



HAL
open science

Gestion durable de l'eau en montagne : le cas de la production de neige en stations de sports d'hiver.

Pierre Paccard

► **To cite this version:**

Pierre Paccard. Gestion durable de l'eau en montagne : le cas de la production de neige en stations de sports d'hiver.. Géographie. Université de Savoie, 2010. Français. NNT : . tel-00572604v2

HAL Id: tel-00572604

<https://theses.hal.science/tel-00572604v2>

Submitted on 13 Mar 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Thèse de doctorat de Géographie
présentée à l'Université de Savoie
(Ecole Doctorale SISEO)

GESTION DURABLE DE L'EAU EN MONTAGNE :

LE CAS DE LA PRODUCTION DE NEIGE EN STATIONS DE SPORTS D'HIVER

Soutenue le 05 novembre 2010 par
Pierre PACCARD



Composition du jury :

Emmanuelle Marcelpoil, Chargée de recherche, CEMAGREF de Grenoble
Emmanuel Reynard, Professeur, Université de Lausanne
Vincent Vlès, Professeur, Université de Pau et des Pays de l'Adour
Jean Peytavin, Directeur du Service Ressources en Eau, Agence de l'Eau RM & C
Jean-Jacques Delannoy, Professeur, Université de Savoie
Alain Marnézy, Professeur, Université de Savoie

Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur
Co-directeur
Directeur de thèse

Thèse de doctorat de Géographie
présentée à l'Université de Savoie
(Ecole Doctorale SISEO)

**GESTION DURABLE
DE L'EAU EN MONTAGNE :**

**LE CAS DE LA PRODUCTION DE NEIGE
EN STATIONS DE SPORTS D'HIVER**

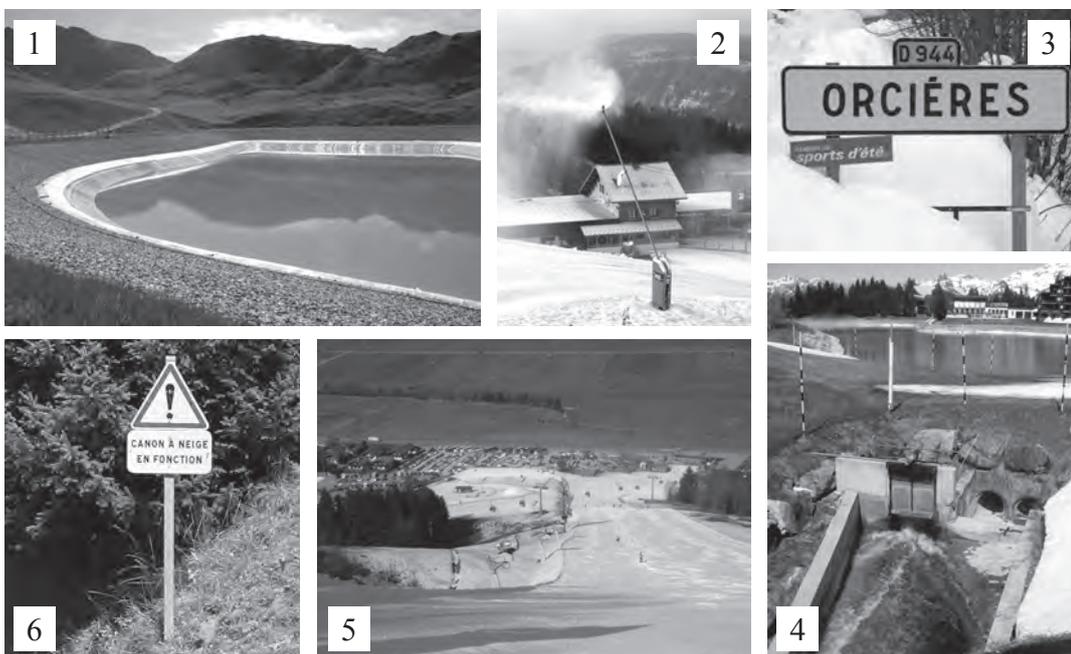
Soutenu le 05 novembre 2010 par
Pierre PACCARD

Composition du jury :

Emmanuelle Marcelpoil, Chargée de recherche, CEMAGREF de Grenoble
Emmanuel Reynard, Professeur, Université de Lausanne
Vincent Vlès, Professeur, Université de Pau et des Pays de l'Adour
Jean Peytavin, Directeur du Service Ressources en Eau, Agence de l'Eau RM & C
Jean-Jacques Delannoy, Professeur, Université de Savoie
Alain Marnézy, Professeur, Université de Savoie

Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur
Co-directeur
Directeur de thèse

1. La retenue d'altitude de l'Ariondaz à Courchevel, Savoie : réserve d'eau potable et pour l'enneigement des pistes de la station (cliché : P. Paccard, sept. 2009).
2. Production de neige à Villard-de-Lans, en moyenne montagne karstique (cliché : P. Paccard, déc. 2009).
3. Panneau signalétique de la commune d'Orcières, « station de sports d'été » et d'hiver, Hautes-Alpes (cliché, P. Paccard, janv. 2009).
4. L'un des dispositifs de remplissage de la retenue du Biolley, Courchevel : le ruisseau des Verdons (cliché : P. Paccard, mai 2009).
5. Piste équipée d'installations d'enneigement, station d'Hauser Kaibling, Styrie, Autriche (cliché : P. Paccard, fév. 2008).
6. Panneau installé à proximité d'une route ouverte à la circulation, Notre-Dame-de-Bellecombe, Savoie (cliché : A. Brun, août 2009).



à mes parents
et à ma petite sœur

à Mariane

REMERCIEMENTS

A l'image d'une cordée sur la voie d'un sommet, où chaque individualité compte tout autant que le collectif, mes recherches doctorales et leur formalisation par le présent document sont avant tout le fruit d'un travail d'équipe. Quelle qu'a pu être votre contribution, je vous adresse toute ma reconnaissance pour cette aide à mon projet.

Je souhaite en premier lieu remercier les membres du jury de ma thèse d'avoir accepté de donner de leur temps pour l'évaluation de celle-ci : Emmanuelle Marcelpoil, Chargée de Recherche au CEMAGREF de Grenoble, et Emmanuel Reynard, Professeur à l'Université de Lausanne, en sont les rapporteurs, tandis que Vincent Vlès, Professeur à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, et Jean Peytavin, Directeur du Service Ressources en Eau de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse en sont les examinateurs. Puisse ce travail être le point de départ de nombreux échanges et collaborations futurs.

Mes travaux ont bénéficié du soutien financier de l'Assemblée des Pays de Savoie et de celui de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse. Sans ces derniers, ils n'auraient évidemment pas pu être portés à terme. Mes sincères remerciements s'adressent ainsi à ces deux institutions.

La pertinence du sujet proposé ne me revient pas : Alain Marnézy, Professeur des Universités et Directeur du département de géographie de l'Université de Savoie est à l'initiative de ce celui-ci. Il a par la suite accompagné ma réflexion tout au long de ces quatre années. Je lui dois beaucoup. Au-delà des savoirs échangés dans le cadre de mes recherches proprement dites, c'est également toute la vie locale d'Aussois et les préoccupations territoriales d'un Maire d'une commune support de station que j'ai partagées lors de nos discussions : élaboration de la charte du Parc National de la Vanoise, résidence de tourisme, lamas en guise de patous, remplacement d'un télésiège, problématique de l'intercommunalité dans la gestion de l'eau... L'ensemble de notre collaboration fut un réel et sincère plaisir et justifie ici mes plus profonds remerciements.

Toujours à mes côtés aux moments décisifs de mon projet, Jean-Jacques Delannoy, Professeur des Universités et Directeur du laboratoire EDYTEM, a également guidé ce doctorat. Les soutiens de Jean-Jacques, notamment dans mes recherches de financement et dans la défense de mes objectifs auprès d'acteurs engagés sur le sujet, ont été des moments déterminants pour la réussite de mon travail. Sa prise de recul vis-à-vis de mes questionnements, sur des problématiques parfois très techniques et spécifiques, a par ailleurs grandement contribué à améliorer la qualité de mes écritures et réflexions, j'en suis certain. A tous ces titres et beaucoup d'autres, je t'adresse tous mes remerciements et amitiés.

A l'occasion, de mes recherches de financement, plusieurs personnes sont intervenues en ma faveur : Monique Bellemin (ADUS), Claude Faure (S3V), Robert Mugnier (MDP 73), Jean-Jacques Ritschard (DIACT) et bien d'autres. Je leur en suis particulièrement reconnaissant.

D'autres ont participé au comité de suivi de mes travaux de recherche : Emmanuelle Marcelpoil, Emmanuel Reynard, Jean Peytavin, Claude Faure, Jean-Jacques Delannoy et Alain Marnézy déjà cités ci-dessus mais également Rozenn Hars (Conseil Général de la Savoie), Catherine Petit et Martin Pignon (Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse), Jean-Marie Chapelat et Jean-Pierre Chomienne (DIACT), et Georges-Marie Saulnier (EDYTEM). Leur éclairage, tout en me laissant la liberté de mener mes recherches comme je le souhaitais, m'a souvent permis d'approfondir, voire de réorienter, ma réflexion. Je les en remercie.

L'Institut de la Montagne m'a donné la chance de démarrer mes activités de recherche sur la gestion de l'eau dans le cadre d'un programme INTERREG. Mes premiers mois de recherche ont été réalisés au sein même de cette structure et je n'oublie pas l'effort qu'elle a produit pour me permettre de travailler dans de bonnes conditions. J'adresse mes remerciements à toute son équipe et à Yannick Dechaux, avec qui j'entretiens également des liens d'amitié.

En quelques sortes, les résultats de mes travaux ne pourraient être ici présentés si les acteurs de mes terrains d'étude, les instances de travail auxquelles j'ai participé et l'ensemble des personnes sollicitées ne m'avaient pas ouvert leurs portes et leurs cahiers. Au risque d'en oublier, je voudrais ici remercier, du Nord au Sud : Michel Galvin (Johnson Control Neige), Pierre Francillard (SED 74), Marion Rivollet-Cadoux, Arnaud Brun et Pierre Lachenal (SEA 74), Marc-Jérôme Hassid (AlternImpact), Jean-Marie Aparicio, Christophe Petit, Laurent Fillion et Claude Faure (S3V), Daniel Avrillier (Commune de Saint-Bon-Courchevel), Claude Traversier (EDF Tarentaise Vanoise), Virginie Chirez (APTV), Yvan Falatas (ONEMA) et les services départementaux de l'ONEMA 73 et 74, Philippe Yvrande (Météo France 73), Françoise Kerrien (DDASS 73), Serge Riveill, Jean-Charles Simiand et Laurent Reynaud (SNTF), Stéphanie Gaucherand et André Evette (CEMAGREF Grenoble), Francis Meyer (Veolia eau Villard-de-Lans), Eric Chambon et Didier Beuque (SEVLC), Gérard Sauvajon (Commune de Corrençon-en-Vercors), Christelle Sénéchal et Daniel Pierlot (Sépia Conseils), Aurélie Campoy et Christophe Sibieude (CLE Drac Romanche), Jean-Eric Salet et Manu Ebrard (Orcières LabelleMontagne), Jean-Pierre Giraud-Telme (SAUR Orcières), Sébastien Parisot et Patrick Ricou (Commune d'Orcières), Corinne Masson (DDAF 05), René Borel (CDT 05)...

Le monitorat en entreprise que j'ai réalisé au sein de la Direction Départementale de l'Équipement et de l'Agriculture de la Savoie fut une étape importante de mon projet. Les échanges entretenus à cette occasion avec l'ensemble du groupe constitué pour ce travail furent riches et constructifs. Je remercie ainsi de m'avoir accordé leur confiance, et même, parfois, d'avoir collaboré à mes recherches : Frédéric Berlioz et Philippe Michou (Atout France), Philippe Raviol (DIREN Rhône-Alpes), Rachel Chapuis, Mathieu Delille et Jean-Philippe Vincent (DDEA 74), Anne Lenfant, Geneviève Darmedru et Xavier Chantre (DDEA 73).

Bien entendu, je ne saurais oublier ici l'ensemble de mes collègues du laboratoire EDYTEM que je n'ai jamais hésité à solliciter lorsque je m'aventurais sur des terrains à la limite de mes compétences. Il s'agit plus particulièrement des membres de l'équipe « Territoires de Montagne » dont font partie Nathalie Cayla, Véronique Peyrache-Gadeau, Xavier Bernier, Christophe Gauchon, Lionel Laslaz, Patrick Pigeon mais pas seulement. D'autres, qu'ils soient enseignants-chercheurs, chercheurs, ingénieurs ou techniciens ont également soutenu mes travaux de près ou de loin : Renée Fenestraz, Charlotte Foray, Estelle Ployon, Carole Poggio, Vincent Blanc, Dominique Gasquet, Fabien Hobléa, Stéphane Jaillet, Emmanuel Malet, Gérard Nicoud, André Paillet, Georges-Marie Saulnier...

Mes collègues et amis doctorants (dont certains sont en réalité déjà docteurs, voire post-doctorants), cœur de la recherche « Montagne » à l'Université de Savoie, m'ont permis d'évoluer dans une ambiance saine de travail : entre échanges interdisciplinaires et, parfois, franche rigolade ! Entre les bureaux du bâtiment Belledonne et ceux du Pôle Montagne, j'ai avec tous toujours partagé de très bons moments : Amandine, Asmaa, Benjamin, Bérengère, Bruno, Carole, Charline, Dominique, Emilie, Grégory, Jairo, Jean-Philippe, Jocelyne, Justine, Laine, Ludovic, Marie, Melaine, Pierre, Rozenn, Souhail, Stéphanie, Sylvain, Thibaud, Thierry...

L'amitié l'emporte de loin sur les échanges professionnels que j'entretiens avec Mélanie et Christophe, doctorants du laboratoire EDYTEM il n'y a pas si longtemps de cela. Nos façons de vivre et de refaire le monde qui nous entoure, accompagnés de Maria et d'Olivier, resteront des moments forts de mes dernières années d'étudiant. Mes yeux sont certainement plus grands ouverts grâce à vous... Je vous en remercie amicalement.

J'adresse de la même façon toute ma reconnaissance à l'ensemble des étudiants qui m'ont aidé, avec patience, à ma formation au métier d'enseignant. J'espère leur avoir transmis des savoirs utiles à la réussite de leur parcours. Parmi eux, je pense en particulier à ceux qui ont accepté, dans le cadre de leur mémoire, de participer à mes réflexions en investiguant des questions que je n'avais pas eu le temps de traiter : Yannick Gosseaume, Christophe Mansouri, Arthur Daugas-Marzouk et Geoffroy Langlois.

Cette thèse est avant tout une histoire de neige, et donc d'eau. Au regard de certains temps clés qui ont construit ma vie personnelle et des gens qui les ont accompagnés, ce n'est certainement pas un hasard. Je pourrais ainsi commencer par remercier mes parents, et par voie de conséquence l'ensemble de ma famille, pour m'avoir constitué de plus de soixante pour cent d'eau et permis ainsi de voir le jour. En réalité, cette caractéristique n'est pas propre à ma personne. Chère Maman, cher Papa, je vous remercie plutôt pour les milliers de litres qui ont défilé à vos pieds, parfois jusqu'à la nuit tombée, alors que petit et entêté, je m'échinai avec passion à attraper les plus belles des truites. Je vous dois tout, ou presque, et ce travail pour lequel vos encouragements ont été cruciaux vous est dédié. Il l'est également à ma petite sœur Pauline, sur qui veille Jérôme, qui compte pour moi plus que tout.

Ma passion pour les montagnes, la neige et les rivières, je la partage avec deux autres membres de ma famille. Claude, très cher oncle et parrain, c'est à double titre que je te suis reconnaissant : facilitateur de mon travail d'un point de vue professionnel, tu es également un père pour moi dans ma vie personnelle. Antoine, que je considère comme mon frère, est un des autres guides de ma vie. Tous les moments que nous avons partagés ensemble méritent bien ici quelques remerciements et encouragements pour tes recherches doctorales que tu mèneras à bien, je n'en ai aucun doute.

Bien sûr, c'est à l'ensemble de ma petite mais grande famille que je pense aujourd'hui : Paulette, Françoise, Aurélien, Anaïs et Adolfo, François, Elisabeth tout comme Chrystelle, Patrick, Christian, Sylvie et ma mamie France.

J'ai une pensée particulière pour la Méouge, la source des Bussets et les tilleuls plus que centenaires de cet endroit, où je voudrais être né, qui ont vu passer des générations que je n'ai pas toutes connues. Elles font de moi ce que je suis aujourd'hui. J'espère ainsi rendre à mes grands-parents et leurs parents tout l'amour qu'ils m'ont donné.

Avec beaucoup de mes amis, c'est souvent sur les mêmes pentes enneigées que j'ai glissé ; souvent loin des pylônes, il faut le dire. Indispensables à mon équilibre, vous avez sans aucun doute contribué à la réussite de ce projet. Que vous soyez de la montagne ou d'ailleurs, c'est à ce titre que je vous dois beaucoup : Sébastien, Clotilde, Manola et Siloé (dont je suis si fier d'être le parrain), Guillaume, Julien et Anne, Mathieu et Marion, Laurent et Emilie, Olivier et Gwen, Pierre et Marion, Marie, Maud, Aurélien, Marion, Pascal, Paul, Sylvain et Juliette, Timothée, Augustin, et tous les autres à qui j'aurais pu consacrer 400 pages de remerciements...

Enfin, sur un tout autre registre que l'attachement que l'on porte à sa famille ou ses amis, c'est à Mariane que je réserve la conclusion de ces remerciements. Merci d'avoir supporté ces quatre années de recherche que tu n'avais pourtant pas choisies. Au-delà, merci d'avoir supporté ma personne, selon toutes les acceptions du terme. Tu as toujours respecté mon relatif silence quant à mes différentes activités professionnelles, discrétion importante pour la quiétude de mon esprit et, par ailleurs, pour mon efficacité. Les quelques années que nous venons de passer ensemble et toutes les prochaines à venir, accompagnées de tes proches, me font déjà sourire.

A tous, mes plus profonds remerciements.

RÉSUMÉ

La production de neige est une pratique généralisée à de nombreuses stations de sports d'hiver (en France, deux tiers des sites existants sont équipés d'infrastructures destinées à cet effet ; les projets d'extension de réseaux de production de neige sont nombreux). Procédé simple en apparence – il s'agit de pulvériser de l'eau dans de l'air froid –, la pratique étudiée est vecteur de notre questionnement sur la gestion durable de l'eau en montagne.

Dernière née des usages de l'eau dans ces territoires, **la production de neige interroge sur sa capacité à trouver une place dans un modèle de gestion intégrée de l'eau** ; l'enjeu réside ici dans la conciliation des besoins en eau pour les milieux aquatiques d'une part, et pour l'ensemble des usages de l'eau, d'autre part. Dans le cadre du réchauffement climatique en cours et de ses incidences sur la « ressource neige », en particulier en moyenne montagne, **les installations de production de neige invitent également à questionner la vulnérabilité des stations de sports d'hiver** ; il s'agit par là même de proposer une réflexion sur le devenir du modèle touristique qu'elles sous-tendent. La production de neige dépasse ainsi la seule problématique de l'eau ; elle est également l'expression de l'usage des territoires qu'il convient de questionner.

Notre recherche s'appuie sur des matériaux empiriques de diverses natures (enquêtes auprès des acteurs impliqués, observations de terrain et documentation) et relevant de multiples échelles de travail. Parmi celles-ci figurent trois études de cas des Alpes françaises : Courchevel - La Tania (Savoie), Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors (Isère) et Orcières-Merlette (Hautes-Alpes). La méthodologie employée a finalement permis de dégager un ensemble de conditions et de propositions inspirées d'initiatives locales, qui permet d'envisager l'insertion de la production de neige dans un modèle de gestion durable de l'eau en montagne.

Mots-clés : Production de neige, stations de sports d'hiver, gestion durable de l'eau, gestion intégrée, conciliation des usages et des milieux, changement climatique, vulnérabilité des stations, Alpes françaises.

Abstract:

Snow production is a common practice in many ski resorts (in France, two thirds of the existing sites are equipped with infrastructures intended for this purpose; and there are many projects to extend them). What appears to be a simple process - pulverizing water in cold air -, in fact reveals much about the issue of the sustainable management of water in mountainous areas.

Artificial snow production is the latest use of water in these areas; **it raises the question of its capacity to find a place in an integrated water management model**; at stake is on one hand the conciliation of the aquatic environment's water requirements, and on the other hand all the other uses of water. In a context of global warming and its consequences on "snow resources", particularly in low-altitude mountain areas, **man-made snow also raises the question of ski resorts' vulnerability, and the economic models they are based upon**. Snow production therefore goes beyond the issue of just water, it is also about what governments choose to do with certain regions.

Our research is based on empirical materials of various natures (interviews with those involved in snow production, field observations and documentation). We used three case studies in the French Alps: Courchevel - La Tania (Savoie), Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors (Isère) and Orcières-Merlette (Hautes-Alpes). The methodology employed led us to present certain proposals, inspired by local initiatives, which make it possible to consider including snow production in a sustainable water management model in mountain areas.

Keywords: Artificial snow, ski resorts, sustainable water management, integrated management, conciliation of water uses and environment, climate change, ski resorts' vulnerability, French Alps.

Avertissement : cette thèse traduit l'état de la question à l'été 2010.
Certains faits ont pu évoluer depuis.

Version corrigée au 13.03.11.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	17
PREMIÈRE PARTIE - CADRE MÉTHODOLOGIQUE ET CONCEPTUEL	25
Chapitre 1 - Etat des connaissances et choix de la méthode de travail	29
Chapitre 2 - De la gestion intégrée à la gestion durable : les dimensions de l'eau et du territoire.....	73
Conclusion de la première partie	113
DEUXIÈME PARTIE - LA PRODUCTION DE NEIGE :	
ENTRE PRATIQUE ET PERCEPTIONS	115
Chapitre 3 - La pratique de l'enneigement.....	119
Chapitre 4 - Les perceptions de la production de neige	183
Conclusion de la seconde partie	225
TROISIÈME PARTIE - TROIS ÉTUDES DE CAS DES ALPES FRANÇAISES	229
Chapitre 5 - Orcières-Merlette : l'enjeu du lac des Estaris.....	233
Chapitre 6 - Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors : produire de la neige en moyenne montagne karstique	271
Chapitre 7 - Courchevel - La Tania : la « houille blanche » en appui de l' « or blanc »	301
Conclusion de la troisième partie.....	341
QUATRIÈME PARTIE - PRODUIRE DE LA NEIGE, GÉRER L'EAU ET LES TERRITOIRES DE MONTAGNE : MISE EN PERSPECTIVE, ESSAI DE PROPOSITIONS CONSTRUCTIVES	345
Chapitre 8 - Mise en perspective : un éclairage par la situation des deux Savoie.....	349
Chapitre 9 - Propositions pour une gestion durable de l'eau : application au cas de la production de neige	395
Conclusion de la quatrième partie	422
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	425
TABLE DES ILLUSTRATIONS	435
TABLES DES MATIÈRES	453
LISTE DES ABRÉVIATIONS	469
BIBLIOGRAPHIE.....	473
NOUVEAU CHAPITRE DE LA THÈSE	509

Introduction

INTRODUCTION

La neige est l'une des images marquantes des montagnes alpines. Elle en façonne les représentations (Gumuchian, 1983) comme elle en conditionne les activités. Pour qui porte attention aux stations de sports d'hiver, une autre neige marque : celle produite des mains de l'homme. Au fil du temps, les installations de production de neige semblent, en effet, être devenues indispensables au mode de fonctionnement des stations : rares sont celles où l'on ne croise pas un canon, pas une perche, pas un enneigeur, fabriquant de la neige.

A l'alimentation séculaire des communautés montagnardes (agriculture, eau potable), à l'utilisation de l'eau comme force motrice pour la production d'hydroélectricité, se superpose aujourd'hui ce « nouvel » usage de l'eau. Il en fait, de prime abord, couler beaucoup ; beaucoup d'encre aussi. Celle employée à l'écriture de la présente thèse de géographie vise à répondre à la question suivante : **la production de neige en station de sports d'hiver peut-elle s'insérer dans un modèle de gestion durable de la ressource en eau ?**

Une pratique au service d'un modèle de développement touristique

Produire de la neige en stations de sports d'hiver, ou plus exactement sur les pistes de ski d'un domaine skiable, consiste à prélever de l'eau depuis une source d'alimentation (torrent, lac, barrage...) et à la pulvériser dans l'air, à des températures négatives pour produire des cristaux de neige. Cette neige, neige artificielle ou neige de culture, permet aux opérateurs de maîtriser l'enneigement des pistes qu'ils exploitent. Elle est devenue l'un des rouages de l'économie touristique des sports d'hiver.

Aujourd'hui tourisme de « masse », principalement développé après la seconde guerre mondiale en France, les sports d'hiver ont généré un chiffre d'affaires de plus d'un milliard d'euros (TTC) pour la saison 2007-2008. Le domaine skiable français, réunissant 293 stations, fut le plus fréquenté au monde en 2008-2009 avec 58,5 millions de journées-skieur. En surface, il est également le plus important d'Europe devant la Suisse et l'Autriche (chiffres *in* ODIT France, 2009). Ces données de cadrage révèlent bien **le poids du tourisme hivernal dans l'économie des territoires de montagne, en particulier alpins : il la structure**. A ce poids, il est intéressant de relever que toutes saisons confondues, le nombre de nuitées réalisées en montagne chaque année (19% du total) est en quatrième position derrière celui de la mer (40%), la campagne (32%) et la ville (30%). Il importe, en effet, de souligner que le taux de départ aux sports d'hiver (avec ou sans pratique) n'est que de 8,2% sur l'ensemble de la population française. La fréquentation de la montagne reste somme toute modeste et en deçà de son potentiel touristique.

Gestion durable de l'eau et production de neige ?

Procédé simple en apparence, **la production de neige constitue un excellent vecteur pour poser la problématique de la gestion durable de l'eau en montagne**. La gestion durable sous-tend à nos yeux deux principales notions, emboîtées : d'une part, l'idée d'une **conciliation de la production de neige avec les milieux naturels et les autres usages de l'eau** d'un bassin versant

de montagne ; d'autre part, la durabilité du système de développement touristique sur lequel l'usage repose. Dans notre recherche doctorale, c'est principalement sur la **pérennité du modèle des stations de sports d'hiver dans la perspective du réchauffement climatique** que nous focaliserons notre attention. En répondant à ces deux questions à partir des informations relevées sur le terrain, nous interrogerons donc la possibilité d'une gestion durable de l'eau, dans laquelle la production de neige pourrait ou non s'inscrire. La raison de l'intérêt porté à cette problématique est qu'elle occupe aujourd'hui une place importante dans les préoccupations relatives aux territoires de montagne.

Un sujet d'actualité

Récemment, le premier numéro du magazine du Conseil Général de la Savoie (février 2010), consacrait un dossier spécial et complet à la question de l'eau. A son titre accrocheur, « *Eau – Derrière notre robinet* »¹, est associée une photographie de canon à neige en pleine production ; c'est dire à la fois **l'intérêt que suscite l'objet de notre étude et les questions qu'il soulève** du point de vue de l'eau.

« *Demain, l'eau sera plus rare...* » titrait à ce sujet un article de presse² à la suite de la rencontre organisée sur le sujet par ce même département dans le cadre de sa réflexion prospective Savoie 2020 (en novembre 2008, au Bourget du Lac, Savoie). Dans cette rencontre, comme souvent, **la question de la production de neige occupait une place de choix.**

La tenue des « Etats Généraux de l'Eau en Montagne » à Megève (Haute-Savoie) au mois de septembre 2010 est un nouveau témoignage de l'enjeu que représente aujourd'hui la gestion de l'eau en montagne. Sans nul doute, la production de neige s'invitera dans les débats. Mais sur quelle tonalité ? En tant qu'usage du système « eau », elle doit être appréhendée comme tel. Malheureusement, elle est trop souvent abordée sous **un angle idéologique**. Cela crispe plus les acteurs impliqués et est, de ce fait, peu constructif.

Pour notre part, **en abordant frontalement les questions soulevées, sans concession et dans un souci d'objectivité, nous souhaitons que notre contribution soit à l'initiative de recherche de solutions³ partagées.**

En fait, les motivations de notre recherche sur la gestion durable de l'eau tiennent au défi majeur qu'elle représente pour le XXI^{ème} siècle, en montagne comme ailleurs.

L'eau, entre abondance et rareté

Sur le chemin d'une gestion équilibrée de l'eau à l'échelle internationale, la résolution prise récemment par l'Assemblée générale de l'Organisation des Nations Unis est un exemple de progrès. Présentée le 28 juillet 2010, adoptée par 122 voix et 41 abstentions, elle reconnaît que le « *droit à une eau potable propre et de qualité et à des installations sanitaires est un droit de l'homme, indispensable à la pleine jouissance du droit à la vie* ». Attendue de longue date, cette résolution est une étape de plus de franchie dans la **reconnaissance de l'eau en tant que ressource universelle et patrimoniale**. Il faut dire que cette universalité est loin d'être, en tous les endroits du globe, une vérité. **Inégalement répartie et différemment sollicitée**, elle est une ressource **abondante** dans certains pays, d'une **rareté** manifeste dans d'autres.

¹ Savoie Mag, février 2010, p. 13.

² La Vie Nouvelle, le 4 décembre 2008, p. 5.

³ Il nous importe de préciser que ce travail ne répond à **aucune commande**. Soutenu financièrement par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse et l'Assemblée des Pays de Savoie, organismes sollicités dans le cadre d'un projet de recherche qu'ils ont décidé d'accompagner, il s'inscrit dans le cadre d'un questionnement universitaire libre, comme il se doit.

Après que nous avons présenté notre recherche au colloque « *Au fil de l'eau* », organisé par la Maison des Sciences de l'Homme de Clermont-Ferrand au mois de mars 2009, A. Nemouchi expliquait à son tour « *La «Moisson» de l'eau en milieu semi-aride* » : **dès que les précipitations, faibles et irrégulières, génèrent la moindre ressource disponible, les communautés algériennes du Hodna (sud des hauts plateaux du nord-est de l'Algérie) la stockent, pour partie dans des retenues collinaires.** Ces réserves sont alors disponibles pour une restitution en période de besoin d'eau potable ou agricole, le volume d'eau évaporé en moins. Au sein du laboratoire EDYTEM, la recherche doctorale d'A. Tayebi (2010) porte sur **la vulnérabilité des aquifères karstiques du massif des Béni-Snassen** (nord-est du Maroc). De ces ressources en eau dépendent l'alimentation en eau des populations et de nombreux projets d'irrigation. Nous relativisons alors la problématique de notre recherche, face à des enjeux ayant une autre importance.

Dans d'autres endroits de la planète, le partage de la ressource en eau est devenu un **enjeu géopolitique de premier ordre**. Un projet d'exploitation du fleuve Sénégal menacerait la disponibilité de l'eau au Mali et en Mauritanie. La nappe de Guarani, l'une des plus grandes ressources d'eau douce souterraine du monde, est convoitée conjointement par le Brésil, l'Argentine, le Paraguay et l'Uruguay. Enfin, pour certaines Organisations Non Gouvernementales, le conflit israélo-palestinien est aussi une histoire d'eau.

Bien sûr à l'échelle mondiale, les « vases » n'étant pas directement communicants, des restrictions de la demande, là où la ressource est abondante, ne pourraient malheureusement pas offrir plus d'offre, là où l'eau est rare ; la question est plus complexe. **Le bassin versant**, qu'il soit petit ou grand, reste avant tout **l'échelle de gestion locale ou régionale pertinente** de gestion de la ressource en eau. Cependant, la considération de cette rareté de l'eau, relative à certains endroits de la planète, invite à porter un **regard humaniste et précautionneux sur la ressource**, même dans les espaces où celle-ci est abondante. Les montagnes alpines ont toujours été considérées comme l'un de ces lieux d'abondance, où la question de la disponibilité de la ressource se posait jusqu'alors avec moins d'acuité qu'ailleurs.

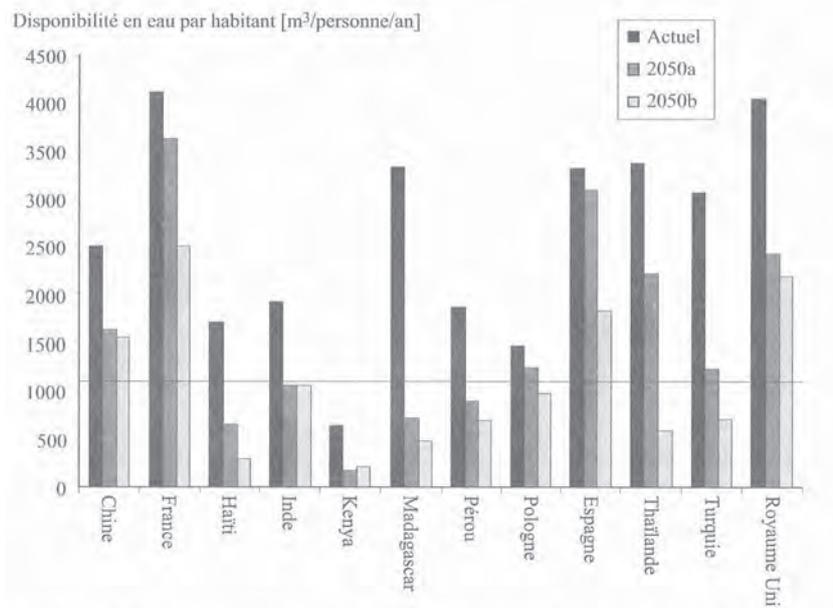
Une ressource abondante en montagne ?

La montagne « château d'eau » est une image fréquemment reprise dans l'espace médiatique et même de recherche, en géographie notamment. 50% des aires montagneuses de la planète tiennent un rôle prépondérant dans la disponibilité des ressources en eau des régions de piémont, ce qui leur vaut d'être des « *water towers for humanity* » (Viviroli *et al.*, 2007). Les abondantes précipitations des massifs montagneux (jusqu'à 2000 mm de précipitations annuelles pour les Préalpes françaises) génèrent effectivement des écoulements importants qui chemineront jusqu'aux plaines. Les stocks de neige et de glace de certaines montagnes du globe sont tout autant de réserves que la fonte libère progressivement, venant soutenir la disponibilité de l'eau pour les territoires aval.

En ce sens effectivement, les montagnes alpines peuvent être qualifiées de châteaux d'eau. Mais est-ce une réalité aussi évidente que cela ? « *Château d'eau ou panier percé ?* » interrogeait G. Nicoud récemment (2010) à propos du massif de la Chartreuse.

Les paramètres « structuraux » des montagnes alpines **tempèrent déjà l'idée de l'abondance absolue de la ressource en eau**, en particulier à l'échelle des stations de sports d'hiver. Les bassins versants sont réduits, les conditions hydrogéologiques ne permettent que rarement le stockage de masses d'eau importantes et les conditions d'étiage hivernales rendent parfois quasi « désertiques » les réseaux hydrologiques. A ces contraintes physiques se superposent aujourd'hui les évolutions de certains paramètres du système de gestion de l'eau. Le changement climatique est l'une de ces évolutions. Le stock d'eau que constituent les glaciers alpins diminue. Le recul de leur front est la manifestation la plus visible du réchauffement des températures en montagne.

Figure I.1 : Disponibilité en eau par habitant en 2050 dans certains pays industrialisés (Extrait de Beniston, 2009, p. 12).



Cette disponibilité est ici représentée pour un scénario de climat constant (2050a) et pour un scénario avec changement climatique (2050b). Représentation déterministe des évolutions à venir, cette figure montre néanmoins qu'il existe plusieurs facteurs possibles pour expliquer la diminution de la disponibilité de l'eau : croissance démographique et changement climatique.



Figure I.2 : La production de neige et les différentes composantes du géosystème montagnard (Clichés : P. Paccard). [1] Enneigreur sur le front de neige de la station d'Orcières-Merlette, Hautes-Alpes, le 25/01/2009 ; [2] Piste enneigée de la station d'Hauser-Kaibling, Autriche, le 28/02/2008 ; [3] Piste de ski terrassée à Villard-de-Lans, Isère, le 30/06/2009 ; [4] Retenue d'altitude en construction à Valmorel, Savoie, le 10/07/2008 ; [5] Piste enneigeable pâturée à Villard-de-Lans, le 30/06/2009 ; [6] Le lac de la Rosière sollicité pour la production de neige à Courchevel, Savoie, le 30/04/2009 ; [7] Télésiège de l'Alpe d'Huez, Isère, le 03/01/2009 ; [8] Production de neige à Hauser-Kaibling, le 06/03/2008.

A l'échelle globale, les « *diminutions résultant du changement climatique viendront certes aggraver la situation déjà soumise à la contrainte démographique mais ne seront pas nécessairement le facteur dominant* » explique M. Beniston (2009, p. 12). **Les projections proposées** montrent bien qu'à l'échelle nationale, **la disponibilité en eau par habitant pourrait être contrainte** sous l'effet combiné de ces deux facteurs (figure I.1). Cette lecture déterministe du risque est-elle valable en montagne ? Quelles sont effectivement les évolutions climatiques constatées ? Les besoins sont-ils toujours croissants ?

La production de neige : un objet vecteur de multiples questions

Pour I. Shiklomanov (2000) « *les principaux facteurs de l'évolution des ressources en eau sont au nombre de trois : les changements climatiques naturels ; la variation de la température et le réchauffement de la planète ; l'impact direct des activités humaines* » (p. 119). En établissant le lien entre ces facteurs et notre objet d'étude, on s'aperçoit rapidement de la **complexité du questionnement**.

En effet, à propos de réchauffement climatique et de stations de sports d'hiver, la production de neige est au cœur du sujet : s'agit-il d'une stratégie d'adaptation à la raréfaction de la ressource en neige ? Doit-on penser la mutation du modèle de développement touristique du fait de la diminution de l'enneigement ? Dans le même temps, l'évolution des deux « matières premières » nécessaires à l'enneigement des pistes de ski, l'eau et le froid, est incertaine : quel avenir de la production de neige alors que les températures se réchauffent ? La disponibilité de la ressource sera-t-elle effectivement contrainte par le changement climatique ?

Enfin, les interrogations sur les impacts de la production de neige sont également nombreuses : peut-on concilier la gestion et la protection des milieux naturels, aquatiques en particulier, avec la production de neige ? Quels sont les impacts hydrologiques de la pratique ? Sont-ils acceptables ou non ? Dans les rapports entre les besoins et les ressources disponibles, la part imputable à la production de neige est-elle problématique vis-à-vis des autres usages ?

