

2  
0  
0  
9

# Gestion durable des territoires de montagne

*La neige de culture  
en Savoie et Haute-Savoie*



## Avant-propos

L'économie des départements de Savoie et Haute-Savoie est en grande partie liée au tourisme hivernal. A l'échelle des deux départements, on estime la fréquentation touristique annuelle globale pour l'année 2008 à 67,2 millions de nuitées dont 61% en hiver, contre 34% en été et 5% au printemps et à l'automne (Observatoire du tourisme Savoie Mont-Blanc, 2008).

Sans distinction de taille, 109 stations de sports d'hiver savoyardes ont permis de générer 34 millions de journées skieurs en ski alpin pour la saison 2007-2008. Il s'agit là du plus grand parc de stations de sports d'hiver français. A titre de comparaison, 54,6 millions de journées skieurs ont été réalisées pour cette même saison à l'échelle de la France entière (Syndicat National des Téléhéliques de France, 2008b, 2008c).

Afin d'assurer cette activité, la plupart des exploitants de domaines skiables a aujourd'hui recours à la production de neige de culture. Développée depuis les années 1980, la production de neige s'est accélérée à partir des années 1990. Elément important dans l'exploitation d'un domaine skiable, la neige de culture permet notamment la préparation d'une sous-couche de neige améliorant l'enneigement de début de saison et permettant l'ouverture des stations à dates fixes. Elle permet également d'assurer l'ouverture d'un domaine skiable minimal en cas de déficit de neige naturelle.

Objet de débats, cette pratique questionne quant à ses impacts environnementaux. La généralisation de la production de neige n'est en effet pas sans conséquences sur les milieux de montagne, en particulier sur les ressources en eau. Par ailleurs, cet usage dans la perspective du réchauffement climatique est également souvent discuté : dans quelle mesure la neige de culture est-elle un moyen pertinent de se prémunir de l'aléa climatique, qu'il s'agisse de la variabilité climatique interannuelle ou des variations climatiques liées au réchauffement global ?

A l'initiative de la Direction Départementale de l'Équipement et de l'Agriculture de la Savoie (DDEA 73), ce travail s'inscrit dans le prolongement du Conseil Départemental de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques de la Savoie (CODERST 73) réuni le 10 décembre 2007. Celui-ci, consacré au thème unique de la neige de culture et du développement durable, avait pour objectif « *de permettre aux membres du CODERST, fréquemment amenés à se prononcer sur la réalisation d'ouvrages liés à la fabrication de neige de culture, de partager un certain nombre de constats et de questions* » à ce sujet (Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales 73, 2007). A l'issue de ce conseil, une réflexion interservices est parue nécessaire pour affiner nos connaissances et tenter d'élaborer une méthodologie ou cadre d'analyse abordant les questions environnementales et socio-économiques dans une perspective de long terme incluant les évolutions climatiques.

En Haute-Savoie, la DDEA 74 avait été sollicitée, également dans le cadre d'un CODERST, pour mener une réflexion sur la gestion quantitative de l'eau et notamment dans les stations de sports d'hiver. Lors de la séance du 26 novembre 2007, les données de consommation d'eau à l'échelle du département avaient été présentées ainsi qu'au niveau de quelques stations de sports d'hiver. Il s'agissait de répondre aux interrogations concernant l'impact cumulé des différents prélèvements, alors que les dossiers étaient présentés en CODERST de manière trop individualisée. A l'issue de la réunion il a été décidé de former un Groupe de travail sur la gestion quantitative de l'eau au sein de la MISE.

L'objet de ce travail est ainsi d'apporter en matière de neige de culture un ensemble de données homogènes à l'échelle des départements de la Savoie et de la Haute-Savoie et relevant de l'ensemble des approches possibles. Avec pour objectif premier de s'adresser aux services de l'Etat et collectivités amenés à instruire les projets de neige de culture en stations de sports d'hiver, ce document intéressera également le lecteur désireux de mieux cerner l'ensemble des enjeux associés à la production de neige sur les domaines skiables. Après avoir rappelé d'une part l'objectif de la démarche par rapport aux études existantes ou en cours sur ce sujet et d'autre part la méthodologie employée pour conduire ce travail, un premier chapitre dresse l'état des lieux des équipements de neige de culture existants en Savoie et Haute-Savoie. Selon les trois piliers du développement durable, un second chapitre analyse la neige de culture au filtre des sphères socio-économiques et environnementales. Enfin, un dernier chapitre est consacré à la question du changement climatique et ses conséquences probables sur la fiabilité à l'enneigement naturel des divers domaines skiables. L'ensemble de ces analyses a pour objectif de mettre en perspective les investissements en neige de culture et d'objectiver la pérennité du modèle de développement proposé. Elles sont autant d'éléments versés au débat qui montrent, entre autres choses l'absence de réponse unique à l'échelle des deux départements.

# Sommaire

<b>CONTEXTE ET OBJECTIF DE LA DEMARCHE .....</b>	<b>5</b>
<b>METHODOLOGIE EMPLOYEE : LA CONSTITUTION D'UN GROUPE DE TRAVAIL « NEIGE DE CULTURE » .....</b>	<b>8</b>
<b>1 – ETAT DES LIEUX DES EQUIPEMENTS EXISTANTS EN SAVOIE ET HAUTE- SAVOIE .....</b>	<b>10</b>
1.1 – Evolution des surfaces équipées .....	10
1.2 – Evolution des volumes d'eau mobilisés .....	10
1.3 – Les équipements actuels.....	13
1.3 – Perspectives d'évolution des équipements .....	15
En résumé – Etat des lieux : .....	15
<b>2 – LA NEIGE DE CULTURE AU FILTRE DU DEVELOPPEMENT DURABLE .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 – Sphère du social : quel projet de territoire ? quelles logiques d'acteurs ? quels conflits d'environnement ? .....</b>	<b>16</b>
2.1.1 - Neige de culture et sports d'hiver : entre création de richesses et montée en gamme du produit ski....	16
2.1.2 – Neige de culture et conflits environnementaux .....	17
En résumé – Les enjeux sociaux : .....	19
<b>2.2 – Sphère de l'économie : quelles sont les retombées économiques directes et indirectes des installations d'enneigement ?.....</b>	<b>20</b>
2.2.1 – Les bénéfiques : minimiser les pertes .....	20
2.2.2 – De la difficulté à évaluer les bénéfiques .....	21
2.2.3 – Analyse coût-bénéfice : propositions méthodologiques .....	21
2.2.4 – Santé économique et échéances des délégations de service public : facteurs déterminants dans les niveaux d'équipement .....	27
En résumé – Les enjeux économiques : .....	27
<b>2.3 – Sphère de l'environnement : quelles interrelations entre la production de neige et les hydrosystèmes d'un bassin versant de montagne ?.....</b>	<b>28</b>
2.3.1 – Mode d'alimentation en eau des installations d'enneigement .....	28
2.3.2 – Incidences des prélèvements sur les ressources en eau et les milieux aquatiques .....	36
2.3.3 – Perspectives de recherche .....	41
En résumé – Les enjeux environnementaux : .....	42
<b>3 – CHANGEMENT CLIMATIQUE ET RESSOURCE EN NEIGE DANS LES DOMAINES SKIABLES DE SAVOIE ET HAUTE-SAVOIE .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1 – Etat de l'art.....</b>	<b>44</b>
3.1.1 – L'analyse de la variation des chiffres d'affaires .....	44
3.1.2 – Les modèles prospectifs .....	46

<b>3.2 – L’approche prospective proposée par l’OCDE (2007) : le concept de limite de fiabilité de l’enneigement naturel .....</b>	<b>46</b>
<b>3.3 – Reprise des travaux de l’OCDE : application aux départements de Savoie et Haute-Savoie.....</b>	<b>49</b>
3.3.1 – Quelles altitudes de fiabilité de l’enneigement naturel pour les départements de Savoie et Haute-Savoie ? .....	49
3.3.2 – Quelles altitudes pour les domaines skiables de Savoie et Haute-Savoie ?.....	54
3.3.3 – Résultats et analyse critique .....	54
<b>3.4 – Conclusion du chapitre 3 .....</b>	<b>61</b>
<b>En résumé – Les enjeux climatiques : .....</b>	<b>62</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>63</b>
<b>GLOSSAIRE .....</b>	<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>69</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>73</b>

## Contexte et objectif de la démarche

En France, les prélèvements en eau pour la production de neige de culture sont réglementés par le Code de l'Environnement (autorisation de prélèvements, débit réservé, mise en place de compteurs et déclaration des volumes aux Agences de l'Eau). Il s'agit de la nomenclature « eau » déterminant les installations, ouvrages, travaux et aménagements (IOTA) soumis aux procédures de déclaration ou d'autorisation. Le cas échéant, ces prélèvements doivent respecter les dispositions prises dans le cadre des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE).

Cependant, un manque d'informations fiables sur l'enneigement artificiel en stations de sports d'hiver, conjugué au caractère très médiatique des problématiques de gestion de la ressource en eau et à la montée en puissance des logiques environnementales, peut en partie expliquer les inquiétudes sociétales que suscite cette pratique sur les territoires de montagne. Du point de vue de l'eau, la neige de culture questionne à la fois en termes quantitatifs et donc de disponibilité de la ressource mais également en termes de gestion. Pour faire face aux pressions anthropiques, les bassins versants de montagne sont effectivement des espaces où le partage de la ressource tend à s'organiser pour satisfaire l'ensemble des usages de l'eau, auxquels s'ajoutent les besoins des milieux naturels. C'est tout l'enjeu de la gestion intégrée des ressources en eau dans laquelle la neige de culture, dernier usage de l'eau en montagne d'un point de vue historique, doit trouver sa place. La nécessité de mettre en œuvre cette gestion intégrée a d'ailleurs été rappelée par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) du 23 octobre 2000 adoptée par le Conseil et par le Parlement européen.

Cette pratique pose d'autres questions en termes de vulnérabilité des territoires touristiques. Si la neige de culture est un dispositif permettant d'améliorer la qualité de l'offre proposée en stations de sports d'hiver (travail de la neige) et de s'affranchir d'une certaine variabilité climatique (garantie d'ouverture des stations à date fixe et d'ouverture d'un domaine skiable minimum en cas d'aléas climatiques), elle peut également être perçue comme une réponse de certains territoires touristiques au changement climatique. La neige de culture est alors employée comme stratégie de réduction des effets probables du changement climatique. Se pose ainsi la question de la pertinence de cette réponse sur le long terme, vis-à-vis de la fiabilité de l'enneigement des stations de sports d'hiver à différents horizons temporels et selon leur situation. En corollaire, l'enjeu est également de pouvoir mesurer la capacité de ces territoires à mettre en œuvre d'autres alternatives pour envisager le risque de raréfaction de la ressource neige, c'est-à-dire des stratégies d'adaptation sur le long terme au changement climatique.

Pour tenter de répondre à l'ensemble de ces interrogations, en particulier du point de vue des ressources en eau, de récents travaux et études sont en cours ou d'ores et déjà achevés. On peut notamment citer :

- **la mission « neige de culture » conduite en 2008 par des Inspecteurs Généraux de l'Environnement (IGE)** à la demande du ministère de l'Ecologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire (MEEDDAT) ; les principaux objectifs de cette mission étaient, schématiquement, une évaluation des impacts environnementaux et économiques de la neige de culture, des propositions pour le traitement de cette question de la neige de culture à travers le lancement et la réactivation des SAGE notamment dans les Alpes (Badré, Prime *et al.*, 2009) ;

- le « **Schéma de conciliation de la neige de culture avec la ressource en eau, les milieux et les autres usages** » porté par le SAGE du Drac et de la Romanche. Cette étude, démarrée au début de l'année 2009, devrait être d'une durée de 10 à 12 mois (Commission Locale de l'Eau du SAGE Drac Romanche, 2008) ; les objectifs visent d'une part à suivre l'évolution des besoins pour les milieux naturels et des prélèvements en eau à court et à long terme. Il s'agit d'autre part de définir des règles pour encadrer la réalisation et la gestion des retenues d'altitude en concertation et au cas par cas, à partir d'une analyse des ressources en eau par bassin versant et en fonction des usages existants ;
- la **fiche action « Concilier "la culture de la neige" avec les milieux et les autres usages de l'eau en montagne »** portée par la Société d'Economie Alpestre de la Haute-Savoie (SEA 74). Les objectifs de cette action visent à mieux appréhender l'impact de la culture de la neige sur les milieux en amont d'une décision d'aménagement, à limiter les impacts négatifs sur l'eau et les milieux, à apporter des éléments d'aide à la décision à la fois économiques, techniques et environnementaux, à réduire les conflits d'usage par la recherche de compromis et de solutions techniques satisfaisantes et à contribuer à une véritable gestion intégrée à l'échelle des têtes de bassin versant (Société d'Economie Alpestre 74, 2008). Cette action, actuellement en cours de réalisation, devrait se terminer avant décembre 2009 ;
- le **guide technique « Retenues d'altitude »** coordonné par le CEMAGREF (Peyras et Mériaux, coord., 2009) à l'usage des maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et exploitants, élaboré dans le cadre du projet BARALTISUR (Sûreté des barrages d'altitude pour la production de la neige de culture). Ce programme, au travers de la publication du guide, vise à « *améliorer les pratiques d'ingénierie, de construction et de maintenance des barrages, accroître la performance et la durabilité des aménagements, augmenter les marges de sécurité vis-à-vis du risque d'accident et améliorer les pratiques de réhabilitation des barrages* » (Peyras, Mériaux et al., 2009).

Toujours en matière de ressources en eau, le « **Bilan quantitatif de la ressource en eau sur le bassin versant de l'Isère en amont d'Albertville** » conduit en 2008 par l'Assemblée du Pays de Tarentaise-Vanoise a également étudié l'usage de l'eau pour la production de neige. Il a replacé cette pratique dans son contexte, d'un point de vue quantitatif, au regard des autres utilisations de la ressource et à l'échelle d'un grand bassin versant de montagne (Assemblée du Pays Tarentaise-Vanoise, 2008).

Sur un autre plan, la récente campagne d'information « **Les talents insoupçonnés de la neige de culture** » du Syndicat National des Téléphériques de France (SNTF) a également pour ambition d'apporter un certain nombre d'éléments de réponse en termes de conditions de production, d'utilisation des ressources naturelles, de consommation énergétique ainsi que d'implications socio-économiques de cette pratique (Syndicat National des Téléphériques de France, 2006, 2008a). Cette campagne ne fait cependant pas ou peu référence aux impacts environnementaux de la neige de culture sur les milieux naturels.

Le présent travail s'inscrit dans la continuité des travaux ci-dessus et dans la recherche d'une amélioration des connaissances en ce qui concerne la pratique de l'enneigement artificiel en stations de sports d'hiver. Son ambition est ainsi d'apporter en matière de neige de culture un ensemble de données objectives et homogènes à l'échelle des départements de la Savoie et de la Haute-Savoie, relevant de l'ensemble des approches possibles (environnementale et socio-économique) pour une aide à la décision. Il s'agit d'un travail interne aux services de l'Etat, avec l'appui d'Atout France (anciennement ODIT France), qui consiste en un recueil de connaissances et d'observations continues de la pratique de l'enneigement artificiel. Son but à terme est d'engager des échanges avec les autres acteurs concernés. Il fait donc état des

connaissances des services de l'Etat des départements de Savoie et de Haute-Savoie en la matière. L'amélioration de ces connaissances et l'observation continue de la pratique de l'enneigement artificiel sont les objectifs initiés par la publication de ce document.

## Méthodologie employée : la constitution d'un groupe de travail « neige de culture »

Le document proposé est le fruit d'une réflexion conduite dans le cadre d'un **groupe de travail interservices de l'Etat**, avec la participation d'Atout France, constitué pour l'occasion et piloté par le Service Etudes et Prospectives Territoriales (SePT) de la Direction Départementale de l'Equipeement et de l'Agriculture de la Savoie (DDEA 73). Les membres du groupe de travail « neige de culture » ayant contribué à la rédaction de ce document sont les suivants :

- **Atout France**  
*M. Frédéric BERLIOZ*  
*M. Philippe MICHOU*
  
- **Direction Régionale de l'Environnement Rhône-Alpes (DIREN Rhône-Alpes)**  
*M. Philippe RAVIOL*
  
- **Direction Départementale de l'Equipeement et de l'Agriculture de la Haute-Savoie (DDEA 74)**  
*Mme Rachel CHAPUIS*  
*M. Mathieu DELILLE*  
*M. Jean-Philippe VINCENT*
  
- **Direction Départementale de l'Equipeement et de l'Agriculture de la Savoie (DDEA 73)**  
*Mme Anne LENFANT*  
*Mme Geneviève DARMEDRU*  
*M. Xavier CHANTRE*

Le **laboratoire Environnements DYnamiques et TERRitoires de Montagne** (Laboratoire EDYTEM, Université de Savoie / CNRS) s'est associé à cette réflexion grâce au dispositif du monitorat en entreprise. Mise en place par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche au cours de l'année 2007-2008, le monitorat en entreprise offre « *l'occasion aux entreprises de faire appel aux compétences des doctorants et de permettre :*

- *aux doctorants de mettre en application leurs compétences de jeunes chercheurs, d'enrichir leur formation et de préparer la suite de leur vie professionnelle ;*
- *à l'entreprise de se tourner vers le monde de la recherche et de mieux connaître (et reconnaître) ses forces vives que sont les jeunes chercheurs »* (Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, 2007)<sup>1</sup>.

C'est dans ce cadre d'une meilleure connaissance réciproque entre l'université et les administrations que *Pierre PACCARD*, doctorant en géographie au laboratoire EDYTEM sur la thématique de la gestion de l'eau en stations de sports d'hiver, est venu appuyer les réflexions du groupe de travail ainsi constitué. Une convention tripartite signée entre l'Université de Savoie, le Laboratoire EDYTEM et la DDEA 73 a permis cette mise à disposition.

---

<sup>1</sup> Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (2007) – Le Moniteur / Doctorant-Conseil, Note de présentation, Expérimentation année universitaire 2007/2008, 2 p.

Dix réunions de travail, de fréquence mensuelle et réparties entre le mois d'octobre 2008 et le mois de septembre 2009, ont permis aux membres du groupe de travail de mettre en commun leur savoir-faire et leurs données<sup>2</sup> en matière de neige de culture et de ses implications environnementales et socio-économiques. Les trois sphères fondamentales du développement durable – environnementale, sociale et économique – ont en permanence guidé les réflexions engagées pour les départements de Savoie et Haute-Savoie.

---

<sup>2</sup> L'ensemble de ces données chiffrées, sur lesquelles se fondent les différentes analyses proposées, figurent en annexe de ce document.

# 1 – Etat des lieux des équipements existants en Savoie et Haute-Savoie

L'offre de ski alpin en Savoie et Haute-Savoie se compose de 109 domaines skiables élémentaires\* (55 en Savoie et 54 en Haute-Savoie) toutes tailles comprises. Sur cet ensemble, 79 stations de ski alpin\* sont aujourd'hui équipées en neige de culture (41 en Savoie et 38 en Haute-Savoie)<sup>3</sup>.

## 1.1 – Evolution des surfaces équipées

Les surfaces de pistes équipées en neige de culture\* sont en constante progression depuis la saison 1994/1995 (figure 1). Elles sont plus importantes en Savoie qu'en Haute-Savoie : 1 783 ha en Savoie, 874 ha en Haute-Savoie et 5 160 ha à l'échelle de la France entière pour la saison 2007/2008.

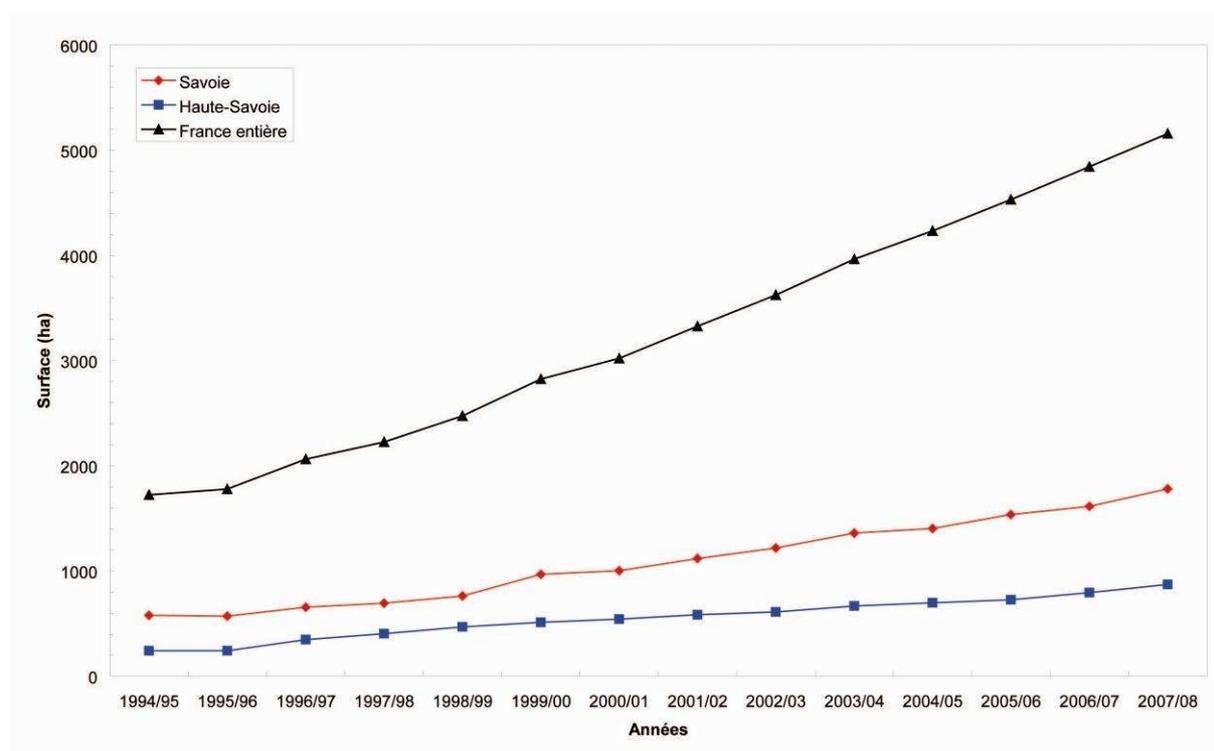


Figure 1 : Evolution des surfaces équipées (en ha) en neige de culture en Savoie et Haute-Savoie depuis la saison 1994/1995 (données : Atout France, 2009 ; cf. annexe I)

## 1.2 – Evolution des volumes d'eau mobilisés

Corrélativement à l'augmentation des surfaces équipées, les volumes d'eau mobilisés pour la production de neige sont également en augmentation (figure 2). En moyenne, 1 m<sup>3</sup> d'eau est nécessaire à la production de 2 m<sup>3</sup> de neige de culture (ODIT France, 2008a). En 2007, 4 821

\* Voir glossaire

<sup>3</sup> Données : ODIT France ; 2009 ; cf. annexe V

milliers de m<sup>3</sup> d'eau prélevés ont ainsi été déclarés à l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse pour le département de la Savoie contre 1 523 milliers de m<sup>3</sup> pour le département de la Haute-Savoie (10 774 m<sup>3</sup> pour l'ensemble du bassin Rhône Méditerranée et Corse<sup>4</sup>). D'un autre côté, les résultats de l'enquête annuelle réalisée par ODIT France auprès de l'ensemble des opérateurs de domaines skiables montrent que 9 000 milliers de m<sup>3</sup> ont été mobilisés pour la production de neige pour la saison 2006/2007 à l'échelle des Alpes et 16 000 milliers de m<sup>3</sup> pour la même saison à l'échelle de la France.

En fait, la confrontation de ces sources de données différentes et la lecture de ces courbes rendent bien compte de la réalité des comptages des prélèvements en eau pour la production de neige. Même si les ordres de grandeur sont connus, il n'existe pas de données très précises sur ces prélèvements (Badré, Prime *et al.*, 2009). A titre d'exemple, la courbe des prélèvements comptabilisés par ODIT France pour les Alpes devrait être théoriquement inférieure à celle des prélèvements recensés par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse pour l'ensemble de son bassin qui comprend les stations de ski des Alpes, de Corses et certaines des Pyrénées. Ce n'est globalement pas le cas, sauf pour la saison 2006/2007.

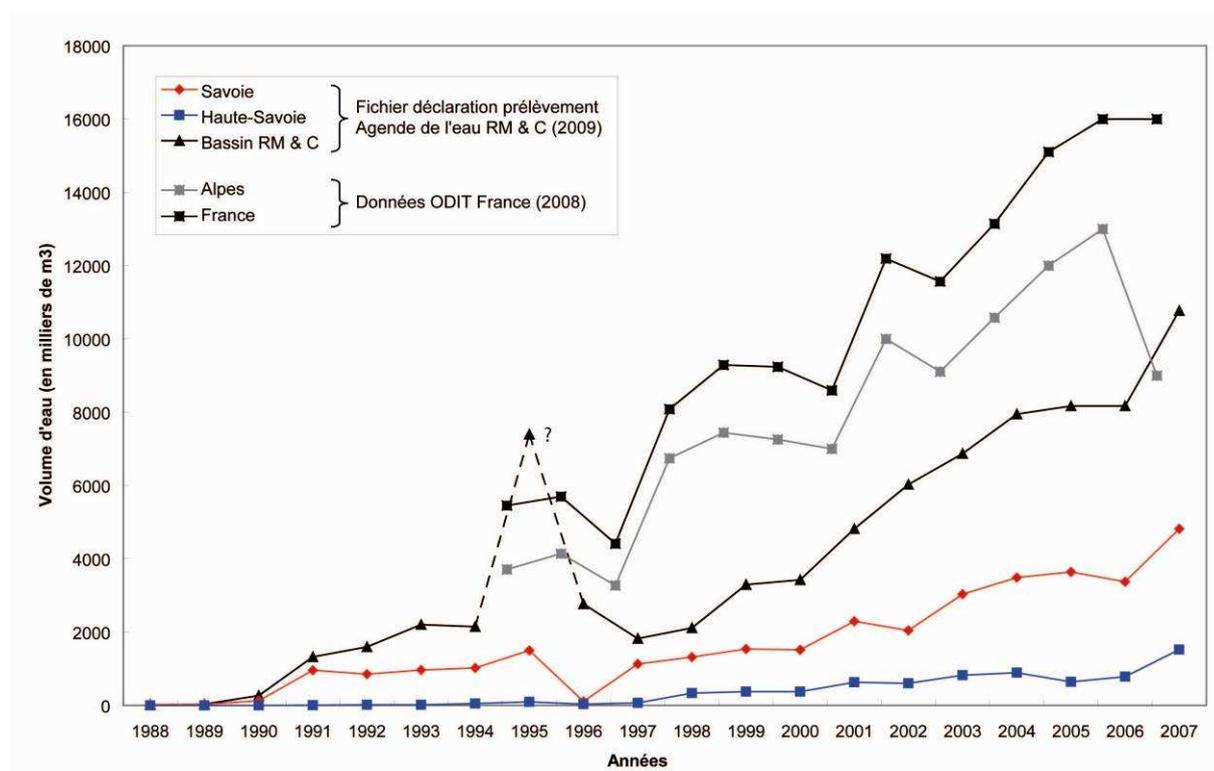


Figure 2 : Evolution des volumes d'eau mobilisés (en milliers de m<sup>3</sup>) pour la production de neige de culture en Savoie et Haute-Savoie depuis 1988 (données : Fichier déclaration prélèvement de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, 2009 ; ODIT France, 2008 ; cf. annexe II et III). Sur ce graphique, les données issues du fichier déclaration prélèvement de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse sont annuelles tandis que les données ODIT France sont recueillies par saison. Une incohérence, symbolisée par « ? », est relevée en 1995 pour la donnée « Bassin RM & C ».

<sup>4</sup> L'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse collecte des informations qui concerne, outre les stations de ski des Alpes, également celles des Pyrénées Orientales.

De nombreuses retenues d'altitude\* permettent aujourd'hui le stockage de l'eau destinée à la production de neige. Le nombre de ces ouvrages augmente rapidement depuis les années 1990. On compte 32 ouvrages existants en Savoie et 41 ouvrages en Haute-Savoie en 2009 (figure 3).

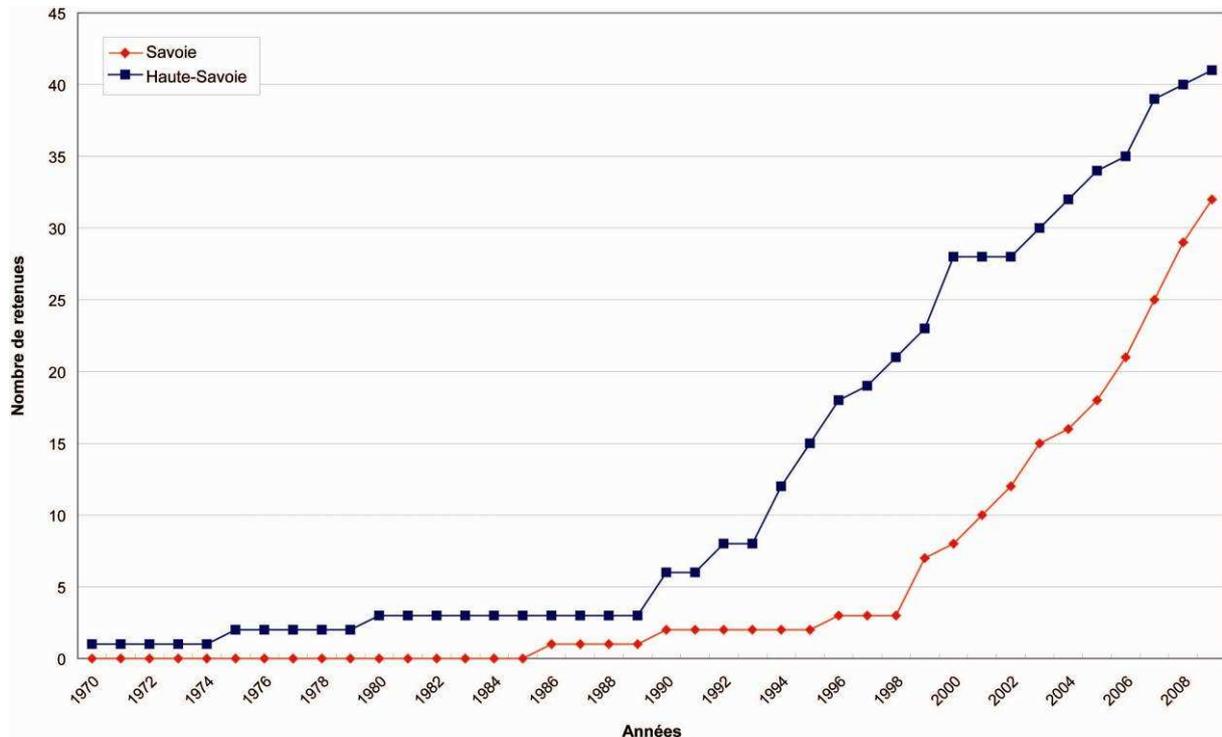


Figure 3 : Evolution du nombre de retenues d'altitude en Savoie et Haute-Savoie depuis 1970 (données : DDEA 73 et DDEA 74, 2009 ; cf. annexe IV)

L'ensemble de ces ouvrages permet un stockage de 3 667 764 m<sup>3</sup> d'eau sur les départements de Savoie et Haute-Savoie (2 086 564 m<sup>3</sup> d'eau pour la Savoie et 1 581 200 m<sup>3</sup> pour la Haute-Savoie). Cette capacité de stockage a considérablement augmenté dans les années 2000 (figure 4), en particulier du fait de la réalisation d'ouvrages de très grande capacité. Cette capacité de stockage est à comparer aux 6 344 100 m<sup>3</sup> d'eau mobilisés en Savoie et Haute-Savoie pour la production de neige en 2007 (d'après le fichier déclaration prélèvement de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse).

