes printanières (mars – avril – mai) de la station MétéoSuisse de Chaumont

3.1.2. Eté

En été, l'augmentation des températures depuis 1901 est plus importante que durant les autres saisons : + 1,87 °C en moyenne pour l'ensemble de la Suisse (figure 3.1.5).

Cette augmentation est comparable, voire à peine supérieure si l'on prend la station de référence des Alpes vaudoises, Château-d'Oex (figure 3.1.6) et celle de Chaumont (figure 3.1.7). L'augmentation est très marquée depuis les années 1980 et l'été caniculaire de 2003 ressort très clairement dans ces trois figures.

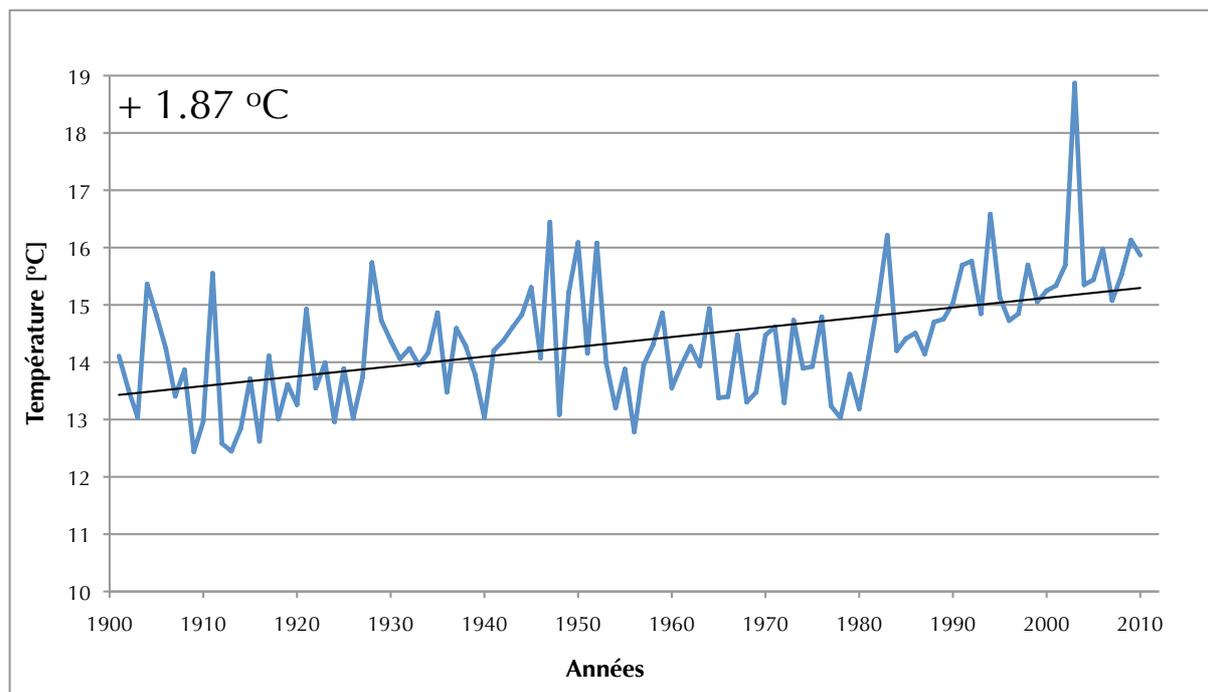


Figure 3.1.5 : Evolution passée des températures moyennes estivales (juin – juillet – août) de douze stations homogénéisées de MétéoSuisse

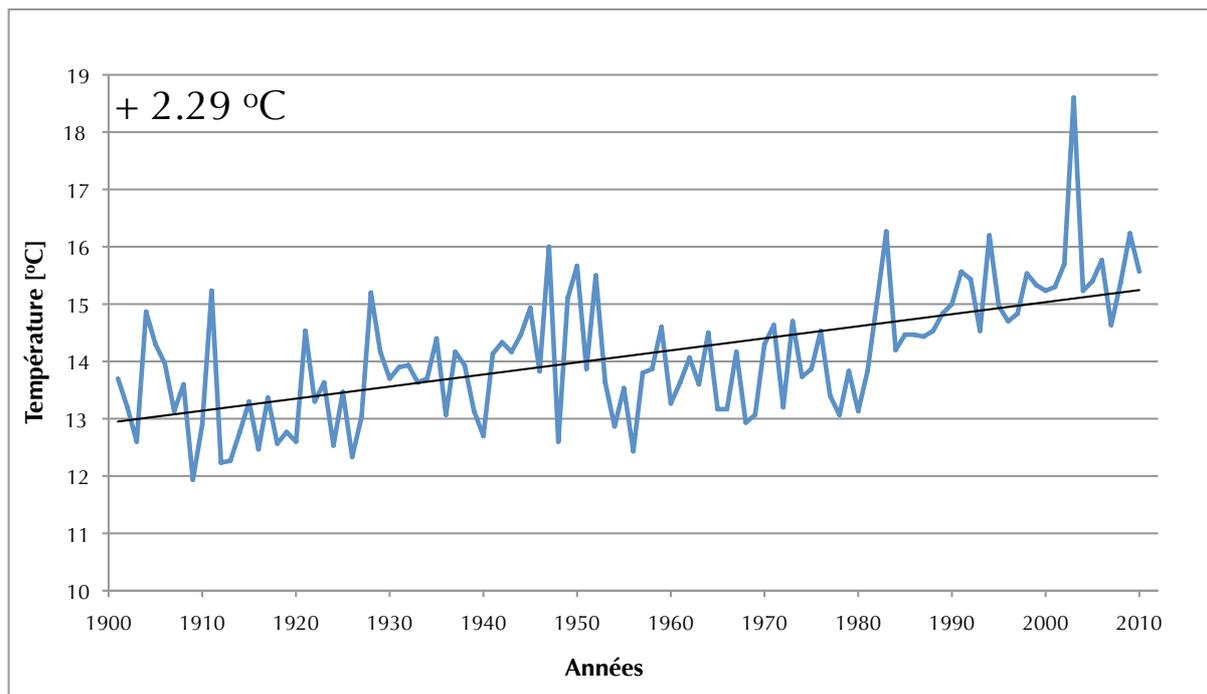


Figure 3.1.6 : Evolution passée des températures moyennes estivales (juin – juillet – août) de la station MétéoSuisse de Château-d'Oex

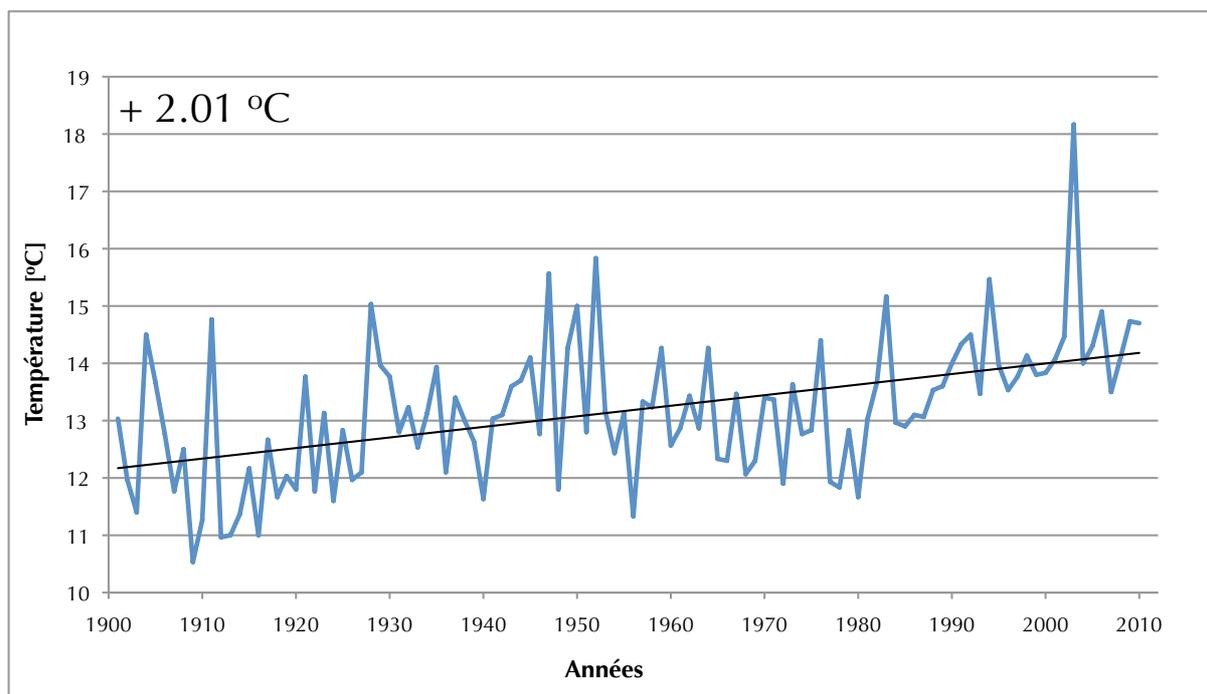


Figure 3.1.7 : Evolution passée des températures moyennes estivales (juin – juillet – août) de la station MétéoSuisse de Chaumont

L'augmentation des températures implique également l'augmentation du nombre de jours caniculaires (Della-Marta et al., 2007a; Della-Marta et al., 2007b; Rebetez, 2004; Rebetez et al., 2006; Schaer et al., 2004; Seneviratne et al., 2006; Stott et al., 2004). Cela se voit déjà dans les stations de plaine telle Neuchâtel (figure 3.1.8)⁵.

La figure 3.1.8 met clairement en évidence l'augmentation des périodes caniculaires depuis le milieu des années 1970. Le nombre maximal de jours très chauds du début du 20^{ème} siècle est inférieur au nombre minimal de jours très chauds des années de la fin de ce même siècle.

Sur le flanc nord des Alpes, la fréquence des mois anormalement chauds (température de plus de 2 °C au-dessus de la moyenne à long terme) a de ce fait déjà augmenté d'environ 70% (OcCC-ProClim, 2007).

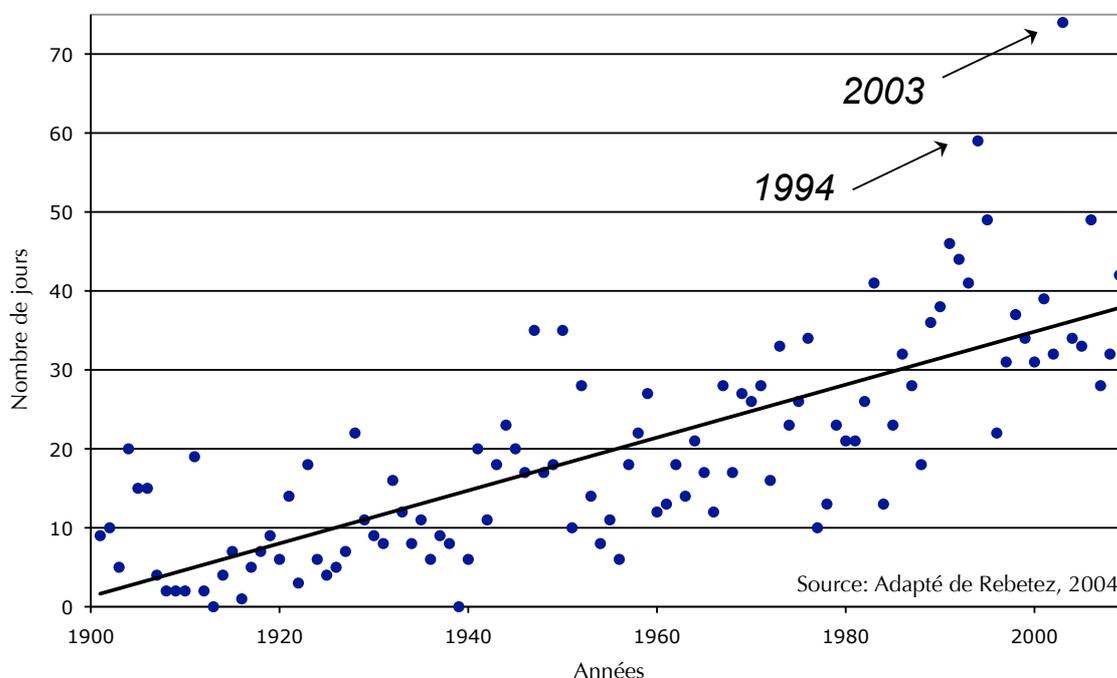


Figure 3.1.8 : Evolution passée du nombre de jours très chauds (températures minimales supérieures au percentile 80) pour l'été (juin – juillet – août) de la station MétéoSuisse de Neuchâtel (adapté de Rebetez, 2004)

⁵ La station météorologique de Neuchâtel est la seule station à offrir des données quotidiennes fiables depuis le début du siècle (figure 3.1.7). Elle est bien représentative de l'évolution des températures que l'on retrouve en Suisse.

3.1.3. Automne

En automne, la hausse des températures a été de +1,75 °C en moyenne suisse pour la période de 1901 à 2010 (figure 3.1.9). Elle a été plus importante à Château-d'Oex alors qu'à Chaumont les températures ont comparativement moins augmenté, en lien avec des valeurs relativement faibles durant la période récente, sans que cela ne s'explique par des raisons particulières (figures 3.1.10 et 3.1.11).

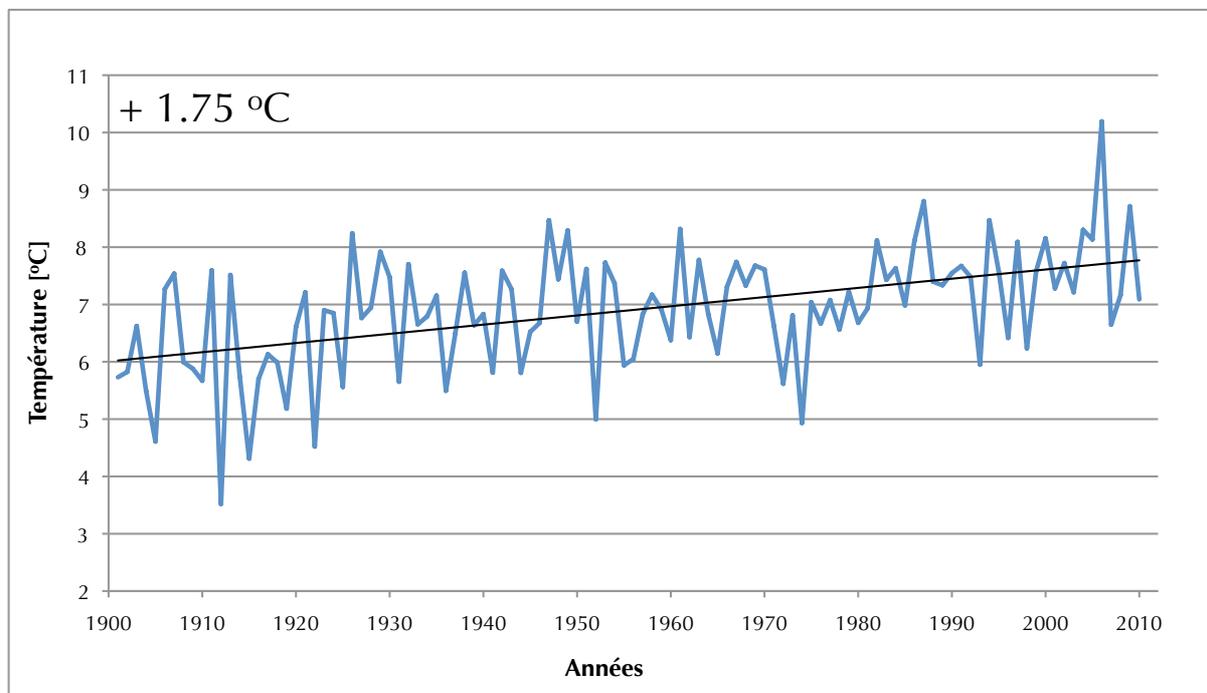


Figure 3.1.9 : Evolution passée des températures moyennes automnales (septembre – octobre – novembre) de douze stations homogénéisées de MétéoSuisse

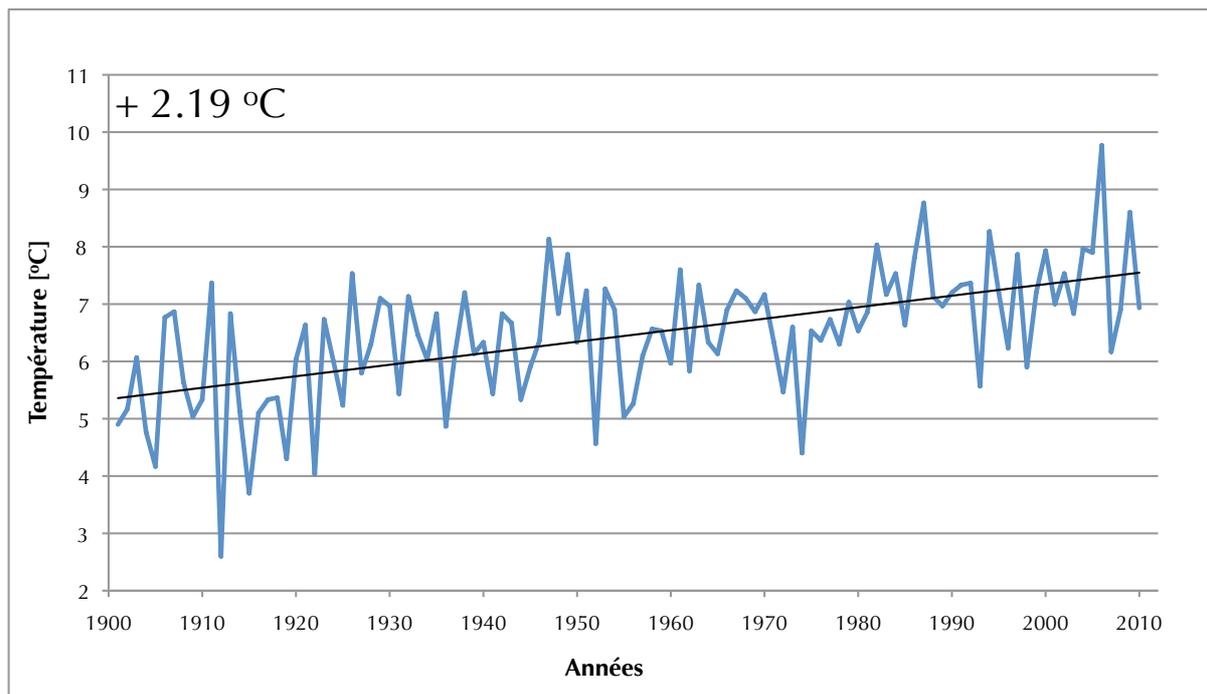


Figure 3.1.10 : Evolution passée des températures moyennes automnales (septembre – octobre – novembre) de la station MétéoSuisse de Château-d'Oex

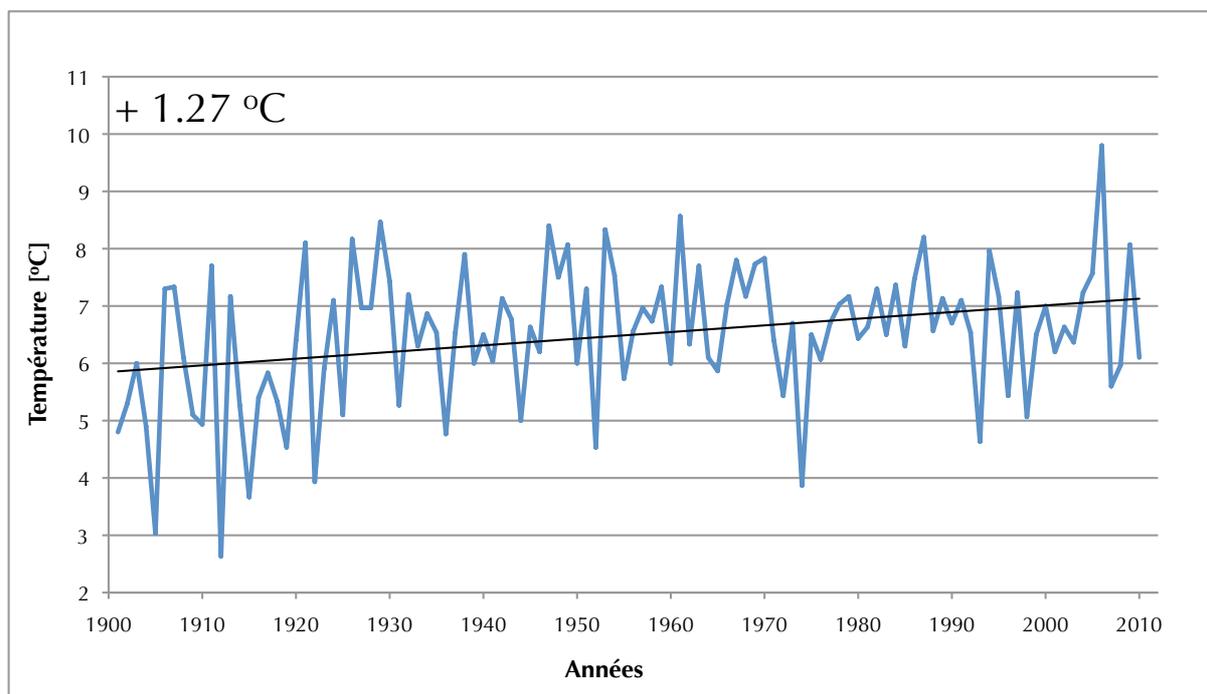


Figure 3.1.11 : Evolution passée des températures moyennes automnales (septembre – octobre – novembre) de la station MétéoSuisse de Chaumont

3.1.4. Hiver

En hiver, la température a augmenté en Suisse de 1,58 °C entre 1901 et 2010 (figure 3.1.12). Tout comme pour les températures annuelles, cette augmentation a surtout eu lieu depuis les années 1970. La station météorologique de Château-d'Oex présente une hausse des températures légèrement plus importante (+ 1,88 °C) (figure 3.1.13). L'augmentation des températures pour le siècle à Chaumont est un peu plus faible que celle de la moyenne suisse (+ 1,02 °C) (figure 3.1.14).

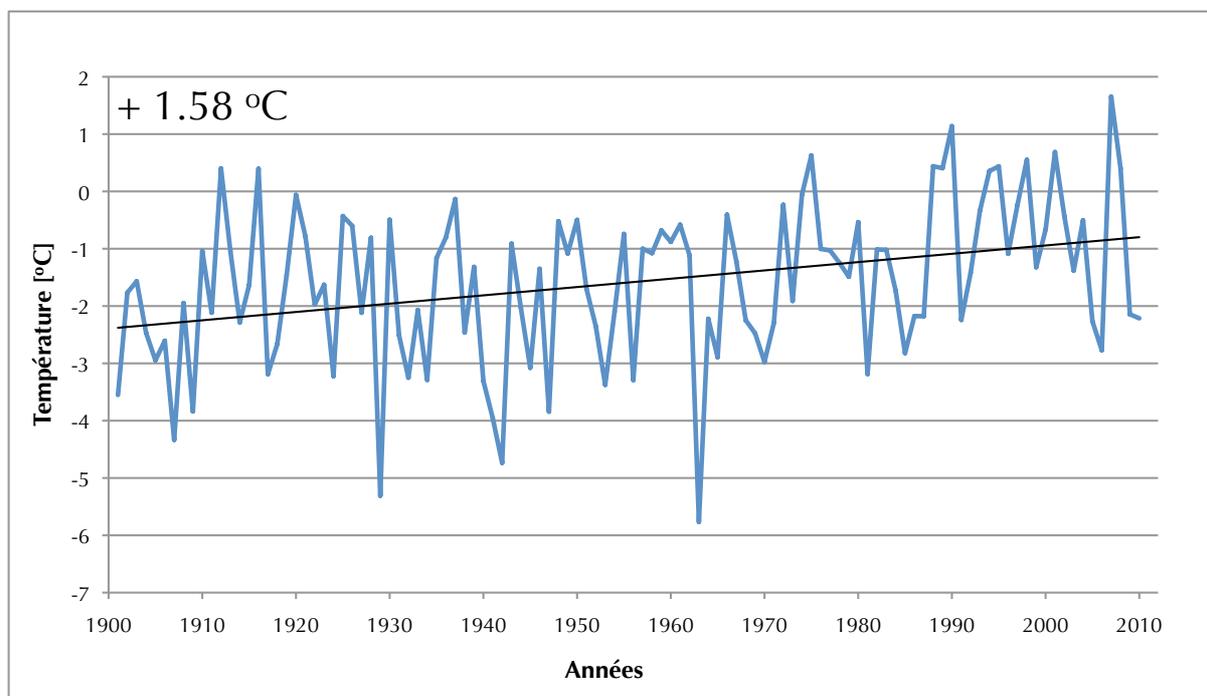


Figure 3.1.12 : Evolution passée des températures moyennes hivernales (décembre – janvier – février) de douze stations homogénéisées de MétéoSuisse

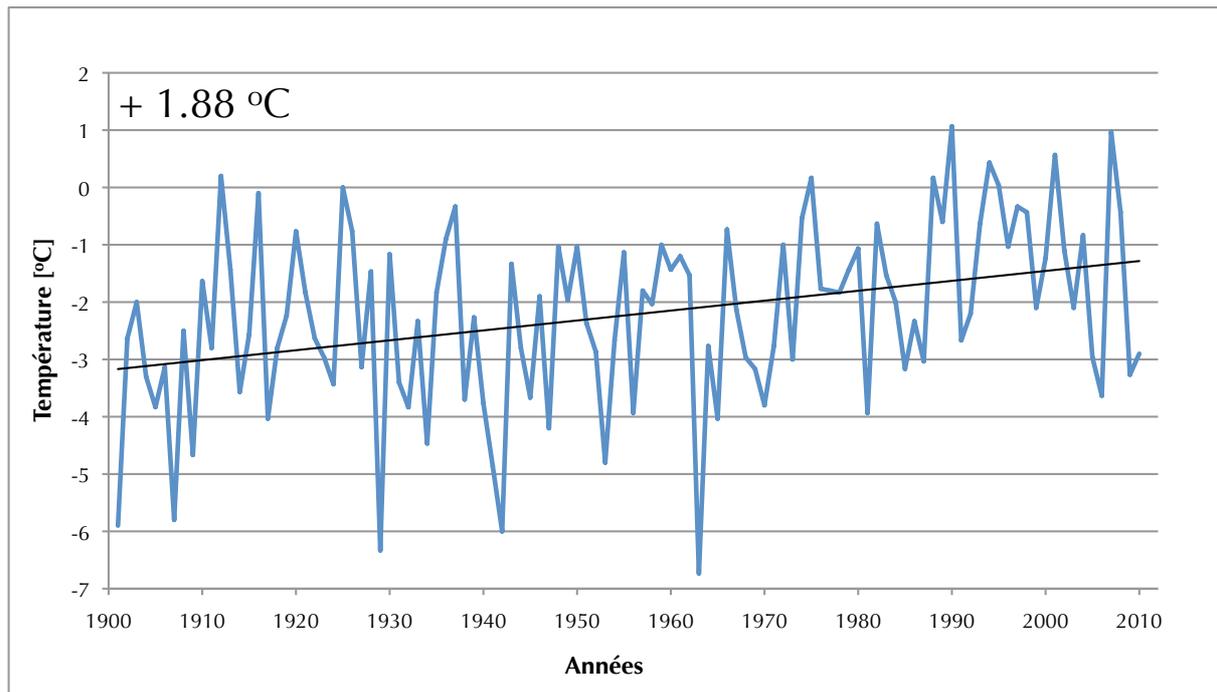


Figure 3.1.13 : Evolution passée des températures moyennes hivernales (décembre – janvier – février) de la station MétéoSuisse de Château-d’Oex

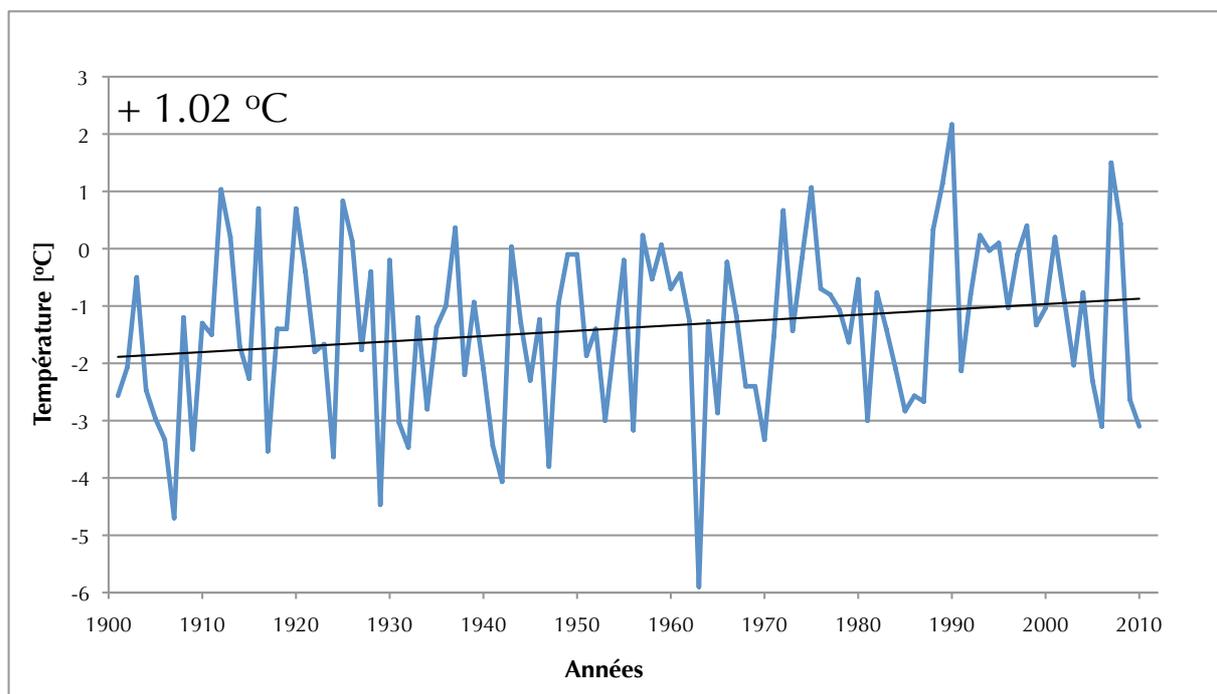


Figure 3.1.14 : Evolution passée des températures moyennes hivernales (décembre – janvier – février) de la station MétéoSuisse de Chaumont

Tout comme pour les valeurs annuelles, une augmentation plus importante des températures s'est produite depuis la fin des années 1970. L'hiver le plus froid survenu en Suisse et également dans les Alpes et le Jura vaudois fut celui de 1963. Les périodes très froides sont devenues de plus en plus rares. L'augmentation des températures est plus importante pour les jours les plus froids que pour les jours les plus chauds (Rebetez, 2011).

En hiver, l'isotherme 0 °C se situait en moyenne aux environs de 900 m d'altitude à la fin des années 1990. Depuis les années 1960, il était ainsi monté de 300 m (Scherrer & Appenzeller, 2006).

3.2. PRÉCIPITATIONS

Les précipitations varient fortement d'une année à l'autre en Suisse (figure 3.2.1). Les Alpes et le Jura vaudois ne font pas exception à la règle. Cette forte variabilité rend difficile l'analyse d'un changement significatif durant le siècle dernier. Les résultats obtenus doivent dès lors être pris avec précaution (figure 3.2.2) (North et al., 2007; Schmidli & Frei, 2005).

En plaine, les hivers doux reçoivent généralement plus de précipitations. En montagne, c'est l'inverse qui se produit : plus il fait doux, moins il y a de précipitations. En été, cette distinction n'existe pas, quel que soit le lieu, les étés les plus frais sont les plus arrosés (Rebetez, 1996).

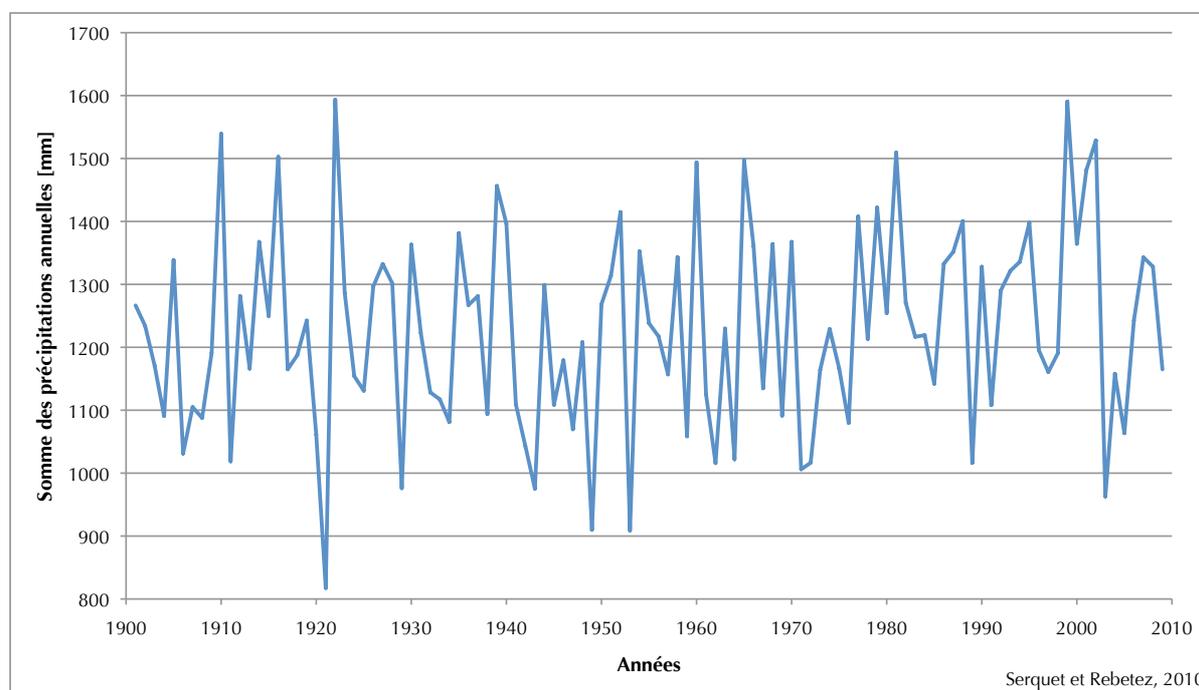


Figure 3.2.1 : Evolution passée de la somme des précipitations annuelles [mm] de douze stations homogénéisées de MétéoSuisse

Si l'on ne relève pas de tendance à long terme pour la somme des précipitations, dans la plupart des régions du plateau et de la bordure nord des Alpes la fréquence des fortes précipitations journalières a nettement augmenté, et ce particulièrement en automne et en hiver avec une augmentation de 15 à 70% (North et al., 2007; Schmidli & Frei, 2005).