En fait, autour du seul objet de la production de neige, **une multitude de questions se croisent et des problématiques différentes s'enchevêtrent**. C'est en définissant les limites de chacune que nous essaierons d'y répondre.

Quoiqu'il en soit, l'accroissement de la pression anthropique, le développement de ce nouvel usage de l'eau et les évolutions climatiques actuelles, nous invitent à nous interroger sur la **disponibilité future des ressources en eau dans les espaces montagnards**.

Une approche interdisciplinaire

Notre travail se situe à l'interface entre les sciences de l'environnement, humaines et sociales. **Il est interdisciplinaire**, à l'image du laboratoire EDYTEM dans lequel il s'inscrit. Notre recherche ne saurait, en effet, être complète sans procéder à une analyse du système auquel notre objet d'étude appartient. Il est en interrelations avec les hydrosystèmes, écosystèmes, et territoires de montagne. En ce sens, notre travail répond à une démarche de géographie dans son acception la plus large.

La production de neige interagit avec les différentes composantes du géosystème montagnard (figure I.2). Elle est tout d'abord une pratique destinée à améliorer la qualité et le volume d'une offre touristique dans un contexte de **variabilité** des températures et des précipitations neigeuses, le tout en lien avec la variation du climat (**réchauffement**). Couplées à des travaux de pistes (profilage, préparation du support, pose des canalisations...), les installations d'enneigement

interfèrent avec les **sous-sols** de montagne. Ces opérations de terrassement impactent également les **écosystèmes** de montagne, tandis qu'au contraire leur protection peut conditionner la réalisation ou non de la pratique. La disponibilité de l'**eau** est par ailleurs un des facteurs premiers de la production de neige ; en retour, l'enneigement des pistes peut contraindre l'eau dans sa dimension qualitative comme quantitative. Enfin, la composante **socio-économique** dans laquelle s'inscrit la production de neige n'est pas à oublier ; elle est un outil au service du **tourisme** des sports d'hiver.

On mesure par ce développement que **nous sommes loin de relations de causes à effets directs** et que tout travail sur la production de neige oblige à prendre en compte la complexité des relations ressources - territoires - usages - impacts - réponses etc.

En d'autres termes, reprenant l'idée que « *la nature s'inscrit dans le social* » (Veyret et Vigneau, 2004, p. 7, en référence aux travaux de G. Bertrand et J. Tricart), notre réflexion sur les problématiques d'aménagement, celle des installations d'enneigement, veut offrir une **analyse environnementale transversale sans occulter l'homme du milieu montagnard**. Elle est en cela une contribution à la définition d'**outils d'aide à la décision** pour les acteurs impliqués, de près comme de loin, par la question proposée. C'est du moins dans cet esprit que ce travail a été réalisé.

Organisation du propos

Pour répondre à notre problématique de recherche, **notre mémoire s'organise en quatre temps** (figure I.3).

Le premier constitue le socle conceptuel et méthodologique de notre réflexion (**première partie**). Dans celui-ci, nous expliquerons le cheminement qui nous a conduits à préciser la problématique de notre recherche et la méthodologie employée pour y répondre (**chapitre 1**). Nous poserons ainsi les hypothèses et questionnements de notre travail qui nous guideront dans notre démarche. Les orientations données à notre travail pour la collecte des données nécessaires seront également expliquées.

Après avoir précisé ce cadre méthodologique, nous définirons les différents concepts sur lesquels notre travail s'appuie (**chapitre 2**). Nous y préciserons ce que nous entendons par la gestion durable de l'eau et des notions connexes auxquelles elle fait référence, en lien avec nos investigations : gestion intégrée de la ressource en eau et vulnérabilité des stations de sports d'hiver.

Notre propos s'attachera ensuite à la pratique de l'enneigement elle-même ainsi qu'aux perceptions et attitudes des acteurs vis-à-vis de celle-ci (**deuxième partie**). Depuis ses origines, nous expliquerons le développement de la production de neige à l'échelle nationale (**chapitre 3**). Les principes de production seront détaillés et, pour en cerner les limites, le cadre législatif de la pratique sera posé.

Pour clarifier le jeu d'acteurs en place autour de la production de neige et identifier les principaux éléments de discours des différentes parties, nous nous intéresserons aux perceptions de la production de neige de chaque groupe d'acteurs concernés (**chapitre 4**). Nous montrerons que les divergences de point de vue sur la question génèrent des conflits, que nous préciserons.

Dans ce premier temps, nous avons volontairement voulu exposer les différents regards sur la production de neige et ce sans parti-pris. Ce sera avec l'éclairage des terrains d'étude que nous reviendrons sur ces différents regards et leurs questionnements.

C'est à un premier changement d'échelle que nous inviterons ensuite le lecteur (**troisième partie**). Le choix des trois terrains d'étude est dans un premier temps expliqué. Nous procéderons ensuite à l'analyse successive des trois terrains : Orcières-Merlette (**chapitre 5**), Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors (**chapitre 6**) et Courchevel - La Tania (**chapitre 7**).

Partant de la production de neige, nous mettrons en évidence les impacts de la pratique sur l'eau et les interrelations que celle-ci entretient avec les autres usages sur chacun de ces terrains. Nous questionnerons également les évolutions climatiques constatées pour chacun des terrains pour éprouver la durabilité des aménagements dédiés à la pratique des sports d'hiver.

La mise en perspective des résultats au regard de notre problématique de recherche constitue l'objet de la **quatrième partie**. Nous éclairerons les situations particulières précédemment analysées par l'étude de la production de neige à l'échelle des départements de Savoie et de Haute-Savoie (**chapitre 8**). C'est à un second changement d'échelle que nous inviterons le lecteur.

Enfin, nous poserons un nouveau regard sur les hypothèses et questionnements initiaux de notre mémoire (**chapitre 9**). S'il s'avérait possible d'insérer la production de neige dans un modèle de gestion durable de la ressource en eau sous certaines conditions, il nous faudrait alors formuler des propositions...

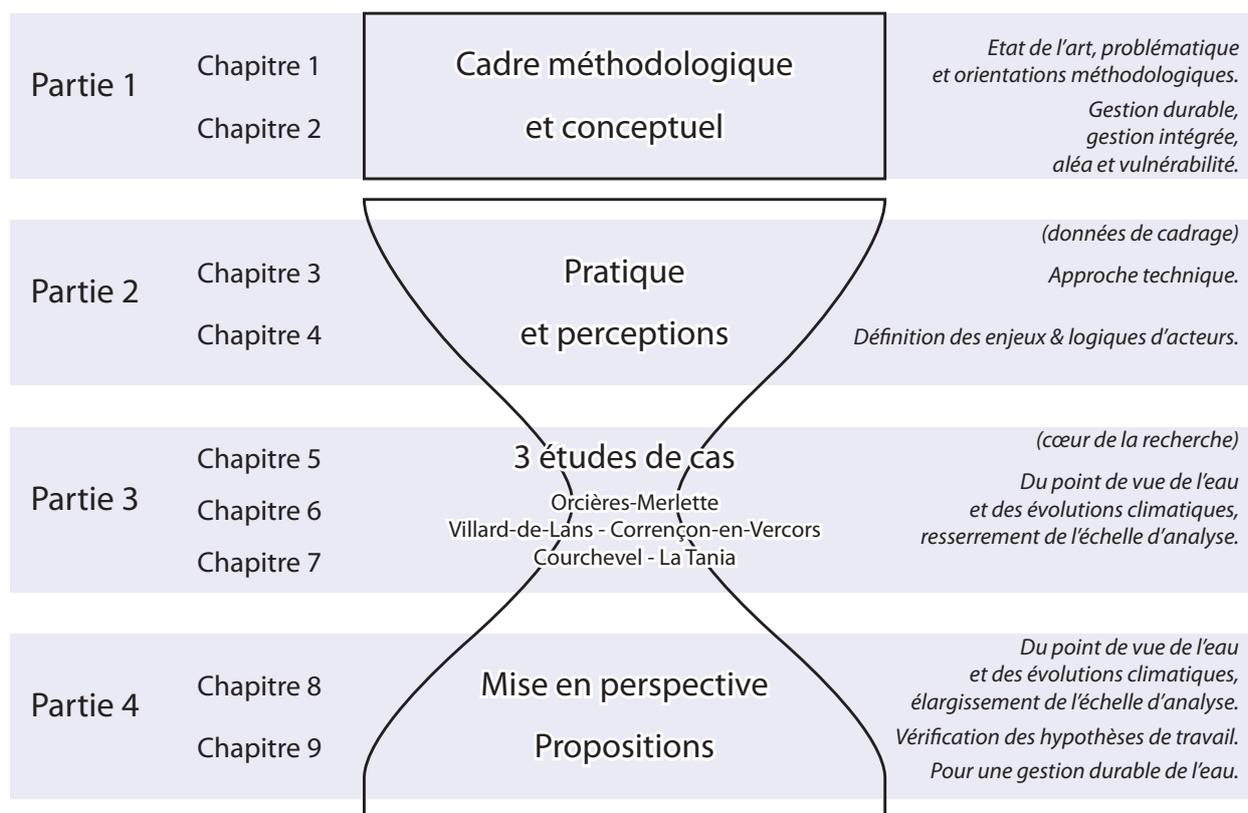


Figure I.3 : Représentation synoptique de la thèse

Première partie

CADRE MÉTHODOLOGIQUE ET CONCEPTUEL

PREMIÈRE PARTIE - CADRE MÉTHODOLOGIQUE ET CONCEPTUEL

Deux objectifs principaux sous-tendent la première partie de la présente étude : définir le cadre méthodologique de celle-ci mais également les concepts sur lesquels notre démonstration vient s'appuyer.

Nous entendons par cadre méthodologique à la fois le cheminement de pensée qui nous a conduits à définir la problématique de recherche proposée mais également les actions de recherche déployées sur nos différents terrains d'étude pour y répondre.

La production de neige en stations de sports d'hiver peut-elle s'insérer dans un modèle de gestion durable de la ressource en eau ? Voici la question proposée comme problématique de nos travaux. Ce questionnement ne résulte pas d'un choix arbitraire : il fut défini aux termes d'un état des lieux des principales recherches qui ont été conduites sur la question de l'enneigement artificiel. Nous les présenterons.

A ce propos, les termes opportuns sont-ils neige de culture ou neige artificielle ? Nous verrons que ce point fait débat. Ces débats sont d'ailleurs particulièrement bien relayés par les médias de tous horizons. Considérant ces débats, voire controverses, il nous fallait **définir une méthodologie cohérente et adaptée**, afin de pouvoir obtenir les informations nécessaires à la résolution de notre problématique. Nous détaillerons celle-ci, reposant sur deux éléments principaux : une approche de terrain, à une résolution fine, sur **trois stations de sports d'hiver partenaires**, et une approche plus institutionnelle, en quelque sorte « déterritorialisée », permise par notre **participation à différentes instances de travail sur la question de la production de neige et de l'eau en montagne**. L'ensemble de ce protocole nous a finalement permis d'obtenir des informations relevant d'échelles d'analyse différentes, nécessaires pour trouver réponse à la question posée.

Néanmoins, en préalable à la présentation des résultats acquis dans le cadre de ces recherches, il était d'abord indispensable de **définir les termes mêmes de notre sujet d'étude et de l'ensemble des notions connexes** auquel celui-ci fait référence : **la gestion intégrée de l'eau et la durabilité du modèle de développement touristique des sports d'hiver**.

Concrètement, pourquoi les termes de « ressources en eau » ? Qu'est-ce que la « gestion intégrée des ressources en eau » ? Tout autant de définitions qu'il nous faut poser avant toute chose pour être certain du cadre dans lequel notre réflexion s'inscrit. Nos définitions de ces principaux concepts seront ainsi explicitées.

La production de neige en station de sports d'hiver nous semble dépasser la stricte problématique de l'eau : elle interroge également sur la durabilité du **modèle de développement des sports d'hiver** et, par là même, sur l'aménagement des territoires de montagne. Facteur d'influence externe, **les conséquences du changement climatique sur l'évolution du couvert neigeux** sont bien au cœur de cette préoccupation. **C'est l'angle que nous choisirons pour questionner la durabilité du modèle**. Il nous faudra ainsi essayer de le qualifier pour la montagne et de montrer en quoi il invite à explorer la **vulnérabilité des stations de sports d'hiver**. Dans cette ouverture, on aperçoit déjà en quoi la gestion de l'eau et la gestion des territoires sont interdépendantes l'une de l'autre.

CHAPITRE 1 - ETAT DES CONNAISSANCES ET CHOIX DE LA MÉTHODE DE TRAVAIL

Ce premier chapitre a pour objet de poser le cadre méthodologique général de notre recherche, depuis les motivations de celle-ci jusqu'aux méthodes employées pour répondre à notre problématique de recherche. Ce cadre méthodologique repose en premier lieu sur l'identification des besoins de recherche, compte tenu de l'état des connaissances sur la question de l'impact de la production de neige sur l'environnement et en particulier sur l'eau. C'est à partir des manques de connaissance actuelle que les objectifs de notre travail seront précisés.

La controverse existant autour de l'objet de notre recherche (la production de neige) sera également abordée pour bien poser les raisons potentielles de celle-ci, cette dernière pouvant être « nourrie » par le manque de données objectives. Celle-ci nous conduira à la définition de méthodes de travail spécifiques, que nous expliciterons dans un dernier temps.

1. DES MANQUES DE CONNAISSANCE ACTUELLE AUX BESOINS DE RECHERCHE

Les travaux de recherche sur la pratique de l'enneigement artificiel en station de sport d'hiver couvrent un champ relativement vaste que l'on peut néanmoins regrouper dans le domaine des sciences de l'environnement et des sciences humaines. **Il ne s'agit pas ici de faire un état de l'art exhaustif des recherches réalisées** mais de dresser un bilan des publications que nous avons jugées majeurs traitant de la production de neige. Il s'agit en quelque sorte d'un résumé des points forts des recherches réalisées jusqu'alors.

1.1. Enneigement artificiel et environnement : état des connaissances

Les recherches conduites en sciences de l'environnement¹ autour de notre objet d'étude, la production de neige, se sont principalement attachées à préciser, outre l'évolution des équipements utilisés, les impacts de cette pratique sur les espaces montagnards, notamment sur l'eau.

¹ Pour ce qui est des procédés d'enneigement, les recherches en sciences de l'ingénierie ne rentrent pas dans l'espace de nos travaux proprement dit bien qu'elles soient très riches. Ces recherches ont permis de faire progresser la performance des différents systèmes d'enneigement – on peut citer, par exemple, les travaux de doctorat de physique de O. Jabbour (2001) : « *Etude expérimentale et modélisation de la cristallisation d'une goutte d'eau : application aux canons à neige* ».

1.1.1. Les recherches conduites en France

Les travaux du CEMAGREF (1995) : premières recherches

En France, les premières recherches sur notre sujet ont été menées par F. Dinger et S. Dubost, du CEMAGREF, Groupement de Grenoble. Ils publient en décembre 1995 une étude intitulée « *Impacts des installations de neige de culture sur l'environnement* » (Dinger et Dubost, 1995)². Les auteurs soulignent que **la végétation semble peu affectée par les installations d'enneigement**. En particulier, le raccourcissement de la période de végétation du à une fonte plus tardive des pistes enneigées n'a pas pu être démontré. Les auteurs rappellent que la plupart des pistes enneigeables sont rarement dans leur état naturel puisque terrassées, modelées, etc... Ils préconisent que soit portée **une attention sur les pistes situées sur des zones écologiquement plus sensibles** (pelouse naturelle ou semi-naturelle, zones humides...). Dans tous les cas, les modifications floristiques constatées sur les pistes enneigées sont en général liées à la qualité de l'eau utilisée pour la production de neige (*idem*, p. 61).

En matière de ressource en eau, F. Dinger et S. Dubost considèrent la problématique du point de vue quantitatif et qualitatif. Ils insistent sur l'importance du **respect des débits minima réglementaires à laisser s'écouler dans les cours d'eau de montagne**. Ils notent que les installations d'enneigement prélèvent d'importants volumes d'eau aux moments des étiages hivernaux alors même que les besoins en eau potable sont maxima dans les stations touristiques : « *Dans ces conditions, des choix entre les différentes utilisations de l'eau seront peut être alors nécessaires* » (*ibid.*, p. 61). Pour ce qui est de la **qualité de l'eau utilisée, celle-ci doit se rapprocher, selon les deux auteurs, de celle d'une eau de pluie** pour éviter tout effet minéralisant ou fertilisant sur les milieux récepteurs. En particulier, les eaux polluées de façon organique ou minérale ne doivent pas être utilisées pour la production de neige. Les rejets d'hydrocarbure doivent, quant à eux, être évités par un entretien régulier des compresseurs, pour lesquels les modèles de type « sec » (compresseurs fonctionnant sans besoin de lubrification) seront privilégiés. Ces rejets semblent être, cependant, un problème moins préoccupant que ceux issus des installations de damage (*ibid.*, p. 62).

Enfin, les auteurs estiment que **le bruit induit par les installations d'enneigement est une nuisance importante** : leurs mesures montrent qu'à proximité immédiate des enneigeurs (4 mètres), le niveau sonore des appareils peut atteindre 120 décibels, soit l'équivalent du bruit occasionné par le passage d'un train en gare (figure 1.1) ! Le positionnement et les heures de fonctionnement des installations d'enneigement doivent être par ce fait correctement pensés pour limiter les impacts sonores en période de production, notamment vis-à-vis de la faune de montagne (*ibid.*, p. 62).

Il est à noter que les systèmes d'enneigement ont fait des progrès importants en matière de bruit depuis l'apparition des premières technologies. A titre d'exemple, les enneigeurs du fabricant Johnson Controls Neige (anciennement York) ont diminué en moyenne leurs émissions de 20 dB (A) (décibel pondéré en acoustique) en l'espace de 30 ans (Galvin, 2010).

² Ces travaux ont également été publiés par le Service d'Etude et d'Aménagement Touristique de la Montagne en juin 1995 (SEATM, 1995), repris par la revue Aménagement & Montagne (aujourd'hui Montagne Leader) dans son numéro de septembre/octobre 1995 (Aménagement & Montagne, 1995). Cette dernière explique ainsi dans le chapeau de ce dossier spécial que l'« *étude conduite par le CEMAGREF, à l'instigation de la direction du tourisme, «lave» la neige de culture d'atteintes graves à l'environnement* » (*idem*, p. 34).

Niveaux de puissance acoustique (LWA) des différents canons étudiés

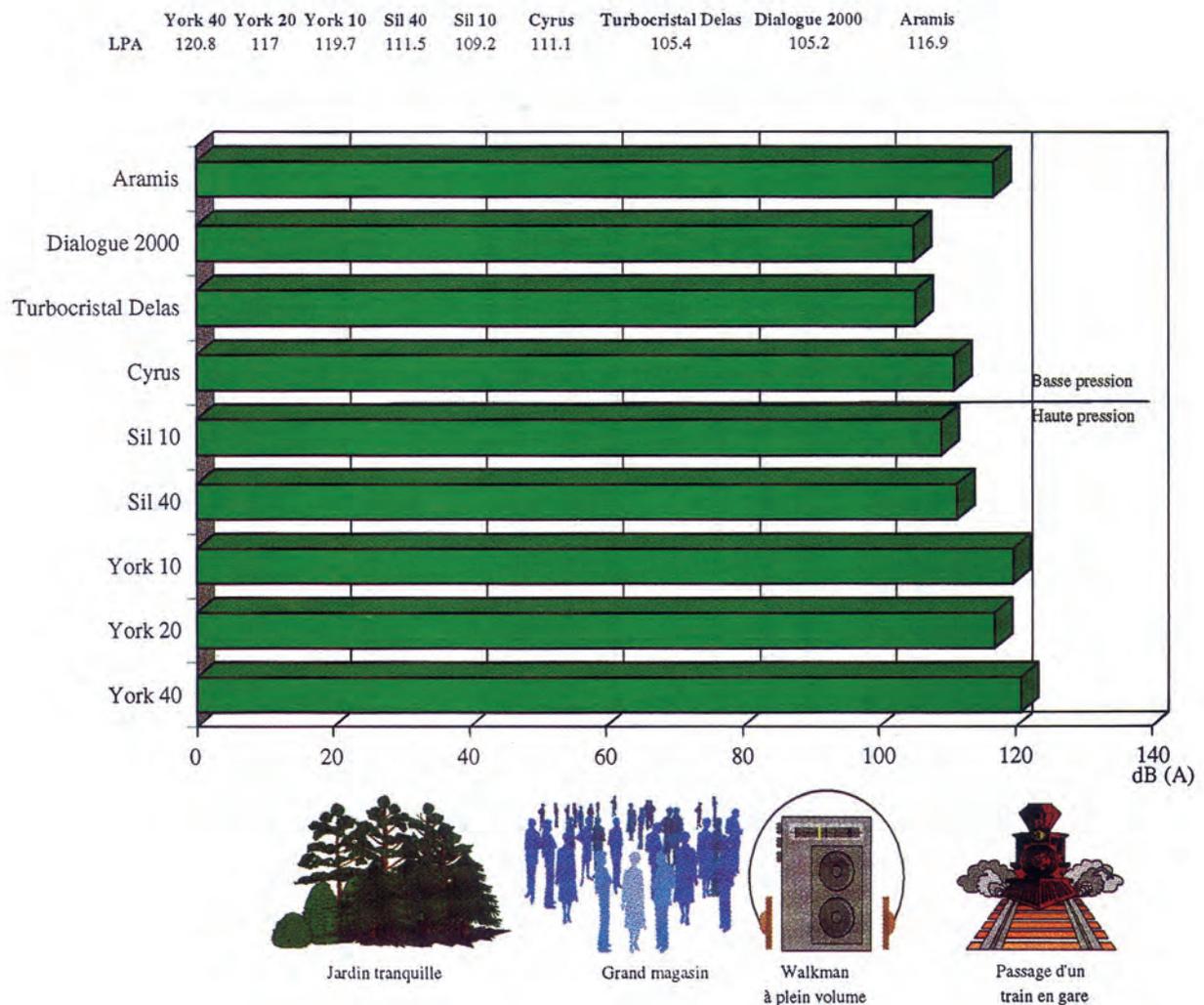
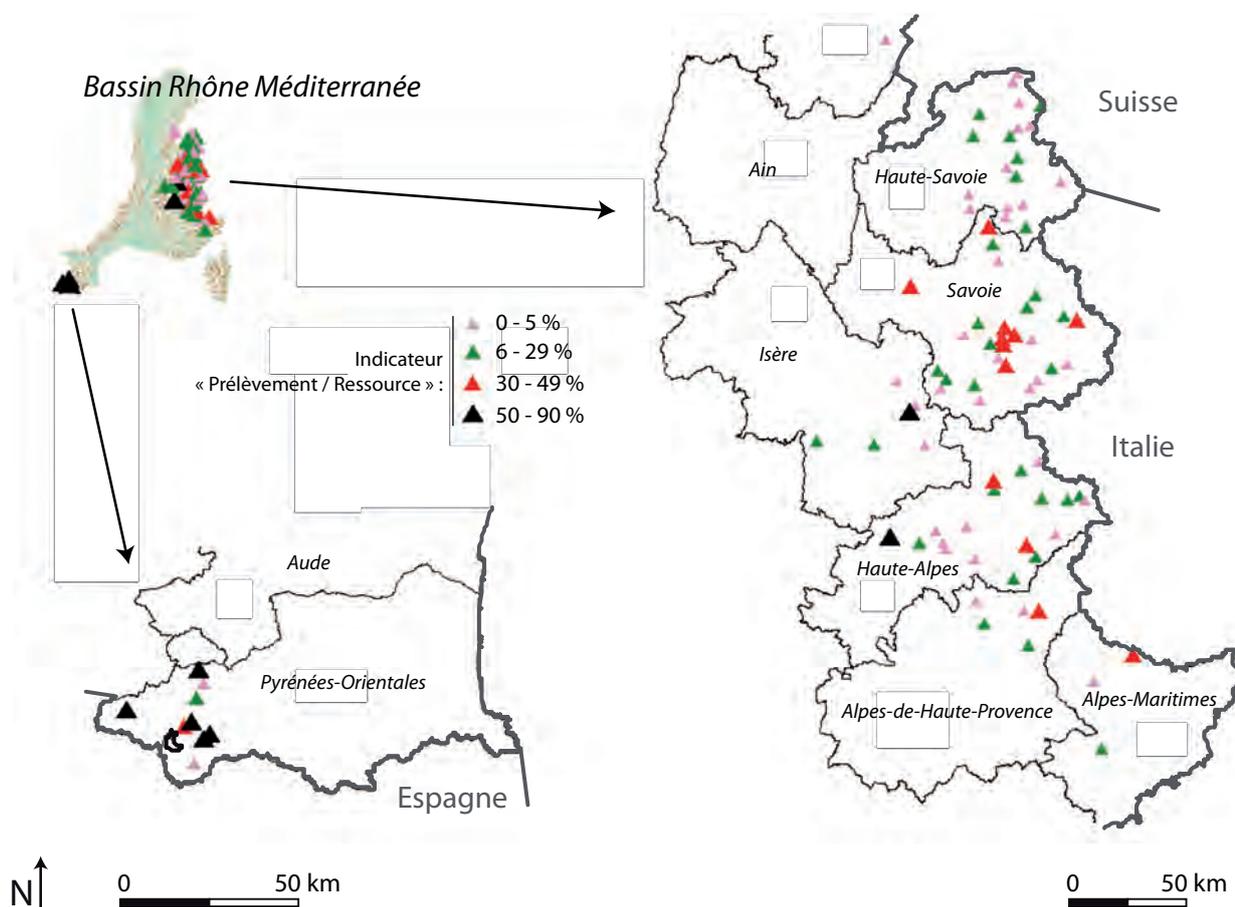


Figure 1.1 : Niveau de puissance acoustique (LWA) à 4 mètres des différents canons étudiés par F. Dinger et S. Dubost en 1995 (extrait de Dinger et Dubost, 1995 *in* SEATM, 1995, p. 84).

Les prospections de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse (2002) : l'indicateur « Prélèvement / Ressource disponible à l'étiage »

Plus récemment, en 2002, T. Champion a réalisé pour l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse un travail visant à mesurer l'impact de la production de neige sur la ressource en eau, en hiver, en montagne (Champion, 2002). Ce travail a fait l'objet d'une communication par E. Dugleux au colloque « L'eau en montagne : gestion intégrée des hauts bassins versants » organisé à Megève en 2002 (Dugleux, 2002). Deux objectifs principaux soutenaient cette recherche : **réaliser un inventaire des équipements existant sur le bassin Rhône Méditerranée et caractériser leurs impacts en matière de prélèvements d'eau pour la production de neige**. Ce travail a été réalisé pour chacune des stations du bassin Rhône Méditerranée et Corse.

Les résultats de ce travail montrent ainsi qu'en 2002, près de 85% des stations concernées (échantillon de 138 stations) étaient équipées en installations d'enneigement tandis que les surfaces enneigées représentaient une moyenne de 15% des surfaces totales de piste avec des variations de 5 à 60% selon les stations (*idem*, p. 2). En matière d'impact sur la ressource en eau, E. Dugleux souligne que, si la neige de culture ne semble pas avoir d'impact immédiat sur la qualité de l'eau des ressources et que les volumes annuels prélevés restent généralement compatibles avec les besoins des milieux naturels sollicités, « la situation peut être différente si on raisonne sur les 4 mois que dure la saison (période d'étiage) ou encore si on étudie les répercussions sur un rythme journalier, voire horaire ». Afin de définir l'impact de ces prélèvements pour la production de neige, T. Champion a construit un indicateur, « Prélèvement / Ressource disponible à l'étiage » (P/R), permettant de préciser l'importance des prélèvements au regard des ressources disponibles à l'étiage (Champion, 2002, p. 52).



Carte 1.1 : Résultat du calcul « P / R » (Prélèvement / Ressource disponible à l'étiage) pour l'ensemble des stations du bassin Rhône Méditerranée (extrait de Champion, 2002 in Dugleux, 2002, p. 6, modifié). Les triangles représentent le rapport Prélèvement / Ressource disponible à l'étiage pour chaque station de sports d'hiver du bassin Rhône Méditerranée.

Ce calcul théorique montre que la proportion du prélèvement représente moins de 10% du volume s'écoulant dans les cours d'eau à l'étiage pour la majorité des stations étudiées (carte 1.1) ; certaines stations prélèvent plus de 50% de la ressource disponible à l'étiage. En conclusion, **si la situation ne paraissait pas trop alarmante du point de vue de la ressource en eau en 2002**, « elle pourrait le devenir rapidement dans le futur, du fait de la poursuite de l'expansion de l'activité de neige de culture qui est annoncée dans les prochaines années » (Dugleux, 2002, p. 7).

La mission d'inspection du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (2009) : approche environnementale et socio-économique

S'il ne s'agit pas d'une recherche académique proprement dite, les travaux de la mission d'inspection du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable, « *Neige de culture : état des lieux et impacts environnementaux - note socio-économique* » (Badré et al., 2009), constituent néanmoins un document récent et de référence sur ce sujet. A la demande de N. Kosciusko-Morizet, alors Secrétaire d'Etat à l'Ecologie auprès du Ministre de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT), les objectifs de cette mission étaient doubles : **évaluer les impacts environnementaux de la neige de culture**, notamment sur l'eau, mais également **les enjeux socio-économiques du tourisme en montagne** qui en constituent le contexte (*idem*, p. 1). Il s'agissait également, entre autres, de réfléchir à l'intégration possible de cet usage de l'eau dans l'élaboration des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) des massifs montagneux français (Kosciusko-Morizet, 2008).

En résumé, les trois inspecteurs qui constituaient cette mission rappellent tout d'abord le **développement spectaculairement rapide de ces installations** dans le contexte du tourisme des sports d'hiver.

En matière de ressource en eau, les inspecteurs expliquent les **difficultés à obtenir des données fiables sur l'impact des prélèvements réalisés**. Ils insistent sur les volumes d'eau destinés à la satisfaction de cet usage qui « *peuvent modifier fortement le bilan ressources-usages en eau et devenir très sensibles localement et en période de pointe hivernale* » (Badré et al., p. 6) et sur la nécessité de **renforcer les dispositifs de comptabilisation des volumes d'eau mobilisés**, condition jugée première à une gestion planifiée et transparente de la ressource en eau. Les questions de la **sécurité des retenues d'altitude**, de la cohérence de la réglementation existante et de l'intégration des projets « neige de culture » dans les dossiers d'Unité Touristique Nouvelle (UTN) sont également détaillées dans le rapport de la mission d'expertise. Parmi les propositions opérationnelles développées, se trouvent les **recommandations d'interdiction des additifs cryogènes de l'eau pour la production de neige et de réalisation d'un guide d'expertise technique et économique de la neige de culture**.

Mots clés	N°	Titre	Détail de la recommandation
eau, gestion, qualité, quantité	1	Suivi des volumes d'eau prélevés	La mission recommande à la direction de l'eau et de la biodiversité (DEB) : a) de faire effectivement appliquer les arrêtés du 11 septembre 2003 qui imposent la mesure ou l'évaluation des volumes prélevés dans la ressource en eau et la transmission des résultats au préfet, cela en commençant par les zones de tension potentielle dont les stations de ski équipées d'enneigeurs ; b) de mettre en place un dispositif de télé déclaration annuelle des volumes prélevés.
	2	Impacts sur l'eau potable	La mission invite la direction de l'eau et de la biodiversité (DEB) à compléter la réglementation afin que : a) le document d'incidences des projets soumis à autorisation ou déclaration au titre de la loi sur l'eau traite également des incidences sur l'alimentation en eau potable (compléter les articles R214-6 et R214-32 du code de l'environnement) ; b) l'arrêté préfectoral d'autorisation fixe les moyens de surveillance des effets de l'ouvrage sur l'alimentation en eau des populations (compléter l'article R214-16).
	3	Impacts sur l'eau potable	La mission recommande à la direction de l'eau et de la biodiversité (DEB) d'adresser aux préfets une circulaire les invitant à fixer, sur la base de l'art. L214-3 du code de l'environnement, des prescriptions particulières de surveillance des effets des prélèvements déclarés sur l'alimentation en eau potable de la population lorsqu'ils causent un risque pour cette alimentation.
	4	Débits biologiques minima	La mission invite la direction de l'eau et de la biodiversité (DEB) à préciser par circulaire, ou si nécessaire par modification des arrêtés ministériels, les règles de fixation des débits biologiques minima à maintenir dans les torrents de montagne, notamment en hiver, y compris en ce qui concerne les captages de source à leur émergence.
	5	Additifs cryogènes de l'eau	La mission recommande à la direction générale de la prévention des risques (DGPR) d'interdire l'ajout d'additifs cryogènes dans l'eau de production de neige.
	6	Contrats de haut bassin	La mission recommande à la direction de l'eau et de la biodiversité (DEB) et aux agences de l'eau concernées de mettre à l'étude la mise en place de contrats de haut bassin.
retenue d'altitude	7	Sécurité des retenues d'altitude	La mission recommande à la direction générale de la prévention des risques (DGPR) : a) de recenser rapidement les retenues d'altitude pouvant créer un risque sérieux pour la sécurité publique ; b) de faire imposer, par arrêté préfectoral, la réalisation d'une étude de danger couvrant aussi leurs dispositifs de protection (notamment de déclenchement préventif d'avalanche) puis, en conséquence, les prescriptions complémentaires nécessaires à la sécurité publique, y compris, le cas échéant, la limitation ou l'interdiction d'utilisation de la retenue ; c) à l'avenir, de considérer que les dispositifs de protection des retenues d'altitude contre les aléas naturels font partie intégrante de l'installation et des conditions de son utilisation.
	8	Reclassement des ouvrages hydrauliques	La mission invite la direction générale de la prévention des risques (DGPR) à donner des consignes claires pour qu'un reclassement de barrage ou de digue (en application de l'article R.214-114) dans une classe autre que celle résultant des tableaux des articles R.214-112 et R.214-113, implique l'application de toutes les dispositions liées à la nouvelle classe.
réglementation, mise en cohérence	9	Etudes d'impact	La mission recommande à la direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGLN), en application des dispositions prévues par le second projet de loi Grenelle II, de modifier, dès le vote de la loi, les articles R122-4 à R122-8 du code de l'environnement afin que la détermination des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements soumis à autorisation et à étude d'impact tienne compte de la sensibilité des zones géographiques susceptibles d'être affectées et de l'impact potentiel.
	10	Instruction unique des dossiers	La mission invite la direction générale de la prévention des risques (DGPR) et la direction de l'eau et de la biodiversité (DEB) à donner des instructions aux préfets afin que les projets d'enneigement fassent l'objet d'une instruction unique confiée au service de police de l'eau avec l'appui du service de police des installations classées.
expertise, neige de culture	11	Bilan gaz à effet de serre	La mission recommande à la direction générale de l'énergie et du climat (DGEC), dans le cadre du Grenelle de l'environnement, de faire réaliser chaque année un bilan de consommation énergétique et des émissions de gaz à effet de serre (GES) de l'activité de production de neige.
	12	Expertise technique et économique	La mission propose que soit réalisé par ODIT-France, en liaison avec l'ensemble des parties prenantes, un guide d'expertise technique et économique de la neige de culture, prenant en compte le capital nature des stations et s'inscrivant dans la démarche du Grenelle de l'environnement.
enjeux socio-économiques, moyenne montagne, développement durable	13	Prévention des risques socio-économiques	La mission recommande à la direction générale des collectivités locales (DGCL) du ministère chargé de l'intérieur et à la direction générale des finances publiques (DGFIP) du ministère chargé du budget, en liaison avec la direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services (DGCIIS) et avec la DIACT, d'actualiser la circulaire du 18 juin 1997, en la ciblant sur les stations de montagne, et en tirant les enseignements des expériences menées dans les Hautes Alpes et dans les Pyrénées Orientales.
	14	Evaluation à mi-parcours des conventions de massif	A l'occasion de l'évaluation à mi-parcours des CPER et des conventions de massif prévue en 2010, la mission recommande à la DIACT de faire un premier bilan quantitatif, et surtout qualitatif, des opérations de diversification financées. Ce bilan permettrait de commencer à en apprécier l'impact réel, et de mieux préparer les conventions de massif d'après 2013.
	15	Conseil national de la montagne	La mission recommande à la DIACT de saisir le président de la commission permanente du conseil national de la montagne pour qu'un groupe de travail consacré à l'économie de la neige et au développement des activités en moyenne montagne soit mis en place. Il pourrait avoir comme objectif l'élaboration d'un plan d'adaptation pour la moyenne montagne, dans l'optique de la préparation des prochaines conventions de massif, l'évaluation à mi-parcours des actuelles conventions en constituant un des socles.

Tableau 1.1 : Les 15 recommandations de la mission d'expertise « neige de culture » du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (d'après Badré *et al.*, 2009, p. 11 et 12).

Enfin, la mission d'inspection propose également que l'Etat, par le Conseil National de la Montagne, prenne l'initiative d'engager rapidement un « *chantier de réflexion sur le développement durable des stations de montagne* » (*idem*, p. 9). **15 recommandations pragmatiques** sont proposées par la mission à la réflexion des pouvoirs publics (tableau 1.1).

La gestion intégrée des ressources en eau par B. Charnay (2010) : la faible contribution des opérateurs de domaine skiable...

Très récemment, B. Charnay soutenait sa recherche doctorale « *Pour une gestion intégrée des ressources en eau sur un territoire de montagne. Le cas du bassin versant du Giffre (Haute-Savoie)* » (Charnay, 2010). Si ses travaux ne sont pas centrés sur la problématique de l'enneigement artificiel, l'auteur s'attache à évaluer la place des exploitants de domaine skiable, en tant qu'acteurs de l'eau, au sein d'un processus de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) dans le bassin versant du Giffre (figure 1.2).

Cette évaluation les place **parmi les moins performants en termes de contribution à un système de gestion intégrée**. Pour l'auteur, les exploitants de domaine skiable ne sont notamment pas identifiés « *en tant qu'acteurs directs de l'eau. Ils souffrent ainsi d'un manque de reconnaissance par les autres acteurs en étant souvent exclus des processus de concertation de type comité de bassin ou contrat de rivière* » (*idem*, p. 208).