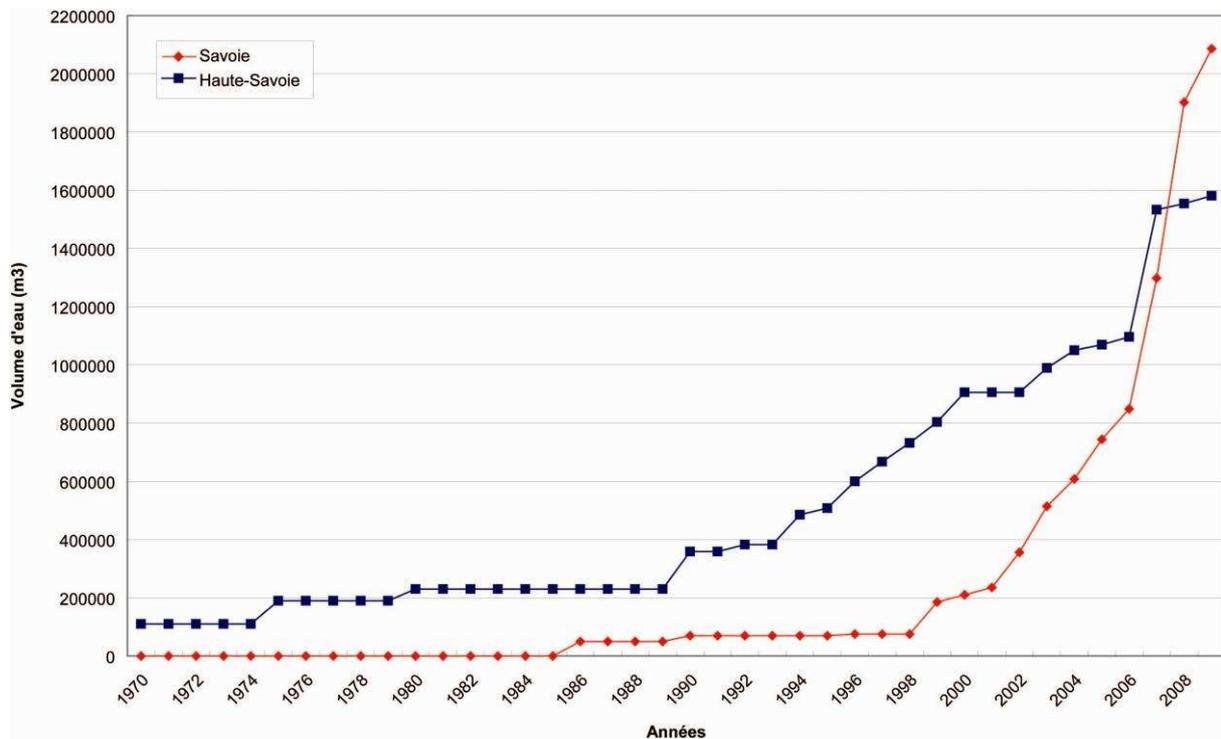


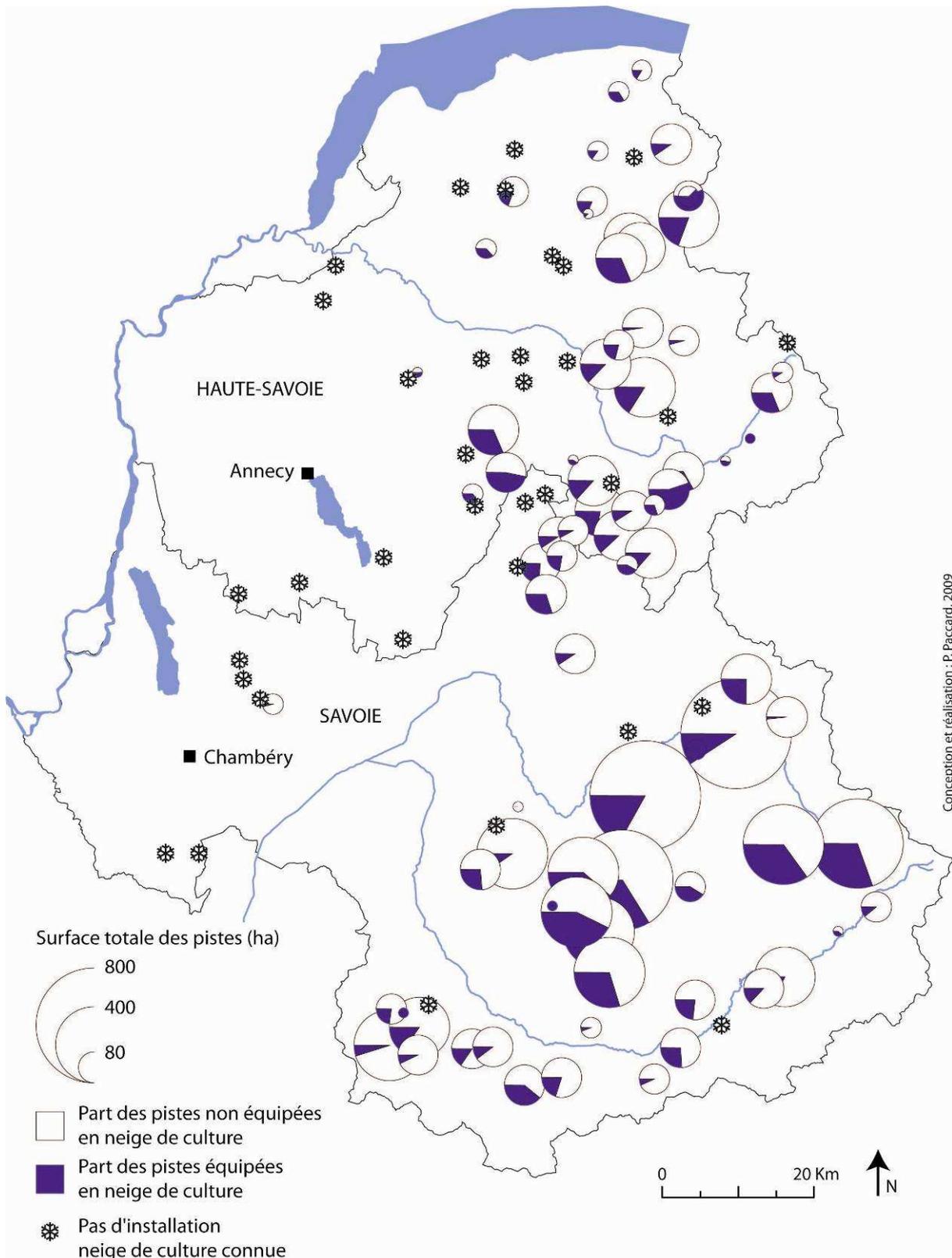
Figure 4 : Evolution des volumes d'eau stockés (en m<sup>3</sup>) dans les retenues d'altitude de Savoie et de Haute-Savoie depuis 1970 (données : DDEA 73 et DDEA 74, 2009 ; cf. annexe IV)

### 1.3 – Les équipements actuels

La carte ci-dessous (carte 1) présente la proportion de pistes enneigables des stations des départements de Savoie et de Haute-Savoie (en surface). En moyenne, on estime la proportion des surfaces équipées à 23% en Savoie comme en Haute-Savoie pour la saison 2008/2009<sup>5</sup>.

Si la corrélation entre le taux d'équipement de la station et l'altitude du domaine skiable d'une part (faible, moyenne ou haute altitude) et la taille du domaine skiable d'autre part (petite, moyenne ou grande station) ne paraît pas évidente à l'échelle des départements de Savoie et Haute-Savoie, on s'équipe tout de même davantage, à l'échelle nationale, à moyenne altitude qu'à faible ou haute altitude. A titre d'exemple, les Vosges semblent ainsi compter aujourd'hui la plus importante proportion de pistes équipées (38% des surfaces de pistes équipées d'après ODIT France, 2008b). Deux effets contraires peuvent expliquer cette constatation : les stations de haute montagne sont relativement protégées d'un enneigement naturel déficitaire tandis que les stations de faible altitude n'ont pas forcément la capacité de financer des installations d'enneigement.

<sup>5</sup> Donnée : Atout France, 2009



Carte 1 : Proportion en surface des pistes enneigeables des stations de Savoie et Haute-Savoie (données : Atout France, 2009 ; données déclaratives transmises par les exploitants ; cf. annexe V)

### **1.3 – Perspectives d'évolution des équipements**

Des projets d'installation de neige de culture sont à l'heure actuelle en cours d'instruction. Les taux d'équipements des autres pays de l'arc alpin sont d'autre part plus élevés que la moyenne française, aujourd'hui de 23% en surface : 70% en Italie, 59% en Autriche et 33% en Suisse (Remontées Mécaniques Suisse, 2008).

Ces faits, corrélés à l'évolution passée des surfaces équipées, des volumes d'eau mobilisés pour la production de neige ainsi que des constructions de retenues d'altitude, laissent à penser que de nouvelles installations neige de culture sont amenées à se développer ces prochaines années. Il paraît donc important d'appréhender l'ensemble des enjeux relevant de cette pratique pour permettre un positionnement objectif. Le chapitre suivant propose ainsi des éléments de réflexion quant aux implications socio-économiques et environnementales de la production de neige de culture sur les domaines skiables de Savoie et de Haute-Savoie.

#### **En résumé – Etat des lieux :**

- Une majorité de stations équipées en Savoie et Haute-Savoie.
- Des taux d'équipements similaires en Savoie et Haute-Savoie selon les situations de moyenne ou haute montagne (à l'échelle nationale, les stations de moyenne montagne semblent proportionnellement plus équipées).
- Une proportion en surface de pistes équipées en constante augmentation (23% des surfaces de pistes sont équipées en Savoie et Haute-Savoie).
- Des retenues d'altitude de plus en plus nombreuses pour permettre le stockage de l'eau (73 ouvrages permettent de stocker plus de 3,5 millions de m<sup>3</sup> d'eau sur les deux départements).
- Des projets à venir en termes de retenues et de pistes à équiper.

## 2 – La neige de culture au filtre du développement durable

Le présent chapitre a pour objectif d'analyser les implications de la neige de culture au regard des trois sphères communément admises du développement durable : sphères de l'économie, du social et de l'environnement. La figure 5 schématise la logique de ce travail. Pour chacune de ces sphères, il s'agit de définir des éléments de connaissance suffisants pour répondre à la question suivante : peut-on concilier durablement la neige de culture, nos autres usages de l'eau et le respect des milieux naturels, pour une activité touristique créatrice d'emplois et de richesses ?

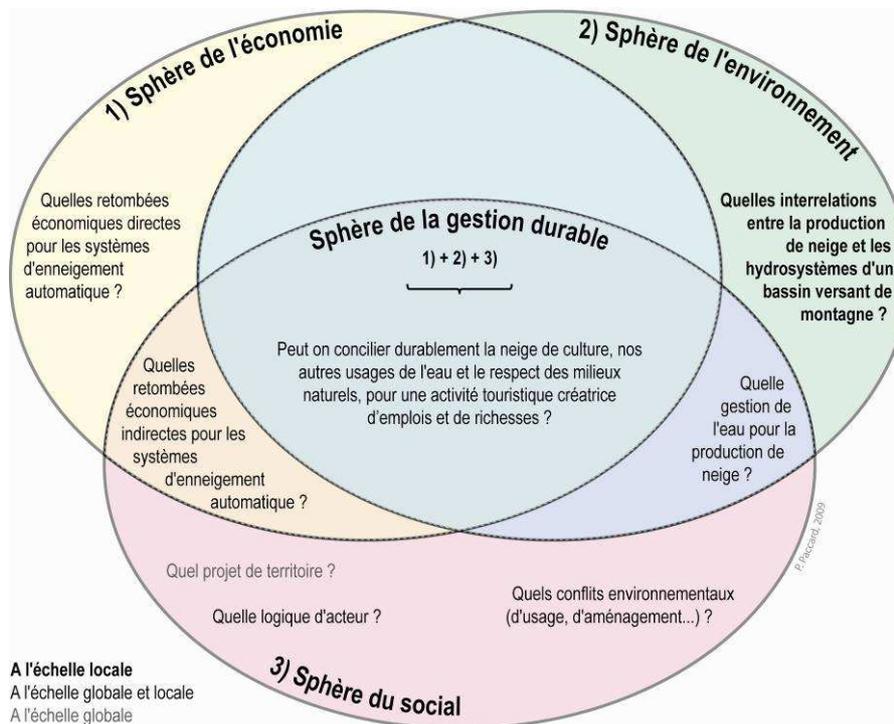


Figure 5 : La neige de culture au filtre du développement durable

### 2.1 – Sphère du social : quel projet de territoire ? quelles logiques d'acteurs ? quels conflits d'environnement ?

#### 2.1.1 - Neige de culture et sports d'hiver : entre création de richesses et montée en gamme du produit ski

Les principaux enjeux de la neige de culture en matière d'implications sociales peuvent être de deux types. Il s'agit premièrement, d'un point de vue socio-économique, des retombées que cet usage peut générer sur les territoires touristiques. De nombreuses activités et emplois de montagne dépendent en effet encore aujourd'hui pour une large part des domaines skiables alpins, dont l'exploitation est en partie garantie par la production de neige de culture. Aujourd'hui, à périmètre économique constant, il n'existe d'ailleurs pas de véritable modèle alternatif au produit ski, tourisme de masse à forte valeur ajoutée.

Le projet de Directive Territoriale d'Aménagement des Alpes du Nord distingue à ce sujet trois types de sites touristiques :

- « *des systèmes touristiques concentrés et spécialisés de haute montagne, qui sont leaders du produit ski en Tarentaise, Oisans et dans le pays du Mont Blanc ;*
- *des systèmes polarisés à dominante hivernale pour Belledonne, la Maurienne, le Beaufortain, les Bornes, les Aravis, l'Arly, le Giffre et le Chablais ;*
- *des systèmes touristiques diffus, à dominante estivale, plutôt en moyenne montagne, dans le Vercors, la Chartreuse et les Bauges.* » (Direction Régionale de l'Équipement Rhône Alpes, 2009).

A l'exception du territoire des Bauges et de la Chartreuse, les grandes stations des départements de Savoie et de Haute-Savoie jouent ainsi un rôle moteur dans l'économie des territoires savoyards en particulier et plus largement dans les Alpes du Nord. A titre d'illustration, le poids économique global du tourisme est estimé à 50% du PIB en Savoie. Le tourisme représente plus de 28% de l'emploi salarié total du département et la création de 1000 emplois par an.

D'un autre côté, on peut estimer que sur un forfait de 20€, 1 ou 2€ environ correspondent au coût de la production de neige de culture. Les équipements de production de neige participent ainsi au renchérissement du produit ski. Cette montée en gamme peut alors contraindre son accessibilité à certaines catégories de la population n'ayant pas les moyens suffisants pour ce loisir. Sur la même idée, dépassant le strict cadre de la neige de culture, les stades de neige\* à forte vocation sociale doivent aujourd'hui faire face à certaines difficultés. Le « produit journée », produit caractéristique des stades de neige, met en effet ces structures en difficulté économique et provoquent des pics de fréquentation difficiles à gérer. Or nous verrons un peu plus loin que la capacité à investir joue un rôle important dans l'équipement en neige de culture. Compte tenu de leur situation géographique, ces stades sont aussi plus sensibles aux évolutions climatiques. Tout ceci fait peser une menace sur ces sites. La disparition de ces espaces, principalement situés à proximité des agglomérations préalpines, éloignerait un peu plus une partie de la population de la pratique du ski.

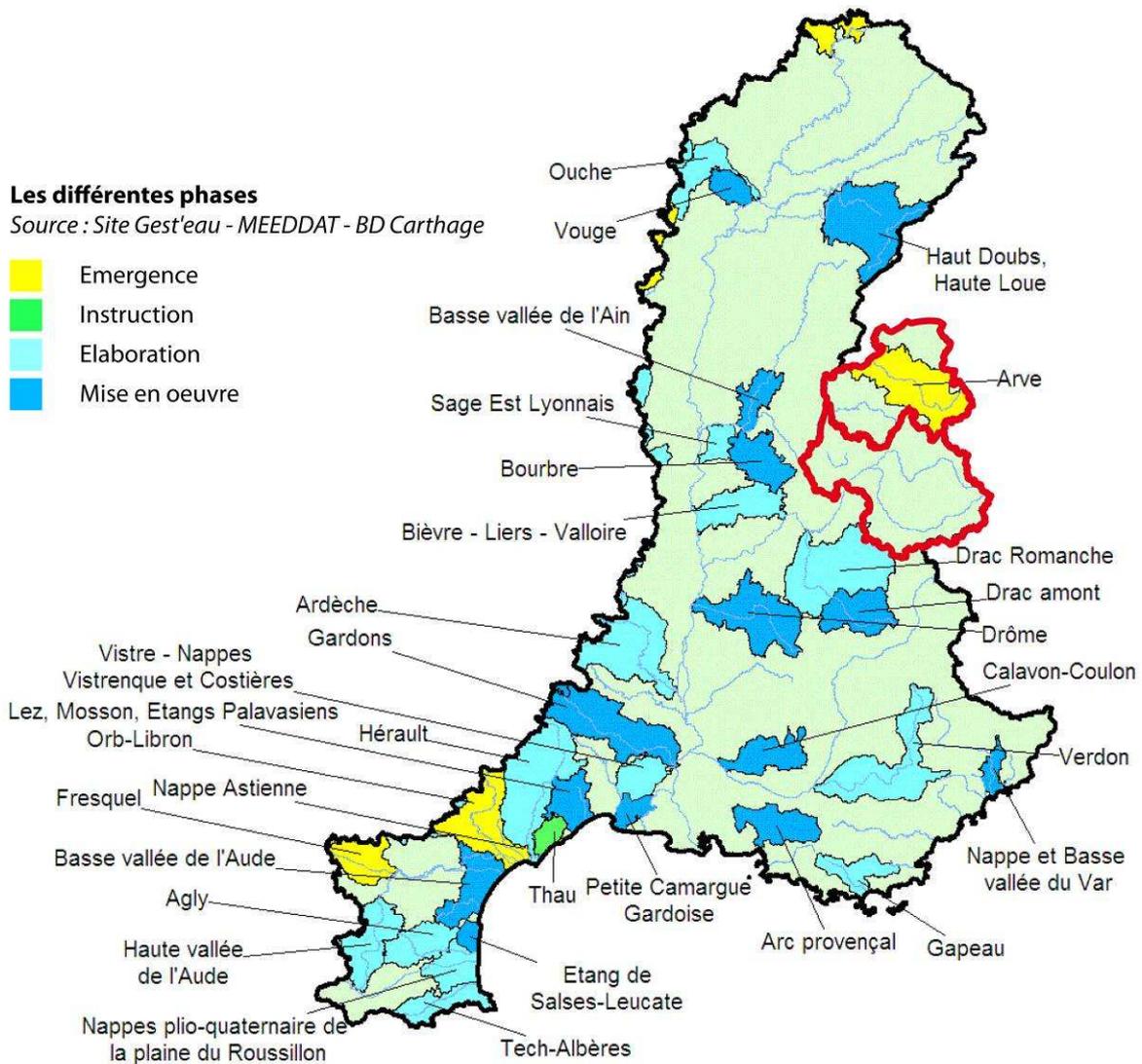
## **2.1.2 – Neige de culture et conflits environnementaux**

En second lieu, les conflits environnementaux liés à la neige de culture (ou à l'aménagement de la montagne de façon plus générale) représentent tout autant d'enjeux sociaux. Ils remettent en question, dans une certaine mesure, la cohésion des sociétés de montagne. A ce sujet, deux types de conflits doivent être distingués. Les conflits d'aménagement opposent les différentes parties prenantes en amont de la réalisation d'un projet, tandis que les conflits d'usage, en particulier sur la ressource en eau, peuvent survenir une fois le projet réalisé (par exemple pendant la production de neige proprement dite). Les conflits d'aménagement, vraisemblablement les plus nombreux, sont l'expression des différentes revendications quant à la problématique de l'aménagement de la montagne : nécessité économique pour les uns, atteinte à l'environnement pour les autres. Ces prises de positions font référence aux différentes représentations de la montagne (espace protégé, espace touristique, espace économique...) des diverses parties prenantes impliquées autour de cette question (aménageurs, associations de protection de l'environnement, administrations, politiques, scientifiques...).

Au sujet des conflits d'usage sur la ressource en eau, le « Bilan quantitatif de la ressource en eau sur le bassin versant de l'Isère en amont d'Albertville » réalisé par l'Assemblée du Pays

Tarentaise-Vanoise en 2008 explique : « *La question mérite d'être précisée : un conflit d'usage "n'est pas un conflit de personnes" ; c'est bien la superposition d'usages autour d'une même ressource, qui implique que certains usages ne sont pas pleinement alimentés. Face à un optimisme largement partagé, le monde de la pêche et EDF affichent leurs inquiétudes : la fragilité des écosystèmes pénalise la qualité de la pêche et le développement des sports d'eau vive, ajoutés à l'artificialisation du régime des torrents, bouscule le monde halieutique. Par ailleurs, les prélèvements croissants pour la neige de culture et la crispation de certains défenseurs de l'environnement amènent EDF à rappeler son positionnement stratégique et à clarifier ses relations avec les autres usagers. Il y aurait donc conflit d'usage pour ceux qui craignent aujourd'hui un recul de leurs positions, face à ceux qui suivent une logique de développement et identifient qu'il reste encore de la place.* » (Assemblée du Pays Tarentaise-Vanoise, 2008)

Si la neige de culture exerce une pression anthropique supplémentaire sur les hydrosystèmes de montagne, il ne semble pas exister de conflits d'usage majeurs entre la production de neige de culture et de l'eau potable au détriment de l'alimentation en eau potable, fort heureusement. Cependant, en prévention de ce type de conflit, la question est de savoir quels modes de gestion de la ressource met-on en œuvre pour organiser le partage de l'eau entre nos différents usages et les milieux naturels. En Savoie comme en Haute-Savoie, il n'existe pas encore de Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) opérationnel. A l'instar du SAGE du Drac et de la Romanche (Isère), dont la Commission Locale de L'Eau porte actuellement le projet d'un « Schéma de conciliation de la neige de culture avec la ressource et les milieux et les autres usages » (Commission Locale de l'Eau du SAGE Drac Romanche, 2008), les SAGE sont une réponse opportune à ce besoin de gestion de la ressource en eau. En Haute Savoie, le SAGE de l'Arve, dont le bassin versant comprend plusieurs stations de sports d'hiver, est actuellement en cours d'émergence (carte 2).



Carte 2 : Etat d'avancement des SAGE au 01/07/2009, bassin Rhône Méditerranée et Corse (source : Gest'Eau, <http://www.gesteau.eaufrance.fr>). *Les départements de Savoie et Haute-Savoie sont ici représentés en rouge.*

### **En résumé – Les enjeux sociaux :**

- ➔ La neige de culture contribue à la préservation du tourisme hivernal, activité créatrice de richesse et d'emploi.
- ➔ Accès de tous au ski face à une possible montée en gamme des produits proposés.
- ➔ Besoin d'une gouvernance à une échelle appropriée. Pour la gestion de l'eau, celle-ci peut être mise en œuvre grâce aux SAGE (Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux).

## 2.2 – Sphère de l'économie : quelles sont les retombées économiques directes et indirectes des installations d'enneigement ?

### 2.2.1 – Les bénéfiques : minimiser les pertes

Si la neige de culture pouvait être un avantage concurrentiel à ses débuts, cela n'est certainement plus le cas aujourd'hui : la très grande majorité des domaines skiables est équipée, notamment en Savoie et en Haute-Savoie. Cependant, ne pas être équipé peut représenter un désavantage important. En amont, l'attractivité pour la clientèle (particuliers, tour-opérateurs) d'un domaine skiable non équipé peut être moindre. En aval, un enneigement non assuré en cas d'aléa climatique peut entraîner des baisses importantes du chiffre d'affaires des remontées mécaniques et des commerces d'une station de sports d'hiver. Le coût de l'aléa peut alors être important : fréquentation en baisse, chômage technique, frais de fonctionnement fixes, etc.

Sur les 20 dernières années, deux hivers comparables en termes de déficit de neige peuvent être relevés : l'hiver 1988/1989 qui a connu une baisse de fréquentation de 30% en nombre de journées skieurs et l'hiver 2006/2007 dont la baisse de fréquentation ne fût que de 15% (figure 6). Ainsi, pour une même anomalie climatique, on observe que la sensibilité des domaines skiables est divisée par deux entre ces deux hivers. La sécurisation des domaines skiables par l'enneigement artificiel et les travaux d'amélioration des pistes ont ici des effets certains. Ils ont permis de minimiser les pertes. D'autres facteurs de l'économie et de l'organisation touristique, comme par exemple l'évolution des modes de réservation des séjours touristiques, pourraient également expliquer cette évolution.

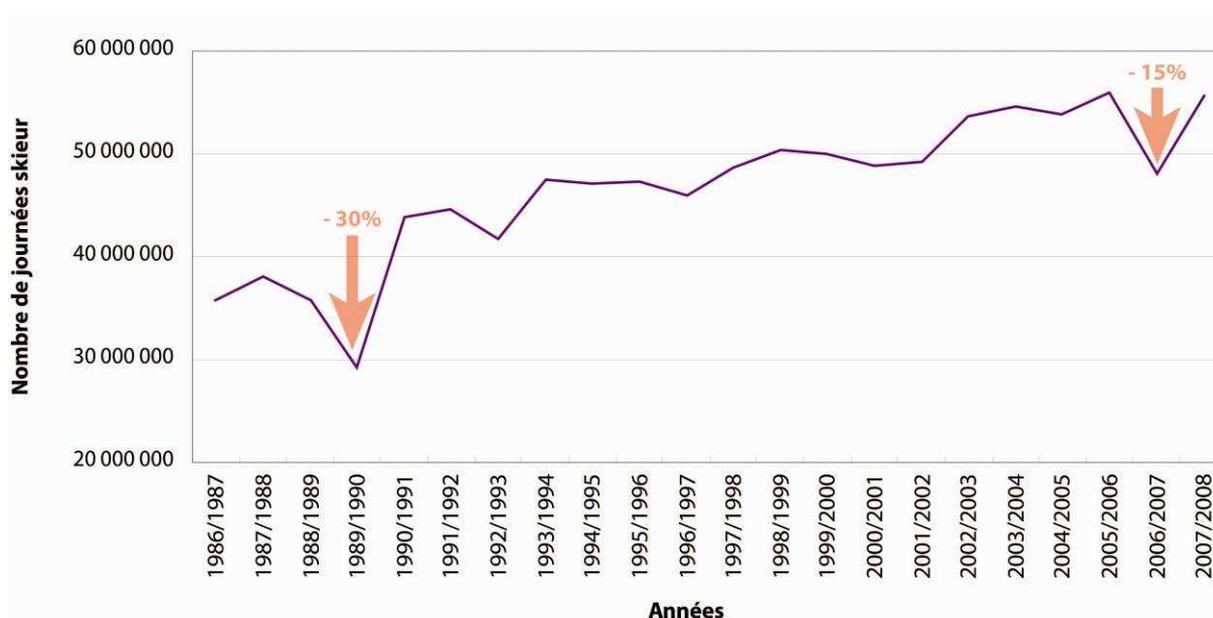


Figure 6 : Evolution du nombre annuel de journées skieur en France depuis 1986 (données : Atout France, 2009)

## 2.2.2 – De la difficulté à évaluer les bénéfices

Dans la perspective d'une analyse coût-bénéfice de l'enneigement artificiel, l'évaluation de l'opportunité d'une installation de neige de culture pourrait paraître très intuitive. D'un côté, les coûts d'investissement et de fonctionnement des installations sont connus. Ainsi, pour la saison 2007/2008, le coût moyen total d'un m<sup>3</sup> de neige produit est estimé à 0,83€, le prix de l'eau représentant la part la moins chère de cette production : 0,05€ pour l'eau, 0,16€ pour l'entretien, la maintenance et les assurances, 0,11€ pour le damage, la mise en place ou le déplacement des enneigeurs\*, 0,14€ pour les frais de personnel (nivoculteurs\*) et 0,37€ pour l'électricité (ODIT France, 2009b). Le coût total de production, y compris amortissement des installations, serait quant à lui de l'ordre de 2 à 2,5 €/m<sup>3</sup> de neige (Badré, Primeet *al.*, 2009).

Mais d'un autre côté, les bénéfices sont beaucoup plus difficiles à évaluer. La section locale du Syndicat National des Téléphériques de France de la Haute-Savoie et la Direction Départementale de l'Équipement de la Haute-Savoie expliquent ainsi que « *« si les recettes directes (chiffre d'affaires du domaine skiable) et indirectes (chiffres d'affaires des acteurs économiques liés à la pratique du ski) induites par l'équipement d'une installation en neige de culture sont certaines, elles se révèlent difficiles à évaluer. On peut cependant considérer que la neige de culture consolide 15% du chiffre d'affaires les bonnes saisons (présence de neige naturelle) et 30% les saisons à l'enneigement délicat. Il est ici question non seulement du chiffre d'affaire – et des emplois – des opérateurs de domaines skiables mais également de l'ensemble des acteurs de la station, dont l'activité est conditionnée par la présence du produit "neige" »* (Syndicat National des Téléphériques de France 74 et DDE 74, 2008).

En termes de bénéfices, il s'agirait plutôt de réduction de pertes les années de mauvais enneigement. Ces pertes peuvent être directes sur le chiffre d'affaires d'une exploitation de remontées mécaniques ou indirectes sur le chiffre d'affaires de l'ensemble du tissu socio-économique d'une station de sports d'hiver (hôteliers, restaurateurs...). De ce point de vue, il semble difficile de calculer l'optimum économique d'un projet d'enneigement artificiel.

## 2.2.3 – Analyse coût-bénéfice : propositions méthodologiques

L'analyse proposée ci-dessous porte sur les départements de Savoie et Haute-Savoie et, pour comparaison, sur la France entière, les Alpes du Sud et les Vosges. Elle consiste en la définition des coûts et des bénéfices théoriques des installations d'enneigement au regard, d'une part, des investissements et du coût de fonctionnement de la neige de culture et, d'autre part, des chiffres d'affaires des remontées mécaniques réalisés depuis 1995. Les bénéfices supposés correspondent à la réduction des pertes sur le chiffre d'affaires des remontées mécaniques, induites par les installations d'enneigement, et/ou à la fraction de ce chiffre d'affaires qu'elle consolide. Pour calculer ces réductions de pertes, trois hypothèses ont été retenues.

**1<sup>ère</sup> hypothèse :** Sans installation d'enneigement, les pertes exceptionnelles sur le chiffre d'affaires des remontées mécaniques sont doublées les hivers « sans neige » (la neige de culture permet l'ouverture d'une zone skiable minimale en cas d'aléas d'enneigement). Les pertes exceptionnelles correspondent à la différence entre le chiffre d'affaires potentiellement réalisable sans aléa d'enneigement et le chiffre d'affaires réalisé. Le chiffre d'affaires potentiellement réalisable sans aléa d'enneigement correspond, quand à lui, à la moyenne des chiffres d'affaires précédant et suivant l'hiver « sans neige ».