3.3. ENNEIGEMENT ET PRÉCIPITATIONS NEIGEUSES

Deux paramètres sont à prendre en compte lorsque l'on étudie l'évolution de la couverture neigeuse : les précipitations neigeuses mesurées en hauteur de neige fraîche et l'enneigement qui correspond à la hauteur de la neige au sol. Les précipitations neigeuses sont dépendantes de la quantité de précipitations et de la température de l'air au moment où la neige tombe. L'enneigement, quant à lui, dépend de multiples facteurs : quantité de précipitations, température de l'air au moment des précipitations, température de l'air durant toute la période d'enneigement, rayonnement solaire, vitesse et direction du vent (Rebetez, 2011).

En Suisse, l'enneigement, tout comme les précipitations neigeuses, varie fortement d'une année à l'autre et également d'un mois à l'autre (figure 3.3.1, 3.3.2 et 3.3.3). Par ailleurs, en hiver, à basse et moyenne altitude, les précipitations sous forme de neige dépendent essentiellement de la température qu'il fait alors qu'au-dessus de 3000 m, il est rare que les précipitations ne tombent pas sous forme de neige, vu que les températures hivernales n'y dépassent pratiquement jamais l'isotherme 0 °C.

Une diminution de l'enneigement durant les 20 dernières années, soit depuis l'hiver 1987-88 (figure 3.3.1), est déjà nettement visible pour les sites jusqu'à 1300 m. La diminution avoisinait 30% en 2005 par rapport aux valeurs mesurées jusqu'au début des années 1980.

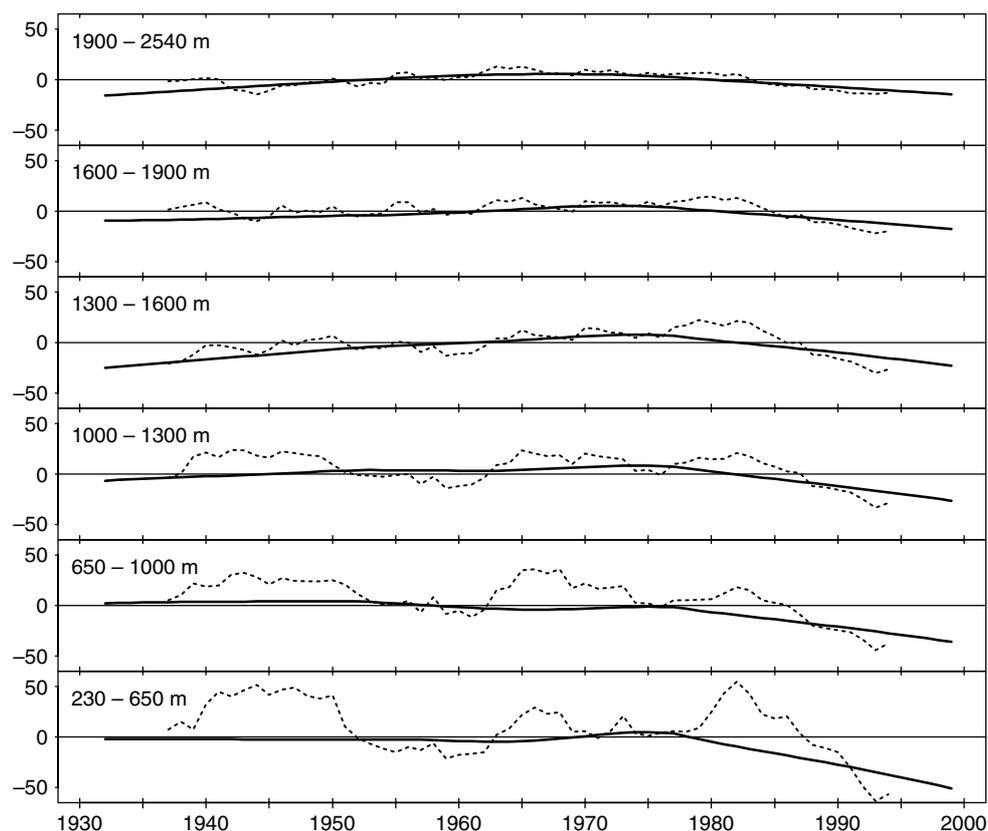


Figure 3.3.1 : Déviation relative [%] de la hauteur de neige moyenne hivernale (novembre à avril) par rapport à la moyenne à long terme. La ligne pointillée représente la moyenne mobile sur 11 ans et la ligne pleine la tendance à long terme. Les données (1932-1999) couvrent toutes les régions des Alpes suisses pour différentes altitudes (Latenser & Schneebeli, 2003).

L'analyse de stations de montagne suisses montre que depuis les années 1990, les précipitations tombent entre 60 et 70% sous forme de neige aux altitudes comprises entre 801 et 1100 m durant les mois d'hiver (décembre – janvier – février). Entre 1101 et 1400 m, cela arrive dans environ 80% des cas, alors que la barre des 85% est dépassée entre 1401 et 1700 m (Serquet et al., 2011).

En ce qui concerne la part des jours avec précipitations neigeuses par rapport aux précipitations totales hivernales, elle a diminué de 1979 à 2008 pour les altitudes comprises entre 801 et 1100 m de 6 à 13% / 10 ans et entre 1101 et 1400 m de 4 à 10% / 10 ans.

Par ailleurs les proportions de précipitations neigeuses par rapport aux précipitations totales de décembre, janvier et février correspondent actuellement aux proportions de novembre et mars des années 1960.

Depuis le début des années 1960, la diminution du cumul de la neige fraîche est de plus de 70% à Sion, d'environ 30% à Chaumont et à Château-d'Oex et entre 20 et 25% à Leysin (figure 3.3.2 et 3.3.3). Au Weissfluhjoch, la diminution n'est pas réellement significative (figure 3.3.2 et 3.3.3).

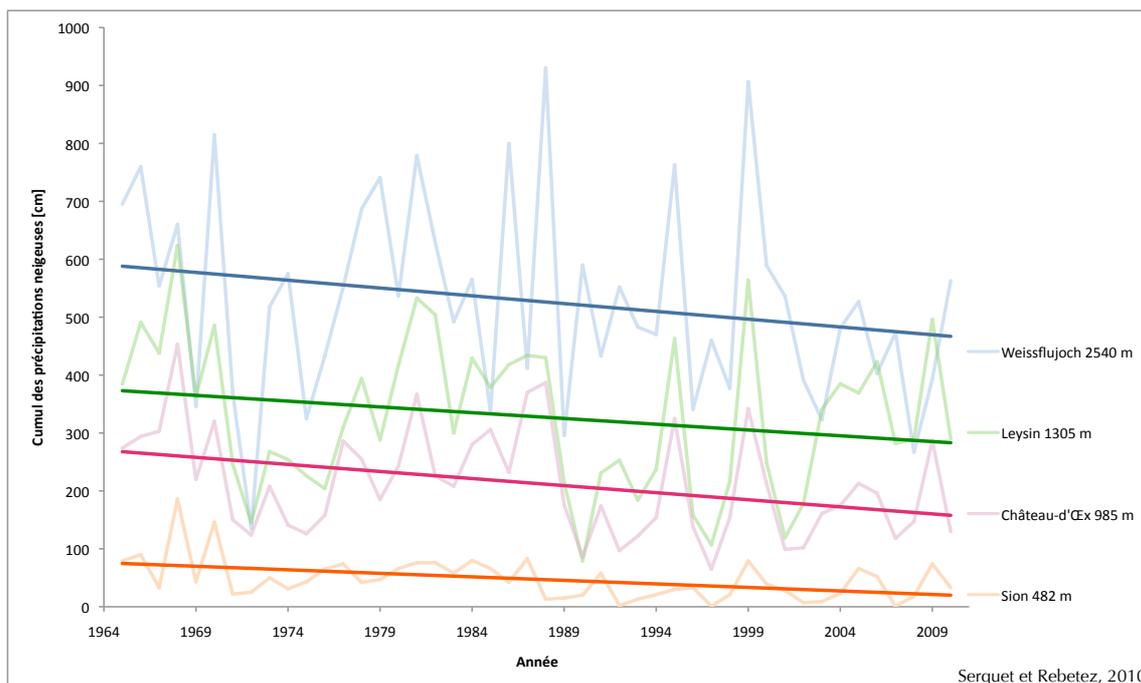


Figure 3.3.2 : Cumul des précipitations neigeuses de décembre à mars [cm] à Château-d’Oex en comparaison avec d’autres stations météorologiques d’altitudes différentes (source des données : MétéoSuisse et MétéoLeysin)

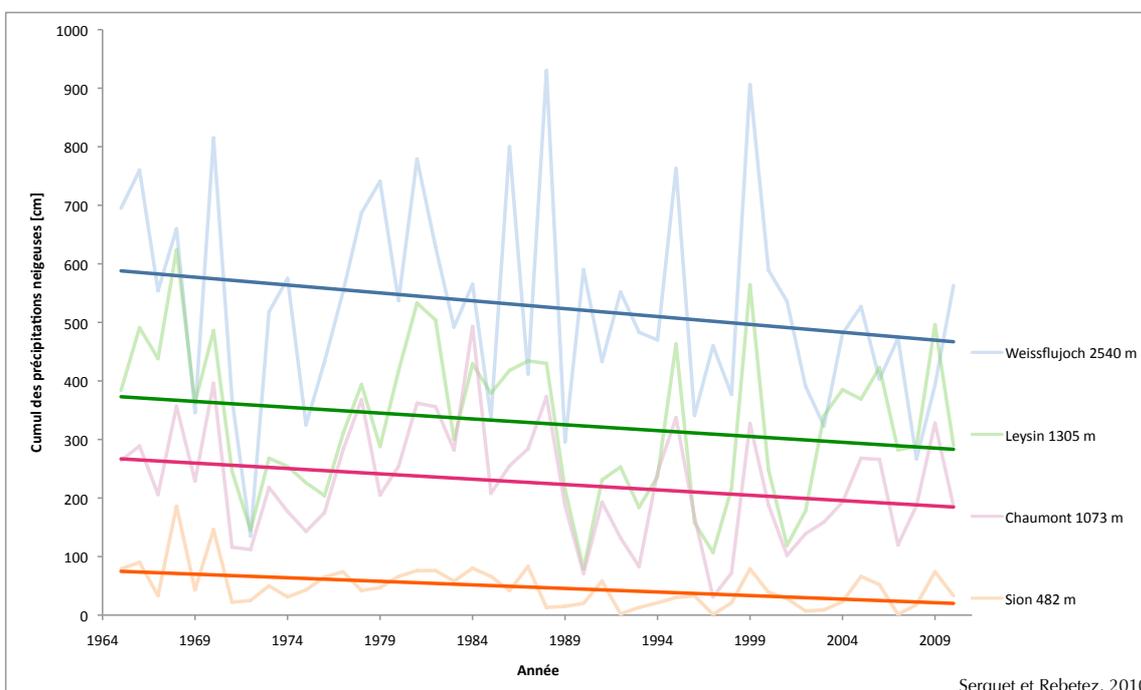


Figure 3.3.3 : Cumul des précipitations neigeuses de décembre à mars [cm] à Chaumont en comparaison avec d’autres stations météorologiques d’altitudes différentes (source des données : MétéoSuisse et MétéoLeysin)

3.4. ENSOLEILLEMENT, BROUILLARD ET VENT

On possède actuellement peu de résultats concernant l'ensoleillement et la couverture nuageuse. L'ensoleillement a augmenté de 1 à 5% entre 1961 et 2010 et de 3 à 7% entre 1981 et 2010 en plaine (Scherrer et al., 2011). Il n'y a pas d'évolution significative dans les autres régions. Baeriswyl et al. (1997) avaient cependant déjà mesuré une augmentation de l'ensoleillement hivernal en montagne pour la période 1931-1994.

En ce qui concerne le brouillard en hiver, suite à l'assèchement des marais, notamment de la plaine de l'Orbe, on a évalué une diminution allant jusqu'à 2,5% durant la saison froide (octobre à mars) et jusqu'à 5% durant la saison chaude (avril à septembre) (Schneider & Eugster, 2007). On manque cependant encore d'études en ce domaine.

Enfin, l'évolution du vent est difficile à prévoir. Certains événements extrêmes survenus à la fin du 20^{ème} siècle (les ouragans Vivian en 1990 et Lothar en 1999 notamment) ont soulevé la question d'une augmentation de leur fréquence. Au niveau mondial, les modèles prévoient de manière probable une augmentation de l'intensité des cyclones tropicaux. Par contre, des incertitudes demeurent quant à leur fréquence (IPCC, 2007a). Il en est de même pour les prévisions concernant la Suisse et les régions situées aux latitudes similaires (Rebetez, 2011).

3.5. PROJECTIONS FUTURES

La modélisation du climat d'ici à la fin du 21^{ème} siècle se base, d'une part, sur des modèles climatiques et, d'autre part, sur des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. Ces derniers ont été construits à l'aide d'hypothèses concernant notamment l'évolution démographique globale, les choix énergétiques potentiels et le développement de nouvelles technologies (IPCC, 2007a). La quantité d'émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique émise selon chacun de ces scénarios varie ainsi en fonction des hypothèses retenues. Les projections climatiques sont ainsi tributaires d'incertitudes puisqu'elles dépendent de scénarios qui sont eux-mêmes des projections. De plus, les modèles climatiques ne reflètent pas toute la réalité complexe du climat. Ils offrent toutefois une idée générale de ce que pourrait être le climat du 21^{ème} siècle.

Les projections les plus récentes pour la Suisse se basent sur trois scénarios : A2, A1B et RCP3PD (figure 3.5.1) (CH2011, 2011).

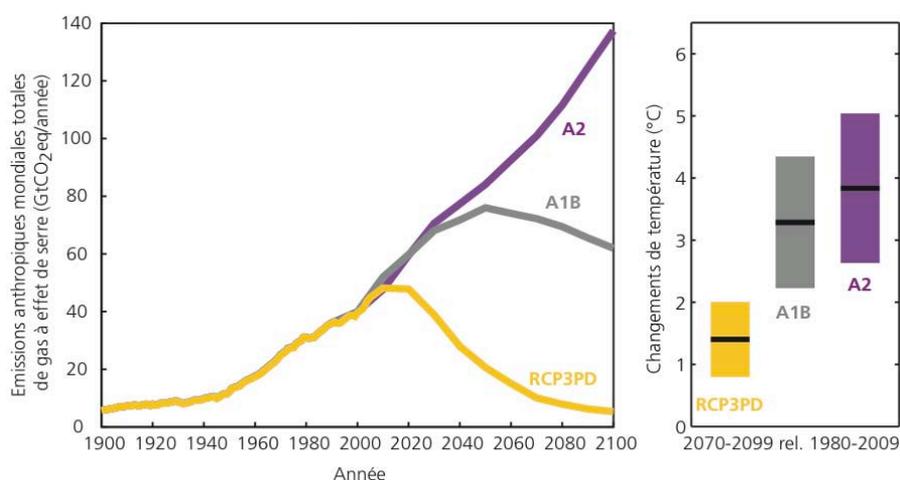


Figure 3.5.1 : Schéma d'évolution des trois scénarios d'émissions anthropiques de gaz à effet de serre futures, ainsi que les changements de température projetés pour la Suisse (valeur moyenne sur une période de 30 ans (2070–2099) centrée en 2085). «CO₂eq» est une unité de référence qui permet d'exprimer les autres gaz à effet de serre (comme le méthane, CH₄) en unités de CO₂ (CH2011, 2011: 9).

Les scénarios A2 et A1B sont considérés comme non-interventionnistes mais divergent notamment sur les avancées technologiques et le développement démographique. Le scénario RCP3PD, quant à lui, est un scénario qui prévoit une diminution d'ici à 2050 de 50 % des gaz à effet de serre par rapport à 1990.

3.5.1. Température

Que ce soient les scénarios non-interventionnistes ou le scénario qui prévoit une forte diminution des émissions des gaz à effet de serre, les modèles climatiques projettent une augmentation des températures. En cas de diminution drastique des émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2050 (scénario RCP3PD), on peut s'attendre à une augmentation d'environ 1,4 °C pour la Suisse d'ici à la fin du 21^{ème} siècle. Lorsque les modèles se basent sur les deux autres scénarios, l'augmentation projetée est multipliée par plus de deux, que ce soit en moyenne suisse (figure 3.5.1) ou pour la Suisse occidentale (figure 3.5.2) (CH2011, 2011).

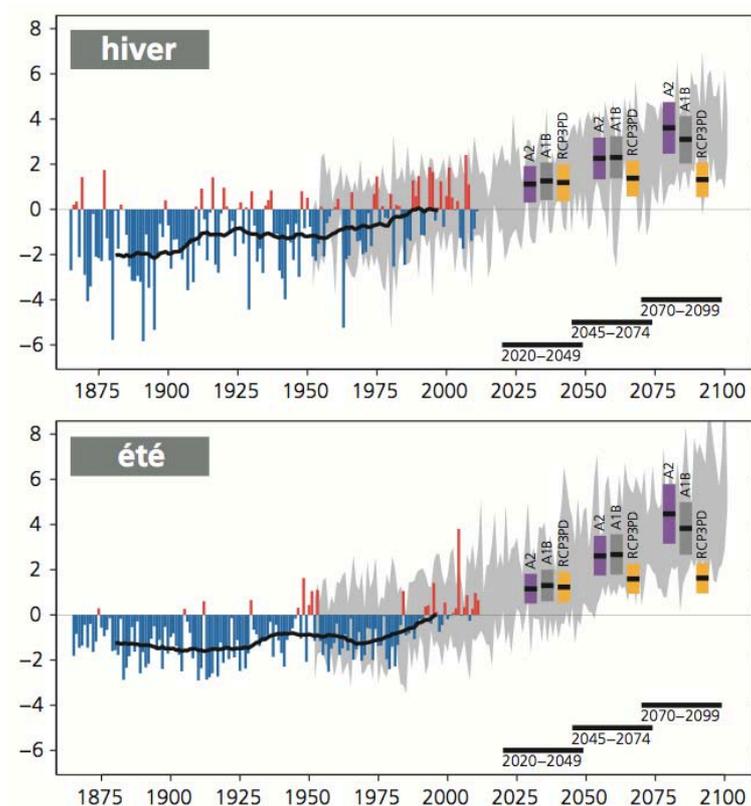


Figure 3.5.2 : Changements passés et futurs des températures saisonnières [°C] pour la Suisse occidentale pour l’hiver (décembre à février) et l’été (juin à août). Les changements sont calculés par rapport à la période de référence 1980 à 2009. Les fines barres en couleur représentent les différences annuelles par rapport à la moyenne des observations durant la période de référence et les lignes noires dénotent les moyennes correspondantes lissées sur 30 ans. La zone grise indique les différences d’une année à l’autre telles que projetées par les modèles climatiques pour le scénario A1B. Les larges barres en couleur montrent les meilleures estimations des projections futures ainsi que la marge d’incertitude associée pour les trois périodes de 30 ans considérées et pour les trois scénarios d’émissions de gaz à effet de serre (CH2011, 2011, résumé en français : 3).

Les Alpes et le Jura vaudois devraient connaître une augmentation des températures du même ordre de grandeur que celle que connaîtra la Suisse occidentale. La figure 3.5.3 présente les projections selon le scénario A1B pour les quatre stations des Alpes vaudoises pour lesquelles il existe une modélisation de l’évolution des températures, la figure 3.5.4, celles pour les stations du Jura vaudois.

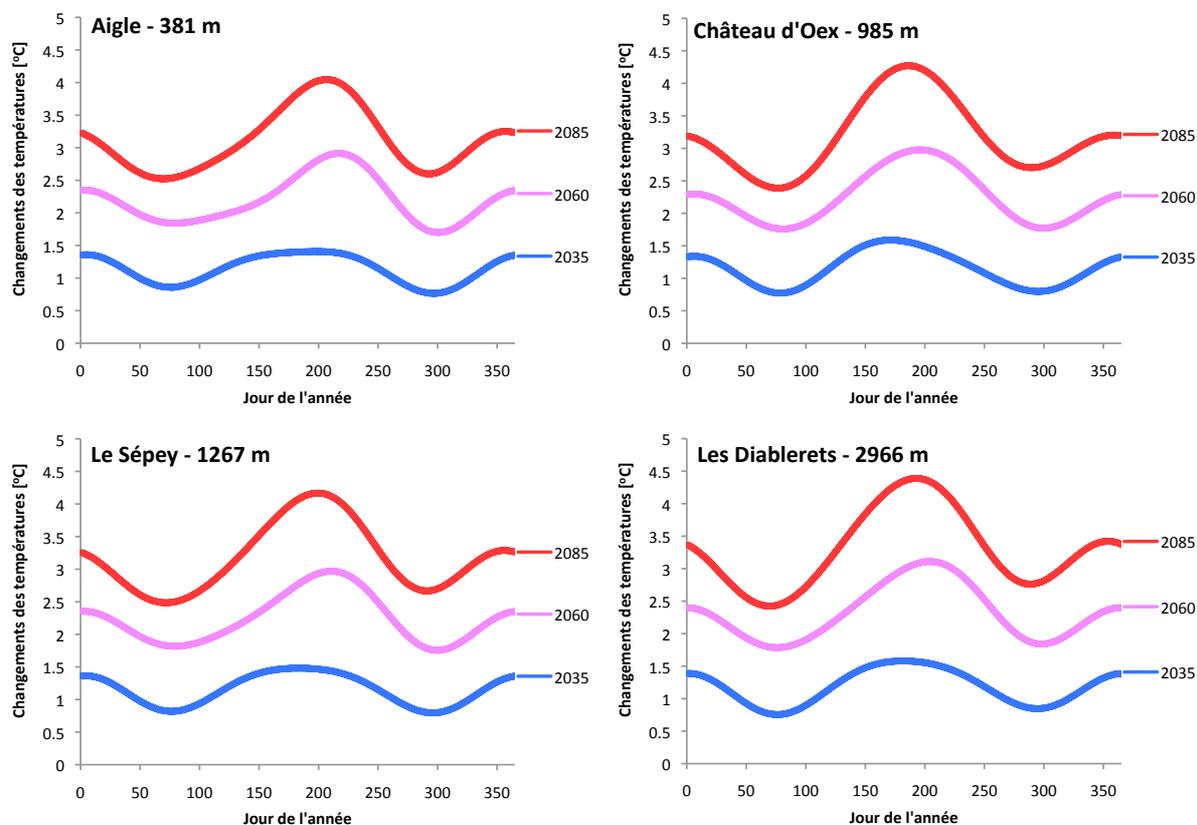


Figure 3.5.3 : Changements des températures [°C] journalières projetées par rapport à la moyenne de 1980-2009 pour les stations d’Aigle, de Château-d’Oex, du Sépey et des Diablerets dans les Alpes vaudoises selon le scénario d’émissions de gaz à effet de serre A1B et pour 3 périodes (2035 : 2020-2049, 2060 : 2045-2074, 2085 : 2070-2099) (source des données CH2011, 2011)

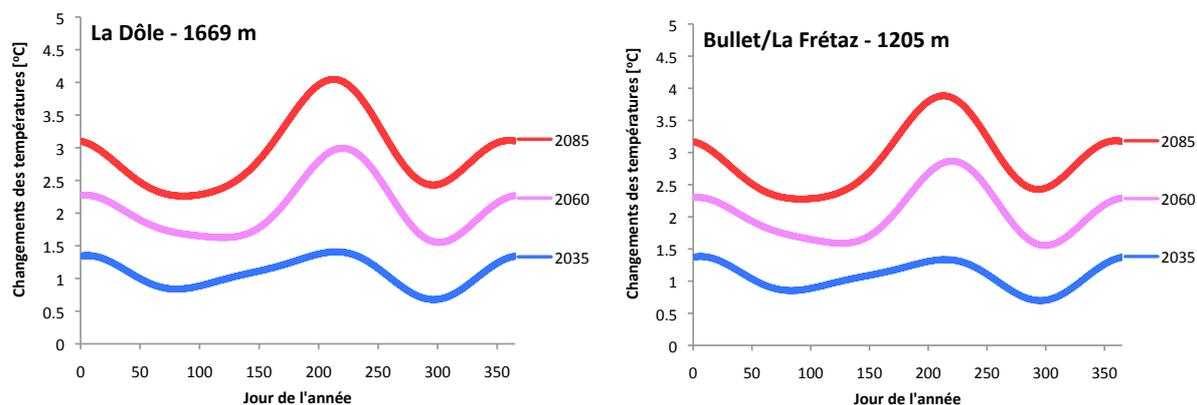


Figure 3.5.4 : Changements des températures [°C] journalières projetées par rapport à la moyenne de 1980-2009 pour les stations de La Dôle et Bullet/La Frétaz dans Jura vaudois selon le scénario d'émissions de gaz à effet de serre A1B et pour 3 périodes (2035 : 2020-2049, 2060 : 2045-2074, 2085 : 2070-2099) (source des données CH2011, 2011)

Les figures 3.5.3 et 3.5.4 montrent que l'augmentation des températures prévue selon le scénario A1B devrait être la plus importante pour les mois d'été et la moins importante pour ceux du printemps et d'automne. En été, la hausse des températures projetée atteint à la fin du 21^{ème} siècle plus de 4 °C, que ce soit dans les Alpes ou dans le Jura vaudois. A l'horizon 2035, elle est comprise entre 0,5 et 1,5 °C suivant les saisons.

Par ailleurs, le nombre de jours très chauds devrait augmenter, alors que celui des jours très froids devrait diminuer (CH2011, 2011). Ainsi, certaines températures basses mesurées par le passé dans un lieu donné pourraient ne plus se présenter alors qu'à l'inverse on pourrait relever des températures plus élevées que ce qui n'a jamais été mesuré par les thermomètres, soit depuis le milieu du 19^{ème} siècle (figure 3.5.5). Il faut dès lors s'attendre à une augmentation des périodes caniculaires en plaine.

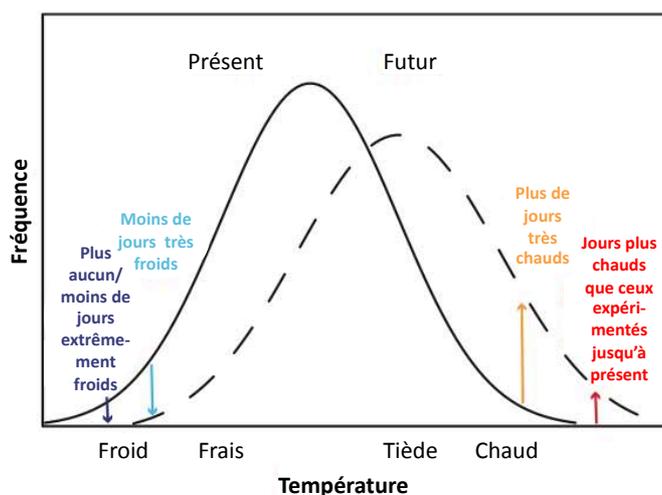


Figure 3.5.5 : Changements potentiels dans la fréquence et l'intensité des journées à températures extrêmes suite au changement climatique (adapté de CH2011, 2011: 26). La ligne continue indique la fréquence actuelle ; la ligne traitillée, les fréquences futures.

3.5.2. Précipitations

L'évolution des précipitations est nettement plus difficile à modéliser car ce phénomène météorologique est extrêmement complexe. A l'échelle européenne, les modèles projettent une augmentation des précipitations estivales en Europe du Nord et une diminution en Europe du Sud, alors que c'est l'inverse qui devrait se produire en hiver (CH2011, 2011). La Suisse devrait suivre dans une certaine mesure la tendance prévue pour le Sud de l'Europe en ce qui concerne l'été, les modèles projetant une diminution des précipitations comprise entre 18 et 24% avec les scénarios A2 et A1B d'ici à la fin du siècle (CH2011, 2011). Mais il faut souligner le fait que l'essentiel de la diminution est attendu après 2050 et rappeler que ces projections, pour la Suisse, qui se trouve à l'intersection de deux zones aux tendances contradictoires, sont encore relativement peu fiables.

La Suisse méridionale pourrait en outre connaître une augmentation des précipitations en hiver. Les projections concernant le printemps et l'automne, ainsi que l'hiver pour la Suisse occidentale et du nord-est, sont encore plus incertaines (figure 3.5.6) (CH2011, 2011), aucune tendance ne se dégageant actuellement. Ceci signifie que pour ces saisons, les précipitations pourraient augmenter, diminuer ou ne subir aucun changement d'ici à la fin du 21^{ème} siècle.

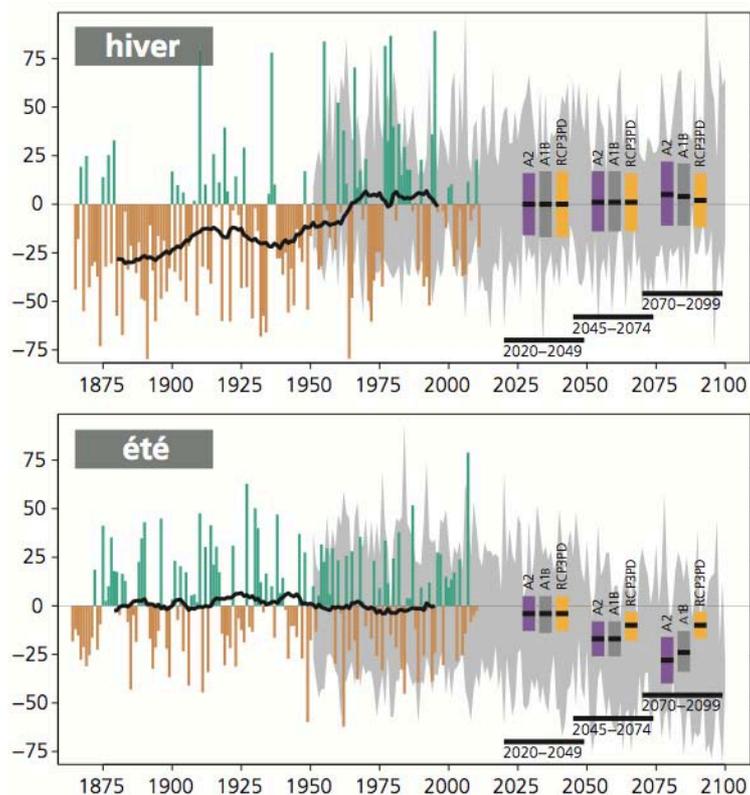


Figure 3.5.6 : Changements passés et futurs des précipitations [%] pour la Suisse occidentale. Les changements sont calculés par rapport à la période de référence 1980 à 2009. Les fines barres en couleur représentent les différences annuelles par rapport à la moyenne des observations durant la période de référence et les lignes noires dénotent les moyennes correspondantes lissées sur 30 ans. La zone grise indique les différences d’une année à l’autre telles que projetées par les modèles climatiques pour le scénario A1B. Les larges barres en couleur montrent les meilleures estimations des projections futures ainsi que la marge d’incertitude associée pour les trois périodes de 30 ans considérées et pour les trois scénarios d’émissions de gaz à effet de serre (CH2011, 2011, résumé en français : 3).

Par contre, on prévoit de manière probable une tendance à la hausse des événements extrêmes. D’ici à la fin du siècle, la Suisse devrait connaître une diminution des jours avec faibles précipitations au profit, d’une part, de plus de jours de précipitations extrêmes et, d’autre part, de jours sans précipitations (figure 3.5.7). Les Alpes et le Jura vaudois, tout comme la Suisse dans son ensemble, pourraient ainsi connaître plus de longues périodes de sécheresse et d’épisodes de précipitations intenses.