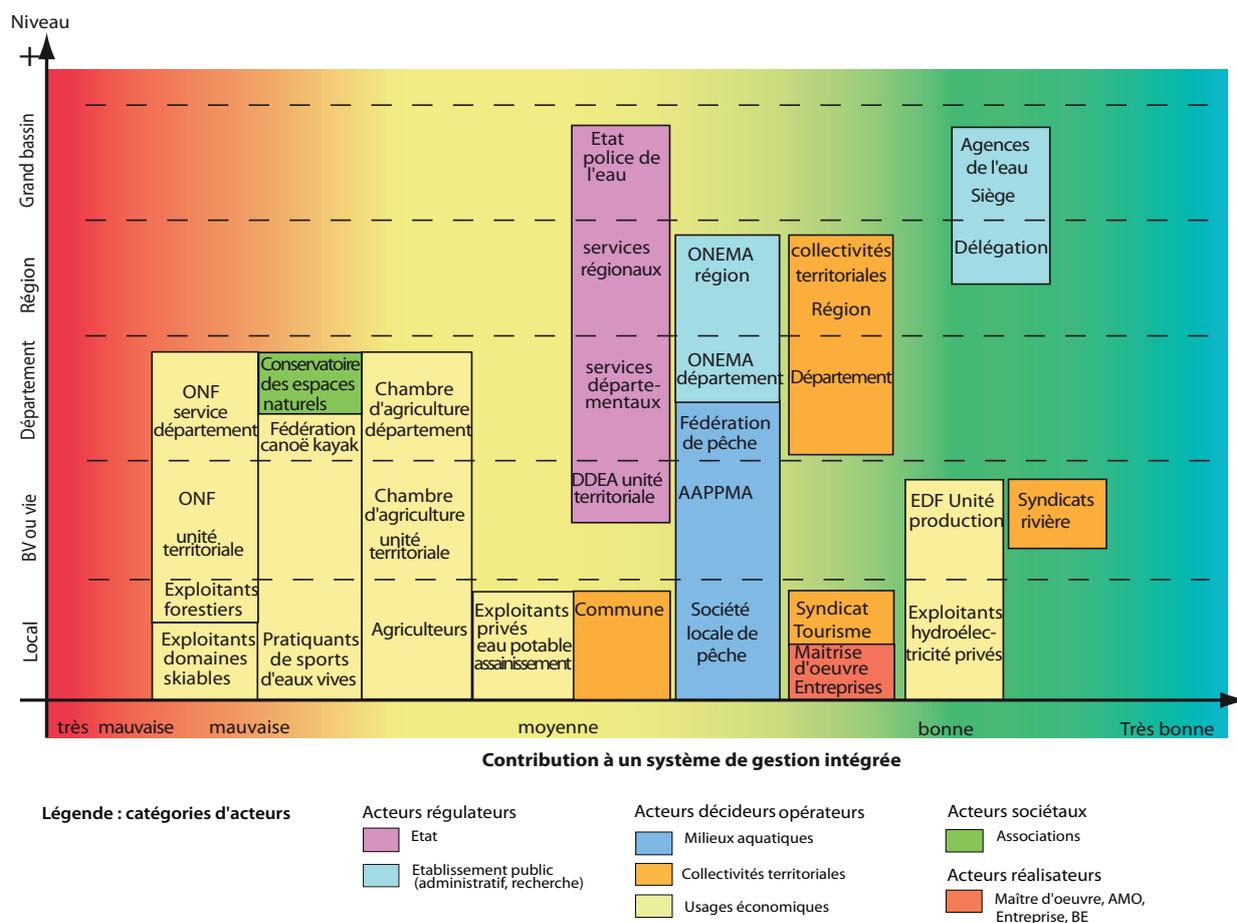


Figure 1.2 : Evaluation de la contribution des acteurs du bassin versant du Giffre à un système de gestion intégrée des ressources en eau (extrait de Charnay, 2010, p. 207). *Les exploitants de domaines skiables font partie des acteurs les moins bien évalués.*

Les points faibles relevés de ce type d'acteur, au regard des conditions nécessaires à la mise en œuvre d'une démarche de gestion intégrée, sont principalement (1) **une méconnaissance du milieu pour évaluer correctement les impacts des prélèvements en eau**, (2) **un territoire d'action (la station de sports d'hiver) qui n'est ni administratif ni hydrologique** et (3) **une exclusion de tout processus de concertation avec les autres acteurs** (figure 1.3).

A contrario, l'implication des communes *via* des relations contractuelles, **la planification à long terme de la gestion du domaine skiable et les moyens techniques performants dont dispose cet acteur pour optimiser sa gestion de la ressource en eau et intégrer d'autres usages**, sont les **trois principaux points forts** des exploitants de domaine skiable au regard d'une gestion intégrée des ressources en eau.

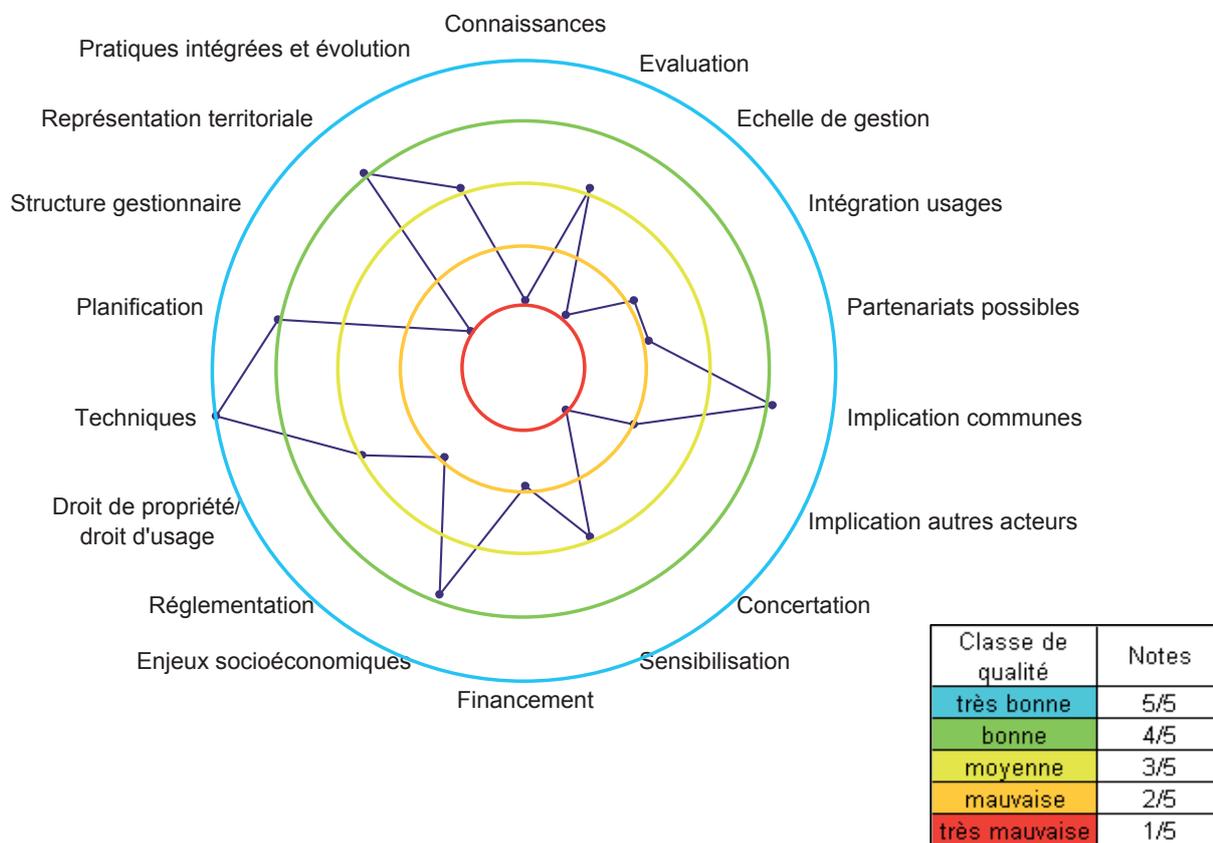


Figure 1.3 : Radar d'évaluation du système de gestion des exploitants privés de domaine skiable pour atteindre une gestion intégrée des ressources en eau (extrait de Charnay, 2010, p. 437).

1.1.2. Les recherches conduites à l'étranger

La gestion intégrée des ressources en eau par E. Reynard (1999) : l'opacité des modes de production de neige ?

En Suisse, **les recherches conduites en 1999 par E. Reynard traitaient également de la gestion intégrée des ressources en eau** mais à une échelle de travail différente de celle choisie par B. Charnay (le bassin versant du Giffre, d'une superficie d'environ 450 km²). Il s'intéresse en effet à deux stations touristiques de montagne : Crans-Montana-Aminona et Nendaz dans le Valais (Reynard, 1999). C'est au travers de l'analyse des interrelations existant entre tous les usages de l'eau en présence, qu'E. Reynard questionne la pratique de l'enneigement artificiel (photo 1.1).



Photo 1.1 : Usage de l'eau pour les sports d'hiver : enneigement artificiel à Tortin (Nendaz, Valais, Suisse) en novembre 1998 (cliché : E. Reynard, 1998 in Reynard, 1999, planche XVI). *Enneigreur mono-fluide monté sur patins.*

Pour répondre à l'une de ses hypothèses de travail initial – « *L'enneigement artificiel connaît actuellement un essor fulgurant lié aux modifications climatiques. Il entre en conflit avec les autres utilisateurs de l'eau.* » (Reynard, 1999, p. 14) –, il explique notamment que les deux stations étudiées sont équipées en installations de production de neige mais que les volumes d'eau utilisés sont « difficiles à déterminer avec précision, faute de transparence de la part des sociétés de remontées mécaniques. Il n'a pas été possible de connaître précisément la répartition mensuelle de l'enneigement » (*idem*, p. 336). Il retient notamment que **les volumes d'eau en question sont,**

de façon relative, peu importants au regard des autres usages ; le débat sur cette question restant néanmoins très tendu entre les milieux du ski et de la protection de la nature.

Au-delà de la seule question de la neige artificielle, deux principales conclusions des travaux d'E. Reynard sont à retenir pour notre recherche : d'une part, dans les deux stations étudiées, « *la ressource [était] suffisante pour satisfaire tous les besoins. Les situations de pénurie et les conflits [étaient] par conséquent dus à des problèmes de gestion et non à des situations de rareté absolue de la ressource* » et d'autre part, « *le mode de gestion [...] de la ressource en eau ne [pouvait] être considéré ni comme parfaitement intégré, ni comme patrimonial³* ».

L'impact de la production de neige sur les sols et la végétation par C. Rixen et al (2002 ; 2003 ; 2004)

Toujours en Suisse, les travaux de l'Institut Fédéral de Recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), en particulier les équipes de l'Institut pour l'étude de la neige et des avalanches de Davos (SLF), ont contribué à une meilleure connaissance de la pratique de l'enneigement artificiel et de ses impacts sur l'environnement.

Les recherches de C. Rixen se sont plus particulièrement attachées à **mesurer l'impact de la production de neige sur la végétation et les sols** (Rixen *et al.*, 2002 ; Rixen *et al.*, 2003 ; Rixen *et al.*, 2004a). Ces travaux ont montré que la production de neige et la préparation des pistes de ski influencent les propriétés du sol et les compositions floristiques qui le recouvrent. Ces changements sont dus aux différences d'épaisseur de neige, de densité, de propriété d'isolation, de perméabilité aux gaz et de durée d'enneigement des pistes de ski en comparaison des sols enneigés naturellement (Rixen *et al.*, 2003).

D'après ces travaux, si la neige de culture, en augmentant l'épaisseur du manteau neigeux, accroît les propriétés d'isolation de ce dernier et atténue ainsi les risques de gel profond des sols, elle ne diminue pas pour autant le retard de reprise de la végétation à la fonte des neiges. Ce retard est principalement dû à la fonte plus tardive des pistes enneigées artificiellement. On notera que, sur ce point particulier, les conclusions des travaux de C. Rixen *et al.* (2003) divergent de celles de F. Dinger et S. Dubost (1995) qui n'avaient justement pas mis en évidence ce retard dans la reprise de la végétation.

A contrario, il semblerait que **la production de neige augmenterait la résistance mécanique du manteau neigeux** (neige plus compacte, plus résistante) et diminuerait d'autant l'impact des engins de préparation des pistes sur les sols et la végétation, jouant un rôle de « bouclier » protecteur. Les cortèges floristiques peuvent être quant à eux modifiés par des apports d'eau de qualité différente des eaux météorites. Ces modifications dépendent de la composition chimique des eaux utilisées pour la production de neige et des temps d'exposition à cette production (Rixen *et al.*, 2003).

³ L'auteur explique ce constat par 3 familles de problèmes : les problèmes sectoriels qui touchent un même sous-système de gestion (concernant un usage particulier de la ressource), les problèmes intersectoriels affectant plusieurs sous-systèmes de gestion (plusieurs usages sont alors concernés) et les problèmes territoriaux qui affectent les systèmes de gestion de la ressource dans leur empreinte spatiale (Reynard, 1999, p. XI).

Ainsi et toujours d'après ces mêmes travaux, bien qu'atténuant quelques impacts négatifs de la préparation des pistes de ski, la production de neige induit de nouveaux problèmes. Elle pourrait alors constituer une **menace pour les zones écologiquement fragiles**. Dans ces espaces, où l'on retrouverait des espèces rares et/ou protégées, des particularités géomorphologiques ou des risques d'érosion, une piste de ski (enneigeable artificiellement ou pas) ne devrait pas être réalisée puisqu'impactant les milieux naturels. Dans tous les cas, pour ces auteurs, la question des impacts décrits ci-dessus ne doit pas être éludée dans un contexte de développement croissant des installations d'enneigement (*idem*). Nous retenons pour nos recherches que **les études d'impact doivent être menées à bon escient et sur du temps long**.

Production de neige et contextes environnemental, socio-économique et climatique : l'approche intégrée de M. Teich *et al.* (2007)

En 2007, le même institut (Institut Fédéral Suisse de Recherches sur la forêt, la neige et le paysage) **publiait une nouvelle étude à propos de l'enneigement artificiel** (Teich *et al.*, 2007). Novateur puisque transversal, ce travail a été mené sur trois domaines de sports d'hiver différents (Braunwald, dans le canton de Glaris, Scuol et Davos, dans le canton des Grisons) en abordant à la fois les **questions sociales, économiques, environnementales et climatiques**. A notre connaissance, ce travail est le seul à avoir été conduit dans une **démarche intégrée**. **Il a le grand mérite de ne pas simplifier une problématique systémique complexe en n'abordant cette question que de façon partielle et non dans sa globalité**, nombreuses interactions comprises.

D'un point de vue socio-économique, après avoir rappelé la **fulgurance du développement des installations d'enneigement en Suisse** comme dans les autres pays de l'arc alpin (quelques secteurs des Alpes Italiennes sont équipés à hauteur de 100% de leur surface de piste), **les résultats des recherches réalisées montrent que la production de neige pourrait empêcher jusqu'à 10% de pertes sur le revenu régional global de la communauté de Davos les hivers « sans neige »** (40% du revenu global de cette région est généré par le seul secteur touristique dont 26% par le tourisme hivernal). C'est ainsi l'économie régionale entière de Davos qui profite de la production de neige par les opérateurs de domaine skiable (*idem*, p. 4).

Les résultats d'interviews de touristes des trois domaines étudiés montrent par ailleurs que **l'acceptation sociale de la production de neige varie dans l'espace et dans le temps** : les touristes « hivernaux » comprennent l'intérêt de la production de neige tandis que leurs homologues « estivaux » perçoivent cette pratique de façon beaucoup plus négative. Dans le choix de la destination hivernale, la garantie d'enneigement apparaît pour les individus interrogés un élément important mais non déterminant.

Enfin, les enquêtes conduites également auprès des responsables des sociétés de remontées mécaniques et des collectivités territoriales locales – « *local stakeholders from the mountain railway companies and the local communities* » (*ibid.*) – prouvent que, si ces autorités ont bel et bien conscience du changement climatique en cours, la neige de culture reste perçue comme **la condition majeure pour pouvoir tenir la concurrence en matière de destination de sports d'hiver**. Néanmoins, le changement climatique est considéré comme un élément déterminant dans les futurs choix de diversification de l'offre touristique proposée et que, dans ces conditions, la seule garantie d'enneigement ne sera pas suffisante pour concurrencer les autres destinations.

En matière environnementale, les principaux résultats recourent globalement ceux préexistants. On relève que **les prélèvements d'eau pour la production de neige peuvent représenter de 20 à 35% des prélèvements régionaux totaux respectifs de Davos et de Scuol** ; ces prélèvements sont donc considérables. Pour ce qui est des consommations énergétiques, la neige artificielle ne représente que **0,5% des consommations totales de la région de Davos**, tandis que le seul secteur du logement (domestique) dans cette même région en représente 32,5%. Concernant les effets de la neige de culture sur la végétation et les sols, les résultats décrits reprennent en majeure partie les conclusions obtenues par C. Rixen *et al.* (Rixen *et al.*, 2002 ; Rixen *et al.*, 2003 ; Rixen *et al.*, 2004a ; Rixen *et al.*, 2004b) et explicitées auparavant : protection mécanique du sol et de la végétation par la neige de culture contre le passage des engins de préparation des pistes, augmentation de l'isolation des sols des pistes de ski (protection contre les gels profonds), fonte tardive des neiges et retard de la reprise de végétation, modification des cortèges floristiques par adjonction d'eau dont la composition chimique est différente de celle des écoulements naturels et diversité des cortèges floristiques diminuée, que les pistes soient enneigeables ou pas. A ce sujet, **la théorie d'une meilleure stabilisation des sols par des communautés végétales riches et variées est avancée** (figure 1.4).

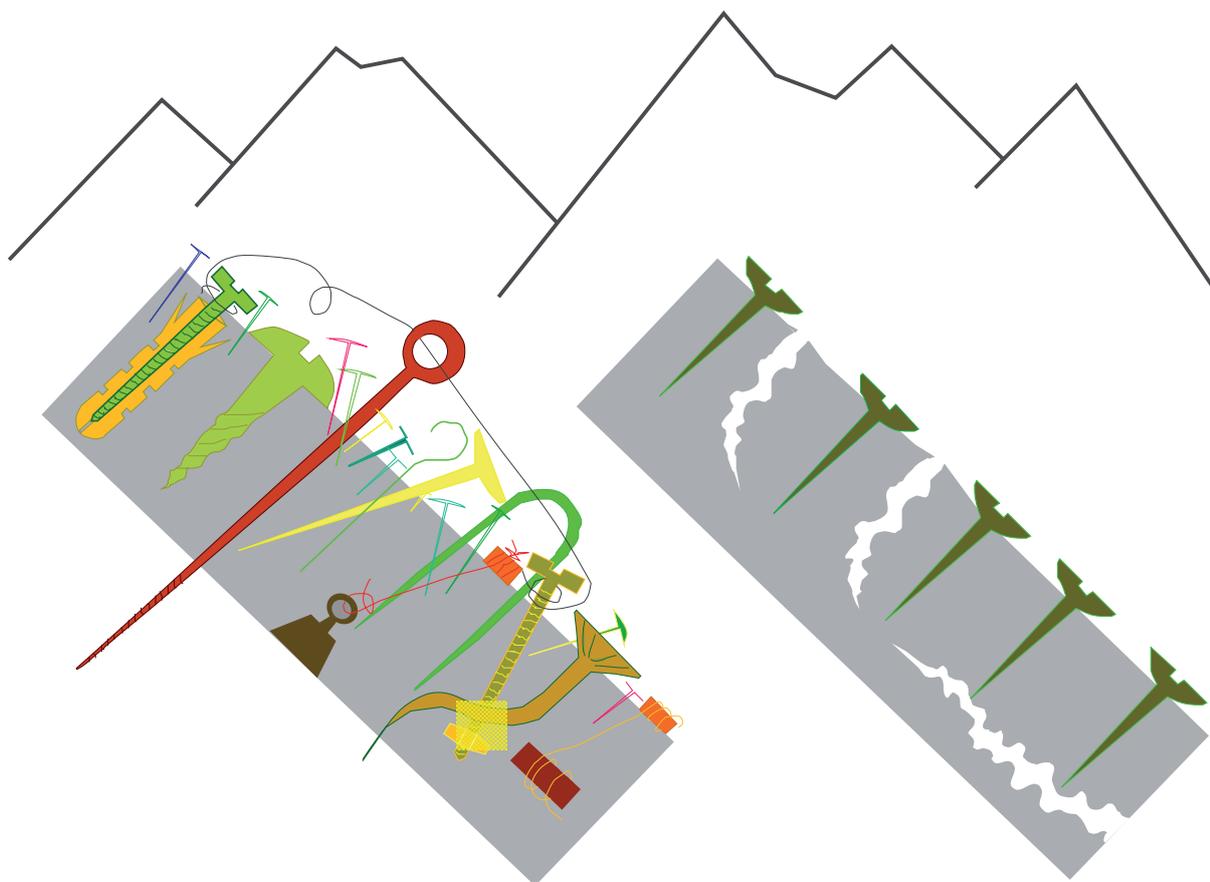


Figure 1.4 : Racines et rhizomes : stabilisateurs des sols de montagne (extrait de Global Mountain Biodiversity Assessment, 2005 in Teich *et al.*, 2007, p. 112). Pour Teich *et al.*, la théorie que des communautés végétales riches en espèces stabiliseraient plus efficacement les sols n'a pas été suffisamment expérimentée jusqu'à présent.

Le dernier volet des recherches de M. Theich *et al.* (2007), s'intéresse plus particulièrement à la question des **impacts du réchauffement climatique sur les stations de sports d'hiver et, en particulier, sur les possibilités futures d'une production de neige dans un contexte d'élévation des températures moyennes**. Les résultats présentés montrent que l'enneigement naturel n'est d'ores et déjà plus fiable sur les parties basses de quelques stations de sports d'hiver (approximativement en dessous de 1200 mètres). A l'horizon 2050, l'enneigement pourrait être également incertain aux altitudes inférieures à 1500 mètres. En ce qui concerne la production de neige proprement dite, les conditions climatiques pourraient devenir insuffisantes (pas assez de « plages de froid » permettant la production de neige) à basse altitude d'ici 2030. L'alternative pourrait alors être le déploiement des secteurs skiables vers des altitudes plus élevées.

Les impacts de la production de neige sur l'environnement : l'approche écologique d'U. Pröbstl (2006)

D'autres travaux, géographiquement plus éloignés que les précédents, complètent notre panorama (non-exhaustif) des recherches conduites à propos des interrelations entre neige artificielle et environnement. Il s'agit en premier lieu du travail réalisé par U. Pröbstl, publié en Allemagne en 2006 : « *Neige de culture et environnement* » (Pröbstl, 2006). Relevant d'une approche écologique, au sens premier du terme, cet ouvrage s'intéresse autant **aux effets sur la végétation de la production de neige qu'à la perturbation de la faune causée par le bruit des campagnes d'enneigement** (et la diffusion de lumière pour les campagnes nocturnes), ou qu'**au risque d'érosion accru par les entrées d'eau générées** ou encore qu'aux atteintes paysagères de cette pratique (par exemple, « bandes blanches » persistantes dans le paysage à la fonte des neiges ; tableau 1.2, *infra*, p. 42). Une synthèse des études conduites par l'auteur sur le long terme et une analyse critique de la littérature disponible sur le sujet constituent le corps de cet ouvrage.

Plus précisément, en matière d'impacts sur la ressource en eau, l'auteur explique que **les prélèvements sur les cours d'eau peuvent naturellement impacter les écoulements naturels, la vie aquatique et, par voie de conséquence, les chaînes alimentaires associées** (par exemple, l'avifaune). Le risque de **gel des cours d'eau sollicités doit également être pris en considération**. **Les retenues d'altitude peuvent néanmoins être une alternative à ces impacts** (*idem*, p. 95).

Sur le plan des risques vis-à-vis des eaux de fonte, U. Pröbstl note que le **nivellement des pistes de ski modifie la perméabilité des sols**. Ce fait, conjugué à d'autres facteurs, comme des précipitations extrêmes et un volume de fonte accru lors de fortes chaleurs par les quantités de neige produite, peut potentiellement accentuer le risque de crue. Les risques encourus, au regard des enjeux identifiés, devraient alors être évalués en conséquence (*ibid.*, p. 98). Enfin, l'eau utilisée pour la production de neige peut également introduire des éléments exogènes dans les écoulements naturels. Cela dépend de la qualité de l'eau utilisée. **Une eau pauvre en substances nutritives doit ainsi être privilégiée**. Par ailleurs, une attention particulière doit être portée aux risques de pollution induits par de possibles défauts (ou accidents) des installations techniques d'enneigement (compresseur, etc.). Néanmoins, à son crédit, **la « résistance » de la neige de culture (forte densité et dureté) permettrait de faire l'économie des produits de préparation des pistes de compétition** (« durcisseurs » de neige) à fort effet fertilisant et potentiellement polluants pour les

hydrosystèmes naturels (*ibid.*, p. 100).

Production de neige : altérations du réseau hydrographique, réactions du sol, répercussions sur le couvert végétal et réactions de la faune par A.-S. Demers (2006)

Les recherches conduites au Mont Orford (Estrie, Québec) par A.-S. Demers montrent combien la problématique de l'enneigement artificiel est internationale et suscite l'intérêt des chercheurs, quelle que soit la station considérée. Ces travaux de maîtrise en environnement se sont attachés à préciser les impacts de la production de neige sur quatre points particuliers : les altérations du réseau hydrographique, les réactions du sol, les répercussions sur le couvert végétal et les réactions de la faune (A.-S. Demers, 2006, p. iv). Ces travaux ont ainsi montré que, en comparaison de pistes non-enneigées artificiellement, les volumes de neige de culture représentent à la fonte un **agent supplémentaire d'érosion non négligeable**. Le profil des ruisseaux récepteurs peut ainsi être modifié par l'augmentation des crues printanières (*idem*, p. 58). Par ailleurs, une mortalité significative des arbres et arbustes situés à proximité des enneigeurs a pu être constatée, principalement due à la formation de manchons de glace sur les branches de ces derniers. Il a enfin été démontré que **les prélèvements en eau réalisés depuis un lac naturel** (l'Etang des Cérises ; photo 1.2) **perturbaient les communautés faunistiques** de celui-ci : effet de marnage et variations de température du lac perturbant de façon significative l'écosystème (*ibid.*). Des mesures visant à réduire l'ensemble de ces impacts sont alors proposées, parmi lesquelles figure celle de « *réduire le volume d'enneigement au seul besoin de précocité d'ouverture de la saison*



Photo 1.2 : Vue sur l'Etang aux Cerises (Parc du Mont Orford, Estrie, Québec ; cliché : Parc national du Mont-Orford, 2007). *Des prélèvements sont réalisés dans ce lac pour la production de neige sur les pistes de la station du Mont Orford.*

de ski » (*ibid.*, p. 48).

1.1.3. En France et à l'étranger : production de neige et changement climatique

Parallèlement à la question des impacts de la production de neige sur les milieux naturels, de nombreux travaux ont été entrepris sur la question du changement climatique⁴. Sans vouloir anticiper sur la suite de notre travail⁵, on peut néanmoins d'ores et déjà caractériser les problématiques soulevées par ces travaux. A cet égard, deux principales questions doivent être traitées et posées :

- **Quel est l'impact du réchauffement climatique sur la couverture neigeuse et, de ce point de vue, quelle est la vulnérabilité des stations de sports d'hiver ?**
- **Quelles sont les stratégies d'adaptation au réchauffement climatique des acteurs du tourisme hivernal et quelle place occupe la production de neige dans cet ensemble ?**

Parmi ces travaux, on peut citer (1) l'étude de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques, « *Changements climatiques dans les Alpes européennes - Adapter le tourisme d'hiver et la gestion des risques naturels* » (OCDE, 2007), (2) les travaux de thèse de J.-C. Loubier, « *Perception et simulation des effets du réchauffement climatique sur l'économie du ski et la biodiversité (Savoie et Haute Savoie)* » (Loubier, 2007) et (3) les recherches de M. Theich *et al.* (2007 ; cf. supra).

In fine, au regard de ce questionnement, toute **la question est de savoir si la production de neige peut être considérée comme une stratégie d'adaptation pertinente au réchauffement climatique** pour garantir la viabilité du tourisme des sports d'hiver et si elle est d'ores et déjà employée comme telle, ou non. Dès lors, les enjeux territoriaux de la production de neige dépassent la seule question de l'eau pour rejoindre les préoccupations de l'aménagement et de la gestion des territoires.

Outre la dimension climatique et au regard de l'état de l'art que nous venons de dresser, **les recherches entreprises sur l'enneigement artificiel ont montré les impacts de la pratique sur les sols, la végétation, la faune et l'eau. Dans le domaine socio-économique, c'est la question des bénéfices financiers de la production de neige sur l'économie régionale qui a focalisé l'attention des chercheurs.** Nous retenons ces éléments, déjà traités internationalement, pour la suite de nos travaux.

Par contre, la question de l'eau proprement dite n'a pas toujours été l'entrée première de ces diverses problématiques. Les recherches conduites ne l'ont parfois pas été à l'échelle fine de la station de sports d'hiver. Il faut dire que celles-ci se sont parfois heurtées à quelques difficultés, constituant des freins à la connaissance exacte de la pratique.

⁴ Qui est d'ailleurs systématiquement associée à celle de la neige de culture dans les médias.

⁵ Les effets du changement climatique global sont présentés dans le chapitre 2 (cf. p. 104). Un état de l'art de la thématique « stations de sports d'hiver et changement climatique » est précisé ultérieurement, dans la partie consacrée à ce sujet (cf. chapitre 8, p. 376).

1.2. Les freins actuels à une connaissance objective des enjeux de la production de neige

Les travaux sur la question de l'enneigement artificiel relèvent deux principaux freins : d'une part, la difficulté à collecter des informations auprès des acteurs concernés sur la pratique elle-même, et ce quelle que soit l'échelle de travail retenue et, d'autre part, l'absence de travaux réalisés à ce sujet à une échelle fine, en particulier à l'échelle d'un bassin versant support d'une station de sports d'hiver.

1.2.1. Une difficulté à collecter de l'information

En préambule de son travail d'étude et de recherche sur la question de l'enneigement artificiel à Flaine (massif du Chablais, Haute-Savoie), Y. Gosseume⁶ (2009) évoque une récolte de données longue et fastidieuse : « *entre l'usage massif de la langue de bois et la capacité récurrente de mes interlocuteurs à se référer à leurs supérieurs lors de ma collecte d'information, écrite, orale ou par rendez-vous, la récolte de données s'est parfois avérée plus longue que prévue* » (Gosseume, 2009, p. 7).

Cet état de fait corrobore les conclusions de la mission d'inspection du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (Badré *et al.*, 2009) et celles d'E. Reynard (1999). La mission d'inspection « *a eu le plus grand mal, et n'est souvent pas parvenue, à obtenir des données fiables sur les impacts environnementaux des installations existantes, notamment en matière de prélèvement sur la ressource en eau* » (*idem*, p. 6). Il est effectivement peine perdue que d'essayer d'apprécier des impacts environnementaux – au-delà, de gérer durablement les ressources en eau – sans pouvoir quantifier avec précision un usage, quel qu'il soit. Les inspecteurs notent d'ailleurs que cette situation « *favorise les polémiques, voire la désinformation, sur ce sujet sensible* » (*ibid.*). Ce dernier point nous paraît fondamental pour que puisse s'installer un réel débat constructif sur cette question et éviter les controverses inutiles. Nous l'intégrons à notre réflexion.

En 2002, pour estimer à la fois les équipements utilisés et les volumes d'eau mobilisés, T. Champion a enquêté par questionnaires auprès de l'ensemble des stations du bassin Rhône Méditerranée et Corse (Champion, 2002). Le taux de réponses à cette enquête fut de 48%. L'auteur explique que « *les relances écrites et téléphoniques n'ont pas permis de vaincre de réelles réticences et d'obtenir un meilleur résultat. Une des difficultés a été d'obtenir une base de données à jour dans un secteur où les changements semblent rapides. L'absence de données est due au refus de certains à communiquer les informations ou à l'absence sur le terrain de moyens de contrôle de l'activité (absence de compteur d'eau ou d'énergie...)* » (*idem*, p. 27).

De la même façon, E. Reynard explique en 1999 dans son travail qu'« *il est difficile d'obtenir des informations précises sur la consommation en eau pour l'enneigement artificiel* » (Reynard, 1999, p. 313) et quels que soient les sites étudiés. Selon l'auteur, les informations disponibles, lorsqu'elles le sont, sont souvent lacunaires et ne peuvent être comblées que par de « *grossières approximations* » (*idem*).

Ces trois exemples de recherche montrent bien la difficulté de collecter des informations précises sur production de neige, prélèvements en eau et autres pratiques.

⁶ Travaux conduits à l'Université de Savoie, en partie sous notre direction dans le cadre de notre recherche doctorale, aux côtés de F. Hobléa (Maître de Conférences).

1.2.2. Une absence de travaux sur l'eau et la production de neige à l'échelle du bassin versant

L'absence de travaux réalisés à l'échelle d'un bassin versant support d'une station de sports d'hiver est le second frein à la connaissance précise de l'enneigement artificiel en stations de sports d'hiver. En conclusion de son étude, T. Champion (2002) explique que, si le travail réalisé a tout de même permis d'obtenir de nombreuses informations sur une activité méconnue, « *la suite logique de cette étude serait une confrontation des résultats énoncés précédemment avec une étude de terrain afin de mieux caractériser l'impact de cette activité* » (Champion, 2002). Des données fines et à grande échelle, c'est-à-dire à l'échelle d'une station de sports d'hiver, sont alors souhaitées. Ce travail aurait pu être réalisé par E. Reynard (1999) à l'échelle de deux stations de sports d'hiver suisses, mais celui-ci s'est heurté à la difficulté de la collecte des données, comme nous venons de le voir. Par ailleurs, ce travail ne portait pas exclusivement sur la pratique de l'enneigement artificiel mais sur la gestion de l'eau dans les deux stations choisies, tous les usages de l'eau confondus.

Au regard de l'état des connaissances existant sur le sujet de l'enneigement artificiel et des freins identifiés à la connaissance précise de cette pratique, un champ de recherche s'ouvre. En effet, hormis le travail d'étude et de recherche de Y. Gosseaume (2009) et à notre connaissance, il n'existe pas, notamment en France, de travaux de recherches décrivant spécifiquement les implications d'une installation d'enneigement pour la ressource en eau et à l'échelle d'une station de sports d'hiver. Cela est particulièrement vrai si l'on se place du point de vue des impacts hydrologiques et de la conciliation des différents usages de l'eau en présence (tableau 1.3). Notre travail se propose de répondre à ce besoin de recherches et donc de contribuer à l'amélioration des connaissances en la matière. Il s'agira ainsi d'essayer d'apporter des éléments de réponses pratiques aux nombreuses interrogations que soulève cette pratique dans notre société. C'est là l'un des objectifs de notre travail.

2. OBJECTIFS DE NOTRE RECHERCHE DOCTORALE

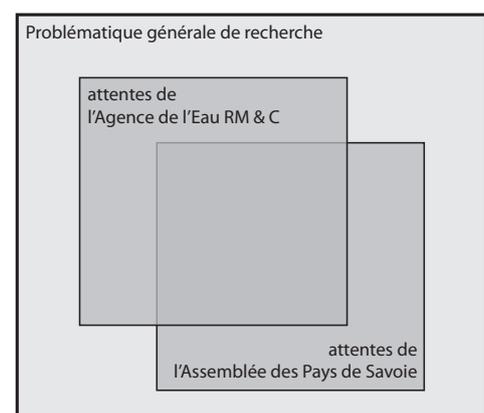
Le présent travail a bénéficié du soutien financier de l'Assemblée des Pays de Savoie (APS, Etablissement Public de coopération interdépartementale entre les Conseils Généraux de Savoie et Haute Savoie) et de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse (Etablissement Public Administratif de l'État, chargé d'initier une utilisation rationnelle des ressources en eau). Les objectifs de notre recherche répondent ainsi à une double logique (figure 1.5) : celle des attentes de nos deux partenaires d'un côté et celle du laboratoire EDYTEM de l'autre (unité de recherche interdisciplinaire).

La problématique de notre recherche se veut globale et transversale afin d'aborder la question de la production de neige et de la ressource en eau de manière la plus objective possible.

Référence :	Pays :	La production de neige comme objet d'étude :		L'eau comme entrée de la problématique :		Echelle de travail :	
		principal	secondaire	principale	secondaire	fine	large
Dinger et Dubost, 1995	Fr.	X			X	X (la station de sport d'hiver)	
Reynard, 1999	Suisse		X	X		X (la station de sport d'hiver)	
Campion, 2002	Fr.	X		X			X (le bassin Rhône Méditerranée)
Rixen <i>et al.</i> , 2002, 2003, 2004a	Suisse	X			X	X (la station de sport d'hiver)	
Demers, 2006	Québec	X			X		
Pröbstl, 2006	All.	X			X	X (la station de sport d'hiver)	
Teich <i>et al.</i> , 2007	Suisse	X			X		
Gossemaume, 2009	Fr.	X		X		X (la station de sport d'hiver)	
Badré <i>et al.</i> , 2009	Fr.	X			X		X (recherche «aterrain»)
Charnay, 2010	Fr.		X	X			X (le bassin du Giffre)

Tableau 1.3 : Caractéristiques des recherches réalisées à propos de l'enneigement artificiel en France et à l'étranger. *Ce tableau ne prétend pas à l'exhaustivité des recherches évoquant la question de la production de neige. Il s'agit d'un certain nombre d'éléments choisis par nos soins compte tenu de l'importance qu'ils occupent au regard de la problématique de nos travaux ; ils sont représentatifs des différents champs thématiques intéressant notre sujet. Au regard de ces travaux, le positionnement de notre recherche sera le suivant : la production de neige comme objet principal d'étude, l'eau comme entrée principale de la problématique, une échelle de travail fine (la station de sports d'hiver).*

Figure 1.5 : Place des attentes des partenaires financiers de la présente recherche au regard de la problématique générale de nos travaux.



2.1. Les attentes des partenaires

2.1.1. Intérêts et attentes de l'Assemblée des Pays de Savoie

Le projet de notre recherche doctorale comportait quatre objectifs principaux :

1. réaliser un inventaire et un diagnostic des équipements existants à l'échelle de l'arc alpin ;
2. faire le point sur les différents impacts de la production de neige sur l'environnement et comparer les différents modes de gestion de la ressource en eau pour cette fabrication dans différentes stations de l'arc alpin ;
3. analyser, du point de vue du changement climatique, la vulnérabilité des stations de sport d'hiver à l'évolution future de l'enneigement, pour définir des conditions pertinentes d'exploitation des systèmes d'enneigement automatique et investiguer les éventuelles interactions entre modifications de l'hydrologie de montagne et approvisionnement en eau pour la fabrication de neige ;
4. proposer des solutions pour une gestion cohérente de la ressource en eau utilisée à cet effet.