**2<sup>ème</sup> hypothèse** : Sans installation d'enneigement, les pertes exceptionnelles sur le chiffre d'affaires des remontées mécaniques sont doublées les hivers « sans neige » ; de plus, la neige de culture consolide 5% du chiffre d'affaire quel que soit l'enneigement, les bonnes comme les mauvaises saisons. Cette plus-value correspond, d'une part, aux réservations de séjour confortées par la présence d'installation d'enneigement et, d'autre part, aux bénéfices induits par la neige de culture sur l'entretien des pistes (« usées » par une forte fréquentation puis retravaillées) et sur la rationalisation du domaine skiable (garantie de liaison entre les différents secteurs). On considère que si les chutes de neige étaient régulières au fil des saisons, le CA de la station serait celui qu'elle réalise les années « normales ».

**3<sup>ème</sup> hypothèse** : La part de chiffre d'affaires consolidée par la neige de culture est de 5% en 1995, puis croît de 1% par an et se stabilise une fois atteint les 15%, soit dès 2005. A partir de cette date, le taux d'équipement des stations en neige de culture permet d'assurer 15% de chiffre d'affaires chaque année (exemple de la chute du chiffre d'affaires en 2007 de -15% alors que la similarité avec l'année 1990 conduit à -30% comme vu ci-dessus). Ce taux de 15% correspond à une assurance de 18 jours d'ouverture pour les stations principalement en début et fin de saison, sachant que la moyenne climatique en assure une moyenne de 120 aujourd'hui. La croissance de la part du chiffre d'affaires consolidée par la neige de culture résulte du développement de cette technique et de l'équipement progressif des stations, cumulatif jusqu'à aujourd'hui (ajouts d'enneigeurs, de pompes, de retenues...). On considère qu'après 2005, la clientèle a intégré le concept d'un enneigement minimal garanti et que son choix de venir skier n'est plus lié au taux de couverture des surfaces de piste qui continue cependant à s'accroître. Ce raisonnement ne prend pas en compte le réchauffement climatique qui réduit la durée d'ouverture « naturelle » de la station. Il s'applique cependant à une plus grande variabilité interannuelle du climat.

Les coûts et les réductions des pertes dues aux installations d'enneigement ont été calculés annuellement selon ces trois méthodologies pour chacun des territoires étudiés (figure 7) :

- **Coûts** =
  - Investissements en neige de culture
  - + Coûts de fonctionnement des installations d'enneigement
  
- **Bénéfices (réduction des pertes)** =
  - Chiffre d'affaires des remontées mécaniques (réellement réalisé)
  - Chiffre d'affaires potentiel sans neige de culture (selon l'hypothèse 1, 2 ou 3)

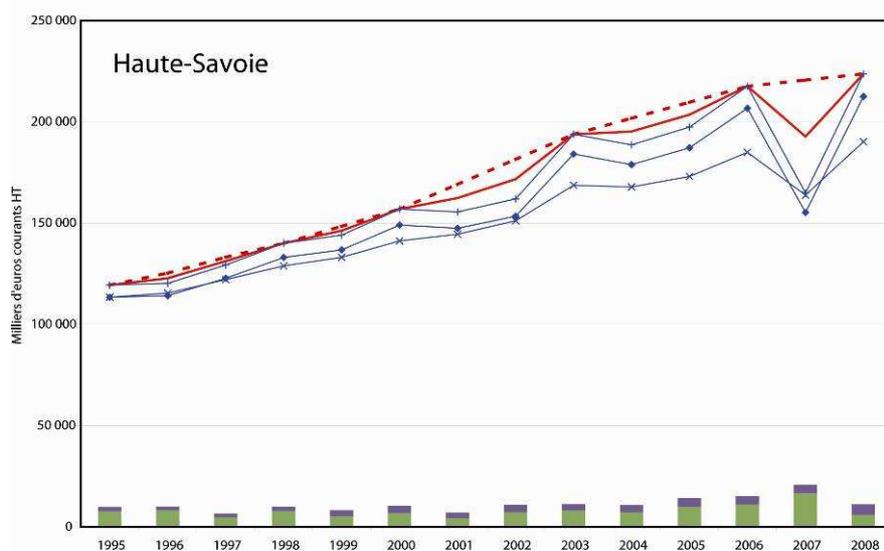
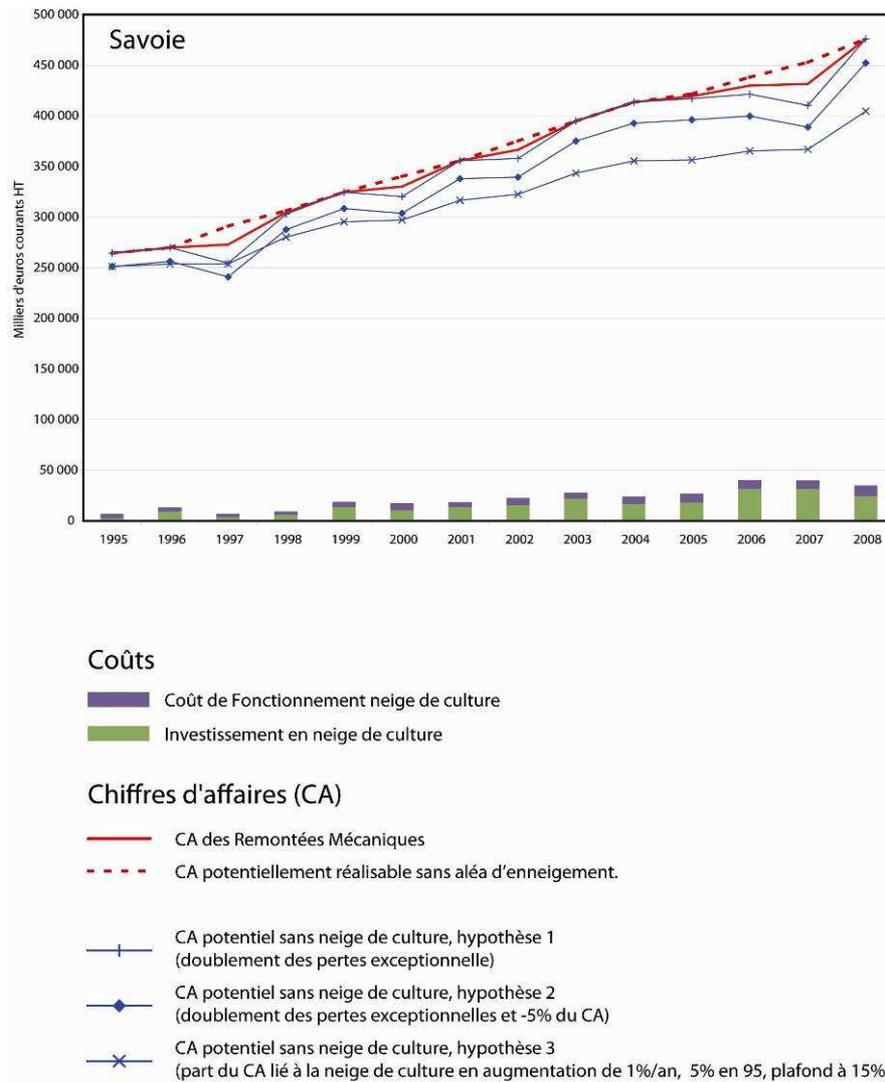


Figure 7a : Coûts de la neige de culture et chiffres d'affaires des remontées mécaniques en Savoie, Haute-Savoie, Alpes du Sud, Vosges et France entière depuis 1995 (données : Atout France, 2009)

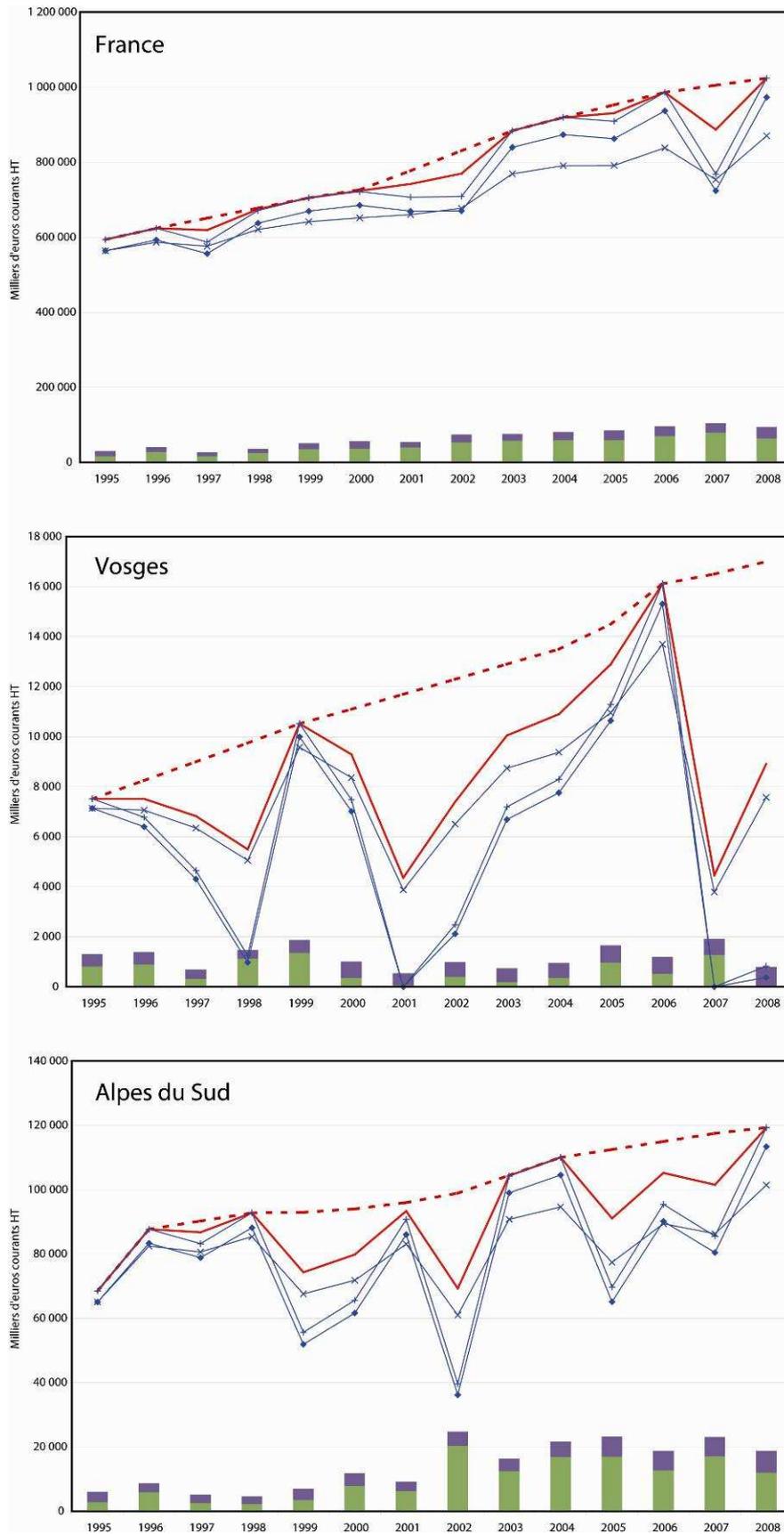


Figure 7b : Coûts de la neige de culture et chiffres d'affaires des remontées mécaniques en Savoie, Haute-Savoie, Alpes du Sud, Vosges et France entière depuis 1995 (données : Atout France, 2009)

L'appréciation de la rentabilité des installations d'enneigement est alors différente selon les hypothèses retenues. A l'échelle des départements de Savoie et de Haute-Savoie ainsi qu'à l'échelle de la France, les résultats de la figure 7 montrent logiquement un chiffre d'affaires potentiel sans neige de culture :

- inférieur au chiffre d'affaires réalisé seulement les hivers sans neige dans le cas de l'hypothèse 1 ;
- toujours inférieur, et très inférieur les hivers sans neige, au chiffre d'affaires réalisé dans le cas de l'hypothèse 2 ;
- de plus en plus inférieur au chiffre d'affaires potentiel réalisé dans le cas de l'hypothèse 3.

La situation se révèle être différente dans les Alpes du Sud et dans les Vosges où le chiffre d'affaires potentiel sans neige de culture est pratiquement toujours très inférieur au chiffre d'affaires des remontées dans le cas de l'hypothèse 1 ou 2. Cette observation, qui justifie dans ce cas l'emploi de la neige de culture pour diminuer la sensibilité des domaines skiabiles aux déficits d'enneigement, est cependant moins vraie dans le cas de l'hypothèse 3.

Ainsi, en Savoie et Haute-Savoie, les bénéfices tournent nettement en faveur de la neige de culture lorsque l'on considère qu'elle stabilise une marge de 15% du chiffre d'affaires. Ceci revient à considérer que la neige naturelle suffit à assurer le chiffre d'affaire du cœur de la saison. Dès lors que le changement climatique génèrera des déficiences de neige naturelle en cœur de saison (comme c'est le cas des autres massifs, voire même des stations de moyenne montagne en Savoie et Hte Savoie) l'intérêt de la neige de culture sera plus accentué les années de mauvais enneigement, et il faudra recourir à l'hypothèse 1 pour évaluer les bénéfices.

Nous proposons d'adopter, pour le cas des deux Savoies, l'hypothèse 2 qui, tout en intégrant une stabilisation des recettes en début et fin de saison, permet d'appréhender les différences de bénéfices entre les « bons » et les « mauvais » hivers.

Dans chacune des trois hypothèses, les cumuls des coûts et des bénéfices ont pu être calculés. La figure 8 représente d'une part le coût cumulé en investissement et fonctionnement et, d'autre part, les bénéfices des installations d'enneigement depuis 1995. Les bénéfices ainsi calculés sont la somme des différences annuelles entre le chiffre d'affaires des remontées mécaniques et le chiffre d'affaires potentiel sans neige de culture.

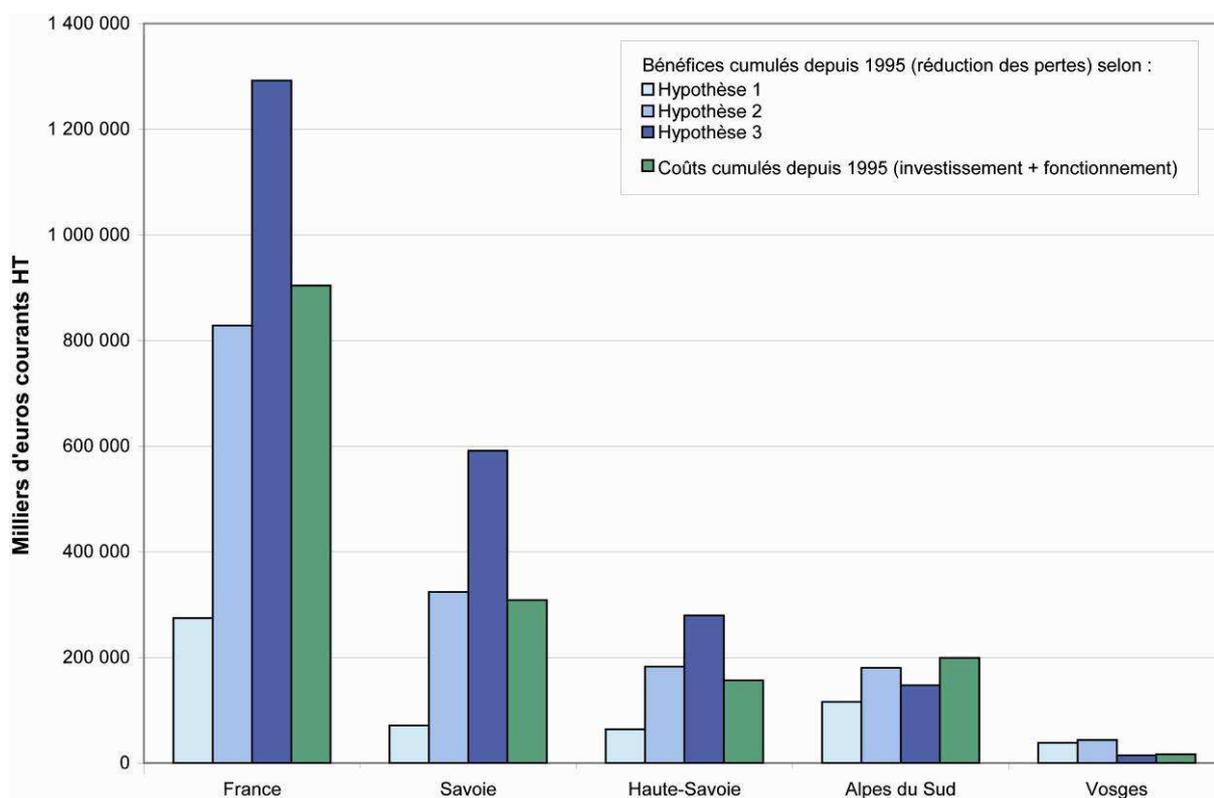


Figure 8 : Coûts (investissements et fonctionnement) et bénéfices (réduction des pertes de chiffre d'affaires) cumulés de la neige de culture en Savoie, Haute-Savoie, Alpes du Sud, Vosges et France entière depuis 1995 (données : Atout France, 2009)

Selon les résultats présentés en figure 8, à l'échelle de la France, comme à l'échelle des départements de Savoie et de Haute-Savoie, les coûts de la neige de culture sont depuis l'année 1995 :

- supérieurs aux bénéfices obtenus lorsque l'hypothèse 1 est retenue ;
- équivalents aux bénéfices obtenus lorsque l'hypothèse 2 est retenue ;
- inférieurs aux bénéfices obtenus lorsque l'hypothèse 3 est retenue.

Pour les Alpes du Sud et les Vosges, les coûts et les bénéfices sont sensiblement équivalents quelle que soit l'hypothèse retenue.

Finalement, les trois hypothèses sur le bénéfice supposé de la neige de culture conduisent à des résultats contrastés quant au bénéfice cumulé final. Par ailleurs, les essais présentés ci-dessus restent relatifs à des notions de capital économique qu'il conviendrait de compléter par une approche centrée sur la notion de capital nature (coûts environnementaux de la neige de culture). Dans tous les cas, l'ensemble de ces éléments tend à montrer que les débats restent ouverts tant qu'une méthodologie éprouvée ne permettra pas de cerner avec précision la part du chiffre d'affaires annuel qui résulte des équipements de production de neige. Il semble que le bénéfice de cet équipement ne se calcule pas de la même façon suivant que la station est en mesure ou non de disposer de neige naturelle en cœur de saison. D'autre part, la fidélisation de la clientèle qui peut être obtenue en certains cas, ne se mesure pas simplement au niveau des recettes des remontées mécaniques. En considérant le chiffre d'affaires de l'ensemble des activités d'une station de sports d'hiver (hôtels, restaurants, commerces...), la rentabilité de la neige de culture paraîtrait plus évidente : on estime en effet un ratio de 1 pour 5 entre le chiffre d'affaires des remontées mécaniques et le chiffre d'affaires global d'une station, toutes activités comprises.

## **2.2.4 – Santé économique et échéances des délégations de service public : facteurs déterminants dans les niveaux d'équipement**

La santé économique d'un domaine skiable et sa capacité à mettre en œuvre une stratégie d'investissement en neige de culture sont indissociables : la capacité à financer semble entrer fortement en ligne de compte dans les niveaux d'équipement des stations (la santé économique d'un domaine skiable peut être qualifiée par le ratio suivant : chiffre d'affaires des remontées mécaniques / moment de puissance ; une vision sur plusieurs années permet de gommer les effets ponctuels et la prise en compte de particularités locales). Ce point pose question sur l'objectivité du choix en matière de sites à équiper ou non en neige de culture : la possibilité que ne soient pas équipés des sites qui seraient opportuns de l'être, et inversement, est ici mise en jeu.

Enfin, les dates de fin de délégation de service public (DSP) peuvent également entrer en ligne de compte, dans le dynamisme de l'aménagement des domaines skiables de manière générale, et dans les stratégies d'investissement en neige de culture en particulier. Un exploitant proche de la fin de sa délégation de service public investira peut être avec plus de réserve qu'au début de sa délégation. Cette question d'ordre local ne peut cependant être examinée dans le cadre de ce travail global ; elle est à traiter au cas par cas en fonction des situations. Plus largement, la question ici posée est celle de l'adéquation entre, d'un côté, les différentes échelles de temps propres à chaque acteur du territoire (temps du politique, de l'exploitant...), et de l'autre, l'aménagement de ce même territoire, à mener sur le long terme.

### ***En résumé – Les enjeux économiques :***

- Des investissements et des coûts de fonctionnement en croissance constante.
- Des bénéfices directs difficiles à appréhender mais des effets indirects non négligeables.
- La capacité à investir et les échéances des délégations de service public peuvent se révéler des facteurs limitants dans les choix d'investissement ou de non investissement.

## **2.3 – Sphère de l’environnement : quelles interrelations entre la production de neige et les hydrosystèmes d’un bassin versant de montagne ?**

Les enjeux de la production de neige pour l’environnement des territoires de montagne relèvent de la protection des ressources en eau, de la faune, de la flore, du paysage, de la gestion des énergies, etc. Ce travail s’intéresse plus particulièrement aux implications des prélèvements pour la production de neige sur la ressource en eau.

En France, le code de l’environnement règlemente l’ensemble des prélèvements d’eau dans les milieux naturels. C’est à ce titre que les installations de neige de culture sont soumises à la nomenclature « eau » déterminant les installations, ouvrages, travaux et aménagements (IOTA) soumis aux procédures de déclaration ou d’autorisation. Pour ces prélèvements, ces procédures prévoient qu’une étude d’incidence soit réalisée pour chaque projet afin d’en mesurer les impacts sur les milieux aquatiques. Les projets d’installation d’enneigement peuvent également être soumis à étude ou notice d’impact individuellement ou bien comme faisant partie d’un programme des travaux permettant de les apprécier dans leur globalité (Direction Régionale de l’Environnement Rhône-Alpes, 2008). Les prélèvements d’eau pour la production de neige doivent également respecter les dispositions prises dans le cadre des Schémas d’Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE). Comme précédemment précisé, il n’existe à l’heure actuelle pas de SAGE en phase de mise en œuvre sur les territoires de Savoie et de Haute-Savoie.

Malgré cette législation existante, la capacité naturelle des sites reste difficile à évaluer dans leur ensemble : une pression supplémentaire est-elle acceptable par rapport à l’hydrosystème (l’ensemble d’un grand bassin versant de montagne) et l’écosystème en général ? Autrement dit, quels sont les coûts environnementaux de la neige de culture ? De ces incertitudes découlent les difficultés d’apprécier les incidences qualitatives comme quantitatives sur la ressource en eau des projets, sur le long terme et au regard du capital nature de la montagne. Les paragraphes suivants proposent quelques éléments de réflexion pour répondre à ces questions en s’appuyant sur des indicateurs de référence.

### **2.3.1 – Mode d’alimentation en eau des installations d’enneigement**

Plusieurs modes d’alimentation en eau peuvent être employés pour l’approvisionnement des enneigeurs d’un domaine skiable. Dans tous les cas, quels que soient ces modes d’alimentation, il y a toujours un prélèvement en amont dans les milieux naturels. Ces différents modes, du moins au plus impactant pour les ressources en eau et les milieux naturels associés, sont :

- prélèvement depuis un réseau hydroélectrique (barrage ou conduite d’amenée d’eau) ;
- prélèvement depuis une retenue d’altitude, ouvrage de stockage jouant le rôle de bassin tampon ;
- prélèvement depuis un réseau d’alimentation en eau potable (trop-plein) ;
- prélèvement direct dans les eaux de surface ou souterraines.

Dans les situations où les réseaux d’alimentation en eau potable sont mobilisés pour la production de neige, il s’agit principalement en Savoie et Haute-Savoie de capter des trop-pleins de réservoirs. En ce sens, le risque de conflit d’usage entre l’eau potable et la

production de neige de culture à la défaveur de l'alimentation des populations est peu probable. Cependant, d'une part l'eau issue des trop-pleins de réseaux d'eau potable et mobilisée pour la production de neige représente des volumes qui ne retourneront pas au milieu naturel dans l'immédiat et d'autre part, les réseaux d'eau potable et de production de neige ne sont pas systématiquement séparés. Il faut ainsi être vigilant au potentiel conflit d'usage sur la ressource dans le cas où les réseaux de production de neige sont branchés directement sur les conduites d'adduction d'eau potable. A ce sujet, il est à noter que les volumes d'eau issus des réseaux d'eau potable ne sont aujourd'hui pas connus des services de l'Etat, en Savoie et Haute-Savoie comme à l'échelle nationale (Badré, Prime *et al.*, 2009).

- **Les retenues d'altitude, mode d'alimentation en eau aujourd'hui privilégié sur les territoires savoyards**

Les retenues d'altitude (photo 1) sont aujourd'hui une solution largement employée en Savoie et Haute-Savoie pour l'alimentation des réseaux de neige de culture. Elles permettent de stocker l'eau du printemps jusqu'au début de l'hiver en prévision de période de pointe. Il s'agit principalement de pouvoir bénéficier d'un débit instantané important pour l'alimentation des enneigeurs en période de production de neige, débit qu'un prélèvement direct dans le milieu naturel sans bassin tampon ne peut garantir.

73 ouvrages sont aujourd'hui existants en Savoie et Haute-Savoie, d'une capacité de 400 m<sup>3</sup> à 404 000 m<sup>3</sup>. Ils représentent une capacité de stockage totale de 3 667 764 m<sup>3</sup> (capacité utile moyenne de 50 000 m<sup>3</sup>). Leur altitude d'implantation moyenne est de 1 750 m.



Photo 1 : Retenue d'altitude de Nyon Guérin, Morzine, Haute-Savoie  
(cliché : P. Paccard, 2007)

Les ouvrages de grande capacité permettent de stocker une quantité d'eau importante : 404 000 m<sup>3</sup> pour la retenue de l'Adret des Tuffes en Savoie (photo 2) et 300 000 m<sup>3</sup> pour la retenue du Maroly en Haute-Savoie (photo 3). Une fois remplis, ils permettent ainsi de subvenir aux besoins d'enneigement pour l'ensemble de la saison. Ils affranchissent théoriquement les nivoculteurs de prélèvements supplémentaires dans les milieux naturels aux moments des étiages hivernaux. En contrepartie, la taille de ces équipements génère un effet de site important : ils impactent d'autant plus les milieux sur lesquels ils sont installés que leur emprise est grande. La problématique des risques est également exacerbée pour les ouvrages de grande capacité.



Photo 2 : Retenue de l'Adret des Tuffes en construction, Arc 2000, Savoie  
(cliché : P. Paccard, 2008)

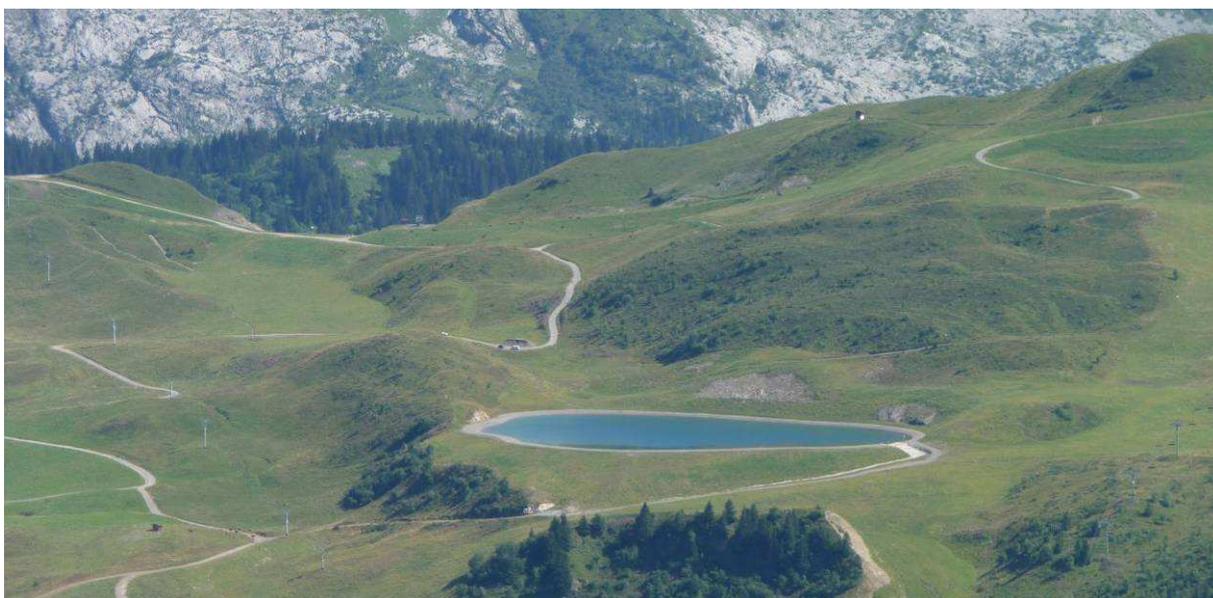
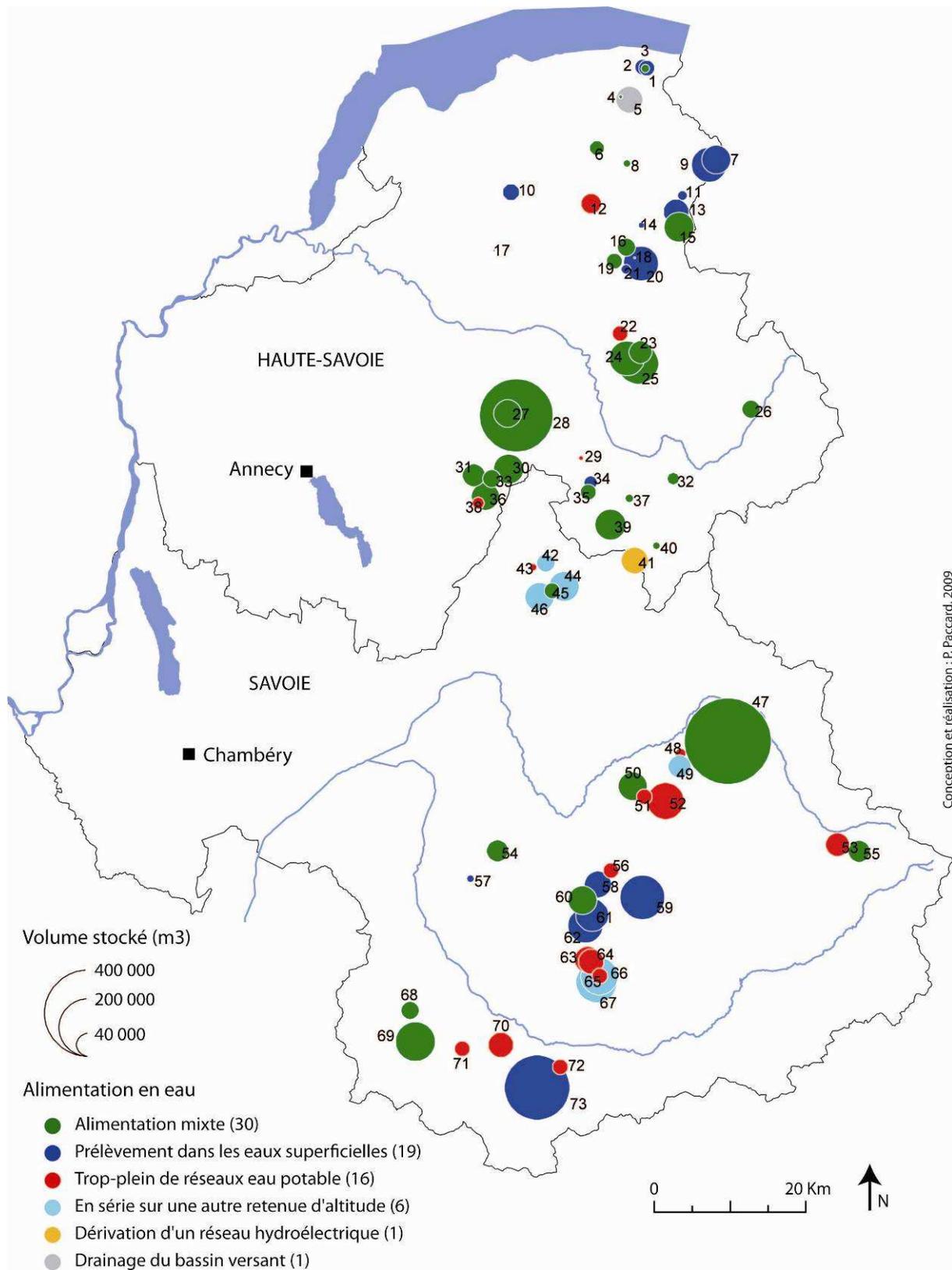