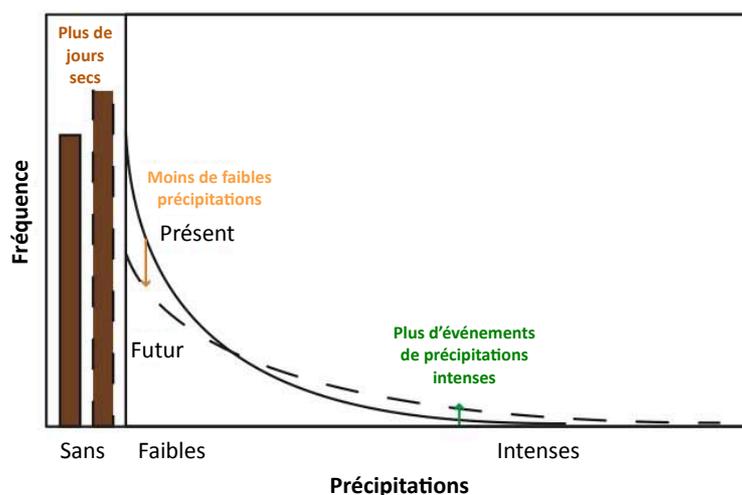


Figure 3.5.7 : Changements potentiels dans la fréquence et l'intensité des précipitations extrêmes suite au changement climatique (adapté de CH2011, 2011 : 26). La ligne continue représente la fréquence des précipitations (faibles à gauche, intenses à droite) ; la ligne traitillée la fréquence future. Les barres brunes de droites représentent la fréquence des jours secs présente (barre de gauche) et future (barre de droite).

3.5.3. Enneigement

L'évolution de l'enneigement, aux altitudes basses et moyennes, est fortement liée à l'évolution des températures. Tous les scénarios IPCC (IPCC, 2007a) prévoient une diminution de la couverture neigeuse, particulièrement à basse altitude. Si l'augmentation moyenne des températures observées en Suisse depuis les années 1970 se poursuit, soit de $0,38\text{ °C} / 10\text{ ans}$ en hiver (Rebetez & Reinhard, 2008), la limite du 0 °C va monter en altitude ce qui aura pour corollaire de décaler la limite moyenne de l'enneigement de $86\text{ m} / 10\text{ ans}$ (soit $0,38 \cdot (100/0,44)$). Les derniers résultats des modèles numériques (CH2011, 2011) prévoient des augmentations de température du même ordre : environ $+1,5\text{ °C}$ entre 1995 et 2035. S'agissant des précipitations neigeuses, on utilisera le gradient adiabatique humide, soit un refroidissement moyen de $0,5\text{ °C}$ par 100 m d'altitude. Dès lors, la limite moyenne de l'enneigement se décalerait de $76\text{ m} / 10\text{ ans}$ (soit $0,38 \cdot (100/0,5)$). Les mesures de l'isotherme 0 °C de Scherrer et Appenzeller (2006) entre les années 1960 et la fin des années 1990 correspondent aussi à un gradient de $0,5\text{ °C}$ par 100 m d'altitude. Dans certaines publications, les auteurs ont appliqué le gradient annuel de $0,65\text{ °C}$ par 100 m , ce qui donne un décalage de la limite moyenne de l'enneigement de $58\text{ m} / 10\text{ ans}$. De ce fait, pour l'avenir, on peut considérer que par degré d'augmentation de la température hivernale, la limite moyenne de l'enneigement subira un décalage de $150\text{ à }230\text{ m}$ en altitude.

Enfin, à moyenne altitude (700 m) en Europe, les modèles prévoient une diminution de la durée de la couverture neigeuse de 30 jours pour chaque °C d'augmentation de température (Hantel & Hirtl-Wielke, 2007; IPCC, 2007b).

En ce qui concerne la part des précipitations neigeuses par rapport aux précipitations totales hivernales, on peut s'attendre à ce que la diminution se poursuive dans le même ordre de grandeur que celle observée depuis 1979, soit entre 801 et 1100 m de 6 à 13% / 10 ans et entre 1101 et 1400 m de 4 à 10% / 10 ans.

Les débuts (novembre à mi-décembre) et fins de saison de ski (mars-avril) recevront plus de précipitations sous forme de pluie au lieu de précipitations neigeuses (Serquet et al., submitted). De plus, la situation actuelle de novembre et mars pourrait devenir la future situation des mois de décembre, janvier et février. Ceci aura pour conséquence un raccourcissement de la période enneigée.

Actuellement, aux altitudes comprises entre 800 et 1100 m, quand il y a des précipitations en hiver, elles tombent sous forme de pluie environ une fois sur deux. Avec une augmentation des températures durant les prochaines décennies, ce sont les altitudes situées entre 1100 et 1400 m qui seront particulièrement touchées, puisqu'elles risquent d'atteindre le seuil d'un jour sur deux de précipitations sous forme de pluie durant les mois de décembre, janvier et février (table 3.5.1). Les débuts et fins de saison (novembre et mars-avril) seront aussi sensibles puisque les précipitations tombent déjà sous forme de pluie près d'une fois sur deux à ces altitudes (1100 à 1400 m) en novembre et mars et même plus haut en avril (Serquet et al., submitted). Ces résultats sont à mettre en relation avec le nombre de jours de précipitations. Ainsi de décembre à février, il y a des précipitations en moyenne 4 jours sur 10 dans les Alpes et le Jura vaudois, soit 36 jours sur toute la période. Cela implique qu'aujourd'hui, il pleut en moyenne 18 jours durant ces trois mois vers 950 m et 9 jours vers 1250. En 2035, ces conditions devraient se décaler de 150 à 230 m en altitude. En 2050, de 300 à 460 m.

La variabilité des précipitations neigeuses fera toutefois que l'on pourra continuer longtemps à bénéficier d'un bon enneigement certains hivers (ou certaines parties d'hivers) à basse altitude.

% de précipitations neigeuses lors de précipitations	1960	2000-2010	2035	2050
~ 35 %	-	~ 650 m	800 - 900 m	950 - 1100 m
~ 55 %	~ 650 m	~ 950 m	1100 - 1200 m	1250 - 1400 m
~ 75 %	~ 950 m	~ 1250 m	1400 - 1500 m	1550 - 1700 m
~ 85 %	~ 1250 m	~ 1550 m	1700 - 1800 m	1850 - 2000 m

Table 3.5.1 : Limites altitudinales de différents pourcentages de précipitations neigeuses hivernales lors de précipitations pour quatre périodes (adapté de Serquet et al., submitted).

3.6. SYNTHÈSE

On s'attend à l'avenir à la poursuite de l'augmentation des températures observée en Suisse depuis le milieu des années 1970. Cette augmentation a été de 0,57 °C par décennie en moyenne annuelle, 0,38 °C par décennie en hiver et 0,86 °C par décennie en été. Les résultats des modèles publiés en automne 2011 prévoient pour 2035 des augmentations allant, d'environ 0,5 °C à 1,5 °C, comparativement à la moyenne des années 1980 à 2009. On s'attend également, pour l'avenir, à une augmentation particulièrement importante du nombre de jours très chauds en été.

L'augmentation de la température mesurée depuis le milieu des années 1970 a entraîné un décalage de l'enneigement hivernal de l'ordre de 76 à 86 m par décennie. En hiver, l'isotherme 0 °C se situait en moyenne aux environs de 900 m d'altitude à la fin des années 1990. Depuis les années 1960, il était ainsi monté d'environ 300 m. On s'attend à la poursuite de cette évolution en relation avec l'augmentation générale des températures. Dès lors, pour l'avenir, on peut considérer que par degré d'augmentation de la température hivernale, la limite moyenne de l'enneigement subira un décalage de 150 à 230 m en altitude.

Celle-ci aura également pour conséquence que la part des précipitations neigeuses par rapport au total des précipitations hivernales continuera à diminuer. Cette diminution est la plus forte à basse altitude, modérée à altitude moyenne et pour l'instant inexistante en hiver à haute altitude. Partout, la variabilité, d'un mois à l'autre et d'une année à l'autre est cependant importante et elle le restera au moins autant à l'avenir. De 1979 à 2008, on a mesuré une diminution de la proportion des précipitations neigeuses hivernales de 6 à 13 % par décennie aux altitudes situées entre 800 et 1100 m et de 4 à 10 % par décennie entre 1100 et 1400 m. On s'attend à la poursuite de cette diminution. A basse et moyenne altitude, il en résultera une alternance de plus en plus fréquente de précipitations neigeuses et pluvieuses, susceptibles de faire fondre la neige, qu'elle soit naturelle ou artificielle.

La poursuite de l'augmentation des températures aura également pour conséquence un net accroissement de la durée des conditions « estivales » en montagne avec des possibilités d'extension des activités touristiques de cette saison sur le printemps et l'automne. Cette augmentation concernera particulièrement les altitudes des stations des Alpes et du Jura vaudois.

Concernant les précipitations, l'évolution générale va dans le sens d'une augmentation des épisodes de précipitations intenses. Parallèlement, on s'attend à ce que la Suisse connaisse davantage de jours et de périodes de sécheresse.

On ne peut pas faire d'analogie entre le climat futur de la Suisse et le climat actuel d'autres régions du monde, les climats actuellement plus chauds ayant généralement des régimes de précipitations différents de celui de la Suisse.

4. IMPACTS DE L'ÉVOLUTION DU CLIMAT SUR L'ENVIRONNEMENT

4.1. FAUNE ET VÉGÉTATION

Le changement climatique a des impacts sur les aires de répartition de certaines espèces animales et végétales. En Suisse, c'est plus particulièrement l'augmentation des températures qui pousse les espèces à se décaler en altitude. Si la température augmente de 3 °C, cela implique un décalage de 600 m en altitude. Certaines espèces végétales pourraient ne pas survivre à un décalage trop rapide puisque la plupart des espèces ligneuses se propagent à un rythme de 100 m en 100 ans. D'autres pourraient subir des changements de leur patrimoine génétique, de leur apparence et/ou de leurs comportements (Pirc et al., 2009). Les 3 réactions suivantes sont possibles pour chaque espèce : la migration, l'adaptation et la disparition.

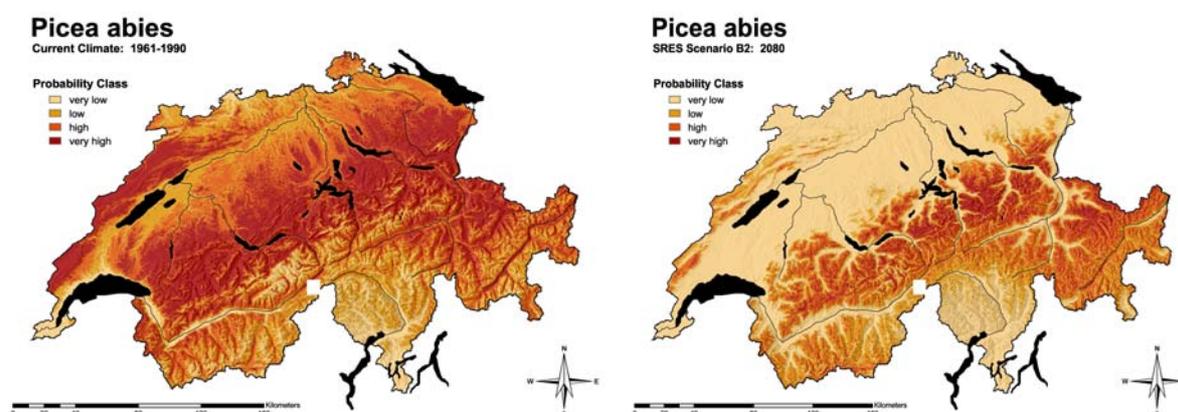


Figure 4.1.1 : Conditions climatiques favorables à l'épicéa actuellement (à gauche) et avec une augmentation de 3,3°C (à droite) (source : Zimmermann, WSL)

La figure 4.1.1 illustre un exemple de modification des conditions climatiques favorables à l'épicéa. La couleur rouge sur la carte indique des conditions favorables à cette espèce, alors que la couleur beige correspond à des conditions défavorables. On voit qu'avec l'augmentation des températures, les conditions climatiques deviendraient de moins en moins favorables à cette espèce à basse et moyenne altitude. Elles deviendraient en particulier défavorables dans le Jura, à l'exception des zones les plus élevées. Dans la pratique, l'évolution survient souvent par étapes, lorsque des seuils sont franchis. On se souvient par exemple des importantes attaques de bostryches sur les épicéas en été 2003. Des zones d'altitudes inhabituellement élevées avaient été touchées en moyenne montagne. Le résultat avait été

particulièrement visibles dans les zones où l'épicéa constituait la seule culture ou presque. La figure 4.1.2 illustre, quant à elle, les conditions climatiques favorables au chêne. Contrairement à l'épicéa, l'augmentation des températures offre de meilleures conditions pour cette espèce au-dessus de 600 m. Les conditions dans le Jura lui seraient ainsi particulièrement favorables, à l'exception des crêtes. Le transfert des épicéas à d'autres espèces, tel le chêne, se fera petit à petit. Même si les conditions climatiques ne leur sont plus aussi favorables, les espèces déjà présentes sont avantagées par rapport aux nouvelles espèces. Par ailleurs, pour qu'un arbre atteigne une taille respectable, il faut plusieurs dizaines d'années.

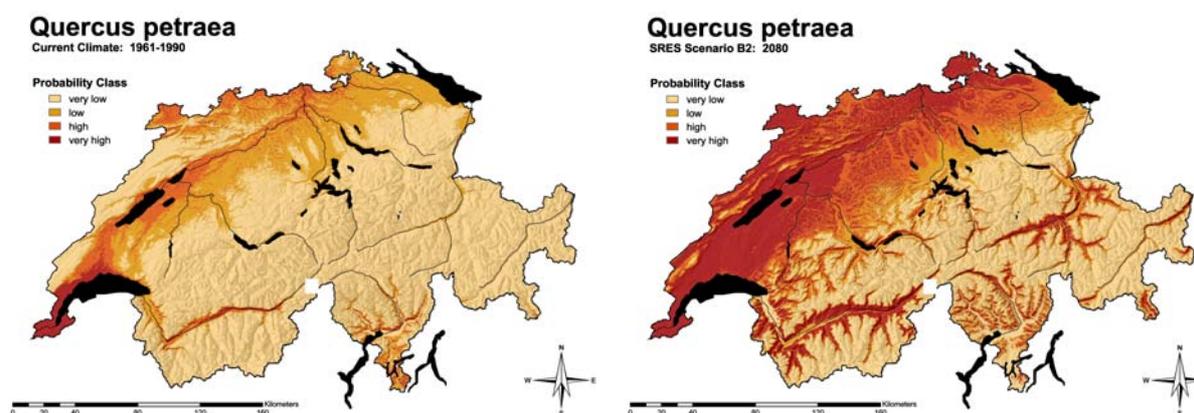


Figure 4.1.2 : Conditions climatiques favorables au chêne actuellement (à gauche) et avec une augmentation de 3,3°C (à droite) (source : Zimmermann, WSL)

A la limite supérieure de la forêt, l'évolution est très lente car la croissance de la végétation se fait durant une partie très courte de la saison. En outre, dans la plupart des régions, la déprise agricole joue un rôle actuellement au moins aussi important dans les changements observés que l'augmentation des températures.

Aucune conséquence n'est connue à ce jour pour le tourisme, même si on notera certaines modifications du paysage.

4.2. LAC DE JOUX

Il n'existe pas de données statistiques du nombre de jours durant lesquels le lac de Joux est gelé et/ou praticable pour le patinage. Selon les gardes du lac, il n'y a cependant pas de diminution en termes de praticabilité pour le patinage. Ces dernières années, ils ont même constaté une augmentation de leur activité, suite à un accroissement des jours de patinage. Selon eux, ceci est dû au fait que les hivers fortement enneigés empêchent le patinage (le lac étant couvert de neige), alors que les hivers sans neige

y sont favorables. Notons toutefois que 2006 est la seule année, de mémoire des gardes, à n'avoir connu aucun jour favorable à la pratique du patinage.

Par ailleurs, on ne s'attend pas à des modifications du régime hydrologique. Ainsi, le lac de Joux ne va pas s'assécher. Cependant, lors de périodes de sécheresse le niveau du lac pourrait baisser. Les périodes de précipitations intenses devraient cependant combler le manque d'eau des périodes de sécheresse.

4.3. GLACIERS ET PERGÉLISOL

Une des conséquences majeures de l'augmentation des températures sur les zones de hautes montagnes est la fonte des glaciers et du pergélisol. Le Jura n'est pas concerné. Pour les Alpes vaudoises, seule la région qui part du massif des Diablerets jusqu'aux Dents de Morcles l'est (figure 4.3.1).

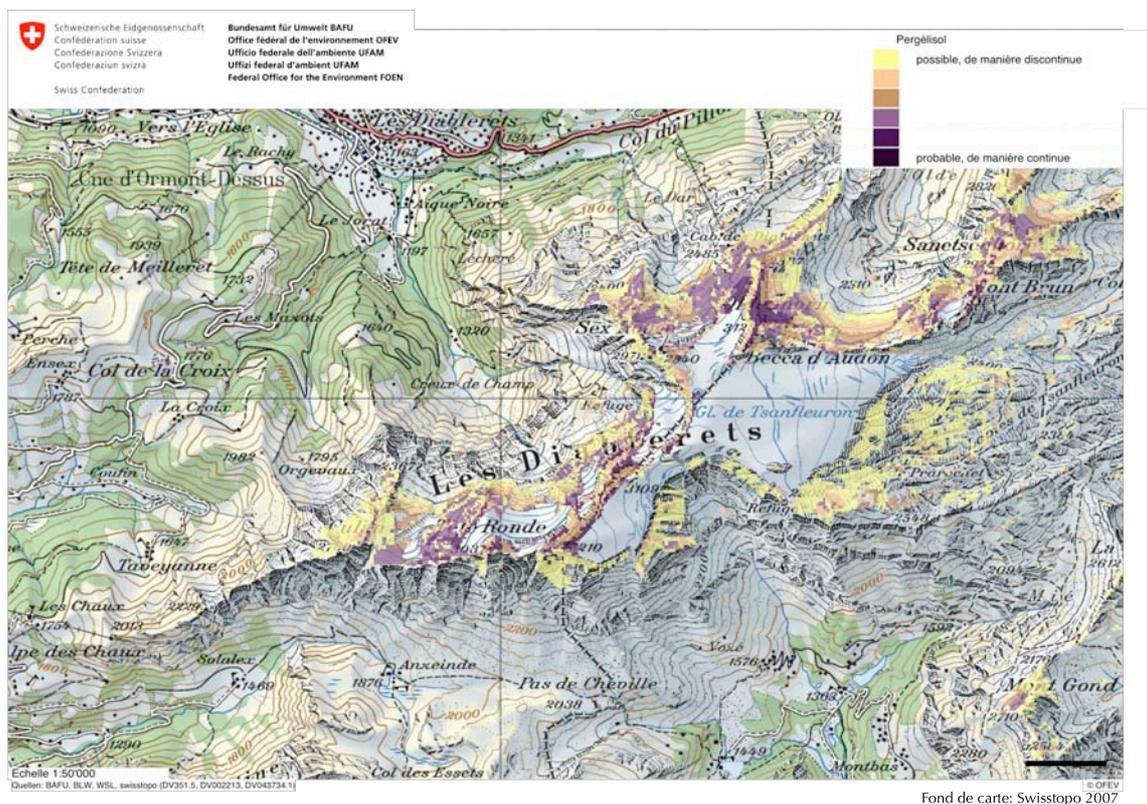


Figure 4.3.1 : Zones de pergélisol possibles et probables autour du massif des Diablerets (source : BAFU, BWL, Swisstopo http://umweltzustand.admin.ch/?reset_session&initialState=permafrost&lang=fr)

Le glacier de Tsanfleuron ainsi que les glaciers environnant le massif des Diablerets sont particulièrement touchés par la hausse des températures car leur zone d'accumulation culmine à 3000 m d'altitude environ. Les glaciers orientés au sud sont également plus exposés à la fonte, à altitude égale. C'est le cas

du glacier de Tsanfleuron. Depuis le début des mesures en 1884, il a déjà perdu près de 1,8 km (figure 4.3.2). Sa diminution a été quasiment continue, avec très peu d'années montrant une augmentation, plus aucune depuis le début des années 1980.

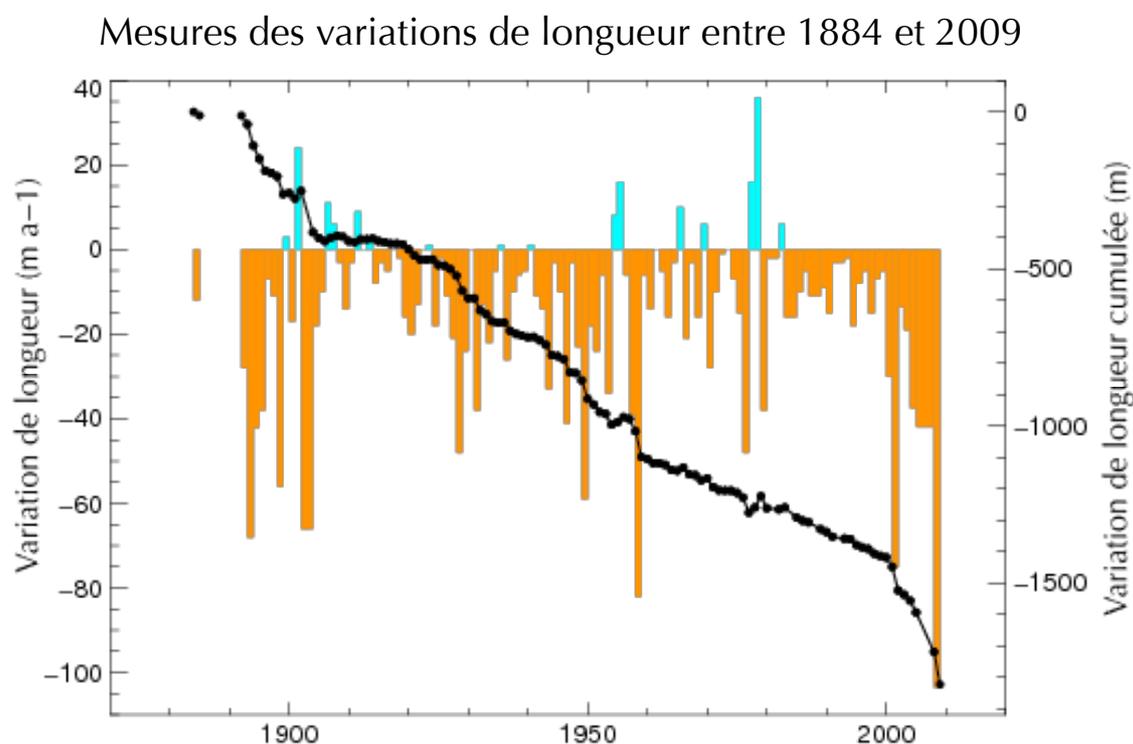


Figure 4.3.2 : Mesures des variations de longueur [m/année et m] du glacier de Tsanfleuron entre 1884 et 2009 (source : ETHZ - VAW, Réseau suisse des observations glaciaires <http://glaciology.ethz.ch/messnetz/index.html>)

La figure 4.3.3 modélise la taille du glacier pour trois dates. Le retrait du glacier de Tsanfleuron a plusieurs conséquences sur le tourisme puisqu'il concerne le domaine skiable. Certaines pistes de ski se trouvaient auparavant sur le glacier, ce qui n'est déjà plus le cas aujourd'hui. Par ailleurs, le retrait du glacier a un impact sur le paysage.

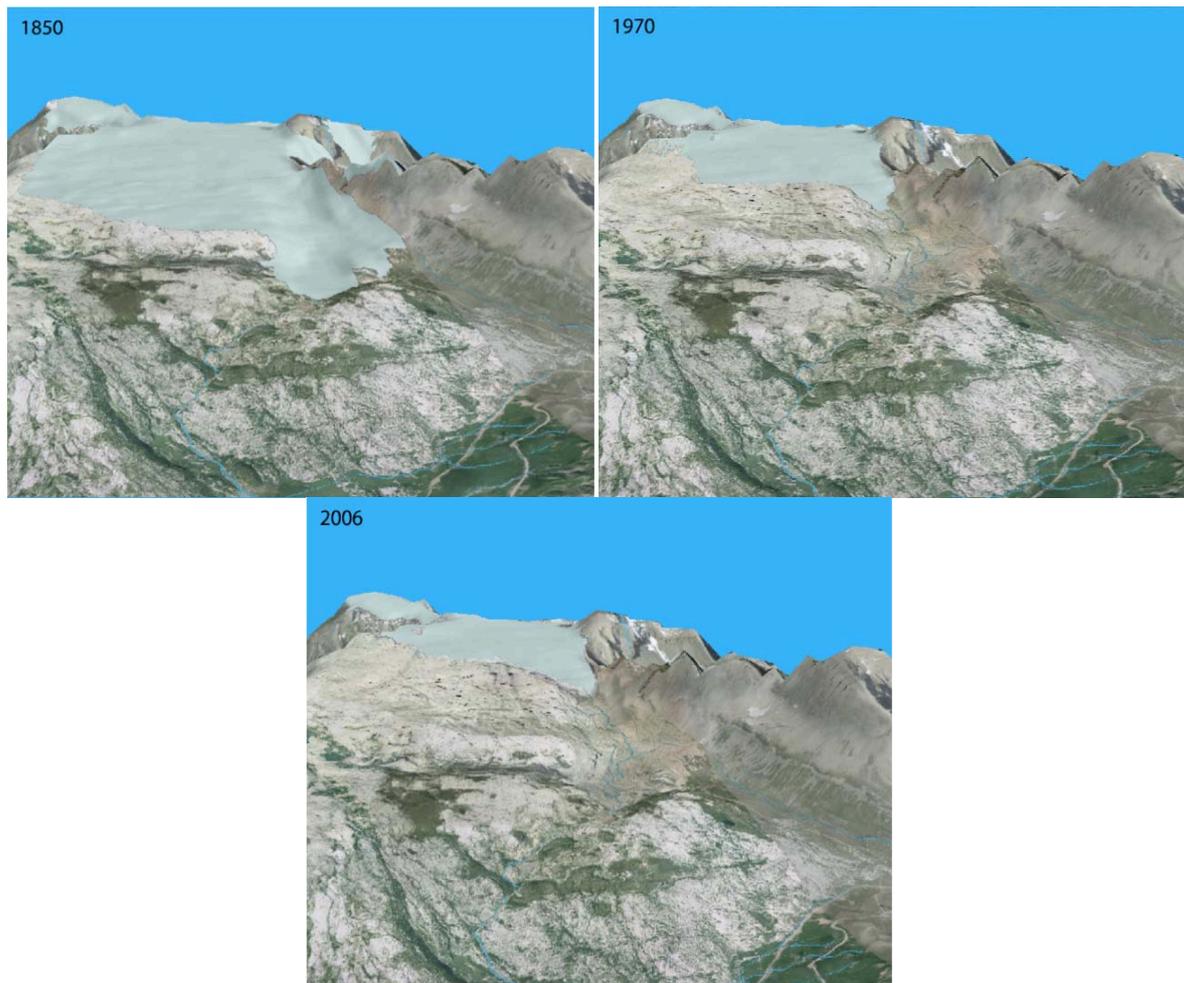


Figure 4.3.3 : Modélisation de la taille du glacier de Tsanfleuron pour 3 dates (Source : Simon Martin, http://www.unil.ch/webdav/site/igul/shared/recherche/Retrait_glacier_1850-2006.swf)

Au niveau suisse, d'ici à 2100, il ne pourrait rester plus que 10% de la surface totale des glaciers de 2002 (figure 4.3.4). Le glacier de Tsanfleuron n'échappera pas à cette tendance. Vu son orientation et son altitude, la fonte se poursuivra rapidement. A terme, dans un délai encore difficile à estimer aujourd'hui, de l'ordre de plusieurs décennies, la fonte totale du glacier supprimera un attrait touristique important de la région. Le dernier scénario effectué pour le glacier de Tsanfleuron date de 2000 (figure 4.3.5).

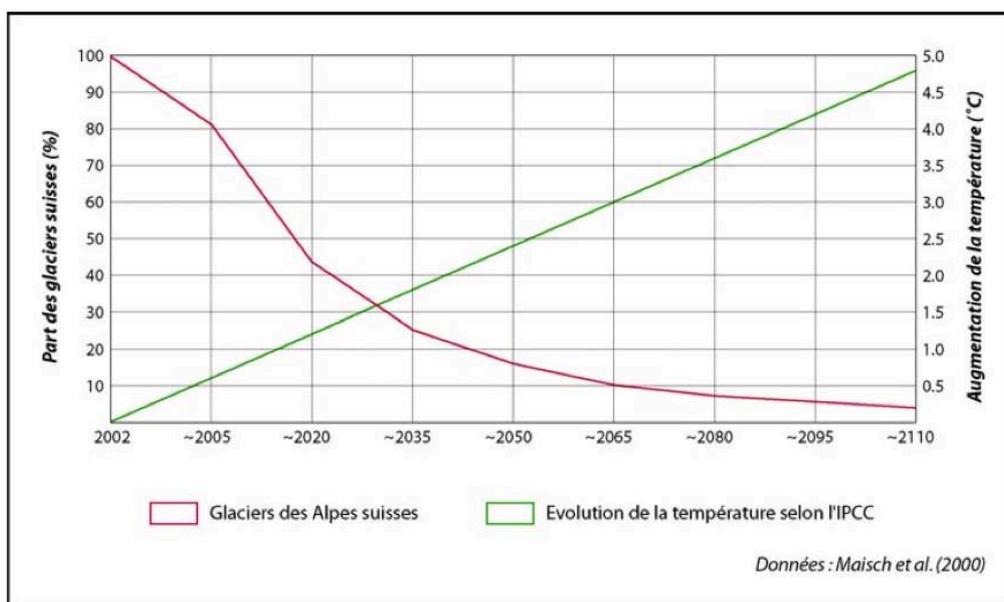


Figure 4.3.4. : Part des glaciers suisses encore existants (%) en fonction de l’augmentation des températures de 2002 à 2100 (Société Suisse de Géomorphologie – Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft SSGm, 2009a)



Figure 4.3.5. : Scénario de retrait pour le glacier de Tsanfleuron. La photo a été prise en octobre 1994. Le scénario de retrait a été établi sur la base des données de (Maisch et al., 2000) (Société Suisse de Géomorphologie – Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft SSGm, 2009a)

4.4. CATASTROPHES NATURELLES

Avec l'augmentation des températures, certaines zones de pergélisol fondent de plus en plus en profondeur pendant les périodes chaudes de l'année. Ceci a pour conséquence de déstabiliser les sous-sols. Les roches n'étant plus tenues entre elles, des éboulements ou des chutes de blocs peuvent se produire. Par ailleurs, lors d'orages, les matériaux meubles dégelés peuvent être emportés sur de grandes distances et créer des laves torrentielles.

Le retrait des glaciers peut également causer des catastrophes naturelles. D'une part, une fois le glacier retiré, les parois rocheuses qui le bordaient se retrouvent sans soutien. Suivant la stabilité des roches en place, il peut en résulter des éboulements ou des chutes de blocs. D'autre part, lors de la fonte d'un glacier, des lacs ou des poches d'eau peuvent se former. Si les barrages de glace ou de pierres qui les retiennent cèdent, il en résulte une crue subite des torrents en aval.

On s'attend ainsi à une augmentation des dangers naturels et des dégâts potentiels. Ceci est également lié à l'évolution de l'aménagement du territoire. Dès lors, la Suisse est en train de se doter de cartes indicatives des différents dangers naturels. Les cartes pour le Canton de Vaud sont en cours de réalisation. On dispose aujourd'hui des cartes indicatives pour tous les dangers naturels gravitaires (1. crues et inondations, 2. laves torrentielles, 3. glissements de terrain, 4. chutes de pierres et de blocs, éboulements, écroulements, 5. affaissements et effondrements, 6. avalanches). La figure 4.4.1 en présente la synthèse.

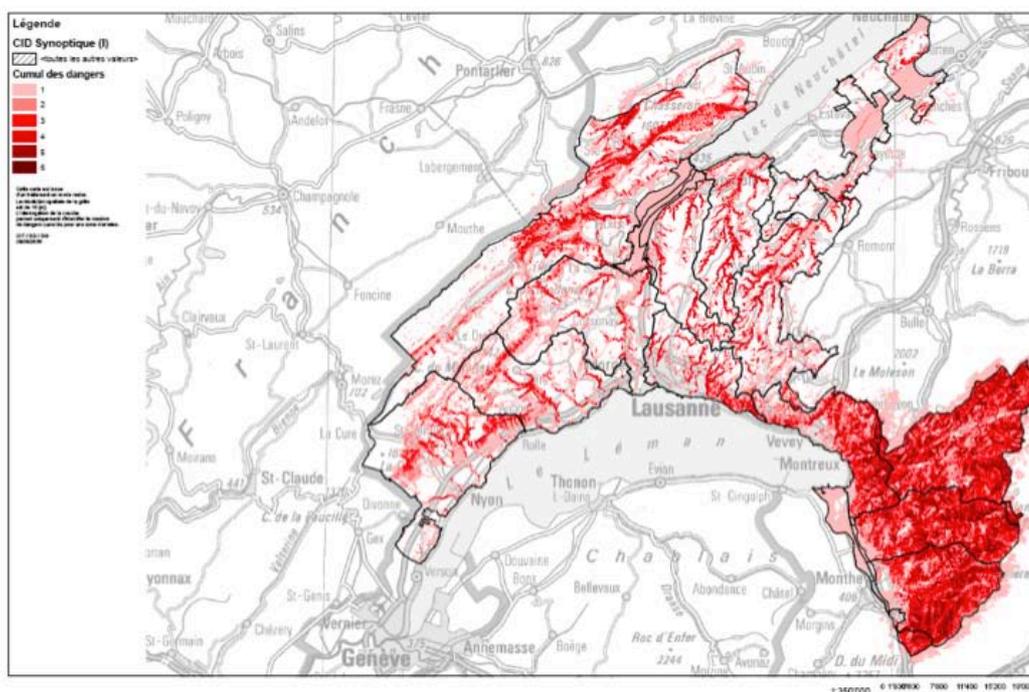


Figure 4.4.1 : Carte indicative synoptique du canton de Vaud : le dégradé rose-rouge reflète le cumul des dangers (de 1 à 6 dangers potentiels). En blanc : absence de danger, en rose : un seul danger, en rouge : plusieurs dangers (source : www.vd.ch/dangers-naturels)

Presque tout le territoire des Alpes vaudoises est concerné, ainsi que certaines zones du Jura. Le site internet Dangers naturels VD (www.vd.ch/dangers-naturels) et le « Guide pratique des cartes indicatives des dangers naturels » publié en 2009⁶ offrent une description fort bien faite de ces différents dangers naturels ainsi que des objectifs de gestion des dangers naturels dans le Canton de Vaud.