C'est sur la base de ces objectifs que notre recherche a bénéficié du soutien de l'Assemblée des Pays de Savoie.

Au-delà de l'aide apportée à nos travaux, le Plan Climat⁷ porté par le Conseil Général de la Savoie dans le cadre de la réflexion « prospective Savoie 2020 », le projet européen Alp-Water-Scarce⁸ dont certains terrains d'application se situent en territoire savoyard (notamment, le bassin versant du Haut-Arly) ou encore la prochaine tenue des « Etats Généraux de l'Eau en Montagne »⁹ à Megève (Haute-Savoie) en septembre 2010 sont tout autant d'exemples confortant l'attente des collectivités territoriales envers la question de l'eau en montagne dont la question de la production de neige.

2.1.2. Intérêt et attentes de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée & Corse

Par ailleurs, la convention de soutien à notre travail, établie entre le laboratoire EDYTEM et l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse, précise cinq axes de recherche dans lesquels notre recherche doit se situer (Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, 2008).

⁷ Le Plan Climat de la Savoie, initié par la publication d'un « livre blanc », vise à dresser un état des lieux du changement climatique en Savoie, en apprécier les impacts et à proposer des recommandations pour y faire face (Delannoy *et al.*, 2007 et Delannoy *et al.*, 2010).

⁸ Alp-Water-Scarce est un projet européen financé par le programme européen de coopération transnationale Espace Alpin 2007-2013 dans lequel sont entre autres impliqués le Conseil Général de la Savoie et l'Université de Savoie. L'enjeu principal de ce projet, regroupant des institutions autrichiennes, françaises, italiennes, slovènes et suisses, est de mettre en place des stratégies de gestion de l'eau et de créer des systèmes d'alerte précoce locaux contre les pénuries dans les Alpes (De Jong, Hohenwallner, 2008).

⁹ Organisés par la Société d'Economie Alpestre de la Haute-Savoie (SEA 74) et la Société d'Équipement du Département de la Haute-Savoie (SED 74), les Etats Généraux de l'Eau en Montagne (3^{ème} congrès international) doivent se tenir les 22, 23 et 24 septembre 2010 à Megève. Il s'agira principalement de débattre de l'idée d'une nouvelle gouvernance de l'eau en montagne face aux changements climatiques.

Ces derniers recoupent pour une large part les objectifs définis avec l'Assemblée des Pays de Savoie :

1. inventorier et analyser l'évolution dans le temps de l'enneigement artificiel et des équipements utilisés sur les bassins Rhône Méditerranée et Corse ; établir des prévisions sur les évolutions à venir ;
2. quantifier les volumes prélevés et identifier leur origine (eaux de surface, eaux souterraines) directe et indirecte (retenues collinaires) ; analyser l'utilisation des adjuvants ;
3. analyser la réglementation et son application, ainsi que les jeux d'acteurs associés ;
4. analyser l'impact de la neige de culture sur les hydrosystèmes et les écosystèmes (milieux de prélèvement, milieux de réception des eaux de fonte, impact sur les terrains enneigés, impact des retenues collinaires) ;
5. analyser et établir des prévisions sur les relations entre neige de culture et climat.

Au regard de ces axes de travail, il est également précisé que **la recherche doit être étendue à certaines données provenant de l'ensemble de l'arc alpin en Europe, et que l'analyse des impacts se fera à partir de deux terrains d'étude, l'un où il y a, a priori, peu d'impact sur le milieu et les autres usages, l'autre où cet impact est, a priori, fort (idem).**

La question de l'enneigement artificiel est effectivement une des préoccupations de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse. Cette préoccupation, outre le soutien à notre recherche, se traduit par des dispositions particulières en la matière dans le nouveau Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin hydrographique en question (Comité de Bassin Rhône Méditerranée, 2009). Celui-ci est entré en vigueur le 17 décembre 2009. Les orientations fondamentales et dispositions de ce document sont opposables aux décisions administratives dans le domaine de l'eau.

Ainsi, le SDAGE définit comme objectif, dans son orientation fondamentale n°2 – Concrétiser la mise en œuvre du principe de non dégradation des milieux aquatiques –, que « *la politique dans le domaine de l'eau mise en œuvre à l'échelle du bassin ou à des échelles plus locales vise [... à] intégrer le principe de non dégradation dans la définition des politiques reposant sur des usages nouveaux ou en développement : neige artificielle, agrocarburants, hydroélectricité...* » (idem, p. 57). Cet objectif se traduit par la disposition 2-05 : « *Tenir compte de la disponibilité de la ressource et de son évolution qualitative et quantitative lors de l'évaluation de la compatibilité des projets avec le SDAGE* ». Celle-ci précise alors que « *Pour ne pas compromettre l'atteinte des objectifs environnementaux du SDAGE, les services de l'Etat veillent à ce que tous les projets susceptibles d'impacter les milieux aquatiques tiennent compte des évolutions qualitatives et quantitatives constatées ou prévisibles des milieux aquatiques à l'échelle des bassins versants en lien [... notamment] avec les effets du changement climatique, en particulier sur la disponibilité de la ressource. Ces éléments sont en particulier à prendre en compte : dans les projets liés à des usages nouveaux ou à fort développement (exemples : production de neige artificielle, retenues collinaires...) ; [...]* » (ibid., p. 59).

La question de la production de neige occupe donc une place importante dans la politique de planification de la gestion de la ressource en eau traduite par le SDAGE Rhône Méditerranée. Elle se trouve d'ailleurs mêlée aux problématiques de l'aménagement du territoire et du changement climatique, qui font également partie des préoccupations de notre recherche.

2.2. Problématique générale : la gestion durable de l'eau en montagne

Notre recherche doctorale s'articule autour des étapes suivantes : questionnement général, problématisation, formulation d'hypothèses et de questionnements, acquisition des données (bibliographie, relevés, enquêtes), discussion des résultats et conclusion. Cette démarche constitue la méthode d'organisation de recherches.

Ainsi, compte tenu de notre questionnement général, de l'état des connaissances en la matière et des objectifs de nos partenaires, la problématique générale de nos recherches peut être formulée de la façon suivante :

La production de neige en stations de sports d'hiver peut-elle s'insérer dans un modèle de gestion durable de l'eau en montagne ?

Pour répondre à cette question, deux approches complémentaires doivent être menées de façon parallèle :

- **l'une porte sur la gestion intégrée de l'eau, c'est-à-dire la conciliation de la production de neige avec les autres usages et les milieux aquatiques ;**
- **l'autre porte sur la durabilité du mode de développement territorial qui conditionne l'usage, c'est-à-dire le modèle de développement touristique des sports d'hiver.**

En termes de durabilité du modèle de développement touristique des sports d'hiver, comme nous le verrons, c'est principalement la question du changement climatique et, dans cette perspective, de la vulnérabilité des stations de sports d'hiver qui focalisera notre attention.

Si les différents concepts auxquels font référence cette problématique et ses questions connexes (« station », « gestion intégrée », « ressource en eau », « vulnérabilité des stations », etc.) seront débattus ultérieurement (cf. chapitre 2), il convient de formuler dès à présent l'ensemble des hypothèses de travail et des questionnements support de notre raisonnement.

2.3. Questionnements et hypothèses de travail : eau - climat - territoire

Construit en s'appuyant sur un travail exploratoire, essentiellement bibliographique, le questionnement de départ de notre travail est volontairement maximaliste. Les hypothèses et questionnements qui en découlent ont été rédigés sous la forme d'affirmations : l'ensemble a pour objet de répondre au questionnement sociétal actuel sur la production de neige en station de sports d'hiver.

Il conviendra de les éprouver, c'est-à-dire de les infirmer ou de les confirmer au regard des données acquises et des études de cas réalisées dans notre thèse¹⁰. Quatre champs principaux sont ainsi questionnés : l'évolution des équipements, la ressource en eau, le changement climatique et l'aménagement des territoires.

¹⁰ Nous reprenons de cette façon le schéma organisationnelle de la thèse d'E. Reynard (1999) : il propose des hypothèses en entrée de son travail (p. 12) qu'il vérifie à la fin de celui-ci (p. 323). En ce sens, la méthodologie ici proposée n'est pas novatrice.

Evolution des équipements

1. Le nombre des installations de production de neige ne cesse de croître depuis plusieurs années. S'agissant d'une pratique relativement récente, il importe de souligner que la plupart des stations de sports d'hiver sont aujourd'hui équipées. Le développement de ces infrastructures passe désormais par des extensions régulières des réseaux existants. En corollaire, les volumes d'eau mobilisés pour la satisfaction de cet usage sont de plus en plus importants.

La question de la ressource en eau

2. Les hydrosystèmes de montagne sont fortement impactés par la production de neige au moment des étiages hivernaux : baisse significative des débits en tête de bassin versant, voire assec des cours d'eau sollicités.
3. La production de neige n'est pas suffisamment encadrée par la législation. Nouvel usage de l'eau, il n'est pas encore pris en compte par les outils de gestion institutionnels de la ressource en eau.
4. La planification des besoins en eau pour la production de neige est insuffisante et ne répond qu'à une logique de court terme. Les volumes mobilisés sont peu connus des acteurs de la gestion de l'eau. Dès lors, il n'est pas possible d'avoir une vision prospective sur les besoins futurs et de planifier la gestion de l'eau sur le long terme.
5. Les additifs utilisés pour la production de neige représentent un danger certain pour la santé publique et les équilibres environnementaux. Ils menacent la qualité de la ressource en eau.
6. Des conflits d'usage pour le partage de la ressource en eau se manifestent entre l'alimentation en eau potable et la production de neige en raison de déficits quantitatifs de la ressource. Certains territoires ont d'ores et déjà été amenés à arbitrer entre ces deux usages de l'eau. La priorité n'est pas toujours donnée à l'alimentation en eau potable ; des coupures sur les réseaux d'alimentation se sont déjà produites en raison d'une production de neige.
7. Les conflits d'usage impliquant la production de neige résultent également d'un déficit de communication entre les acteurs de l'eau en présence : les multiples utilisations de la ressource ne répondent qu'à des logiques purement sectorielles, sans aucune intégration des diverses parties prenantes.
8. L'eau stockée dans les retenues d'altitude, et destinée à la production de neige, manquera pour les territoires aval. Les logiques de solidarité amont-aval sont ainsi mises à mal. De plus, ces ouvrages sont implantés sur des zones humides. Ils détruisent donc ces écosystèmes d'intérêt majeur qu'il conviendrait de protéger. Enfin, ces ouvrages présentent des risques sérieux pour la sécurité publique. Ils ne sont aujourd'hui pas suffisamment encadrés et surveillés. En cas de rupture d'un barrage, les dégâts seraient considérables.

9. En définitif, la production de neige ne peut trouver sa place dans un système de gestion intégrée des ressources en eau, notamment du fait : des importants volumes d'eau mobilisés, des impacts hydrologiques majeurs engendrés par la modification des débits, de son arrivée tardive dans les systèmes de gestion de l'eau préexistants, de l'opacité des modes de production et des conflits pour le partage de la ressource occasionnés.

La question du changement climatique

10. La neige de culture est employée en station de sports d'hiver comme un moyen de lutte contre les effets du réchauffement climatique (raréfaction de la ressource neige).
11. Stratégie de court terme, elle est une mesure d'adaptation non pertinente au changement climatique puisqu'elle ne permettra pas de pérenniser le modèle touristique des sports d'hiver. La production de neige est en réalité un amplificateur de la vulnérabilité des stations de sports d'hiver dans la perspective du réchauffement climatique. Il s'agit d'une « fuite en avant » destinée à porter un système économique, d'ores et déjà affaibli et menacé de disparaître.
12. La production de neige dépend de deux facteurs limitants, la température et l'eau, dont les évolutions dans la perspective du changement climatique ne permettront plus de répondre aux exigences de production. D'une part, les potentialités thermiques nécessaires tendent à diminuer. L'augmentation des températures est en effet telle que la production de neige, nécessitant des températures négatives, ne pourra ainsi plus se réaliser. D'autre part, la raréfaction de la ressource en eau en montagne, du fait des évolutions climatiques, ne permettra plus de répondre aux besoins en eau de la production de neige.

L'aménagement des territoires

13. La production de neige n'est pas compatible avec les enjeux du développement durable au regard des trois piliers communément admis de ce paradigme (environnement, économie et social). Si la production de neige peut se justifier, dans une certaine mesure, dans un objectif de développement socio-économique, cette pratique est incompatible avec le pilier environnemental du développement durable.
14. De manière plus générale, la production de neige est un outil au service d'un modèle de développement touristique antinomique aux principes environnementaux du développement durable. Les parties prenantes des territoires touristiques de montagne, si elles veulent répondre aux exigences d'une gestion durable de leurs territoires, doivent se tourner vers un autre modèle, vers des formes de tourisme plus douces, plus respectueuses de leur environnement : tourisme quatre-saisons, diversification des activités, etc. Il s'agit de sortir d'un modèle « tout ski » qui a aujourd'hui atteint ses limites.

Ainsi défini, ce questionnement peut paraître excessif par son caractère affirmatif. D'une certaine façon, il présente une part de risque puisque s'inscrivant dans les écrits et discours parfois caricaturaux que nous avons pu relever sur le sujet. En réalité, il s'agit pour nous d'aborder toutes les questions qui s'inscrivent dans un débat sociétal et dont nous devons faire la part du « réel », du subjectif, de l'affirmation. Il nous paraît important de ne pas occulter ce questionnement car il est celui de la société. Il importe d'y répondre de la manière la plus objective possible.

3. LE CONTEXTE SOCIO-MÉDIATIQUE DE LA RECHERCHE ET LA MÉTHODOLOGIE ASSOCIÉE

La production de neige est une pratique qui a été et est encore l'objet de nombreuses prises de position et ce depuis déjà de nombreuses années. C'est dans ce contexte, le plus souvent polémique, que notre recherche s'inscrit. Ces débats ont été souvent repris dans les médias, qu'ils soient locaux, nationaux ou étrangers, généralistes ou spécialisés, voire spécialisés dans un tout autre domaine que celui de la montagne et des sports d'hiver.

Nous souhaitons désormais nous attacher à montrer l'intensité de ce débat, la teneur de celui-ci et l'importance de la couverture médiatique dont il fait l'objet.

3.1. Une lecture du débat sur la pratique de l'enneigement *via* l'analyse de la presse écrite

Nous commencerons par qualifier l'importance de la couverture médiatique du sujet par un rapide recensement des écrits de la presse régionale (Le Dauphiné Libéré). La teneur des débats sera ensuite explicitée par le rapport des propos tenus dans la presse nationale. Nous montrerons de cette façon que la question est présentée de façon manichéenne, si ce n'est caricaturale, et souvent beaucoup trop simplificatrice de la complexité du système en jeu.

3.1.1. Dans les Alpes, un sujet récurrent à chaque début de saison

Le Dauphiné Libéré, quotidien régional dont la diffusion porte sur les départements français alpins, est riche d'articles traitant de ce sujet. De 2007 à 2010, plus de dix articles titrant les expressions « neige de culture » ou « neige artificielle » peuvent être recensés. Il est intéressant de noter que la majorité de ces articles est parue en début de saison hivernale (mois d'octobre, novembre ou décembre) et l'ensemble pendant la saison hivernale (du mois d'octobre au mois de février) :

- « *Agriculture contre neige de culture* », par J.-F. Casanova, édition Savoie du 06/11/2007 ;
- « *Prudence sur la neige de culture* », Une de l'édition Savoie du 24/11/2007 ;
- « *Une neige de culture garantie bio* », par P. Chollet, édition Savoie du 19/12/2007 ;
- « *La neige artificielle sans artifices* », par G. Bourquard, édition Isère du 10/10/2008 ;
- « *Neige de culture : l'enquête qui dérange* », par J. Leleu, édition Savoie du 26/10/2009 ;
- « *La neige de culture, une «garantie» qui coûte cher aux stations* », par M.-A. Codron, édition Haute-Savoie du 13/02/2009 ;
- « *Ce que dit le rapport sur la neige de culture* », par P. Corto, édition Hautes-Alpes du 30/10/2009 ;
- « *Neige artificielle : un rapport officiel relance le débat* », par C. Ferrero et M. Estrangin, édition Isère du 04/11/2009 ;
- « *Gros plan sur la fabrication de la neige de culture* », par la Rédaction du Dauphiné Libéré, édition Hautes Alpes du 11/12/2009 ;
- « *Un vote serré en faveur de la neige de culture (Mieussy / Sommand)* », par la Rédaction du Dauphiné Libéré, édition Internet du 30/12/2009 ;
- « *Neige artificielle : ce que pensent les associations de protection de la nature* », par la Rédaction du Dauphiné Libéré, édition Hautes-Alpes du 22/01/2010.

Sans rentrer dans le détail de chaque article – nous le ferons pour la presse nationale qui reprend en fait exactement les mêmes thèmes que ceux développés en région –, nous retenons de ce rapide recensement que **le sujet focalise l'attention des médias locaux**. De façon récurrente, le sujet revient à l'actualité chaque année, en particulier en début de saison. Cette période correspond en fait aux dates des campagnes d'enneigement de début de saison.

3.1.2. Médias nationaux de tous horizons : dualisme des propos, simplification de la question ?

Dans les journaux d'information généralistes

A une autre échelle, la presse écrite nationale n'est pas plus en reste. A titre d'exemple, on peut en effet citer les articles du Monde « *Les additifs ajoutés à l'eau des canons à neige artificielle favorisent la pollution des sols* » (Cabret, 2004) et « *La neige de culture pèse sur l'eau et la biodiversité* » (Le Hir, 2008). Dans un autre registre, celui de la satire, le quotidien Le Canard Enchaîné titrait le 20 janvier 2010 « *La fausse neige nous prend pour des flocons* », article signé de façon humoristique par le pseudonyme de « Professeur Canardeau » (Professeur Canardeau, 2010)... Pour ce qui est de la presse étrangère, on citera pour mémoire l'article paru dans le New York Times sous le titre « *Machines let resorts please skiers when nature won't* » (Selingo, 2001). Les machines en question sont bien évidemment les installations de production de neige, objet principal de cet article.

Dans les magazines spécialisés sur la montagne... Ou la chasse !

Certains magazines français spécialisés sur la montagne n'hésitent pas non plus à se saisir du sujet. Il s'agit par exemple du magazine Montagne et Alpinisme (revue du Club Alpin Français) dont l'article « *Neige éternelle ? La neige artificielle en question* » (Lardreau, 2003) place la question de l'eau et celle du réchauffement climatique au cœur de la problématique. Le même hebdomadaire, dans son numéro de septembre 2008, s'intéressait à nouveau à cette question dans un dossier consacré à l'eau en montagne avec un encart spécial sur : « *Eau et neige de culture : où, quand, combien* » (Balay, 2008).

Dans le même registre, la revue Alpes Magazine propose, dans son numéro de mars 2008, un dossier à propos des impacts du réchauffement climatique sur les stations de sports d'hiver et sur les mesures d'adaptation que celles-ci devraient mettre en œuvre (Baudoing, 2008). Là encore, la neige de culture occupe une place de choix. Un encart, « *Les enneigeurs* », explique alors les impacts de la production de neige et des retenues d'altitude sur la ressource en eau. Il précise notamment à propos des retenues : « *De plus en plus grandes (400 000 m³ aux Arcs !), elles défigurent les paysages. Elles sont souvent construites sur des terrains plats et elles entraînent la destruction des zones humides. L'eau y étant stagnante, elle est de plus en plus javellisée [sic] pour lutter contre la prolifération de bactéries* » (Baudoing, 2008, p. 22).

Mais d'autres périodiques, dont la spécialisation n'a, *a priori*, rien à voir avec la montagne et à plus forte raison avec la production de neige, peuvent également écrire à ce propos. C'est par exemple le cas du Chasseur Français dont deux pages sont consacrées à cette question en décembre 2006 sous le titre « *Trop d'eau dans l'or blanc ?* ». Là encore, les problématiques de l'eau et du

réchauffement climatique sont au cœur du sujet ; le chapeau de ce dossier en est une excellente illustration : « *Le climat se réchauffe, la neige manque de plus en plus en montagne. Et de plus en plus, les stations la remplacent par la neige artificielle produite par des milliers de « canons » voraces en eau... Ressource limitée, conflits annoncés* » (Le Chasseur Français, 2006, p. 10).

Pour ou contre la production de neige : le manichéisme des débats

L'intérêt médiatique pour la question de la production de neige apparaît généralisé (presse locale, nationale, généraliste ou spécialisée). Les problématiques de l'eau et du réchauffement climatique y occupent le plus souvent une place majeure. En outre, certains de ces écrits n'hésitent pas à forcer le trait dans la présentation des logiques des différentes parties prenantes impliquées. Cette présentation des faits, parfois quasi manichéenne, oppose fréquemment les exigences de l'aménagement, la gestion et l'exploitation des domaines skiables à celles de la gestion et la protection de l'environnement. Les enjeux du débat, pourtant complexes, se résument ainsi parfois à « Pour ou contre la production de neige ? ». C'est ce qui ressort de la lecture de l'article du 12 avril 2004 publié sur le site Internet du journal *L'Express* (Biais, 2008). Dans celui-ci, à la question « *Interdire les canons à neige ?* », deux parties sont présentées : « *POUR, Jacques Guillot, Maire de Chamrousse, Président de Ski-France, «C'est la seule façon d'assurer la rentabilité des stations»* » et « *CONTRE, Jean-Yves Vallat, Vice-président de la Fédération de la Savoie pour la pêche et la protection du milieu aquatique, «Les montagnes ne sont pas des châteaux d'eau !»* » (*idem*).

De façon moins explicite, cette opposition se retrouve fréquemment dans d'autres articles. Il s'agit par exemple de l'édition Hautes-Alpes du *Dauphiné Libéré* du 22 janvier 2010, dont la une titrait « *Pas de répit pour les canons à neige* ». D'un côté, à la question « *Pourquoi la neige naturelle ne semble pas suffire* », les arguments relatifs aux exigences d'exploitation d'un domaine skiable sont avancés par les responsables des stations des Orres, de Montgenèvre, de Serre-Chevalier, d'Orcières 1850, de Pra-Loup et de Risoul (Batard et Tichet, 2010). De l'autre côté, sur la même page mais dans un encart dédié à cet effet, les arguments relatifs aux impacts environnementaux, et notamment les impacts sur l'eau, sont présentés par deux responsables d'associations de protection de la nature pour remettre en question cette pratique.

En réalité, cette simplification du débat, qui consiste à justifier la pertinence des installations d'enneigement pour des raisons économiques et, au contraire, à la condamner pour des raisons environnementales, masque la complexité du système en jeu, relevant justement d'une multiplicité de paramètres sociétaux, économiques et environnementaux interdépendants les uns des autres.

Une propension à la désinformation ?

Par ailleurs, en parallèle de cette présentation souvent trop simplificatrice de cette question, on peut aussi noter une certaine tendance à la désinformation, principalement (mais non exclusivement¹¹) véhiculée par des écrits de la presse numérique.

¹¹ On note également cette tendance dans les discours politiques. C'est, nous semble-t-il, le cas d'un des éléments du programme d'Europe Ecologie aux dernières élections régionales : « *dans le domaine touristique, mettre fin aux équipements lourds, surdimensionnés pour une utilisation un mois dans l'année : ports de plaisance qui bétonnent les côtes pour des bateaux qui naviguent peu, projets immobiliers spéculatifs qui défigurent les paysages, canons à neige qui appauvrissent les ressources en eau pour maintenir sous perfusion des stations ouvertes quelques semaines par an* » (Europe Ecologie, 2010).

Ce fut notamment le cas d'une série d'articles publiés sur Internet au mois d'avril 2007, dont les titres semblent peu raisonnables s'ils ne sont pas nuancés. On peut citer pour exemples :

- « *La production de neige artificielle détériorerait l'eau des Alpes* », par C. Avignon dans le Journal de l'environnement, le 23/04/2007 ;
- « *Les canons à neige dessèchent-ils les Alpes ?* », par V. Fingal dans Le Matin, le 19/04/2007 ;
- « *Les canons à neige assècheraient les Alpes* », par E. Studer dans Le Blog Finance, le 19/04/2007.

Outre le vocable utilisé (les verbes « détériorer », « dessécher » et « assécher »), quelque peu alarmiste, c'est ici plutôt la question de l'échelle qui interroge : la production de neige menacerait-elle effectivement l'eau des Alpes tout entières ? En réalité, ce n'est pas tant l'information initiale qui est ici à questionner – la production de neige interfère évidemment avec les ressources en eau puisqu'elle en est, par définition, usagère – mais plutôt la décontextualisation de l'affirmation qui la rend alors aussi vraie que fausse. Egalement publiés au mois d'avril 2007, les propos tenus dans l'article « *Les canons à neige menaceraient les Alpes* » du journal La Liberté du 19 avril 2007, quotidien suisse romand édité à Fribourg, nous confortent dans cette idée : « *dans les Alpes françaises, le niveau d'eau des rivières concernées [par l'enneigement artificiel] a baissé en hiver de 70% par rapport aux années d'avant les canons à neige* » (La Liberté, 2007). Sans plus de précisions spatio-temporelles, cette information nous paraît être parfaitement trompeuse.

Finalement, l'engouement médiatique autour des questions relatives à la pratique de l'enneigement artificiel (figure 1.6) est assez révélateur du **débat public et de la passion qui s'est emparée du sujet. Dans ce débat, les problématiques du réchauffement climatique et de l'eau – deux éléments également surmédiatisés par ailleurs – se mêlent.** Elles y occupent aujourd'hui, de façon d'ailleurs légitime, une place majeure.

Mais dans ce contexte passionné, certaines présentations des faits sont parfois simplistes, voire caricaturales, et peuvent parfois perdre presque toute rationalité. **Cela nous invite à prendre du recul sur ces écrits, à garder le sens critique.**

En réalité, il est possible de penser que **le débat socio-médiatique sur la production de neige est symptomatique du questionnement actuel sur le devenir du modèle de développement touristique des sports d'hiver, au regard des préoccupations écologiques et économiques de notre société.** Dans ce cadre, on peut ainsi avancer l'idée d'un véritable effet catalyseur de la pratique de l'enneigement sur les débats liés à l'avenir des sports d'hiver.

Au-delà de cet aspect des choses concernant l'ampleur du débat, ce relais médiatique – il s'agit bien d'un relais dans le sens où il s'appuie sur les arguments des uns et des autres – participe à la création d'un climat de défiance autour de la question de l'enneigement artificiel. Dans ce climat, les positions des diverses parties prenantes¹² tendent, sinon à se radicaliser, au moins à se durcir. « *Entre prospecteurs d'or blanc et partisans de la «piste verte», les positions semblent irréconciliables. Dans les Alpes, cette impasse au sommet appelle pourtant une solution d'urgence* » explique R. de Vendeuil en introduction de son article dans l'Express du 17 janvier 2005 intitulé « *Le mal des montagnes* » à propos des impacts environnementaux liés à l'aménagement de la montagne (Richard de Vendeuil, 2005). Ces oppositions se retrouvent en particulier dans le choix des mots que chacun emploie pour discuter des enjeux que la neige de culture représente.

¹² Nous aborderons les logiques et les argumentaires des différentes parties prenantes ultérieurement, dans une partie consacrée à cet effet (cf. chapitre 4).

3.2. « Neige de culture » contre « neige artificielle » : la sémantique prise à partie

3.2.1. Un des choix des mots révélateurs des conceptions et des positions

Effectivement, du point de vue de l'argumentaire des différentes parties prenantes, même la sémantique semble prise à partie : « *La sémantique elle-même révélait ces clivages, confrontant «neige de culture» et «neige artificielle», «enneigeurs» et «canons à neige»* » expliquent les premières lignes de la première page du rapport « Neige de culture » du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (Badré *et al.*, 2009, p.1).

Dans une note publique, adressée justement aux Inspecteurs de l'environnement qui ont conduit ce travail, M. Maillet, membre de la mission Montagne de « France Nature Environnement »¹³, résume de façon explicite les raisons de la ferme opposition des associations de protection de l'environnement à l'emploi des termes « neige de culture ». Ses propos méritent d'être ci-dessous fidèlement reproduits car parfaitement détaillés sur ce point :

« La substitution du terme «artificielle» pour celui «de culture» pour qualifier la neige fabriquée dans le but de permettre la pratique du ski de piste mérite l'examen.

Le qualificatif artificiel – «produit par le travail de l'homme» - conviendrait parfaitement à cette neige fabriquée par l'homme, au même titre que la lumière artificielle (personne n'a jusqu'à présent parlé de «lumière de culture»). Cependant l'autre sens d'artificiel – selon le Larousse : «se dit de ce qui trompe en cachant ou corrigeant la réalité, de ce qui ne paraît pas naturel» suscite une connotation péjorative, sans doute peu favorable à l'image du ski, comme pratique d'un sport nature.

Le terme culture possède une multitude de sens. Appliqué à la neige, il ne correspond pas à l'ensemble des définitions relevant de l'enrichissement de l'esprit, de l'éducation, de la connaissance. Quoique la confusion profite à l'activité. Le terme indéniablement se rapproche davantage de l'action de cultiver. Il s'agit d'un usage impropre puisque la notion s'applique à la culture du sol et des plantes et on ne voit aucune de ces pratiques (conscientes) dans la pulvérisation de neige par l'intermédiaire de canons.

Reste la notion de culture au sens biologique – «la culture microbienne» - que nous ne pouvons pas définitivement écarter (voir plus loin à propos du Snomax) mais qui manifestement ne colle pas aux propos des gestionnaires des stations qui jurent de ne rien inoculer dans l'immaculée nature.

Nous concluons que le terme impropre de culture a été substitué au terme correct d'artificiel à des fins psychologiques et mercantiles. Derrière la culture, il y a bien artifice » (Maillet, 2008).

Si le Larousse est ci-dessus cité, la lecture d'un autre dictionnaire, Le Petit Robert (Rey-Debove et Rey, 1993), peut également nous aider dans la détermination des termes appropriés pour qualifier la neige produite en stations de sports d'hiver. Les définitions des mots « artificiel » et « culture », pour ce qui est des sens concernant notre objet (sans oublier l'évidente dimension culturelle, humaniste et intellectuelle du mot « culture »), sont ci-dessous reprises :

ARTIFICIEL, IELLE [...] adj. – 1370 ; lat. *artificialis* 1. Produit par la technique, par l'activité humaine finalisée, et non par la nature. → **fabriqué, factice**. (Opposé à *naturel*) *Lac artificiel. Lumière artificielle. Fleurs, plantes artificielles. Satellite artificiel.* [...] Obtenu par des opérations diverses à partir de produits naturels. *Textiles artificiels et textile synthétiques. Soie artificielle. Colorant, arôme artificiel.*

¹³

France Nature Environnement est une fédération d'associations, reconnue d'utilité publique, de protection de la nature et de l'environnement. Elle rassemble près de 3000 associations en France métropolitaine et en Outre mer.

CULTURE [...] n.f. – 1509 ; a. fr. *couture* XII^e ; lat. *cultura*. **1. 1.** Action de cultiver la terre ; ensemble des opérations propres à tirer du sol les végétaux utiles à l'homme et animaux domestiques. → **agriculture**. *Culture d'un champ, d'un verger, d'une exploitation. Travaux de culture*. [...] **3.** Action de cultiver (un végétal). → agrumiculture, arboriculture, céréaliculture, floriculture, horticulture [...]. *Culture des céréales, de la vigne ; culture fruitière, culture maraîchère* [...]. **II.** (1878) *Culture microbienne* (ou *bactérienne*) : méthode consistant à faire croître des micro-organismes en milieu approprié ; les micro-organismes ainsi obtenue. *Bouillon de culture* (→ aussi **hémoculture**)...

Ainsi, si l'on devait prendre pour garant de la justesse des deux expressions en question un dictionnaire de la langue française, notre choix se tournerait vraisemblablement pour « neige artificielle ». Effectivement, ni l'action de cultiver la terre, ni celle de cultiver un végétal ne semble appropriée à la neige produite sur les pistes de ski. En outre, la neige sur laquelle nous travaillons est effectivement produite en station par la technique, par l'activité humaine et non par la nature. C'est exactement le sens d' « artificiel » au sens strict du terme. D'ailleurs, on retrouve également l'adjectif « artificiel » dans les termes employés à l'étranger pour désigner la neige produite sur les pistes de ski (tableau 1.4).

France, Suisse romande	neige de culture, neige artificielle	enneigreur, canon à neige	enneigement de culture, enneigement artificiel, enneigement automatique, enneigement technique
Allemagne, Autriche, Suisse alémanique	Kunstschnee, Kompaktschnee	Schneekanone, Schneeerzeuger	Kunstbeschneigung, Technische Beschneigung
Etats-Unis, Angleterre	man-made snow, artificial snow	snow guns, snowmaker, snow cannons	snowmaking
Italie, Suisse italienne	neve artificiale	cannone da neve	innevamento artificiale
Espagne	nieve artificial	cañón de nieve, cañón innivador	innivación artificial

Tableau 1.4 : Les principaux termes employés en France et à l'étranger pour qualifier la production de neige en station de sports d'hiver.

Néanmoins, **la préférence des opérateurs de domaine skiable pour « neige de culture » est justifiée** dans un document d'information sur la neige de culture édité par leur chambre syndicale, le Syndicat National des Téléphériques de France (SNTF) :

« Pour la petite histoire, les professionnels ont choisi de bannir du langage courant l'expression de «neige artificielle» au profit de celle de «neige de culture», car la neige fabriquée n'est rien d'autre que de l'eau transformée en cristal sous l'effet des basses températures. De même, le terme de «canon à neige» est remplacé par celui d'«enneigreur» en raison de la haute technologie des équipements. De plus, le terme est plus approprié au contexte du tourisme » (SNTF, 2009).

L'argumentaire n'a pas changé puisque en 1976, le premier article de la revue *Aménagement et Montagne* (aujourd'hui *Montagne Leaders*), entièrement consacré à la « neige de culture », expliquait :

« Il faut noter qu'il n'a jamais été question d'additif chimique dans la fabrication, qu'il s'agisse du système à air comprimé ou du système à ventilation : d'où le terme culture et non pas artificiel » (Rocher-Revol et Fourrat, 1976, p. 54)

Il est effectivement vrai que pour le public les termes « neige artificielle » peuvent laisser suggérer l'emploi de produits chimiques pour produire de la neige. Cette idée se vérifie très souvent, à l'écoute des premières remarques publiques dès que la question de la neige de culture est évoquée dans un débat. La lecture des commentaires citoyens passionnés aux articles publiés sur le sujet sur Internet confirme également que beaucoup associent « neige artificielle » à « neige fabriquée à l'aide de produits chimiques ». Pour les opérateurs touristiques, pour lesquels la question de l'« image » est essentielle, il s'agit donc de couper court à toute idée fausse sur la question pouvant nuire à l'attractivité de leur produit, en l'occurrence celle du ski : « *La neige de culture souffre d'un important déficit d'image lié pour l'essentiel à une sous-information. Le SNTF engage une campagne d'information dès la saison 2008/09 à l'intention de la clientèle et des salariés des domaines skiables* » (SNTF, 2008). L'enjeu de cette campagne d'information, et des autres opérations similaires, est ici de protéger l'image de la montagne qui pourrait effectivement être ternie par l'idée d'une production « chimique » de neige. Dans cette logique, certains opérateurs de domaine skiable ont également pris l'initiative de communiquer individuellement à ce sujet (figure 1.7).



Figure 1.7 : Reproduction d'une série d'autocollants d'information sur la neige de culture édités par la station de Méribel Alpina (Méribel Alpina, 2007)

3.2.2. Des mots révélateurs des représentations ?

Le choix des mots pour désigner la neige produite sur les pistes de ski n'est en rien futile : **il constitue une intéressante grille de lecture des positions et des rapports des différentes parties envers cette neige et ce qu'elle véhicule.** Ainsi, si l'ensemble des documents publiés par des associations de protection de l'environnement, globalement à « charge » pour la production de

neige, n'emploie exclusivement que les termes « neige artificielle » (par exemple, CIPRA, 1989 ; Moutain Wilderness, 2005 ; CIPRA France *et al.* 2006 ; CIPRA France *et al.*, 2009), l'ensemble des documents d'information édités par les opérateurs de domaine skiable ou leur chambre syndicale n'utilise que les termes « neige de culture » (par exemple SNTF, 2006 ; Méribel Alpina, 2007 ; SNTF, 2008). On retrouve en fait les prises de position tranchées que nous avons retenues des articles des médias. Mais ces oppositions sont également pregnantes dans les échanges entretenus en public sur le sujet.

A titre d'exemple, lorsqu'un opérateur de domaine skiable demande, à l'occasion d'une réunion dans le cadre du SAGE du Drac et de la Romanche, que soit remplacé dans les documents proposés, à propos des prélèvements en eau pour la production de neige, le terme « consommer » par « emprunter de l'eau à la nature », c'est toute la perception de l'impact de la pratique qui est, de façon sous-jacente, mise en jeu. En effet, les arguments alors avancés sont, d'une part, que l'eau mobilisée retournera au cycle de l'eau à la fonte des neiges et, d'autre part, que la neige de culture peut avoir des effets bénéfiques pour les milieux naturels en protégeant la végétation des pistes. A cette demande, un représentant de l'ONEMA objecte qu'« emprunter de l'eau à la nature » est une déformation de la réalité, qu'il n'est pas possible de parler d'effet bénéfique pour l'environnement dans la mesure où les opérations réalisées ont pour conséquence une artificialisation progressive des fonctionnements hydrologiques naturels... Le choix des mots a donc son importance et le verbe « prélever », plus objectif que « consommer » ou « emprunter de l'eau à la nature », sera finalement préféré (SEPIA Coneils, 2009, p. 5).

3.2.3. D'artificiel à culture, quelques dates des mots

A propos de l'historique des termes, J.P. Husson explique dans un support de cours sur la neige de culture à destination des étudiants de la filière montagne de l'Université de Savoie : « Neige artificielle : 1^{ère} appellation, plutôt péjorative. Neige automatique : 2^{ème} appellation, connotation industrielle, mais la plus juste ! Neige de culture : 3^{ème} appellation » (Husson, 2006). Effectivement, on retrouve « neige artificielle » dès 1962 dans le numéro 183 de la revue *Le Ski* : « De la neige artificielle pour skier. Dans un proche avenir, des milliers de skieurs vont pouvoir s'adonner à leur sport favori, même si la neige faisait défaut » (*Le Ski*, 1962, p. 105 ; photo 1.3).