Photo 3 : Retenue du Maroly, Le Grand Bornand, Haute-Savoie  
(cliché : DDEA 74, 2008)

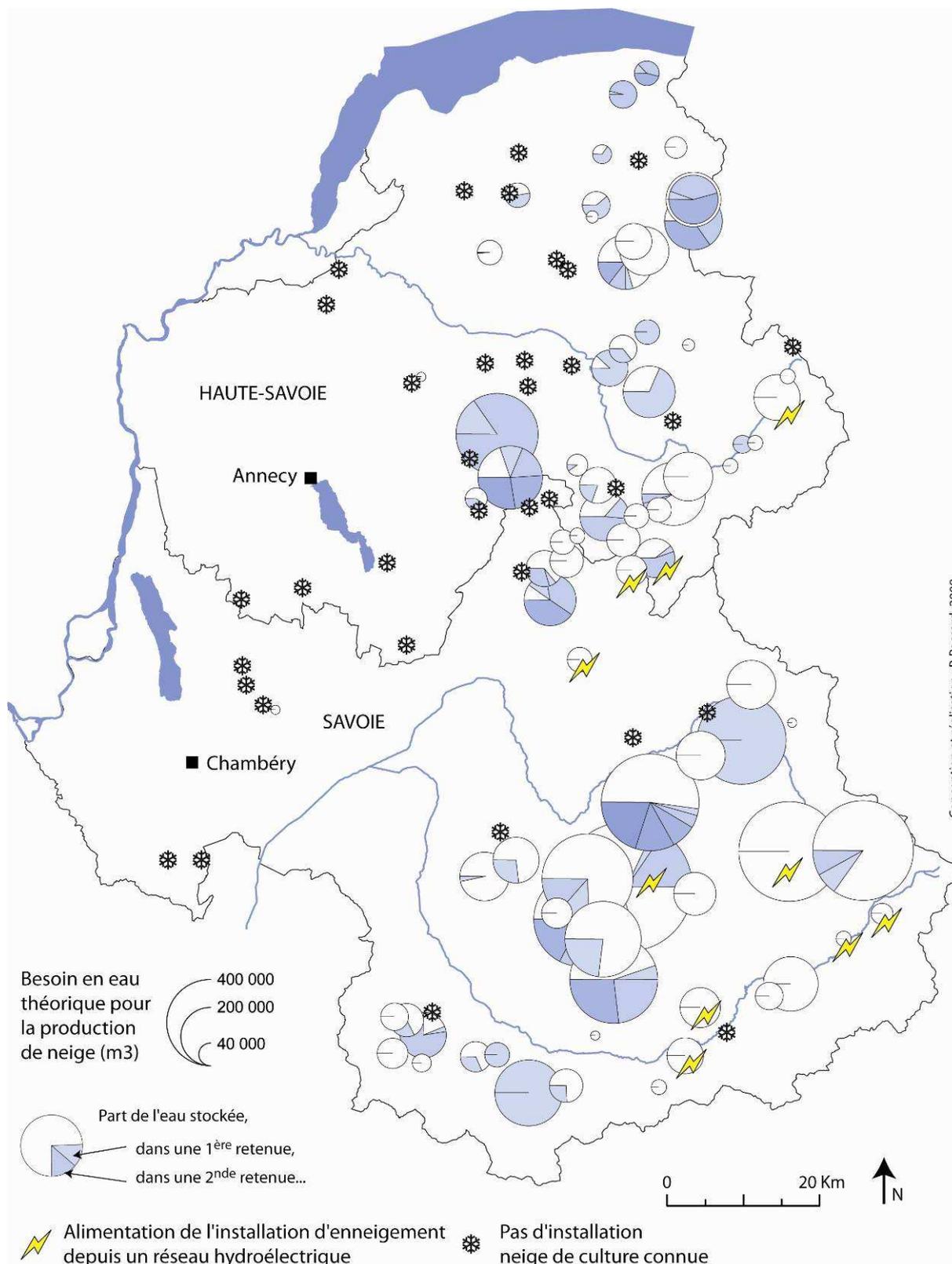
D'un autre côté, les ouvrages de petite taille, de par leur faible emprise spatiale, présentent l'avantage d'être moins impactants pour les milieux naturels sur lesquels ils sont implantés. Nombre d'entre eux doivent cependant être remplis plusieurs fois au cours d'une même saison pour garantir l'ensemble des volumes nécessaires à la fabrication de neige. Ils sont donc de ce point de vue plus contraignants pour les milieux aquatiques au moment des étiages hivernaux.

En Savoie et Haute-Savoie, les retenues d'altitudes sont principalement alimentées en eau (carte 3) depuis un prélèvement direct dans les eaux superficielles, un trop-plein de réseau d'alimentation en eau potable, une autre retenue d'altitude (branchement en série) ou des prélèvements mixtes (réseau d'eau potable et prélèvement dans les eaux superficielles par exemple).



Carte 3 : Capacité de stockage et mode d'alimentation en eau des retenues d'altitude de Savoie et Haute Savoie (données : DDEA 73 et 74 ; cf. annexe IV, les ouvrages sont numérotés suivant une logique Nord/Sud).

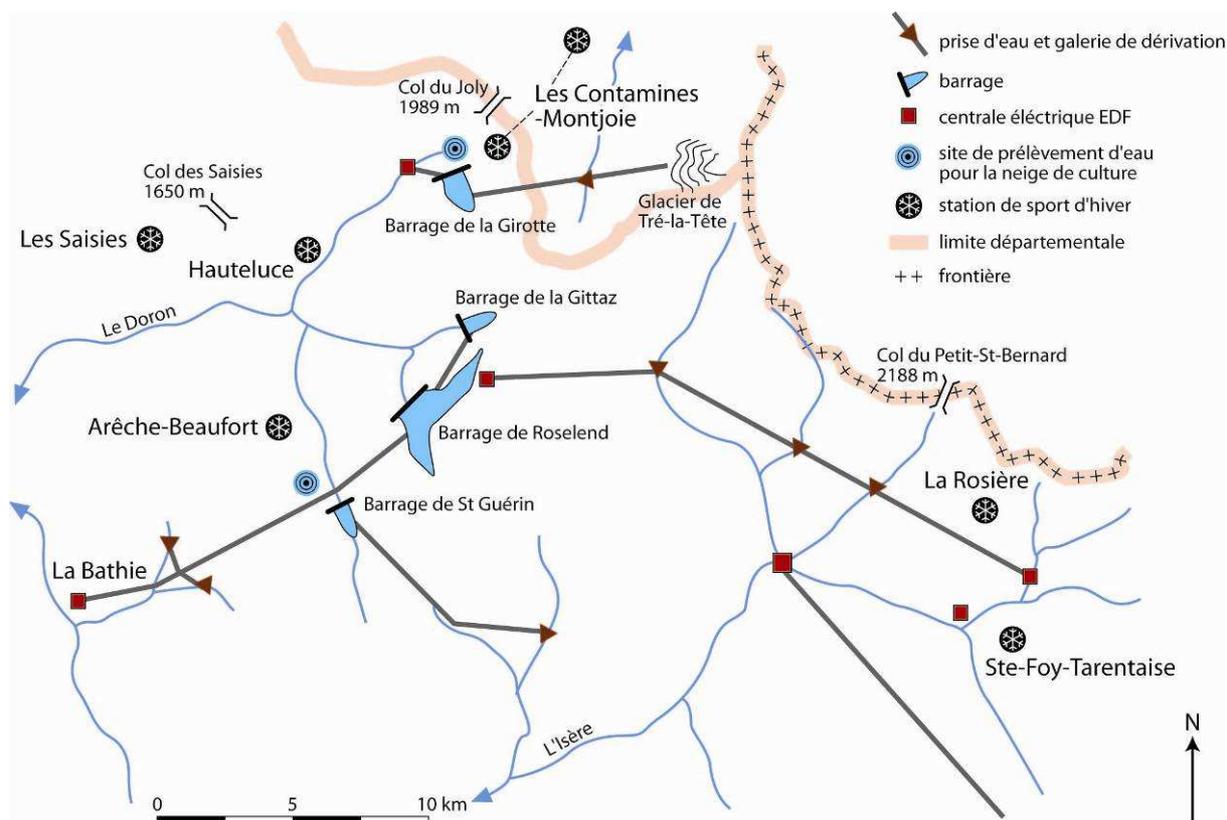
En moyenne, 3500 m<sup>3</sup> d'eau par hectare et par an sont nécessaires à la production de neige sur un domaine skiable (ODIT France, 2008b). Cette quantité d'eau correspond environ à la réalisation de deux campagnes d'enneigement de 35 cm de neige chacune. Sur la base de cette moyenne, la carte 4 permet de comparer les besoins théoriques pour la production de neige sur les domaines skiables de Savoie et de Haute-Savoie (besoins en eau nécessaires à l'enneigement de l'ensemble des pistes équipées par saison) et les capacités de stockage des retenues d'altitude existantes (capacité utile des ouvrages). On peut ainsi remarquer que certains ouvrages permettent de couvrir l'ensemble des besoins théoriques d'enneigement pour une saison (cas de figure d'un cercle entièrement bleu sur la carte 4) tandis que d'autres, d'une capacité insuffisantes, ne permettent pas de couvrir ces besoins (cas de figure d'un cercle dont seule une partie est bleu sur la carte 4). Ces derniers doivent ainsi être remplis plusieurs fois au cours d'une même saison pour subvenir à l'ensemble des besoins théoriques de production de neige. Certains arrêtés préfectoraux d'autorisation de construction de retenue d'altitude définissent alors des prescriptions spécifiques à la gestion de ces ouvrages, en particulier les dates de remplissage et de vidange autorisées.



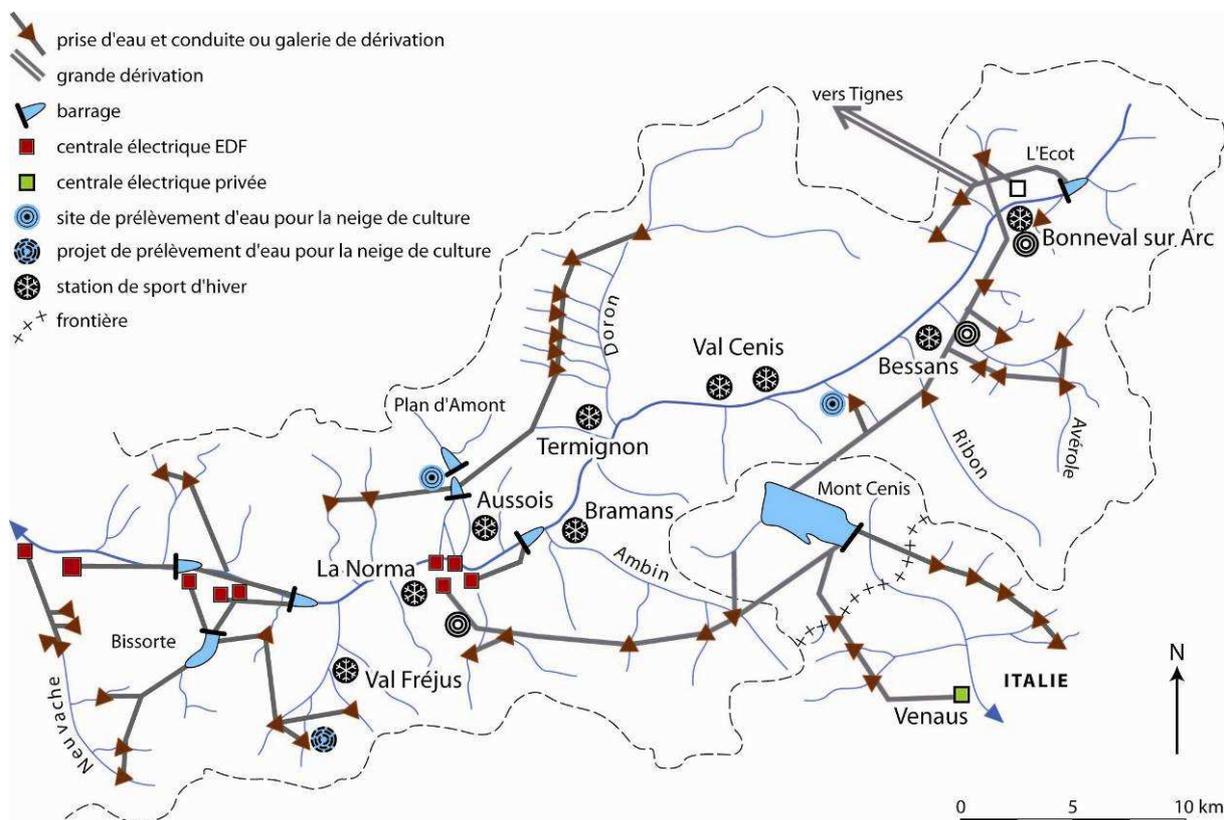
Carte 4 : Besoins en eau théoriques pour la production de neige par saison et volumes d'eau stockés dans les retenues d'altitude en Savoie et Haute Savoie (données : DDEA 73 et 74, Atout France, 2009). *Les besoins en eau théoriques pour la production de neige de chaque domaine skiable sont figurés par des cercles ; une partie de ces besoins est stockée dans une ou plusieurs retenues, dont le(s) volume(s) est (sont) ici représenté(s) en bleu.*

- **L'alternative proposée par les réseaux hydroélectriques préexistants**

En Savoie comme en Haute-Savoie, certaines installations d'enneigement bénéficient de la proximité de réseaux d'eau hydroélectriques (Marnézy, 2008). Elles peuvent ainsi s'affranchir du besoin de retenue d'altitude (carte 4 supra) en prélevant de l'eau soit depuis une conduite d'amenée soit directement depuis un grand barrage hydroélectrique. Il s'agit principalement des stations du massif du Beaufortain (carte 5) et de la vallée de la Haute-Maurienne (carte 6).



Carte 5 : Aménagements hydroélectriques et stations de sports d'hiver : le massif du Beaufortain (Marnézy, 2008, complété)



Carte 6 : Aménagements hydroélectriques et stations de sports d'hiver en Haute Maurienne (Marnézy, 2008)

En la matière, si un prélèvement s'effectue pour alimenter un réseau de neige de culture à l'amont d'une retenue hydroélectrique (c'est-à-dire dans le bassin d'alimentation de la retenue), la question de la concurrence avec l'alimentation en eau potable, comme avec les autres usages de l'eau définis comme de services publics, se pose au titre de l'article 49 du cahier des charges des concessions<sup>6</sup>.

Par contre, si les prélèvements doivent s'effectuer sur les canalisations du réseau hydroélectrique du concessionnaire, une négociation s'engage entre les deux parties, le concessionnaire de la chute d'eau et une station de sports d'hiver par exemple, pour convenir des volumes possibles à dériver ainsi que des indemnités à verser au concessionnaire, producteur d'hydroélectricité.

<sup>6</sup> L'article 49 des concessions hydroélectriques prévoit la possibilité de dériver un volume d'eau à l'amont de la queue de la retenue ou, à défaut, à l'amont de l'ouvrage de prise d'eau (c'est-à-dire depuis le bassin versant d'alimentation du réseau hydroélectrique) en vue de satisfaire des besoins d'irrigation, d'alimentation de centres habités ou de services publics sans que le concessionnaire puisse élever aucune réclamation. Ce volume d'eau annuel est défini pour toute nouvelle concession ou renouvellement de concession. Les besoins en eau pour la production de neige de culture peuvent rentrer dans ce cadre.

## 2.3.2 – Incidences des prélèvements sur les ressources en eau et les milieux aquatiques

- **Approche quantitative...**

A la fonte des neiges, l'eau destinée à la production de neige de culture est globalement restituée au cycle hydrologique régional. On estime néanmoins que la perte en eau par évaporation et sublimation de la neige entre la production et la fonte atteint jusqu'à 30% du volume d'eau initialement mobilisé (Service d'Etudes et d'Aménagement Touristique de la Montagne, 1996). En réalité, cette proportion disparaît alors du cycle de l'eau continental mais retourne à l'atmosphère sous forme de vapeur. La production de neige entraîne par ailleurs un transfert dans le temps et dans l'espace des volumes d'eau mobilisés à cet effet : restitution de l'eau à la fonte des neiges et acheminement du point de prélèvement jusqu'aux pistes à enneiger.

Les volumes prélevés et les infrastructures associées exercent dans tous les cas une pression supplémentaire sur les hydrosystèmes, interagissant avec les débits des cours d'eau, les milieux aquatiques, les autres usages de l'eau (alimentation en eau potable, capacité d'épuration des eaux usées...), etc.

D'un point de vue quantitatif, les prélèvements d'eau pour la production de neige semblent globalement compatibles avec les besoins en eau pour les milieux naturels et les autres usages au pas de temps annuel et à l'échelle d'un grand bassin versant de montagne. Il s'agit cependant d'être vigilant aux impacts possibles sur les ruisseaux et petits torrents en périodes d'étiage. Le « Bilan quantitatif de la ressource en eau sur le bassin versant de l'Isère en amont d'Albertville » réalisé par l'Assemblée du Pays Tarentaise-Vanoise en 2008 dans le cadre de la préparation du contrat de bassin versant Isère en Tarentaise confirme cette idée (Assemblée du Pays Tarentaise-Vanoise, 2008).

Un des résultats de ce travail montre en effet qu'à l'échelle du mois de Février et sur l'hypothèse d'un remplissage complet de toutes les retenues d'altitude existantes sur le bassin versant du Doron de Bozel<sup>7</sup>, la neige de culture ne représenterait qu'un faible volume d'eau au regard des autres usages (eau potable et surtout hydroélectricité) et que l'ensemble des besoins cumulés, tout usage de l'eau confondu, resterait inférieur à la ressource théorique disponible sur ce bassin versant (figure 9). Des biais à cette représentation sont cependant possibles : des projections ont du être réalisées pour estimer les prélèvements, sur la base des débits réservés pour l'hydroélectricité, et sur la base de profils de consommation types pour l'eau potable.

---

<sup>7</sup> Le bassin versant du Doron de Bozel a une superficie d'environ 660 km<sup>2</sup>. Il est situé dans la vallée de la Tarentaise, en Savoie. Il comprend notamment les stations de sports d'hiver de Val-Thorens, Méribel, Courchevel, Champagny et Pralognan-la-Vanoise.

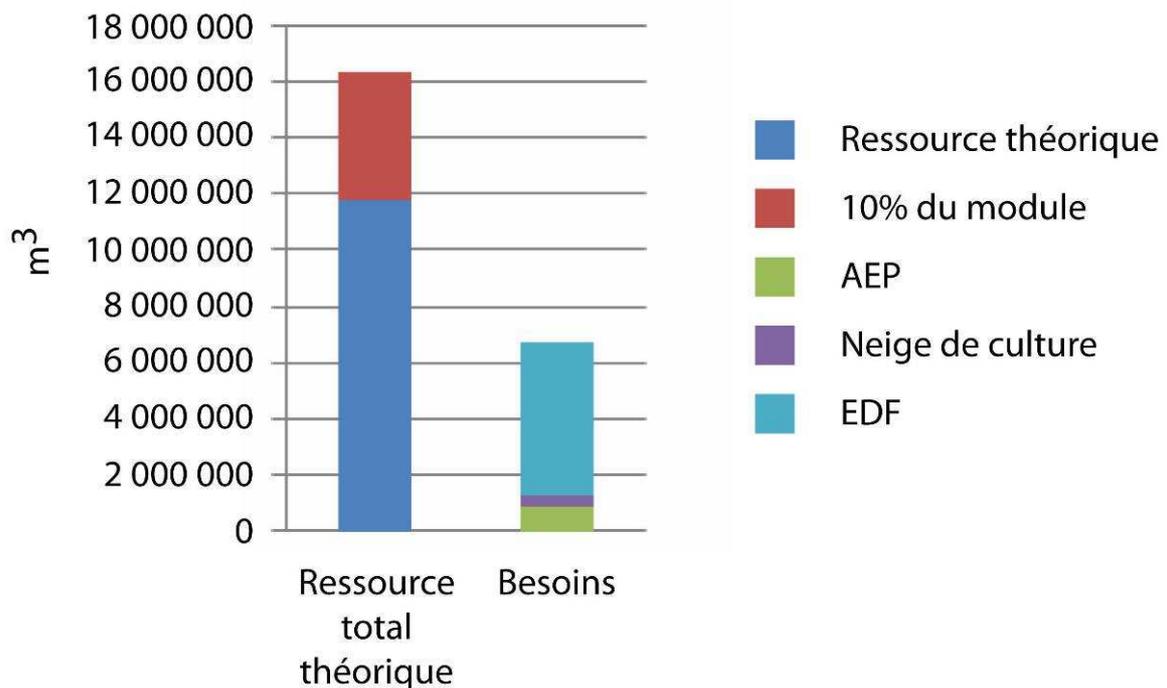


Figure 9 : Comparaison au mois de février, en m<sup>3</sup>, de la ressource totale théorique et des besoins pour l'alimentation en eau potable (AEP), la neige de culture et l'hydroélectricité sur le bassin versant du Doron de Bozel, Savoie (Assemblée du Pays Tarentaise-Vanoise, 2008, p. 68)

Cependant, en se plaçant cette fois-ci à l'échelle temporelle d'un jour d'étiage (figure 10) et en prenant l'hypothèse maximaliste d'un volume d'eau nécessaire à l'alimentation de l'ensemble des installations d'enneigement (hypothèse non-réaliste du fonctionnement simultané de l'ensemble des enneigeurs existants sur le bassin versant), la neige de culture représenterait une part significativement plus importante que les volumes d'eau mobilisés pour la production d'eau potable, et comparable aux besoins hydroélectriques (pour l'AEP, les prélèvements ont été calculés sur la base des consommations de pointe de chaque commune estimées à Noël ou pendant les vacances de février, et pour EDF, les prélèvements sont estimés au droit de l'ensemble des prises d'eau présentes sur le territoire communal, en période d'étiage hivernal sévère). Sur la base de ce même pas de temps (un jour d'étiage) et de ces mêmes hypothèses, l'ensemble des besoins cumulés pourrait alors être supérieur à la ressource théorique disponible sur le bassin versant du Doron de Bozel. L'impact des prélèvements cumulés sur les petits cours d'eau les jours d'étiage se révélerait être très fort.

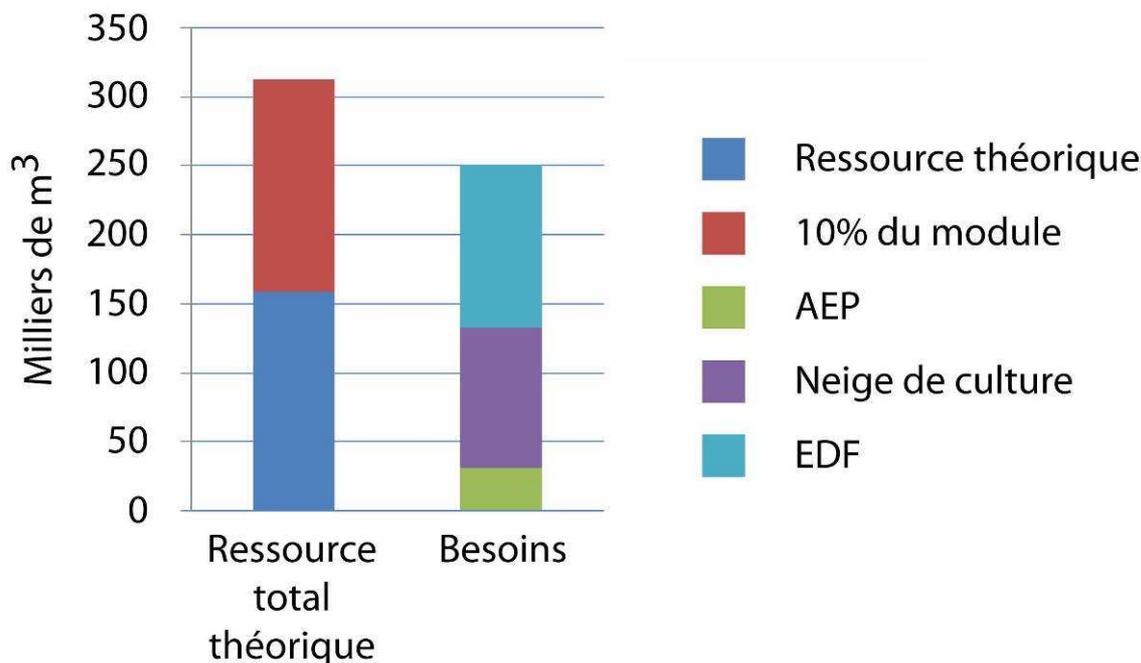


Figure 10 : Comparaison de la ressource théorique un jour d'étiage et des besoins pour l'AEP, la neige de culture et l'hydroélectricité sur le bassin versant du Doron de Bozel à sa confluence avec l'Isère (Assemblée du Pays Tarentaise-Vanoise, 2008, p. 71)

Dès lors, il s'agit d'être attentif au respect des débits réservés règlementaires qui garantissent la continuité hydraulique des cours d'eau. A ce sujet, en matière de prélèvements d'eau pour la production de neige de culture, « l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques constate encore chaque année des débits réservés non respectés, parfois dus au gel des dispositifs d'évacuation de ces mêmes débits réservés » (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques, 2008).

- **... et qualitative sur l'eau et les milieux aquatiques**

D'un point de vue qualitatif, il est important de rappeler que l'ensemble des exploitants de domaines skiables français n'utilise plus d'adjuvant pour la production de neige de culture depuis 2005 (Syndicat National des Téléphériques de France, 2006, 2008a). Il s'agissait en particulier du produit dénommé Snomax®. A ce sujet, l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET) conclut dans un récent rapport d'évaluation des risques sanitaires engendrés par l'utilisation de ce produit, selon les scénarii d'exposition et les populations concernées :

- un niveau de risque « nul à négligeable », voire « négligeable » pour la majorité des populations concernées (usagers des pistes de ski) ;
- un niveau de risque « négligeable à faible » pour les nivoculteurs plus exposés au produit Snomax pur ou dilué notamment lors de sa manipulation (Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail, 2008).

L'AFSSET recommande par ailleurs l'utilisation d'une eau de bonne qualité microbiologique pour la production de neige de culture pour préserver la qualité de la ressource en eau, en particulier l'eau destinée à la consommation humaine.

L'attention doit également être portée sur les destructions potentielles de milieux aquatiques particuliers tels que des zones humides\* (photo 4) lors de la construction de retenues d'altitude. En la matière, le principe de préservation prévaut. Cependant, des projets peuvent se réaliser si d'autres enjeux sont plus prégnants. Les inventaires des zones humides réalisés en Savoie par le Conservatoire du Patrimoine Naturel de la Savoie (CPNS) et en Haute-Savoie par le Conservatoire des espaces naturels de Haute-Savoie (ASTERS) sont une référence (carte 7). Ils répertorient l'ensemble des zones humides d'une surface supérieures à 1000 m<sup>2</sup> sur l'ensemble des deux départements. Aucun traitement général n'est cependant possible et le traitement au cas par cas de chaque projet est de rigueur.

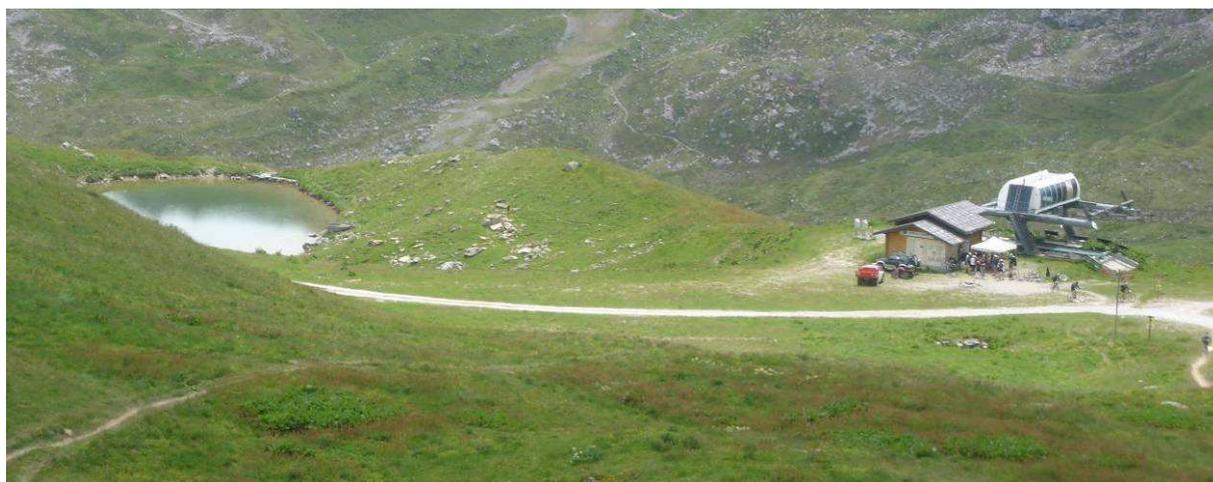
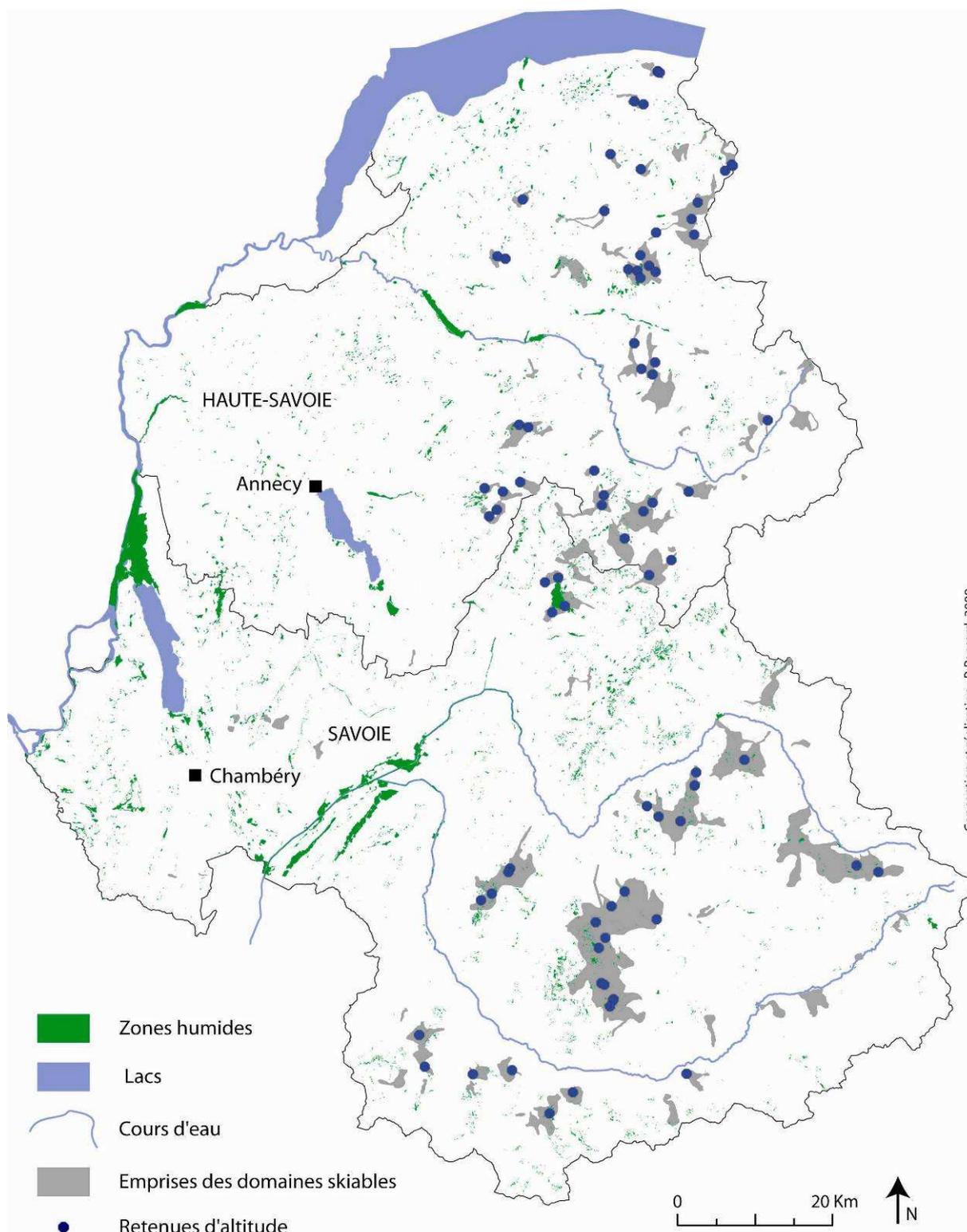


Photo 4 : Zone humide au départ d'un télésiège  
(cliché : P. Paccard, 2009)

Le volet quantitatif de la ressource en eau est par ailleurs évidemment lié à la qualité des milieux aquatiques : les prélèvements pour la production de neige interfèrent dans une certaine mesure avec le régime hydrologique des cours d'eau de montagne et, en ce sens, avec la biodiversité de ces écosystèmes. Les niveaux de prélèvements réglementaires doivent intégrer cette composante. La difficulté réside cependant dans l'appréciation des débits biologiques pour les petits cours d'eau de haute-montagne.