Par ailleurs, le Département de la sécurité et de l'environnement tient un recensement des différentes catastrophes survenues dans le Canton de Vaud. Cette liste n'est cependant pas exhaustive ; les plus anciennes avalanches recensées datent par exemple de 1999, alors que le plus ancien aléa recensé date de 1882. Il y a dès lors bien plus d'occurrences pour les périodes récentes. Cependant, même certains aléas récents peuvent ne pas figurer sur la liste si l'Unité dangers naturels n'en a pas eu connaissance. De plus, l'importance des catastrophes n'est pas prise en compte, ainsi une crue ayant fait d'importants dégâts est comptabilisée au même titre qu'une crue n'ayant fait aucun dégât. Ces considérations font qu'il est impossible d'analyser une évolution dans le nombre de catastrophes. Il est possible d'obtenir la liste des catastrophes naturelles mise à jour auprès de l'Unité dangers naturels du Canton de Vaud (www.vd.ch/dangers-naturels). Au niveau suisse, le montant total des dégâts cumulés depuis 1972 suite à certaines catastrophes naturelles (crues, laves torrentielles, glissements de terrain et éboulements) s'élève à près de 14 millions de francs suisses (figure 4.4.2).

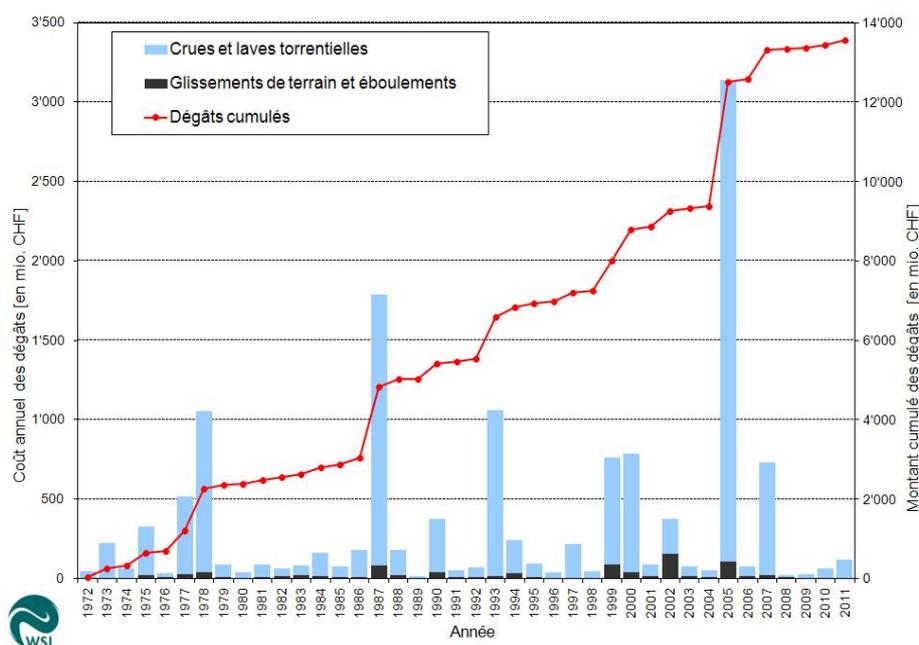


Figure 4.4.2 : Evolution des coûts liés aux dégâts d'intempéries de 1972 à 2011 (valeurs corrigées de l'inflation) (source : WSL)

⁶ UNIL & Tecnat. 2009: Guide pratique des cartes indicatives des dangers naturels. Lausanne: Sur mandat de l'Etat de Vaud, Département de la sécurité et de l'environnement, Service des forêts, de la faune et de la nature, Section gestion forestier, Dangers naturels. Ce guide est téléchargeable sur le site : www.vd.ch/dangers-naturels

Au niveau touristique, la fonte des glaciers du massif des Diablerets jusqu'aux Dents de Morcles pourrait amener une perte de l'attractivité paysagère. De plus, des éboulements de grande ampleur pourraient potentiellement causer des dégâts aux infrastructures touristiques. Les dangers qui sont les plus probables dans les prochaines années pour cette région sont cependant plutôt liés à l'accroissement des précipitations extrêmes qui, si elles tombent sur des zones de pergélisol dégelé, risquent d'emporter le matériel devenu meuble et de former des glissements de terrain, des éboulements ou des laves torrentielles. Si ces dernières atteignent les zones d'activités touristiques ou leurs accès, des dégâts sont à prévoir.

4.5. SYNTHÈSE ET CONSÉQUENCES POUR LE TOURISME

L'augmentation des températures pousse les espèces végétales et animales à s'adapter, migrer en altitude ou disparaître. Durant la phase de transition, des situations de dangers ponctuels pourront survenir, par exemple lorsqu'une forêt protectrice subira d'importantes atteintes d'insectes pathogènes qui ne lui permettront plus d'assurer sa fonction.

Dans les 10 à 30 ans à venir, il ne faut pas s'attendre à une diminution significative du gel du lac de Joux, malgré l'augmentation des températures déjà intervenue et celle qui est attendue. En effet, les températures restent le plus souvent suffisamment basses dans ce type de vallée pour permettre le gel du lac. Durant les hivers secs, le patinage est le plus souvent possible et constitue une activité alternative bienvenue en cas de manque de neige dans le Jura.

Les Alpes vaudoises possèdent plusieurs glaciers à des altitudes ne dépassant guère 3'000 mètres. Comme ailleurs dans les Alpes, ils sont actuellement tous en recul, y compris le glacier de Tsanfleuron. Le recul de ce glacier est régulier et peut bien être anticipé en relation avec les activités touristiques qu'il accueille. En été, les poches d'eau pouvant se former sur les glaciers doivent être surveillées. En outre, la région qui part du massif des Diablerets jusqu'aux Dents de Morcles possède du pergélisol. Comme ailleurs, celui-ci est susceptible de fondre et de déstabiliser les sous-sols. Il doit faire l'objet d'une surveillance pour anticiper une possible catastrophe, des éboulements ou des chutes de blocs pouvant se produire. Des laves torrentielles peuvent également se former lors d'orages.

Dans les Alpes vaudoises surtout, l'aménagement du territoire, qu'il concerne le tourisme ou non, devra impérativement respecter les règles de prudence en ce qui concerne le risque de dangers naturels. L'évaluation de ces risques devra constamment être mise à jour en fonction de l'évolution du climat.

5. LIENS ENTRE LE CLIMAT, LES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES, LES PRÉVISIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET LA FRÉQUENTATION TOURISTIQUE

5.1. ETAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES

Le climat attendu lors d'un séjour touristique fait partie des premières préoccupations des touristes au moment du choix de la destination. Les études qui ont été menées à ce jour montrent que le climat est le 1^{er} facteur qui influence ce choix pour les touristes allemands (table 5.1.1) et le 4^{ème} pour les touristes français (figure 5.1.1)⁷⁸.

	<i>1^{ère} position valeur = 3</i>	<i>2^{ème} position valeur = 2</i>	<i>3^{ème} position valeur = 1</i>	<i>Non choisi valeur = 0</i>	<i>Total choisis</i>	<i>Moyenne</i>
Climat	91	65	40	174	196	1.20
Nature/paysage	62	58	36	214	156	0.91
Culture/histoire/attractions	60	50	33	227	143	0.85
Accès à une mer/lac	53	79	56	182	188	1.01
Prix	17	61	48	244	126	0.60
Hospitalité	17	38	35	280	90	0.44
Logement	14	33	22	301	69	0.35
Sport et activités de loisirs	8	22	19	321	49	0.24
Facilité d'accès	3	22	23	322	48	0.21
Cuisine	2	12	10	346	24	0.11

Table 5.1.1 : Résultats pour les touristes allemands de l'importance de différents paramètres dans le choix des destinations touristiques (d'après Hamilton & Lau, 2006: 241)

⁷ A notre connaissance, il n'existe pour l'instant aucune étude qui analyse les facteurs de choix pour les touristes suisses.

⁸ D'après les auteurs de l'étude (Dubois et al. 2009), le fait que le questionnaire ait été distribué en pleine crise économique explique peut-être la première position du coût financier pour les touristes français.

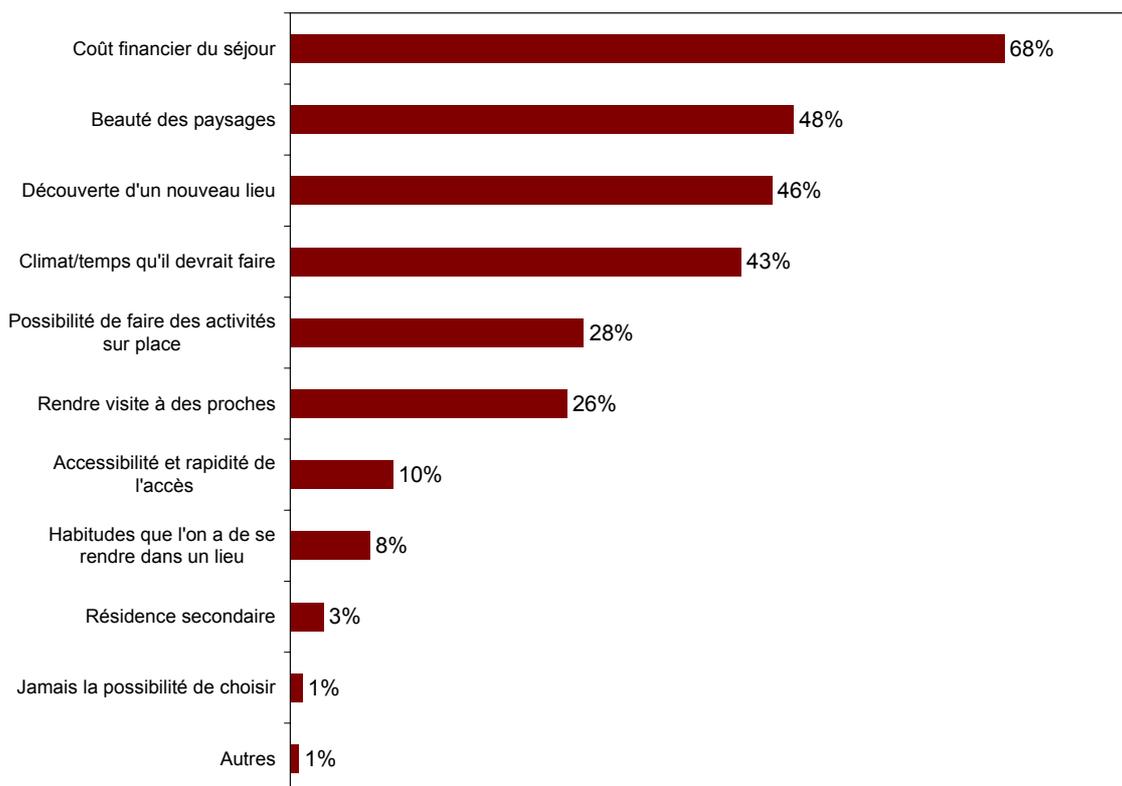


Figure 5.1.1: Résultats pour les touristes français de l'importance de différents paramètres dans le choix des destinations touristiques (Dubois et al., 2009: 30)

Les différences de priorités des facteurs montrent qu'il peut y avoir des divergences culturelles, mais l'importance du climat ressort dans toutes les études. L'ordre d'importance dépend ensuite beaucoup du groupe de touristes consultés en fonction du pays d'appartenance, mais également du profil des touristes (table 5.1.2), voire de la période durant laquelle a eu lieu l'enquête.

Il en est de même lorsque l'on demande aux touristes laquelle des variables climatiques risque le plus de nuire à la réussite de leur futur séjour. Pour les touristes français, c'est un temps pluvieux qui sort en première position (figure 5.1.2). Par contre, les touristes Canadiens, Néo-Zélandais et Suédois, ne considèrent le temps pluvieux comme problématique que pour la montagne (table 5.1.3).

A l'inverse, des températures trop élevées et la sécheresse ne semblent pas être un facteur particulièrement préoccupant pour les touristes français (figure 5.1.2). Les autres études ne se sont pas intéressées à cette question.

Poids important	Poids faible
Les femmes (44%)	Les hommes (41%)
Les jeunes de 18 à 24 ans (49%)	Les personnes âgées de 60 ans et plus (37%)
Les personnes ayant des enfants de moins de 15 ans au foyer (47%)	Les personnes ne déclarant pas d'enfants de moins de 15 ans au foyer (39%)
Les touristes résidents des régions Bassin Parisien (49%), Nord (49%) et Est (50%)	Les touristes résidents des régions Ouest (37%), Sud-Ouest (35%) et Méditerranée (36%)
Les touristes déclarant plus de 3 000 Euros net de revenus mensuels du ménage (50%)	Les touristes déclarant moins de 1 000 (35%), ou entre 1 000 et 1 500 Euros (37%) net de revenus mensuels du ménage

Table 5.1.2 : Le poids du climat dans la prise de décision, selon le profil des touristes français interrogés (Dubois et al., 2009: 32)

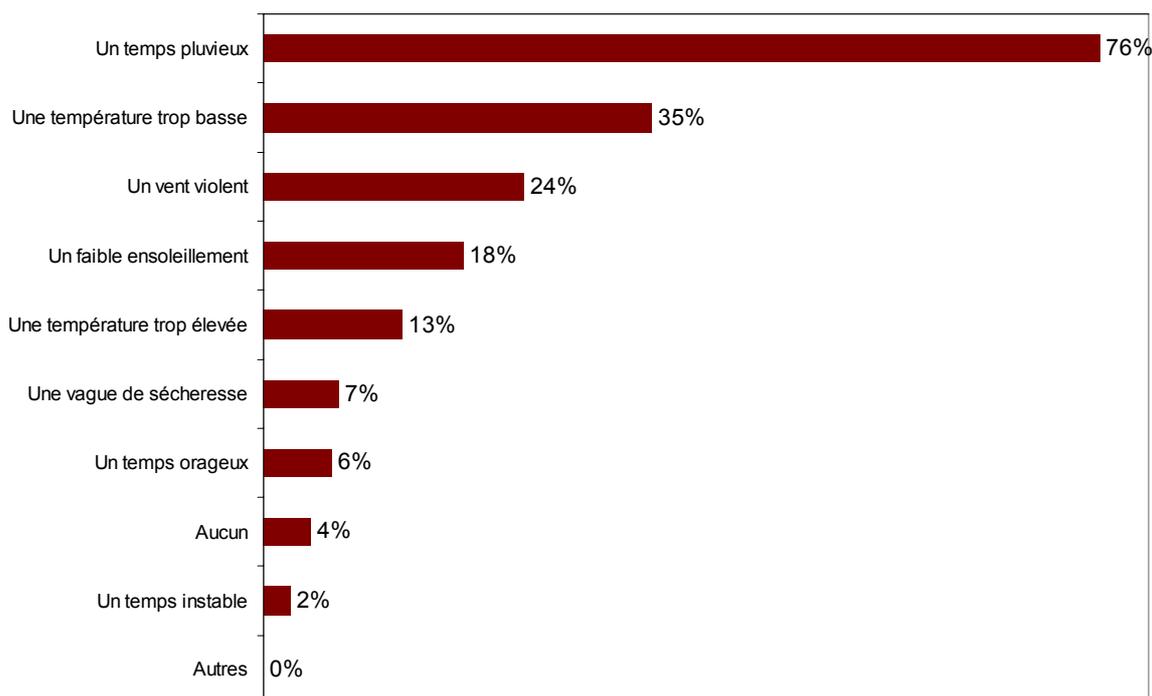


Figure 5.1.2 : Éléments du climat susceptibles de nuire le plus à la réussite du futur séjour pour les touristes français (3 réponses possibles) (Dubois et al., 2009: 34)

	Rang selon l'importance			
	1	2	3	4
Plage	Présence de soleil	Température confortable	Absence de pluie	Absence de pluie
<i>Moyenne</i>	6.14	6.11	5.87	5.13
Ville	Température confortable	Absence de pluie	Présence de soleil	Absence de fort vent
<i>Moyenne</i>	5.98	5.77	5.14	4.75
Montagne	Absence de pluie	Température confortable	Présence de soleil	Absence de pluie
<i>Moyenne</i>	6.04	5.84	5.55	5.41

Table 5.1.3 : Importance des variables météorologiques pour différents environnements touristiques pour les touristes Canadiens, Néo-Zélandais et Suédois. La moyenne donne l'importance relative de chaque variable (de 1 = pas important à 7 = extrêmement important) (d'après Scott et al., 2008: 68).

Si l'on s'intéresse plus précisément aux températures idéales pour la pratique d'activités touristiques, les touristes français donnent des réponses variées suivant leur âge et leur lieu de résidence (figures 5.1.3 et 5.1.4). Le type de séjour et les activités prévus entraînent également des divergences (figure 5.1.5 et 5.1.6).

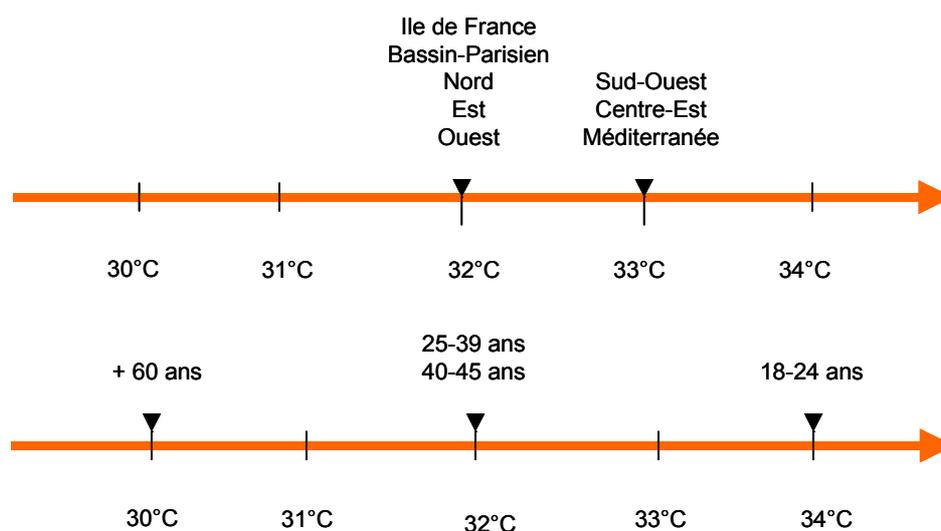


Figure 5.1.3 : Températures à partir de laquelle les touristes français considèrent qu'il fait trop chaud en journée, selon l'âge et la région de résidence (Dubois et al., 2009: 35-36)

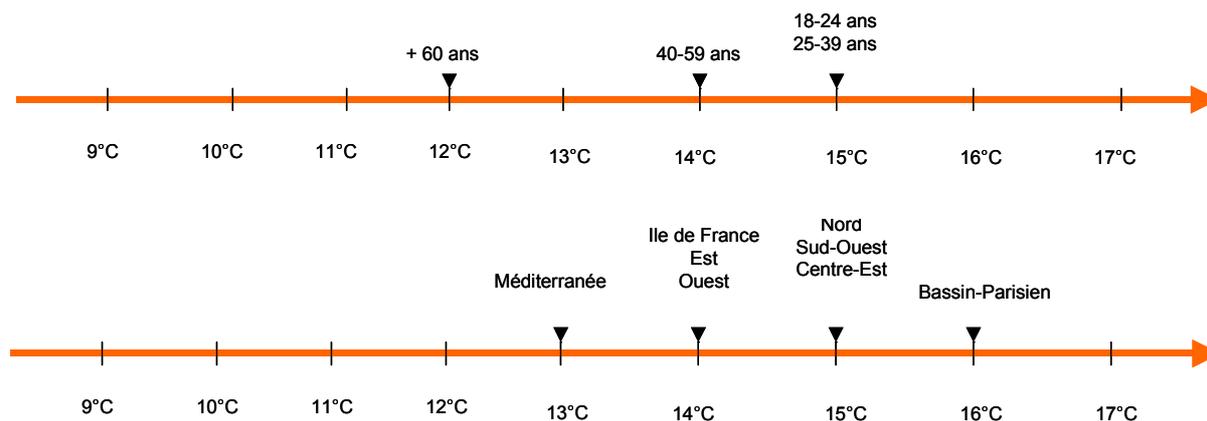


Figure 5.1.4 : Températures à partir de laquelle les touristes français considèrent qu’il fait trop froid en journée, selon l’âge et la région de résidence (Dubois et al., 2009: 37)

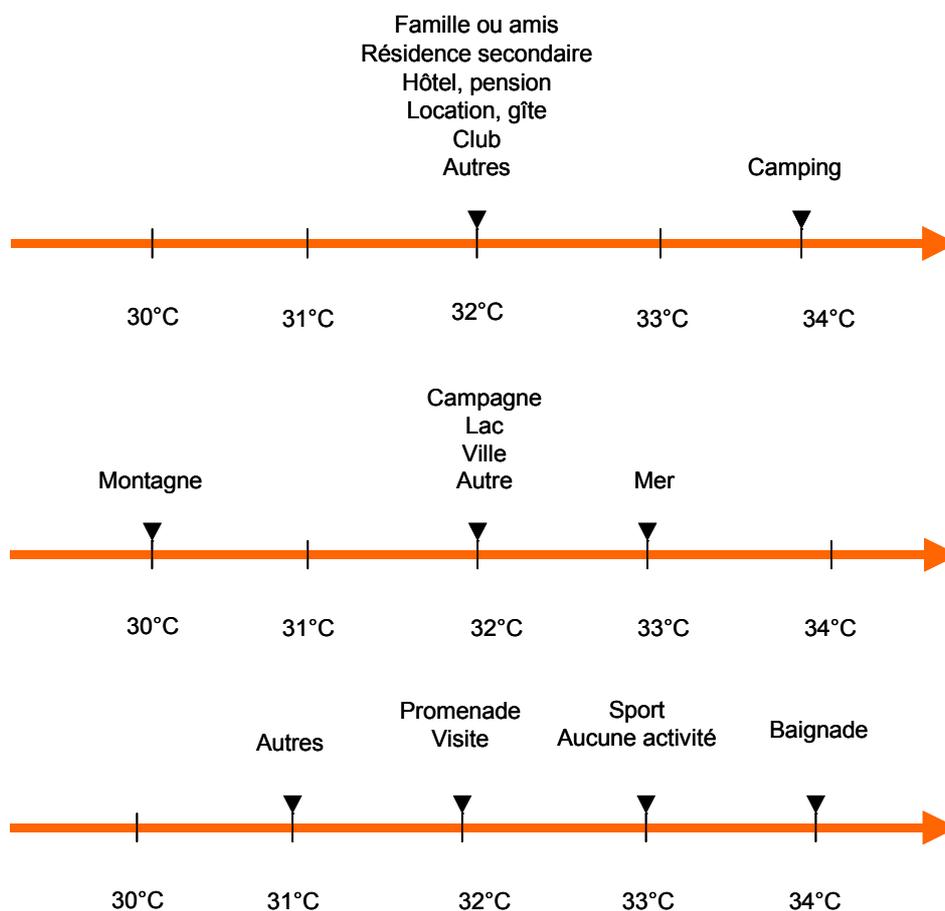


Figure 5.1.5 : Températures à partir de laquelle les touristes français considèrent qu’il fait trop chaud en journée, selon le mode d’hébergement, l’environnement du séjour et les activités prévues (Dubois et al., 2009: 36)

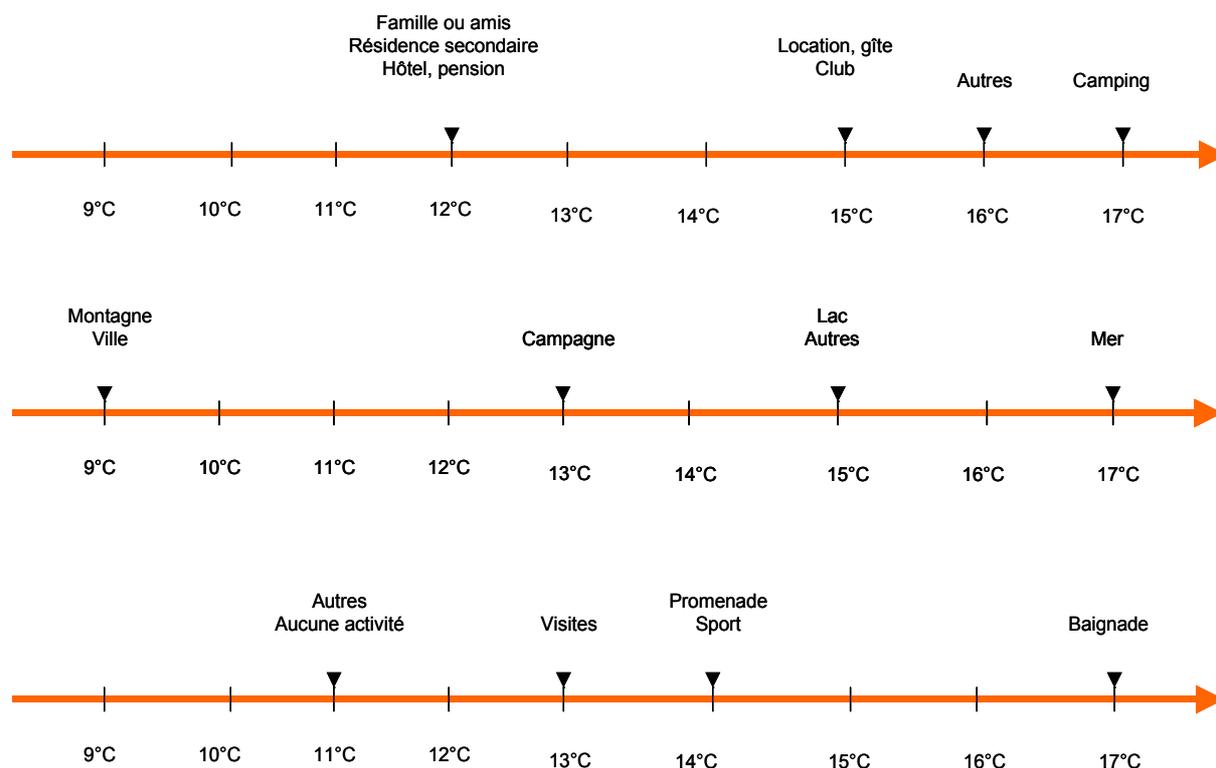


Figure 5.1.6 : Températures à partir de laquelle les touristes français considèrent qu'il fait trop froid en journée, selon le mode d'hébergement, l'environnement du séjour et les activités prévues (Dubois et al., 2009: 37-38)

Les résultats présentés ci-dessus mettent ainsi en évidence que la température maximale journalière à partir de laquelle les touristes français considèrent qu'il fait trop chaud en montagne est en moyenne de 30 °C, et celle à partir de laquelle ces mêmes touristes considèrent qu'il fait trop froid en montagne est en moyenne de 9 °C.

En ce qui concerne les activités extérieures sportives et les promenades, la limite supérieure de la température maximale journalière est fixée en moyenne à 32-33 °C alors que la limite inférieure se situe en moyenne à 14 °C. Notons que plus l'on avance en âge plus les limites de températures acceptables baissent. Ainsi, les seniors considèrent qu'il fait trop chaud à partir de 30 °C, alors que pour les 25-45 ans cette limite se situe à 32 °C et même à 34 °C pour les 18-24 ans. A l'inverse, les seniors fixent la limite à partir de laquelle ils considèrent qu'il fait trop froid en journée (12 °C) entre 2 et 3 °C en dessous de celle des autres catégories d'âge (40-59 ans : 14 °C et 18-39 ans : 15 °C).

Par ailleurs, si l'on s'intéresse aux facteurs qui influencent la décision de partir ou non en séjour touristique, les conditions météorologiques au moment du départ en font partie. Sur un séjour long, planifié à l'avance durant la haute saison (hiver / été), les touristes français interrogés annoncent qu'ils ne

modifieront pas leur séjour si les conditions météorologiques sont mauvaises. Par contre, durant l'intersaison (printemps / automne), ils pourraient le faire (figure 5.1.7).

Les projets de séjours courts et non planifiés risquent d'être annulés également durant la haute saison en cas de mauvais temps et presque assurément durant la basse saison. Les conditions météorologiques sont donc les plus importantes pour les séjours de courtes durées non planifiés à l'avance qui se déroulent au printemps ou en automne.

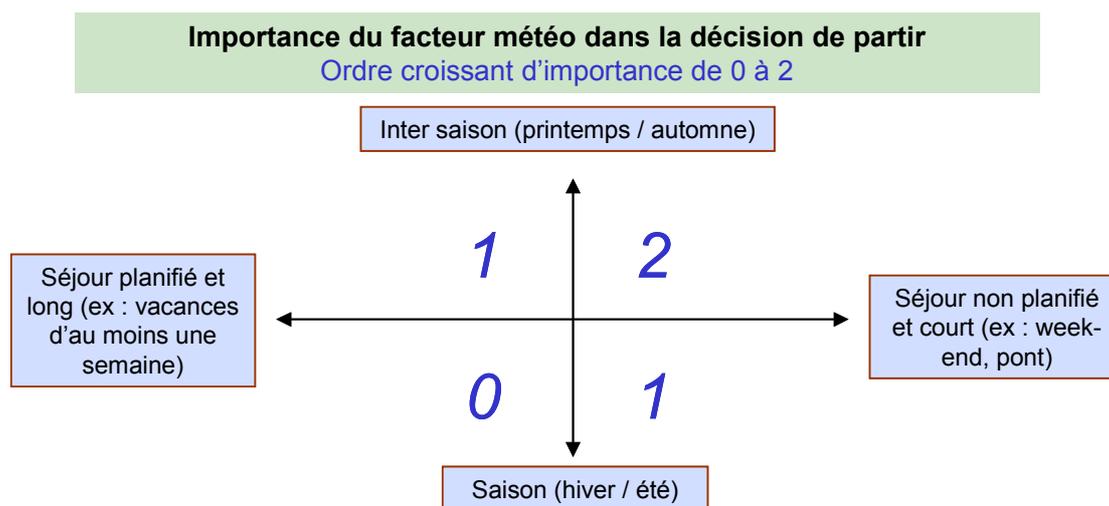


Figure 5.1.7: Importance du facteur météorologique dans la décision de partir (Dubois et al., 2009: 48)

Avant de partir, les touristes se tiennent généralement informés sur les conditions météorologiques de leur lieu de vacances. Les touristes français interrogés à ce sujet ont répondu à 71% qu'ils avaient recours aux informations météorologiques avant de partir soit par le biais des prévisions météo de plusieurs jours à l'avance, de celles du jour pour le lendemain et/ou des bulletins d'alerte et des cartes de vigilance météo (Dubois et al., 2009). Le moyen le plus utilisé pour trouver cette information avant le départ est internet. Les autres sources d'informations journaux, télévision, affichage sont quant à eux privilégiés lors du séjour.

Notons que les attributs météorologiques les plus consultés par les touristes allemands avant le départ sont la température maximale, la température de l'eau, la durée d'ensoleillement et le nombre de jour de pluie (Hamilton & Lau, 2006).

Pour conclure, nous retenons que les liens entre le climat, les conditions ou les prévisions météorologiques d'une destination et la fréquentation touristique sont difficiles à appréhender. En effet, il ressort des quelques résultats présentés ci-dessus que le groupe d'appartenance des touristes consultés semble être le facteur déterminant.

5.2. CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET FRÉQUENTATION TOURISTIQUE DU JURA VAUDOIS

Les corrélations entre la fréquentation touristique dans le Jura Vaudois et l'ensoleillement, la température ou l'enneigement sont pour la plupart significatives, ce qui montre un impact de ces variables météorologiques sur la fréquentation. Les corrélations entre la fréquentation touristique et les précipitations ne sont par contre pas significatives, à l'exception de celles de l'hiver pour la fréquentation des remontées mécaniques. Ceci ne veut pas dire qu'il n'y a pas d'impact mais que celui-ci n'est pas démontré avec les données à disposition. Une des raisons probables est le moment durant lequel se produisent les précipitations. En effet, un orage estival en fin de journée n'aura pas les mêmes conséquences qu'une pluie fine et continue durant une partie voire la totalité de la journée. Cependant, en termes de quantité de pluie tombée, les valeurs peuvent être proches. L'ensoleillement reflète ainsi mieux la réalité des conditions météorologiques en termes de beau ou mauvais temps, propice ou non aux activités à l'extérieur.

Les conséquences du brouillard en plaine sur la fréquentation en altitude n'ont pas donné de résultats significatifs. Ceci est très certainement dû au fait qu'il est difficile de fixer des seuils qui définissent ce qu'est une journée de brouillard en plaine et ensoleillée en altitude.