La première apparition de « neige de culture » que nous avons pu trouver est plus récente. Il s'agit de l'article d'Aménagement et Montagne de 1976, que nous mentionnions précédemment, traitant de l'inquiétude des responsables

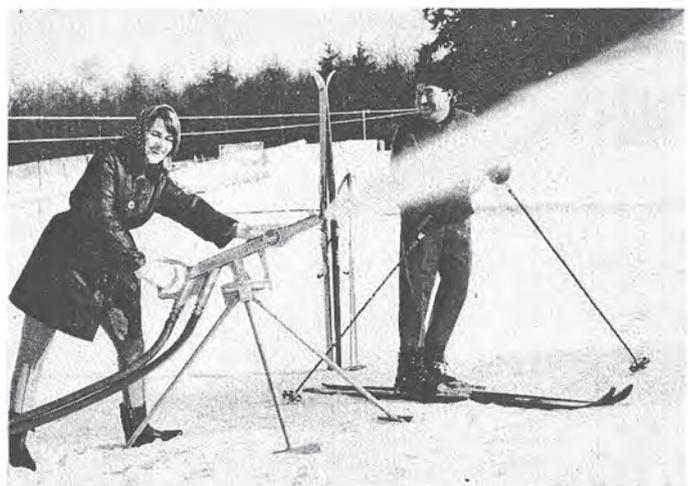


Photo 1.3 : Premier enneigeur au « champ de neige » du Chalet-à-Gobet, à proximité de Lausanne, Suisse (cliché : auteur inconnu, in *Le Ski*, 1962, p. 105). « De la neige artificielle pour skier. Dans un proche avenir, des milliers de skieurs vont pouvoir s'adonner à leur sport favori, même si la neige faisait défaut. En effet, AMF (Genève) a obtenu les droits de fabriquer et de vendre dans tous les pays, à l'exception de l'Amérique du Nord, une « machine à faire de la neige », mise au point par la Société Larchmont Engineering, Inc. » (p. 105)

de station devant le problème de l'enneigement et des solutions pour y faire face, dont la neige de culture (Rocher-Revol et Fourrat, 1976, p. 54).

Le terme « neige de culture » est d'ailleurs repris peu après par R. Knafou (1977) dans son ouvrage de référence sur les stations intégrées de sports d'hiver des Alpes françaises : « *Flaine : à 1800 m, on pose en bordure d'une piste de ski les canalisations qui permettent de produire de la neige de culture* » (p. 52). Quant au terme « neige automatique », on le retrouve rarement dans la littérature. Il a néanmoins bel et bien été utilisé comme en témoigne l'inscription présente sur l'« usine à neige » de la station savoyarde de Méribel Mottaret (bâtiment abritant les compresseurs d'air et d'eau, et le poste de contrôle de l'ensemble des installations permettant la production de neige ; photo 1.4).



Photo 1.4 : Panneau à l'entrée de l'« usine à neige » de Méribel-Mottaret (cliché : P. Paccard, septembre 2009). Ne figurent sur ce panneau les termes « neige artificielle » ou « neige de culture » mais « enneigement automatique » !

3.2.4. Les contrepieds au débat sémantique

Pour conclure sur cette analyse du choix « des mots » pour désigner la production de neige, deux initiatives intéressantes sont à relever tant elles prennent précisément à contrepied ce débat sémantique.

Il s'agit tout d'abord de l'initiative portée par la “**Société d'Economie Alpestre de la Haute-Savoie**”, dont les rencontres organisées en 2009 entre acteurs de l'aménagement de la montagne et de la gestion de l'eau visaient à établir un guide de bonne pratique pour « *Concilier la culture de la neige avec l'eau et les milieux aquatiques* ». Il ne s'agit donc plus ici de neige de culture mais bel et bien de « culture de la neige », définie comme « *l'ensemble des pratiques mises en œuvre par les gestionnaires des domaines skiables alpins et nordiques pour assurer la bonne adaptation et la conservation du manteau neigeux pour les pratiques sportives* » (SEA, 2009). Les pratiques en question sont ici principalement le terrassement et le damage des pistes de ski, l'utilisation de durcisseurs de neige pour la préparation des pistes de compétition et la production de neige de culture.

La deuxième démarche à relever est celle développée pour la saison 2009-2010 par la station de **Serre-Chevalier**. Intitulée « *Neiges de culture* », elle est un autre clin d'œil à cette question du choix des mots (photo 1.5). D'ailleurs, à ce propos, l'édition des Hautes-Alpes du Dauphiné Libéré du 13/11/2009 nous explique que « *dès le 12 décembre, le plus grand domaine skiable des Alpes du Sud va également devenir la première et seule station de ski au monde à faire tomber des*

flocons de culture ! Et ça n'a rien à voir avec des canons à neige nouvelle génération » (Gavoille, 2009). Effectivement, il ne s'agit ici pas de neige de culture au sens où nous l'entendons mais d'affichages culturels développés sur l'ensemble du domaine skiable visant notamment à faire découvrir la culture, les valeurs et l'histoire de la vallée de Serre-Chevalier, en l'occurrence la vallée de la Guisane. C'est la recherche de l'innovation dans le produit ski pour se démarquer de la concurrence qui est la principale motivation de cette démarche.



Photo 1.5 : Promotion pour les « neiges de culture » de Serre-Chevalier (cliché : P. Paccard, janvier 2010). *Sous le téléphérique du Prorel et la passerelle de la piste Vauban, reliant le centre ville de Briançon au domaine skiable, un panneau publicitaire sur le produit « Neiges de culture » développé par la station de Serre-Chevalier. Cette appellation prend à contrepied le débat sémantique « neige de culture » ou « neige artificielle » !*

Notre recherche traite, nous l'avons compris, d'un objet médiatique et sujet à controverse. L'obtention d'informations, la collecte de données, la réalisation d'enquêtes, etc. sur un sujet « brûlant », où les enjeux sont parfois politiques et les partis-pris quasiment manichéens, impliquent ainsi de faire des choix méthodologiques particuliers. De façon pratique, il s'agit de pouvoir acquérir l'ensemble des éléments nécessaires à la vérification de nos hypothèses de travail et à la résolution de notre problématique. Ceci nécessite la coopération d'un certain nombre d'acteurs, en particulier celle de gestionnaires de stations de sports d'hiver, et un important travail de communication sur les objectifs universitaires de notre recherche, avant de pouvoir avoir accès aux ressources sollicitées.

3.2. Orientations méthodologiques

Conscients du caractère sensible de notre objet de recherche, nous avons d'emblée souhaité l'aborder de manière objective et dépassionnée. Pour ce, on l'adossera à une approche systémique des différents paramètres en jeu et de leurs interrelations, ainsi qu'à un travail de terrain à différentes échelles d'analyse.

3.2.1. Approche objective et dépassionnée

« Je prône [...] une certaine laïcité pour répondre à ces questions complexes » répondait C. Faure, Président du Directoire de la Société des 3 Vallées, à d'insistantes questions d'une modératrice à propos du « problème de la neige artificielle [sic] » lors du forum de Courchevel dans le cadre des Ateliers de la Terre 2010 (4, 5 et 6 février 2010). Cette « laïcité », au sens de la séparation de l'objectif et du subjectif, est une des premières orientations méthodologiques de notre démarche. Il importe en effet que des relations de confiance puissent être tissées avec les acteurs engagés sur cette question pour obtenir les informations nécessaires à une approche pragmatique et la plus objective possible. Cette relation de confiance passe non pas par une approche diplomatique mais par une présentation claire et sereine de notre objet de recherche et une volonté d'objectiver les débats.

Dès lors, pour réaffirmer d'une part notre souhait d'objectivité sur le sujet et pour répondre, d'autre part, au débat sémantique précédent, nous emploierons indifféremment dans notre texte les termes « neige de culture » ou « neige artificielle », comme nous avons d'ailleurs commencé à le faire. Nous assumons ce choix, d'autant qu'il ne revêt pas d'importance à notre sens si la part des choses peut être faite en matière d'incidences socio-économiques ou environnementales, ce qui est précisément l'objet de notre recherche. Il ne s'agit pas d'un renoncement mais, au contraire, l'affirmation d'une volonté de dépasser ce débat pour contribuer de façon constructive aux recherches et applications relatives à la gestion de l'eau et des territoires de montagne.

Même si cela risque de peser sur la rédaction et la lecture de notre thèse, nous essaierons autant que faire ce peut d'employer « production de neige » en lieu et place de « neige de culture » ou « neige artificielle ». Les mots du titre de celle-ci, « Le cas de la production de neige en station de sports d'hiver », affiche notre volonté d'indépendance par rapport aux arguments partisans des uns ou des autres.

3.2.2. Approche systémique

Le sujet traité ne peut être isolé et déconnecté de son environnement qu'il soit géographique, hydrologique, climatique ou socio-économique. L'approche systémique est donc choisie comme méthode d'appréhension de notre objet d'étude et des différents paramètres le concernant. C'est la deuxième orientation méthodologique de notre travail. Il s'agit dans un premier temps de mieux pouvoir cerner les nombreuses interactions qui peuvent exister entre la pratique étudiée, le milieu, les prélèvements, les acteurs, etc. Les réponses aux questions posées pourront ainsi être envisagées de façon globale et intégrée, et non de façon analytique et sectorielle. L'intérêt de l'approche systémique réside effectivement dans l'outil d'analyse que celle-ci met à notre disposition pour appréhender la complexité du système étudié. C'est ainsi que nous travaillerons non seulement à plusieurs échelles (station de sports d'hiver, bassin versant, arc alpin) mais également sur les

interactions existant entre notre objet d'étude et les autres usages de l'eau, le climat, l'économie, nos systèmes de gestion de la ressource, le fonctionnement hydrologique des bassins versants de montagne, etc.

D'un point de vue théorique, notre système peut être défini comme constitué de la pratique étudiée, la production de neige, et de ses interrelations avec les différents paramètres des composantes (ou sous-systèmes) « eau », « climat » et « socio-économie » en jeu (figure 1.8, *infra*, page 66). Pour résumer les dépendances et interdépendances entre les éléments de notre système, il faut prendre en compte chacune des composantes intervenant dans la production de neige artificielle et ses impacts socio-économiques. Ainsi, si l'eau est une ressource indispensable à la production de neige, celle-ci peut être en retour impactée par cette même production. D'un autre côté, ce sont certains facteurs climatiques qui conditionnent à la fois la disponibilité des ressources en eau, la production de neige en elle-même (besoin de températures négatives) et les variations de l'enneigement naturel, qui sont d'ailleurs une des raisons principales du développement des installations d'enneigement.

Les interrelations entre la production de neige et la composante socio-économique sont également prégnantes. La production de neige peut être appréhendée comme un outil de développement du modèle touristique des sports d'hiver mais également comme un facteur de spécialisation de ce même modèle, dont l'effet pourrait être d'en augmenter sa vulnérabilité. Le modèle touristique des sports d'hiver, et notamment la station de sports d'hiver, peut être quant à lui inclus dans l'ensemble plus grand que sont les territoires de montagne. Enfin, le système peut être « bouclé » par les échanges qu'entretiennent à la fois le climat et les territoires (le climat est un facteur déterminant de la construction de notre société, qui interfère désormais elle-même avec les grands équilibres climatiques), et les territoires et l'eau (on peut penser qu'une gestion intégrée des territoires passe par une gestion intégrée des ressources en eau, et vice versa).

Finalement, ce n'est qu'une fois que tous ces éléments du système sont posés que l'on perçoit la complexité de cette question. Du coup, les controverses paraissent hors de propos car ne travaillant pas à cette échelle d'analyse. Elle est à notre avis la seule qui force à objectiver les débats. L'équilibre du système en jeu est alors dépendant des échanges entretenus entre tous les éléments de celui-ci. Ce sont précisément ces échanges que nous nous proposons de questionner en essayant de répondre à l'ensemble des hypothèses de travail préalablement définies.

Néanmoins, notre travail ne prendra pas la forme d'une analyse systémique proprement dite, consistant « à définir les limites du système à modéliser, à identifier les éléments importants et les types d'interactions entre ces éléments, à déterminer les liaisons qui les intègrent en un tout organisé [...] et à faire ressortir notamment les variables de flux, variables d'états et les boucles de rétroaction positives et négatives » (De Rosnay, 1975). Cette méthode a été appliquée de façon explicite par B. Charnay dans le cadre de ses travaux sur la gestion intégrée des ressources en eau sur le bassin versant du Giffre (Charnay, 2010). Elle a démontré sa pertinence quant à l'analyse d'un système relatif à la gestion de l'eau. Dans la sphère de nos travaux, il s'agira plus d'un cadre méthodologique, c'est à dire d'une idée directrice. Ce point de repère permettra de toujours considérer l'ensemble des éléments dans leur globalité et de peser justement les réponses à notre problématique au regard de cette complexité. Autrement dit, compte tenu de la multifactorialité de l'équilibre du système ci-dessus décrit, les solutions à envisager ne pourront, *a priori*, pas être simplistes.

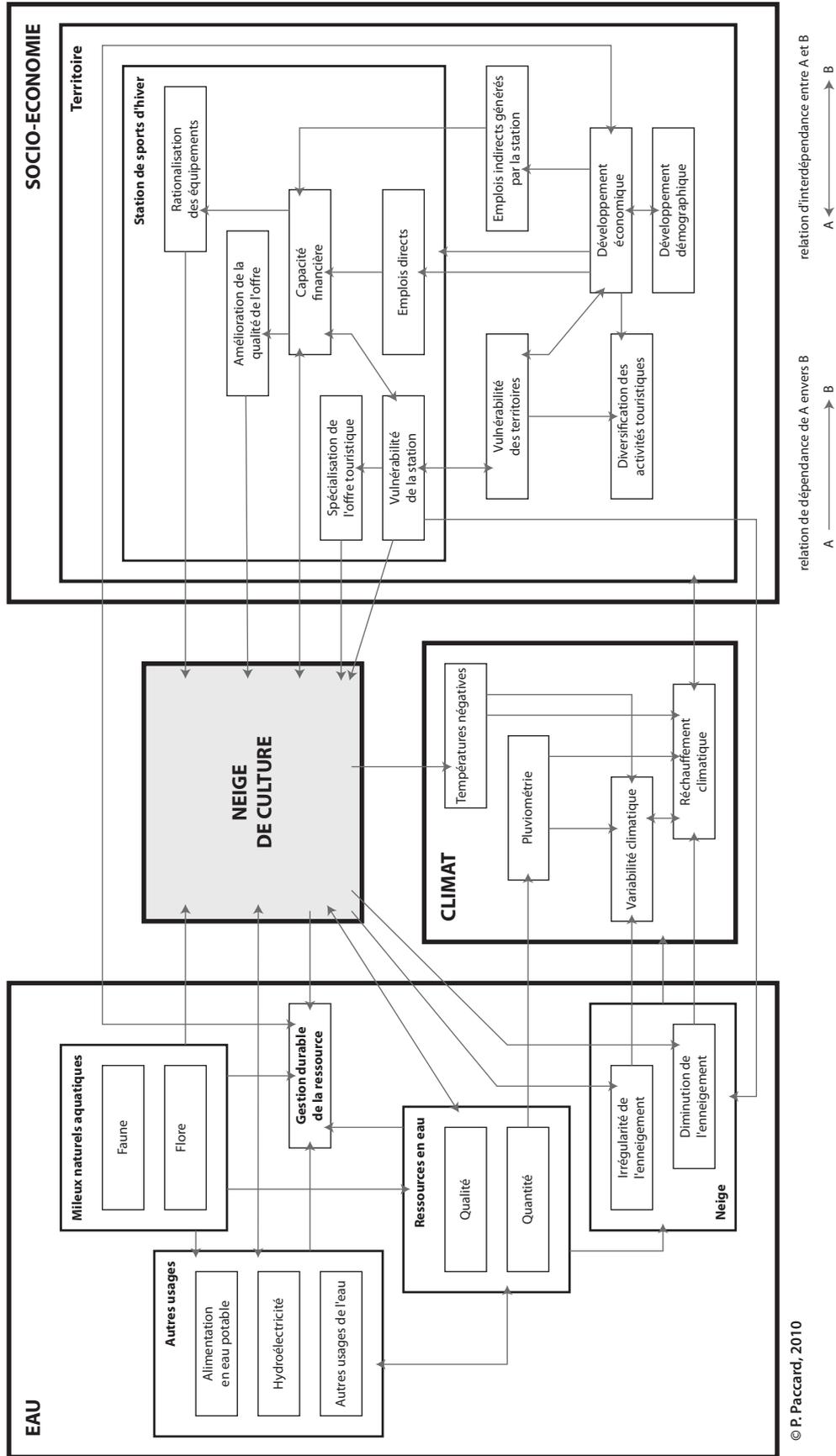


Figure 1.8 : Essai de représentation systémique simplifiée des relations entre la production de neige et les différentes composantes « eau », « climat » et « socio-économie »

3.2.3. Approche de terrain

La volonté d'appliquer notre problématique à la réalité concrète du terrain est la troisième orientation de nos travaux. L'idée est ici non seulement de tester de façon concrète nos hypothèses de travail et de renforcer l'opérationnalité de notre recherche, dans le sens de l'aide à la décision. La recherche conduite s'appuie en réalité sur une double approche de terrain.

A grande échelle : trois stations de sports d'hiver

Il s'agit en premier lieu d'un travail mené à grande échelle (dans le sens géographique), c'est à dire sur de petits territoires :

- des investigations menées sur trois stations de sports d'hiver (Orcière-Merlette, Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors et Courchevel ; nous justifierons ultérieurement le choix de ces stations) ;
- des investigations ponctuelles sur d'autres stations (Serre-Chevalier, Chamrousse ou Les Arcs par exemple).

Ce pan de notre recherche veut répondre au manque de travaux décrivant spécifiquement les implications d'une installation d'enneigement pour la ressource en eau à l'échelle d'une station de sports d'hiver et des bassins versants supports de cette pratique. Les trois études de cas complètes proposées constituent véritablement le cœur de nos travaux. Les autres situations étudiées, de façon plus partielle, nous permettront de mettre en perspective les observations faites au regard de ces analyses de terrain.

Des observations de terrains ont été menées sur l'ensemble de ces sites. De nombreux entretiens, principalement ouverts (et « compréhensifs »), ont été conduits auprès des différents acteurs variés (exploitants, gestionnaires de la ressource en eau, administrations...). Si notre approche était dans un premier temps d'ordre qualitatif (chaîne d'interaction et rétroaction entre les usages et l'environnement), ces rencontres ont notamment permis, dans un second temps et selon leur disponibilité, le recueil de multiples données intéressant notre problématique. Celles-ci ont permis de compléter d'un point de vue quantitatif notre appréciation des situations. Au-delà de cette collecte d'informations, par l'intermédiaire d'acteurs partie prenante du sujet, d'autres données issues de bases d'informations disponibles ont également été centralisées dans le cadre de nos travaux. Il s'agit principalement des informations hydroclimatologiques issues des bases d'informations de Météo France (Climathèque) pour ce qui relève de l'étude du climat ou encore de la banque Hydro pour l'étude des régimes hydrologiques des cours d'eau à considérer.

A petite échelle : implications dans des instances de travail sur la question de la production de neige en montagne

En second lieu, un travail de terrain mené sur de plus vastes territoires complète la méthodologie de nos recherches. Il s'agit principalement – mais pas seulement – de plusieurs implications dans des instances de travail sur la (les) question(s) de l'eau en montagne et/ou de la production de neige. Ces actions sont, du point de vue de la résolution de notre problématique, tout aussi intéressantes que le travail de terrain précédemment décrit : elles ont permis et facilité la rencontre de nombreux acteurs et la collecte d'importantes informations. Ces implications ont par ailleurs renforcé l'opérationnalité de nos travaux en les confrontant aux préoccupations concrètes et d'actualité

des acteurs de terrain. En faisant connaître à de multiples occasions les objectifs universitaires de notre recherche, elles ont également rendu possible l'instauration d'un climat de confiance avec les différents acteurs des terrains d'application. Concrètement, les différentes actions réalisées ont été les suivantes :

- **l'animation des 2 journées de travail « Concilier la culture de la neige avec l'eau et les milieux aquatiques »** organisées par la Société d'Economie Alpestre de la Haute-Savoie (SEA 74) le 21 octobre et le 10 novembre 2009 ;
- **la participation au comité de pilotage du « Schéma de Conciliation de la neige de culture et de la ressource en eau avec les milieux et les autres usages » conduit par la Commission Locale de l'Eau (CLE) du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) du Drac et de la Romanche** (collaboration avec le bureau d'étude Sepia Conseils, chargé de cette étude, pour « l'audit neige de culture » de la station de Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors) ;
- **la participation dans le cadre du dispositif « moniteur/doctorant conseil » au groupe de travail « neige de culture » interservices de l'Etat** (DDEA 73, DDEA 74, DREAL Rhône-Alpes et Atout France) et la rédaction, pour le groupe de travail, du rapport : « *Gestion durable des territoires de montagne - La neige de culture en Savoie et Haute-Savoie* » ;
- **la participation au groupe d'experts chargé d'étudier la question de la qualité de l'eau utilisée pour la production de neige de culture, piloté par le Syndicat National des Téléphériques de France** (participation aux prélèvements d'eau réalisés à Orcières, Serre-Chevalier et Courchevel par le bureau d'étude AlternImpact chargé de cette étude) ;
- **la participation à la « plateforme environnement » du Syndicat National des Téléphériques de France** (SNTF).

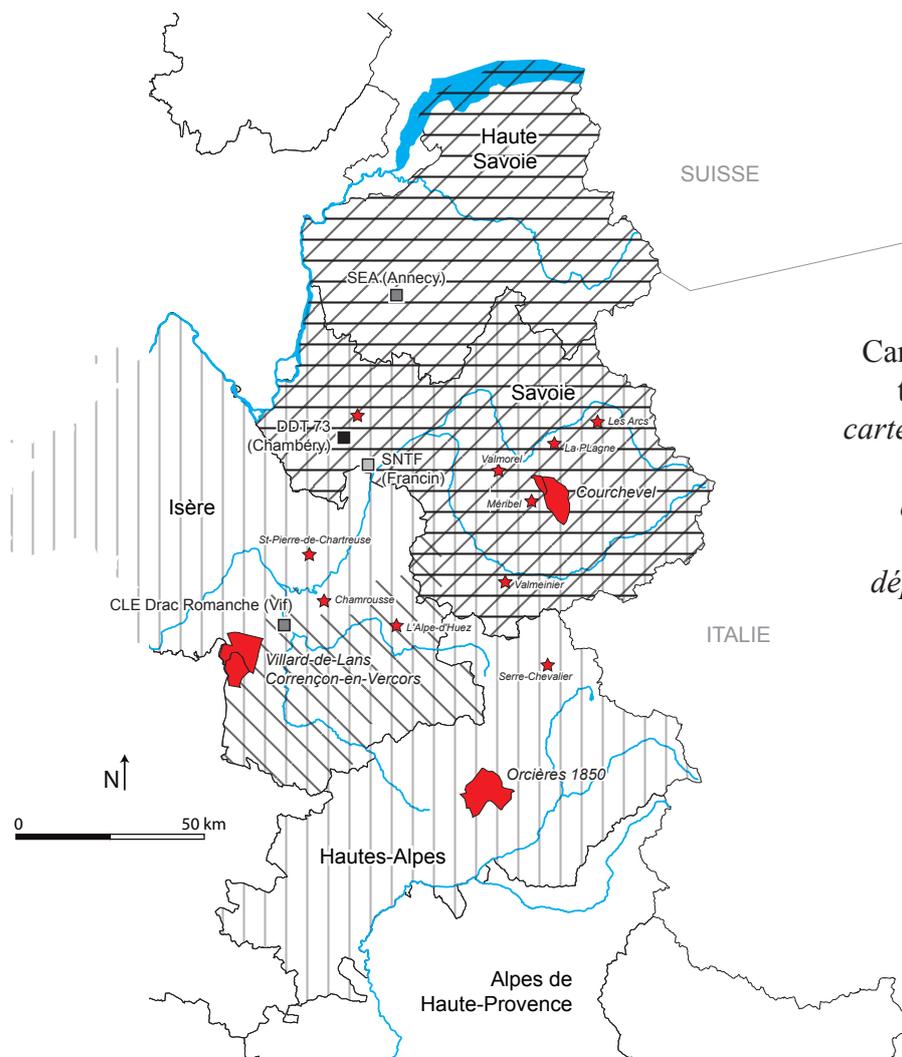
Ce second pan de nos recherches implique de répondre présent aux différentes réunions organisées dans les locaux des différentes instances en question. En ce sens, il s'agit d'un angle d'approche méthodologique relativement « déterritorialisé ». En réalité, l'ensemble des actions dans lesquelles nous avons été impliqués sont rattachées à un territoire ; elles portent de ce fait une réalité territoriale.

Il faut enfin noter que toutes les analyses menées à petite échelle n'ont pas été conduites dans le cadre des instances ci-dessus décrites. Il s'agit par exemple des échanges entretenus avec différentes collectivités, questionnées à propos des politiques conduites vis-à-vis de l'enneigement artificiel sur leur territoire.

Dans tous les cas, quelque que soit l'échelle d'analyse retenue, l'étude de la bibliographie locale (CEDRAT développement, 2004), nationale (ODIT France, 2008), voire internationale (Vanham *et al.*, 2009), est également un point méthodologique important développé dans le cadre de ces recherches. Le corpus de documents étudiés, variés (articles de presse, rapports d'étude ou encore articles scientifiques), a permis d'étayer nos hypothèses de travail et questionnements comme d'illustrer nos propos.

Finalement, les différents territoires auxquels nos travaux se sont attachés (carte 1.2) ont permis

d'appréhender les implications de la production de neige, principalement du point de vue des ressources en eau. Cette approche multiscale nous paraît la plus pertinente pour aborder la question de la gestion intégrée en montagne, qu'elle soit d'ailleurs relative à l'eau ou aux territoires, et décrypter les logiques d'interrelations entre l'amont et l'aval (par exemple, prise en compte des piémonts et des eaux qui sortent du domaine montagnard).



Carte 1.2 : Les principaux terrains investigués. La carte résume les différentes échelles territoriales auxquelles nos travaux se sont attachés. Le département de la Savoie constitue le terrain sur lequel se croise le plus grand nombre de nos actions de recherche.

© P. Paccard, 2010

1) A grande échelle :		Légende	
	Investigations complètes sur trois stations de sports d'hiver (Courchevel, Villard - Corrençon et Orcières 1850)		
	Investigations ponctuelles sur d'autres stations (Serre-Chevalier, Chamrousse ou Les Arcs par exemple)		
2) A petite échelle :			
Portée territoriale	Action	Instance (et localisation)	
	Savoie et Haute-Savoie	Monitorat/Doctorant conseil en entreprise	DDT 73 (Chambéry) ■
	Bassin versant du Drac et de la Romanche	Comité de pilotage du "Schema de conciliation neige de culture"	CLE du SAGE Drac Romanche (Vif) ■
	Principalement : Savoie et Haute-Savoie	Action "Culture de la neige"	SEA (Anney) ■
	Principalement : Savoie, Isère et Hautes-Alpes	Comité de pilotage "Qualité de l'eau / neige de culture" (Plateforme "environnement")	SNTF (Francin) ■

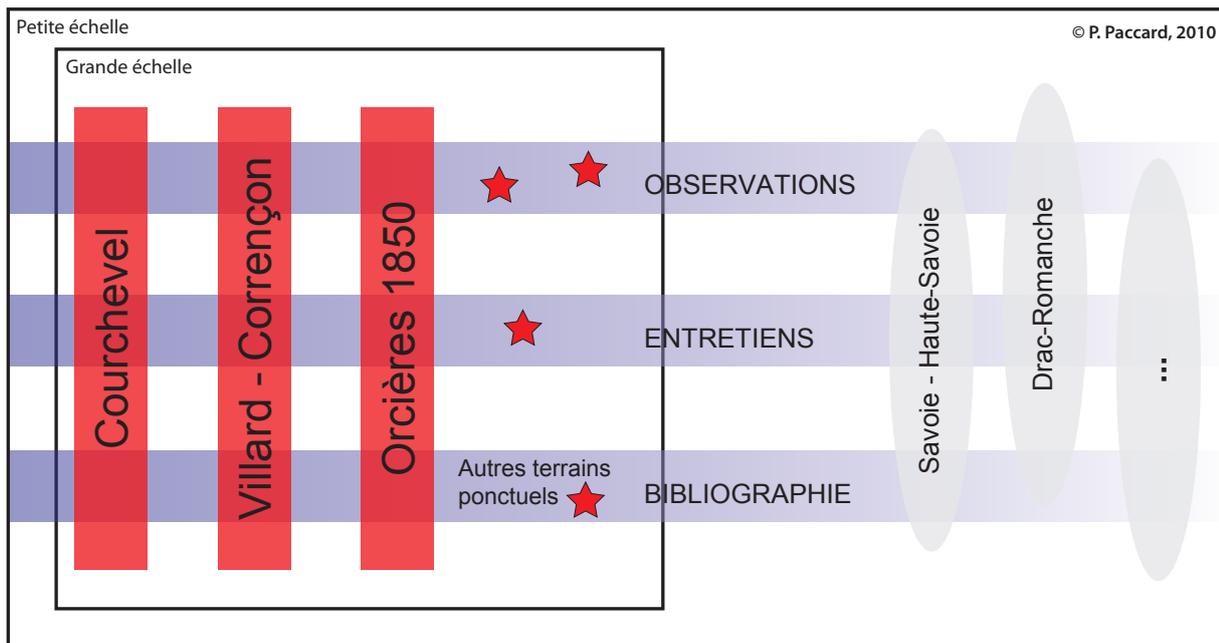


Figure 1.9 : La méthodologie de terrain employée. *A grande échelle, des investigations ont été conduites de façon transversale sur les stations de Courchevel, de Villard - Corrençon et d'Orcières 1850 et de façon ponctuelle sur d'autres terrains. A petite échelle, la participation à des instances de travail sur la (les) question(s) de l'eau en montagne et/ou de la production de neige (départements de Savoie et de Haute-Savoie ou le bassin versant du Drac et de la Romanche) a permis de compléter notre méthodologie. Dans tous les cas, des observations, entretiens et lectures ont été les outils employés pour rassembler l'ensemble des éléments nécessaires à la résolution de notre problématique*

CONCLUSION DU CHAPITRE 1

Ce premier chapitre avait pour objectif de fixer le cadre général de notre recherche. Les motivations de celle-ci ont été exposées. Elles résident dans la volonté de participer objectivement à la question de la production de neige, en contribuant notamment à répondre aux manques de connaissances sur cette pratique et sur les interrelations entre celle-ci et son environnement, qu'il soit économique ou naturel. L'eau est l'entrée privilégiée de notre étude. Nous avons pu mettre en avant, au travers de l'état de l'art réalisé, la nécessité de poursuivre des efforts de recherche à une échelle fine (la station de sports d'hiver) quant aux implications de la production de neige pour les ressources en eau.

La problématique générale de notre recherche s'articule autour de la question suivante : **la production de neige en stations de sports d'hiver peut-elle s'insérer dans un modèle de gestion durable de la ressource en eau ? Pour répondre à cette problématique de recherche, nous nous appuyons sur un questionnement concernant les champs d'investigation relatifs à l'évolution des équipements de production de neige, la ressource en eau, le changement climatique et l'aménagement des territoires de montagne.** Ces hypothèses et questionnements devront être étayés par des arguments objectivés.

Cette recherche d'objectivité peut être une véritable gageure dans le cadre d'un débat, parfois polémique, sur l'enneigement artificiel. Nous avons pu mesurer l'intensité et les principales caractéristiques de celui-ci par une analyse rapide de la presse écrite et « des mots » employés par les différentes parties prenantes impliquées sur le sujet. Ce débat tourne principalement autour des questions relatives à l'eau et au changement climatique. Il nous faudra par la suite éclaircir les positions de chacun pour vérifier les informations relayées par la presse que nous avons lues. Effectivement, s'il devait y avoir concertation, un espace de dialogue serait absolument nécessaire.

Telle que nous l'avons *a priori* comprise, compte-tenu de cette relative crispation des discussions et des positions des différents acteurs vis-à-vis de notre objet d'étude, nous avons mis en place une approche reposant sur les trois caractéristiques suivantes : (1) appréhender cette question de manière dépassionnée, (2) travailler sur les différents processus relatifs à la production de neige sous un angle systémique (cette approche nous permet d'appréhender la complexité du système en présence) et (3) aborder concrètement cette approche sur le terrain, et ce à différentes échelles d'analyse (figure 1.9). Il s'agit du recueil d'informations sur trois stations de sports d'hiver et leurs bassins versants et d'une implication dans différents groupes de travail sur les questions de l'eau en montagne et de la production de neige.

Après avoir ainsi précisé le cadre de notre recherche, il nous faut désormais nous attacher à en définir les différents concepts pour travailler sur le protocole précédemment défini : c'est l'objectif de notre prochain chapitre.

CHAPITRE 2 - DE LA GESTION INTÉGRÉE À LA GESTION DURABLE : LES DIMENSIONS DE L'EAU ET DU TERRITOIRE

Après avoir défini le contexte de notre recherche et précisé notre démarche, il importe de fixer les différents concepts et termes que nous utiliserons pour répondre à la problématique de notre étude. Ces définitions ont pour objet d'asseoir notre réflexion.

Afin de ne pas nous disperser, nous centrerons cette analyse sur les mots du titre de notre travail qui renvoient à la problématique et aux hypothèses de celui-ci : « gestion durable de l'eau en montagne », « gestion intégrée des ressources en eau » et « vulnérabilité des stations de sports d'hiver ».

1. LA GESTION DURABLE DE L'EAU EN MONTAGNE : PENSER LE DÉVELOPPEMENT TERRITORIAL

Nous avons déjà posé notre réflexion au sein d'une gestion durable de l'eau dans les territoires de montagne. Il importe désormais d'explicitier cette volonté autour de trois interrogations principales :

- Qu'entend-on par gestion durable ?
- Pourquoi introduire la notion de développement territorial dans le questionnement sur la gestion de l'eau ?
- Quelles montagnes constituent le cadre de nos recherches ?

1.1. La gestion durable

Décomposée, la notion de gestion durable renvoie à deux questions principales : celle de la **gestion** et celle de la **durabilité**.

1.1.1. *Gérer : administrer des affaires individuelles ou collectives*

Le Petit Robert (Rey-Debove et Rey, 1993) définit le mot « gestion » comme l'administration par **un mandataire des intérêts, des affaires d'un autre ou, par extension, ses propres affaires** ; le mandataire organise et utilise au mieux les biens qui lui sont confiés par cet autre ou ses propres biens dans un objectif particulier.

Cet autre, le mandant, peut être une personne physique ou une personne morale (par exemple, une entreprise). Il peut également s'agir d'un seul ou de plusieurs individus (propriétaire, collectivité, société...). Quant aux affaires à administrer, il peut être question de biens matériels (patrimoine immobilier, financier...), immatériels (espaces, image politique...), individuels ou **collectifs (l'eau)**.

Cette définition nous semble parfaitement adaptée à la question de la gestion des ressources naturelles. La gestion de l'eau, par exemple, peut ainsi être confiée à un mandataire pour concilier par exemple des fonctions de production (eau potable, hydroélectricité, neige de culture...) et de

récréation (sports d'eau vive, baignade...) tout en assurant un objectif de protection (qualité de l'eau et des milieux aquatiques...). Par ailleurs, à un niveau scalaire supérieur, **pour des biens universels et patrimoniaux (comme l'eau), mandant et mandataire se confondent puisqu'il s'agit de la gestion collective d'un patrimoine commun.**

Finalement, la gestion se trouve à l'interface entre d'un côté des biens, des affaires, des ressources, et de l'autre des objectifs, des fonctions, des usages (figure 2.1).

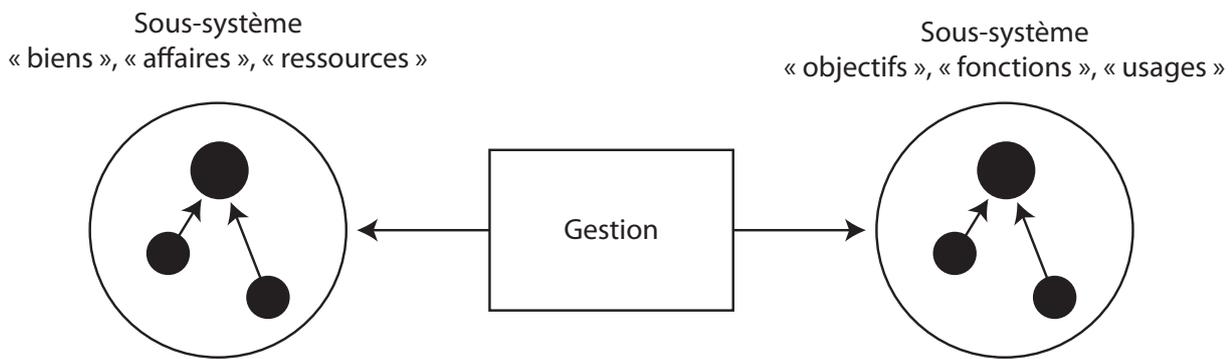


Figure 2.1 : Structure simplifiée d'un système de gestion (d'après Reynard, 1999, p. 29, modifié)

1.1.2. Gestion durable : l'approche consensuelle

Le qualificatif « durable » introduit, dans un second temps, **la question de la durabilité dans les systèmes de gestion.** La dimension du temps sous-entend la pérennité de l'action. Une gestion durable serait une **gestion pérenne dans le temps**, c'est-à-dire une administration au mieux d'un bien individuel ou collectif pour garantir dans la durée la satisfaction d'objectifs précisément définis. En ce qui concerne l'eau, nous nous plaçons sur un bien patrimonial, d'appartenance collective.

Bien entendu, cette question de la durabilité nous renvoie au paradigme du développement durable. Celui-ci est défini par le rapport Brundtland comme un objectif de développement compatible avec les besoins des générations futures (Brundtland *et al.*, 1987, p. 54). Pour répondre à cet objectif, « trois piliers » doivent être pris en considération : économique, environnemental et équité sociale (figure 2.2). Selon cette approche, une gestion durable serait alors **l'administration de biens, d'affaires ou de ressources (collectives dans le cas de l'eau) pour répondre conjointement à des objectifs de développement économique, de protection de l'environnement et d'équité sociale.**

Cette acception du développement durable, communément admise, reste néanmoins contestée (par exemple, en matière de tourisme durable, Clarimont et Vlès, 2006, p. 132 et suivantes). Des approches différentes s'opposent. A. Boutaud évoque même « *une appropriation compétitive du développement durable* » (Boutaud, 2004). Il explique effectivement que les différentes parties prenantes impliquées justifient leur vision du

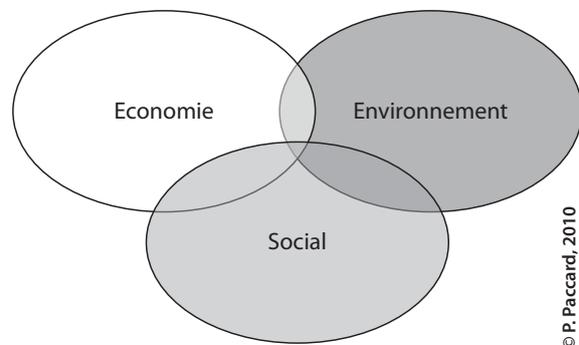


Figure 2.2 : Les trois piliers communément admis du développement durable

développement durable en fonction de leurs points de vue, c'est-à-dire selon des « *intérêts qui n'ont souvent pas grand-chose de scientifique, se rapprochant bien davantage du débat idéologique* » (Boutaud, 2004, p. 79). J.-F. Mancebo évoque à cet égard « *un concept peu opérationnel une fois les questions à résoudre circonscrites, une sorte de doctrine molle autorisant toutes les distorsions* » (Mancebo, 2006, p. 127).