En cas de non respect des débits réservés, voire au pire dans le cas d'assec d'un cours d'eau, c'est l'ensemble de la faune (benthique, piscicole...) et de la flore qui est menacé. A ce sujet, la DIREN Rhône-Alpes note que « *dans tous les cas, les prélèvements constituent une pression supplémentaire sur la ressource en eau, aussi bien au niveau quantitatif que qualitatif (disponibilité pour la vie biologique, pour les rejets domestiques, industriels, agricoles...) qui nécessite une attention de tous les instants* » (DIREN Rhône-Alpes, 2008).



Carte 7 : Zones humides, emprises des domaines skiabiles et retenues d'altitude existantes en Savoie et Haute-Savoie (données zones humides : CPNS et ASTERS ; données emprises des domaines skiabiles : DRE Rhône-Alpes)

### 2.3.3 – Perspectives de recherche

L'analyse ci-dessus propose des éléments en vue d'apprécier les interactions des installations d'enneigement avec les milieux montagnards, en particulier avec les ressources en eau. Il conviendrait de préciser ces éléments par des analyses plus détaillées, centrées sur l'unité du bassin versant. Une évaluation par station de sports d'hiver du niveau de pression entre les prélèvements d'eau pour la production de neige de culture et la capacité globale du bassin versant est un exemple d'analyse à conduire dans un futur proche. Sur d'autres plans, du point de vue des paysages par exemple, d'autres travaux sont à mener dans l'objectif d'intégrer au mieux les équipements d'enneigement au sein des environnements de montagne.

Comme rappelé en introduction du présent chapitre, la question énergétique des installations de production de neige ne constituait pas l'entrée de notre travail, principalement centré sur la ressource en eau. Dans l'idée d'une approche environnementale globale, il s'agit cependant d'un point à ne pas négliger. Il convient ainsi de rappeler brièvement les informations suivantes (d'après ODIT France, 2008b) :

- le rendement énergétique des installations est en progrès constant ; 2,8 kWh sont aujourd'hui nécessaire à la production d'1m<sup>3</sup> de neige contre le double il y a 10 ans (90 millions de kWh électriques ont été consommés en 2006/2007) ;
- les écarts de rendement sont cependant importants d'une installation à l'autre (de 1 à 5 kWh par m<sup>3</sup> de neige produite) ; des progrès peuvent donc encore être réalisés en la matière ;
- dans le bilan de la consommation d'énergie moyenne pour un séjour au ski, la neige de culture ne représente qu'un poste secondaire (3% de la consommation d'énergie totale contre 39% par exemple pour le transport touristique).

Du point de vue des ressources en eau et dans le contexte du changement climatique, l'enjeu est de savoir comment vont évoluer l'ensemble de nos besoins, dont les besoins pour l'enneigement, face à la disponibilité de la ressource. La loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006 rappelle à ce sujet le principe d'une gestion durable de la ressource et stipule que « cette gestion prend en compte les adaptations nécessaires au changement climatique » (Article L. 211-1 du code de l'environnement).

Le Livre Blanc du Climat en Savoie<sup>8</sup> précise en effet que les effets du changement climatique sur les ressources en eau, tels que la succession de périodes sèches déjà connue par le passé, pourraient se reproduire plus fréquemment. L'élévation de la température entraîne et entrainera une fonte nivale plus précoce, la disparition de certains glaciers, une évapotranspiration accrue et d'avantage de précipitations sous forme liquide en hiver (remontée de la limite pluie-neige). De manière générale, l'ensemble de ces facteurs conduirait ainsi à une raréfaction de la ressource en eau et à une accentuation des étiages.

La réduction de la couverture nivo-glaciaire pourrait également avoir des conséquences importantes sur l'économie des sports d'hiver, la neige restant la matière première indispensable à l'activité ski. Le chapitre suivant propose dans cette perspective une réflexion sur les incidences probables du réchauffement climatique sur la ressource neige, à différents horizons temporels, appliquée aux stations de sports d'hiver de Savoie et de Haute-Savoie.

---

<sup>8</sup> Le Livre Blanc du Climat Savoie porté par le Conseil Général de la Savoie est actuellement en cours de finalisation.

### ***En résumé – Les enjeux environnementaux :***

- ➔ Le principal effet direct affecte la ressource en eau.
- ➔ Des effets indirects liés aux retenues d'altitude (zones humides, risques, paysage...).
- ➔ Des impacts en matière de ressource en eau croissants selon la nature des prélèvements (prise d'eau EDF, retenues de grande taille, retenues à plusieurs remplissages, cours d'eau...).
- ➔ Des rendements énergétiques en progrès constant mais avec de fortes disparités.

### 3 – Changement climatique et ressource en neige dans les domaines skiables de Savoie et Haute-Savoie

Il est un paradoxe certain entre le sujet proposé et l'abondance de neige de l'hiver 2008-2009 qui nous invite avant toute chose à relativiser notre propos. Le 5 février 2009, Météo France établissait ainsi en ces termes un point sur l'enneigement dans les massifs français (Météo France, 2009) : « en ce début de février, tous les massifs montagneux français bénéficient d'un bon enneigement. Il est même particulièrement remarquable en Corse et dans les massifs situés les plus au sud des Alpes » (photo 5). A titre d'exemple, une telle abondance de neige n'avait plus été connue dans le Queyras depuis l'hiver 1978-1979. Encore plus au Sud, la route menant à la station d'Isola 2000 est restée fermée pendant plusieurs jours au début du mois de février 2009 en raison d'un fort risque d'avalanche, tant les précipitations neigeuses furent importantes.

Si la variabilité climatique interannuelle est dès lors certaine, celle-ci ne doit cependant pas être confondue avec la variation du climat sur le long terme. Nous proposons dans ce cadre une réflexion sur les interactions possibles entre le changement climatique actuel et la ressource neige en stations de sports d'hiver. Ainsi, dans une démarche prospective et constructive, après avoir fait un point sur l'état de l'art, nous essaierons de compléter l'une des approches présentées, puis de l'appliquer aux stations de sports d'hiver des départements français alpins de Savoie et de Haute-Savoie. Cet exercice bénéficiera par ailleurs d'une large analyse critique.

Au titre de cette contribution, nous ne prétendons évidemment pas apporter des résultats formels, tant les incertitudes sont grandes. Nous questionnerons plutôt les différentes analyses possibles, tant en termes de données à exploiter que de méthodologies à conduire<sup>9</sup>.



Photo 5 : Le bon enneigement de l'hiver 2008-2009 dans les Alpes du Sud. Ici le front de neige de la station d'Orcières (Hautes Alpes) au mois de janvier 2009  
(cliché : P. Paccard, 2009)

---

<sup>9</sup> Une version préliminaire de ce chapitre a été déjà publié en 2009 dans le volume n°8 des Cahiers de Géographie du Laboratoire EDYTEM sous le titre : « Réchauffement climatique et ressource neige en domaine skiable » (Paccard, 2009). La version ici proposée est une reprise de cette publication complétée et corrigée par des éléments nouveaux.

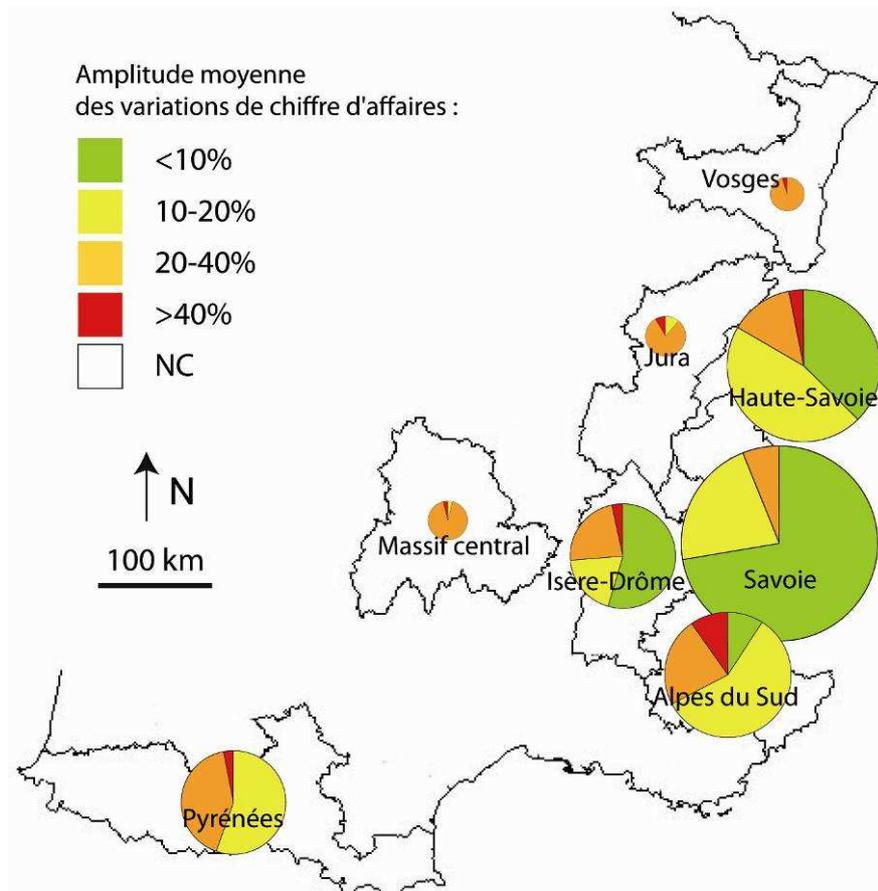
### **3.1 – Etat de l’art**

Depuis plusieurs années, l’étude de séries météorologiques alpines tend à montrer une diminution du nombre de jours de neige au sol par an (Etchevers et Martin, 2002 ; Laternser et Schneebeli, 2003). Dans le cadre du réchauffement climatique actuel, ces diminutions pourraient être expliquées par une fonte plus précoce du manteau neigeux, du fait de températures plus douces, ainsi que par une possible élévation altitudinale de la limite pluie/neige (Etchevers et Martin, 2002 ; Aspen Global Change Institute, 2006 ; Prudent-Richard, 2008). La neige étant le principal support de l’activité des stations de sport d’hiver, elle constitue une ressource indispensable à leur fonctionnement. C’est pourquoi, au vu de cet enjeu, les conséquences d’une diminution de l’enneigement naturel ont d’ores et déjà fait l’objet de nombreuses études. Si certaines méthodologies visent plutôt à étudier de façon rétrospective comment les stations de sports d’hiver ont déjà réagi à de précédents hivers peu généreux en neige, d’autres, dans une démarche prospective, tentent d’évaluer leurs probabilités d’enneigement pour les prochaines années.

#### **3.1.1 – L’analyse de la variation des chiffres d’affaires**

Les différentes sensibilités des stations aux « mauvais » hivers passés sont généralement présentées par l’étude de la variation de leurs chiffres d’affaires au cours du temps. L’idée est ici qu’une station sensible à l’aléa d’enneigement connaîtra de fortes variations de son chiffre d’affaires entre de « bons » et de « mauvais » hivers. Au contraire, le chiffre d’affaires d’une station relativement protégée des déficits d’enneigement, comme une station située en haute altitude par exemple, se présentera comme plutôt stable dans le temps. Il est ainsi possible que « la résistance des stations aux mauvais hivers passés nous renseigne sur leur capacité à faire face au changement climatique annoncé » (Berlioz, 2008). Cependant, pouvoir faire face aux fluctuations du climat actuel ne signifie *a priori* pas que l’on peut faire face à des fluctuations d’un climat plus chaud.

L’approche d’analyse de la variation des chiffres d’affaires passés, est proposé par ODIT France (2008) qui évalue la sensibilité des exploitations de remontées mécaniques aux aléas conjoncturels à partir de l’amplitude moyenne des variations saisonnières de chiffre d’affaires sur la période 1990-2007 (carte 8). En employant cette méthode sur l’ensemble du parc de domaines skiables de chaque massif français, ODIT France note ainsi « de fortes disparités d’un massif à l’autre qui rendent certains territoires particulièrement vulnérables, ainsi que des disparités locales parfois importantes au sein de chacun des massifs » (ODIT France, 2008). A titre d’exemple, la majeure partie des exploitations de remontées mécaniques du département de la Savoie connaît des amplitudes de variation de son chiffre d’affaires inférieures à 10% tandis que ces amplitudes sont comprises entre 10 et 20% pour la plus grande partie des exploitations de Haute-Savoie.



Carte 8 : Amplitude moyenne des variations saisonnières de chiffre d'affaires des exploitations de remontées mécaniques sur la période 1990-2007 (ODIT France, modifié, 2008). *La taille des secteurs est proportionnelle à la moyenne du chiffre d'affaires dégagé par saison.*

Pour ce qui est des disparités locales à l'intérieur d'un même massif, on peut citer l'exemple de la Savoie pour qui, selon ces mêmes principes d'évaluation, « les stations les plus menacées se concentrent dans le Val d'Arly et les Bauges, et ne représentent qu'une faible partie de l'offre ski » (Berlioz, 2008). Des variations de chiffre d'affaires comprises entre 20 et 40% sont en effet connues pour certaines des stations de ces massifs.

Il est à noter qu'une telle analyse ne reflète pas seulement la variabilité de l'enneigement d'un domaine skiable mais également d'autres paramètres, tels que l'origine des clientèles. ODIT France parle ainsi de sensibilité aux aléas conjoncturels et non de sensibilité à la seule variabilité de l'enneigement. Cette idée est partagée par Héllion (2006) qui explique, après avoir comparé les variations de chiffres d'affaires de l'ensemble des stations des Alpes françaises entre les saisons 1991-1992 et 1992-1993 (la saison 1992-1993 étant une saison mal enneigée), que « les plus grosses pertes correspondent aux stations proches des grandes aires urbaines : ce sont celles qui sont marquées par le ski des populations locales » (Héllion, 2006).

### **3.1.2 – Les modèles prospectifs**

En réponse à ces premières méthodes d'évaluation de la résistance des stations aux mauvais hivers passés, une autre approche consiste à envisager les probabilités futures d'enneigement des sites considérés. En France, sur la base des projections des modèles climatiques de Météo France, Tabeaud et Delaporte (2005) identifient quatre groupes de stations pour lesquelles « les menaces pour le futur sont différentes ». Le premier groupe correspond aux stations qui n'ont pas de problème majeur, c'est-à-dire les grandes stations dotées d'un domaine de haute altitude, où les problèmes d'enneigement sont contenus. Le second groupe est constitué par les stations où le risque est occasionnel, en moyenne montagne, plus dépendantes de l'enneigement mais rattachées à un domaine de haute altitude. En troisième lieu viennent les stations où le risque sera fréquent à l'avenir, c'est-à-dire les stations de moyenne altitude sans domaine de haute altitude. Enfin, les stations de sports d'hiver où la reconversion est nécessaire, sont essentiellement des stations de sports d'hiver de première génération touchées directement par la rareté de la neige en dessous de 1000 m (Tabeaud et Delaporte, 2005).

Loubier (2007) propose par ailleurs une démarche de simulation climatique à l'horizon 2015 appliquée aux domaines skiables de Savoie et Haute-Savoie. En établissant des « cartes fondées sur la représentation d'une probabilité de survenue de neige en cas de précipitation » (Loubier, 2007), celui-ci estime que la probabilité d'une faible couverture neigeuse se fera sentir plus tard en début de saison et plus tôt en fin de saison, le changement climatique pouvant ainsi fortement affecter l'économie du ski.

Aux Etats-Unis, une étude publiée en 2006 par l'Aspen Global Change Institute simule, sur la base de projections établies par des modèles climatiques, les conséquences du réchauffement climatique sur la station d'Aspen à l'horizon 2100 (Aspen est une station de ski du Colorado, dans les Montagnes Rocheuses à l'ouest des Etats-Unis). L'une des conclusions de cette projection indique qu'à l'avenir, les précipitations tomberont à Aspen d'avantage sous la forme de pluie que de neige et que, si l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre ne cesse pas, la pratique du ski sera fortement compromise à l'horizon 2100. La réduction des émissions pourrait néanmoins préserver la pratique du ski aux altitudes moyennes et supérieures (Aspen Global Change Institute, 2006).

Au Canada, les travaux de Dawson (2008) sur les stations de sports d'hiver canadiennes et américaines tendent à montrer une érosion de l'offre de ski proposée, tant par la diminution déjà constatée du nombre de domaines skiables (plus de 700 en 1984 à moins de 500 en 2006 sur l'ensemble du territoire des Etats-Unis) que par les modélisations réalisées dans la perspective du réchauffement climatique. En revanche, les enquêtes de clientèles conduites montrent que les évolutions possibles des pratiques de la clientèle face à de potentiels manques de neige en stations restent aujourd'hui incertaines (Dawson, 2008).

Enfin, les travaux de l'OCDE (2007) se sont précisément attachés à définir, sur l'ensemble des pays de l'arc alpin, le nombre de stations de sports d'hiver considérées comme fiables du point de vue de l'enneigement naturel à l'heure actuelle et dans la perspective du réchauffement climatique. Cette approche fait l'objet d'une présentation plus détaillée dans le paragraphe suivant.

### ***3.2 – L'approche prospective proposée par l'OCDE (2007) : le concept de limite de fiabilité de l'enneigement naturel***

Les projections réalisées par l'OCDE reposent sur deux hypothèses principales. La première, communément admise, est que « pour exploiter un domaine skiable avec un résultat

satisfaisant, il faut un manteau neigeux suffisant pour la pratique du ski pendant au moins cent jours par saison » avec une épaisseur de neige minimum au sol de 30 centimètres (OCDE, 2007). Cette hypothèse peut être confrontée au nombre moyen de jours d'ouverture sur l'ensemble des stations françaises au cours d'une saison : 101 jours d'ouverture à titre d'exemple pour l'hiver 2007-2008 considéré comme plutôt bien enneigé. Pour la même saison, cette durée était de 124 jours pour les 100 stations françaises au plus grand chiffre d'affaires et respectivement 126 jours et 130 jours pour les principales stations de Haute-Savoie et de Savoie (Montagne Leader, 2008).

A partir de cette première hypothèse, en extrapolant des résultats de travaux réalisés pour la Suisse (Föhn, 1990 ; Laternser et Schneebeli, 2003), une limite de fiabilité de l'enneigement naturel est définie par l'OCDE pour chacune des zones alpines prises en compte dans l'analyse. Cette altitude – c'est à dire l'altitude minimale où l'on retrouverait au moins 100 jours de neige avec 30 cm de neige au sol par saison – a été définie à 1200 mètres pour l'ensemble des départements français des Alpes du Nord : Isère, Savoie et Haute-Savoie (tableau 1). En outre, cette limite altitudinale remonterait de 150 mètres par degré de réchauffement moyen dans l'hypothèse de l'élévation des températures moyennes. Ainsi, dans l'hypothèse d'un réchauffement de 1°C, 2°C ou 4°C des températures moyennes (scénarios retenus dans l'analyse proposée par l'OCDE), cette altitude passerait de 1200 mètres en Savoie et Haute-Savoie à respectivement 1350 mètres, 1600 mètres ou 1800 mètres.

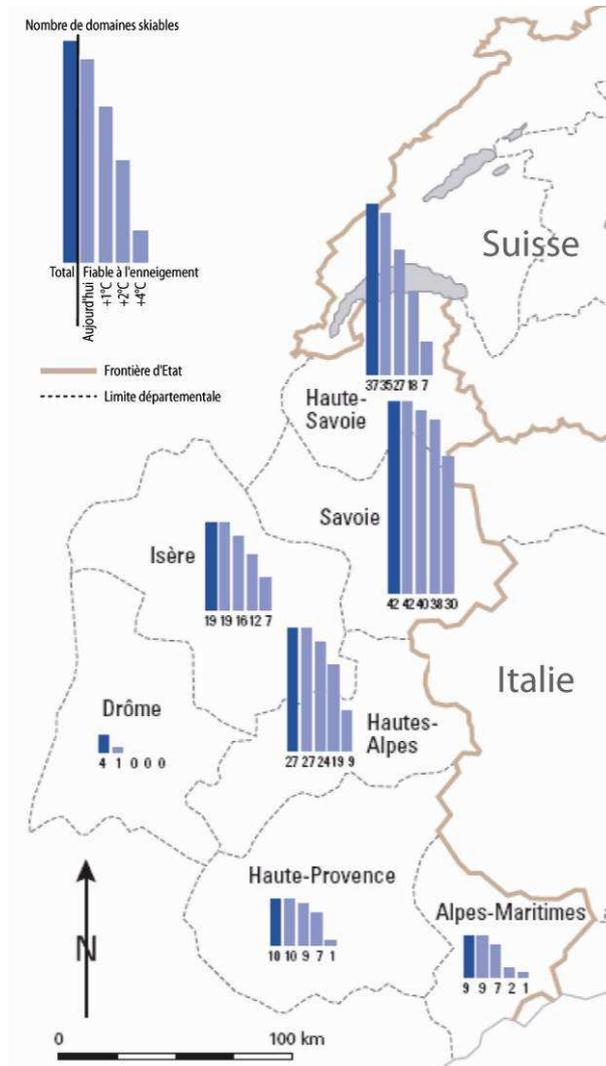
Limite de la fiabilité de l'enneigement naturel	France	Suisse	Autriche	Italie	Allemagne
1 050 m			<ul style="list-style-type: none"> <li>· Pays de Salzbourg</li> <li>· Styrie</li> <li>· Haute-Autriche</li> <li>· Basse-Autriche</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Haute-Bavière</li> </ul>
1 200 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Isère</li> <li>· Savoie</li> <li>· Haute-Savoie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Alpes Vaudoises et fribourgeoises</li> <li>· Valais</li> <li>· Oberland bernois</li> <li>· Suisse centrale</li> <li>· Suisse orientale</li> <li>· Grisons</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Vorarlberg</li> <li>· Tyrol</li> <li>· Carinthie (si l'on considère que l'effet « positif » de la continentalité est compensé par l'effet « négatif » du caractère méridional)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Souabe</li> </ul>
1 500 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Drôme</li> <li>· Hautes-Alpes</li> <li>· Alpes-de-Haute-Provence</li> <li>· Alpes-Maritimes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Tessin</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Piémont</li> <li>· Lombardie</li> <li>· Haut-Adige</li> <li>· Frioul-Vénétie-Julienne</li> <li>· Trente</li> </ul>	

Tableau 1 : Limite de fiabilité actuelle de l'enneigement naturel dans les zones alpines pour 100 jours de neige par an avec 30 cm de neige au sol (OCDE, 2007). Encadrée en rouge, la limite de fiabilité pour les départements de Savoie et Haute-Savoie : 1200 mètres.

Enfin, selon l'OCDE – il s'agit là de la seconde hypothèse pour la projection proposée –, « un domaine skiable donné est considéré comme fiable du point de vue de son enneigement naturel si la moitié supérieure de la plage d'altitude dans laquelle il se situe se trouve au-dessus de la valeur seuil de la limite de la fiabilité de l'enneigement naturel » (OCDE, 2007). La plage d'altitude considérée correspond en fait à l'espace situé entre le point haut (le sommet) et le point bas (le pied des pistes) d'un domaine skiable.

Les résultats de cette projection ont été obtenus en confrontant les altitudes de fiabilité précédemment définies avec les plages d'altitudes des domaines skiabiles alpins (carte 9). En Savoie, l'OCDE conclut qu'un recul de 300 m de la limite de la fiabilité de l'enneigement

naturel (2°C supplémentaires d'ici 2050) ramènerait le nombre de domaines skiables disposant d'un enneigement naturel fiable à 90% environ du total actuel (ibid.). Les résultats pour le département de la Haute-Savoie, dont les domaines skiables se trouvent à des altitudes moins élevées, c'est-à-dire principalement situés en moyenne montagne, sont plus sévères : 49% seulement des domaines skiables du département seraient considérés comme toujours fiables pour un réchauffement de 2°C.



Carte 9 : Nombre de domaines skiables offrant un enneigement naturel fiable dans les Alpes françaises, aujourd'hui et dans les conditions climatiques de demain (OCDE, 2007, modifié)

Les résultats présentés par l'OCDE offrent la possibilité de pouvoir comparer, de façon relative, le degré de sensibilité au réchauffement climatique du parc de domaines skiables de chaque secteur étudié. Cependant, l'analyse proposée par l'OCDE, bien que remarquable en termes de superficie couverte – l'ensemble des Alpes européennes –, présente à notre sens 3 principales limites.

Tout d'abord, une limite de fiabilité est définie à l'échelle de plusieurs départements sans prendre en compte les différences de climat entre les massifs. Ces différences climatiques, en termes de température, de précipitations (solides ou liquides), sont pourtant grandes entre les massifs des départements pour lesquels une même altitude de fiabilité a été définie. A titre

d'exemple, le climat de la Haute Maurienne assez sec (vallée intra-alpine du département de la Savoie) contraste avec les précipitations abondantes que l'on peut retrouver sur l'ensemble des massifs préalpins des départements savoyards : Chablais, Bauges et Chartreuse.

Les plages d'altitude des domaines skiables sont ensuite réduites à une altitude moyenne. Si l'altitude d'un domaine skiable peut effectivement être définie par la moyenne altitudinale entre le point haut et le point bas d'un domaine, la plus grande capacité de production de ski peut en réalité se trouver soit à haute altitude, et s'affranchir en ce sens du risque d'un faible enneigement à basse altitude, soit à basse altitude, et être en ce sens relativement vulnérable à un risque de faible enneigement. Cette capacité de production de ski peut se mesurer par le moment de puissance d'une installation ou d'une station. Celui-ci se définit par le produit de son débit et de sa dénivelée (ODIT France, 2006).

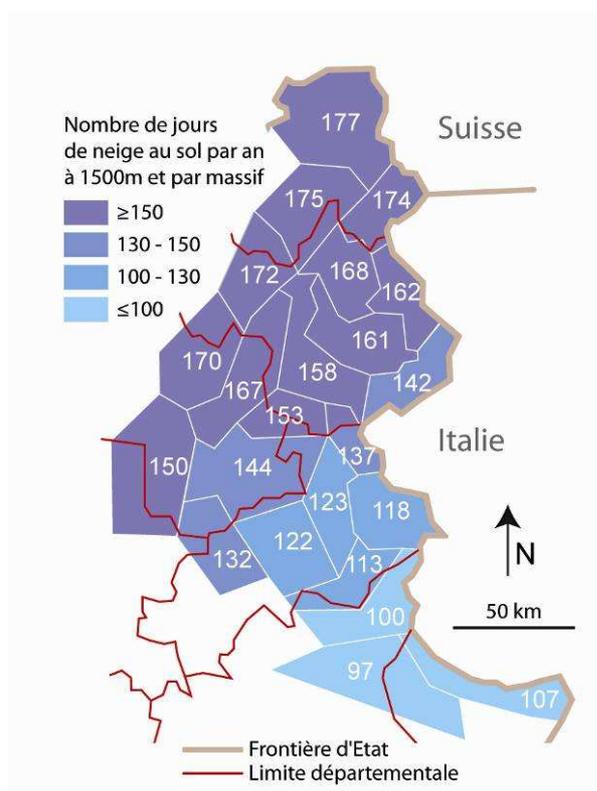
Finalement, des résultats sont présentés en nombre de sites impactés, sans prise en compte de la place qu'occupe chacun d'entre eux dans l'offre touristique globale. En effet, il est une grande différence entre un stade de neige périurbain et une grande station d'altitude dans le poids qu'ils occupent en matière d'offre de ski. Une analyse site par site, ou par exemple en nombre de journées skieurs (Reynaud, 2008), rétablirait ainsi ces différences inter-stations qu'une analyse globale, sur l'ensemble d'un parc de domaines skiables, tend au contraire à lisser.

En réalité, les principales lacunes de la projection proposée par l'OCDE peuvent être liées à l'échelle de travail retenue. Une analyse à l'échelle de l'ensemble des Alpes européennes ne peut en effet approcher le même degré de précision qu'une analyse à une échelle plus fine, celle par exemple de deux départements comme nous nous proposons de le faire. En reprenant les bases des travaux de l'OCDE, notre contribution va désormais s'attacher à essayer de palier les principales limites ci-dessus explicitées en tentant d'affiner l'approche puis de l'appliquer aux départements alpins français de Savoie et de Haute-Savoie.

### ***3.3 – Reprise des travaux de l'OCDE : application aux départements de Savoie et Haute-Savoie***

#### **3.3.1 – Quelles altitudes de fiabilité de l'enneigement naturel pour les départements de Savoie et Haute-Savoie ?**

L'exercice consiste dans un premier temps à essayer de régionaliser par massif la limite de fiabilité de l'enneigement naturel définie à 1200 m par l'OCDE pour l'ensemble des départements de Savoie et Haute-Savoie. Dans un premier temps, les résultats des modèles SAFRAN et CROCUS de Météo France (Etchevers et Martin, 2002) nous permettent de mettre en évidence les différences d'enneigement selon les massifs considérés, notamment les durées d'enneigement plus importantes pour les massifs préalpins (carte 10). En Savoie et Haute-Savoie, le nombre de jours avec de la neige au sol simulé à 1500 mètres (dans les conditions climatiques de 2002) varie selon un gradient Nord-Ouest / Sud-Est, de 177 jours dans le massif du Chablais à 142 jours dans la vallée de la Haute-Maurienne.