5.2.1. Musées

Au printemps, plus les températures sont élevées et plus il y a de soleil, moins les musées de plaine et des montagnes jurassiennes sont visités. Le même phénomène se produit en été. A l'inverse, en automne, lorsque les températures sont plus douces, les musées sont plus fréquentés. Les corrélations avec l'ensoleillement ne donnent, quant à elle, pas de tendances significatives. Enfin, en hiver, les résultats obtenus n'étant pas significatifs, ils ne permettent pas de tirer de conclusions.

5.2.2. Restaurants

Les données des restaurants proviennent de deux restaurants situés sur les crêtes et d'un restaurant dans la vallée (environ 1000 m).

Au printemps, en été et en automne, plus les températures sont élevées et plus il y a de soleil, plus la fréquentation des restaurants est importante. En hiver, c'est essentiellement l'ensoleillement qui aura une incidence, même si des températures plus clémentes favorisent également la fréquentation des restaurants.

5.2.3. Bains thermaux d'Yverdon

Au printemps et en été, les bains thermaux sont plus fréquentés lorsque les températures sont plus fraîches et que le ciel est couvert. En automne, les conditions météorologiques semblent ne pas avoir de

conséquences sur la fréquentation des bains. En hiver, les températures ne jouent pas de rôle, l'ensoleillement semble par contre favoriser la fréquentation des bains mais dans une très faible mesure.

5.2.4. Zoo de la Garenne

Au printemps, en automne et en hiver, le zoo de la Garenne est visité lorsque les températures sont les plus élevées et qu'il y a un bon ensoleillement. En revanche, les conditions météorologiques semblent n'avoir aucune incidence sur la fréquentation estivale.

5.2.1. Remontées mécaniques

Les données des remontées mécaniques ne sont disponibles que pour l'hiver. C'est l'ensoleillement qui influence le plus la fréquentation. La quantité de neige a également un impact positif alors que la fréquentation sera moindre les jours de précipitations. Il est à noter que l'impact de l'ensoleillement est plus important en semaine que durant les week-ends. Les températures apparaissent par contre sans conséquences.

5.3. CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET FRÉQUENTATION TOURISTIQUE DES ALPES VAUDOISES

Concernant la fréquentation touristique dans les Alpes vaudoises, nous avons obtenu uniquement les données des remontées mécaniques et des offices du tourisme. Les corrélations entre les variables météorologiques et la fréquentation des offices du tourisme, à l'exception de la température, sont pour la plupart non significatives. Ceci ne veut pas dire que les conditions météorologiques n'ont pas d'impact sur la fréquentation des offices, mais que s'il y a un impact, celui-ci n'est pas visible avec ce type de données. Les corrélations entre la fréquentation des offices de tourisme et la température montrent en revanche que celle-ci influence le nombre de visiteurs à certaines périodes de l'année. Il en va de même pour les corrélations entre la plupart des variables météorologiques et les données des remontées mécaniques.

5.3.1. Remontées mécaniques

L'enneigement est le premier facteur météorologique qui influence la fréquentation des remontées mécaniques en hiver. A partir d'un seuil d'enneigement suffisant, d'autres paramètres interviennent également comme l'ensoleillement et dans une moindre mesure la température. Cependant, c'est surtout en été qu'un bon ensoleillement aura des conséquences positives sur la fréquentation et ce plus particulièrement durant les week-ends. Ceci peut être dû au fait qu'en hiver, une partie des skieurs ont un abonnement de plusieurs jours, ce qui les pousse à monter malgré le mauvais temps.

5.3.2. Offices du tourisme

Au printemps, plus les températures sont basses et les quantités de neige élevées, plus les offices du tourisme sont fréquentés. En été, ce sont des températures élevées qui poussent le plus les touristes à se rendre dans les offices du tourisme. Les autres paramètres météorologiques ne semblent pas influencer la fréquentation. En automne et en hiver, aucune tendance ne ressort.

5.4. SYNTHÈSE

Le climat fait partie des facteurs importants lors du choix d'une destination, mais son importance dépend de la provenance des touristes. Les conditions météorologiques au moment du départ font également partie des facteurs de décision. La décision d'annuler un séjour dépend de la période et de la longueur de celui-ci. Un séjour long, planifié à l'avance durant la haute saison (hiver / été), ne sera généralement pas modifié si les conditions météorologiques sont annoncées mauvaises. Par contre, durant l'intersaison (printemps / automne), cela pourrait davantage être le cas. De plus, les projets de séjours courts et non planifiés risquent de ne pas se réaliser également durant la haute saison en cas de mauvais temps et presque assurément durant la basse saison.

Les conditions météorologiques sont donc les plus importantes pour les séjours de courtes durées non planifiés à l'avance et qui ont lieu à l'intersaison (printemps ou automne).

Parmi les variables météorologiques qui influencent la fréquentation touristique, l'ensoleillement est le facteur qui a le plus d'impact, sauf en automne où seule la température semble avoir une influence. Durant les autres saisons, un bon ensoleillement favorise les activités de plein air alors qu'en cas de mauvais temps, ce sont les visites à l'intérieur qui sont privilégiées. Le beau temps favorise par contre également la fréquentation des restaurants. Par ailleurs, la température joue aussi un rôle dans la fréquentation touristique mais dans une moindre mesure comparée à l'ensoleillement. Les températures élevées favorisent les activités de plein air. Enfin, l'enneigement est plutôt à considérer comme un pré-requis. A partir du moment où il est suffisant, d'autres variables auront une influence.

6. CONSÉQUENCES ET PERSPECTIVES POUR LE TOURISME EN HIVER

6.1. FIABILITÉ DE L'ENNEIGEMENT ET VIABILITÉ DES DOMAINES SKIABLES

Une quantité d'enneigement suffisante durant la saison hivernale est un prérequis à la réussite d'une saison pour la majorité des prestataires touristiques et notamment pour les remontées mécaniques et les centres nordiques. Avec l'augmentation des températures ces dernières années et la diminution de l'enneigement (cf. chapitre 3), un enneigement suffisant n'a pas été garanti chaque année aux altitudes les plus basses et risque de l'être de moins en moins dans les années à venir.

Plusieurs études et rapports suisses (Abegg, 1996; Abegg et al., 2007; Buerki, 2000; Elsasser & Buerki, 2002; Koenig & Abegg, 1997; Mueller & Weber, 2008; OcCC-ProClim, 2007) se sont intéressés à la viabilité des domaines skiables suisses. Pour ce faire, elles ont défini un nombre de jours minimal avec une quantité de neige suffisante pour que les remontées mécaniques soient viables. Ces études ont également établi une ligne de sécurité de l'enneigement, soit l'altitude la plus basse à laquelle l'enneigement naturel est assuré durant un certain nombre de jours. Les résultats de ces études sont sensiblement tous les mêmes car toutes considèrent qu'il faut au minimum 100 jours du 1^{er} décembre au 15 avril avec un enneigement minimal de 30 cm pour qu'une station soit viable (table 6.1.1 et 6.1.2⁹).

Aux températures actuelles (2000), on considère que l'enneigement naturel est assuré dès 1200 m (table 6.1.1). Selon ces études, les stations qui ont certaines ou toutes leurs pistes en dessous de ce seuil sont déjà en difficulté. Il s'agit pour le canton de Vaud essentiellement de la région du Jura. Avec une augmentation de 2 °C, soit les prévisions pour environ 2050, seules un peu plus de la moitié des stations des Alpes vaudoises verraient leur enneigement naturel assuré (figure 6.1.2).

⁹ Il est à noter que le rapport de Suisse Tourisme « 2030: le tourisme suisse face aux changements climatiques » reprend les mêmes résultats que ceux présentés dans la table 6.1.2. Par ailleurs, le rapport Furger (2003) a également uniquement tenu compte de l'altitude.

Region	Number of ski resorts	Snow-reliability					
		1200 masl		1500 masl		1800 masl	
		No.	%	No.	%	No.	%
Jura	15	4	27	1	7	0	0
Alps (Vaud + Frib.)	19	16	84	7	37	4	21
Valais	54	54	100	52	96	40	74
Bern (ex. Jura)	35	30	86	20	57	12	34
Central Switzerland	35	26	74	13	37	7	20
Ticino	8	8	100	3	38	2	25
Eastern Switzerland	18	11	61	6	33	3	17
Grisons	46	46	100	42	91	33	72
Switzerland	230	195	85	144	63	101	44

Table 6.1.1 : Nombre de stations de ski avec une sécurité d'enneigement en 2000 (Buerki, 2000; Koenig & Abegg, 1997)

Sécurité d'enneigement dans les domaines skiables suisses									
Région	Nombre de domaines skiables	Réchauffement							
		Aujourd'hui		+ 1°C*		+ 2°C*		+ 4°C*	
		Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%
Alpes VD+FR	17	17	100	11	64.7	9	52.9	1	5.9
Valais	49	49	100	49	100	49	100	39	79.6
Berne (sans Jura)	26	25	96.2	22	84.6	16	61.5	3	11.5
Suisse centrale	20	18	90	15	75	11	55	4	20
Tessin	4	4	100	3	75	2	50	0	0
Suisse orientale	12	10	83.3	7	58.3	7	58.3	1	8.3
Grisons	36	36	100	35	97.2	35	97.2	30	83.3
Suisse	164	159	97	142	86.6	129	78.7	78	47.6

* Horizon temporel: +1 °C: années 2020 env.; +2 °C: années 2050 env.; +4 °C: vers la fin du siècle.

Table 6.1.2 : Sécurité d'enneigement dans les domaines skiables suisses (Abegg et al., 2007). « Aujourd'hui » correspond aux années 2000.

Plusieurs remarques sont à faire concernant les résultats de ces études et leur pertinence pour le canton de Vaud. Tout d'abord, la définition d'une sécurité d'enneigement fixée à 100 jours du 1^{er} décembre au 15 avril avec au minimum 30 cm de neige est une définition qui privilégie l'altitude. En effet, plus les stations sont situées à haute altitude plus leur enneigement est assuré. Ceci n'est pas incorrect mais ne reflète pas toute la réalité des conditions permettant l'enneigement minimal requis pour la pratique du ski alpin, puisque seul le facteur altitudinal est pris en compte. De plus, ces études ne tiennent pas compte des possibilités d'enneigement artificiel. Enfin, elles ne se sont intéressées qu'aux domaines skiables. Aucune étude importante ne s'est intéressée à la sécurité de l'enneigement pour les autres activités touristiques extérieures telles le ski nordique, les randonnées en raquettes, la luge, etc.

C'est pourquoi, dans ce chapitre, nous présentons les différents facteurs qui vont influencer l'enneigement des zones d'activités touristiques en extérieur liées à la neige. Pour ce faire, nous avons procédé à des entretiens semi-directifs auprès des responsables techniques, des pisteurs, des responsables administratifs et/ou des directeurs des remontées mécaniques et/ou des centres nordiques des Alpes et du Jura vaudois. Au total 21 personnes ont été rencontrées.

Nous avons classé neuf facteurs distincts. Pour la plupart de ces facteurs, il est difficile de définir de manière précise leur impact en termes quantitatifs sur l'enneigement total. Ce d'autant plus qu'ils sont généralement couplés les uns aux autres. Par ailleurs, il arrive fréquemment qu'une zone d'activité, telle une piste de ski, ait plusieurs types d'un seul facteur qui se succèdent de haut en bas, notamment en termes de rugosité du sol ou d'orientation.

Dès lors, on peut dire que la hauteur minimale de neige requise est dépendante de la situation de chaque piste/zones d'activités liées à la neige. Si l'on souhaite connaître les besoins en enneigement d'un domaine skiable ou plus largement d'une station de ski, il serait utile de cartographier les besoins de chaque piste de ski/zone d'activités extérieures liées à la neige. Des prévisions précises concernant l'évolution de la fiabilité de l'enneigement pourraient ainsi être fournies.

6.1.1. Précipitations hivernales régionales

Au chapitre 2, nous avons présenté les différences régionales des précipitations (figure 2.3.1, 2.3.2 et 2.3.3). Il en ressort que certaines régions sont bien plus arrosées que d'autres. En hiver, si les températures sont négatives ou proche de 0 °C, les régions qui bénéficient de quantités de précipitations importantes auront ainsi plus rapidement l'enneigement permettant la pratique des activités extérieures liées à la neige. Il faut cependant toujours garder à l'esprit que, sous nos latitudes, les quantités de précipitations varient fortement d'une année à l'autre.

6.1.2. Qualité de la neige

Il existe une multitude de types de neige fraîche qui vont essentiellement dépendre de la température de l'air au moment des précipitations. La neige se forme dans l'atmosphère à des températures inférieures à 0 °C mais peut traverser des couches d'air de plus de 0 °C sans fondre. Dans ce genre de situation, la

limite de l'enneigement se situe ainsi en général 300 m en dessous de l'isotherme 0 °C (Fauve et al., 2002). Plus l'air est chaud, plus la neige est humide, compacte et lourde (figure 6.1.1).

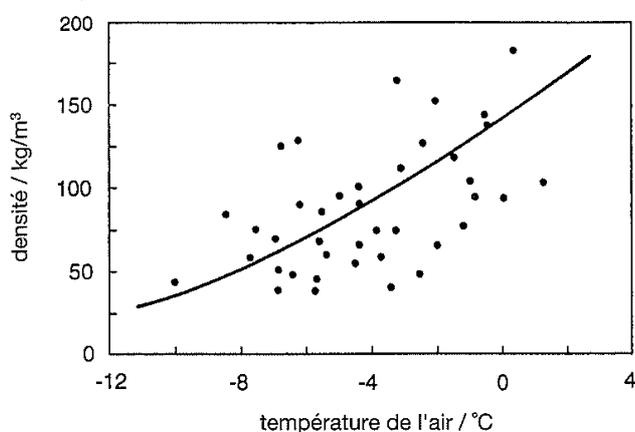


Figure 6.1.1 : Influence de la température de l'air sur la densité de la neige fraîche (Pomeroy & Gray, 1995 modifié par Fauve et al., 2002)

Deux méthodes principales permettent aux spécialistes de comparer le type de neige : la température et la densité. Une neige à -10 °C, par exemple, sera extrêmement poudreuse. Lors du damage d'une piste de ski alpin, par exemple, il faut compter sur une perte de 80% de son épaisseur. Selon les spécialistes, la meilleure neige est celle qui a une température de -3 °C, ce qui entraîne une perte de 50% de son épaisseur lors du damage. La densité moyenne de la neige d'une piste de ski alpin se situe entre 400 et 500 kg/m³. La densité de la neige fraîche naturelle varie entre 20 et 300 kg/m³ avec une moyenne à 100 kg/m³. La neige artificielle, quant à elle, a une densité comprise entre 300 et 500 kg/m³ (Fauve et al., 2002).

Les données de neige fournies tous les jours par les stations de mesures d'enneigement n'indiquent ni la température de la neige, ni sa densité. L'usage des données de hauteur brute de neige pose ainsi problème. Ce d'autant plus qu'après quelques jours, la neige se tasse naturellement et son épaisseur diminue.

6.1.3. Vent

Une zone d'activités sportives hivernales exposée au vent comme une crête par exemple nécessitera plus de neige tombée qu'une autre entourée de forêt. En effet, le vent déplace la neige et diminue les quantités de neige des zones exposées. Il est cependant possible de les protéger en créant des barrières à vent, soit par la pose de filets, soit en construisant des tas de neige. Ceci peut se faire de manière artificielle à l'aide de canons à neige ou en déplaçant la neige naturelle.

Le vent a également une influence sur la température de la neige. Plus le vent est fort, plus l'échange thermique sera important. La température de l'air en cas de vent joue bien évidemment un rôle

important. Par vent chaud, tel le fœhn, le processus de fonte en surface est considérablement accéléré alors qu'un vent fort par températures basses accentue le refroidissement (Fauve et al., 2002).

6.1.4. Altitude

Avec une diminution moyenne des températures maximales de 0,44 °C par 100 m d'altitude en hiver (décembre – janvier – février) (Baeriswyl et al., 1997) (cf. chapitre 2), les zones d'activités touristiques extérieures hivernales de haute altitude sont moins exposées à la fonte de la neige ou aux précipitations sous forme de pluie. Avec la poursuite de l'augmentation moyenne des températures observées en Suisse depuis 1970, la limite du 0 °C va monter en altitude ce qui aura pour corollaire de décaler la limite moyenne de l'enneigement de 230 m / par degré d'augmentation (cf. chapitre 3).

6.1.5. Rayonnement solaire et orientation

Les zones d'activités touristiques en plein air peuvent recevoir deux types de rayonnement : le rayonnement solaire à ondes courtes (ultra-violet) qui provient directement du soleil et le rayonnement terrestre à ondes longues (infrarouge). En cas de couverture nuageuse, le rayonnement infrarouge se réverbère dans les nuages et contribue à chauffer l'atmosphère. Durant la journée, la perte d'énergie par rayonnement infrarouge est compensée en partie par l'apport du rayonnement solaire direct. Même en cas de couverture nuageuse, une partie des rayons solaires atteignent la surface neigeuse.

Le rayonnement net est généralement utilisé pour comprendre l'influence des rayonnements ultra-violet et infrarouge sur les propriétés de la neige. Celui-ci correspond à la différence entre le rayonnement solaire à ondes courtes et celui à ondes longues émis et captés (Fauve et al., 2002). Si cette différence est positive, soit que la surface neigeuse reçoit plus de rayonnement qu'elle n'en émet, sa température augmente. À l'inverse, sa température diminue lorsque le bilan est négatif. La neige réagit cependant différemment si sa température est inférieure à 0 °C ou exactement de 0 °C. Dans le premier cas, elle va simplement se réchauffer lors d'un rayonnement net positif et se refroidir lorsqu'il est négatif. Par contre, si elle a une température de 0 °C, elle commence à fondre en surface lorsque le rayonnement net est positif et à geler s'il est négatif (Fauve et al., 2002). Ce dernier phénomène se produit généralement les nuits sans nuage. La température de la masse d'air accentuera ou réduira bien évidemment le processus de gel ou de fonte.

Le rayonnement solaire direct hivernal varie suivant les mois de l'année et les heures de la journée. En décembre, il est de 83 W/m² et augmente jusqu'en avril pour atteindre 1045 W/m² (Rey, 1986). Il en résulte un apport calorifique bien moins important durant les mois d'hiver. Si la température de la neige est inférieure à 0 °C, la neige peut ainsi rester poudreuse même si la zone a été ensoleillée toute la journée.

Le type de neige joue un rôle sur l'absorption et la réflexion du rayonnement solaire. Une surface couverte de neige fraîche absorbe seulement 5% du rayonnement et, de ce fait, en réfléchit 95%, alors

qu'une neige ancienne, respectivement humide, en absorbe jusqu'à 30%, respectivement 50% (Fauve et al., 2002).

L'orientation et le degré de déclivité d'une pente ont un effet sur le rayonnement direct du soleil qu'une zone d'activités touristiques recevra. Durant le mois de décembre, par exemple, une zone située sur un versant sud avec une déclivité de 30° recevra un rayonnement presque deux fois et demie plus important qu'une surface horizontale (Fauve et al., 2002). Les orientations nord et est, quant à elles, ne subissent qu'un faible rayonnement solaire en hiver. Cela a pour conséquence que la neige y restera plus longtemps poudreuse.

Il est à noter que les zones d'activités sportives orientées au sud et à l'ouest sont généralement plus appréciées des touristes car elles sont plus ensoleillées.

6.1.6. Rugosité du sol

La rugosité du sol affecte considérablement les besoins minimaux en enneigement. Un pierrier nécessite, par exemple, une couverture neigeuse quatre à six fois plus importante qu'une prairie uniforme. Nous les avons répertoriés en sept types différents que l'on retrouve dans les Alpes et le Jura vaudois.

Marais ou prairie uniforme et sans cailloux avec < 10% de pente

Les marais ou prairies peu pentues sont des terrains qui ne nécessitent que peu de neige (5 à 7 cm de neige tassée) voire pas du tout. En effet, avec une bonne couche de givre, il est possible d'y skier. Ces sols n'ont pas de cailloux. Pour le ski alpin, ils présentent le désavantage de ne pas être pentus. Ils seront dès lors plus favorables à d'autres activités telles le ski de fond, les raquettes à neige, etc.



Figure 6.1.2 : Marais

Prairie uniforme et sans cailloux

Les prairies uniformes et sans cailloux sont des terrains qui nécessitent peu d'enneigement, 10 à 15 cm de neige tassée pour le ski alpin, par exemple, tout en pouvant être pentus. Il est cependant délicat de

n'avoir que ce type de terrain en termes de paysages et de biodiversité comme nous le mentionnons au point 6.2.5.



Figure 6.1.3 : Prairie uniforme et sans cailloux

Glacier

Les glaciers sont évidemment très intéressants en termes d'enneigement car, le sol étant gelé, la neige qui tombe s'y accumule facilement. Les crevasses sont par contre un problème car, suivant leur profondeur, elles ont besoin de grandes quantités de neige pour être comblées. Des travaux d'aménagement ou le tracé des pistes et chemins doivent être prévus en conséquence.

Avec le changement climatique et le retrait des glaciers, certaines zones d'activités touristiques qui se trouvaient anciennement sur de la glace se situent actuellement sur du rocher et des pierriers, ce qui a des conséquences sur l'enneigement minimal requis pour la pratique des activités sportives.

S'il n'y a pas de crevasses et que le glacier est homogène, 15 à 20 cm de neige tassée suffisent pour skier.



Figure 6.1.4 : Glacier (à gauche) et rocher et pierrier après le retrait du glacier (à droite)

Bordure de forêt

Nous entendons par bordure de forêt les espaces qui ont des troncs coupés ou qui sont défrichés. Les zones dessouchées deviennent des prairies ou des pâturages. La hauteur des souches va évidemment influencer les besoins minimaux en enneigement. En moyenne, 15 à 25 cm de neige tassée suffisent pour le ski alpin.



Figure 6.1.5 : Bordure de forêt

Pâturage sans gros cailloux

Nous distinguons les pâturages sans gros cailloux des prairies car ceux-ci ne présentent pas un sol uniforme contrairement aux prairies. Le bétail crée de petites terrasses tout au long de la pente ce qui amène de fortes irrégularités au sol. Les besoins minimaux en enneigement sont donc plus importants. Une piste de ski traversée par une route carrossable a également besoin de plus de neige car il y a rupture dans la pente. Des aménagements sont parfois prévus afin de supprimer cette rupture. Ceci a lieu, par exemple, lorsque la route traverse la piste d'un télésiège. Les routes peuvent par contre être appréciées pour y faire passer les sentiers raquettes ou les pistes de ski de fond. En règle générale, 25 à 40 cm de neige damée sont suffisants pour l'ouverture d'une piste de ski alpin sur un pâturage sans gros cailloux.



Figure 6.1.6 : Pâturage sans gros cailloux (à gauche) et pâturage traversé par une route (à droite)

Pâturage avec gros cailloux

En plus des terrasses dues au piétinement du bétail, les gros cailloux présentent des obstacles à un enneigement optimal. Plus le sol d'une piste est mouvementé, plus il nécessite de neige. On compte un minimum de 45 à 60 cm de neige damée pour skier sur ce type de sol.



Figure 6.1.7 : Pâturages avec gros cailloux (à gauche) et pâturage non uniforme (à droite)

Pierrier

Il existe différents types de pierriers. Les pierriers avec de petites pierres sont évidemment plus favorables que ceux avec de gros rochers. Les pistes sur pierriers se situent le plus généralement à haute altitude. Il faut un minimum de 60 cm de neige tassée pour pouvoir skier sur pierrier.



Figure 6.1.8 : Pierrier avec petites pierres (à gauche) et avec de gros rochers (à droite)

Besoins minimaux en enneigement par type de rugosité du sol

La table 6.1.3 résume les besoins en enneigement qui permettent l'ouverture des pistes de ski alpin en fonction du type de sol. Les autres activités touristiques extérieures liées à la neige demandent le plus souvent moins de neige. Le ski nordique, par exemple, requiert environ 15 cm de neige damée puisque les pistes sont généralement peu pentues et évitent les terrains trop tourmentés.

Type de sol	Besoins minimaux de neige au sol	
	Neige fraîche à -3 °C [cm]	Neige damée [cm]
Marais ou prairie avec < 10% de pente	10 – 15	5 – 7 gelée ou du givre
Prairie uniforme et sans cailloux	20 – 30	10 – 15
Glacier	30 – 40	15 – 20
Bordure de forêt	30 – 50	15 – 25
Pâturage sans gros cailloux	50 – 80	25 – 40
Pâturage avec gros cailloux	90 – 120	45 – 60
Pierrier	> 120	> 60

Table 6.1.3 : Types de sol et besoins minimaux en neige fraîche à -3 °C [cm] et correspondance en neige damée [cm] (Serquet, soumis)

Profil fréquent dans les Alpes et le Jura vaudois

La plupart des pistes de ski alpin des Alpes et du Jura vaudois sont sur pâturages, avec ou sans gros cailloux, ou sur prairies. Cependant, certains hauts de pistes des Alpes vaudoises sont situés sur des pierriers.

Le ski nordique, les raquettes à neige, les tours en chiens de traîneaux, le ski jöring, etc. se pratiquent essentiellement sur des pâturages enneigés, des bordures de forêts voire dans la forêt et des routes forestières ou goudronnées.

La luge et le bob se pratiquent généralement sur des routes enneigées ou sur des pâturages.

6.1.7. Déclivité et largeur de la pente

Les pentes qui présentent une déclivité supérieure à 25%, soit les pistes rouges et noires pour le ski alpin, nécessitent plus de neige. Les skieurs faisant généralement plus de virages sur ce type de pistes, celle-ci est fortement poussée vers l'aval. Afin que l'enneigement soit assuré tout au long d'une journée de ski, le minimum de neige requis sera plus important que sur une piste ayant une déclivité moindre.

La largeur de la pente a également un effet sur la poussée de la neige. Ainsi, les pistes étroites subissent une abrasion de leur neige plus importante car les skieurs se répartissent sur un espace réduit. Même les pistes qui présentent une déclivité inférieure à 25% (pistes bleues) subissent une poussée de leur neige vers l'aval.

En définitive, plus une piste est raide et étroite, plus il faut de neige. Si les quantités de neige sont faibles, cela nécessite de remonter tous les soirs la neige poussée vers l'aval par les skieurs.

La déclivité est moins importante pour les besoins en enneigement des autres activités sportives hivernales.

6.1.8. Fréquentation

Le nombre de skieurs alpins ou nordiques fréquentant une piste a un effet sur son usure. Il en va de même pour toutes les activités. Ainsi, une zone fortement fréquentée sera rapidement usée. Ce phénomène est cependant plus extrême encore avec le ski alpin vu que les skieurs déplacent de manière accrue la neige sur les côtés et en aval. Il est généralement admis qu'une piste de ski alpin avec deux fois plus de skieurs nécessite deux fois plus de neige à remonter avec les dameuses.

6.1.9. Préparation des pistes

La préparation des pistes de ski alpin a énormément évolué ces dernières années avec l'usage généralisé des dameuses. L'utilisation de câbles permettant de treuiller les dameuses afin qu'elles puissent remonter la neige poussée en aval des pentes raides a également fortement amélioré la qualité des pistes. Enfin, l'utilisation de plus en plus fréquente de GPS dans le but de déterminer les besoins en enneigement précis de chaque zone de pistes est un autre exemple de l'optimisation au maximum de l'usage de la neige. Des projets pilotes sont actuellement en cours dans plusieurs stations des Alpes. La mise à profit maximal de l'enneigement existant est devenue importante pour la plupart des stations de ski alpin.

Bien évidemment un minimum d'enneigement de base sera toujours requis. Par contre, une fois ce seuil atteint, les progrès en matière de préparation des pistes permettent, et permettront certainement encore de manière accrue, de rentabiliser au maximum la neige à disposition.

Les pistes de ski de fond sont également préparées à l'aide de dameuses. En fonction de l'enneigement, il est nécessaire de refaire les traces tous les jours. Ceci permet également d'optimiser au maximum la neige présente.

D'autres activités (pistes de luge, sentiers pour les randonnées en raquettes, etc.) font parfois également l'objet de préparation à l'aide de dameuses. Ceci permet d'offrir de meilleures conditions aux utilisateurs mais également de garder la neige plus longtemps. Le travail effectué est cependant nettement moins régulier que pour le ski alpin et le ski nordique.

6.1.10. Enneigement artificiel

L'enneigement artificiel est la mesure d'adaptation la plus répandue dans les domaines skiables des Alpes suisses (Gonseth, 2008). Depuis le milieu des années 1990, il n'a cessé de s'accroître (figure 6.1.9). Depuis l'hiver 2007-2008, le pourcentage de la longueur totale des pistes de ski suisses enneigées artificiellement s'élève à plus de 30% (RMS, 2010). Pourtant, les études qui se sont intéressées à la viabilité des domaines skiables suisses (Abegg, 1996; Abegg et al., 2007; Buerki, 2000; Elsasser & Buerki, 2002; Koenig & Abegg, 1997; Mueller & Weber, 2008; OcCC-ProClim, 2007) n'ont pas pris en compte ce facteur dans leurs analyses. Il en a été de même dans d'autres régions du monde, ce qui a eu pour conséquence que les pronostics de viabilité des domaines skiables ont pu être revus à la hausse une fois que l'enneigement artificiel a été inclus dans les analyses (Scott et al., 2006).

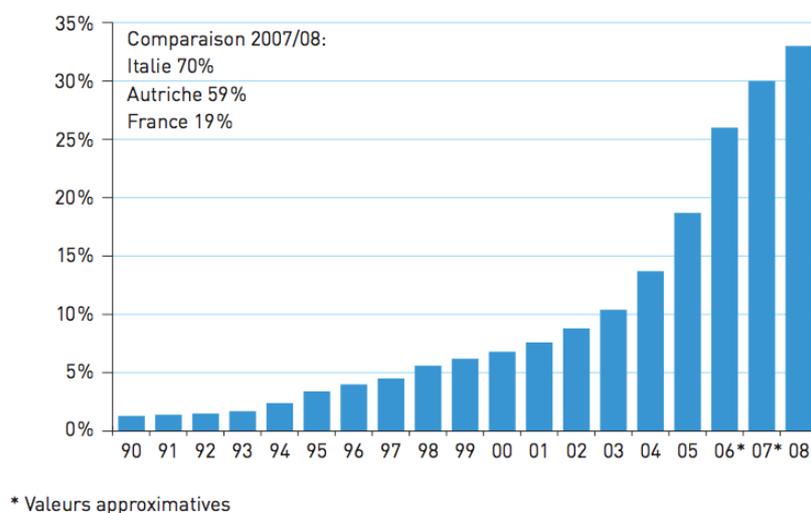


Figure 6.1.9 : Part des pistes enneigées techniquement sur l'ensemble de la surface de pistes préparées en Suisse (RMS, 2010).

Les responsables des remontées mécaniques des Alpes et du Jura vaudois mentionnent plusieurs raisons qui les ont poussés à opter pour l'enneigement mécanique :

- créer une couche de fond,
- garantir de la neige aux périodes clés (début de saison, vacances de Noël et de février),
- garantir de la neige jusqu'à la station ou sur des pistes qui font la jonction avec d'autres parties du domaine,
- enneiger des zones de pistes qui manquent régulièrement de neige à cause du type de sol, de l'orientation ou pour d'autres raisons.

Suivant les moyens financiers à disposition et les besoins en enneigement, les acteurs concernés des Alpes et du Jura vaudois ont privilégié des enneigeurs à basse pression ou à haute pression (figure 6.1.10). Les premiers sont généralement posés sur roulettes et déplaçables sur les pistes en fonction des besoins alors que les seconds sont des lances fixes situées au bord de la piste.



Figure 6.1.10 : Enneigeurs à basse pression (à gauche) et à haute pression (à droite)

Plusieurs aspects sont à considérer lors d'un enneigement artificiel. Premièrement, l'investissement (Dawson et al., 2007) qui, en Suisse, est partiellement assumé par les collectivités publiques. Le canton de Vaud, par exemple, fait partie des cantons où les investissements dans des installations d'enneigement artificiel dépendent jusqu'à maintenant le plus fortement de l'aide publique (Gonseth, 2008).

Deuxièmement, il faut considérer l'impact écologique de l'enneigement artificiel. L'utilisation de ressources en eau peut s'avérer problématique pour une station qui voit déjà sa demande en eau croître

avec l'arrivée des touristes. Il peut donc y avoir conflit d'usage en période de pointe hivernale (Badré et al., 2009). L'utilisation d'additifs pose également problème, mais pour la végétation. En effet, l'ajout d'additifs rend les prairies plus grasses et change ainsi leur composition. Il est à noter qu'en France, l'usage des additifs a été banni (Badré et al., 2009) et que, selon les spécialistes consultés dans les Alpes et le Jura vaudois, ils ne sont pas utilisés. Les raisons mentionnées sont essentiellement liées aux coûts supplémentaires qu'ils génèrent. La fonte plus tardive de la neige artificielle par rapport à la neige naturelle peut également altérer la composition de la végétation (Teich et al., 2007). L'énergie utilisée pour fabriquer de la neige artificielle est également à prendre en considération dans le bilan global des impacts environnementaux.