S'il nous paraissait inévitable de référencer quelques limites au concept développées par certains, nous poursuivons tout de même notre réflexion dans le cadre de la durabilité. En fait, c'est surtout la **question de la pérennité des sports d'hiver dans la perspective du changement climatique** qui nous intéresse en référence à cette idée de la durabilité. Néanmoins, de façon qualitative, nous essaierons tout de même de confronter la production de neige et les stations de sports d'hiver aux trois piliers du développement durable.

Avant cela, nous précisons les différentes acceptions de la durabilité : durabilité faible ou forte.

1.1.3. Durabilité faible ou durabilité forte ?

A cet égard, si l'on devait réaliser une typologie des différentes approches considérées, la première placerait l'économie comme pilier moteur du développement durable ; il s'agit de l'approche dite de la « durabilité faible » ou « technico-économiste » (Boutaud, 2004, p. 78). La seconde, au contraire placerait l'environnement au centre de ces préoccupations ; il est alors question de l'approche dite de la « durabilité forte » ou « écosystémique » (*idem*). Au centre de ces deux visions du développement durable se trouverait l'approche « consensuelle » du développement durable : conciliation de l'ensemble des enjeux, sans priorisation d'un des piliers par rapport aux autres (figure 2.3).

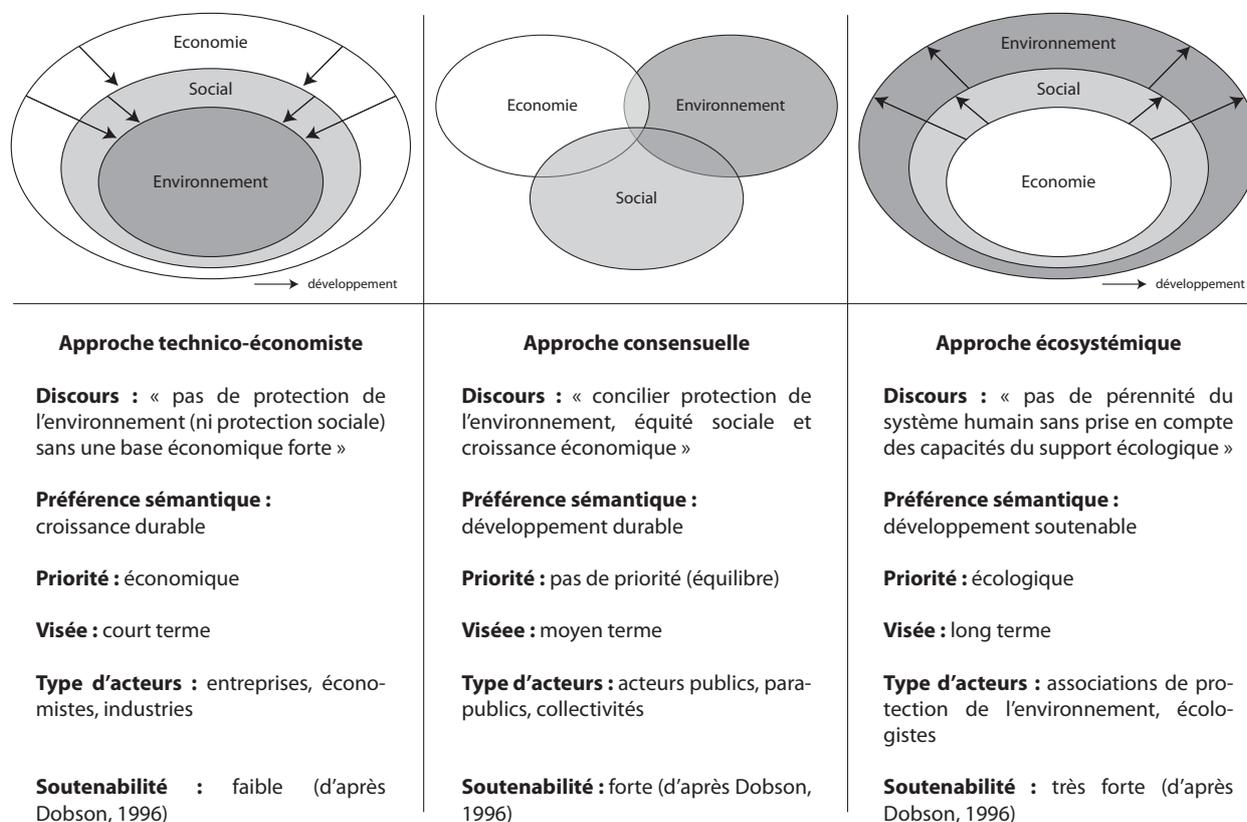


Figure 2.3 : Typologie des principales approches du développement durable (d'après Boutaud, 2004, p. 79, modifié)

Deux points importants sont finalement à retenir à propos de la notion « gestion durable » : il s'agit d'une part de l'administration de biens individuels ou **collectifs lorsqu'ils sont patrimoniaux (c'est la cas de l'eau) pour répondre dans la durée au triple objectif de développement économique, de protection de l'environnement et d'équité sociale** ; selon les acteurs, la priorité peut être d'autre part donnée soit à des objectifs de développement économique, soit de protection de l'environnement.

Dans le cadre de notre travail, et comme annoncé dans notre titre, c'est bien la durabilité de la gestion de l'eau dans les territoires de montagne que nous souhaitons globalement questionner. En fait, nous souhaitons montrer qu'il ne peut pas y avoir de gestion durable de l'eau s'il n'y a pas de prise en considération, en amont, du modèle de développement territorial qui en conditionne les usages.

1.2. La gestion durable de l'eau : impliquer les territoires

Notre objet d'étude nous semble être une expression assez caractéristique de l'emboîtement des questions liées à la gouvernance de l'eau et des territoires. Il révèle, s'il le fallait, le besoin d'une gestion cohérente de ces deux entités. C'est justement sur l'imbrication de ces deux paramètres, l'eau et les territoires, que nous allons désormais nous attarder, de façon pratique tout d'abord, plus conceptuellement ensuite.

1.2.1. Administrer l'eau et les territoires : approche pratique par les outils de gestion disponibles

D'un point de vue pratique et dans les faits, ces interrelations sont bel et bien présentes dans les outils de gestion disponibles en France (figure 2.4). Les obligations de compatibilité entre les différents documents de planification ou de démarches contractuelles en matière d'eau, d'urbanisme ou d'environnement en sont la preuve. A titre d'exemple, les Schémas de Cohérence Territoriale (SCoT : document d'urbanisme qui fixe les orientations fondamentales de l'organisation des territoires et de l'évolution des zones urbaines) doivent être compatibles avec les Schémas d'Aménagement et de Gestion des eaux (SAGE). Il est intéressant de noter à cet égard que les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) sont finalement le stade ultime de la chaîne de compatibilité de l'ensemble des démarches entre elles (urbanisme, eau ou environnement). En théorie, la place des SDAGE dans cette organisation fait de l'eau la préoccupation première de l'administration des territoires.

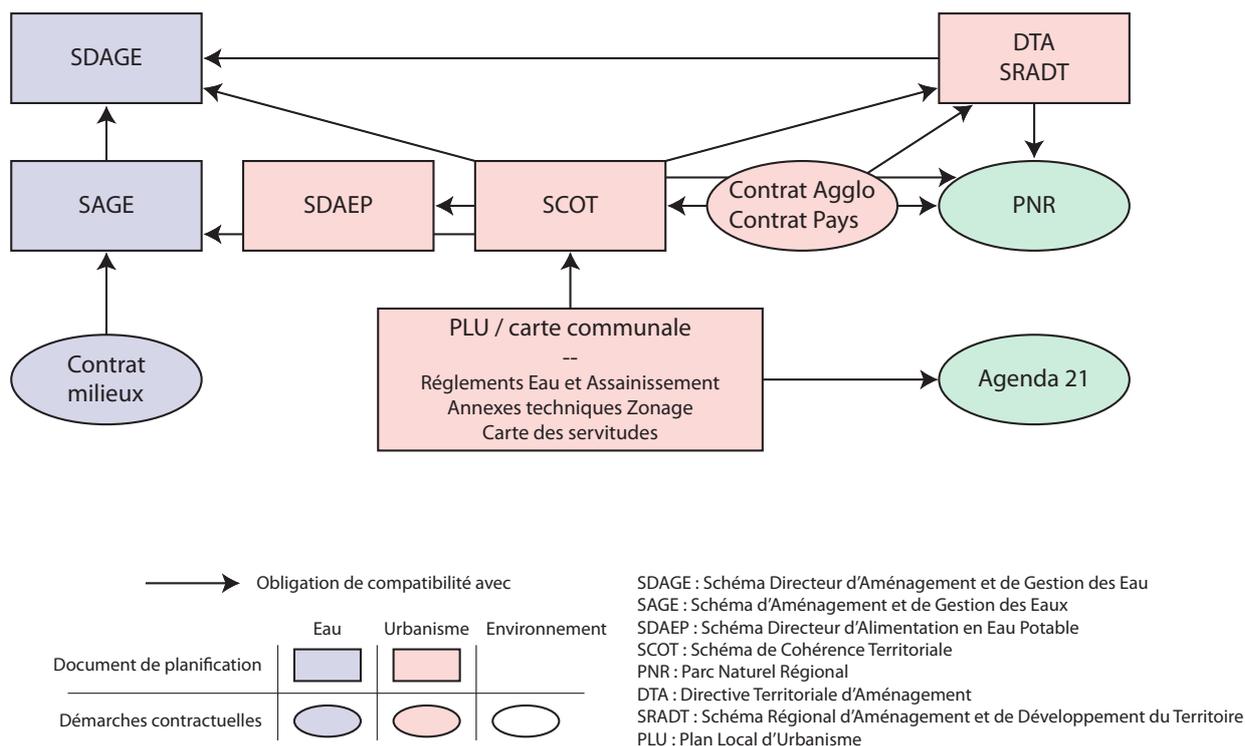


Figure 2.4 : Articulation des principaux documents et outils d'aménagements et de gestion de l'eau en France (d'après Hellier *et al.*, 2009, p. 262)

Cette théorie se vérifie-t-elle dans la pratique ? En réalité, nous supposons qu'il est possible d'orienter les différents documents d'urbanisme dans le sens de ceux relatifs à l'eau sans toutefois réelle prise en compte de la ressource en tant que telle. De même, les outils de gestion de l'eau sont peut-être insuffisamment déployés sur les territoires. Au-delà des outils pratiques disponibles, nous réaffirmons la nécessité de l'intégration des dimensions relatives à l'eau et au territoire par une approche plus conceptuelle.

1.2.2. Administrer l'eau et les territoires : approche conceptuelle

Les travaux de l'«Académie de l'Eau»¹ ont souligné la **nécessaire complémentarité entre d'un côté les modes d'aménagement, d'occupation et de gestion des territoires, et de l'autre les modes de gestion de la ressource en eau** (Académie de l'Eau, 2003 ; Académie de l'Eau, 2008).

C'est justement ce que nous souhaitons montrer et souligner : la gestion durable de l'eau en montagne passe nécessairement par une réflexion sur les modes de développement territoriaux ; on ne peut pas gérer durablement l'eau sans penser de façon pérenne à la structure sur laquelle celle-ci repose.

¹ L'Académie de l'Eau est une association sans but lucratif créée en 1993 à l'initiative du Ministère de l'Environnement et des six Comités de bassins français. Elle est une instance de réflexion et de proposition pluridisciplinaire, intersectorielle et prospective sur les divers aspects de la gestion de l'eau, en France et à l'international.

De l'eau dans les territoires...

Dans une représentation dite « *d'utopie stratégique* » (figure 2.5), l'Académie de l'Eau propose un cadre théorique de l'évolution de l'organisation du territoire en fonction de l'intérêt porté à l'eau (Académie de l'eau, 2003, p. 3). La situation optimale serait, selon cette représentation, une organisation du territoire pertinente vis-à-vis de la gestion de l'eau et une assimilation de l'eau comme un bien commun. Ces conditions réunies permettraient de faire face à d'éventuels problèmes liés à l'eau (pollution, inondations...).

Le terme « *utopie* » du titre même de cette représentation interpelle : il fait de l'adéquation entre les problématiques d'aménagement du territoire et de gestion de l'eau un idéal, vers lequel il nous faudrait tendre. Des améliorations pourraient ainsi être continuellement apportées à nos modes de gestion du territoire et de l'eau. Suivant cette idée, il s'agirait d'améliorer en continu un système et non de figer un processus dans un état parfait.

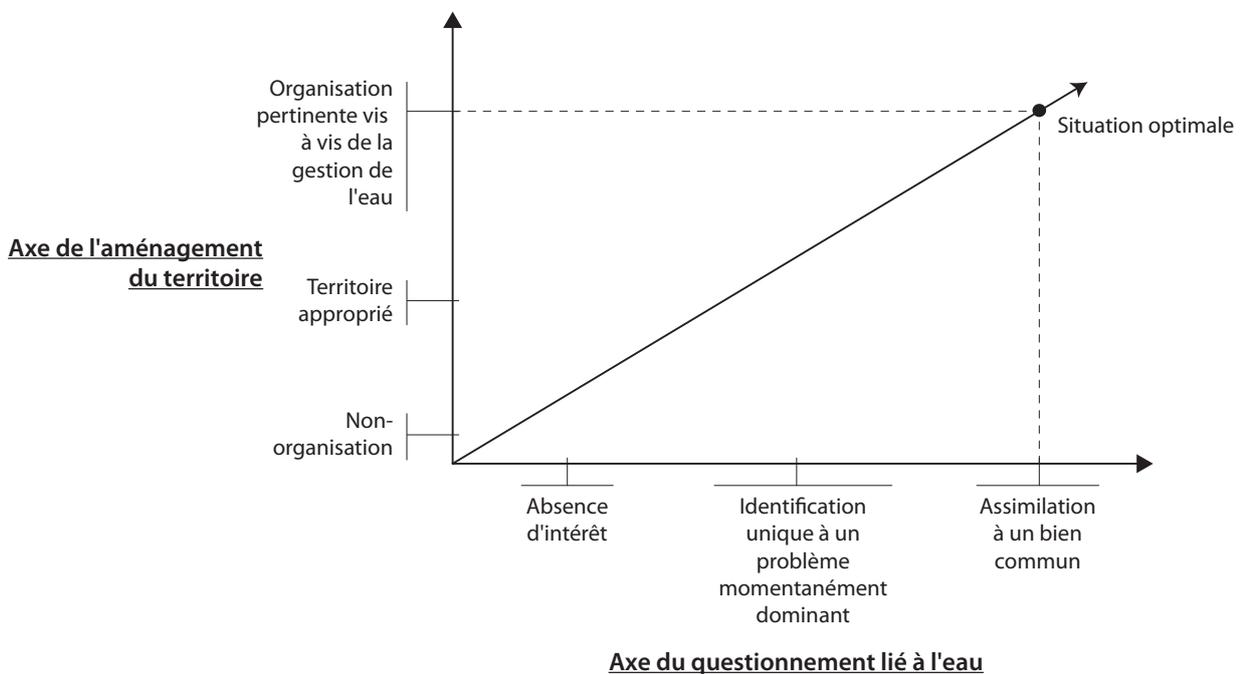


Figure 2.5 : Représentation de l'évolution de la perception des problèmes liés à l'eau (par exemple, pénuries, pollutions, érosion, inondations) dite représentation « *d'utopie stratégique* » (d'après Académie de l'Eau, 2003, p. 3, modifié, cité in Charnay, 2010, p. 46). *La question de l'eau, selon cette représentation, doit occuper une place centrale dans les politiques d'aménagement du territoire.*

C'est bien l'idée que nous défendons et retenons pour la suite de nos travaux : la recherche du progrès dans les systèmes de gestion existants s'inscrit dans un processus dynamique d'adaptation aux différentes situations qui vont se présenter. Ne sachant où nous conduit ce processus dans la mesure de la réorganisation permanente des systèmes en cause, il n'en reste pas moins qu'il est une nécessité de proposer des pistes de progrès possibles. C'est ce que nous ferons pour contribuer de façon constructive à la problématique posée.

Nous l'avons compris, on ne peut pas se passer d'organiser pertinemment le territoire si l'objectif est de gérer durablement l'eau. Néanmoins, comme nous allons le voir, l'eau ne peut pas être à elle seule le facteur déterminant de l'aménagement des territoires.

Et des territoires dans l'eau ?

Si la gestion de l'eau doit trouver sa place dans la gestion des territoires, il nous paraît important de souligner que la dimension territoriale doit également trouver sa place dans la gestion de l'eau : les héritages territoriaux, culturels, sociétaux, etc. ne peuvent être ignorés dans les modes d'appréhension, d'utilisation et de gestion de la ressource en eau.

Cette vision des choses implique une gestion de l'eau en fonction de l'histoire des territoires, de leur fonctionnement, de leur urbanisation, de leur culture, etc. S'il est bien entendu toujours possible d'orienter les développements territoriaux, par exemple en fonction de considérations liées à la protection de la ressource en eau, il nous semble difficile et non souhaitable de faire table-rase du passé pour ne se préoccuper que de l'eau : l'histoire des territoires est une dimension fondamentale à prendre en considération. Aussi, pour ce qui nous concerne, **nous ne pouvons pas déconsidérer l'histoire des stations de sports d'hiver et de leur territoire support dans notre façon d'appréhender la neige artificielle.**

En s'appuyant sur le raisonnement précédent, et sur la figure 2.5 nous proposons une typologie des degrés d'aménagement des territoires en fonction de leur prise en compte de la dimension eau (figure 2.6), de son absence à son fort intérêt. Le croisement de ces deux échelles permet de déterminer une typologie de territoires :

- priorité de l'aménagement sur l'eau ou, inversement, priorité de l'eau sur l'aménagement ;
- forte naturalité ou, inversement, forte anthropisation.

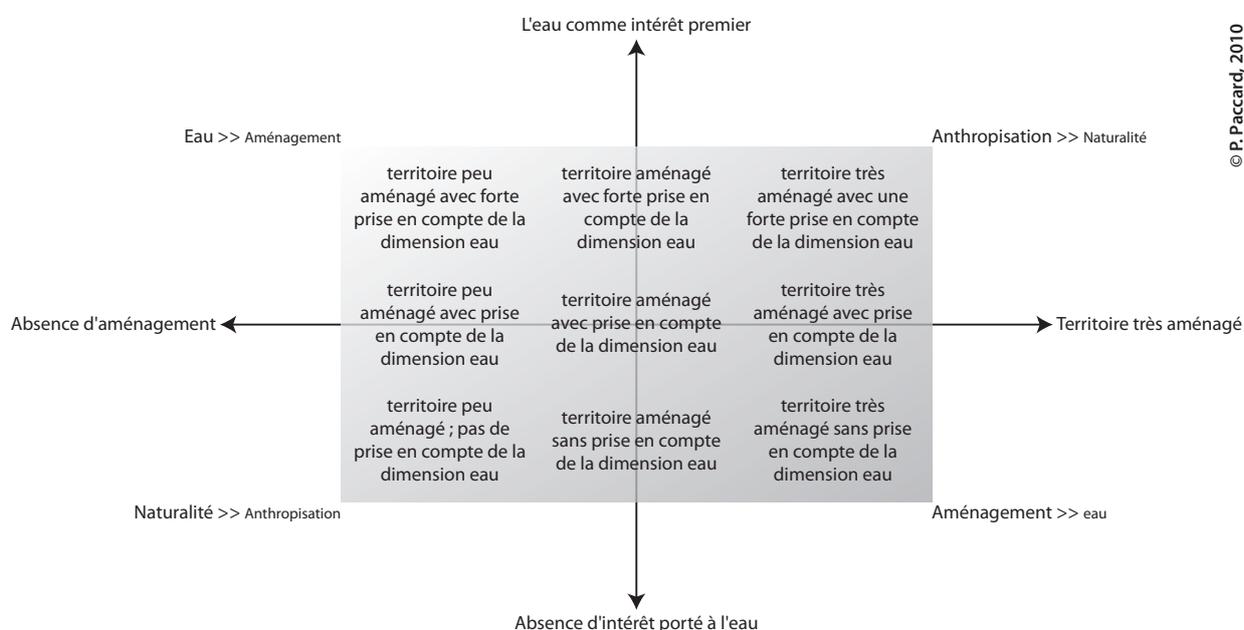


Figure 2.6 : typologie de territoires en fonction des degrés d'aménagement et des prises en considération de la dimension eau

En station de sports d'hiver, nous sommes à l'évidence sur des territoires déjà très aménagés. C'est la question de la prise en compte de la dimension eau qu'il nous faudra considérer.

Gérer durablement le duo « eau et territoire » : des étapes nécessaires pour se projeter dans le temps

Par ailleurs, dans cette recherche de la prise en compte à la fois de l'eau et des territoires, la dimension du temps est fondamentale : à la fois en termes de temps nécessaire pour approcher la situation optimale (relevant certes d'une utopie mais d'une utopie nécessaire au progrès ; figure 2.5), mais également, et surtout, en termes de perspectives qu'offrent les différents modes de gestion à mettre en œuvre pour atteindre cet optimum. C'est bien l'intérêt du schéma proposé par l'Académie de l'Eau² (figure 2.7) : il montre les étapes pour aller de l'absence de gestion de l'eau et des territoires à une gestion de développement durable. Les modes de gestion ici proposés ont des portées de court, moyen ou long terme (Académie de l'Eau, 2008, p. 20).

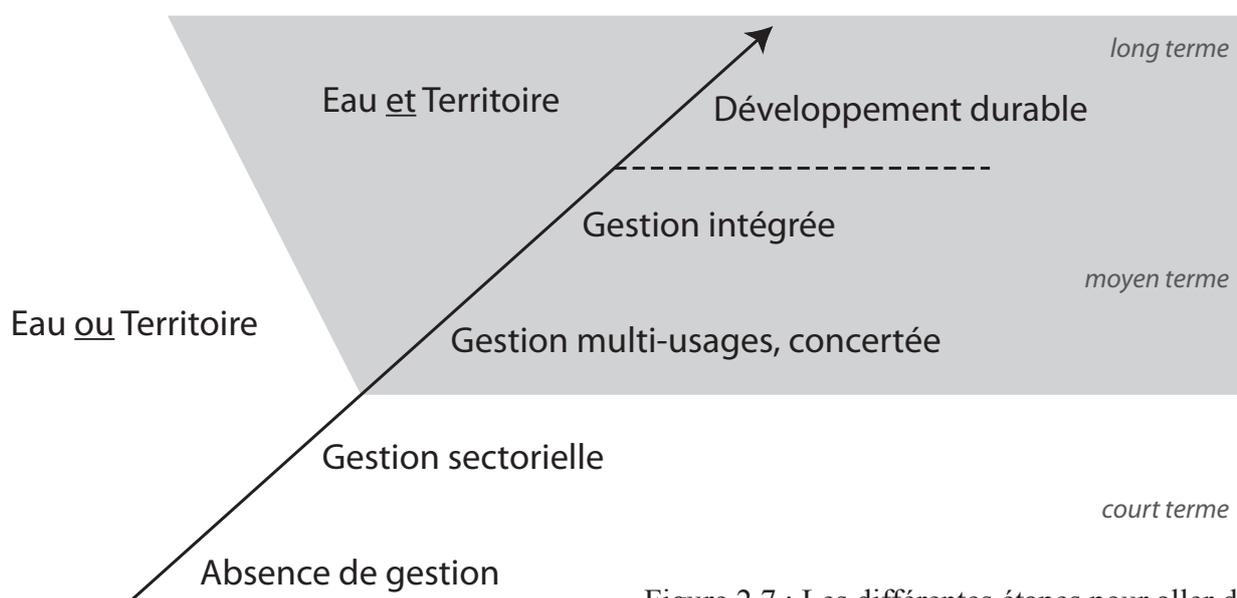


Figure 2.7 : Les différentes étapes pour aller de l'absence de gestion de l'eau à une gestion de développement durable (d'après Académie de l'Eau, 2008, p. 21, modifié, cité in Charnay, 2010, p. 48)

La dernière étape de cette succession des modes de gestion serait donc une gestion dite de « développement durable ». Dans l'absolu, un fonctionnement harmonieux et durable du système global « eau et territoires de montagne » passerait par la coordination de deux sous-systèmes parfaits, la gestion intégrée des ressources en eau d'un côté et celle des territoires de l'autre. **La gestion intégrée de l'eau passe par une intégration de la dimension territoriale dans l'administration de cette ressource comme vu précédemment. A un niveau scalaire supérieur, la gestion intégrée des territoires implique la mise en cohérence de l'ensemble des sous-systèmes de gestion, dont celui de l'eau. De notre point de vue, ces conditions définissent la gestion durable du complexe « eau et territoire » (figure 2.8).**

² En citant plusieurs fois les travaux de l'Académie de l'Eau, nous en oublions certainement beaucoup d'autres sur le même sujet. Nous sommes bien conscients de cette limite bibliographique qui ne doit pas être interprétée comme une adhésion doctrinale aux travaux de cette institution....

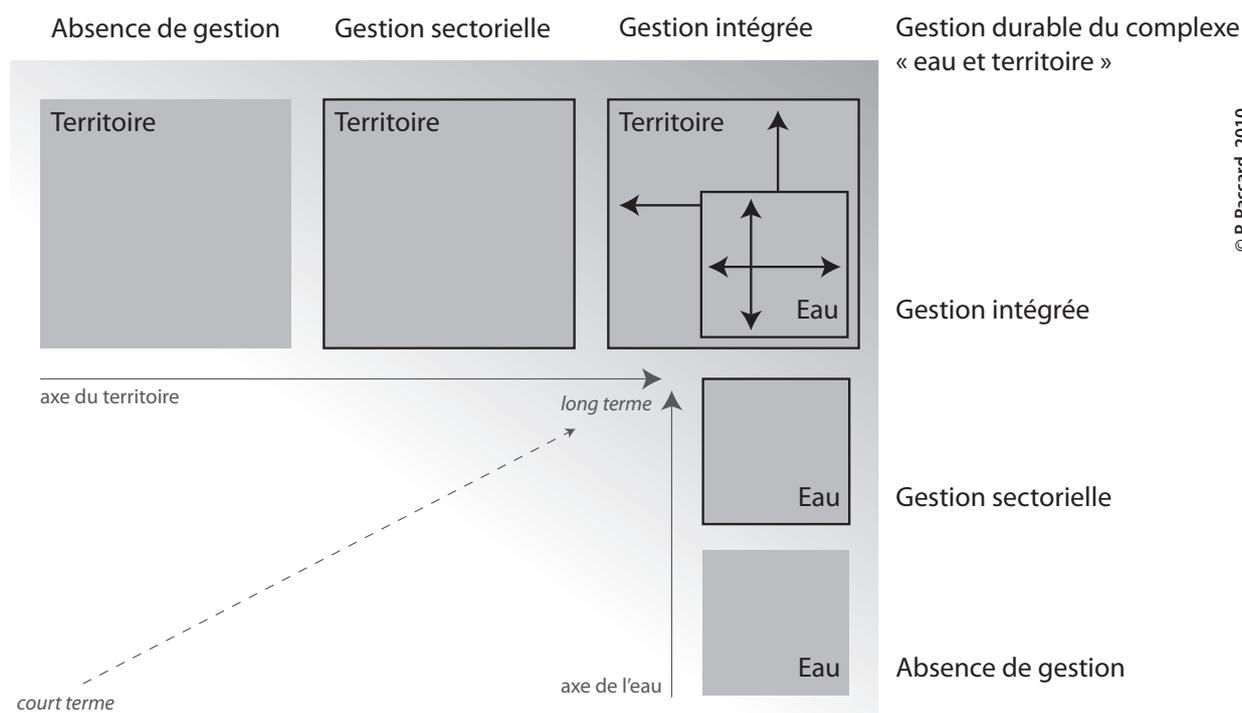


Figure 2.8 : Evolution des modes de gestion de l'eau et des territoires. *La gestion durable du complexe « eau et territoire » serait l'optimum de gestion de ces deux entités.*

Dans le sens de ce questionnement, la neige de culture est un objet d'étude très intéressant. **Elle est effectivement au cœur des préoccupations relatives à la gestion de l'eau en montagne et les dépasse bien au delà : elle rejoint également celles relevant de l'aménagement du territoire, liées à l'avenir des sports d'hiver, en particulier dans la perspective du changement climatique.**

La neige de culture est donc une entrée pertinente pour questionner la durabilité du complexe « gestion de l'eau et des territoires ». Ce questionnement passe par l'analyse de la place que la neige de culture occupe aujourd'hui en montagne, à la fois dans la gouvernance de l'eau et dans le modèle de développement touristique proposé, au regard des défis auxquels ces préoccupations sont désormais confrontées (pression démographique, protection de l'environnement, changement climatique...).

La neige de culture ne doit donc pas être une fin en soi. **Elle est un vecteur pour définir les bases d'une gestion durable de l'eau en montagne.** Ce questionnement général englobe par ailleurs une question plus précise de notre recherche : l'insertion de cet usage dans les systèmes de gestion de l'eau préexistants en montagne, espace dont nous souhaitons désormais rapidement discuter.

1.3. Les montagnes : terrains de recherche «châteaux d'eau» de la planète

Dans le cadre de notre réflexion, nous entendons la montagne à la fois au sens d'un espace de développement touristique et d'un territoire de l'eau. Il s'agit en effet pour nous d'étudier une infrastructure usagère de l'eau (donc interférant avec cette ressource), compris dans l'espace « montagne » et au service d'un mode de développement touristique, le tourisme de sports d'hiver. Nous livrons rapidement ci-dessous quelques réflexions, d'un côté sur les différentes acceptions de la montagne partant de leur définition administrative, de l'autre sur les particularités de cet espace du point de vue de l'eau.

1.3.1. Au-delà de la montagne administrative, une somme de montagnes géographiques

Du point de vue administratif, la montagne se définit en France par deux textes majeurs. Il s'agit premièrement du décret 77-566 du 3 juin 1977 définissant l'ensemble des communes classées en zones de montagne. Ce classement repose sur deux conditions particulières liées à des caractéristiques topographiques : altitude supérieure à 700 m (600 m pour le massif des Vosges), pente moyenne supérieure à 20%, ou combinaison des deux facteurs (arrêté du 28 avril 1976). Il instaure de fait des zones agricoles défavorisées donnant droit à des compensations particulières.

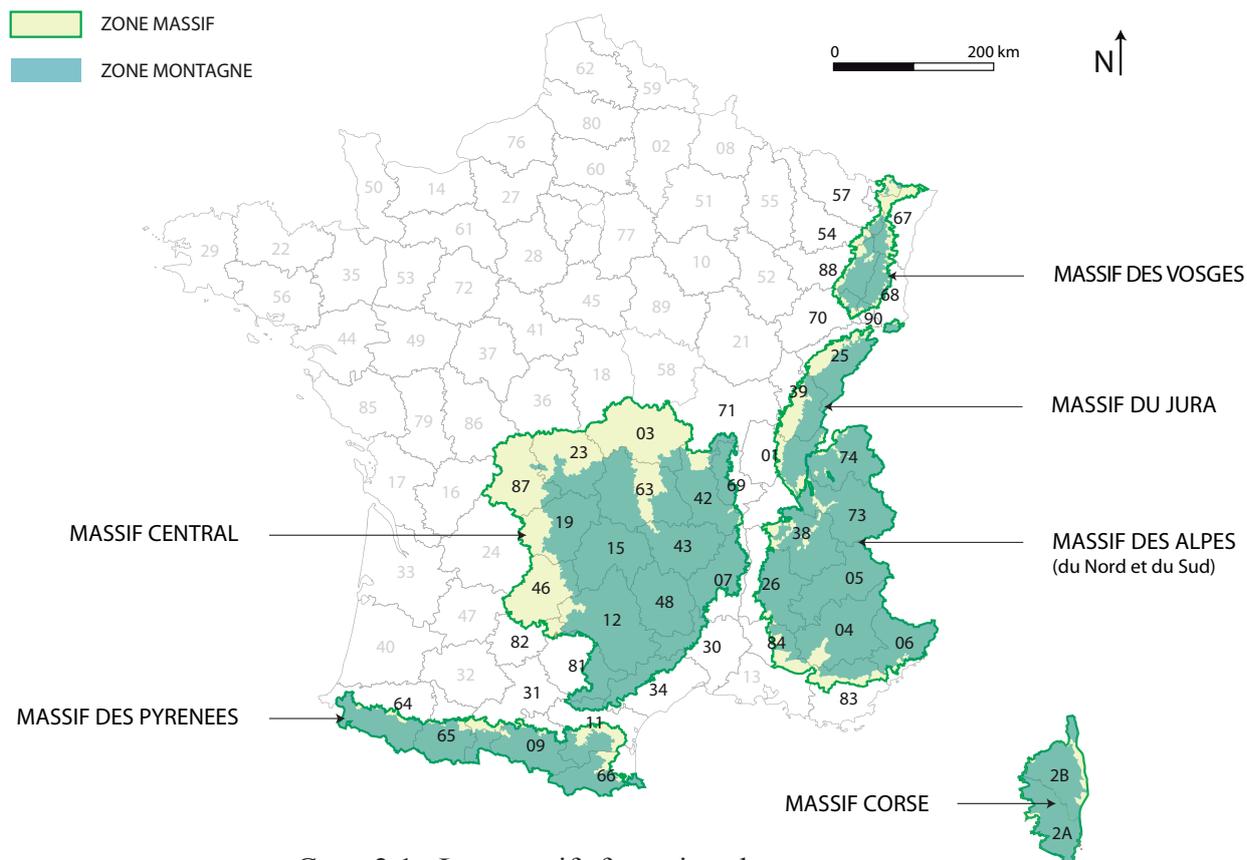
Le deuxième texte, la loi montagne du 9 janvier 1985, définit la notion de massif : « *En métropole, chaque zone de montagne et les zones qui lui sont immédiatement contiguës et forment avec elle une même entité géographique, économique et sociale constituent un massif. Les massifs sont les suivants : Alpes, Corse, Massif central, Massif jurassien, Pyrénées, Massif vosgien* » (article 5 de la loi n°85-30 du 9 janvier 1985 relative au développement et à la protection de la montagne, modifié par la loi n°2002-276 du 27 février 2002). Il est à noter que la version initiale de ce texte définissait sept massifs en France métropolitaine, le massif des Alpes étant décomposé en deux entités, les Alpes du Nord et les Alpes du Sud.

L'ensemble des zones de montagne est compris dans la délimitation des massifs qui couvrent une large part de la moitié sud-est du territoire français (carte 2.1).

Cette définition administrative des territoires de montagne, si elle introduit tout de même les notions d'altitude, de pente, de massif et permet ainsi de délimiter les différentes entités des montagnes françaises, ne permet néanmoins pas à elle seule de spécifier les montagnes.

Celles-ci sont en effet **multiples**, tant dans les différentes représentations que les sociétés s'en font que dans leur traduction concrète en terme d'organisation de l'espace (Debarbieux, 2001, p. 41). En géographie, les montagnes sont donc un objet d'étude privilégié, autour duquel les regards se croisent, qu'ils privilégient des dimensions humaines ou physiques, et les travaux foisonnent (pour n'en citer que quelques uns : Blanchard, 1937 ; Knafou, 1978 ; Chardon, 1990 ; Debarbieux et Gillet, 2001 ; Rougier *et al.*, 2001 ; Veyret, 2001 ; Sacareau, 2003).

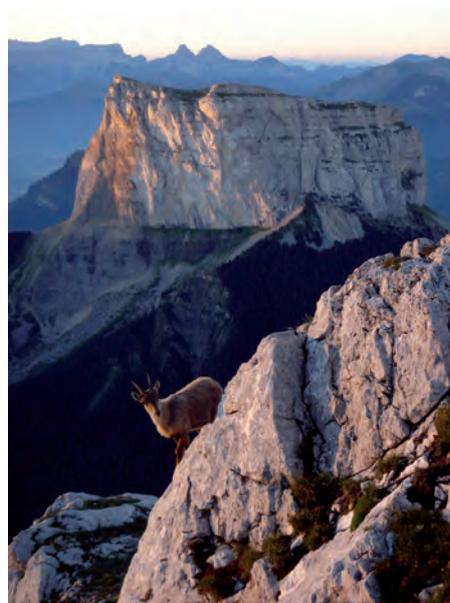
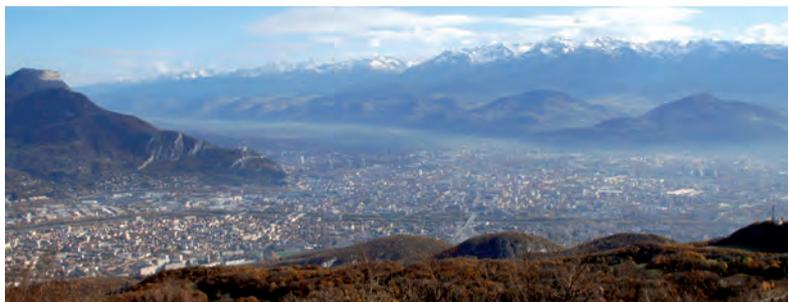
L'ensemble de ces travaux montre des modes d'organisation particulièrement riches et variés ; une certaine concentration d'enjeux sociétaux forts fait des montagnes un terrain d'étude particulier, un laboratoire de recherche et d'expérimentation à ciel ouvert. Ces modes d'organisation recouvrent des finalités distantes, comme la protection des espaces naturels (Parcs Nationaux, réserves naturelles ; photo 2.1) ou le développement démographique et économique (Sillon Alpin, stations touristiques ; photo 2.2), voire les deux au même endroit (Parcs Naturels Régionaux). **Cette pluralité des montagnes peut alors justifier le choix des approches interdisciplinaires aujourd'hui développées pour mieux cerner la complexité de ces territoires.**



Carte 2.1 : Les massifs français et la zone montagne (d'après ODIT France, 2009, p. 7, modifié)

En ce qui nous concerne, s'il nous fallait justifier la montagne comme support d'étude, nous ne pourrions que difficilement le faire : exceptés les complexes touristiques *indoor*, l'enneigement artificiel destiné à la pratique du ski n'est effectif que dans cet espace...