Carte 10 : Durée moyenne de l'enneigement à 1500 m (en jours par an), simulée par SAFRAN et CROCUS dans les Alpes en 2002 (Etchevers et Martin, 2002, in ODIT France, modifié, 2006).

A partir des résultats de cette modélisation, il est possible de pondérer, d'une façon très simple et très théorique, l'altitude de fiabilité de l'enneigement naturel proposée à 1200 mètres par l'OCDE pour l'ensemble des départements de Savoie et Haute-Savoie. Les résultats et le calcul de cette pondération sont présentés dans le tableau 2.

Massif	Nombre de jours de neige au sol à 1500m <sup>[1]</sup> $N_{j \text{ neige } 1500}$	Limite de fiabilité pondérée <sup>[2]</sup> (en mètres) $Alt_{fiab \text{ massif}}$
Chablais	177	1116
Aravis	175	1127
Mont Blanc	174	1133
Bauges	172	1145
Haute Tarentaise	162	1205
Beaufortain Val d'Arly	168	1169
Vanoise	161	1210
Haute Maurienne	142	1323
Grandes Rousses	153	1258
Belledonne	167	1175
Maurienne	158	1228
Thabor	137	1353
Chartreuse	170	1157
<b>Moyenne (Savoie, Haute-Savoie)</b>	<b>162,769</b>	<b>1200<sup>[3]</sup></b>

Tableau 2 : Limite de fiabilité de l'enneigement naturel pondérée par massif. *Les résultats de calcul figurent en italique dans ce tableau.*

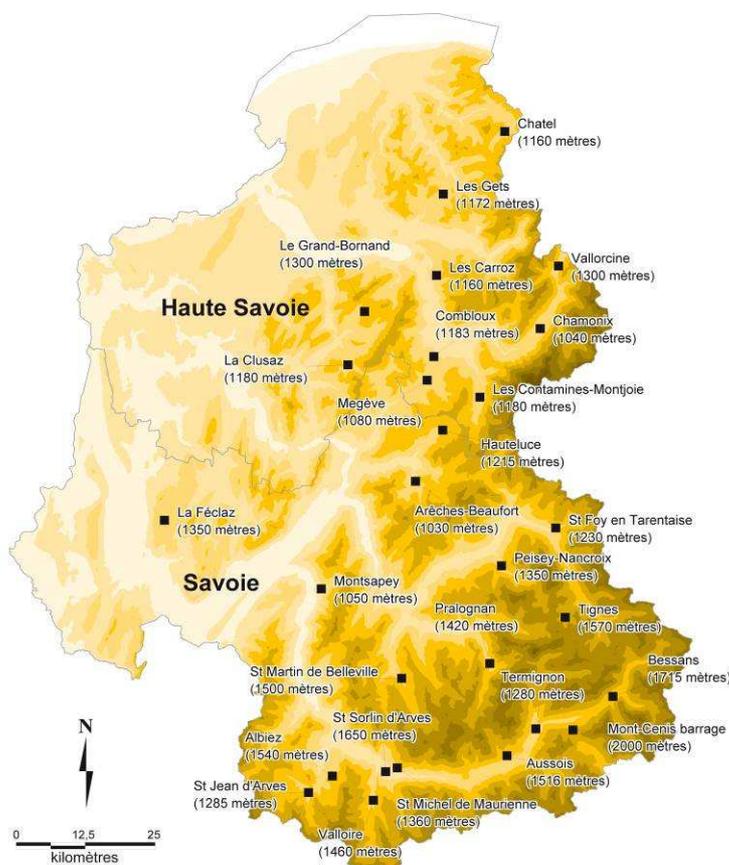
<sup>[1]</sup> Donnée du modèle SAFRAN et CROCUS de Météo France ;

<sup>[2]</sup>  $Alt_{fiab \text{ massif}} = 1200 \times (365 - N_{j \text{ neige } 1500}) / (365 - \text{Moyenne de } N_{j \text{ neige } 1500})$  ;

<sup>[3]</sup> Donnée OCDE, 2007.

Dans un second temps, ces résultats obtenus en première approximation doivent être confrontés aux relevés Météo France des hauteurs de neige quotidienne au sol. En effet, à partir de ces mesures et pour chaque station météorologique considérée, le nombre de jours avec une hauteur de neige au sol supérieure à 30 cm peut être connu.

Les hauteurs de neige quotidiennes au sol de 10 stations météorologiques Météo France situées en Haute-Savoie et de 18 stations situées en Savoie ont ainsi été traitées (carte 11). Elles ont permis de connaître le nombre de jours moyen par hiver avec plus de 30 cm de neige au sol. Ces données n'ont malheureusement pu être analysées que pour les quatre hivers suivant l'année 2004, les hauteurs de neige au sol n'étant connu avant cette date pour aucune des stations météorologiques étudiées. Les résultats sont présentés dans le tableau 3 en considérant ou non l'hiver 2006-2007 particulièrement peu enneigé et illustrés en figure 11 sans considérer ce même hiver.



Carte 11 : Localisation des stations météorologiques Météo France dont les données de hauteur de neige ont été étudiées. *L'altitude de chaque station météo est ici indiquée.*

Station météorologique	Massif	Altitude	Nombre moyen de jours par hiver avec 30cm de neige au sol (entre parenthèses, avec 2006/2007)
Chatel	Chablais	1160	96 (72)
Les Carroz	Chablais	1160	76 (57)
Les Gets	Chablais	1172	83 (64)
Chamonix	Mont Blanc	1040	39 (30)
Les Contamines-Montjoie	Mont Blanc	1180	59 (46)
Vallorcine <sup>[*]</sup>	Mont Blanc	1300	96 (96)
Combloux	Aravis	1183	71 (54)
La Clusaz	Aravis	1180	104 (73)
Le Grand-Bornand	Aravis	1300	113 (96)
Megève	Beaufortain - Val d'Arly (74)	1080	92 (70)
Arêches-Beaufort	Beaufortain - Val d'Arly	1030	77 (59)
Hauteluce	Beaufortain - Val d'Arly	1215	126 (109)
La Féclaz	Bauges	1350	124 (105)
Pralognan	Vanoise	1420	126 (114)
St Martin de Belleville	Vanoise	1500	65 (51)
Peisey-Nancroix	Haute Tarentaise	1350	34 (26)
St Foy en Tarentaise <sup>[*]</sup>	Haute Tarentaise	1230	60 (41)
Tignes <sup>[*]</sup>	Haute Tarentaise	1570	134 (94)
Albiez	Maurienne	1540	116 (103)
Montsapey	Maurienne	1050	8 (7)
St Jean d'Arves	Maurienne	1285	54 (41)
St Michel de Maurienne	Maurienne	1360	31 (24)
St Sorlin d'Arves	Maurienne	1650	121 (98)
Valloire	Maurienne	1460	85 (57)
Aussois	Haute Maurienne	1516	61 (47)
Bessans <sup>[*]</sup>	Haute Maurienne	1715	131 (108)
Mont-Cenis barrage	Haute Maurienne	2000	113 (92)
Termignon	Haute Maurienne	1280	74 (56)

Tableau 3 : Nombre moyen de jours par hiver avec 30 cm de neige au sol depuis l'hiver 2004-2005, avec ou sans considérer l'hiver 2006-2007 (données : Météo France, 2009).

[\*] Séries de données incomplètes ; moyenne uniquement sur : 2004-2005 pour Vallorcine ; 2004-2005, 2006-2007 et 2007-2008 pour Ste Foy Tarentaise ; 2006-2007 et 2007-2008 pour Tignes ; 2005-2006, 2006-2007 et 2007-2008 pour Bessans

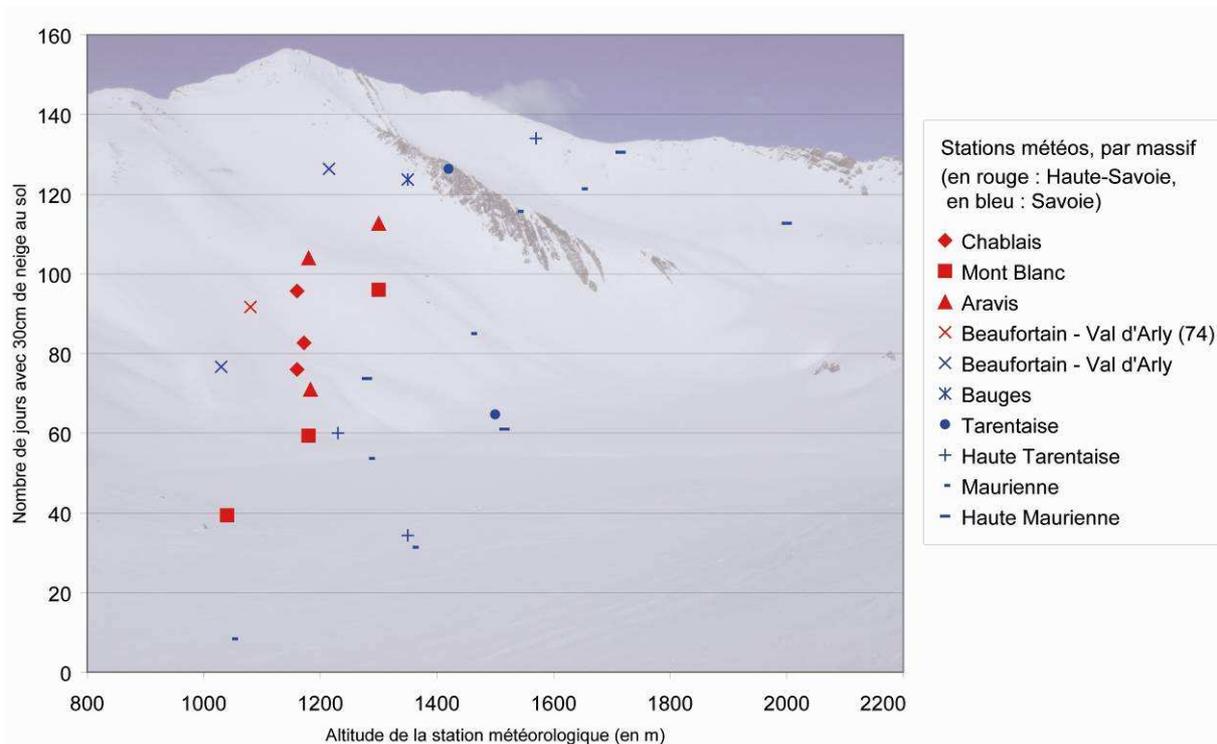


Figure 11 : Nombre moyen de jours par hiver avec 30 cm de neige au sol depuis l'hiver 2004-2005 en fonction de l'altitude de la station météorologique, sans considérer l'hiver 2006-2007 (données : Météo France, 2009). *Les stations sont ici présentées selon leur appartenance aux différents massifs étudiés.*

Les résultats ici présentés sont très hétérogènes. Il paraît difficile à la seule lecture du graphique de la figure 11 de pouvoir affecter par massif une altitude de fiabilité de l'enneigement, notamment du fait du nombre trop peu important de stations météorologiques étudiées et du peu de recul sur les années de mesures (seulement quatre hivers de données). Les 100 jours de neige sont atteints en Savoie pour des altitudes supérieures à 1400 m, sauf pour une station du Beaufortain et une station des Bauges. Au contraire, la majorité des stations météorologiques haut-savoyardes, toutes situées en dessous de 1400 mètres, n'atteignent pas les 100 jours de neige, exceptées deux stations du massif des Aravis.

Si l'analyse des données météorologiques ne permet pas de confirmer formellement les limites de fiabilité de l'enneigement calculées en première approximation, elle permet cependant de mettre à nouveau en évidence les différences d'enneigement entre les massifs savoyards. Nous retiendrons ainsi les altitudes obtenues par pondération des 1200m de l'OCDE (tableau 2 supra) comme limites de fiabilité de l'enneigement définies pour chaque massif. Ce choix tient compte des précipitations plus importantes, à la même altitude, pour les massifs préalpins au regard des massifs plus internes.

Ces altitudes ainsi définies ont également été modulées selon les scénarios proposés par l'OCDE (2007) : augmentation de 150 mètres, 300 mètres et 600 mètres des altitudes de fiabilité de l'enneigement naturel pour un réchauffement respectif de 1°C, 2°C ou 4°C. A titre d'exemple, si la fiabilité de l'enneigement naturel se situe actuellement à 1200 m pour un massif donné, elle se situerait à 1350 m, 1500 m ou 1800 m pour un réchauffement respectif de 1°C, 2°C ou 4°C.

### **3.3.2 – Quelles altitudes pour les domaines skiables de Savoie et Haute-Savoie ?**

La base de données utilisée pour déterminer l'altitude des domaines skiables savoyards et haut-savoyards est le Fichier Informatisé des Remontées Mécaniques (FIRM) administré par les Directions Départementales de l'Équipement de Savoie et Haute-Savoie. La base de données FIRM recueille, par station de sports d'hiver (en l'occurrence par exploitant de remontées mécaniques), l'ensemble des remontées mécaniques existantes. Elle précise notamment l'altitude de départ, l'altitude d'arrivée et le débit skieur de chaque installation.

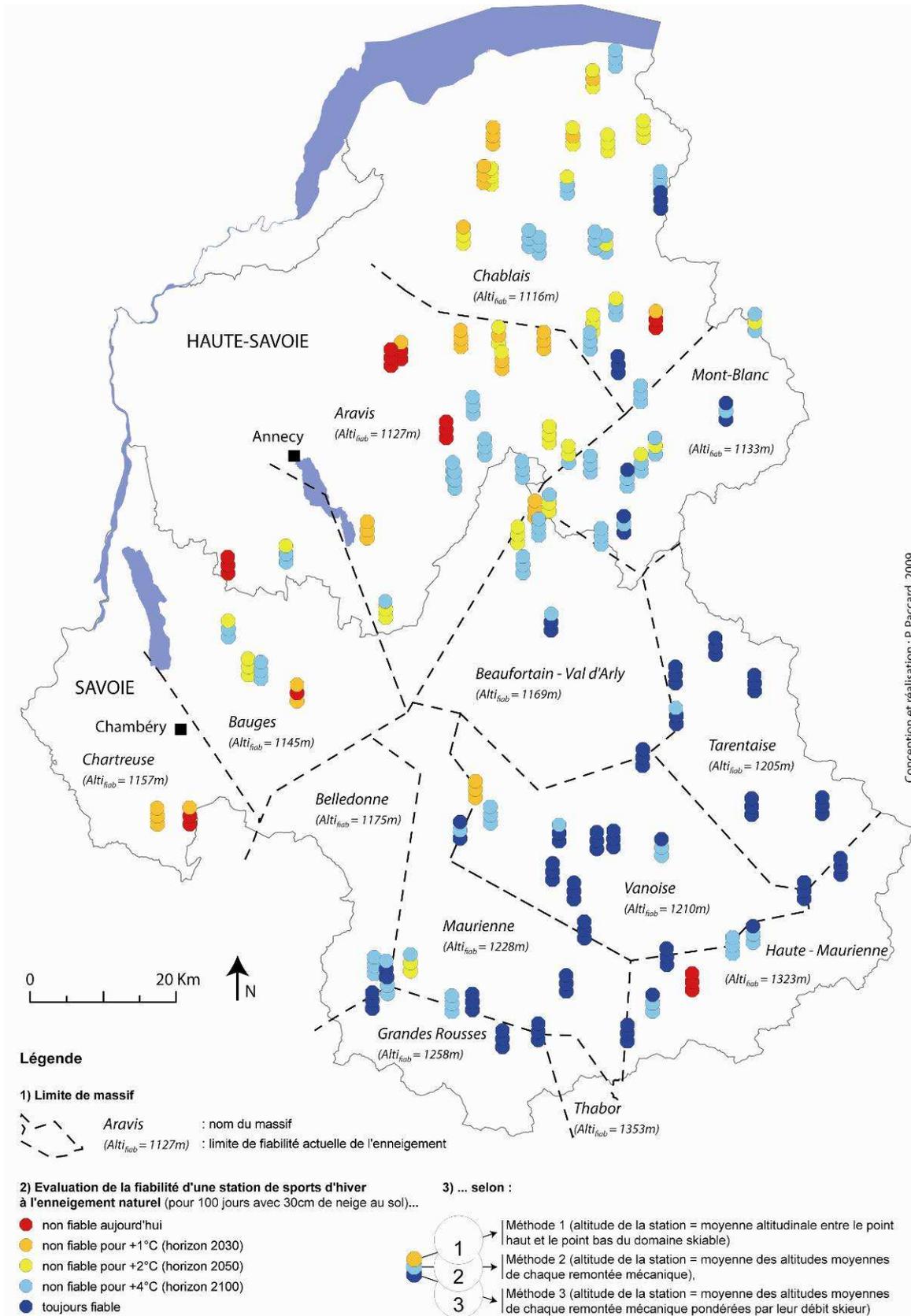
Grâce à cette base de données, les altitudes moyennes de chaque domaine skiable ont pu être calculées selon trois méthodes différentes.

- méthode 1 : altitude moyenne définie par l'altitude du point le plus haut et du point le plus bas du domaine skiable ;
- méthode 2 : altitude moyenne définie par l'altitude de départ et d'arrivée de chaque remontée mécanique (moyenne des altitudes moyennes de chaque remontée mécanique) ;
- méthode 3 : altitude moyenne définie par l'altitude de départ et d'arrivée de chaque remontée mécanique pondérée par leur débit skieur (moyenne des altitudes moyennes de chaque remontée mécanique pondérées par leur débit skieur).

La principale motivation pour l'emploi de trois méthodes différentes pour ce raisonnement est le souhait de pouvoir recentrer l'altitude moyenne d'un domaine skiable en fonction du secteur où un domaine skiable dispose de sa plus grande capacité de production de ski, c'est-à-dire le secteur où se trouve son plus grand moment de puissance.

### **3.3.3 – Résultats et analyse critique**

Les altitudes de chaque domaine skiable, calculées selon les trois méthodes explicitées, ont enfin été confrontées aux limites de fiabilité actuelles et futures de l'enneigement naturel définies pour chaque massif des départements de Savoie et Haute-Savoie. Les résultats sont présentés sur la carte 12.



Conception et réalisation : P. Paccard, 2009

Carte 12 : Evaluation de la fiabilité de l'enneigement des domaines skiables de Savoie et Haute-Savoie (données en annexe VI). *Chaque domaine skiable est ici figuré par un ensemble de trois points. La couleur de chacun de ces points représente le résultat de l'évaluation de la fiabilité du domaine skiable selon les méthodes 1, 2 ou 3.*

- **Résultats**

A la lecture de ces résultats, force est de constater une hétérogénéité des résultats selon la méthode de calcul utilisée. Un domaine skiable peut ainsi être considéré à la fois comme fiable ou non fiable pour un même horizon selon l'altitude qui lui est affectée (méthode 1, 2 ou 3). Les conséquences du réchauffement climatique sur la ressource neige en station de sports d'hiver peuvent ainsi être appréhendées d'une façon différente selon les méthodologies conduites.

Par ailleurs, ces résultats nous montrent une grande diversité des situations intra et inter départementales. Ces différentes situations sont à relativiser selon le poids qu'occupe chaque site dans l'offre touristique. Les grands domaines d'altitude de Maurienne ou de Tarentaise par exemple, détenant une part importante de l'offre de ski alpin, semblent être relativement protégés. Les domaines skiables des massifs de moindre altitude au contraire, s'ils sont ici présentés comme les moins fiables du point de vue de l'enneigement naturel, ne représentent néanmoins qu'une faible part de l'offre touristique de ski alpin considérée dans sa globalité.

La synthèse des résultats est présentée à l'échelle départementale dans le tableau 4 selon les différentes approches et comparée aux résultats de l'OCDE. Les trois méthodes proposées donnent des résultats globalement homogènes, mais ceux-ci présentent une différence significative avec les résultats de l'OCDE. Cette différence peut s'expliquer par un nombre plus important de sites de faible altitude pris en compte dans notre analyse et par la définition d'altitudes de fiabilité différentes.

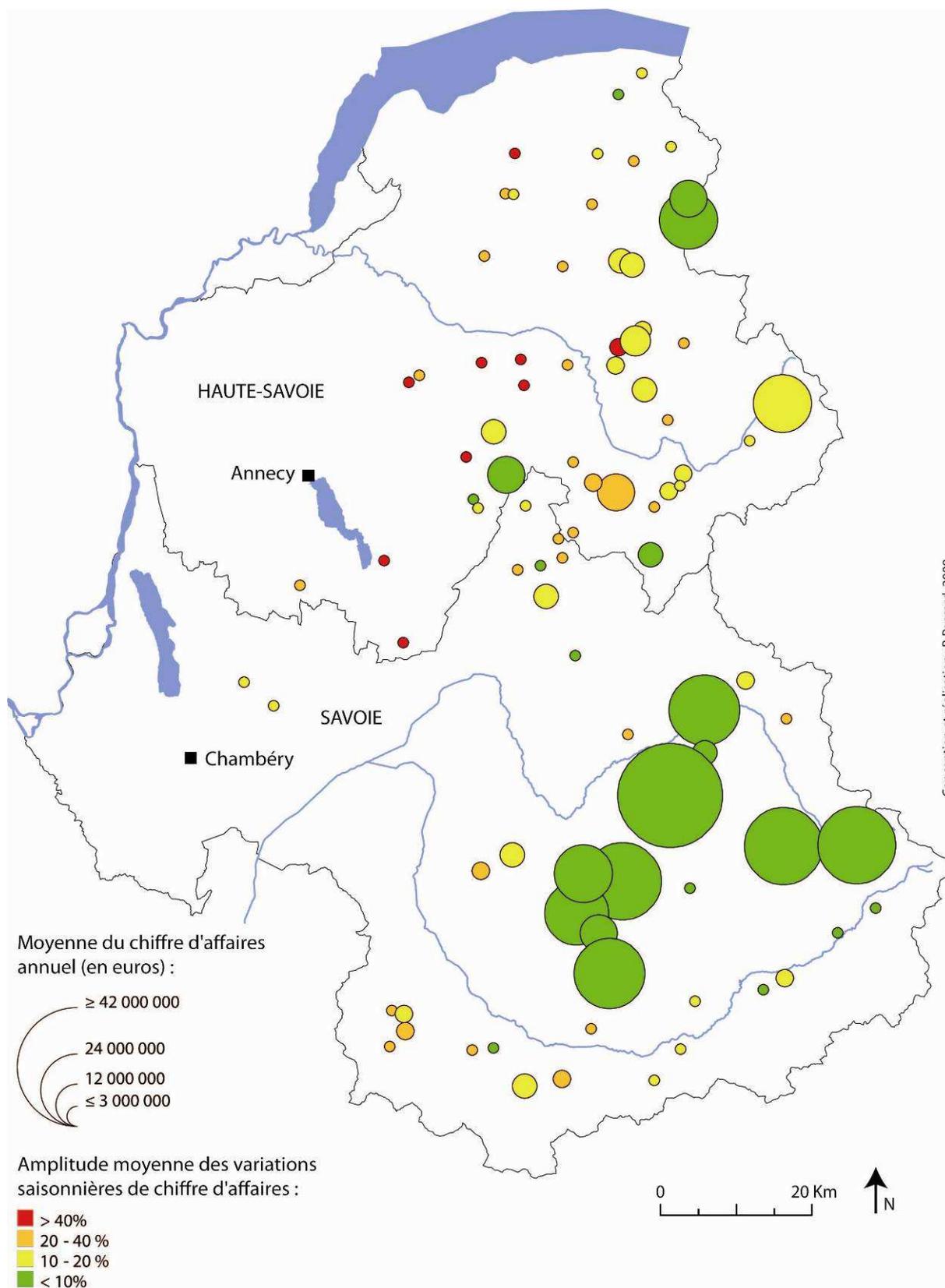
		Fiabilité	non fiable aujourd'hui	non fiable pour +1°C (2030)	non fiable pour +2°C (2050)	non fiable pour +4°C (2100)	fiable pour +4°C (2100)
Nombre de sites impactés	Savoie	d'après OCDE (2007) [sur 42 sites analysés]	0	2	4	12	30
			0%	5%	10%	29%	71%
	d'après les altitudes de fiabilité définies par massifs [sur 48 sites analysés]	méthode 1	1	6	9	23	25
			2%	12%	19%	48%	52%
		méthode 2	3	6	9	24	24
			6%	12%	19%	50%	50%
		méthode 3	2	6	9	23	25
			4%	12%	19%	48%	52%
	Haute Savoie	d'après OCDE (2007) [sur 37 sites analysés]	2	10	19	30	7
			5%	27%	51%	81%	19%
méthode 1		3	11	25	42	5	
		6%	23%	53%	89%	11%	
méthode 2		5	14	26	45	2	
		11%	30%	55%	96%	4%	
	méthode 3	5	11	22	43	4	
		11%	23%	47%	91%	9%	

Tableau 4 : Résultats des calculs de fiabilité selon les différentes méthodes

Enfin, ces résultats peuvent être comparés avec l'analyse des variations de chiffres d'affaires des stations de ski savoyardes<sup>10</sup> (carte 13). Il est alors intéressant de noter une certaine corrélation entre ces deux approches : selon toute logique et de façon générale, les stations les moins fiables du point de vue de l'enneigement naturel sont également celles aux plus grandes variations de chiffres d'affaires. Ceci est d'autant plus intéressant que les méthodologies employées sont très différentes, l'une étant fondée sur des paramètres physiques et dans une démarche prospective, l'autre sur des paramètres socio-économiques dans une démarche rétrospective.

---

<sup>10</sup> Cf. supra, 3.1.1 – L'analyse de la variation des chiffres d'affaires



Carte 13 : Variations saisonnières de chiffres d'affaires des stations de ski savoyardes et haut-savoyardes depuis 1986 (données en annexe VII, d'après Atout France, 2009)

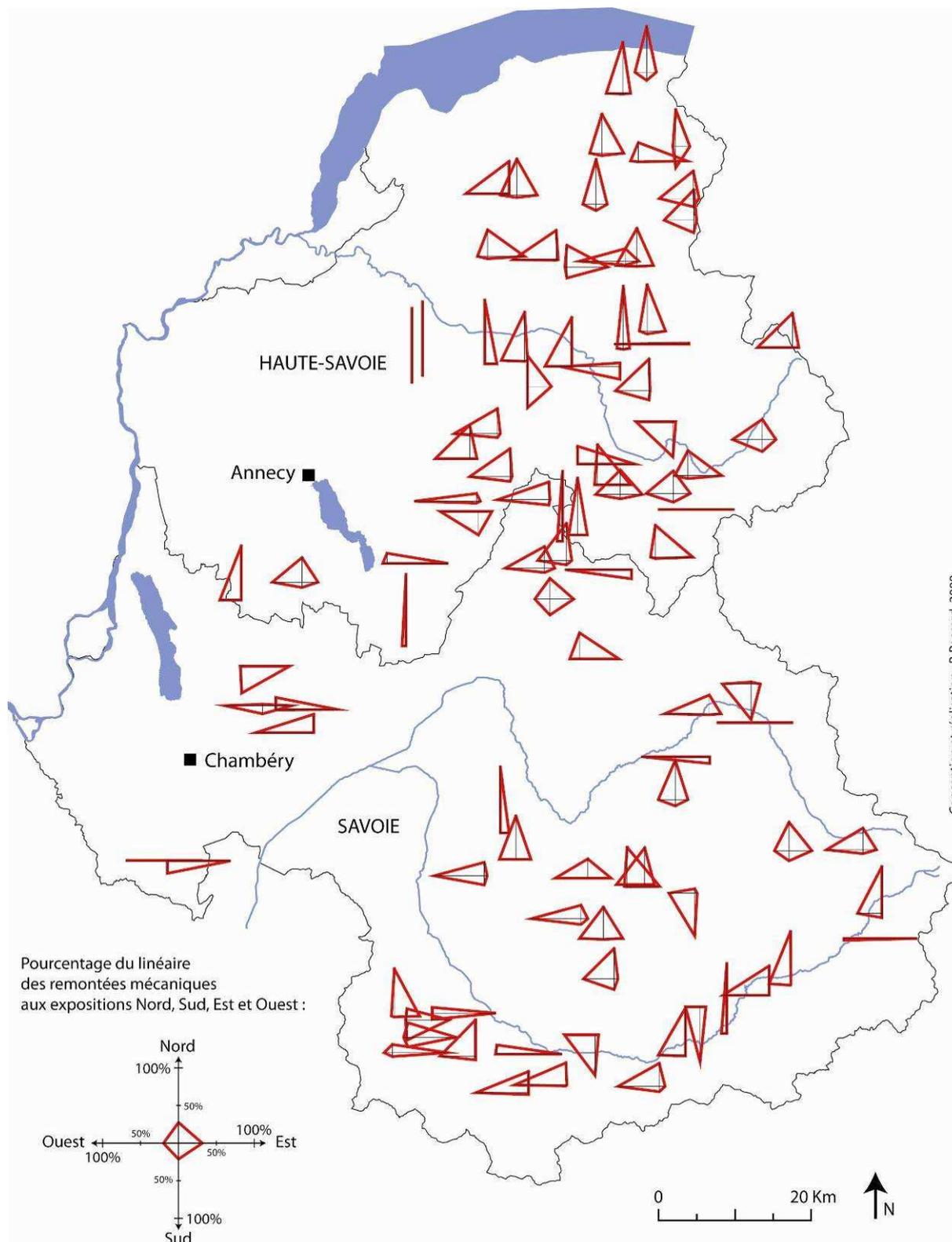
- **Discussion**

A partir de cette méthodologie, nous voulions répondre aux principales limites de l'analyse proposée par l'OCDE. Si les méthodes utilisées ne remettent globalement pas en cause les résultats de l'OCDE, celles-ci permettent cependant une cartographie plus précise et argumentée de la fiabilité de l'enneigement des stations étudiées. En réalité, trois manques principaux à notre contribution perdurent. Dans un premier temps, les données météorologiques se sont révélées trop peu nombreuses pour permettre d'affiner une altitude de fiabilité de l'enneigement par massif. Ce manque conduit finalement à admettre la limite moyenne des 1200 mètres de l'OCDE que nous voulions préciser. Cette altitude devrait donc être retravaillée par l'analyse d'un nombre plus important de stations météorologiques et de séries de données plus longues.

Ensuite, notre analyse reste focalisée sur le concept de limite de fiabilité de l'enneigement naturel définie par massif, sans prise en compte d'autres paramètres physiques locaux pouvant influencer l'enneigement : topographie des sites, exposition des versants, etc. En outre, la part d'incertitude relative aux conséquences régionales du réchauffement climatique n'est ici pas prise en compte dans les variations de la limite de fiabilité en fonction des augmentations de température projetées. En matière d'exposition des domaines skiables de Savoie et de Haute-Savoie, la carte 14 présente les résultats d'un premier calcul en croisant un modèle numérique de terrain des deux départements et les remontées mécaniques numérisées de chaque domaine skiable (base de données FIRM). Ces résultats montrent le pourcentage d'exposition aux versants Nord, Sud, Est et Ouest de chaque domaine skiable sur la base de l'implantation de leurs remontées mécaniques<sup>11</sup>. Il s'agirait dans un deuxième temps de convertir ces résultats en termes de vulnérabilité du manteau neigeux à la fonte, ce qui permettrait de pondérer notre calcul de fiabilité de l'enneigement des domaines skiables de Savoie et Haute-Savoie par leur situation en termes d'exposition.

---

<sup>11</sup> L'idéal serait de pouvoir réaliser ce calcul non pas sur la base des remontées mécaniques numérisées mais des pistes numérisées. A l'heure actuelle, nous ne sommes pas en mesure de réaliser ce calcul sur cette base pour l'ensemble des départements savoyards : la numérisation de l'ensemble des pistes de ski de chaque domaine skiable est actuellement terminée pour le département de la Haute-Savoie (base de données « Domaine skiable alpin » de la Direction Départementale de l'équipement et de l'Agriculture de la Haute-Savoie) mais pas pour le département de la Savoie.