Troisièmement, plusieurs études (p. ex. Scott et al., 2003; Scott et al., 2007b; Scott et al., 2006; Steiger, 2007; Steiger & Mayer, 2008) montrent qu'il est important de tenir compte du changement climatique si l'on souhaite évaluer la viabilité de l'enneigement artificiel. Le changement climatique va directement affecter l'enneigement artificiel futur de quatre manières au moins (Scott et al., 2006) :

1. Afin de combler le manque de neige naturelle, il faudra un recours accru à l'enneigement artificiel.
2. Une augmentation de la fonte de la neige due à l'augmentation des températures, nécessitera également un recours accru à l'enneigement artificiel.
3. Des températures moyennes plus chaudes vont réduire la durée et le nombre de possibilités de fabriquer de la neige artificielle et augmenter le coût de l'enneigement artificiel à moyen terme. A court terme, l'augmentation moyenne des températures pourrait être compensée par les nouvelles générations de canons à neige permettant la production de neige artificielle à des températures plus élevées et consommant moins d'énergie. Cependant, à moyen terme, même des canons à neige de nouvelles générations ne suffiront probablement pas à pallier l'augmentation des températures à basse et moyenne altitude.
4. Les changements dans les régimes hydrologiques et de précipitations (plus de ruissellement prévus durant les mois d'hiver) vont affecter l'offre en eau disponible pour l'enneigement artificiel.

Dans les Alpes autrichiennes, actuellement, l'enneigement artificiel est garanti aux altitudes supérieures à 1000 m de décembre à février pour 90 % de la durée des hivers (figure 6.1.11) (Steiger & Mayer, 2008). Il n'existe à l'heure actuelle pas d'évaluation pour les Alpes et le Jura suisses. Avec l'augmentation des températures prévues, le nombre de jours potentiels favorables à la production de la neige artificielle diminuera (Hennessy et al., 2008; Pickering & Buckley, 2010; Scott & Dawson, 2007; Scott et al., 2007a; Scott & McBoyle, 2007; Scott et al., 2003; Scott et al., 2007b; Scott et al., 2006; Steiger, 2007; Steiger & Mayer, 2008; Teich et al., 2007). Le problème se posera essentiellement pour le début de saison car, avec une augmentation de 2 °C (soit approximativement pour 2050), le nombre de jours potentiels de fabrication de l'enneigement artificiel devrait diminuer d'environ 1/3 en novembre aux altitudes supérieures à 2000 m et dans les mêmes proportions en décembre aux altitudes comprises entre 1000 et 1500 m pour les Alpes autrichiennes (Steiger & Mayer, 2008). On peut s'attendre à une diminution du même ordre de grandeur pour les montagnes suisses. Cependant, il est fort probable que ça ne soit pas la

diminution du nombre de jours potentiels pour la fabrication de la neige artificielle qui sera le plus problématique pour les domaines skiables. Le premier facteur limitant sera plus vraisemblablement l'augmentation des coûts liés à la production de neige artificielle (Pickering & Buckley, 2010; Scott et al., 2007b; Steiger, 2010; Steiger & Mayer, 2008). Ceci dépendra toutefois des progrès techniques accomplis dans ce domaine. En effet, des canons à neige plus performants, consommant moins d'énergie et pouvant produire de la neige artificielle à des températures plus élevées continuent à être développés.

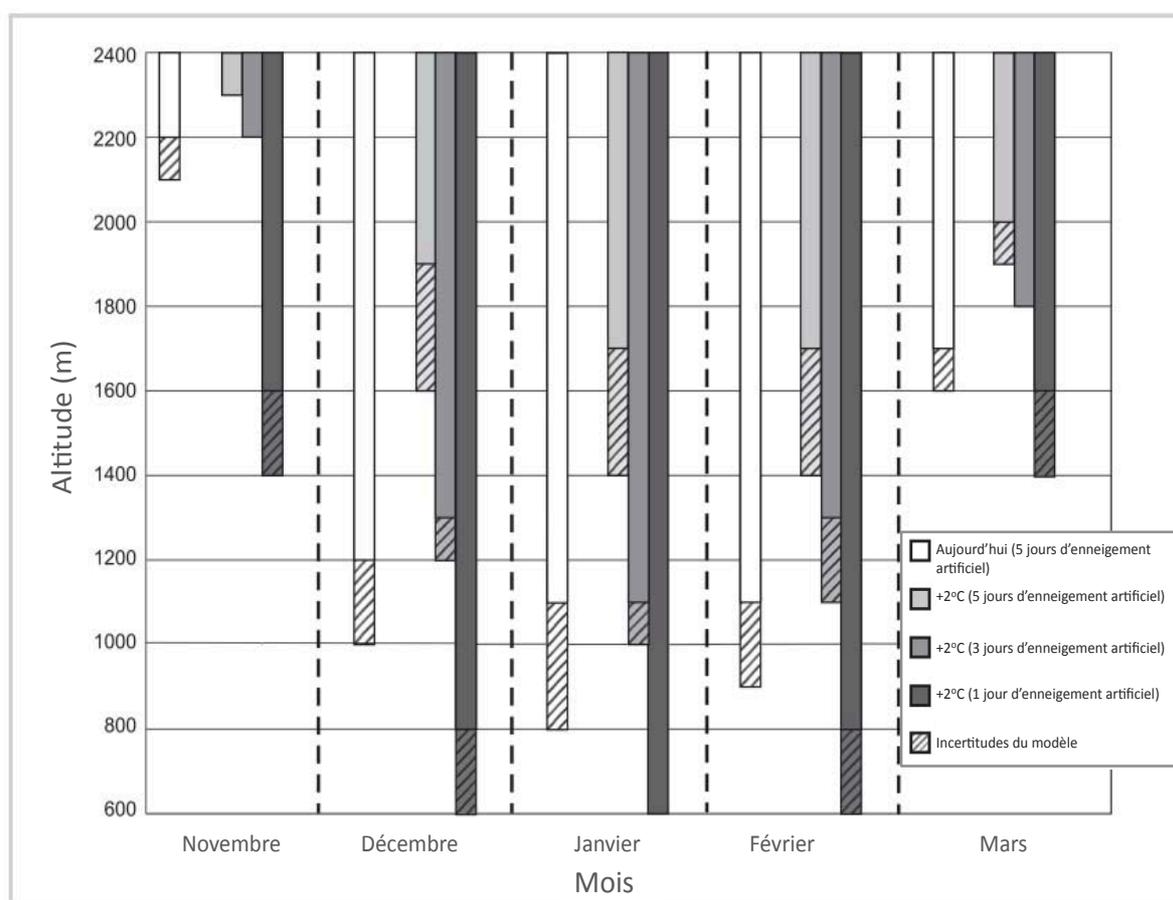


Figure 6.1.11 : Altitude minimale à partir de laquelle la création d'une couche de neige artificielle suffisante pour la pratique du ski alpin est garantie pour les Alpes autrichiennes¹⁰. Aujourd'hui, il faut en moyenne 5 jours d'enneigement artificiel pour enneiger une piste. Avec les progrès attendus en matière d'enneigement artificiel, il est possible que le nombre de jours requis diminue. 3 Scénarios (1, 3 et 5 jours) sont ainsi proposés pour une augmentation de +2 °C des températures (d'après Steiger & Mayer 2008 : 5).

¹⁰ Il n'existe actuellement pas d'estimation pour la Suisse. Les Alpes autrichiennes étant situées à des latitudes plus au nord que la Suisse, l'enneigement naturel et l'enneigement artificiel peuvent y être garantis à des altitudes légèrement différentes.

6.2. MESURES D'ADAPTATION ET D'ATTÉNUATION

Même si les résultats des tables 6.1.1 et 6.1.2 sont à reconsidérer pour la région vaudoise, il est clair que la tendance générale est à l'augmentation des températures et à la diminution de l'enneigement des stations de basses et moyennes altitudes. Les stations touristiques, qui sont fortement dépendantes du ski alpin, doivent dès lors songer à mettre en place des stratégies d'adaptation si elles veulent pouvoir maintenir leurs activités dans un avenir plus ou moins proche. La figure 6.2.1 illustre une synthèse des options actuellement proposées dans la littérature. Elles sont classées en deux catégories, celles proposant le maintien du ski et celles proposant son remplacement par d'autres activités hivernales et/ou en développant plus les autres saisons. Nous les présentons plus en détail ci-dessous.

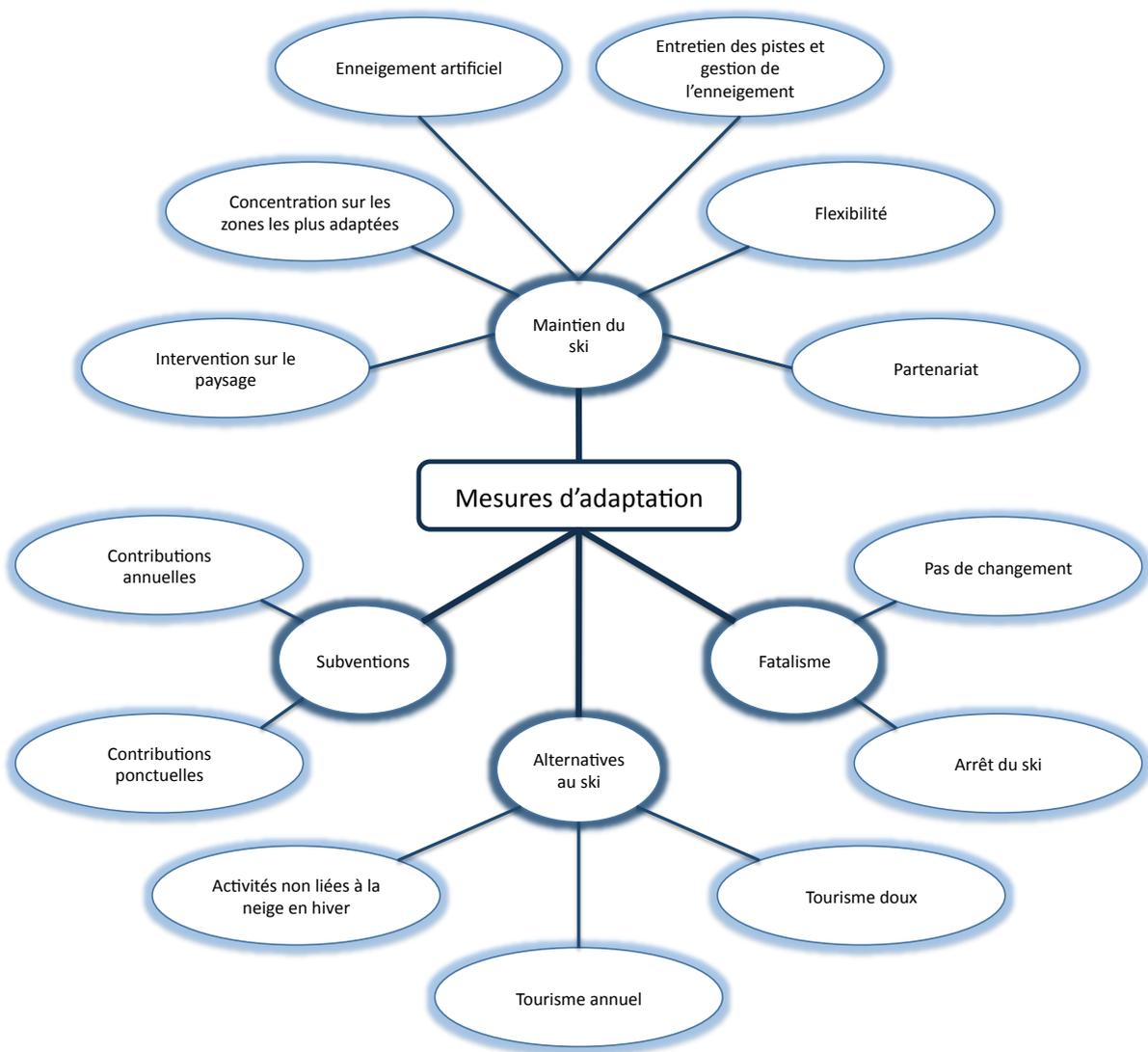


Figure 6.2.1 : Stratégies d'adaptation des stations de ski (modifié de Elsasser & Buerki, 2002).

6.2.1. Enneigement artificiel

L'enneigement artificiel a été traité au point 5.1.10, nous n'y revenons pas ici.

6.2.2. Entretien des pistes et gestion de l'enneigement

L'objectif est de conserver le plus longtemps possible la neige. L'entretien des pistes et la construction de barrières à vent dont nous avons parlé plus haut, la plantation d'arbres pour faire de l'ombre ou encore le stockage de la neige en font partie. Une mesure qui se développe de plus en plus est le stockage de la neige en altitude sur les pistes ou sur les glaciers en été. La neige, conservée sous des bâches ou des copeaux de bois, peut ainsi être réutilisée au début de la saison suivante. Cette technique a l'avantage d'économiser l'énergie et l'eau de la fabrication artificielle de la neige. Par contre, elle dégrade considérablement le paysage et de ce fait l'attrait de la zone concernée durant la saison estivale.

Pertinence de la mesure pour les Alpes et le Jura vaudois

Un meilleur entretien des pistes ainsi que la construction de protections pour garder au mieux la neige sont des mesures déjà appliquées dans les **Alpes** et le **Jura** vaudois.

La conservation de la neige durant l'été n'est pratiquée ni dans le Jura ni dans les Alpes du fait de leur altitude trop basse.

6.2.3. Concentration sur les zones les plus adaptées

Deux axes sont à considérer : la concentration sur les zones les plus hautes du domaine et sur celles exposées au Nord. La concentration sur les zones les plus adaptées peut se faire par l'abandon des zones les moins propices au ski et/ou par l'extension du domaine sur de nouvelles zones. Cette dernière pose cependant certains problèmes. D'une part, de nombreux domaines n'ont pas la possibilité de monter plus en altitude et, d'autre part, l'extension des domaines dans de nouvelles zones rend l'emprise du ski sur le paysage toujours plus importante, ce au détriment des autres saisons. De plus, les écosystèmes de haute montagne sont fragiles, de nouveaux aménagements peuvent les endommager à très long terme. Lors de tout nouvel aménagement, les associations de protection de l'environnement devraient impérativement être consultées.

Pertinence de la mesure pour les Alpes et le Jura vaudois

Concentrer les activités liées à la neige dans les zones les plus propices est une mesure à envisager pour le **Jura**. Ceci se fait déjà en ce qui concerne le ski de fond puisque plusieurs tracés ont été modifiés ces dernières années. En ce qui concerne le ski alpin, c'est également au niveau du tracé que des améliorations peuvent être obtenues puisqu'un déplacement de quelques mètres peut permettre une meilleure orientation. Certains domaines y songent déjà. Déplacer les remontées mécaniques ne ferait par contre pas de sens, puisque l'altitude est critique partout dans le Jura. Par ailleurs, la suppression de certaines remontées au profit d'autres mieux orientées est délicate tant l'attachement émotionnel des

habitants de la région pour la remontée de leur village est fort. Le maintien ou non d'une remontée dépendra fortement de la santé financière de chaque société. Diverses solutions (bénévolats, employés de la commune mis à disposition, employés appelés sur demande en cas de neige seulement, etc.) sont déjà en place pour limiter au maximum les charges fixes.

Pour les **Alpes**, le rapport Furger (Furger, 2003) concerne spécifiquement cette question.

6.2.4. Flexibilité et bénévolat

La flexibilité des employés et l'usage du bénévolat dans le fonctionnement d'un domaine skiable permettent de diminuer les charges financières fixes de celui-ci. A l'heure actuelle, cette mesure est surtout appliquée dans les petits domaines skiables (1-2 téléskis) et dans les régions dont l'enneigement n'est pas garanti. Il existe plusieurs types de fonctionnement. Le plus courant dans le **Jura** vaudois est l'engagement des employés de téléskis à la demande. Ceux-ci, en accord avec les entreprises qui les emploient à l'année, sont libérés les jours d'ouverture des remontées mécaniques. En plus ou à la place d'employés libérés par leurs entreprises, les communes mettent souvent à disposition un ou plusieurs de leurs employés les jours d'ouverture des téléskis. Enfin, il arrive fréquemment que ces mêmes employés accordent une part de leur temps libre à l'installation et au démontage des remontées mécaniques en automne et au printemps. D'autres bénévoles sont également associés à ces activités. Par ailleurs, une partie ou toutes les tâches administratives sont du ressort des membres du comité de l'association responsable des remontées mécaniques. Le fonctionnement se fait aussi totalement ou en bonne partie grâce au bénévolat.

Les centres nordiques fonctionnent également très souvent de cette manière (mise à disposition d'employés communaux pour le traçage, membres bénévoles du comité, employés à la demande pour la vente des cartes et abonnements, etc.).

Pertinence de la mesure pour les Alpes et le Jura vaudois

Certains domaines du **Jura** continuent à être viables grâce à la flexibilité des employés et/ou au bénévolat. Il s'agit le plus souvent de petits domaines. Sans ce type de fonctionnement, ces remontées mécaniques seraient déjà fermées.

Cette mesure ne paraît à l'heure actuelle pas adaptée aux plus grands domaines et donc aux **Alpes** vaudoises. Une plus grande flexibilité de l'ouverture des domaines suivant les conditions météorologiques et l'enneigement devrait cependant être envisagée. On pourrait dans un premier temps réaliser une étude économique analysant la pertinence d'une telle mesure et les modalités de sa mise en place.

6.2.5. Intervention sur le paysage

L'intervention sur le paysage a pour but de réduire les besoins minimaux en enneigement nécessaire à l'ouverture des pistes. L'objectif étant de rendre les sols des pistes les plus uniformes possibles. Un sol

drainé et sans obstacles (cailloux, troncs coupés, etc.) offre les meilleures conditions pour le ski. De plus, la préparation des pistes en est facilitée. L'assèchement des zones humides ainsi que le terrassement à grande échelle ont cependant des conséquences négatives importantes sur le paysage, sur l'érosion et l'appauvrissement de la biodiversité.

Au chapitre 5.1., nous avons montré que de multiples facteurs influencent l'enneigement d'une zone d'activités hivernales liées à la neige. Il serait faux de penser qu'il suffit dès lors d'associer les meilleures conditions de chaque facteur pour obtenir la zone d'activités idéale. Certains facteurs sont, en effet, contradictoires. Par exemple, les aires situées sur les versants nord sont, comme nous l'avons mentionné, plus favorables à l'enneigement. Par contre, elles sont moins attrayantes pour les touristes qui privilégient le plus souvent les zones ensoleillées. D'autre part, certains aménagements ne sont pas sans conséquences sur le paysage. La création de lacs artificiels pour la fabrication de la neige artificielle ou de tranchées rectilignes au milieu des forêts est un exemple parmi d'autres de modifications importantes du paysage liées au ski alpin. De plus, le passage des machines de chantier qui préparent le sol des pistes de ski alpin durant les saisons de printemps, d'été et/ou d'automne rend les zones de montagnes concernées peu attractives pour les touristes.

Des compromis sont donc à trouver entre protection de l'environnement, protection du paysage et activités estivales d'une part, et intérêts pour les pistes de ski alpin et les autres activités touristiques hivernales d'autre part. Dans tous les cas, les associations de défense de l'environnement devraient être associées aux réflexions concernant de nouveaux aménagements.

Pertinence de la mesure pour les Alpes et le Jura vaudois

De petits aménagements restent possibles. Toutefois, dans une perspective de développement touristique durant les 4 saisons, il serait généralement contreproductif de modifier le paysage pour développer la saison hivernale aux dépens des autres saisons.

6.2.6. Partenariat

Plusieurs sociétés des remontées mécaniques de moyenne et haute altitude ont mis en place des partenariats avec des sociétés de remontées mécaniques de plus basse altitude. Ceux-ci peuvent se décliner sous plusieurs formes, dont notamment :

- lors de l'achat d'un abonnement de saison dans la station de basse altitude, des journées de ski sont offertes dans la station partenaire;
- en cas de non ouverture de la station de basse altitude par manque de neige, l'abonnement annuel est par exemple remplacé par un abonnement d'une demi-saison dans la station partenaire ou par un nombre illimité de journées à demi-prix.

Ce type de partenariat se fait généralement entre une station de basse altitude (Jura) et une station de plus haute altitude (Alpes). Les atouts sont multiples : pour la station de basse altitude, l'assurance d'offrir la possibilité de skier pour les porteurs d'un abonnement annuel et de ce fait une certaine garantie de leur fidélité d'une année à l'autre; pour la station partenaire à plus haute altitude, la promotion de son

domaine à de nouveaux clients. Ceci se fait aussi dans une idée de garantir la relève des skieurs. Les remontées mécaniques locales du Jura et des Préalpes permettent aux enfants d'apprendre à skier à proximité de chez eux. Une fois plus âgés, il y a plus de chances qu'ils se déplacent dans les stations de plus haute altitude qui offrent plus d'opportunités.

Pertinence de la mesure pour les Alpes et le Jura vaudois

Cette mesure est facile à mettre en place. Plusieurs stations du **Jura** vaudois la pratiquent déjà en partenariat avec des stations des Alpes valaisannes.

Les **Alpes** vaudoises ne sont pour l'instant pas encore concernées par un manque total de neige puisqu'elles ont la possibilité de fabriquer de la neige artificielle. A l'avenir, un partenariat avec d'autres stations à plus haute altitude ou avec Glacier 3000 pourrait être envisagé.

6.2.7. Subventions pour les remontées mécaniques

Il existe plusieurs formes de soutien financier par les pouvoirs publics : les subventions ponctuelles ou renouvelables, l'octroi de crédits à des taux préférentiels ou encore la participation directe à la construction des remontées mécaniques. Toutes ces mesures ont pour but de soutenir l'exploitation des remontées mécaniques (Abegg, 2011). L'argument cité en faveur de ces soutiens est basé sur l'idée que les remontées mécaniques constituent l'épine dorsale de l'offre touristique et ont dès lors un impact important sur l'économie locale. L'impact réel des remontées mécaniques sur l'économie locale n'est cependant pas clair. La question de la viabilité des remontées mécaniques à long terme en lien avec le changement climatique devrait également être pris en compte lors de l'octroi de subventions.

Pertinence de la mesure pour les Alpes et le Jura vaudois

Les subventions éventuelles devraient tenir compte du changement climatique, soit des capacités d'enneigement naturel et artificiel, de l'augmentation attendue des températures et du potentiel estival. La saison estivale, si elle est bien exploitée, pourrait prendre de plus en plus de poids.

6.2.8. Activités non liées à la neige en hiver

De plus en plus de touristes d'hiver ne font pas de ski alpin ni de ski de fond, et ce surtout durant la période de Noël. La randonnée en raquettes a pris un réel essor ces dernières années. D'autres activités telles la luge, la marche sur la neige, le ski-jöring, etc. connaissent également un engouement accru. Elles nécessitent cependant un minimum de neige. Tout comme les activités non liées à la neige (patinage, natation, etc.), elles restent cependant complémentaires au ski et des activités à pratiquer en cas de manque de neige et de mauvais temps. Il n'est dès lors pas certain que les touristes se déplaceraient en masse si le ski venait à disparaître complètement.

Pertinence de la mesure pour les Alpes et le Jura vaudois

Diversifier l'offre surtout non liée à la neige et à la météo est une mesure particulièrement adaptée pour les **Alpes** vaudoises qui seront progressivement plus souvent confrontées à un enneigement insuffisant et à la pluie. Le **Jura** est déjà souvent confronté au manque de neige, la diversification de l'offre y est donc d'autant plus importante. Le Jura et les Alpes vaudoises sont nettement plus ensoleillés que le Plateau et la plupart des régions d'Europe du Nord en hiver et cet ensoleillement n'est pas appelé à diminuer avec le changement climatique. Cette situation favorable peut être exploitée indépendamment de l'enneigement.

6.2.9. Tourisme 4 saisons

Le changement climatique devrait avoir un impact positif sur la saison d'été (cf. chapitre 6) mais également sur le début de l'automne et la fin du printemps (cf. chapitre 7). Le développement de ces saisons pourrait compenser en partie les pertes occasionnées par le manque à gagner hivernal. Il est cependant difficile de chiffrer ce phénomène. A l'heure actuelle, les principaux perdants sont les remontées mécaniques, fortement dépendantes de la saison hivernale. Même si elles développent de plus en plus la saison estivale, il est encore fréquent qu'elles ne soient pas rentables à cette saison. Des reconversions réussies ont cependant déjà eu lieu en Suisse. Dans l'Oberland bernois, les remontées mécaniques Stockhornbahn AG ont complètement arrêté l'exploitation des pistes de ski qui était déficitaire. Les remontées sont désormais ouvertes en été et en hiver du mercredi au dimanche seulement. Les offres de restauration et d'activités ont été améliorées afin d'attirer les touristes. Au Tessin, le téléphérique du Monte Tamaro n'est quant à lui ouvert plus que durant la saison estivale. L'offre proposée aux touristes y a été diversifiée avec succès (sentiers de randonnée, aires de jeux pour les enfants, piste de luge d'été, parc d'aventure, chapelle Santa Maria degli Angeli de Mario Botta, etc.) (Abegg, 2011).

Pertinence de la mesure pour les Alpes et le Jura vaudois

Les stations du **Jura** vaudois misent déjà fortement sur la saison estivale. Sans pour autant laisser tomber la saison hivernale, il est judicieux de continuer à développer cette saison et tout particulièrement le printemps et l'automne. Le printemps est d'autant plus attrayant dans le Jura que la neige y a fondu plus vite et que les températures y sont plus rapidement favorables à la pratique des activités de plein air non liées à la neige comparativement aux régions de plus haute altitude dans les Alpes.

Le développement de l'offre durant la saison d'été commence à se faire une place dans les **Alpes** vaudoises. Depuis plusieurs années, certaines remontées mécaniques sont ouvertes et de nouvelles activités sont proposées en plus de la randonnée pédestre (VTT, via ferrata, etc.). De plus, l'adoption de cartes permettant la gratuité de diverses activités dans la station ou une station partenaire a permis d'accroître la fréquentation. Il est vivement conseillé de continuer dans cette direction et de faire un effort particulier pour la promotion de l'été, mais également de la fin du printemps et du début de l'automne.

Pour ces deux régions, le développement et la promotion d'activités et de manifestations non dépendantes des conditions météorologiques sont fortement recommandées, puisque le nombre de journées pluvieuses y est relativement important (presque un jour sur deux en été comporte au moins une averse le soir). En ce qui concerne le nombre de jours de précipitations, l'automne est la saison la plus favorable (cf. chapitre 2).

6.2.10. Tourisme durable

De plus en plus de touristes attachent de l'importance à leur impact environnemental et particulièrement climatique. Les stations qui seront leaders dans ce domaine auront toutes les chances d'attirer ces touristes. Le développement des transports publics et de la mobilité douce, l'usage des énergies renouvelables (par exemple utilisation de l'énergie solaire pour les remontées mécaniques ou pour le chauffage et l'eau chaude des hôtels, etc.), la construction des nouveaux bâtiments et la rénovation des anciens aux normes Minergie, la création de sentiers didactiques sensibilisant au changement climatique, la promotion des produits régionaux et biologiques, entre autres, sont autant de mesures qui peuvent attirer de nouveaux touristes soucieux de leur empreinte écologique. De plus, la plupart de ces mesures sont non seulement intéressantes en termes d'économie de gaz à effet de serre, mais elles permettent aussi des économies financières.

Pertinence de la mesure pour les Alpes et le Jura vaudois

Profiler les **Alpes** et le **Jura** vaudois comme des destinations climatiquement neutres ou ayant fortement réduit leur impact climatique, leur permettrait d'être dans les stations pionnières de ce secteur d'avenir et de proposer une offre différente de celles que l'on retrouve dans la plupart des stations de ski.

6.2.11. Arrêt du ski

L'arrêt du ski a déjà été envisagé dans plusieurs stations des Alpes avec des succès à la clé comme c'est le cas pour les remontées mécaniques Stockhornbahn AG et de Monte Tamaro (cf. point 5.2.8).

Pertinence de la mesure pour les Alpes et le Jura vaudois

Les **Alpes** vaudoises ont encore très certainement des possibilités d'exploiter le ski ces prochaines années. Nous renvoyons au rapport Furger (Furger, 2003) quant à la manière de rationaliser ce potentiel.

La question du maintien ou non du ski est plus délicate pour le **Jura**. Une étude économique permettrait de définir la viabilité des remontées mécaniques de cette région, sachant que le bénévolat et la mise à disposition par les entreprises locales d'employés à la demande permet de grandement limiter les charges fixes. Ainsi, même si la garantie de l'enneigement n'est plus assurée, certaines sont toujours viables, moyennant toutefois parfois quelques subventionnements. Bien souvent, plus qu'économiques, il s'agit de choix avant tout politiques, de choix de sociétés qui souhaitent offrir des infrastructures de

loisirs à une région, comme elles leur offrent un musée, une bibliothèque, une piscine ou un terrain de foot.

6.2.12. Mesures d'atténuation

Le tourisme vaudois n'est pas neutre en matière d'émissions de CO₂. Les transports motorisés sont encore le moyen le plus fréquemment utilisé pour se rendre dans les stations des Alpes et du Jura vaudois. La forte dépendance de ces deux destinations au tourisme d'excursion les rend d'autant plus concernées par cette question. Dans ce sens, les lignes ferroviaires des Alpes et du Jura vaudois devraient être maintenues et renforcées afin d'augmenter la proportion de visiteurs utilisant le rail par rapport à ceux qui viennent par la route. Ces liaisons devraient être rendues progressivement plus confortables et plus rapides.

La deuxième source de gaz à effet de serre liée au tourisme, par ordre d'importance, est le bâti. Les efforts d'amélioration dans ce domaine concernent d'autant plus les régions en altitude que la saison de chauffage est plus longue qu'en plaine. Les améliorations dans les domaines de l'isolation et des systèmes de chauffage des bâtiments ont donc un impact particulièrement important.

La quantité de soleil disponible dans les Alpes et le Jura vaudois étant plus importante qu'en plaine, surtout en hiver, la pose de panneaux solaires, thermiques ou photovoltaïques, de même qu'une architecture bénéficiant du solaire passif, est particulièrement rentable. En outre, elle contribue à mettre en avant, pour les visiteurs, les qualités d'ensoleillement de ces régions.

S'agissant de l'énergie utilisée par les remontées mécaniques, des actions, telle la pose de panneaux photovoltaïques, peuvent être entreprises. Ces actions n'ont pas nécessairement un impact primordial en termes quantitatifs, puisque les remontées mécaniques consomment relativement peu d'énergie par rapport aux bâtiments et aux transports, mais elles jouent un rôle non négligeable en termes d'image et de marketing.

6.3. SYNTHÈSE

Les études concernant la viabilité des remontées mécaniques se sont jusqu'ici essentiellement basées sur des critères d'enneigement liés à l'altitude. De nombreux autres facteurs sont pourtant à prendre en considération : caractéristiques régionales des précipitations hivernales, qualité de la neige, vent, rayonnement solaire et orientation, rugosité du sol, déclivité et largeur de la pente, fréquentation, préparation des pistes et enneigement artificiel. La réalité est plus complexe que sa réduction au seul facteur altitudinal et de température. Parmi ces autres facteurs, plusieurs sont favorables aux Alpes et Jura vaudois situés à des altitudes relativement basses.

Avec l'augmentation des températures et la diminution de l'enneigement dans les stations de basse et moyenne altitude, les stations touristiques mettent en place depuis plusieurs années des stratégies d'adaptation pour pouvoir poursuivre leurs activités durant les prochaines décennies.

L'enneigement artificiel est actuellement la mesure d'adaptation la plus répandue dans les domaines skiables des Alpes suisses, même s'il implique certains aspects négatifs (investissements et coûts supplémentaires, impacts environnementaux). Avec l'augmentation des températures prévues, le nombre de jours potentiels favorables à la production de la neige artificielle diminuera. Le problème se posera essentiellement pour le début de saison car, avec une augmentation de 2 °C (soit approximativement pour 2050), le nombre de jours potentiels de fabrication de l'enneigement artificiel devrait diminuer en novembre d'environ un tiers aux altitudes supérieures à 2000 m et en décembre dans les mêmes proportions entre 1000 et 1500 m. Le premier facteur limitant sera plus vraisemblablement l'augmentation des coûts liés à la production de neige artificielle que les limites climatique de sa fabrication.

7. CONSÉQUENCES ET PERSPECTIVES POUR LE TOURISME EN ÉTÉ

7.1. RÉORIENTATION DES DESTINATIONS DES TOURISTES LIÉE AU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Avec une augmentation générale des températures et du nombre de journées caniculaires, plusieurs études (Amelung & Viner, 2006; Ceron & Dubois, 2000; Hamilton et al., 2005; Perch-Nielsen et al., 2010; Ruddy & Scott, 2010) prévoient une réorientation des destinations des touristes lors des grandes chaleurs (juin – juillet – août). Les destinations les plus prisées devraient ainsi se situer plus au nord et plus en altitude. En effet, on s'attend à ce que les températures caniculaires rendent les abords de la Méditerranée de plus en plus rédhibitoires (figure 7.1.1).

Pourtant, en règle générale, le tourisme mondial devrait continuer à croître à cause de l'augmentation de la population mondiale et de la croissance économique. A cette échelle, les conséquences liées au changement climatique en été devraient être moins importantes que celles relatives à ces deux facteurs (Hamilton et al., 2005). De nombreuses inconnues demeurent cependant. On ne sait notamment pas encore quelle sera la capacité d'adaptation des touristes à l'augmentation des températures et de ce fait les changements dans leur comportement touristique.