Photos 2.1 et 2.2 : Le Mont Aiguille (vue depuis le sommet du Grand Veymont, réserve naturelle des Hauts Plateaux du Vercors, Isère) et l'agglomération grenobloise (Isère) (cliché : P. Paccard, 2007 et 2009). *Entre montagne aménagée et montagne protégée...*



Mais finalement, l'enseignement à retenir de ces différents éléments est bien la pluralité des représentations et des conceptions de la montagne. La considération de cette pluralité est importante dans l'espace de notre recherche : elle explique certainement, pour partie, les clivages existant autour de notre objet d'étude et du système le générant. La vision de la montagne comme un espace de développement ou, au contraire, comme un espace « naturel » implique forcément des logiques et des attitudes différentes. De là naissent les dichotomies « pour ou contre » la production de neige.

Plurielles dans les dimensions que nous venons d'évoquer, les montagnes le sont également d'un point de vue hydrologique.

1.3.2. L'eau, façonnée par la montagne ?

Les caractéristiques propres à chaque massif et versant (relief, sol, végétation...) conditionnent la nature et la disponibilité de l'eau. Elle modèle en retour la montagne et devient alors un des facteurs premiers de son évolution.

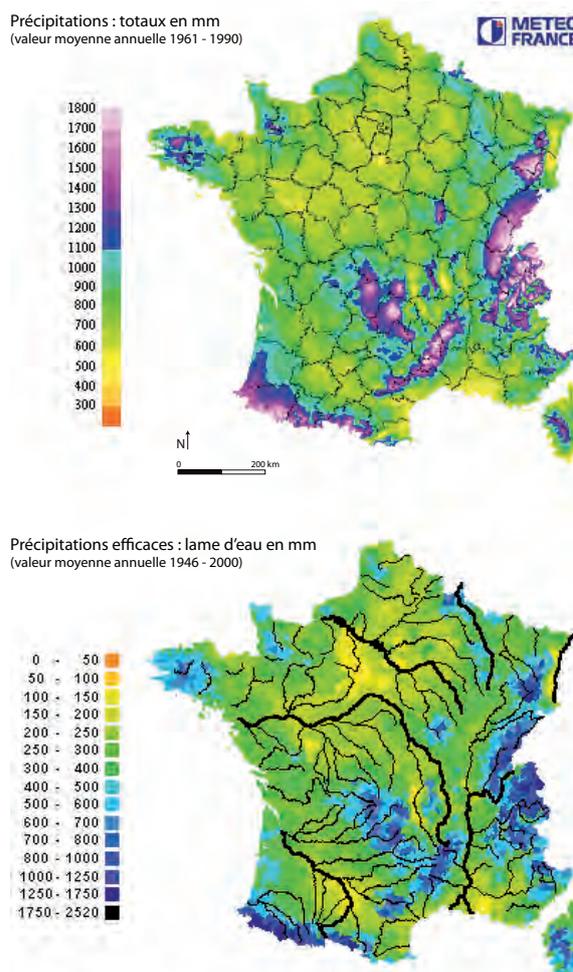
Le relief

Le relief est le facteur déterminant du régime et de la répartition des précipitations : augmentation de la pluviométrie avec l'altitude, influence de la position géographique et de l'exposition des versants.

Avec une certaine régularité, les précipitations augmentent globalement avec l'altitude (carte 2.2). Dans les Alpes occidentales, ce gradient pluviométrique peut atteindre 80 mm pour 100 mètres de dénivelée, portant les totaux annuels à plus de 1500 mm pour certains massifs d'altitude (contre moins de 500 mm de pluie par an pour certaines zones de plaine).

En retranchant l'évapotranspiration (quantité d'eau évaporée du sol et transpirée par les plantes), plus faible en montagne, de ces totaux de précipitations, on obtient les précipitations efficaces. Leur répartition, en France (carte 2.3), souligne une fois de plus la relative abondance de l'eau en montagne d'où de nombreux fleuves prennent leur source.

C'est d'ailleurs pour cette raison que les montagnes sont souvent qualifiées de « châteaux d'eau » (Messner et Reller, 2005 ; Viviroli, 2007 ; Wiegandt, 2008 ; Donzier, 2009a et b...).



Cartes 2.2 et 2.3 : Précipitations totales et précipitations efficaces en France métropolitaine et Corse (d'après les données de Météo France)

En réalité, cette image de la montagne « château d'eau » peut également laisser perplexe à la lecture de la somme des besoins anthropiques et des limites de la ressource disponible. Nous verrons à ce sujet, en particulier dans nos études de cas (mais cela est également vrai pour d'autres montagnes du globe), que les bilans « besoins / ressource » ne sont pas toujours excédentaires.

Cependant, il est vrai que le stockage de l'eau sous forme de glace et de neige justifie une fois de plus cette appellation. Un deuxième gradient altitudinal, relatif aux températures, est la principale cause de ce stockage : on estime une chute des températures moyennes de 0,6°C pour 100 m de dénivellation (ce gradient est variable selon les montagnes considérées ; il est plus important, par exemple, dans les montagnes tropicales, de l'ordre de 0,75°C pour 100 m de dénivellée). Ainsi, à une certaine altitude, où les températures sont suffisamment froides, les précipitations tombent davantage sous forme de neige que de pluie. Sous l'effet des basses températures et de son propre poids, une partie de cette neige se transforme en glace dans les hauts bassins versants. La part relative des précipitations sous forme liquide ou solide conditionne ensuite le régime des écoulements superficiels, du régime pluvial au régime glaciaire.

L'exposition et la position géographique des versants sont également des facteurs influençant fortement les précipitations. Pour ce qui est de l'exposition, on ne mentionnera pour mémoire que l'effet de foehn des montagnes alpines, où le versant sous le vent est plus chaud et sec tandis que le versant au vent reçoit davantage de précipitations. Enfin, la position des différents massifs entre eux joue également sur les quantités de précipitations. Les massifs exposés aux précipitations, comme les massifs préalpins français (Vercors, Chartreuse, Bauges, Chablais), abritent les massifs plus internes et donc plus secs : 1700 mm de précipitations annuelles à la Féclaz (1350 m d'altitude, massif des Bauges, Savoie) contre 730 mm à Aussois (1490 m, Haute Maurienne, Savoie) plus à l'Est.

Les sous-sols, les sols et la végétation.

Sur les versants, le substrat rocheux et les dépôts de pente permettent peu de stocker de l'eau. La majeure partie de cette eau ruisselle donc sur les versants et renforce les écoulements superficiels, importants en montagne. Ces eaux rejoignent ensuite les vallées pour être possiblement stockées dans les aquifères alluviaux.

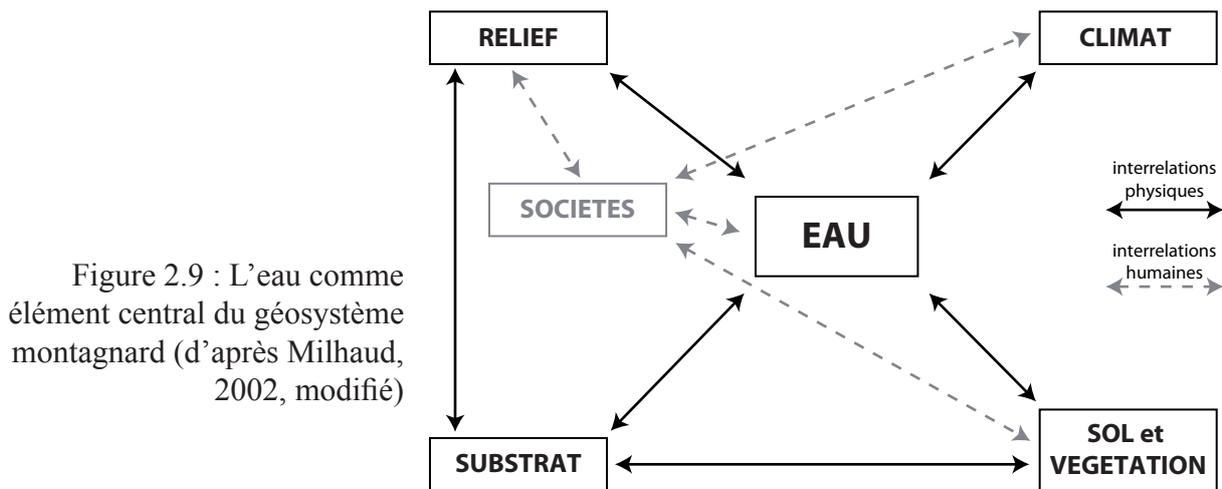
En fait, la grande hétérogénéité et l'emboîtement des aquifères de montagne ne permettent pas d'approche unique mais exigent, si ce n'est d'en cerner la complexité, du moins de faire des distinctions. La première d'entre elles est relative aux montagnes calcaires qui possèdent, contrairement à leurs homologues cristallines, des aquifères importants.

Par ailleurs, lorsque les sols de montagne sont pourvus de végétation, les réponses hydrologiques sont différentes. En interceptant les précipitations, perturbant la vitesse d'évaporation, retardant la fonte des neiges ou prélevant de l'eau grâce à leurs racines, les feuillus et conifères de montagne sont un exemple du conditionnement de la ressource en eau par la végétation.

Finalement, l'ensemble de ces éléments, qu'ils soient d'ordre topographique, climatique, hydrogéologique, etc. démontre une fois de plus la grande hétérogénéité des montagnes, cette fois-ci du point de vue de leurs ressources en eau. **Il en découle une difficulté de penser global puisque le local est si variant dans l'espace et dans le temps. Cet élément explique notre choix méthodologique de travailler à l'échelle des stations et de leurs bassins versant supports :** c'est bien l'échelle d'analyse pertinente pour apprécier la ressource à sa juste valeur. Quoiqu'il en soit, nous avons compris que l'eau est un élément à placer au cœur du géosystème montagnard.

L'eau, élément central du géosystème montagnard

Si l'ensemble des caractéristiques que nous venons brièvement de passer en revue fait de l'eau en montagne une ressource particulière, celle-ci est également un facteur d'évolution important de ce système : elle modèle le relief, interfère avec le climat et conditionne la présence de tels ou tels sol et végétation. A cette condition, on perçoit l'ensemble des interrelations entre l'eau et les autres composantes naturelles : la première structurant les autres, les autres structurant la première. Cette idée place finalement l'eau comme un élément central du géosystème montagnard (Milhaud, 2002 ; figure 2.9).



Cette approche naturaliste du géosystème montagnard ne saurait cependant occulter l'importance des sociétés montagnardes dans les interactions que celles-ci entretiennent avec l'ensemble des composantes en jeu, en particulier avec l'eau. Celles-ci ont fait de l'eau une ressource à part entière qu'elles gèrent le plus efficacement possible. A l'heure actuelle, la gestion intégrée des ressources en eau figure conceptuellement comme l'un des modèles de gestion de l'eau le plus abouti. De façon pratique, il n'est pas appliqué partout en montagne (Reynard, 1999 ; Charnay, 2010).

Nous venons d'explicitier ce que nous entendions par « gestion durable de l'eau ». Il nous a fallu préciser la notion de durabilité et les interrelations qu'entretiennent la gestion de l'eau et celle des territoires. Enfin, nous nous sommes attardés sur quelques particularités de l'espace « montagne », plus précisément du point de vue de l'eau.

Par là, nous avons introduit l'idée que la gestion durable de l'eau passe par deux éléments nécessaires et complémentaires : (1) la prise en compte des usages et des milieux aquatiques, (nous questionnerons alors la « gestion intégrée des ressources en eau ») et (2) la prise en compte des développements territoriaux (nous étudierons ainsi la vulnérabilité des stations de sports d'hiver). Dans cette logique, c'est désormais le concept de gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) que nous souhaitons définir.

2. LA GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU : UN CONCEPT À TRANSPOSER CONCRÈTEMENT SUR LE TERRAIN

Nous avons déjà livré quelques réflexions sur l'imbrication des composantes «eau» et «territoire» dans ce que nous avons appelé la « gestion durable ». C'est désormais à la gestion intégrée des ressources en eau proprement dite que nous souhaitons nous attacher. Cette réflexion renvoie à la formulation de ce concept dans **une question connexe à la problématique de notre recherche et les hypothèses prises pour répondre à celle-ci**. Deux idées sont ici développées : la question de la ressource en eau d'un côté et celle de la gestion intégrée de l'autre.

2.1. L'eau ressource, ou les limites d'une approche anthropocentrée de l'eau

2.1.1. Entre ressource renouvelable et ressource épuisable

Au XVI^{ème} siècle, les ressources désignaient les moyens pécuniaires, les moyens d'existence (Pillet, 1993, p. 79). Ce n'est qu'au XX^{ème} siècle que le concept de « ressource en eau » a fait son apparition (Margat, 2000, p. 124). Au sens strict du terme, les ressources sont aujourd'hui considérées comme l'ensemble des moyens matériels (biologique, minérale, hydrologique mais hommes, réserves d'énergie) dont dispose ou peut disposer la société pour répondre à ces besoins. Cette définition est de fait applicable à l'eau : en fonction de sa disponibilité, les sociétés disposent de l'eau pour satisfaire certains de leurs besoins.

Multi-usages, l'eau remplit diverses fonctions (Reynard, 1999, p. 42). En montagne, les fonctions anthropiques de l'eau sont principalement : l'alimentation en eau potable (AEP), d'eau industrielle, d'hydroélectricité et d'offre touristique. Du point de vue touristique, l'eau peut d'ailleurs être considérée comme élément de l'offre « originelle » (forte attractivité d'éléments naturels du paysage : torrents, cascades, lacs, glaciers) ou comme élément de l'offre « dérivée » (piscines, patinoires, **production de neige**) (Defert 1980 et Barras 1987 in Reynard, 1999, p. 293).

Petit à petit, ces différentes utilisations de l'eau comme ressource disponible pour les collectivités ont participé à la structuration des territoires de montagne, en particulier aux endroits où l'ensemble des usages se superpose (figure 2.10, *infra*, p. 88 et photo 2.3). Mais alors même que les besoins semblent toujours croissants, l'ensemble des utilisations de l'eau pour y répondre interroge sur le caractère renouvelable ou non de la ressource : **renouvelable** à l'infini, l'eau pourrait ne pas être un facteur limitant pour la satisfaction de l'ensemble des usages tandis qu'**épuisable**, au contraire, elle ne permettrait la satisfaction de ces usages que sur un temps donné.

En réalité, l'eau est souvent assimilée à l'idée d'un **cycle**³. Dans l'absolu, cette particularité lui confère une certaine « renouvelabilité » à l'échelle planétaire. Cette idée reste néanmoins à relativiser en fonction de l'échelle spatiale et temporelle considérée. Ce qui peut être renouvelable à l'échelle des temps géologiques ne l'est pas forcément à l'échelle d'une vie humaine et ce qui est renouvelable à l'échelle planétaire ne l'est pas à l'échelle régionale et plus locale. L'exemple des aquifères du Sahara qui ont été alimentés durant le quaternaire est révélateur que l'idée même du cycle de l'eau n'est pas synonyme de « renouvelabilité » à une échelle plus locale.

³ Il ne nous paraît pas utile d'appuyer cette affirmation par des références bibliographiques... Néanmoins, on pourra consulter l'ouvrage de R. Lambert « Géographie du cycle de l'eau » pour une description précise et détaillée de la dynamique du cycle de l'eau (Lambert, 1996).

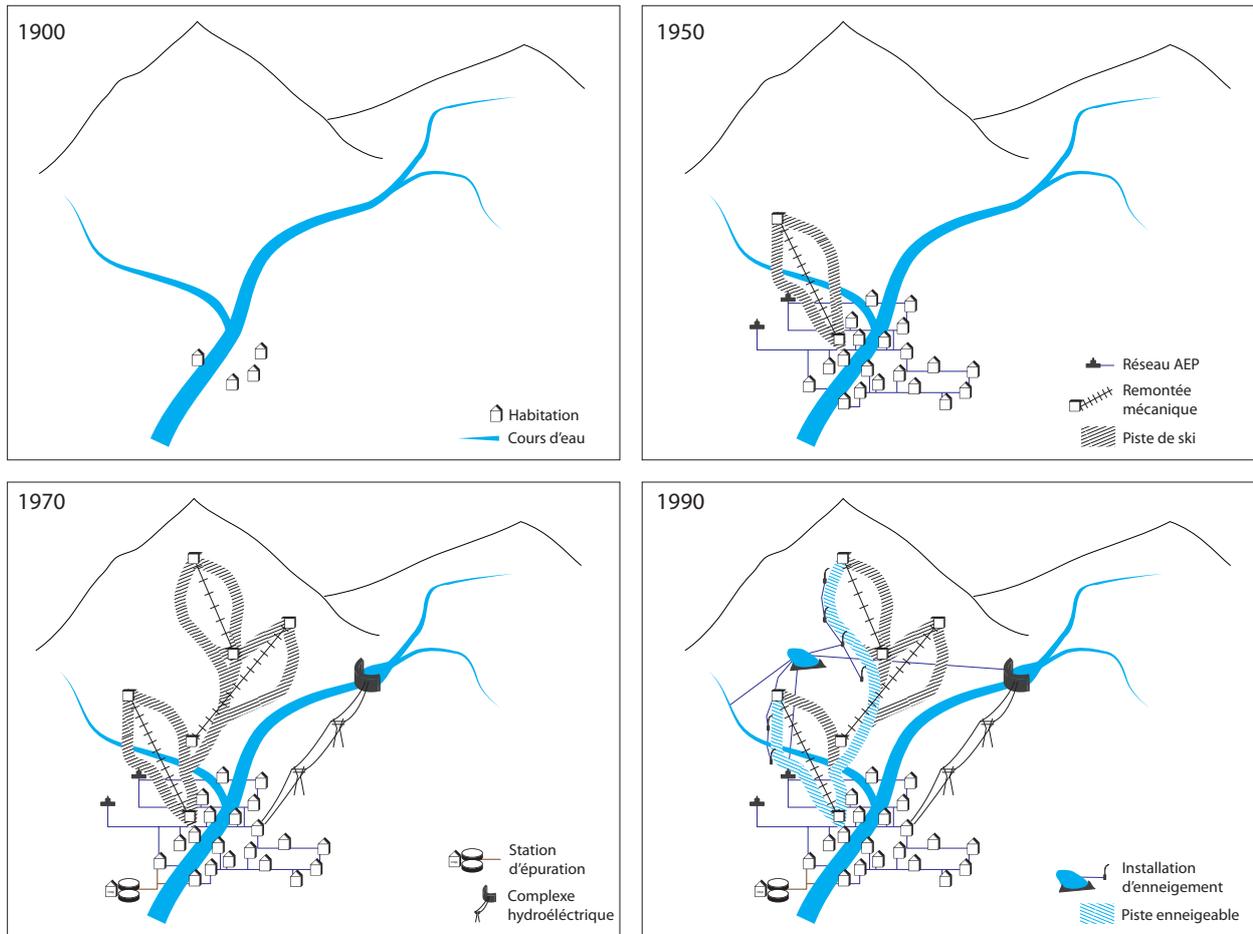


Figure 2.10 : Exemple d'évolution d'un haut bassin versant support de multiples utilisations de l'eau (d'après Hassid, 2010, modifié)

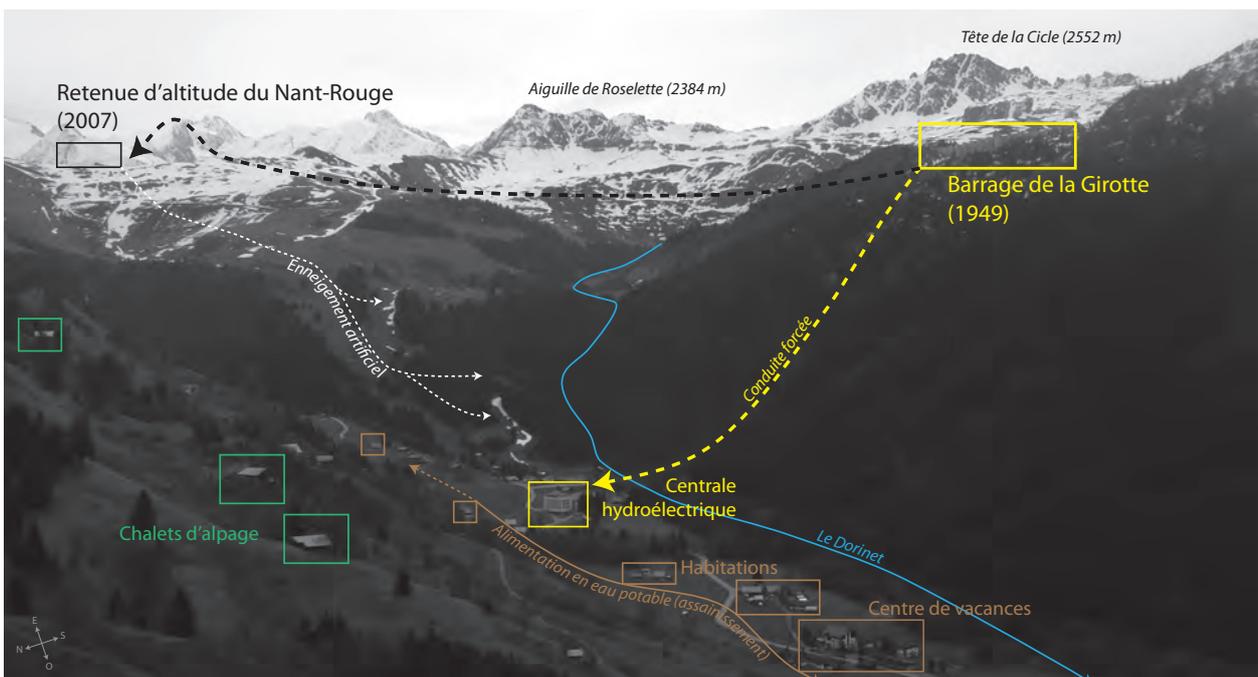


Photo 2.3 : Les différentes utilisations de l'eau d'une haute vallée de montagne : l'exemple de la vallée d'Hauteluce (Savoie) (Cliché : P. Paccard, le 26/05/2010)

Pour appuyer ce raisonnement, il faut distinguer, à l'intérieur même du cycle de l'eau, ce qui relève de la **ressource flux**, tels que les écoulements superficiels ou souterrains, et de la **ressource stock**, comme les nappes fossiles ou les glaciers (Pillet, 1993, p. 84 cité in Reynard, 1999, p. 27 ; Charnay, 2010, p. 37). Tandis que les flux peuvent être considérés, dans une certaine mesure, comme constants, les stocks peuvent quant à eux s'épuiser si les prélèvements sont supérieurs à leur taux de renouvellement. Partant de ce point de vue, J.-P. Amigues *et al.* (1995) considèrent non plus l'eau comme une ressource renouvelable mais comme **semi-renouvelable** : « *Certaines ressources naturelles sont disponibles sous forme de flux et sous forme de stocks, parmi ceux-ci les uns sont régulièrement alimentés ou régénérés par le flux, les autres sont au contraire des stocks non renouvelables. L'exemple type d'une telle ressource est la ressource en eau [...] que nous appelons semi-renouvelable* » (Amigues *et al.*, 1995, p. 108). D'autres auteurs parlent de **ressource renouvelable et épuisable** (Tietenberg et Lewis, 2008, p. 134). Ces derniers considèrent, de la même façon, qu'une partie des stocks reste non renouvelable à l'échelle du temps court. Cela peut être pour des raisons quantitatives (stock glaciaire ou nappe dont la recharge est très lente voire inexistante) ou qualitatives (masse d'eau polluée durablement et donc inutilisable).

Cette acception moderne de l'eau comme ressource épuisable contraste fortement avec la vision des économistes classiques et néoclassiques des XVIIIème et XIXème siècles. Ceux-ci considéraient l'eau comme un bien d'usage nécessaire mais sans valeur d'échange car disponible en quantité illimitée (Petit, 2004).

2.2.2. De l'eau « ressource » à l'eau « milieu »

L'admission d'une certaine « épuisabilité » de l'eau oblige à considérer autrement la ressource. Celle-ci ne saurait en effet subvenir sans limites à l'ensemble de nos besoins.

En 1996, R. Lambert expliquait que la solution au « *problème de l'eau* » face à l'« *anarchie sociale* » [*sic*] consistait en « *une nouvelle logique économique, une économie planifiée, une organisation rationnelle de l'espace et des activités, une gestion démocratique de la ressource. C'est donc un problème de société, un problème politique* » (Lambert, 1996, p. 29). Ce constat, conjugué à des pressions croissantes sur les hydrosystèmes, amène certains auteurs comme J. Martínez-Gil (1997), J. Margat (2000) ou M. François (2009) à développer le concept de « **nouvelle culture de l'eau** ». Celui-ci consiste en la nécessité d'envisager la ressource en eau sous un nouvel angle, c'est-à-dire de sortir d'une conception de l'eau comme ressource disponible à des seules fins d'usages et de production. Les dimensions culturelles, écologiques, et patrimoniales de la ressource en eau obligent à ne plus concevoir l'eau comme un unique bien marchand. Cela est essentiellement un développement tenant au XXème siècle en réponse à la montée du capitalisme ; ce n'était pas le cas avant. « La nouvelle culture de l'eau » serait ainsi une utilisation efficiente de la ressource dans le respect du fonctionnement des écosystèmes aquatiques (François, 2009, p. 194)⁴.

Cette façon de penser la ressource en eau rejoint d'une certaine façon l'idée d'une « **mise en patrimoine de l'eau** ». Ce statut conférerait à ces ressources un caractère universel, dans le temps et dans l'espace (Petit, 2009, p. 13). Un des marqueurs théoriques de cette patrimonialisation de l'eau est la transcription de ce principe à la fois dans la Directive Cadre Européenne sur l'eau (DCE), adoptée en 2000, et dans la loi sur l'eau française, modifiée en 2006 : ces deux textes définissent l'eau dans leur article premier comme un bien patrimonial à protéger (Parlement Européen et

⁴ L'historique de l'idée d'une « nouvelle culture de l'eau » est détaillé dans la thèse de M. François au chapitre « *La naissance de la Nouvelle Culture de l'Eau* » (p. 192). A l'origine, elle est une opposition à la politique espagnole basée sur une planification d'ouvrages hydrauliques et une augmentation de l'offre en eau.

Conseil Européen, 2000, p. 1 ; article L.210-1 du Code de l'environnement). A cette conception s'opposent néanmoins les partisans d'une marchandisation de l'eau douce et des services de l'eau (Petit, 2009, *op. cit.*).

Cette reconnaissance législative de l'eau comme « patrimoine commun de la nation » peut être considérée comme un des éléments significatifs d'une nouvelle façon d'appréhender la ressource. S. Ghiotti (2001) explique à ce sujet que les quarante dernières années de politique de l'eau en France « marquent **le passage de l'« eau ressource » à « l'eau milieu »**, c'est-à-dire non plus une eau utilisable exclusivement à des fins de production et de reproduction matérielle mais un élément structurant ou déterminant d'un milieu de vie » (p. 3). A cet égard, le nom même de la dernière mouture des lois sur l'eau françaises (2006) est éloquent : Loi sur l'Eau et les **Milieus Aquatiques**. C'est bien ici la prise en compte de l'eau comme milieu de vie aquatique qui est affirmée.

Néanmoins, si la politique de l'eau en France traduit effectivement une prise en compte croissante des besoins en eau pour les milieux naturels (dimension de l'« eau milieu »), les représentations de l'eau sont dans les faits toujours quelque peu axées sur la dimension d'une « eau ressource » (photo 2.4). A propos de la neige de culture, la conception d'une « eau ressource » semble a priori sans équivoque : l'eau est exploitée dans un objectif de **production** de neige. Il n'y a ainsi que peu de place au milieu naturel dans le discours d'un opérateur d'un domaine skiable lorsqu'il évoque, à propos de l'alimentation en eau de son installation d'enneigement, « une retenue d'altitude qui se trouve au sommet du domaine skiable » : la retenue d'altitude en question est en réalité un lac, originellement naturel, désormais rehaussé pour en augmenter le volume, et situé dans un espace protégé.

Entre une conception de l'« eau ressource » et de l'« eau milieu », c'est en réalité la considération portée aux milieux naturels qu'il nous faudra questionner à partir du terrain.

Photo 2.4 : Une publicité pour l'eau d'Evian dans une gare de télécabine en station de sports d'hiver (Cliché : P. Paccard, décembre 2005). La présentation de la montagne comme « usine » de production d'eau relève presque de la caricature d'une conception de l'« eau ressource »...



Cette distinction entre l'« eau ressource » et l'« eau milieu » nous permet de faire un parallèle quant aux interactions des dimensions « eau » et « territoire » développées précédemment. Une « eau ressource » pourrait être la prise en compte de l'eau à des fins de production au service d'un territoire. Une « eau milieu », au contraire, serait une conception du territoire comme un espace structuré, organisé en fonction des dimensions de l'eau qui le compose (figure 2.11).

Finalement, ces différentes lectures des intérêts portés à l'eau remettent en question la pertinence même de l'emploi du terme de « ressource » : à « ressource en eau », approche anthropocentrée d'une eau utilisable à des fins d'usages, ne faut-il pas préférer le seul terme « eau » ? Par là même, ne pourrions-nous pas substituer « gestion intégrée des ressources en eau » (GIRE) par « gestion intégrée de l'eau » (GIE) ? Dans ce questionnement, c'est toute la place accordée à l'eau dans les modes d'organisation territoriaux, en particulier à sa fonction de support biologique, qui est interrogée.

En ce qui concerne l'espace de nos travaux, nous englobons les deux dimensions de l'eau ci-dessus (« eau milieu » pour la fonction de support biologique et « eau ressource » pour la fonction d'usage) dans notre définition de la gestion durable de l'eau. Les objectifs environnementaux et socio-économiques auxquels renvoie ce concept répondent bien à la préoccupation de concilier les usages et les milieux.

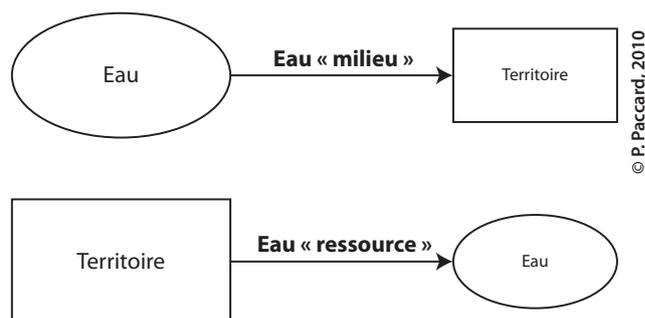


Figure 2.11 : De l'eau « ressource » à l'eau « milieu »

Par le questionnement du terme de ressource, nous souhaitons attirer le regard sur les limites d'une approche anthropocentrée de l'eau. Les usages de la ressource ne doivent ni oublier le caractère épuisable de l'eau, ni sa fonction de support biologique. D'ailleurs, les deux aspects de la ressource, usages et milieux, constituent les fondements de notre définition de la « gestion intégrée de la ressource en eau ».

2.2. La gestion intégrée des ressources en eau : un objectif de conciliation des usages et des milieux

2.2.1. De l'idée à la formulation du concept : quelques dates-clés⁵

Pour A. Grandgirard, le recours à la « solution « miracle » que constitue la gestion intégrée [...] semble plutôt constituer le symptôme d'une crise majeure du système territorial de la gestion de l'eau par le contexte dans lequel il se situe » (Grandgirard, 2007, p. 54).

Il n'en demeure pas moins qu'au niveau international, la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) est l'approche aujourd'hui systématiquement invoquée en tant que modèle de gestion de l'eau.

Certains des principes qui la définissent aujourd'hui, telle que la gestion de l'eau à l'échelle des bassins versants, ont été mis en œuvre en France dès la loi sur l'eau de 1964 : création d'une Agence de l'Eau par grande unité hydrographique (Vieillard-Coffre, 2001), principalement chargée de lutter contre les pollutions (article 14 de la loi n°64-1245 du 16 décembre 1964 relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution).

Les termes même de «gestion intégrée des ressources en eau» apparaissent en France dans les années 1980. Un groupe de travail mis en place par le Comité interministériel de la Qualité de la Vie en juillet 1986 fut chargé de définir les actions à mener pour mettre en place une gestion intégrée des rivières.

D'après D. Vitali (2003), le rapport de ce groupe de travail, qui a participé à la mise en place de la loi sur l'eau de 1992, préconisait « la constitution d'un document de synthèse départemental donnant les lignes directrices de la politique de l'eau et des rivières dans le département, répondant à des principes de gestion intégrée » (Vitali, 2003, p. 32).

⁵ Pour un historique plus précis et détaillé de la gestion intégrée des ressources en eau, on se reportera au titre « Du modèle français à une reconnaissance internationale » de la thèse de B. Charnay (2010, p. 41).

Les principes en question furent définis de la façon suivante : la considération de l'eau comme un patrimoine commun, la satisfaction de l'ensemble des usages de l'eau dans le respect des équilibres biologiques et la protection des populations contre les risques liés à l'eau. On retrouve effectivement ici les grandes lignes de la gestion intégrée des ressources en eau telle que nous la concevons aujourd'hui.

Au plan international, il semble que la gestion intégrée de l'eau ne soit explicitement formulée qu'en 1992, dans la « Déclaration de Dublin sur l'eau dans la perspective d'un développement durable » établie dans le cadre de la « Conférence internationale sur l'eau et l'environnement ». Celle-ci précise en effet qu'une « *gestion intégrée des bassins fluviaux permettrait de préserver durablement les écosystèmes aquatiques dans l'intérêt de toute la société* » et que « *les gouvernements devront aussi déterminer si, avec les moyens mis à leur disposition, les spécialistes de l'eau et de domaines connexes pourront mettre en œuvre toute la gamme des activités que suppose une gestion intégrée des ressources en eau. Il faudra pour cela un cadre institutionnel et juridique favorable, en particulier pour une gestion efficace de la demande* » (Conférence internationale sur l'eau et l'environnement, 1992).

2.2.2. Un relatif consensus terminologique...

Plus précisément, si certains travaux s'attachent à la « gestion intégrée des ressources en eau » (GIRE) – c'est notamment le cas de E. Reynard (1999) ou B. Charnay (2010) dont les titres respectifs de leur travaux de thèse mentionnent cette expression⁶ –, d'autres, sans précisément en expliciter les raisons, utilisent plutôt l'idée d'une « **gestion intégrée de l'eau** », sans mentionner le terme de « ressource » (Barraqué, 1995 ; Académie de l'eau, 2003 ; Académie de l'eau, 2008). Il est intéressant de noter à cet égard que le site Internet de l'Office International de l'Eau (OIE) fait parfois état de la « gestion intégrée des ressources en eau », d'autres fois de la « gestion intégrée de l'eau », voire même parfois de la « gestion intégrée de l'eau » abrégée « GIRE » ! Sans être véritablement fondamentale, cette distinction a son importance puisqu'elle conditionnerait le statut conféré à l'eau, comme vu précédemment.

Malgré le possible sens de ressource au regard des éléments développés auparavant, nous restons bien sur l'idée d'une « gestion intégrée des ressources en eau ». En nous appuyant sur les approches proposées par différents auteurs, nous la définirons comme la conciliation des usages et des milieux.

2.2.3. ... et une certaine polysémie des approches

Pour B. Charnay, « *si les principes de la GIRE sont les fondements des nouvelles réglementations sur l'eau, en revanche aucun texte ne donne une définition claire du concept en lui-même* » (Charnay, 2010, p. 42). Effectivement, les lectures disponibles sur le sujet, si elles se sont particulièrement enrichies ces dernières années, laissent à penser une **appropriation éclectique de la gestion intégrée de l'eau** par les auteurs s'intéressant à la question. Afin d'illustrer ce propos, nous nous appuyerons sur quatre textes parmi de multiples autres disponibles proposant chacun une acception particulière de la gestion intégrée de l'eau.

⁶ On peut également citer le manuel de formation de J. Burton (2001) « *La gestion intégrée des ressources en eau par bassin* » ou le « *Manuel de Gestion Intégrée des Ressources en Eau par Bassin* » du Partenariat Mondial de l'Eau et du Réseau International des Organismes de Bassin (2009) dont les titres reprennent également cette expression.

Double intégration : verticale et horizontale

La première d'entre elles est celle proposée par E. Reynard en 1999 (*op. cit.*). Celui-ci insiste tout d'abord sur la complexité qu'introduit le concept de « gestion intégrée » dans le système Eau : multiplicité des composantes et des relations qu'elles entretiennent les unes avec les autres (p. 29). L'auteur explique également qu'une gestion intégrée de l'eau passe par une intégration horizontale des ressources (offre), des utilisations (demande) et des acteurs de la gestion, et par une intégration verticale des différentes échelles de gestion (de locale à internationale) (figure 2.12).

En citant Valiron (1990), E. Reynard précise qu'une gestion de ce type est un processus qui a pour objectif de concilier l'ensemble des usages de l'eau tout en préservant au maximum le milieu naturel et l'environnement. Enfin, pour préciser la notion de gestion intégrée, il y ajoute celle de « gestion patrimoniale » (p. 31) : gestion de l'eau en bien commun et sur le long terme.