Carte 14 : Expositions des remontées mécaniques des domaines skiables savoyards et haut-savooyards au Nord, Sud, Est et Ouest (données en annexe VIII, d'après FIRM). *Chaque domaine est ici figuré par un quadrilatère rouge. Les 4 sommets de ces quadrilatères représentent le pourcentage du linéaire des remontées mécaniques (longueur totale à plat) aux expositions Nord, Sud, Est et Ouest.*

Enfin, tant dans la méthodologie conduite – centrée sur l'aléa – que dans la représentation même des résultats, présentés sous forme cartographique, il est certain que notre contribution accentue a priori une lecture déterministe du risque lié au réchauffement climatique (Marcepoil et Boudières, 2008). Pour combler cette lacune, il paraît donc nécessaire de compléter cette prospection du risque d'un déficit de neige par une approche centrée sur la vulnérabilité de ces terrains d'étude. Il s'agirait dans cette perspective d'analyser la prise en compte du réchauffement climatique par leurs acteurs et donc leur capacité à y faire face.

### **3.4 – Conclusion du chapitre 3**

Evaluer la fiabilité des domaines skiables du point de vue de leur enneigement naturel dans un contexte de réchauffement climatique est un objectif difficile à tenir. Reprenant les grands principes des travaux réalisés sur le sujet par l'OCDE, notre contribution propose une réflexion méthodologique simple et appliquée à une échelle départementale. Celle-ci reste néanmoins à relativiser selon d'autres paramètres locaux : exposition des versants, topographie des sites, etc. En ce sens, c'est à une échelle encore plus fine qu'il faudrait pouvoir raisonner, celle de chaque station de sports d'hiver.

Par ailleurs, pour compléter notre évaluation du risque centrée sur l'aléa – en l'occurrence le risque d'un déficit récurrent de neige dans les prochaines années –, il conviendrait de s'intéresser également aux stratégies des stations de sports d'hiver pour y faire face. Pour Elsasser et Bürki (2002), les différentes stratégies employées sont :

- le maintien de l'activité ski par profilage des pistes, coopération (par exemple une assurance mutualisée contre les mauvaises saisons), production de neige de culture ou développement des domaines skiables à des altitudes plus élevées,
- le fatalisme soit en ne changeant rien, soit en arrêtant tout,
- l'aide aux secteurs en difficulté par des politiques de subvention,
- le choix d'une diversification de l'offre touristique proposée en station. A ce sujet, si la diversification des activités touristiques est effectivement parfois envisagée, la difficulté réside cependant à mettre en œuvre, à périmètre constant, une alternative aux retombées économiques aussi importantes que le produit ski.

La neige de culture est effectivement une des solutions largement employées aujourd'hui pour atténuer les effets de déficits de neige. Très concrètement, si la production de neige vise à préparer une sous-couche de neige à l'avant saison, garantissant l'ouverture des domaines skiables à date fixe, elle permet également de minimiser les pertes les années de faible enneigement en garantissant l'ouverture d'un domaine skiable minimal. Il s'agit ainsi de se prémunir des conséquences probables du réchauffement climatique sur la ressource neige.

La fiabilité de l'enneigement naturel, au regard des capacités d'adaptation des stations de sports d'hiver, n'est ainsi qu'un des éléments à prendre en considération dans un objectif de définition des vulnérabilités de ces territoires touristiques de montagne. Cela est d'autant plus vrai que les trajectoires d'évolution de l'offre et la demande touristique à long, voire à moyen terme, c'est-à-dire aux horizons 2030 à 2100 envisagés dans notre démarche, reste une inconnue.

***En résumé – Les enjeux climatiques :***

- ➔ Un modèle de développement touristique à mettre en perspective avec les évolutions climatiques.
- ➔ Des incertitudes sur les conséquences locales du changement climatique.
- ➔ Des effets attendus qui diffèrent selon les situations intra-départementales.
- ➔ Des échéances variables selon ces mêmes situations.

## Conclusion

Le tourisme hivernal représente une activité très importante dans l'économie des départements de Savoie et de Haute-Savoie. **La neige de culture est un des équipements permettant d'assurer cette activité, tant en termes de date d'ouverture que de praticabilité des domaines skiables.** Or cette pratique questionne, divise – les nombreux sujets traitant de cette question dans les médias en sont la meilleure preuve – quant à ses impacts environnementaux, en particulier sur les ressources en eau, et quant à son efficacité à garantir le produit ski au regard des changements climatiques en cours.

L'objectif du présent travail est d'apporter en la matière un ensemble de données objectives et homogènes à l'échelle des départements de la Savoie et de la Haute-Savoie, relevant de l'ensemble des approches possibles (environnementale, sociale et économique selon les trois piliers du développement durable) pour aider, entre autre, les services de l'État à se positionner sur le sujet. Un groupe de travail constitué de l'ensemble des services de l'État impliqués localement dans le sujet a ainsi permis l'échange d'expériences et de données sur ce thème. **Il s'agit d'une approche résolument territoriale, qui ne traite pas de l'ensemble des aspects liés à la neige de culture.** Pour élargir sa vision de la question, le lecteur se reportera utilement au rapport de juin 2009 du Conseil général de l'environnement et du développement durable sur le sujet, qui à une échelle non spécifique aux territoires de Savoie et Haute-Savoie, traite plus largement des enjeux de la neige de culture.

Tout d'abord, un état des lieux des équipements existants a été dressé : en 2009 les **trois quarts des stations de sports d'hiver sont équipées en Savoie et Haute-Savoie** (79 stations sur 109 au total). Ces équipements semblent relativement similaires selon les situations de moyenne ou de haute montagne ou selon la taille de la station (moyenne ou grande). Au-delà du nombre de stations équipées, la proportion en surface de pistes enneigeables artificiellement est en constante augmentation. Des travaux sont ainsi réalisés chaque année à l'échelle d'une station pour installer des enneigeurs sur des pistes qui n'en disposent pas. **Aujourd'hui, environ 23% des surfaces de pistes sont enneigeables en Savoie et Haute-Savoie** (23% à l'échelle nationale, 70% en Italie, 59% en Autriche, 33% en Suisse). Pour répondre aux besoins en eau toujours croissants de l'ensemble des installations d'enneigement, 73 retenues d'altitude permettent aujourd'hui un stockage de plus de 3,5 millions de m<sup>3</sup> d'eau sur les deux départements (capacité utile des ouvrages sans considérer les retenues remplies plusieurs fois au cours d'une même saison). De nombreuses retenues sont à l'heure actuelle encore en projet.

D'un point de vue socio-économique ensuite, **la neige de culture est un moyen actuellement mis en œuvre pour fiabiliser l'activité de tourisme hivernal savoyard** – activité créatrice de richesses et d'emploi – les années de mauvais enneigement. Les bénéfices directs des installations d'enneigement (par exemple sur le chiffre d'affaires d'un exploitant de domaine skiable) sont cependant difficiles à calculer et peuvent paraître, selon les méthodes employées, incertains. Les effets indirects (pour l'ensemble des socio-professionnels d'une station de sports d'hiver) sont par ailleurs non négligeables (mais difficilement évalués). Dans tous les cas, la capacité à investir est un facteur limitant dans les choix d'investissement ou de non investissement. Enfin, si l'on peut estimer que sur un forfait de 20€, 2€ maximum correspondent au coût de la production de neige de culture, la possible

montée en gamme des produits proposés (les coûts d'investissement et de fonctionnement sont en croissance constante) **peut remettre en cause l'accessibilité de tous au produit ski.**

Du point de vue de l'environnement, **le principal effet direct des installations d'enneigement réside sur la ressource en eau.** Les volumes d'eau mobilisés pour la production de neige sont pour partie rendus aux milieux naturels à la fonte des neiges mais avec un décalage dans le temps et dans l'espace de ces mêmes volumes : l'eau peut être prélevée en hiver, au moment où les milieux naturels sont les plus contraints par les étiages hivernaux, et restituée au printemps à un autre endroit, au moment des débits printaniers importants. Bien entendu, ces impacts sont à relativiser selon la situation environnementale de chaque site. **Ces impacts peuvent aussi être différents selon la nature des prélèvements.** Du moins au plus impactant, en matière de ressource en eau globale, on peut citer : prise d'eau EDF, retenues de grande taille, retenues à plusieurs remplissages, prise d'eau directe dans un cours d'eau. **Mais les retenues d'altitude ont des effets potentiels sur les zones humides, les risques, le paysage, etc.,** qui vont dépendre entre autre des conditions d'exécution du projet et **qui ne sont pas à négliger.**

Du point de vue climatique enfin, il s'agissait dans le cadre de nos travaux d'**essayer de mettre en perspective ce modèle de développement touristique avec les évolutions climatiques prévisibles actuellement.** Les incertitudes sur les conséquences locales du changement climatique ne sont cependant pas à négliger. Dans tous les cas, les effets attendus diffèrent selon les situations intra-départementales. Les échéances de temps ne sont ainsi pas les mêmes selon les situations de chaque station de sports d'hiver. **Le travail réalisé a permis de mieux comparer la vulnérabilité d'une station par rapport à une autre,** en fonction de la plage d'altitude du domaine skiable et des différences rétrospectives d'enneigement, liées au fonctionnement météorologique fin des sous-massifs : Certaines stations peuvent être, selon la méthodologie retenue pour cette prospection, considérées comme non fiables du point de vue de leur enneigement naturel dès à présent tandis que d'autres sont moins sensibles aux conséquences immédiates du réchauffement. **Cette différence de vulnérabilité doit conduire à des différences dans les stratégies de développement et d'adaptation,** intégrant le principe de réversibilité, compte tenu de la forte incertitude des modèles climatiques à des échelles aussi fines.

La méthodologie mise en œuvre tout au long de cette étude, résolument intégrée, a ainsi permis d'investiguer les enjeux relatifs à la neige de culture, à partir de données territoriales propres à la Savoie et la Haute-Savoie. Il s'agit par là de mettre à disposition des services déconcentrés de l'Etat, et au-delà au lecteur de ce document, un ensemble d'éléments objectifs sur la question posée.

Du travail réalisé, à l'échelle des deux départements et par les seuls services de l'État à ce stade, les membres du groupe retirent un certain nombre d'orientations possibles, sous forme de recommandations :

**1<sup>ère</sup> recommandation : Sortir d'un débat pour ou contre la neige de culture, qui n'a de sens compte tenu de la diversité des réalités territoriales.** Ce qui est vrai à un endroit, ne l'est pas forcément ailleurs. La neige de culture est nécessaire à fiabiliser l'activité économique de nombre de stations ; elle a aussi des effets socio-économiques par renchérissement des coûts et a des impacts environnementaux divers (ressource en eau, effet

de site des retenues, énergie). Tous ces éléments sont à prendre en compte dans la régulation de son usage.

**2<sup>ème</sup> recommandation : Définir des réponses globales sous forme de projets de territoires, adaptées à chaque sous massif et cohérentes d'un sous massif à l'autre.** Cela passe à la fois par des réflexions et projets de territoire par sous massifs, et aussi par une coordination plus large inter massifs. La neige de culture doit dans ce cadre être considérée comme un élément du modèle d'aménagement touristique en montagne. Ces démarches doivent conduire selon les contextes à des choix stratégiques, mettant en balance plusieurs stratégies économiques d'évolution ou d'adaptation : diversification été/hiver, investissement dans la neige de culture, mise en place de transport en commun entre stations suffisamment performants, pour fiabiliser une offre de ski à l'échelle de plusieurs domaines skiabiles... Les outils tels que charte de pays, SCoT,... doivent trouver leur place dans ces démarches, de même que ceux de coordination et de cadrage plus larges tels que le schéma inter régional de massif, la DTA, la convention alpine...

**3<sup>ème</sup> recommandation : Mettre en place une gouvernance de l'eau en montagne, intégrant tous les usages, dont la neige de culture.** D'un point de vue quantitatif, la somme des usages actuels et futurs, les évolutions de ressource liées notamment aux changements climatiques sont tels qu'ils requièrent une régulation globale à des échelles suffisantes (« vallée »). L'usage marginal de l'eau devient problématique dans ce contexte de multiplicité des acteurs, avec des effets de site parfois très marqués où le respect des débits réservés au maintien des écosystèmes liés aux cours d'eau peut être mis en péril. Les outils, tels que les SAGE (schéma d'aménagement et de gestion de l'eau), devraient permettre au-delà des contrats de rivière existants de mieux gérer les multiples usages de l'eau en montagne. Une vision prospective à l'échelle d'un bassin plus large (type SDAGE pour le bassin Rhône Méditerranée) serait également nécessaire afin d'assurer la cohérence des usages de l'eau entre amont et aval.

**4<sup>ème</sup> recommandation : A système d'enneigement artificiel donné, privilégier les prélèvements se faisant par accord avec EDF (ou autre concessionnaire de grands barrages) et les retenues à remplissage annuel.** Dans ce dernier cas, il y a lieu d'assurer la meilleure prise en compte de l'environnement dans le projet et l'intégration de l'ouvrage dans le site (paysage, période de remplissage, zones humides, espèces protégées, sécurité,...). Compte tenu des milieux dans lesquels s'implantent ce type d'ouvrage, une attention toute particulière doit être apportée à l'étude d'impact. Il est rappelé qu'il est demandé à ce que celle-ci prenne en compte les travaux résultant des plans pluri annuels d'investissement, pour une meilleure appréciation de l'équilibre entre aménagement et préservation.

**5<sup>ème</sup> recommandation : Fiabiliser la connaissance des volumes d'eau consacrés à la neige de culture.** La divergence des données en la matière induit des doutes, préjudiciables à l'objectivité du débat. Il y aurait intérêt de la part des exploitants, à assurer une mesure du volume consommé quelle que soit la nature du prélèvement.

**6<sup>ème</sup> recommandation : Ne pas laisser l'équipement en neige de culture être guidé principalement par la capacité à investir.** Cette tendance, qui est liée à la stratégie de développement de ces dernières décennies par massification et industrialisation, conduira par le renchérissement des coûts et par l'accroissement des écarts de vulnérabilité aux aléas climatiques, à la disparition progressive des petites et moyennes stations (PMS). Or ce tissu de PMS représente un enjeu social et territorial très important (maintien d'une pluri-activité en

zones de montagne, stade de neige pour populations urbaines locales,...). C'est pourquoi, il est important que les acteurs publics se mobilisent (conceptuellement, réglementairement et financièrement) sur la question de la neige de culture, de façon différenciée, en intégrant ces enjeux socio-territoriaux. Une attention particulière doit être apportée dans ce cadre sur le mode d'exploitation et les échéances de renouvellement des délégations de service publics des domaines skiables, afin de distinguer objectifs de rentabilité à moyen terme et enjeux globaux d'aménagement.

**7<sup>ème</sup> recommandation : Penser, concevoir et réaliser des aménagements réversibles.** L'appréhension des conséquences du changement climatique (entre autre phénomène global et exogène pouvant affecter les équilibres des stations) est extrêmement incertaine à l'heure actuelle. L'approche territorialisée, qui a pu être faite dans ce rapport, montre les disparités potentielles en termes d'impact et d'échéance de ceux-ci. Cela doit conduire à intégrer dans la gestion des domaines des clauses de réversibilité, intégrant la remise en état des sites. Pour la neige de culture, cela concerne plus particulièrement les retenues d'altitude.

**8<sup>ème</sup> recommandation : Observer et suivre les conséquences du changement climatique en montagne.** Compte tenu des incertitudes évoquées ci-dessus, il est essentiel pour des territoires de montagne comme la Savoie et la Haute-Savoie de se doter de capacités d'observation des conséquences du changement climatique. C'est une des conclusions du travail mené en Savoie, dans le cadre d'une démarche départementale pilotée par l'Université de Savoie : le livre blanc sur le changement climatique. L'opportunité d'une observation interdépartementale doit être examinée. Cette observation devra tenir compte, comme échelle de travail, des « bassins d'offre touristique », entités économiques mobilisant une même ressource en termes de domaines skiables (même domaine, forte interconnexion, tarification commune, système de navettes, ...). Rappelons qu'en matière de promotion touristique, les deux conseils généraux ont décidé d'unir leurs moyens au travers d'une agence unique : Savoie Mont Blanc.

Ces recommandations sont versées au débat, en l'état, sans minimiser les limites du travail réalisé, dans un périmètre restreint et en fonction de l'état des connaissances actuelles. Il est bien certain que l'ensemble des éléments ici soulevés reste à approfondir, à confronter à d'autres points de vue et éléments de connaissance et à préciser à une échelle de travail plus fine : les enjeux économiques ou les impacts environnementaux ont été traités dans le cadre de ce travail à une échelle départementale ; il serait bon de pouvoir compléter ces éléments à l'échelle d'une station de sports d'hiver ou d'un bassin versant support d'une station de sports d'hiver.

En tout état de cause, le vœu formulé est que ce travail puisse éclairer les termes du débat sur la neige de culture et son usage, en Savoie et Haute-Savoie. Il pourrait aussi constituer le point de départ d'une observation continue du changement climatique, de ses effets et des stratégies d'adaptation mises en œuvre, dont la pratique de l'enneigement artificiel fait partie.

## Glossaire

**Domaine skiable élémentaire :** « *c'est un domaine unitaire en termes de ski et géré par un exploitant unique. Il correspond en général au plus petit zonage tarifaire proposé (hors zonage débutants)* » (ODIT France, 2009a)

Liste des domaines skiabiles élémentaires de Savoie (55) : AILLON LE JEUNE, ALBIEZ MONTROND, ARCS (LES), ARECHES BEAUFORT, AUSSOIS, BESSANS, BONNEVAL SUR ARC, BOURG ST MAURICE, BRAMANS, CELLIERS, COL DE TAMIE, COL DU GRANIER, CORBIER (LE), COURCHEVEL 1850 - 1500 - LA TANIA, COURCHEVEL MORIOND, CREST VOLAND COHENNOZ, DESERT ENTREMONT, FECLAZ (LA), FLUMET, GIETTAZ (LA), GRANIER SUR AIME, HAUTELUCE, HERY SUR UGINE, JARRIER, KARELLIS (LES), MARGERIAZ (LE), MENUIRES (LES), MERIBEL LES ALLUES, MERIBEL MOTTARET, ND DU PRE, NORMA (LA), NOTRE DAME DE BELLECOMBE, ORELLE, PEISEY NANCROIX, PLAGNE (LA), PRALOGNAN, REVAR (LE), ROSIERE (LA), SAINT COLOMBAN DES VILLARDS, SAINT FRANCOIS LONGCHAMP, SAINT JEAN D'ARVES, SAINT PANCRACE, SAINT SORLIN D'ARVES, SAINTE FOY TARENTOISE, SAISIES (LES), TERMIGNON, TIGNES, TOUSSUIRE (LA), VAL CENIS, VAL D'ISERE, VAL FREJUS, VAL THORENS, VALLOIRE, VALMEINIER, VALMOREL.

Liste des domaines skiabiles élémentaires de Haute-Savoie (54) : LABONDANCE, ARCHAMPS, AVORIAZ, BELLEVAUX, BERNEX, BRASSES (LES), BRISON, CARROZ D'ARACHES (LES), CHAMONIX AIGUILLE DU MIDI, CHAMONIX BOSSONS, CHAMONIX BREVENT FLEGERE, CHAMONIX GRANDS MONTETS, CHAMONIX LE TOUR VALLORCINE, CHAMONIX MONTENVERS, CHAMONIX PELERINS, CHAMONIX PLANARDS, CHAPELLE D'ABONDANCE (LA), CHATEL, CLUSAZ (LA), COL DU CORBIER, COMBLOUX, CONTAMINES MONTJOIE (LES), CORDON, FLAINE, GETS (LES), GRAND BORNAND (LE), HABERE POCHE, HOUCHES (LES), LULLIN, MANIGOD CROIX FRY, MANIGOD MERDASSIER, MEGEVE, MONT SAXONNEX, MONTMIN, MORILLON, MORZINE PLEINEY NYON, NANCY SUR CLUSES, PASSY, PRAZ DE LYS (LE), PRAZ SUR ARLY, REPOSOIR (LE), SAINT GERVAIS BETTEX, SAINT JEAN D'AULPS GRANDE TERCHE, SAINT JEAN DE SIXT, SAINT NICOLAS DE VEROCE, SAINT SIXT, SAMOENS, SEMNOZ (LE), SEYTHENEX, SIXT, SOMMAND, THOLLON LES MEMISES, THORENS GLIERES, VALLORCINE BUET.

**Enneigeur :** dispositif permettant de fabriquer de la neige mécaniquement à partir d'eau, d'air et de basse température. Le principe de production est relativement simple : la neige de culture est fabriquée en pulvérisant de l'eau et de l'air sous pression dans de l'air froid. Elle se dépose ensuite sur les pistes de ski. Il existe deux types d'enneigeurs communément appelés bifluïdes (réseau d'alimentation en eau uniquement) et monofluïdes (réseaux d'alimentation en eau uniquement). Les professionnels du ski ont choisi le terme d'enneigeur à celui synonyme de canon à neige pour des raisons liées au contexte du tourisme.

**Nivoculteur :** personnel responsable de la production de neige de culture sur un domaine skiable (Maintenance du réseau de neige de culture, gestion et réglage des enneigeurs pour optimiser la qualité de neige produite...).

**Retenue d'altitude :** « *les retenues d'altitude sont des ouvrages hydrauliques implantés dans les stations de loisirs de montagne et destinés à créer une réserve d'eau. Cette eau, majoritairement dédiée à la production de neige de culture, peut aussi être consacrée à d'autres usages : stockage d'eau brute pour la production d'eau potable, création de plans d'eau à des fins touristiques, irrigation, etc.* » (Peyras et Mériaux, coord., 2009).

**Station de ski alpin :** « ensemble constitué par un domaine skiable alpin, les hébergements touristiques et les autres services nécessaires à l'accueil des clients (commerces, location de matériel, restauration...) et tout ce qui est nécessaire à un son bon fonctionnement : maintenance et exploitation du domaine skiable, hébergements, équipements et services pour les habitants permanents et les prestataires de services touristiques, etc. » (ODIT France, 2009a).

**Stade de neige :** « station de ski alpin sans hébergement touristique » (ODIT France, 2009a).

**Surface de piste enneigeable (piste équipée en neige de culture) :** en moyenne, si la largeur d'une piste est de l'ordre de 10 à 30 mètres, 6 à 8 enneigeurs par Ha sont nécessaires pour un enneigement correct, soit 15 à 20 enneigeurs/km de piste. La moyenne de neige produite est de 60 cm par hectare et par saison, soit couramment deux campagnes d'enneigement de 30 cm chacune.

**Zone humide :** terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année (Article L 211-1 du code de l'environnement). « *Les zones humides sont des lieux d'enjeux multiples. Ces milieux accueillent une grande variété d'espèces végétales et animales spécifiques. Ils jouent un rôle important dans la régulation du régime des eaux ou l'épuration des eaux. Dans les cas extrêmes, les dégradations de zones humides conduisent à des risques d'inondations ou de sécheresses accrues, à une épuration naturelle des eaux réduite et à une détérioration des milieux naturels.* » (IFEN, 2009)

## Bibliographie

### Chapitre 1 et 2, par ordre alphabétique :

**Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (2008)** - Évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation d'adjuvants pour la fabrication de la neige de culture, Maisons-Alfort, 104 p.

**Assemblée du Pays Tarentaise-Vanoise (2008)** - Bilan Quantitatif de la Ressource en Eau sur le Bassin Versant de l'Isère en Amont d'Albertville, 83 p.

**BADRÉ M., PRIME J.-L. et RIBIÈRE G. (2009)** - Neige de culture : Etat des lieux et impacts environnementaux, note socio-économique. Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable, Paris, 162 p.

**Commission Locale de l'Eau du SAGE Drac Romanche (2008)** - Un schéma de conciliation neige de culture et ressource en Drac et Romanche - Concilier la production de neige de culture avec la ressource et les milieux et avec les autres usages - Cahier des clauses techniques particulières – 24 octobre 2008, version définitive, 20 p.

**Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales 73 (2007)** - Compte-rendu du Conseil Départemental de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques (CODERST) spécial "neige de culture" du 10 décembre 2007 Chambéry, 6 p.

**Direction Régionale de l'Équipement Rhône Alpes (2009)** - Directive Territoriale d'Aménagement des Alpes du Nord. Projet, 94 p.

**Direction Régionale de l'Environnement Rhône-Alpes (2008)** - Note neige de culture. Lyon, 9 p.

**Institut Français de l'Environnement (2009)** - Zones humides, article disponible en ligne, accès au 01/08/2009 : <http://www.ifen.fr/donnees-essentielles/territoire/zones-humides.html?p>

**MARNEZY A. (2008)** - Les barrages alpins : de l'énergie hydraulique à la neige de culture. Revue de Géographie Alpine 2008 n°1, pp. 91-112.

**Observatoire du tourisme Savoie Mont-Blanc (2008)** - Chiffres-clés Savoie Mont-Blanc, édition 2008. Savoie Mont-Blanc Tourisme, Chambéry, 4 p.

**ODIT France (2008a)** - Les domaines skiables face aux aléas d'enneigement et le développement de la neige de culture, Paris, 13 p.

**ODIT France (2008b)** - Bilan de fonctionnement des installations de neige de culture - Saison 2007/2008, 7 p.

**ODIT FRANCE (2009a)** - L'expertise technique et économique des domaines skiables alpins, Paris, 96 p.

**ODIT FRANCE (2009b)** - Les chiffres clés du tourisme de montagne en France - 7ème édition. Odit France, Paris, 63 p.

**Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (2008)** - Note d'information : Compteur de la réunion du 30 octobre 2008 sur le thème de la neige de culture. Délégation régionale Rhône-Alpes, Bron, 4 p.

**PEYRAS L., MERIAUX P. et RICHARD D. (2008)** - Sécurité des barrages d'altitude pour la production de la neige de culture. Communication au colloque du programme de recherche RDT « Risque, Décision, Territoire », le 16/01/2008 à Lyon, présentation disponible en ligne, accès au 05/08/2009 : <http://www.rdrisques.org/programme/colloquerd2007/folder.2008-02-11.3902388751/BARALTISUR%20MERIAUX%20RDT%20janvier%202008.pdf>

**PEYRAS L. et MERIAUX P., Coord. (2009)** - Retenues d'altitude. Savoir-faire, Édition Quæ, 352 p.

**Remontées Mécaniques Suisse (2008)** - Faits et chiffres, Berne, 17 p.

**Service d' Etudes et d' Aménagement Touristique de la Montagne (1996)** - Neige de culture - Guide d'aide à la décision. Les dossiers du SEATM, 118 p.

**Société d'Economie Alpestre 74 (2008)** - Programme action du Site pilote "Pays de Savoie – Annecy – Mont Blanc – Léman" 2008 - Fiche A.2 : Concilier la "culture de la neige" avec les milieux et les autres usages de l'eau en montagne - Définition du programme, 12 p.

**Syndicat National des Téléphériques de France (2006)** - Comment l'eau devient cristal le temps d'un hiver ?, Meylan, 8 p.

**Syndicat National des Téléphériques de France (2008a)** - Dossier de presse : les talents insoupçonnés de la neige de culture, Meylan, 12 p.

**Syndicat National des Téléphériques de France (2008b)** - Recueil d'indicateurs et analyses 2008, Meylan, 24 p.

**Syndicat National des Téléphériques de France (2008c)** - Saison 2007/08 : une belle saison pour les Alpes. Domaines skiables de France n°19, Meylan, p. 16-17.

**Syndicat National des Téléphériques de France 74 et DDE 74 (2008)** - La gestion de la ressource en eau et la neige de culture dans les domaines skiables de Haute-Savoie, Annecy, 22 p.

### **Chapitre 3,** par ordre alphabétique :

**Aspen Global Change Institute (2006)** - Climate Change and Aspen : an assessment of impacts and potential responses. 178 p.

**BERLIOZ F. (2008)** - Plan climat et tourisme. Communication à la réunion Plan Climat Savoie 2020, le 18/11/2008, le Bourget du Lac.

**DAWSON J. (2008)** - Les stations d'Amérique du Nord face au changement climatique. Communication au colloque les entretiens de la Montagne, 10ème édition - l'économie touristique pilier du développement durable, le 06/11/2008) Chambéry.

**ELSASSER H. ET BÜRKI R. (2002)** - Climate change as a threat to tourism in the Alps. *Climate Research*, 20, 253-257.

**ETCHEVERS P. ET MARTIN E. (2002)** - Impact d'un changement climatique sur le manteau neigeux et l'hydrologie des bassins versants de montagne. Communication au Colloque international : L'eau en Montagne - Gestion intégrée des Hauts Bassins Versants, le 05/09/2002, Megève.

**FÖHN P. (1990)** - Schnee und Lawinen. Schnee, Eis und Wasser der Alpen in einer wärmeren Atmosphäre. Internationale Fachtagung, Mitteilungen Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, 108, p. 33-48.

**HELION C. (2006)** - Transports par câbles et sports d'hiver : approche géographique de la dynamique territoriale du tourisme et des loisirs en espace montagnard. Collection EDYTEM, Cahier de Géographie, 4, p. 105-114.

**LATERNER M. ET SCHNEEBELI M. (2003)** - Long-term snow climate trends of the Swiss Alps, 1931–99, *International journal of climatology*, 23, p. 730-750.

**LOUBIER J. C. (2007)** - Changement climatique et domaines skiables : simulation en Savoie et Haute Savoie à l'horizon 2015. *Mappemonde*, 85, accès au 30/01/2008, <http://mappemonde.mgm.fr/num13/articles/art07103.html>

**MARCELPOIL E. ET BOUDIERES V. (2008)** - Climate change and mountain touristic territories vulnerability : an endogenous reading. Communication à la Conférence Managing Alpin Futur, le 01/04/2008 Innsbruck, Autriche.

**Météo France (2009)** - Point sur l'enneigement dans les massifs français au 5 février 2009, accès au 05/02/2009, [http://france.meteofrance.com/france/actu/actu?document\\_id=20350&portlet\\_id=42259](http://france.meteofrance.com/france/actu/actu?document_id=20350&portlet_id=42259)

**Montagne Leader (2008)** - Top 100 des opérateurs français de domaines skiables. *Montagne Leader*, 209, p. 45-56.

**OCDE (2007)** - Changements climatiques dans les alpes européennes Adapter le tourisme d'hiver et la gestion des risques naturels, sous la direction de : Shardul Agrawala, Editions OCDE, 136 p.

**ODIT France (2006)** - Les chiffres clés du tourisme de montagne en France. 5ème édition. Paris, 58 p.

**ODIT France (2008)** - Les domaines skiables face aux aléas d'enneigement et le développement de la neige de culture, Odit France, Paris, 13 p.

**PRUDENT RICHARD G. (2008)** - Changements climatiques dans les Alpes : Impacts et risques naturels. Rapport Technique N°1 de l'ONERC, Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique, 87 p.

**REYNAUD L. (2008)** - Le changement climatique et le futur du tourisme de montagne. Communication au Salon mondial du tourisme de neige, le 27-29/03/2008) Andorre.