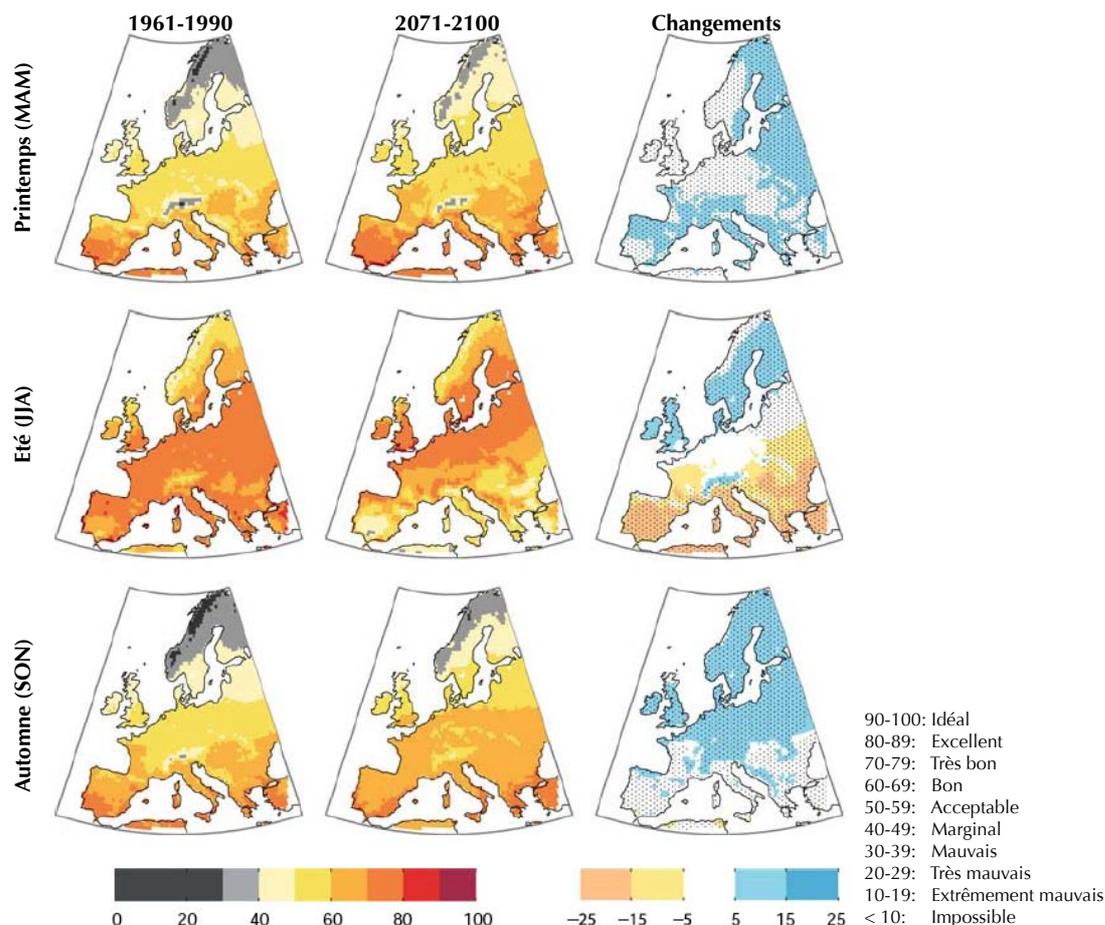


Figure 7.1.1 : Evolution des conditions climatiques favorables aux pratiques touristiques estivales en Europe et en Afrique du Nord (Perch-Nielsen et al., 2010). Pour chaque saison (printemps (mars – avril – mai), été (juin – juillet – août), automne (septembre – octobre – novembre)), la situation de référence actuelle (1961 – 1990, à gauche) des conditions climatiques favorables aux pratiques touristiques estivales (en orange et rouge) est comparée à celle de la fin du siècle (2071 – 2100, au milieu). La différence (à droite) montre les régions qui bénéficieront de meilleures conditions à la fin du 21^{ème} siècle (en bleu), ne subiront pas de modifications significatives (en blanc) ou verront leurs conditions se dégrader (en jaune ou orange).

7.2. IMPACT DE L'AUGMENTATION DES TEMPÉRATURES ET DES PÉRIODES CANICULAIRES SUR LA FRÉQUENTATION HÔTELIÈRE

Afin de déterminer si les périodes de grandes chaleurs auront bien une influence sur la fréquentation touristique de montagne, nous avons analysé les manifestations potentielles de l'impact actuel de l'augmentation des températures et des périodes caniculaires sur le tourisme de montagne. Cette étude

(Serquet & Rebetez, 2011) analyse l'impact des journées chaudes sur la fréquentation hôtelière des hôtes suisses de toutes les stations de montagne qui offrent plus de 500 lits.

Les résultats montrent que la fréquentation hôtelière dans les Alpes vaudoises est en augmentation lors de températures élevées en plaine. Ceci ressort essentiellement en juin, qui est le mois avec la durée de séjour moyen la plus courte. Les Alpes vaudoises réagissent plus fortement que d'autres régions (Grisons et Alpes valaisannes) plus éloignées des grands bassins de population. L'étude montre ainsi que la proximité des stations de montagne à un bassin de population joue un rôle important. Les Alpes et le Jura vaudois sont dès lors tout particulièrement concernés, avec une augmentation des nuitées durant les périodes de grandes chaleurs.

A l'heure actuelle, ce sont les séjours courts et réservés à la dernière minute qui sont les plus susceptibles de croître lors de fortes températures en plaine lorsque les touristes sont attirés par la fraîcheur des montagnes.

Dès lors, le changement climatique pourrait offrir de nouvelles opportunités aux stations touristiques des Alpes et du Jura vaudois.

7.3. IMPACTS DE LA FONTE DU GLACIER DE TSANFLEURON

La fonte d'une partie du glacier de Tsanfleuron a déjà eu pour conséquence l'arrêt du ski d'été. Les pylônes les plus en aval ne se situent plus sur le glacier (figure 7.3.1). De plus, ce dernier n'est généralement plus recouvert de neige en été. Il est difficile de prévoir le moment à partir duquel le glacier aura totalement disparu puisque cela dépend de plusieurs facteurs dont l'augmentation des températures. Une modélisation précise avec différents scénarios d'augmentation des températures pourrait être envisagée. D'ici 2050, il faut cependant s'attendre à ce que le glacier ne soit plus autant attractif.



Figure 7.3.1. : Remontée mécanique pour la pratique du ski sur le glacier de Tsanfleuron (Société Suisse de Géomorphologie – Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft SSGm, 2009b)

7.4. SYNTHÈSE

A l'heure actuelle, en été, ce sont les séjours courts et réservés à la dernière minute qui sont les plus susceptibles de croître lors de températures élevées en plaine. Les touristes sont attirés par la fraîcheur des montagnes. Ce phénomène se manifeste particulièrement en juin. La proximité des stations de montagne à un bassin de population joue un rôle important. Les Alpes vaudoises et le Jura vaudois sont dès lors tout particulièrement bénéficiaires de ces séjours estivaux.

Une des conséquences majeures de l'augmentation des températures sur les zones de hautes montagnes est la fonte des glaciers et du pergélisol qui devrait augmenter le nombre d'éboulements et leur ampleur. L'accroissement des précipitations extrêmes aura aussi des conséquences négatives importantes car, si elles tombent sur des zones de pergélisol dégelé, elles peuvent emporter le matériel devenu meuble et former des glissements de terrain, des éboulements ou des laves torrentielles. En outre, la fonte des glaciers, en particulier de celui de Tsanfleuron, aura des conséquences sur l'attractivité des paysages et du glacier lui-même.

Au niveau touristique, cela pourrait entraîner d'une part une perte de l'attractivité paysagère et, d'autre part, suite à des éboulements de grande ampleur, des dégâts aux infrastructures et potentiellement à l'image des stations.

8. CONSÉQUENCES ET PERSPECTIVES POUR LE TOURISME AU PRINTEMPS ET EN AUTOMNE

8.1. DES SAISONS PEU ÉTUDIÉES

Les saisons de printemps et d'automne n'ont pas fait l'objet d'études scientifiques approfondies en ce qui concerne le changement climatique. Ceci est très certainement dû au fait que l'on ne s'attend pas à des conséquences majeures pour ces deux saisons. De plus, elles sont nettement moins exploitées que les saisons d'hiver et d'été. Enfin, certaines stations ne les distinguent pas dans la comptabilité des nuitées et autres statistiques de fréquentation; elles sont englobées dans l'hiver ou dans l'été. Notons encore que les deux périodes les plus difficiles à exploiter sont celles de fin mars à mi-mai/début juin et celle de novembre.

Durant les périodes d'après saison de ski, qui dépendent des stations et des dates des vacances de Pâques, les Alpes ne sont pas particulièrement accueillantes pour la randonnée et les autres activités estivales en extérieur, car le terrain est encore partiellement couvert de neige et souvent boueux, la végétation n'a pas encore vraiment démarré alors qu'elle est déjà en pleine activité en plaine. En novembre, ce sont les premières neiges et les températures plus fraîches qui offrent des conditions moins favorables.

Le Jura et les régions alpines de basse altitude, par contre, réunissent les conditions favorables aux activités extérieures plus tôt. Dès le mois d'avril, il est possible d'y pratiquer la randonnée et d'autres activités extérieures, la neige ayant en grande partie fondu. En revanche, les conditions météorologiques ne sont pas toujours favorables; mai étant le mois avec le nombre de jours de précipitations le plus élevé. Le Jura, par exemple, joue sur la complémentarité entre le haut et le bas, lorsqu'il y a encore de la neige au printemps, en dirigeant les touristes vers les activités de plaine. Enfin, selon les responsables des offices du tourisme des Alpes et du Jura vaudois, les saisons de printemps et d'automne touchent plus le tourisme d'affaires (séminaires) et une clientèle plus individuelle. L'organisation de manifestations permet également d'exploiter ces saisons.

8.2. ÉVOLUTION POTENTIELLE DE LA PÉRIODE FAVORABLES AUX ACTIVITÉS TOURISTIQUES

La hausse des températures au printemps et en automne va allonger la saison potentiellement favorable aux activités estivales de plein air en montagne. Ceci est cependant à mettre en relation avec le fait qu'à

ces saisons l'annulation et la réservation à la dernière minute sont particulièrement liées aux prévisions météorologiques (cf. figure 5.1.7 du chapitre 5.1.).

8.3. SYNTHÈSE

On s'attend à ce que la hausse des températures au printemps et en automne allonge la saison favorable aux activités estivales de plein air en montagne. Le développement des activités estivales inclut donc l'allongement de cette saison, autant au printemps qu'en automne. C'est tout particulièrement le cas dans les Alpes et le Jura vaudois qui bénéficient déjà d'un printemps plus précoce et d'un automne plus tardif que les régions alpines d'altitudes plus élevées. Le potentiel de l'automne est d'autant plus important qu'il s'agit de la saison comportant le moins de jours de précipitations.

Le printemps et l'automne comprennent actuellement deux périodes difficiles à exploiter, de fin mars à mi-mai/début juin d'une part et novembre d'autre part. Les activités estivales vont devenir progressivement de plus en plus souvent possibles à ces périodes de l'année. La variabilité des conditions météorologiques étant importante d'une année à l'autre, il est et sera toujours important de disposer d'un maximum de flexibilité pour répondre à des conditions favorables qui pourront survenir de plus en plus souvent, aussi en mai et en novembre. En parallèle, des activités alternatives resteront nécessaires pour les périodes et années où les conditions seront défavorables aux activités extérieures.

9. RECOMMANDATIONS

Nous avons distingué trois échéances : court terme (2020 environ), moyen terme (2035 environ) et long terme (2050 environ).

L'augmentation moyenne des températures hivernales retenues à ces échéances, par rapport à la période 2000-2010 est : + ~0.5 °C pour 2020, + ~1 °C pour 2035 et + ~2 °C pour 2050. Ces valeurs reposent sur des prévisions moyennes des scénarios A1B et A2 ¹¹ utilisés dans la modélisation la plus récente pour les températures suisses (CH2011)¹².

La limite de la neige varie d'une année à l'autre. Aux altitudes comprises entre 800 et 1100 m, la variabilité de l'enneigement est aujourd'hui particulièrement importante, puisque près de la moitié des précipitations tombent sous forme de pluie durant les mois d'hiver, alors qu'entre 1100 et 1400 m, il pleut actuellement une fois sur quatre. Pour la pratique du ski alpin et nordique, il faut cependant compter avec une différence d'altitude en fonction de l'orientation des pistes, de la rugosité du sol et des autres facteurs cités au chapitre 6.1. A l'horizon 2050, on peut s'attendre à un décalage de 300 à 460 m en altitude par rapport aux conditions actuelles. Les zones situées entre 1300 et 1460 m pourraient connaître les conditions actuelles des zones situées vers 1000 m. En 2035, le décalage devrait être de 150 à 230 m. Ceci ne veut cependant pas dire qu'au-dessus de ces limites l'enneigement sera chaque année suffisant pour la pratique des activités liées à la neige et notamment du ski, ni que l'enneigement sera toujours insuffisant au-dessous. Les conditions seront décalées en altitude, y compris en ce qui concerne la variabilité que nous observons actuellement.

L'augmentation moyenne des températures estivales retenue pour ces trois échéances, par rapport à la période 2000-2010, est de : + ~0,7 °C pour 2020, + ~1,5 °C pour 2035 et + ~2,3 °C pour 2050. Cependant, plus que l'augmentation moyenne des températures, c'est l'augmentation des extrêmes de température (journées caniculaires) qui pourrait avoir un impact sur la fréquentation touristique.

En ce qui concerne les saisons d'automne et de printemps, c'est l'allongement des conditions favorables à la pratique d'activités touristiques extérieures durant ces deux saisons qui est pris en considération. En effet, les conditions estivales devraient s'étendre sur une période de plus en plus longue au printemps et en automne.

¹¹ Ces scénarios sont présentés au chapitre 3.5, p. 50.

¹² Le scénario RCP3PD n'a pas été retenu car il n'est déjà plus vraisemblable, vu les gaz à effet de serre émis jusqu'à aujourd'hui.

9.1. RECOMMANDATIONS POUR L'HIVER

9.1.1. Jura

1 – Hiver : Ski de fond

2020 et 2035

Constat

A court terme (2020), le ski de fond n'est pas menacé dans le Jura. Il faut cependant s'attendre à une grande variabilité de l'enneigement, surtout pour les zones situées au-dessous de 1100 m. Les années avec peu de neige, seules les zones les plus appropriées pour garder la neige (zones les plus en altitude, zones ombragées et à l'abri du vent, combes et versants nord) auront le plus de chance de permettre l'ouverture des pistes.

A moyen terme (2035), les zones situées vers 1200 m offriront approximativement les conditions actuelles d'enneigement des altitudes proches de 1000 m, les conditions à 1400 m, celles de 1200 m.

Recommandations

Une réflexion est à entreprendre dès à présent pour tous les tracés de ski de fond. L'expérience des pisteurs permettra de définir les zones les plus propices aux tracés. Une étude ayant pour but la modélisation des zones les plus favorables au maintien de la neige pourrait aussi être envisagée. Elle offrirait une base de réflexion pour la modification des tracés. Déjà à moyen terme (2035), certains tracés devront être modifiés. Il serait dès lors judicieux de définir deux types de tracés. Les tracés « favorables à l'enneigement » qui pourront être ouverts le plus longtemps et le plus souvent, et les tracés « touristiques ». Les tracés « favorables à l'enneigement » devront emprunter des parcours qui se situent le plus en altitude possible, dans les combes, dans les zones ombragées ou sur les versants nord et à l'abri du vent. Ces tracés devront être repensés afin qu'une boucle puisse être praticable le plus longtemps possible dans la saison. Les tracés « touristiques » auront des conditions pour l'enneigement moins favorables mais offriront un meilleur ensoleillement et une plus belle vue. Ils seront ainsi plus attrayants dans des conditions de grand froid et d'enneigement important. Ils ne pourront par contre plus être praticables chaque année.

2 – Hiver : Ski de fond**2050****Constat**

A long terme (2050), les zones situées vers 1400 m devraient connaître approximativement les conditions actuelles des zones situées vers 1000 m. Dès lors, les conditions favorables à la pratique du ski de fond diminueront proportionnellement.

Recommandations

L'offre de ski de fond étant très flexible, il ne convient pas d'arrêter cette dernière mais de maintenir un maximum de flexibilité et d'offrir des tracés qui sont les plus favorables à un enneigement suffisant pour la pratique du ski de fond (cf. recommandation 1). Ainsi il serait judicieux de garantir une grande flexibilité des pisteurs (à l'appel).

3 – Hiver : Ski alpin**2020****Constat**

Durant l'hiver, lors de précipitations, il pleut presque une fois sur deux vers 1000 m. En 2020, on s'attend à une poursuite du décalage altitudinal observé durant les dernières décennies.

Les téléskis situés vers 1000 m et au-dessus devraient pouvoir encore bénéficier d'un enneigement suffisant à court terme (2020) certaines années. Les pistes les plus en altitude, orientées au nord, ombragées et sans cailloux seront les plus à même de garder un enneigement optimal pour la pratique du ski alpin.

Recommandations

En cas de renouvellement des infrastructures, il serait judicieux de réfléchir à une solution pour que les départs des téléskis soient déplacés le plus haut possible en altitude. Les premiers pylônes pourraient par exemple être supprimés afin de monter le départ. Lorsque cela est possible, le tracé des pistes devrait également être modifié afin d'obtenir les meilleures conditions d'enneigement possibles. Le remplacement des téléskis par des télésièges ne ferait par contre du sens que si ceux-ci sont également intéressants à exploiter en été.

4 – Hiver : Ski alpin

2035

Constat

A moyen terme (2035), les zones situées vers 1200 m offriront approximativement les conditions actuelles d'enneigement à 1000 m, les conditions à 1600 m, celles de 1400 m.

Recommandations

Une réflexion approfondie concernant le maintien du ski alpin dans le Jura à cette échéance doit avoir lieu. Cette réflexion devra prendre en considération les aspects suivants :

- Flexibilité : Avec un risque accru de manque de neige plusieurs années consécutives, il s'agira d'avoir une grande flexibilité concernant le personnel qui travaille aux remontées mécaniques. Les coûts fixes devront être réduits à leur minimum afin de ne pas enregistrer des pertes trop importantes durant les hivers sans neige qui pourraient se succéder de plus en plus fréquemment.
- Rôle des remontées mécaniques dans le Jura : La population locale est très attachée aux remontées mécaniques de la région. Le recours au bénévolat ou au travail à la demande a permis de maintenir certaines infrastructures. Une réflexion concernant la poursuite du soutien aux remontées mécaniques devra avoir lieu.
- Partenariats : Des responsables des remontées mécaniques de haute altitude des Alpes pourraient faire partie d'un groupe de réflexion concernant l'avenir des remontées mécaniques du Jura vaudois. Le Jura joue un rôle important dans l'apprentissage du ski auprès des jeunes de la région lémanique. Des partenariats avec les remontées mécaniques des Alpes pourraient permettre la pérennisation du ski à moyen terme (2035).

5 – Hiver : Ski alpin

2050

Constat

A long terme (2050), les zones situées vers 1400 m devraient connaître approximativement les conditions actuelles des zones situées vers 1000 m.

Le ski alpin est voué à disparaître dans le Jura, sauf en cas de grande flexibilité des sociétés de remontées mécaniques. En effet, des hivers avec enneigement suffisant pour la pratique du ski alpin seront encore possibles après 2050 dans le Jura. Cependant, ils se feront de plus en plus rares.

Recommandations

S'il y a volonté de maintenir le ski, une étude économique devrait être mandatée. Celle-ci ne devrait pas uniquement tenir compte de l'altitude des téléskis, du télésiège et des pistes de ski, mais aussi de leur orientation et des conditions micro-climatiques. En ce qui concerne le télésiège, il faudra également tenir

compte du fait qu'il offre la possibilité d'autres activités hivernales et de 4 saisons (panorama, départ pour la randonnée pédestre, etc.)

6 – Hiver : Lac de Joux

2020 et 2035

Constat

On ne s'attend pas à des modifications significatives du gel du lac de Joux à court (2020) et moyen (2035) termes. La pratique du patinage devrait donc pouvoir se poursuivre.

Recommandations

Il n'y a pas de mesure à prendre à court et moyen termes.

7 – Hiver : Lac de Joux

2050

Constat

La prévision à cette échéance est difficile car les données manquent. Il faudrait disposer d'une dizaine d'années au moins de données de températures quotidiennes à proximité du lac, couplées avec des données de l'état de la glace.

Recommandations

En cas de volonté d'une prévision précise de l'évolution du lac de Joux, il serait nécessaire de mandater la mise en place de prises de mesures quotidiennes de températures fiables à proximité du lac couplées à des données de l'état de la glace à divers endroits.

8 – Hiver : Brouillard en plaine

2020, 2035 et 2050

Constat

A court terme (2020), les conditions de brouillard en plaine ne devraient pas évoluer. On manque cependant de données pour l'affirmer avec certitude. Le Jura vaudois devrait continuer à bénéficier d'un meilleur ensoleillement que la plaine en hiver. Il faut dès lors s'attendre à ce que les excursionnistes continuent à affluer en masse en cas de brouillard durant les jours de congé (week-end, vacances, fériés).

A moyen (2035) et long (2050) termes, nous n'avons pas assez de données climatiques pour déterminer l'évolution du brouillard. Les données concernant le brouillard nécessitent la présence d'un observateur, elles sont difficiles à dériver de séries de mesures automatiques. On a relevé toutefois, qu'en relation avec l'assèchement de la plaine de l'Orbe et de la région des 3 lacs, la fréquence du brouillard a légèrement diminué dans cette région.

Recommandations

Des mesures pour limiter au maximum les nuisances (dus au trafic automobile notamment) sont à envisager à court terme (2020). Un service de transport public pourrait être mis en place.

9.1.2. Alpes

9 – Hiver : Ski alpin

2020

Constat

Durant l'hiver, lors de précipitations, il pleut presque une fois sur deux aux altitudes comprises entre 800 et 1100 m. En 2020, on s'attend à une poursuite du décalage altitudinal observé durant les dernières décennies.

A court terme (2020), le ski alpin n'est pas menacé dans les Alpes vaudoises en général suite au changement climatique. Tout comme par le passé, il faut s'attendre à une grande variabilité de l'enneigement et des précipitations neigeuses. L'enneigement artificiel permet actuellement de palier le manque de neige pour autant que les températures le permettent. Il faut toutefois rester attentif au fait qu'il n'est pas impossible qu'il pleuve durant les mois d'hiver en station, voire jusqu'à 2000 m. Ceci peut faire fondre en partie ou totalement la neige créée par les canons.

Recommandations

Pour les liaisons importantes (montée pour rejoindre le domaine en altitude ou liaison avec un autre domaine notamment), il est recommandé de remplacer les téléskis par des remontées ne nécessitant pas d'enneigement. En règle générale, plus les skieurs peuvent monter haut en altitude sans avoir besoin de neige pour cela, plus la possibilité de skier, sur une partie du domaine au moins, sera garantie durant la saison. Une montée et une descente en station ne nécessitant pas de neige offrent de meilleures chances d'ouverture du domaine. Par ailleurs, lorsque cela est possible, le tracé des pistes devrait être modifié afin d'obtenir les meilleures conditions d'enneigement possibles.

10 – Hiver : Ski alpin

2035

Constat

A moyen terme (2035), les zones situées vers 1200 m offriront approximativement les conditions actuelles d'enneigement à 1000 m, les conditions à 1600 m, celles de 1400 m.

Dès lors, les départs en station, surtout les plus bas des Alpes vaudoises, seront toujours plus souvent problématiques.

Recommandations

Il sera essentiel de pouvoir offrir une montée dans le domaine sans enneigement (cf. recommandation 9).

L'enneigement artificiel pourra, dans une certaine mesure, pallier le manque de neige. Cependant, le risque accru de pluie (près d'une fois sur deux lors de précipitations en hiver à 1200 m) et de températures trop élevées devra être pris en considération pour toute nouvelle installation.

11 – Hiver : Ski alpin

2050

Constat

A long terme (2050), les zones situées vers 1400 m devraient connaître approximativement les conditions actuelles des zones situées vers 1000 m, à 1600 m celles de 1200 m.

Recommandations

La pratique du ski alpin devrait se concentrer sur les zones les plus en altitude. Les zones plus basses qui seraient conservées devraient se situer au nord ou être ombragées et sans cailloux pour offrir le plus de chances à un enneigement optimal.

Concernant l'enneigement artificiel, à 1400 m, il sera confronté aux conditions actuelles d'environ 1000 m. Le risque que la neige fabriquée fonde rapidement suite à des précipitations ou des températures élevées sera grand.

12 – Hiver : Ski de fond

2020 et 2035

Constat

A court (2020) et moyen (2035) termes, le ski de fond n'est pas menacé dans les Alpes. Les parcours de ski de fond actuels peuvent être maintenus pour les échéances 2020 et 2035. Il faut cependant s'attendre à une grande variabilité de l'enneigement, surtout pour les zones situées au-dessous de 1100 m à court terme et progressivement plus haut à moyen terme.

Recommandations

Il faut prévoir que les années avec peu de neige, seules les zones les plus appropriées pour garder la neige (zones les plus en altitude, zones ombragées et à l'abri du vent, combes et versants nord) permettront d'ouvrir les pistes.

13 – Hiver : Ski de fond

2050

Constat

A long terme (2050), les zones situées vers 1400 m devraient connaître approximativement les conditions actuelles des zones situées vers 1000 m. Dès lors, les conditions favorables à la pratique du ski de fond diminueront proportionnellement.

Recommandations

Certains pistes ayant tout ou une partie de leur tracé en dessous de cette altitude devraient être modifiées afin de bénéficier des meilleures zones d'enneigement (zones les plus en altitude, zones ombragées et à l'abri du vent, combes et versants nord).

9.1.3. Alpes et Jura

14 – Hiver : Ski de fond et ski alpin

2020, 2035 et 2050

Constat

Certaines zones sont plus favorables à une couverture neigeuse suffisante pour la pratique du ski alpin ou nordique. En effet, suivant la rugosité du sol notamment (cf. chapitre 6.1), les besoins minimaux en enneigement pour la pratique de ces activités varient. De plus, certaines zones, telles les zones ombragées et à l'abri du vent, les combes et les versants nord offrent de meilleures conditions pour le maintien du manteau neigeux. Ainsi, l'altitude seule ne peut déterminer les besoins minimaux en enneigement pour la pratique de ces activités.

Recommandations

Lors du déplacement ou de la création de nouvelles pistes de ski alpin ou de ski de fond, les paramètres qui influencent les besoins minimaux en enneigement (cf. chapitre 6.1.) devraient être pris en compte. L'altitude ne devrait pas être le seul critère de décision.

15 – Hiver : Autres activités liées à la neige

2020, 2035 et 2050

Constat

La pratique des autres activités liées à la neige verra une évolution à peu près identique à celle du ski de fond de chacune des régions.

Recommandations

Une grande flexibilité sera nécessaire puisque certaines années pourront offrir un bon enneigement alors que d'autres pas.

16 – Hiver : Autres activités non liées à la neige

2020, 2035 et 2050

Constat

La grande variabilité des précipitations fait qu'aujourd'hui déjà certains hivers ou partie d'hiver manquent de neige, impliquant des activités non liées à la neige.

Recommandations

Afin de compenser le manque de neige certains hivers, il est recommandé de diversifier l'offre des activités non liées à la neige. Des animations comme celles déjà proposées en été devraient être pensées avant le début de la saison hivernale afin que leur mise en place soit possible le cas échéant. Par ailleurs, la diversification de l'offre d'activités indépendantes des conditions météorologiques est à poursuivre (cf. recommandation 23).

9.2. ETÉ

9.2.1. Jura

17 – Été : Périodes caniculaires

2020, 2035 et 2050

Constat

De par sa proximité aux grands bassins de population de la région lémanique, le Jura vaudois a une carte à jouer lors de périodes caniculaires. Les séjours courts et non planifiés à l'avance sont ceux qui sont le plus susceptibles d'être annulés en cas de mauvais temps. A l'inverse, ce sont ceux qui sont les plus susceptibles d'être réservés à la dernière minute lors de grande chaleur en plaine.

Le lac de Joux offre en outre un atout supplémentaire pour les vacances à la plage à des températures plus agréables que celles du bord du lac Léman lors de canicules.

Recommandations

Des offres spéciales qui mettent l'accent sur la fraîcheur des journées et des nuits en altitude, tout en alliant le repos et le farniente, devraient être pensées.

18 – Été : Variabilité des conditions météorologiques**2020, 2035 et 2050****Constat**

Les précipitations estivales font que la destination Jura est confrontée à une grande variabilité des conditions météorologiques. A l'avenir, dans un climat plus chaud, ceci ne devrait pas changer.

Recommandations

Des activités en cas de mauvais temps, ainsi que des infrastructures permettant le repos et le bien-être, devraient être pensées pour les hôtes qui souhaiteraient séjourner plusieurs jours dans le Jura.

9.2.2. Alpes

19 – Été : Modélisation de l'évolution du glacier de Tsanfleuron**2020, 2035 et 2050****Constat**

Il est difficile de prévoir l'évolution exacte du glacier de Tsanfleuron. A très long terme, il est voué à disparaître, mais la vitesse de la fonte ne peut être prévue qu'à l'aide d'une modélisation.

Recommandations

Une étude devrait être mandatée afin de connaître son évolution à plusieurs échéances temporelles.

20 – Été : Périodes caniculaires**2020, 2035 et 2050****Constat**

Les Alpes vaudoises sont parmi les destinations des Alpes les plus proches des grands centres urbains de la région lémanique. Lors de périodes de grande chaleur, elles sont susceptibles d'attirer les citadins en recherche de fraîcheur.

Recommandations

Des offres spéciales, qui mettent l'accent sur la fraîcheur des journées et des nuits en altitude, tout en alliant le repos et le farniente, devraient être pensées.

21 – Été : Variabilité des conditions météorologiques**2020, 2035 et 2050****Constat**

La fréquence des précipitations estivales fait que les Alpes vaudoises sont confrontées à une grande variabilité des conditions météorologiques. A l'avenir, dans un climat plus chaud, ceci ne devrait pas changer.

Recommandations

Il s'agit de poursuivre la promotion et la réflexion concernant des activités en cas de mauvais temps pour les hôtes qui séjournent plusieurs jours.

9.3. PRINTEMPS ET AUTOMNE

9.3.1. Jura et Alpes

22 – Printemps/automne : Allongement de la saison**2020, 2035 et 2050****Constat**

On s'attend à ce que les conditions estivales s'étendent au printemps et en automne. Ces saisons pourront ainsi être mieux exploitées. Les personnes non dépendantes des vacances scolaires sont les catégories de touristes susceptibles d'être les plus sensibles à ce changement. Mais les vacances scolaires d'automne offriront également de plus en plus souvent des conditions favorables aux activités estivales. A court terme (2020), le changement ne sera que peu perceptible. Indépendamment de la tendance générale à l'extension de la saison d'été, la variabilité des conditions d'une année à l'autre se maintiendra.

Recommandations

Il s'agit d'accroître la promotion et la réflexion concernant l'exploitation des saisons de printemps et d'automne.

9.4. TOUTES LES SAISONS

9.4.1. Jura et Alpes

23 – 4 saisons : Diversification de l’offre

2020, 2035 et 2050

Constat

On s’attend à ce que la variabilité des conditions météorologiques se maintienne ou s’accroisse. Par ailleurs, à court terme (2020) les prévisions météorologiques ne devraient pas être significativement plus fiables qu’actuellement.

Recommandations

Il serait judicieux d’augmenter l’offre en cas de mauvais temps à toutes les saisons. Par ailleurs, Il est important que les prestataires touristiques aient une bonne réactivité en cas de prévisions météorologiques incertaines. De plus, des prévisions météorologiques régionales peuvent être mises en valeur en faisant connaître à l’extérieur les conditions météorologiques de la station en temps réel : pages web, stations météo automatiques et webcams à différentes altitudes. En outre, il pourrait être intéressant d’élaborer et de communiquer en interne et vers l’extérieur (site web) une prévision météo adaptée spécifiquement à la région et aux altitudes concernées (par exemple en collaboration avec MétéoSuisse).

24 – 4 saisons : Conditions météorologiques et fréquentation

2020, 2035 et 2050

Constat

Très peu de données existent concernant la fréquentation touristique en réaction aux conditions météorologiques, à l’exception de notre étude qui a montré la réactivité de la clientèle suisse aux périodes caniculaires.

Nos analyses spécifiques aux Alpes et Jura vaudois montrent que parmi les variables météorologiques qui influencent la fréquentation touristique, l’ensoleillement est le facteur qui a le plus d’impact, sauf en automne où seule la température semble avoir une influence. Durant les autres saisons, un bon ensoleillement favorise les activités de plein air alors qu’en cas de mauvais temps, ce sont les visites à l’intérieur qui sont privilégiées. Le beau temps favorise par contre également la fréquentation des restaurants. Par ailleurs, la température joue aussi un rôle dans la fréquentation touristique mais dans une moindre mesure comparée à l’ensoleillement. Les températures élevées favorisent les activités de plein

air. En hiver, l'enneigement est plutôt à considérer comme un pré-requis. A partir du moment où il est suffisant, d'autres variables, comme l'ensoleillement, seront déterminantes.

Il reste difficile d'estimer l'impact des conditions météorologiques par rapport à d'autres facteurs sur la décision d'entreprendre un séjour pour les touristes. N'ayant pas ces connaissances pour la période actuelle, il n'est dès lors pas possible de prévoir l'évolution future du comportement des touristes suite au changement climatique.

Recommandations

Des études qui analysent le comportement actuel des touristes seraient utiles. Il s'agirait notamment de récolter des données fiables de fréquentation de divers lieux touristiques et ce sur plusieurs années.