Tabeaud M. et Delaporte B. (2005, Manteau et tourisme hivernal dans les alpes : Les savoyards et l'or blanc. Perceptionclimat.net, 8 pp., accès au 28/10/2008, <http://www.perceptionclimat.net/info.php?id=3>

## **Annexes**

Annexe I : Surfaces (en ha) équipées en neige de culture en Savoie et Haute-Savoie par saison  
(données : Atout France, 2009)

Saison	Savoie (ha)	Haute-Savoie (ha)	France (ha)
1994/95	579	242	1726
1995/96	572	243	1780
1996/97	658	349	2064
1997/98	696	405	2227
1998/99	763	469	2475
1999/00	970	513	2826
2000/01	1003	544	3022
2001/02	1119	586	3327
2002/03	1219	611	3625
2003/04	1361	669	3966
2004/05	1406	699	4235
2005/06	1538	728	4532
2006/07	1615	796	4844
2007/08	1783	874	5160

Annexe II : Volumes d'eau déclarés (en milliers de m<sup>3</sup>) à l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse pour la production de neige en Savoie et Haute-Savoie depuis 1988  
(données : Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, 2008)

<b>Année</b>	<b>Savoie</b>	<b>Haute-Savoie</b>	<b>Bassin RM &amp; C</b>
1987	15,1	748,4	8148,9
1988	22,5	0	22,5
1989	31,8	0,5	32,3
1990	124,7	0	268,7
1991	962,6	4	1324,7
1992	854,7	16,887	1597,2
1993	964,9	17,639	2207
1994	1022,4	48,96	2145,2
1995	1498,4	98,613	7396,4
1996	110	34,216	2766
1997	1129,8	70,295	1825,2
1998	1318,7	332,48	2116,1
1999	1542	373,2	3293,5
2000	1514,7	377,46	3425,8
2001	2294,9	628	4817,8
2002	2045,3	602,4	6026,1
2003	3033,4	822,25	6870,5
2004	3490,8	891,15	7951,1
2005	3639,8	639,49	8172,5
2006	3377	786,88	8172,6
2007	4820,8	1523,3	10774

Annexe III : Volumes d'eau mobilisés (en milliers de m<sup>3</sup>) pour la production de neige dans les Alpes et en France depuis la saison 1994/1995 d'après l'enquête annuelle réalisée par ODIT France auprès des opérateurs de domaine skiable

Saison	Alpes	France
1994/1995	3712,4	5457,2
1995/1996	4141,3	5698,6
1996/1997	3272,5	4416,6
1997/1998	6744	8083,1
1998/1999	7444,8	9290,2
1999/2000	7254,1	9238,6
2000/2001	6998	8594,3
2001/2002	9998,8	12195
2002/2003	9107,2	11569
2003/2004	10579	13145
2004/2005	12000	15100
2005/2006	13000	16000
2006/2007	9000	16000

Annexe IV : Retenues d'altitude existantes en Savoie et Haute-Savoie au 08/2009  
(données : DDEA 73 et 74, 2009)

N°	Nom	Domaine skiable	Dép.	Volume (m <sup>3</sup> )	Prélèvement en eau	Date
1	LES MEMISES 3	Thollon-les-Mémises	74	21000	Eau superficielle	2004
2	LES MEMISES 2	Thollon-les-Mémises	74	19000	Eau superficielle	1998
3	LES MEMISES 1	Thollon-les-Mémises	74	6000	Prélèvement mixte	1994
4	LES PELLYS	Bernex	74	2000	Prélèvement mixte	1995
5	LA COMBE PELLUAZ	Bernex	74	50000	Drainage du BV	1999
6	COL DU CORBIER	Col Corbier-Drouzin le Mt	74	18000	Prélèvement mixte	2000
7	LAC DE LA MOUILLE	Super Chatel	74	60000	Eau superficielle	1990
8	LES ESSERTS	Corbier (le)	74	5000	Prélèvement mixte	1990
9	LAC DE VONNES	Super Chatel	74	80000	Eau superficielle	1900
10	LA COMBE	Bellevaux-Hirmentaz	74	22000	Eau superficielle	1999
11	LA PLAINE DRANSE	Super Chatel	74	8000	Eau superficielle	1996
12	LE SAGY	St Jean d'Aulps-Grde Terche	74	32000	Réseau AEP	2007
13	DES PROLYS	Avoriaz (3 sites)	74	45000	Eau superficielle	1998
14	SUPERMORZINE	Avoriaz (3 sites)	74	4000	Eau superficielle	1996
15	AVORIAZ LAC 1730	Avoriaz (3 sites)	74	64000	Prélèvement mixte	1990
16	LAC DU GOLF	Gets (les)	74	27000	Prélèvement mixte	2006
17	DE CHENEVIÈRE	les Brasses	74	400	Eau superficielle	2000
18	PRE VERT	Morzine - Nyon	74	1000	Eau superficielle	2000
19	LAC DES ECOLES	Gets (les)	74	18800	Prélèvement mixte	1992
20	NYON GUERIN	Morzine - Nyon	74	80000	Eau superficielle	2003
21	LAC DES CHAVANNES	Gets (les)	74	8000	Eau superficielle	1995
22	DES PELLYS	Morillon	74	20000	Réseau AEP	2000
23	LES GOUILLES ROUGES	Samoëns	74	40000	Prélèvement mixte	1980
24	AIRON	Carroz d'Araches (les)	74	80000	Prélèvement mixte	1996
25	LAC DE VERNANT	Flaine	74	110000	Prélèvement mixte	1970
26	LA FLEGÈRE	Chamonix-Brévent (savoy)	74	27000	Prélèvement mixte	2009
27	LA COUR	Grd Bornand (le)	74	55000	Prélèvement mixte	1994
28	MAROLY	Grd Bornand (le)	74	300000	Prélèvement mixte	2007
29	FREBOUGE D'EN BAS	Cordon (Sallanches)	74	3000	Réseau AEP	2003
30	DE LACHAT	Clusaz (la)	74	63000	Prélèvement mixte	2000
31	BEAUREGARD	Clusaz (la)	74	40000	Prélèvement mixte	2004
32	DU ROSAY	St Gervais - Bettex	74	12000	Prélèvement mixte	1995
33	CRET DU MERLE	Clusaz (la)	74	26000	Prélèvement mixte	1994
34	CREVE COEUR	Combloux	74	16000	Eau superficielle	1994
35	JAILLET	Megève-Rochebrune	74	21000	Prélèvement mixte	2008
36	DE L'ETALE	Clusaz (la)	74	53000	Prélèvement mixte	2007
37	CHATELUIY	St Gervais - Bettex	74	7000	Prélèvement mixte	2005
38	MERDASSIER	Manigod - Merdassier	74	12000	Réseau AEP	2005
39	DE JAVEN	Megève-Rochebrune	74	68000	Prélèvement mixte	1997
40	L'ETAPE	Contamines-Mont .(les)	74	5000	Prélèvement mixte	1992
41	COL DU JOLY	Contamines-Mont .(les)	74	52000	Réseau hydroélectrique	2007

N°	Nom	Domaine skiable	Dép.	Volume (m <sup>3</sup> )	Prélèvement en eau	Date
42	DU LCHAT	Crest Voland / Cohennoz	73	26000	Depuis une autre retenue	2006
43	DU PRARIAN	Crest Voland / Cohennoz	73	5500	Réseau AEP	2001
44	LEZETTE	les Saisies (3 sites)	73	63720	Depuis une autre retenue	2009
45	LES CHALLIERS	les Saisies (3 sites)	73	20000	Prélèvement mixte	1999
46	GENTIANES	les Saisies (3 sites)	73	58400	Depuis une autre retenue	2008
47	L ADRET DES TUFFES	Arcs (total)	73	404000	Prélèvement mixte	2008
48	MONCHAVIN	La Grande Plagne	73	10000	Réseau AEP	1999
49	LES PIERRES BLANCHES	La Grande Plagne	73	38500	Depuis une autre retenue	2007
50	PRAJOURDAN	La Grande Plagne	73	60000	Prélèvement mixte	1999
51	LOVATIERE	La Grande Plagne	73	19800	Réseau AEP	2003
52	LA FORCLE	La Grande Plagne	73	93800	Réseau AEP	2004
53	SOLAISE	Val d'Isère	73	42000	Réseau AEP	2009
54	ARENOUILLAZ	Valmorel	73	35000	Prélèvement mixte	2008
55	DE L ISERAN	Val d'Isère	73	36355	Prélèvement mixte	2005
56	PRAZ JUGET	Courchevel + Tania	73	20000	Réseau AEP	2001
57	NANT BURIAN	St François Longchamp	73	5000	Eau superficielle	1996
58	L ALTIPOINT	Méribel-les-Allues	73	50700	Eau superficielle	2002
59	ARIONDAZ	Courchevel + Tania	73	125000	Eau superficielle	2007
60	DE CHERFERIE	Méribel-les-Allues	73	58000	Prélèvement mixte	2006
61	LES COMBES	Méribel-Mottaret	73	69600	Eau superficielle	2002
62	TEPPES NOIRES	Ménuires (les)	73	79000	Eau superficielle	2009
63	LES ECHAUDS 1	Ménuires (les)	73	50000	Réseau AEP	1986
64	LES ECHAUDS 2	Ménuires (les)	73	48000	Réseau AEP	2003
65	VAL THORENS 1	Val Thorens	73	20000	Réseau AEP	1990
66	VAL THORENS 2	Val Thorens	73	90000	Depuis une autre retenue	2003
67	LA MOUTIERE	Val Thorens	73	105900	Depuis une autre retenue	2008
68	CHAMP L ERISCAL	Toussuire (la)	73	24889	Prélèvement mixte	2000
69	DE LA CHAL	Corbier (le)	73	100000	Prélèvement mixte	2005
70	BEC DE L AIGLE	Karellis (les)	73	46000	Réseau AEP	2007
71	DE LA CUA	Albiez Montrond	73	21000	Réseau AEP	2006
72	GROS CREY	Valmeinier	73	20400	Réseau AEP	1999
73	LAC DE LA VIEILLE	Valloire	73	240000	Eau superficielle	2007

Annexe V : Surface des pistes enneigeables (en ha) des stations de Savoie et Haute-Savoie  
(données : Atout France, 2009)

Dép.	Station	Surface totale des pistes (ha)	Surface des pistes enneigeables (ha)	Proportion des pistes enneigeables
73	Aillons (les)	45	2	4%
73	Albiez Montrond	120	19	16%
73	Arcs (total)	685	64,3	9%
73	Arèches - Beaufort	116	11	9%
73	Aussois	120	28	23%
73	Bessans (73)	13	5	38%
73	Bonneval / Arc	87	10	11%
73	Corbier (le)	240	37	15%
73	Courchevel + Tania	675	228	34%
73	Crest Voland / Cohennoz	105	25	24%
73	Doucy Combelouvière	20	0	0%
73	Flumet	135	13	10%
73	Hauteluce	44	18	41%
73	Karellis (les)	125	13	10%
73	la Rosière	160	40	25%
73	les Saisies (3 sites)	150	45	30%
73	Ménuires (les)	300	128	43%
73	Méribel-les-Allues	314	121	39%
73	Méribel-Mottaret	320	86	27%
73	N.D. de Bellecombe	98	22	22%
73	Norma (la)	100	26	26%
73	Orelle	33	2	6%
73	Peisey - Vallandry	?	39	?
73	La Grande Plagne	780	133	17%
73	Pralognan-la-Vanoise	73	30	41%
73	St Colomban-des-Villards	65	15	23%
73	Ste Foy - Tarentaise	100	2	2%
73	St François Longchamp	150	40	27%
73	St Martin-de Belleville	?	18	?
73	St Jean d'Arves	110	8	7%
73	St Sorlin d'Arves	360	18	5%
73	Termignon	105	14	13%
73	Tignes (2 sites)	406	142	35%
73	Toussuire (la)	?	22	?
73	Val Cenis	280	49	18%
73	Val d'Isère	480	146	30%
73	Val Fréjus	70	5	7%
73	Val Thorens	375	112	30%
73	Valloire	110	43,3	39%
73	Valmeinier	110	22,5	20%
73	Valmorel	373	37	10%

Dép.	Station	Surface totale des pistes (ha)	Surface des pistes enneigeables (ha)	Proportion des pistes enneigeables
74	Avoriaz (3 sites)	270	52,8	20%
74	Bellevaux-Hirmentaz	60	12	20%
74	Bellevaux-Chèvrière	22	3	14%
74	Bernex	30	10,2	34%
74	Carroz d'Araches (les)	196	26	13%
74	Chamonix - Bossons	13	6	46%
74	Chamonix-Brévent (savoy)	1,75	1,75	100%
74	Chamonix-Grds Montets	116	36	31%
74	Chamonix-le Tour (Balme)	53	5	9%
74	Chamonix-Planards	6	6	100%
74	Chapelle d'Abondance	100	10	10%
74	Chatel Linga-Pl. Dranse	90	51	57%
74	Clusaz (la)	139	65	47%
74	Col Corbier-Drouzin le Mt	50	8	16%
74	Combloux	170	23	14%
74	Contamines-Mont .(les)	196	27	14%
74	Cordon (Sallanches)	22	9	41%
74	Flaine	280	46	16%
74	Gets (les)	165	52	32%
74	Grd Bornand (le)	194	61	31%
74	les Brasses	30	11	37%
74	les Houches	124	41	33%
74	Manigod - Merdassier	25	8,5	34%
74	Megève-Rochebrune	180	40	22%
74	Megève-Cote 2000	180	22	12%
74	Morillon	74	16	22%
74	Morzine - Pleney	170	25	15%
74	Morzine-Nyon	180	40	22%
74	Praz / Arly	60	5	8%
74	Samoëns	110	3	3%
74	St Sixt -Orange	4	2	50%
74	Sixt-Fer à Cheval	68	3	4%
74	St Jean d'Aulps-Grde Terche	80	15	19%
74	St Nicolas de Véroce	40	12	30%
74	St Gervais - Bettex	120	66	55%
74	St Gervais - Mt Joux	140	13	9%
74	Super Chatel	50	31	62%
74	Thollon-les-Mémises	50	8	16%

Annexe VI : Evaluation de la fiabilité de l'enneigement des domaines skiables de Savoie et Haute-Savoie (données altitudinales calculées d'après FIRM) : ■ non fiable aujourd'hui ; ■ non fiable pour +1°C (2030) ; ■ non fiable pour +2°C (2050) ; ■ non fiable pour +4°C (2100) ; ■ fiable pour +4°C (2100)

Nom station (Savoie)	Massif	Altitude moyenne			Fiabilité de l'enneigement		
		méth. 1	méth. 2	méth. 3	méth. 1	méth. 2	méth. 3
AILLON LE JEUNE	BAUGES	1237	1123	1148	e		
ALBIEZ MONTROND	GRANDES ROUSSES	1767	1665	1682			
ARCS (LES)	HAUTE TARENTEAISE	2005	2049	2070			
ARECHES BEAUFORT	BEAUFORTAIN	1695	1830	1793			
AUSOIS	HAUTE MAURIENNE	2116	2076	2118			
BESSANS	VANOISE	1881	1847	1821			
BONNEVAL SUR ARC	HAUTE MAURIENNE	2368	2125	2170			
BRAMANS	HAUTE MAURIENNE	1284	1284	1284			
CELLIERS	MAURIENNE	1342	1342	1342			
COL DU GRANIER	CHARTREUSE	1199	1132	1133			
CORBIER (LE)	GRANDES ROUSSES	1881	1756	1776			
COURCHEVEL 1650	VANOISE	2065	1957	2007			
COURCHEVEL 1850 - 1550 - PRAZ	VANOISE	1969	1899	1976			
CREST VOLAND COHENNOZ	BEAUFORTAIN	1408	1417	1401			
DESERT ENTREMONT	CHARTREUSE	1236	1218	1218			
FECLAZ (LA)	BAUGES	1353	1366	1382			
FLUMET	BEAUFORTAIN	1256	1180	1193			
GIETTAZ (LA)	ARAVIS	1587	1660	1665			
HAUTELUCE	MONT BLANC	1623	1676	1688			
KARELLIS (LES)	MAURIENNE	2008	1954	1950			
MARGERIAZ (LE)	BAUGES	1596	1514	1544			
MENUIRES (LES)	VANOISE	2112	2086	2128			
MERIBEL LES ALLUES	VANOISE	1646	1875	1885			
MERIBEL MOTTARET	VANOISE	2291	2093	2145			
NORMA (LA)	HAUTE MAURIENNE	2047	1860	1908			
NOTRE DAME DE BELLECOMBE	BEAUFORTAIN	1588	1481	1522			
ORELLE	MAURIENNE	2054	2465	2533			
PEISEY NANCROIX	BEAUFORTAIN	1755	1878	1902			
PLAGNE (LA)	VANOISE	2183	2063	2087			
PRALOGNAN	VANOISE	1873	1736	1773			
REVARD (LE)	BAUGES	1413	1463	1454			
ROSIERE (LA)	HAUTE TARENTEAISE	1886	2042	2069			
SAINTE COLOMBAN DES VILLARDS	BELLEDONNE	1661	1574	1559			
SAINTE FRANCOIS LONGCHAMP	VANOISE	1950	1788	1843			
SAINTE PANCRACE	MAURIENNE	1543	1476	1473			
SAINTE SORLIN D'ARVES	GRANDES ROUSSES	2043	1907	1967			
SAINTE FOY TARENTEAISE	HAUTE TARENTEAISE	2068	2013	2051			
SAISIES (LES)	BEAUFORTAIN	1603	1719	1728			
TERMIGNON	HAUTE MAURIENNE	1882	1751	1722			
TIGNES	HAUTE TARENTEAISE	2512	2481	2481			
TOUSSUIRE (LA)	BELLEDONNE	1677	1873	1852			
VAL CENIS	HAUTE MAURIENNE	2000	1855	1861			
VAL D'ISERE	HAUTE TARENTEAISE	2533	2395	2433			
VAL FREJUS	HAUTE MAURIENNE	2038	2116	2084			
VAL THORENS	MAURIENNE	2455	2515	2485			
VALLOIRE	GRANDES ROUSSES	1968	2028	1994			
VALMEINIER	GRANDES ROUSSES	2046	1924	1938			
VALMOREL	VANOISE	1802	1671	1683			

Nom station (Haute-Savoie)	Massif	Altitude moyenne			Fiabilité de l'enneigement		
		méth. 1	méth. 2	méth. 3	méth. 1	méth. 2	méth. 3
ABONDANCE	CHABLAIS	1331	1346	1359			
ARACHES	CHABLAIS	1568	1490	1506			
AVORIAZ	CHABLAIS	1736	1787	1796			
BELLEVAUX	CHABLAIS	1366	1321	1335			
BERNEX	CHABLAIS	1386	1241	1295			
BRISON	ARAVIS	1153	1153	1153			
CHAINAZ LES FRASSES	BAUGES	713	713	713			
CHAMONIX	MONT BLANC	2174	1731	1835			
CHAPELLE D'ABONDANCE	CHABLAIS	1390	1339	1381			
CHATEL	CHABLAIS	1597	1542	1589			
COL DU CORBIER	CHABLAIS	1308	1259	1278			
COMBLOUX	MONT BLANC	1371	1390	1436			
CONTAMINES MONTJOIE	MONT BLANC	1792	1677	1734			
CORDON	ARAVIS	1284	1283	1293			
ETALE	ARAVIS	1638	1587	1589			
FLAINE	CHABLAIS	2029	1910	1941			
GRAND BORNAND	ARAVIS	1486	1443	1478			
HABERE POCHE	CHABLAIS	1223	1123	1149			
LA CLUSAZ	ARAVIS	1702	1483	1524			
LA CROIX FRY	ARAVIS	1544	1509	1516			
LE REPOSOIR	ARAVIS	1304	1127	1132			
LE SEMNOZ	BAUGES	1361	1468	1497			
LES BRASSES	CHABLAIS	1188	1285	1284			
LES GETS	CHABLAIS	1619	1477	1488			
LES HOUCHES	MONT BLANC	1468	1421	1482			
LULLIN	CHABLAIS	1130	1131	1131			
MEGEVE	MONT BLANC	1537	1462	1506			
MONT SAXONNEX	ARAVIS	1312	1264	1278			
MONTMIN	ARAVIS	1153	1142	1143			
MORILLON	CHABLAIS	1395	1325	1363			
MORZINE	CHABLAIS	1490	1366	1419			
NANCY SUR CLUSES	ARAVIS	1239	1240	1238			
PASSY	MONT BLANC	1526	1455	1463			
PRAZ DE LYS	CHABLAIS	1601	1509	1528			
PRAZ SUR ARLY	MONT BLANC	1493	1351	1428			
SAINT GERVAIS	MONT BLANC	1406	1643	1627			
SAINT JEAN D'AULPS	CHABLAIS	1368	1531	1528			
SAINT JEAN DE SIXT	ARAVIS	986	983	982			
SAINT SIXT	ARAVIS	1133	1126	1126			
SAMOENS	CHABLAIS	1407	1577	1556			
SEYTHENEX	ARAVIS	1488	1299	1348			
SIXT	CHABLAIS	1151	1059	1064			
SOMMAND	CHABLAIS	1594	1525	1559			
ST NICOLAS DE VEROCE	MONT BLANC	1769	1629	1691			
THOLLON LES MEMISES	CHABLAIS	1482	1589	1577			
THORENS LES GLIERES	ARAVIS	1095	1095	1095			
VALLORCINE	MONT BLANC	1596	1412	1467			

Annexe VII : Moyenne du chiffre d'affaires annuel et amplitude moyenne des variations saisonnières de chiffre d'affaires des stations de ski savoyardes et haut-savoyardes depuis 1986 (données calculées d'après Atout France, 2009)

Dép.	Station	Moyenne du CA (en euros)	Amplitude moy. des variations saisonnières de CA
73	AILLON LE JEUNE-MARGERIAZ	1538586,60	19%
73	ALBIEZ MONTROND	907609,90	28%
73	ARCS (LES)	28462363,64	5%
73	ARECHES BEAUFORT	1911946,54	7%
73	AUSSOIS	1579559,05	14%
73	BESSANS	99723,60	7%
73	BONNEVAL SUR ARC	882486,27	7%
73	CORBIER (LE)-SAINT JEAN D'ARVES	4386154,36	20%
73	COURCHEVEL (ENSEMBLE)	32410277,86	5%
73	CREST VOLAND COHENNOZ	2405487,40	9%
73	FLUMET	379549,40	20%
73	GIETTAZ (LA)	467241,80	10%
73	GRANIER SUR AIME	6280,75	35%
73	HERY SUR UGINE	11178,23	28%
73	KARELLIS (LES)	2327295,71	4%
73	MENUIRES (LES)	26272366,48	5%
73	MERIBEL LES ALLUES	22740423,76	7%
73	MERIBEL MOTTARET	13434070,55	6%
73	NORMA (LA)	1671001,14	10%
73	NOTRE DAME DE BELLECOMBE	1927658,83	35%
73	ORELLE	1378943,54	20%
73	PEISEY NANCROIX	6134922,90	8%
73	PLAGNE (LA)	42679876,69	6%
73	PRALOGNAN	1974691,93	6%
73	ROSIERE (LA)	4747751,85	11%
73	SAINT COLOMBAN DES VILLARDS	140820,50	32%
73	SAINT FRANCOIS LONGCHAMP	3279412,44	20%
73	SAINT SORLIN D'ARVES	2483913,49	29%
73	SAINTE FOY TARENTOISE	651930,38	36%
73	SAISIES (LES)	6135613,67	13%
73	SAVOIE GRAND REVAR	583058,85	19%
73	TERMIGNON	365115,31	6%
73	TIGNES	30273300,62	5%
73	TOUSSUIRE (LA)	4075858,05	14%
73	VAL CENIS	4155980,70	12%
73	VAL D'ISERE	32086584,83	6%
73	VAL FREJUS	2094571,72	11%
73	VAL THORENS	29010708,30	6%
73	VALLOIRE	6016786,63	14%
73	VALMEINIER	3545304,94	23%
73	VALMOREL	8237655,32	10%

Dép.	Station	Moyenne du CA (en euros)	Amplitude moy. des variations saisonnières de CA
74	ABONDANCE	388854,80	24%
74	AVORIAZ	21586082,21	6%
74	BELLEVAUX HIRMENTAZ	804859,75	17%
74	BERNEX	850594,43	8%
74	BRASSES (LES)	539098,54	37%
74	BRISON	668,25	65%
74	CARROZ D'ARACHES (LES)	5935396,16	11%
74	CHAMONIX CHOSALET	94649,06	42%
74	CHAMONIX PLANARDS	446046,90	10%
74	CHAPELLE D'ABONDANCE (LA)	1331855,07	15%
74	CHATEL	12595141,98	5%
74	CLUSAZ (LA)	12005479,84	8%
74	COL DU CORBIER	117923,00	19%
74	COMBLOUX	3226709,42	25%
74	CONTAMINES (LES)-HAUTELUCE	6786747,16	9%
74	CORDON	185285,91	38%
74	FLAINE	8161083,22	13%
74	GETS (LES)	8040324,01	12%
74	GRAND BORNAND (LE)	7731788,31	12%
74	HABERE POCHE	356866,41	39%
74	HOUCHES (LES) (SEPP+THP)	3587212,83	18%
74	LES HOUCHES TRAMWAY DU MONT BLANC	225734,77	16%
74	LULLIN	6325,14	59%
74	MANIGOD CROIX FRY	1229304,79	4%
74	MANIGOD MERDASSIER	1355906,50	15%
74	MEGEVE	12420356,94	21%
74	MONT SAXONNEX	156390,17	43%
74	MONTMIN	13518,11	56%
74	MORILLON	3991176,69	59%
74	MORILLON SAMOENS SIXT	10258746,55	12%
74	MORZINE PLEINEY NYON	6756417,64	14%
74	NANCY SUR CLUSES	48223,78	20%
74	PASSY	259495,60	30%
74	PRAZ DE LYS (LE) - SOMMAND	2444949,28	23%
74	PRAZ SUR ARLY	1681767,08	22%
74	REPOSOIR (LE)	38494,93	74%
74	SAINT GERVAIS BETTEX	5737565,51	13%
74	SAINT JEAN D'AULPS	1056343,12	31%
74	SAINT JEAN DE SIXT	21956,80	55%
74	SAINT NICOLAS DE VEROCE	952514,89	31%
74	SAINT SIXT	37193,75	35%
74	SAMOENS	5572026,99	13%
74	SEMNOZ (LE)	514294,06	27%
74	SEYTHENEX	137729,87	48%
74	SIXT	273775,18	24%
74	THOLLON LES MEMISES	777095,00	12%
74	THORENS GLIERES	2700,29	92%
74	VALLEE DE CHAMONIX (CMB)	22830796,18	11%

Annexe VIII : Pourcentage du linéaire des remontées mécaniques 73 et 74 aux expositions  
Nord, Sud, Est et Ouest (données calculées d'après FIRM, 2008)

Nom station (Savoie)	Nord %	Est %	Ouest %	Sud %	Linéaire total de remontées (en km)
AILLON LE JEUNE	24	0	76	0	4,68
ALBIEZ MONTROND	48	0	47	5	13,07
ARCS (LES)	25	15	59	1	43,47
ARECHES BEAUFORT	35	52	13	0	10,86
AUSSOIS	0	8	19	73	10,84
BESSANS	0	97	0	3	0,5
BONNEVAL SUR ARC	62	0	32	6	5,94
BRAMANS	93	0	7	0	0,31
CELLIERS	88	12	0	0	0,34
COL DU GRANIER	0	0	100	0	1,59
CORBIER (LE)	19	63	6	13	15,09
COURCHEVEL 1650	49	13	37	0	19,95
COURCHEVEL 1850 - 1550 - PRAZ	52	43	4	1	43,23
CREST VOLAND COHENNOZ	29	14	52	6	11,42
DESERT ENTREMONT	0	83	0	17	1,3
FECLAZ (LA)	2	38	50	11	3,67
FLUMET	93	0	7	0	5,78
GIETTAZ (LA)	24	1	68	7	5,32
HAUTELUCE	0	0	88	12	4,96
KARELLIS (LES)	12	86	2	0	14,13
MARGERIAZ (LE)	16	82	0	1	10,28
MENUIRES (LES)	18	9	65	8	34,78
MERIBEL LES ALLUES	26	31	43	0	28,46
MERIBEL MOTTARET	42	26	31	1	22,34
NORMA (LA)	63	0	36	1	9,44
NOTRE DAME DE BELLECOMBE	49	7	38	6	16,16
ORELLE	0	4	41	54	9,44
PEISEY NANCROIX	0	0	91	9	6,4
PLAGNE (LA)	53	17	22	8	63,86
PRALOGNAN	6	3	34	57	8,25
REVARD (LE)	0	63	2	36	2,56
ROSIERE (LA)	3	12	38	47	20,28
SAINT COLOMBAN DES VILLARDS	63	33	4	1	4,59
SAINT FRANCOIS LONGCHAMP	18	4	66	12	12,21
SAINT PANCRACE	8	84	0	8	2,36
SAINT SORLIN D'ARVES	11	72	11	5	17,14
SAINTE FOY TARENTOISE	0	0	100	0	4,66
SAISIES (LES)	28	31	20	21	24,79
TERMIGNON	39	0	61	0	6,62
TIGNES	38	30	19	13	41,51
TOUSSUIRE (LA)	15	56	2	27	16,56
VAL CENIS	69	1	28	2	16,9
VAL D'ISERE	29	18	48	5	45,53
VAL FREJUS	31	8	54	7	11,47
VAL THORENS	41	5	40	14	23,7
VALLOIRE	28	0	69	3	15,9
VALMEINIER	30	1	68	1	11,76
VALMOREL	58	20	22	0	29,65

Nom station (Haute-Savoie)	Nord %	Est %	Ouest %	Sud %	Linéaire total de remontées (en km)
ABONDANCE	24	64	11	1	6,84
ARACHES	5	0	78	17	11,88
AVORIAZ	41	4	39	16	34,51
BELLEVAUX	48	27	22	3	10,83
BERNEX	68	10	22	0	6,20
BRISON	85	15	0	0	1,55
CHAINAZ LES FRASSES	72	0	28	0	0,21
CHAMONIX	27	18	39	16	54,63
CHAPELLE D'ABONDANCE	49	19	4	29	10,67
CHATEL	37	8	45	11	26,78
COL DU CORBIER	52	29	16	3	3,99
COMBLOUX	53	44	4	0	12,14
CONTAMINES MONTJOIE	43	50	6	1	20,94
CORDON	24	76	0	0	4,33
ETALE	0	18	51	31	4,81
FLAINE	43	1	44	12	27,45
HABERE POCHE	43	0	57	0	3,91
LA CLUSAZ	38	3	53	6	30,29
LA CROIX FRY	11	5	82	2	4,20
LE SEMNOZ	33	21	39	7	4,32
LE GRAND BORNAND	33	4	57	5	28,90
LE REPOSOIR	41	31	0	28	1,73
LES BRASSES	35	48	13	3	8,97
LES GETS	17	18	60	5	24,07
LES HOUCHES	34	45	17	4	10,21
MEGEVE	33	29	33	6	37,68
MONT SAXONNEX	65	4	30	1	4,38
MONTMIN	13	81	6	0	0,49
MORILLON	82	8	8	1	10,38
MORZINE	49	22	28	1	18,81
NANCY SUR CLUSES	65	0	35	0	1,89
PASSY	0	4	49	47	4,42
PRAZ DE LYS	29	54	2	15	8,02
PRAZ SUR ARLY	76	13	11	0	9,00
SAINT GERVAIS	30	22	36	12	33,18
SAINT JEAN DE SIXT	45	10	45	0	0,29
SAINT-JEAN-D'AULPS	60	14	18	8	6,28
SAINT-SIXT	100	0	0	0	0,64
SAMOENS	62	24	11	4	14,34
SEYTHENEX	95	0	5	0	3,42
SIXT-FER-A-CHEVAL	1	0	99	0	4,41
SOMMAND	40	2	58	1	7,94
ST NICOLAS DE VEROCE	0	100	0	0	0,05
THOLLON LES MEMISES	61	13	15	11	8,56
THORENS LES GLIERES	100	0	0	0	0,66
VALLORCINE	45	8	46	0	3,80