9.5. MESURES D'ATTENUATION POUR LE JURA ET LES ALPES

25 – Mesures d'atténuation

2020, 2035 et 2050

Constat

Le tourisme vaudois n'est pas neutre en matière d'émissions de gaz à effet de serre. Le premier moyen de transport utilisé pour se rendre dans les Alpes ou le Jura vaudois est la voiture individuelle. La forte dépendance de ces destinations au tourisme d'excursion les rend d'autant plus concernées. La deuxième source d'émission de CO₂ liée au tourisme provient des bâtiments. Les efforts d'amélioration dans le domaine du bâti concernent d'autant plus les régions en altitude que la saison de chauffage est plus longue qu'en plaine. Sur cet aspect aussi des améliorations pourraient être envisagées.

Recommandations

Les lignes ferroviaires des Alpes et du Jura vaudois devraient être maintenues et renforcées afin d'augmenter la proportion de visiteurs utilisant le rail par rapport à ceux qui viennent par la route. Ces liaisons devraient être rendues progressivement plus confortables et plus rapides.

Afin de diminuer les émissions de CO₂ des bâtiments, des améliorations dans les domaines de l'isolation et des systèmes de chauffage devraient continuer à être encouragées par le canton et les communes.

Il s'agirait également d'exploiter davantage l'énergie solaire, puisque la quantité de soleil disponible dans les Alpes et le Jura vaudois y est plus importante qu'en plaine, surtout en hiver. Ainsi, la pose de

panneaux solaires, thermiques ou photovoltaïques ainsi qu'une architecture bénéficiant du solaire passif sont particulièrement rentables. En outre, ces mesures contribuent à mettre en avant, pour les visiteurs, les qualités d'ensoleillement de ces régions.

S'agissant de l'énergie utilisée par les remontées mécaniques, des actions, comme la pose de panneaux photovoltaïques, pourraient être entreprises. Ces actions jouent plus un rôle en termes d'image et de marketing qu'en en termes quantitatifs puisque les remontées mécaniques consomment relativement peu d'énergie par rapport aux bâtiments et aux transports. Le gain énergétique n'est toutefois pas à négliger.

LES AUTEURS

L'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL est un organisme de recherche de la Confédération. Il appartient au domaine des EPF et emploie environ 500 collaboratrices et collaborateurs. Il s'occupe de l'utilisation et de la protection des milieux naturels et urbains. Il propose des contributions et des solutions pour l'aménagement responsable des paysages et des forêts et pour la protection contre les dangers naturels typiques des régions montagneuses. A l'échelle internationale, le WSL est à la pointe de la recherche et élabore les bases d'une politique environnementale durable en Suisse.

Dr Gaëlle Serquet est géographe, spécialisée dans l'évolution du climat et de ses conséquences sur le tourisme. Après avoir été assistante d'enseignement à l'Université de Neuchâtel et assistante scientifique à l'EPFL, elle a été engagée à l'Institut fédéral de recherches WSL pour mener à bien la présente étude.

Prof. Dr Martine Rebetez est climatologue à l'institut fédéral de recherches WSL et Professeure à l'Université de Neuchâtel. Ses recherches concernent les changements climatiques et plus particulièrement les modifications climatiques mesurées en Suisse et en Europe, ainsi que leurs conséquences. Ses analyses de mesures météorologiques visent à mieux anticiper les conditions climatiques auxquelles les sociétés et les écosystèmes seront confrontés à l'avenir.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier chaleureusement tous les partenaires et prestataires qui ont eu l'amabilité de collaborer et de fournir des données dans le cadre de cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

- Abegg, B., 1996: *Klimaaenderung und Tourismus - Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen*. Zurich: Schlussbericht NFP 31.
- Abegg, B., 2011: Le tourisme face au changement climatique. Un rapport de synthèse de la CIPRA. In *Compact*, ed. CIPRA, Schaan: CIPRA.
- Abegg, B., Agrawala, S., Crick, F. & de Montfalcon, A., 2007: Climate change impacts and adaptation in winter tourism. In *Climate Change in the European Alps*, éd. Agrawala, S., Paris: OCDE - Organ. for Econ, Co-oper. and Dev., pp. 25-60.
- Amelung, B. & Viner, D., 2006: Mediterranean Tourism: Exploring the Future with the Tourism Climatic Index. *Journal of Sustainable Tourism*, 14, 349-366.
- Badré, M., Prime, J.-L. & Ribière, G., 2009: Neige de culture: Etat des lieux et impacts environnementaux. Note socio-économique. République Française. Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire.
- Baeriswyl, P. A. & Rebetez, M., 1997: Regionalization of Precipitation in Switzerland by Means of Principal Component Analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 58, 31-41.
- Baeriswyl, P. A., Rebetez, M., Winistoefer, A. & Roten, M., 1997: *Répartition spatiale des modifications climatiques dans le domaine alpin*. Zurich: vdf.
- Begert, M., Schlegel, T. & Kirchhofer, W., 2005: Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. *International Journal of Climatology*, 25, doi:10.1002/joc.1118, 65-80.
- Buerki, R., 2000: *Klimaaenderung und Anpassungsprozesse im Tourismus. Dargestellt am Beispiel des Wintertourismus*. St. Gallen: Publikation der Ostschweizerischen Geographischen Gesellschaft NF H 6.
- Ceron, J.-P. & Dubois, G., 2000: Tourisme et changement climatique. In *Impacts et Potentiels du Changement Climatique en France au XXIème Siècle: Premier ministre, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement*, 2d ed., pp. 104-111.
- CH2011. 2011: Swiss Climate Change Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC. Zurich, Switzerland.
- Dawson, J., Scott, D. & McBoyle, G., 2007: Using an analogue approach to examine climate change vulnerability of the New England (USA) ski tourism industry. In *Developments in Tourism Climatology. 3rd International Workshop on Climate, Tourism and Recreation. Alexandroupolis, Greece 19-22 September 2007*, eds. Matzarakis, A., de Freitas, C. R. & Scott, D., Freiburg: Commission Climate, Tourism and Recreation, International Society of Biometeorology, pp. 183-190.
- Della-Marta, P. M., Haylock, M. R., Luterbacher, J. & Wanner, H., 2007a: Doubled length of western European summer heat waves since 1880. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 112.

- Della-Marta, P. M., Luterbacher, J., von Weissenfluh, H., Xoplaki, E., Brunet, M. & Wanner, H., 2007b: Summer heat waves over western Europe 1880-2003, their relationship to large-scale forcings and predictability. *Climate Dynamics*, 29, 251-275.
- Dubois, G., Ceron, J.-P., Van de Walle, I., Martin, O. & Picard, R., 2009: Météorologie, climat et déplacements touristiques : comportements et stratégies des touristes. Marseille - Paris: TEC - CREDOC.
- Elsasser, H. & Buerki, R., 2002: Climate change as a threat to tourism in the Alps. *Climate Research*, 20, doi:10.3354/cr020253, 253-257.
- Environnement-Canada. 2010: <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=Fr&n=5FBF816A-1#table1>. In Secondary <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=Fr&n=5FBF816A-1#table1>, ed.^eds. Secondary Environnement-Canada, Pages. Place Published. (Consulté le 17.10 2010).
- Fauve, M., Rhyner, H. & Schneebeli, M., 2002: *Préparation et entretien des pistes. Manuel pour le praticien*. Davos: WSL-SLF Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches.
- Furger, P., 2003: L'avenir des remontées mécaniques des Alpes vaudoises. Visp: ARW.
- Gonseth, C., 2008: Adapting Ski Area Operations to a Warmer Climate in the Swiss Alps through Snowmaking Investments and Efficiency Improvements, Lausanne: EPFL.
- Hamilton, J. M. & Lau, M. A., 2006: The role of climate information in tourist destination choice decision making. In *Tourism and global environmental change: ecological, social, economic and political interrelationships*, eds. S., G. & Hall, C. M., London: Routledge, pp. 229-225.
- Hamilton, J. M., Maddison, D. J. & Tol, R. S. J., 2005: Climate change and international tourism: a simulation study. *Global Environmental Change Part A*, 15, 253-266.
- Hantel, M. & Hirtl-Wielke, L. M., 2007: Sensitivity of Alpine snow cover to European temperature. *International Journal of Climatology*, 27, doi:10.1002/joc.1472, 1265-1275.
- Hennessy, K. J., Whetton, P. H., Walsh, K., Smith, I. N., Bathols, J. M., Hutchinson, M. & Sharples, J., 2008: Climate change effects on snow conditions in mainland Australia and adaptation at ski resorts through snowmaking. *Climate Research*, 35, doi:10.3354/cr00706, 255-270.
- IPCC. 2007a: Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Cambridge: IPCC.
- IPCC. 2007b: Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge: IPCC, 541-580.
- Jones, P. D. & Moberg, A., 2003: Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *Journal of Climate*, 16, 206-223.
- Koenig, U. & Abegg, B., 1997: Impacts of Climate Change on Winter Tourism in the Swiss Alps. *Journal of Sustainable Tourism*, 5, 46-58.
- Latenser, M. & Schneebeli, M., 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931-99). *International Journal of Climatology*, 23, doi:10.1002/joc.912, 733-750.
- Maisch, M., Wipf, A., Denneler, B., Battaglia, J. & Benz, C., 2000: *Die Gletscher der Schweizer Alpen. Gletscherhochstand 1850, Aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwund-Szenarien*. Zurich: vdf-Verlag.

- MétéoSuisse. 2012: Le changement climatique en Suisse. Zurich: Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse.
- Mueller, H. & Weber, F., 2008: 2030: le tourisme suisse face aux changements climatiques. ed. Tourisme, S., Berne: Suisse Tourisme.
- North, N., Kljun, N., Kasser, F., Heldstab, J., Maibach, M., Reutimann, J. & Guyer, M., 2007: Changements climatiques en Suisse. Indicateurs des causes, des effets et des mesures. In *État de l'environnement n° 0728*, ed. l'environnement, O. f. d., Berne: OFEV.
- OcCC-ProClim. 2007: Les changements climatiques et la Suisse en 2050. Impacts attendus sur l'environnement, la société et l'économie. Bern: OcCC / ProClim - Forum for Climate and Global Change.
- Perch-Nielsen, S., Amelung, B. & Knutti, R., 2010: Future climate resources for tourism in Europe based on the daily Tourism Climatic Index. *Climatic Change*, doi:10.1007/s10584-009-9772-2.
- Pickering, C. & Buckley, R., 2010: Climate Response by the Ski Industry: The Shortcomings of Snowmaking for Australian Resorts. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 39, doi:10.1007/s13280-010-0039-y, 430-438.
- Pirc, M., Gaube, V. & Pfefferkorn, W., 2009: La protection de la nature face au changement climatique. Rapport de synthèse de la CIPRA. In *Compac*, ed. CIPRA, Schaan.
- Pomeroy, J. W. & Gray, D. M., 1995: Snowcover: Accumulation, relocation and management. *NHRI Science report*, 7.
- Rebetez, M., 1996: Seasonal relationship between temperature, precipitation and snow cover in a mountainous region. *Theoretical and Applied Climatology*, 54, 99-106.
- Rebetez, M., 2004: Summer 2003 maximum and minimum daily temperatures over a 3300 m altitudinal range in the Alps. *Climate Research*, 27, 45-50.
- Rebetez, M., 2011: *La Suisse se réchauffe*. 4ème édition. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes (Nature et environnement).
- Rebetez, M., Mayer, H., Dupont, O., Schindler, D., Gartner, K., Kropp, J. & Menzel, A., 2006: Heat and drought 2003 in Europe : a climate synthesis. *Ann. For. Sc.*, 63 569–577.
- Rebetez, M. & Reinhard, M., 2008: Monthly air temperature trends in Switzerland 1901-2000 and 1975-2004. *Theoretical and Applied Climatology*, 91, doi:10.1007/s00704-007-0296-2, 27-34.
- Rey, L., 1986: La neige, ses métamorphoses, les avalanches. ANENA.
- RMS. 2010: Faits et chiffres 2010. Berne: Remontées Mécaniques Suisses.
- Rutty, M. & Scott, D., 2010: Will the Mediterranean Become Too Hot for Tourism? A Reassessment. *Tourism and Hospitality Planning & Development*, 7, 267-281.
- Schaer, C., Vidale, P. L., Luthi, D., Frei, C., Haberli, C., Liniger, M. A. & Appenzeller, C., 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427, 332-336.
- Scherrer, S. C. & Appenzeller, C., 2006: Swiss Alpine snow pack variability: major patterns and links to local climate and large-scale flow. *Climate Research*, 32, 187-199.

- Scherrer, S. C., Frei, C. & Croci-Maspoli, M., 2011: *Evolution du climat en Suisse*. Zürich: MeteoSuisse (Poster).
- Schmidli, J. & Frei, C., 2005: Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. *International Journal of Climatology*, 25, doi:10.1002/joc.1179, 753-771.
- Schneider, N. & Eugster, W., 2007: Climatic impacts of historical wetland drainage in Switzerland. *Climatic Change*, 80, doi:DOI 10.1007/s10584-006-9120-8, 301-321.
- Scott, D. & Dawson, J., 2007: Climate change vulnerability of the US Northeast ski industry. In *Developments in Tourism Climatology*, éd. Matzarakis, A., de Freitas, C. R. & Scott, D., Freiburg, pp. 183-190.
- Scott, D., Goessling, S. & de Freitas, C. R., 2008: Preferred climates for tourism: case studies from Canada, New Zealand and Sweden. *Climate Research*, 38, doi:10.3354/cr00774, 61-73.
- Scott, D., Jones, B., Lemieux, C., McBoyle, G., Mills, B., Svenson, S. & Wall, G., 2007a: Vulnerability of winter recreation to the climate change - A Case Study Of The Lakelands Tourism Region (Southern Ontario, Canada). In *Climate Change and Tourism Assessment and Coping Strategies*, éd. Amelung, B., Blazejczyk, K. & Matzarakis, A., Maastricht - Warsaw - Freiburg.
- Scott, D. & McBoyle, G., 2007: Climate change adaptation in the ski industry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12, doi:10.1007/s11027-006-9071-4, 1411-1431.
- Scott, D., McBoyle, G. & Mills, B., 2003: Climate change and the skiing industry in southern Ontario (Canada): exploring the importance of snowmaking as a technical adaptation. *Climate Research*, 23, 171-181.
- Scott, D., McBoyle, G. & Minogue, A., 2007b: Climate change and Quebec's ski industry. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 17, doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.05.004, 181-190.
- Scott, D., McBoyle, G., Minogue, A. & Mills, B., 2006: Climate Change and the Sustainability of Ski-based Tourism in Eastern North America: A Reassessment. *Journal of Sustainable Tourism*, 14, 376-398.
- Seneviratne, S. I., Luthi, D., Litschi, M. & Schaer, C., 2006: Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. *Nature*, 443, 205-209.
- Serquet, G., soumis: Critères d'évaluation de la fiabilité de l'enneigement des domaines skiables en lien avec le changement climatique.
- Serquet, G., Marty, C., Dulex, J.-P. & Rebetez, M., 2011: Seasonal trends and temperature dependence of the snowfall/precipitation-day ratio in Switzerland. *Geophysical Research Letters*, 38, doi:10.1029/2011GL046976, L07703.
- Serquet, G., Marty, C. & Rebetez, M., submitted: Monthly trends and the corresponding altitudinal shift in the snowfall/precipitation-day ratio.
- Serquet, G. & Rebetez, M., 2011: Relationship between tourism demand in the Swiss Alps and hot summer air temperatures associated with climate change. *Climatic Change*, doi:10.1007/s10584-010-0012-6.
- Société Suisse de Géomorphologie – Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft SSGm. 2009a: Fiches 2.4.7. - Géomorphologie de la montagne. *En partenariat avec les Instituts de Géographie*

des Universités de Fribourg (IGUF) et de Lausanne (IGUL)
<http://www.unifr.ch/geoscience/geographie/ssgmfiches/>.

- Société Suisse de Géomorphologie – Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft SSGm. 2009b: Fiches 2.5.4. - Géomorphologie de la montagne. *En partenariat avec les Instituts de Géographie des Universités de Fribourg (IGUF) et de Lausanne (IGUL)*
<http://www.unifr.ch/geoscience/geographie/ssgmfiches/>.
- Steiger, R., 2007: Snowmaking - A suitable adaptation strategy? Examples from Tyrol/Austria. In *Developments in Tourism Climatology*, eds. Matzarakis, A., de Freitas, C. R. & Scott, D., Freiburg, pp. 178-182.
- Steiger, R., 2010: Climate change impact assessment in Winter tourism. In *Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology*, eds. Matzarakis, A., Mayer, H. & Chmielweski, F.-M., Freiburg: Berichte des Meteorologischen Instituts des Albert-Ludwigs-Universitaet Freiburg, 410-415.
- Steiger, R. & Mayer, M., 2008: Snowmaking and Climate Change Future Options for Snow Production in Tyrolean Ski Resorts. *Mountain Research and Development*, 28, doi:10.1659/mrd.0978, 292-298.
- Stott, P. A., Stone, D. A. & Allen, M. R., 2004: Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature*, 432, 610-614.
- Teich, M., Lardelli, C., Bebi, P., Gallati, D., Kytzia, S., Pohl, M., Pütz, M. & Rixen, C., 2007: *Klimawandel und Wintertourismus: Oekonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneigung*. Birmensdorf: [published online 2007] Available from World Wide Web ><http://www.wsl.ch/publikationen/pdf/8408.pdf>< Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.
- UNIL & Tecnat. 2009: Guide pratique des cartes indicatives des dangers naturels. Lausanne: Sur mandat de l'Etat de Vaud, Département de la sécurtié et de l'environnement, Service des forêts, de la faune et de la nature, Section gestion forestier, Dangers naturels.

LISTE DES FIGURES

Figure 2.3.1 :	Limites des 13 régions de Suisse définies pour les précipitations par Baeriswyl et Rebetez (1997)	22
Figure 2.3.2 :	Moyenne des précipitations de différentes stations MétéoSuisse des Alpes vaudoises pour la période de référence 1961-1990. Les barres grises représentent la somme des précipitations [mm] et le trait noir le nombre de jours de précipitations.	24
Figure 2.3.3 :	Moyenne des précipitations de différentes stations MétéoSuisse du Jura vaudois pour la période de référence 1961-1990. Les barres grises représentent la somme des précipitations [mm] et le trait noir le nombre de jours de précipitations.	26
Figure 2.3.4 :	Moyenne des précipitations de quelques stations MétéoSuisse des montagnes suisses pour la période de référence 1961-1990. Les barres grises représentent la somme des précipitations [mm] et le trait noir le nombre de jours de précipitations.	29
Figure 2.4.1 :	Moyenne de l'ensoleillement des stations MétéoSuisse des Alpes et du Jura vaudois et de la région lémanique pour la période de référence 1961-1990. Les barres grises représentent la durée d'ensoleillement absolu [h] et le trait noir la durée d'ensoleillement relatif [%].	31
Figure 2.4.2 :	Moyenne de l'ensoleillement de quelques stations MétéoSuisse des montagnes suisses pour la période de référence 1961-1990. Les barres grises représentent la durée d'ensoleillement absolu [h] et le trait noir la durée d'ensoleillement relatif [%].	32
Figure 3.1.1 :	Ecarts de la température moyenne annuelle par rapport à la moyenne pluriannuelle (1961-1990) en degrés Celsius. Des écarts positifs (plus chaud) apparaissent en rouge, des écarts négatifs (plus froid) en bleu (MétéoSuisse, 2012).	35
Figure 3.1.2 :	Evolution passée des températures moyennes printanières (mars – avril – mai) de douze stations homogénéisées de MétéoSuisse	36
Figure 3.1.3 :	Evolution passée des températures moyennes printanières (mars – avril – mai) de la station MétéoSuisse de Château-d'Oex	37
Figure 3.1.4 :	Evolution passée des températures moyennes printanières (mars – avril – mai) de la station MétéoSuisse de Chaumont	37
Figure 3.1.5 :	Evolution passée des températures moyennes estivales (juin – juillet – août) de douze stations homogénéisées de MétéoSuisse	38
Figure 3.1.6 :	Evolution passée des températures moyennes estivales (juin – juillet – août) de la station MétéoSuisse de Château-d'Oex	39
Figure 3.1.7 :	Evolution passée des températures moyennes estivales (juin – juillet – août) de la station MétéoSuisse de Chaumont	39
Figure 3.1.8 :	Evolution passée du nombre de jours très chauds (températures minimales supérieures au percentile 80) pour l'été (juin – juillet – août) de la station MétéoSuisse de Neuchâtel (adapté de Rebetez, 2004)	40
Figure 3.1.9 :	Evolution passée des températures moyennes automnales (septembre – octobre – novembre) de douze stations homogénéisées de MétéoSuisse	41

Figure 3.1.10 : Evolution passée des températures moyennes automnales (septembre – octobre – novembre) de la station MétéoSuisse de Château-d’Oex	42
Figure 3.1.11 : Evolution passée des températures moyennes automnales (septembre – octobre – novembre) de la station MétéoSuisse de Chaumont	42
Figure 3.1.12 : Evolution passée des températures moyennes hivernales (décembre – janvier – février) de douze stations homogénéisées de MétéoSuisse	43
Figure 3.1.13 : Evolution passée des températures moyennes hivernales (décembre – janvier – février) de la station MétéoSuisse de Château-d’Oex	44
Figure 3.1.14 : Evolution passée des températures moyennes hivernales (décembre – janvier – février) de la station MétéoSuisse de Chaumont	44
Figure 3.2.1 : Evolution passée de la somme des précipitations annuelles [mm] de douze stations homogénéisées de MétéoSuisse	45
Figure 3.3.1 : Déviation relative [%] de la hauteur de neige moyenne hivernale (novembre à avril) par rapport à la moyenne à long terme. La ligne pointillée représente la moyenne mobile sur 11 ans et la ligne pleine la tendance à long terme. Les données (1932-1999) couvrent toutes les régions des Alpes suisses pour différentes altitudes (Latenser & Schneebeli, 2003).	47
Figure 3.3.2 : Cumul des précipitations neigeuses de décembre à mars [cm] à Château-d’Oex en comparaison avec d’autres stations météorologiques d’altitudes différentes (source des données : MétéoSuisse et MétéoLeysin)	48
Figure 3.3.3 : Cumul des précipitations neigeuses de décembre à mars [cm] à Chaumont en comparaison avec d’autres stations météorologiques d’altitudes différentes (source des données : MétéoSuisse et MétéoLeysin)	48
Figure 3.5.1 : Schéma d’évolution des trois scénarios d’émissions anthropiques de gaz à effet de serre futures, ainsi que les changements de température projetés pour la Suisse (valeur moyenne sur une période de 30 ans (2070–2099) centrée en 2085). «CO ₂ eq» est une unité de référence qui permet d’exprimer les autres gaz à effet de serre (comme le méthane, CH ₄) en unités de CO ₂ (CH2011, 2011: 9).	50
Figure 3.5.2 : Changements passés et futurs des températures saisonnières [°C] pour la Suisse occidentale pour l’hiver (décembre à février) et l’été (juin à août). Les changements sont calculés par rapport à la période de référence 1980 à 2009. Les fines barres en couleur représentent les différences annuelles par rapport à la moyenne des observations durant la période de référence et les lignes noires dénotent les moyennes correspondantes lissées sur 30 ans. La zone grise indique les différences d’une année à l’autre telles que projetées par les modèles climatiques pour le scénario A1B. Les larges barres en couleur montrent les meilleures estimations des projections futures ainsi que la marge d’incertitude associée pour les trois périodes de 30 ans considérées et pour les trois scénarios d’émissions de gaz à effet de serre (CH2011, 2011, résumé en français : 3).	51
Figure 3.5.3 : Changements des températures [°C] journalières projetées par rapport à la moyenne de 1980-2009 pour les stations d’Aigle, de Château-d’Oex, du Sépey et des Diablerets dans les Alpes vaudoises selon le scénario d’émissions de gaz à effet de serre A1B et pour 3 périodes (2035 : 2020-2049, 2060 : 2045-2074, 2085 : 2070-2099) (source des données CH2011, 2011)	52
Figure 3.5.4 : Changements des températures [°C] journalières projetées par rapport à la moyenne de 1980-2009 pour les stations de La Dôle et Bullet/La Frétaz dans Jura vaudois selon le scénario d’émissions de gaz à effet de serre A1B et pour 3 périodes (2035 : 2020-2049, 2060 : 2045-2074, 2085 : 2070-2099) (source des données CH2011, 2011)	53

- Figure 3.5.5 : Changements potentiels dans la fréquence et l'intensité des journées à températures extrêmes suite au changement climatique (adapté de CH2011, 2011: 26). La ligne continue indique la fréquence actuelle ; la ligne traitillée, les fréquences futures. 54
- Figure 3.5.6 : Changements passés et futurs des précipitations [%] pour la Suisse occidentale. Les changements sont calculés par rapport à la période de référence 1980 à 2009. Les fines barres en couleur représentent les différences annuelles par rapport à la moyenne des observations durant la période de référence et les lignes noires dénotent les moyennes correspondantes lissées sur 30 ans. La zone grise indique les différences d'une année à l'autre telles que projetées par les modèles climatiques pour le scénario A1B. Les larges barres en couleur montrent les meilleures estimations des projections futures ainsi que la marge d'incertitude associée pour les trois périodes de 30 ans considérées et pour les trois scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (CH2011, 2011, résumé en français : 3). 55
- Figure 3.5.7 : Changements potentiels dans la fréquence et l'intensité des précipitations extrêmes suite au changement climatique (adapté de CH2011, 2011 : 26). La ligne continue représente la fréquence des précipitations (faibles à gauche, intenses à droite) ; la ligne traitillée la fréquence future. Les barres brunes de droites représentent la fréquence des jours secs présente (barre de gauche) et future (barre de droite). 56
- Figure 4.1.1 : Conditions climatiques favorables à l'épicéa actuellement (à gauche) et avec une augmentation de 3,3°C (à droite) (source : Zimmermann, WSL) 59
- Figure 4.1.2 : Conditions climatiques favorables au chêne actuellement (à gauche) et avec une augmentation de 3,3°C (à droite) (source : Zimmermann, WSL) 60
- Figure 4.3.1 : Zones de pergélisol possibles et probables autour du massif des Diablerets (source : BAFU, BWL, Swisstopo http://umweltzustand.admin.ch/?reset_session&initialState=permafrost&lang=fr) 61
- Figure 4.3.2 : Mesures des variations de longueur [m/année et m] du glacier de Tsanfleuron entre 1884 et 2009 (source : ETHZ - VAW, Réseau suisse des observations glaciaires <http://glaciology.ethz.ch/messnetz/index.html>) 62
- Figure 4.3.3 : Modélisation de la taille du glacier de Tsanfleuron pour 3 dates (Source : Simon Martin, http://www.unil.ch/webdav/site/igul/shared/recherche/Retrait_glacier_1850-2006.swf) 63
- Figure 4.3.4 : Part des glaciers suisses encore existants (%) en fonction de l'augmentation des températures de 2002 à 2100 (Société Suisse de Géomorphologie – Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft SSGm, 2009a) 64
- Figure 4.3.5 : Scénario de retrait pour le glacier de Tsanfleuron. La photo a été prise en octobre 1994. Le scénario de retrait a été établi sur la base des données de (Maisch et al., 2000) (Société Suisse de Géomorphologie – Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft SSGm, 2009a) 64
- Figure 4.4.1 : Carte indicative synoptique du canton de Vaud : le dégradé rose-rouge reflète le cumul des dangers (de 1 à 6 dangers potentiels). En blanc : absence de danger, en rose : un seul danger, en rouge : plusieurs dangers (source : www.vd.ch/dangers-naturels) 65
- Figure 4.4.2 : Evolution des coûts liés aux dégâts d'intempéries de 1972 à 2011 (valeurs corrigées de l'inflation) (source : WSL) 66
- Figure 5.1.1: Résultats pour les touristes français de l'importance de différents paramètres dans le choix des destinations touristiques (Dubois et al., 2009: 30) 69

Figure 5.1.2 : Éléments du climat susceptibles de nuire le plus à la réussite du futur séjour pour les touristes français (3 réponses possibles) (Dubois et al., 2009: 34)	70
Figure 5.1.3 : Températures à partir de laquelle les touristes français considèrent qu'il fait trop chaud en journée, selon l'âge et la région de résidence (Dubois et al., 2009: 35-36)	71
Figure 5.1.4 : Températures à partir de laquelle les touristes français considèrent qu'il fait trop froid en journée, selon l'âge et la région de résidence (Dubois et al., 2009: 37)	72
Figure 5.1.5 : Températures à partir de laquelle les touristes français considèrent qu'il fait trop chaud en journée, selon le mode d'hébergement, l'environnement du séjour et les activités prévues (Dubois et al., 2009: 36)	72
Figure 5.1.6 : Températures à partir de laquelle les touristes français considèrent qu'il fait trop froid en journée, selon le mode d'hébergement, l'environnement du séjour et les activités prévues (Dubois et al., 2009: 37-38)	73
Figure 5.1.7: Importance du facteur météorologique dans la décision de partir (Dubois et al., 2009: 48)	74
Figure 6.1.1 : Influence de la température de l'air sur la densité de la neige fraîche (Pomeroy & Gray, 1995 modifié par Fauve et al., 2002)	81
Figure 6.1.2 : Marais	83
Figure 6.1.3 : Prairie uniforme et sans cailloux	84
Figure 6.1.4 : Glacier (à gauche) et rocher et pierrier après le retrait du glacier (à droite)	84
Figure 6.1.5 : Bordure de forêt	85
Figure 6.1.6 : Pâturage sans gros cailloux (à gauche) et pâturage traversé par une route (à droite)	86
Figure 6.1.7 : Pâturages avec gros cailloux (à gauche) et pâturage non uniforme (à droite)	86
Figure 6.1.8 : Pierrier avec petites pierres (à gauche) et avec de gros rochers (à droite)	87
Figure 6.1.9 : Part des pistes enneigées techniquement sur l'ensemble de la surface de pistes préparées en Suisse (RMS, 2010).	89
Figure 6.1.10 : Enneigeurs à basse pression (à gauche) et à haute pression (à droite)	90
Figure 6.1.11 : Altitude minimale à partir de laquelle la création d'une couche de neige artificielle suffisante pour la pratique du ski alpin est garantie pour les Alpes autrichiennes. Aujourd'hui, il faut en moyenne 5 jours d'enneigement artificiel pour enneiger une piste. Avec les progrès attendus en matière d'enneigement artificiel, il est possible que le nombre de jours requis diminue. 3 Scénarios (1, 3 et 5 jours) sont ainsi proposés pour une augmentation de +2 °C des températures (d'après Steiger & Mayer 2008 : 5).	92
Figure 6.2.1 : Stratégies d'adaptation des stations de ski (modifié de Elsasser & Buerki, 2002).	93
Figure 7.1.1 : Evolution des conditions climatiques favorables aux pratiques touristiques estivales en Europe et en Afrique du Nord (Perch-Nielsen et al., 2010). Pour chaque saison (printemps (mars – avril – mai), été (juin – juillet – août), automne (septembre – octobre – novembre)), la situation de référence actuelle (1961 – 1990, à gauche) des conditions climatiques favorables aux pratiques touristiques estivales (en orange et rouge) est comparée à celle de la fin du siècle (2071 – 2100, au milieu). La différence (à droite) montre les régions qui bénéficieront de meilleures conditions à la fin du 21 ^{ème} siècle (en bleu), ne subiront pas de modifications significatives (en blanc) ou verront leurs conditions se dégrader (en jaune ou orange).	103

Figure 7.3.1. : Remontée mécanique pour la pratique du ski sur le glacier de Tsanfleuron
(Société Suisse de Géomorphologie – Schweizerische Geomorphologische
Gesellschaft SSGm, 2009b)

105

LISTE DES TABLES

Table 2.2.1 :	Différences de températures [°C] minimales et maximales pour une augmentation de 100 m en altitude. Moyennes des valeurs pour la période 1901-1993 (d'après Baeriswyl et al., 1997: 18).	19
Table 2.2.2 :	Températures [°C] minimales et maximales pour différentes altitudes [m] pour le printemps (mars – avril – mai), l'été (juin – juillet – août), l'automne (septembre – octobre – novembre) et l'hiver (décembre – janvier – février). Moyennes des valeurs pour la période 1901-1993.	20
Table 2.2.3 :	Indice et estimation du refroidissement éolien (Environnement-Canada, 2010)	21
Table 3.5.1 :	Limites altitudinales de différents pourcentages de précipitations neigeuses hivernales lors de précipitations pour quatre périodes (adapté de Serquet et al., submitted).	57
Table 5.1.1 :	Résultats pour les touristes allemands de l'importance de différents paramètres dans le choix des destinations touristiques (d'après Hamilton & Lau, 2006: 241)	68
Table 5.1.2 :	Le poids du climat dans la prise de décision, selon le profil des touristes français interrogés (Dubois et al., 2009: 32)	70
Table 5.1.3 :	Importance des variables météorologiques pour différents environnements touristiques pour les touristes Canadiens, Néo-Zélandais et Suédois. La moyenne donne l'importance relative de chaque variable (de 1 = pas important à 7 = extrêmement important) (d'après Scott et al., 2008: 68).	71
Table 6.1.1 :	Nombre de stations de ski avec une sécurité d'enneigement en 2000 (Buerki, 2000; Koenig & Abegg, 1997)	79
Table 6.1.2 :	Sécurité d'enneigement dans les domaines skiables suisses (Abegg et al., 2007). « Aujourd'hui » correspond aux années 2000.	79
Table 6.1.3 :	Types de sol et besoins minimaux en neige fraîche à -3 °C [cm] et correspondance en neige damée [cm] (Serquet, soumis)	87