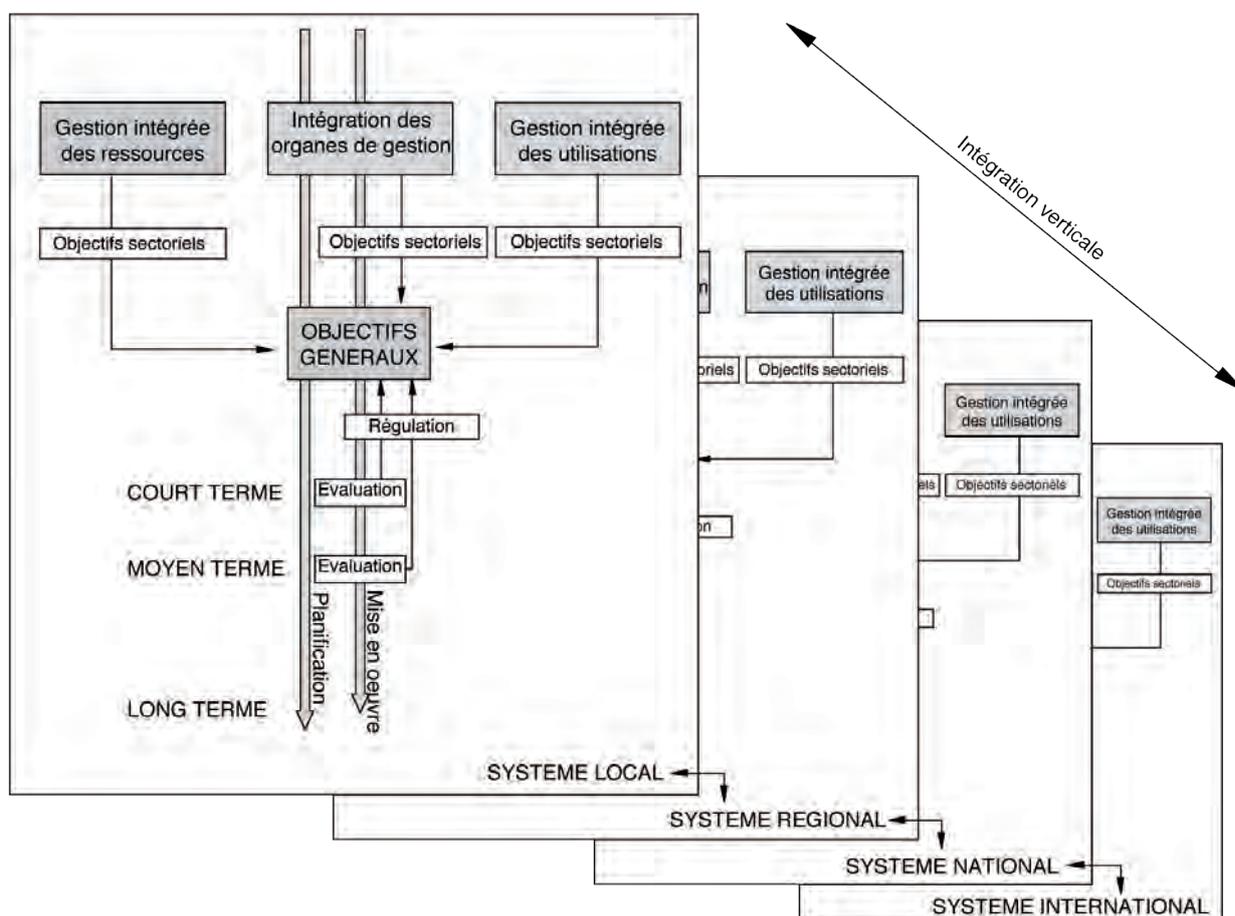


Figure 2.12 : « Double processus d'intégration « verticale » et « horizontale » de la gestion des ressources en eau » (extrait de Reynard, 1999, p. 30)

Durabilité et équité

Pour **S. Meissner et A. Reller (2005)** par ailleurs, « *durabilité et équité sont les premiers objectifs pour une gestion intégrée de l'eau* » (p. 8) : intégrité de la flore, de la faune et des sociétés humaines. Dans ce cadre, ils définissent l'utilisation durable de l'eau comme « *l'usage de l'eau qui garantit la capacité des sociétés humaines de se perpétuer et de s'épanouir dans un futur encore indéfini, sans remettre en question l'intégrité du cycle de l'eau et des systèmes écologiques qui en dépendent* » (Gleick et al., 1995, p. 23 in Meissner et Reller, 2005, p. 8). Ces auteurs préconisent de partir des ressources en eau disponibles pour dimensionner le développement futur de nos sociétés, et non l'inverse. Finalement, 8 critères de durabilité sont proposés (tableau 2.1).

1. Un accès à l'eau doit être garanti à toutes les personnes dans un souci sanitaire
2. Un accès à l'eau doit être garanti pour assurer la bonne santé des écosystèmes
3. Des normes minimales de qualité de l'eau doivent être assurées. Ces normes doivent varier en fonction de la localisation et du type d'utilisation
4. Les actions anthropiques ne doivent pas altérer le renouvellement sur le long terme des stocks et des écoulements d'eau
5. Des données sur la disponibilité, les usages et la qualité des ressources doivent être rassemblées et rendues accessibles à tous les acteurs
6. Des arrangements institutionnels doivent être mis en place pour prévenir et résoudre les conflits d'usage
7. Les aménagements relatifs à l'eau et les prises de décision doivent être démocratiques et garantir une égale représentation et participation de tous les acteurs concernés
8. Il faut s'assurer de l'indépendance des décisions relatives à l'eau à l'échelon local comme régional

Tableau 2.1 : Critères généraux de durabilité relatifs aux usages et aménagements hydriques (Gleick et al., 1995, p. 24 et WBGU, 1998, p. 282-283 in Meissner et Reller, 2005, p. 9).

Gestion intégrée par l'OIEau

La troisième lecture de la gestion intégrée de l'eau que nous proposons est celle du « *Guide de recommandations pour une meilleure gestion de l'eau entre les régions de têtes de bassin et d'aval* » publié en 2001 par l'Office International de l'Eau⁷ et la communauté autonome d'Estrémadure (Espagne). L'objectif de ce document est de participer à la promotion d'une gestion globale et intégrée des ressources en eau (p. 5). Les recommandations formulées à cette occasion insistent en particulier sur : l'impératif d'intégration de la dimension eau dans les actions d'aménagement du territoire, l'importance de la protection des milieux aquatiques, la nécessité de penser l'eau de façon quantitative et qualitative, et enfin la place majeure de la concertation et de l'éducation dans la gestion et l'utilisation de l'eau. Ces recommandations répondent ainsi explicitement à sept grands objectifs (tableau 2.2).

⁷ L'Office International de l'Eau (OIEAU) est une association dont la vocation est de réunir l'ensemble des organismes publics et privés impliqués dans la gestion et la protection des ressources en eau, en France, en Europe et dans le Monde

1. Conférer à l'eau une dimension territoriale en tant qu'élément structurant de l'aménagement du territoire
2. Concevoir les milieux aquatiques comme écosystème de vie
3. Garantir la satisfaction des différentes demandes en termes de qualité et de quantité
4. Réduire la contamination des ressources hydriques
5. Garantir un développement adéquat des écosystèmes aquatiques
6. Favoriser la participation consensuelle de tous les acteurs impliqués dans la gestion et l'utilisation de l'eau
7. Favoriser l'éducation autour du thème de l'eau

Tableau 2.2 : Les sept objectifs des recommandations pour une meilleure gestion de l'eau entre les régions de têtes de bassin et d'aval (OIEAU et communauté autonome d'Estrémadure, 2001, p. 5).

La gestion intégrée de l'eau en manuel

Le quatrième et dernier document auquel nous nous intéressons ici est le « *Manuel de Gestion Intégrée des Ressources en Eau par Bassin* » du Partenariat Mondial⁸ de l'Eau et du Réseau international des Organismes de Bassin⁹ (2009). Ce manuel propose une définition de l'approche de gestion intégrée des ressources en eau qui se rapproche quelque peu de la notion de développement durable :

« L'approche de gestion intégrée des ressources en eau contribue à la gestion et à l'aménagement durables et adaptés des ressources en eau, en prenant en compte les divers intérêts sociaux, économiques et environnementaux. Elle reconnaît les nombreux groupes d'intérêts divergents, les secteurs économiques qui utilisent et polluent l'eau, ainsi que les besoins de l'environnement » (Partenariat Mondial de l'Eau et le Réseau international des Organismes de Bassin, 2009, p. 10).

Il est ensuite précisé que l'approche intégrée permet de coordonner la gestion de l'eau à des niveaux différents, du local à l'international (on retrouve ici ce qu'E. Reynard appelait l'« *intégration verticale des différentes échelles de gestion* »). Les auteurs insistent ensuite sur le besoin de participation de tous les acteurs (concertation), de bonne gouvernance et d'efficacité des dispositions institutionnelles et réglementaires. Enfin, ils expliquent qu'un « *ensemble d'outils, tels que les évaluations sociales et environnementales, les instruments économiques et les systèmes d'information et de suivi soutiennent ce processus* » (*idem*). De la même façon qu'E. Reynard (*op. cit.*), ce texte présente ainsi la gestion intégrée comme un véritable processus.

⁸

Le partenariat mondial de l'eau (Global Water Partnership, GWP) a été fondé en 1996 par la banque mondiale, le Programme des Nations Unies pour le développement (UNDP), et l'agence pour le développement internationale suédoise (SIDA) pour inciter à une gestion intégrée des ressources en eau (IWRM). Il est un réseau international ouvert à toutes les organisations impliquées dans la gestion des ressources en eau.

⁹

Le Réseau International des Organismes de Bassin (RIOB) est une association créée en 1994 dont l'objectif est de promouvoir, comme outil essentiel d'un développement durable, la gestion intégrée des ressources en eau par bassin hydrographique.

S’il ressort clairement de ces différents cadrages de la notion de « gestion intégrée » des points de convergence, tous ne donnent cependant pas les mêmes mots-clefs en première intention (tableau 2.3). Ainsi, la durabilité en tant que telle est clairement affichée par certains et non par d’autres. De la même façon, l’importance de la **concertation** est explicitement revendiquée par quelques auteurs mais non par tous. Bien entendu, cela ne traduit pas forcément des désaccords sur l’essence même du concept de gestion intégrée : les grandes lignes semblent communément admises. Néanmoins, ces différentes façons d’expliciter ce concept montrent des priorités différentes accordées par les uns et les autres sur tel ou tel point. Cet exercice, véritablement non-exhaustif, pourrait se poursuivre par d’autres lectures du concept de gestion intégrée proposées par d’autres auteurs. Il ne ferait vraisemblablement que renforcer **notre constat d’un certain éclectisme dans l’appropriation du concept de gestion intégrée.**

Cela n’est évidemment pas un problème. Ces approches sont fonction de la problématique de recherche choisie et des origines disciplinaires de chacun. Il nous fallait néanmoins passer par cette étape pour positionner notre définition de la gestion intégrée. Si celle-ci associe les usages et les milieux, elle se veut également prendre en compte la dimension évolutive de la gestion de l’eau.

Auteur \ Mots-clefs	Bien commun	Durabilité	Intégration verticale (complexité)	Protection des écosystèmes	Concertation	Education	Protection de la qualité	Processus	Eau comme élément structurant de l’aménagement du territoire
Reynard, 1999, p. 29	(++)*	(++)*	+++	++	(+)*		+	++	
Meissner et Reller, 2005, p. 8	++	+++		+++	++		++		+
OIEAU et communauté autonome d’Estrémadure, 2001, p. 5				++	++	++	++		++
Partenariat Mondial de l’Eau et Réseau international des Organismes de Bassin, 2009, p. 10		+++	++	+	++		+	+	

+ : dimension présente / ++ : dimension très présente / +++ : dimension fondamentale
 * Mots-clefs bels et biens présents mais sous le concept de « gestion patrimoniale »

Tableau 2.3 : Mots clefs des différentes acceptions de la gestion intégrée de l’eau (d’après Reynard, 1999 ; Meissner et Reller, 2005 ; OIEAU et communauté autonome d’Estrémadure, 2001 et Partenariat Mondial de l’Eau et le Réseau international des Organismes de Bassin, 2009). *Ce tableau ne prétend pas l’exhaustivité des différentes acceptions de la gestion intégrée de l’eau. Il s’agit simplement de montrer, par l’analyse de quatre propositions, les différentes déclinaisons de la gestion intégrée selon les auteurs considérés.*

Certains travaux traitant de la question de la gestion intégrée décrivent effectivement cette notion comme un processus, c’est-à-dire comme une notion évolutive et dynamique. Pour B. Charnay, cette « *dimension dynamique d’une GIRE a été jusque là paradoxalement peu développée, notamment dans son objectif de développement durable* » (Charnay, 2010, p. 48). C’est justement cette caractéristique que nous souhaitons désormais affiner.

2.2.4. La gestion intégrée de l’eau : état donné d’un processus dynamique ?

Les figures 2.5 et 2.7 introduisent la **dimension évolutive de la gestion de l’eau** en fonction du temps. Il serait notamment question de passer de l’absence d’intérêt porté à l’eau, à une assimilation de l’eau comme bien commun (figure 2.5, *supra*, p. 78) ou encore d’une absence de gestion de l’eau, à une gestion intégrée de l’eau (figure 2.7, *supra*, p. 80).

Dans le sens de cette évolution, la gestion intégrée pourrait être définie comme un état particulier de l'évolution du système de gestion de l'eau et de l'ensemble de ses composantes. Il s'agirait ainsi d'un objectif à poursuivre dans les manières contemporaines d'appréhender la ressource en eau, un état non figé mais en équilibre dynamique, un état stationnaire que des perturbations pourraient être à même de rompre. Dans tous les cas, la gestion intégrée de l'eau ne pourrait être atteinte qu'après une succession d'étapes, dans la continuité d'un processus.

Pour le Partenariat Mondial de l'Eau (2004) « étant donné que le changement est un élément fondamental de l'approche, la gestion intégrée des ressources en eau devrait être envisagée comme un processus et non comme une approche « mono coup » [« one-shot approach » dans le texte] – processus de long terme et se déplaçant vers l'avant mais itératif plutôt que linéaire » (traduit de l'anglais, p. 12, cité in Charnay, 2010, p. 47). Ainsi, « la gestion intégrée des ressources en eau est un processus continu qui vise à répondre à l'évolution des situations et des besoins » (Partenariat Mondial de l'Eau, 2004, p. 12).

Poursuivant cette idée, considérant la gestion de l'eau comme un processus dont l'objectif serait de tendre vers une gestion intégrée, il est alors aisé de rapprocher cette évolution de la « roue de Deming¹⁰ » (cycle PDCA : Plan, Do, Check, Act) qui présente simplement les étapes à suivre pour améliorer la qualité d'une organisation. Appliquées à notre conception de la gestion intégrée, ces actions d'amélioration continue de la gestion de l'eau s'inscrivent dans une dynamique d'ensemble, où des éléments peuvent venir perturber la mise en place du système (figure 2.13).

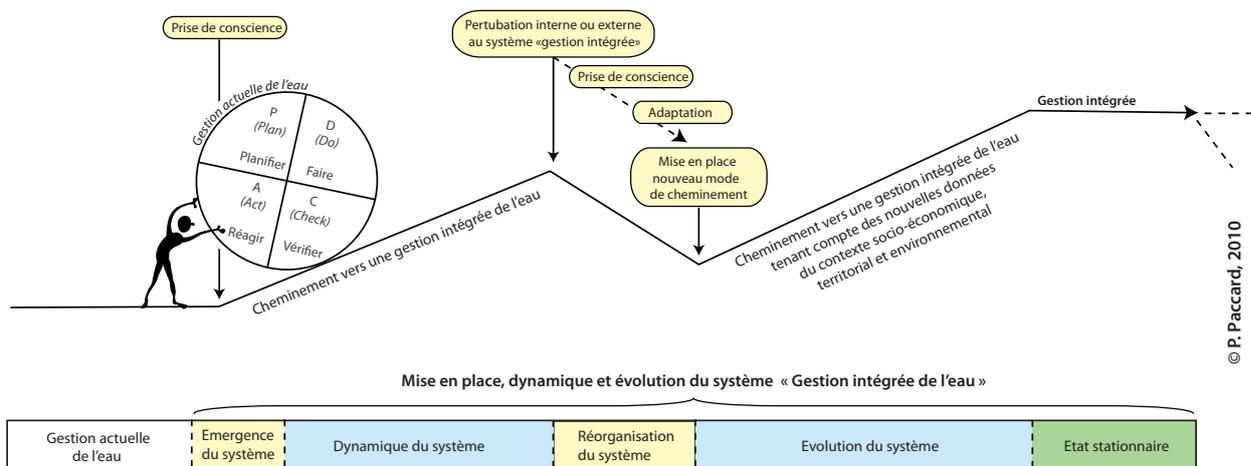


Figure 2.13 : Application de la « roue de Deming » à la gestion de l'eau. La gestion intégrée de l'eau est ici présentée comme l'objectif vers lequel tendre dans l'évolution des systèmes de gestion. L'amélioration continue des systèmes de gestion de l'eau reposerait de cette façon en un cycle renouvelable de quatre étapes : planification des actions à réaliser (planifier), mise en œuvre des actions (faire), vérification des actions réalisées (vérifier) et réajustement (réagir). Néanmoins, des perturbations (changement climatique, nouveaux usages, etc.) peuvent rompre l'état d'équilibre que représente le temps « gestion intégrée de l'eau » dans l'évolution du système. Le « chemin de la gestion intégrée » ne peut être retrouvé qu'après un temps de réorganisation : c'est le sens de la pente qui redescend suite à la perturbation du système par élément interne ou externe à celui-ci (il ne s'agit pas d'un « retour en arrière »).

¹⁰ D'après F. Massot (1999), W. E. Deming a présenté ce modèle d'amélioration continue en juillet 1950 au comité directeur du « Nippon Keidanren » (organisation patronale japonaise). Il est ainsi connu dans l'industrie japonaise comme le cycle de Deming. Néanmoins, ce processus d'amélioration continue est en réalité une création de W. A. Shewhart (F. Massot, 1999).

Il ressort finalement de notre analyse de la gestion intégrée trois points principaux :

- dans la « gestion intégrée de la ressource en eau », il faut considérer la fonction d'usages et la fonction de support biologique de l'eau (dimension de l'« eau ressource » et de l'« eau milieu ») ;
- une multiplicité des regards portés sur la notion de gestion intégrée ; ils évoluent dans un cadre commun ;
- la dimension évolutive de la gestion de l'eau, dans laquelle la gestion intégrée serait un objectif de gestion à atteindre, dans une dynamique d'évolution perpétuelle du système.

Devant les différentes acceptions du concept que nous venons de présenter et pour répondre à une des deux questions connexes à notre problématique générale – la production de neige en stations de sports d'hiver peut-elle s'insérer dans un modèle de gestion intégrée de la ressource en eau ? – nous retiendrons comme définition principale de la gestion intégrée **la conciliation de l'ensemble des usages de l'eau et le respect des milieux naturels**. Autrement dit, il s'agira dans le cadre de notre recherche de questionner à la fois les interrelations entre la production de neige et les autres usages de l'eau, et l'impact de cette activité sur les milieux naturels, en particulier aquatiques.

Par ailleurs, la gestion intégrée de l'eau étant désormais considérée comme un objectif à atteindre dans un processus plus global, la question sera de savoir, non pas si les modes de gestion de l'eau aujourd'hui mis en œuvre sont formellement intégrés ou non, mais plutôt à quelle distance d'une gestion intégrée se situent-ils. Pour simplifier, cela revient à la question suivante : où se situe-t-on sur le « chemin » de la gestion intégrée de l'eau ?

Nous l'évoquions déjà auparavant, nous pourrions difficilement nous passer, pour répondre à notre problématique d'intégrer à notre réflexion **les questions que pose la neige de culture en termes d'aménagement du territoire** : le modèle de développement touristique conditionne *a priori* les utilisations de l'eau, dont la production de neige ; il définit ainsi les différents paramètres à considérer pour gérer au mieux l'eau. Dans ce champ de l'aménagement du territoire, la question posée par la production de neige est en particulier celle de sa pertinence dans un contexte de réchauffement climatique qui, en première lecture, amplifierait la vulnérabilité des stations de sports d'hiver. Cette question de la vulnérabilité des stations est le deuxième champ d'investigation de notre recherche dans la problématique de la gestion durable de l'eau.

3. LA VULNÉRABILITÉ DES STATIONS DE SPORTS D'HIVER

Après avoir rapidement défini ce que l'on entend par « station », et « station de sports d'hiver » en particulier, c'est principalement sur la question de la vulnérabilité au changement climatique que portera notre propos. La station de sports d'hiver étant le cadre principal de notre travail, il est important d'en poser les principales limites. Par ailleurs, les questions de la neige de culture et du changement climatique étant intimement mêlées, notamment dans les débats sociétaux comme vu auparavant, les interrelations qu'entretiennent les différents paramètres que sont le réchauffement climatique, les stations de sports d'hiver et la neige de culture doivent être posées. C'est dans ce cadre que nous nous attachons à la notion de vulnérabilité des stations de sports d'hiver. La réflexion que nous proposons ci-dessous fait écho à l'emploi de ces notions à la fois dans **une des questions soulevées par notre problématique générale** et dans les **hypothèses** de notre travail.

3.1. Les stations de sports d'hiver au regard des stations touristiques

3.1.1. La station touristique: « le lieu où l'on s'arrête »

Au sens strict du terme, la station désigne le lieu où l'on s'arrête. En introduction de son livre sur « *Les stations touristiques* », V. Vlès (1996a) définit plus précisément cet objet :

La ville touristique est dénommée station « lorsque le touriste peut y trouver un hébergement et les services nécessaires à son séjour [...] En termes économiques, la station touristique est un système territorial de production et de distribution de biens et services de loisirs : unité spatiale organisée d'hébergements et d'équipements offrant un ensemble de prestations généralement diversifiées [...] D'un point de vue social et culturel, la station offre des activités de loisirs fondées sur la mise en valeur de ressources naturelles (rivages de mer, montagne, eaux thermales, espaces agro-sylvo-pastoraux, patrimoines culturels), ou sur l'enrichissement personnel (de l'esprit, du corps) » (Vlès, 1996a, p. 1)

Sur la base de cette définition, la station touristique peut être située indifféremment en bord de mer ou de lac, à la campagne, en ville ou à la montagne. Ces localisations, comme le genre de tourisme qui y est pratiqué, modifient les aspects extérieurs du dispositif d'accueil : par exemple, liseré littoral en bord de mer ou domaines skiables d'altitude en montagne. Qu'il s'agisse d'ailleurs de la mer ou de la montagne, l'urbanisme et l'architecture de ces espaces présentent de réelles similitudes.

En s'interrogeant sur ce qu'est une station, Brunet *et al.* (1974, p. 99) en distinguent quatre générations successives, quelle que soit leur localisation. **Une première génération est formée par les stations les plus anciennes**, dont les éléments se sont mis en place dès la fin du XVIIIème et durant tout le XIXème siècle (grand hôtel, promenade ombragée, casino, salons, bains...). La transposition dans l'espace de la villégiature bourgeoise forme **la seconde génération de station** (dispersion des villas et pensions autour des points d'ancrage du tourisme). Le tourisme massif des années 1950 construit **la troisième génération** : densification des hébergements, équipements collectifs de plus en plus nombreux. Enfin, **la quatrième génération de stations, dite des « stations intégrées »** apparaît dans les années 1960. Ces dernières sont le produit combiné du tourisme, d'opérations immobilières et de puissantes installations techniques pour les pratiques sportives (ski et navigation de plaisance par exemple) :

*« Un urbanisme fonctionnel règle avec rigueur l'aménagement de l'espace [...] d'un côté les aménagements spécifiques (port de plaisance, plage, domaine skiable équipé) et, de l'autre, de grandes capacités d'hébergement concentrées » (Brunet *et al.*, 1974, p. 100 ; photo 2.5 et 2.6).*

Photo 2.5 : Le Port de la Grande Motte, Hérault, France
(cliché : A. Caraco, juin 2004)



Photo 2.6 : Le « Paquebot des neiges » d'Aime la Plagne, Savoie, France
(cliché : P. Paccard, avril 2010)

La structure de ces deux stations touristiques, qu'elle soit balnéaire ou de sports d'hiver, est la même : grande capacité d'accueil d'un côté et aménagements spécifiques de l'autre.



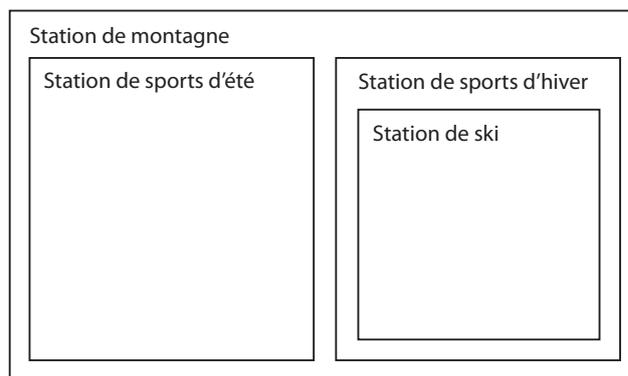
3.1.2. Les stations de ski / de sports d'hiver / de montagne : une forme de station touristique

Proposer une définition de « station de sports d'hiver » peut paraître, de prime abord, quelque peu insistant. Il nous paraît néanmoins important de préciser brièvement les contours de cet espace dans la mesure où il constitue la base du matériel empirique sur lequel nous construisons notre démonstration.

A l'intérieur de l'ensemble que constituent les stations touristiques, se trouvent les stations de sports d'hiver. En réalité, ces dernières sont « dorénavant qualifiées «de montagne» et plus seulement «de sports d'hiver» » (François, 2009) à la fois par les acteurs mêmes de ces systèmes mais également par leurs observateurs (on peut citer par exemple l'ouvrage collectif « **Stations de montagne**, vers quelle gouvernance ? » FACIM et Institut de la Montagne ; 2004). C'est une des manifestations de la volonté de requalification de ces espaces ; il s'agit d'accompagner la sortie d'un modèle initialement construit sur la mono-activité « ski » (l'expression « station de ski » est à cet égard encore plus caractéristique que celle de « station de sports d'hiver ») vers une

diversification des activités, notamment vers les produits touristiques estivaux. Dans cette logique, pour A. Mignotte (2009), c'est bien à l'échelle des stations de montagne, et non des stations de sports d'hiver, que peut se penser le tourisme durable en montagne.

La station de sports d'hiver, accompagnée de ses activités estivales (comme de l'ensemble des touristes séjournant en station sans s'adonner à une quelconque pratique sportive...) formerait donc, la « station de montagne » (figure 2.14). En ce qui concerne l'espace de nos travaux, c'est bien à l'échelle de la station de sports d'hiver, voire de la station de ski, que nous nous situons : la neige de culture est un des éléments de cet ensemble, au service des « sports d'hiver ».



© P. Paccard, 2010

Figure 2.14 : La station de sports d'hiver, une forme de station touristique

Par ailleurs, dans cette réflexion générale sur les stations de sports d'hiver, il nous faut distinguer la station elle-même du domaine skiable. Pour ces définitions, nous retiendrons celles proposées par ODIT France (2009, p. 88 et 89). La station (ou centre de ski) est un « *ensemble constitué par un domaine skiable alpin, les hébergements touristiques et les autres services nécessaires à l'accueil des clients (commerces, locations de matériel, restauration...) et tout ce qui est nécessaire à son bon fonctionnement : maintenance et exploitation du domaine skiable, hébergements, équipements et services pour les habitants permanents et les prestataires de services touristiques, etc.* ». Le Domaine skiable élémentaire (DES) est quant à lui « *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)* ». Il y a en France, plus de domaines skiabiles élémentaires (325) que de stations (293) (ODIT France, 2009, p. 42).

3.1.3. De la génération de la station à la problématique de l'eau et de la neige

De la même façon que l'ensemble des stations touristiques, les stations de sports d'hiver ont connu en France quatre générations successives. Celles-ci ont été parfaitement décrites, en premier lieu par P. Préau (1968) puis par R. Knafou (1978) dans son ouvrage traitant des « *stations intégrées de sports d'hiver des Alpes françaises* ». Cette typologie fut par la suite reprise par de nombreux auteurs :

- les **stations anciennes, de première génération**, proches des bourgs et des villages et d'altitude modérée (Chamonix, Megève, Villard-de-Lans...),
- les **stations de seconde génération, plus récentes** (à partir de 1946), construites en site vierge notamment grâce à l'apport important de capitaux publics, et fonctionnelles vis-à-vis du produit ski (Courchevel, Chambrousse, Méribel...),
- les **stations intégrées, de la 3^{ème} génération** (années 1960-70), issues du Plan-Neige, construites en altitude et conçues autour du produit ski (La Plagne, Val Thorens, Orcières-Merlette, Vars...),
- les **stations villages, de la 4^{ème} génération** (fin des années 1970), conçues en réponse aux vives critiques sur les « usines à ski » de la 3^{ème} génération, à l'architecture et aux remontées mécaniques plus modestes, reliées au village (Valmorel, Saint-Martin-de-Belleville, Bonneval-sur-Arc...).

Cette typologie intéresse directement notre problématique (et ultérieurement, le choix de nos études de cas), en particulier pour ce qui est des stations construites en site vierge et conçues exclusivement autour de la pratique du ski (3^{ème} génération). Les raisons de cet intérêt tiennent à l'eau et à la neige.

En présentant ce qu'il appelle « *La ville à la montagne* », R. Knafou (1978) décrit bien les difficultés, en termes d'alimentation en eau potable, de la « *construction de milliers de logements dans un site « vierge » [qui] est la marque la plus visible du développement des sports d'hiver* » (p. 90). Il précise en effet que « *l'adduction d'eau potable n'est pas [...] une opération facile* » et qu'« *elle perturbe profondément les conditions de l'hydrographie locale* » (p. 94).

En 1990, la revue *Aménagement et Montagne* dans un dossier consacré à l'eau (intitulé « *L'eau ne coule plus de source* ») parle de « *méga-stations et des milliers de skieurs [qui] tournent un robinet. Ils ont des lave-vaisselle, des lave-linge, des chasses-d'eau, des baignoires, des jacuzzis, des piscines et des patinoires. Bref, tout le confort qui leur fait consommer 3 à 400 litres d'eau par personne et par jour. Pour mieux les satisfaire, s'ajoutent désormais les canons à neige qui multiplie par deux la consommation d'une station* » (p. 38). En parallèle, dans le même dossier, G. Nicoud, hydrogéologue à l'Université de Savoie, explique la difficulté pour les stations de trouver de l'eau en montagne du fait des petits bassins versant, d'un stockage d'eau impossible dans les formations géologiques des montagnes cristallines et des conditions hydrologiques « désertiques » à l'étiage hivernal (p. 39).

Dans la perspective de notre recherche et 20 ans après ce constat, où en sont les bilans « besoins / ressource » en station alors que l'urbanisation semble ne pas être terminée (relation remontées mécaniques-hébergement) et que la production de neige est toujours croissante ?

Par ailleurs, les stations conçues et construites autour du produit ski interpellent également par leur dépendance à la ressource neige. Il ne s'agit plus ici de la problématique de l'eau mais bel et bien de la capacité d'un système à absorber les perturbations auxquelles celui-ci peut être confronté, dont, par exemple, le changement climatique.

Système concurrentiel, où les exigences de la clientèle sont fortes, et pour lequel le système de gestion commercial (liens et engagements entre exploitants de remontées mécaniques et tour-opérateurs, gestionnaires de résidences de tourisme) est complexe et contraint dans ses limites, l'enjeu de la neige est désormais, bien plus qu'avant, crucial. Si elle venait à manquer, ce que nous devons questionner, la rupture systémique pourrait être lourde de conséquences. Pour ce qui est de notre objet d'étude, la production de neige, renforce-t-il ou, au contraire, affaiblit-il l'aptitude du système à supporter l'incertitude ?

Dans tous les cas, la production de neige trouve sa place dans la typologie des stations étendue par L. Laslaz (2005, p. 416) qui propose deux générations de stations complémentaires :

- une 5^{ème} génération (nombreuse dans les années 1990), caractérisée par des **domaines inter-reliés** et où la **neige de culture prend une place importante dans la gestion du domaine** (Paradiski, Les Trois Vallées, Espace Diamant, Les Portes du Soleil...),
- une 6^{ème} génération (années 1990), définie par la **connexion des domaines d'altitude aux fonds de vallée** par de très gros porteurs (Brides-les-Bains, Orelle...).

L'ensemble des générations successives de stations traduit certes un certain dynamisme, relativement continu, de ce secteur d'activité. Néanmoins, la maturité du marché (Rolland, 2006,

p. 34), la montée en puissance des logiques environnementales et la réponse des opérateurs par exemple en terme de labels « verts » (François, 2009), ainsi que les perspectives d'évolution du couvert neigeux sous la contrainte du réchauffement climatique, sont autant de défis auxquels les stations de sports d'hiver sont confrontées depuis plusieurs années. Ils conduisent certains à penser la mutation du modèle proposé (Bourdeau, 2007 ; Badré *et al.*, 2009, p. 109). En particulier, les changements climatiques en cours posent la question de la vulnérabilité d'un système hyperspécialisé autour de la ressource neige, et fortement dépendant de celle-ci.

3.2. De la vulnérabilité des stations au changement climatique

Le Groupe d'Expert International sur l'Evolution du Climat (GIEC) définit la vulnérabilité au changement climatique de la façon suivante :

« Degré par lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur, et du rythme des changements climatiques auxquels un système est exposé, ainsi que sa sensibilité et sa capacité d'adaptation » (GIEC, 2001, p. 173).

En référence à cette définition, les risques liés au changement climatique semblent dépendre de deux paramètres principaux : l'aléa (caractère, ampleur, et rythme des changements climatiques) et les enjeux (exposition du système, sensibilité et capacité d'adaptation) synonymes de la vulnérabilité du système en question.

3.2.1. Aléa et vulnérabilité : facteurs de définition du risque

Cette lecture du risque renvoie à une définition communément admise de ce concept en géographie. Le risque est la combinaison de l'aléa et d'une vulnérabilité associée : **Risque = Aléa x Vulnérabilité**. Un aléa sans vulnérabilité (ou enjeu) conduit à un risque nul, quel que soit son importance. En réalité, à « vulnérabilité », nous préférons « **facteurs de vulnérabilité** » dans le sens de R. D'Ercole (1994) : ceux-ci sont multiples selon le système considéré.

Le changement climatique est largement perçu comme un agent de risques supplémentaires pour les sociétés humaines. En France, la loi n° 2001-153 du 19 février 2001 confère même à « *la lutte contre l'effet de serre et à la prévention des **risques liés au réchauffement climatique**, la qualité de priorité nationale* ».

Si l'on considère le changement climatique comme un risque pour les stations de sports d'hiver, l'aléa serait « l'hiver sans neige » tandis que la vulnérabilité serait le degré de sensibilité des stations à cet aléa. Bien entendu, les hivers sans neige (Gauchon, 2009), que l'on considère le changement climatique ou pas, sont « naturellement » existants puisque liés à la variabilité interannuelle des précipitations. Ces derniers pourraient être néanmoins exacerbés par le réchauffement des températures. Selon cette logique, ils sont vraisemblablement voués à s'amplifier dans les années à venir.

Ainsi, pour qualifier, voire quantifier, le risque du changement climatique pour les stations, deux analyses doivent être conduites conjointement. En effet, l'objectif réside à la fois dans la définition de la probabilité d'occurrence de l'aléa « hiver sans neige » mais également dans l'étude des facteurs de vulnérabilité des stations à un événement de ce type.

Une autre façon de voir les choses est de considérer le risque du changement climatique pour les stations, et en particulier pour la neige de culture, non pas comme facteur amplificateur de l'aléa « hiver sans neige » mais comme impactant les matières premières nécessaires à la production même de neige. L'eau et le froid sont en effet deux éléments fondamentaux du système climatique et contraints par les changements globaux en cours.

Nous traitons ci-dessous des deux facteurs de définition du risque : l'aléa d'une part, que nous abordons de façon globale (une approche plus locale sera proposée pour chacun de nos terrains d'étude), et la vulnérabilité des stations d'autre part¹¹.

3.2.2. L'aléa : le réchauffement climatique, ses impacts sur la couverture neigeuse et le régime des précipitations

Evolution des températures : observations et modélisations

Pour le GIEC, « le réchauffement du système climatique est sans équivoque, car il ressort désormais des observations de l'augmentation des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan, de la fonte généralisée des neiges et des glaces, et de l'élévation du niveau moyen mondial de la mer » (GIEC, 2007, p. 5). Pour la communauté scientifique internationale, même si ce point reste contesté par certains, l'implication humaine dans les changements climatiques actuels est en particulier due à l'émission de Gaz à Effet de Serre (GES). En conséquence de ces émissions, la vitesse moyenne de réchauffement au cours des cent dernières années est de l'ordre de 0,74°C (sur la période 1906-2005 ; *idem*, p. 5) contre 0,95°C en France (ONERC, 2009, p. 17). Les modèles climatiques prévoient la poursuite du réchauffement global, de 1,8°C à 4°C selon les simulations considérées (figure 2.15 ; maximum de 6,4°C pour le « pire » des scénarii, le scénario A1FI).

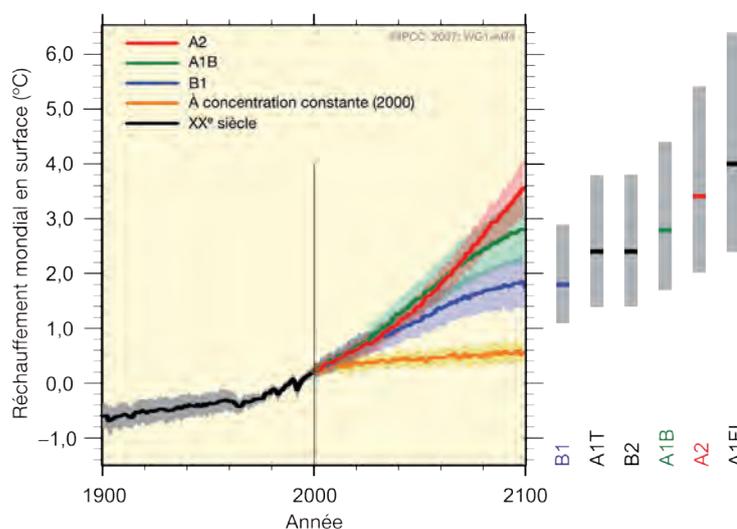


Figure 2.15 : Estimations et fourchettes probables pour le réchauffement global moyen de l'air en surface pour les six scénarii d'émissions à l'horizon 2100 (extrait de GIEC, 2007, p. 14). « Les lignes en traits pleins correspondent à des moyennes globales multi-modèles du réchauffement en surface (relatif à 1980-1999) pour les scénarii A2, A1B et B1, indiqués comme le prolongement des simulations du XXe siècle. Les zones ombrées matérialisent les écarts types de ± 1 des moyennes annuelles pour les différents modèles. La ligne orange représente l'expérience au cours de laquelle les concentrations ont été maintenues constantes par rapport aux valeurs de 2000. Les barres grises sur la droite représentent les meilleures estimations (ligne solide à l'intérieur de chaque barre) et l'étendue probable évaluée pour les six scénarii du RSSE [Rapport Spécial du GIEC sur les Scénarios d'Emissions] » (*idem*).

¹¹ Nous renvoyons ici également au chapitre 8 (cf. p. 376) traitant des perspectives d'évolution de la ressource neige sur les domaines skiables de Savoie et de Haute-Savoie.

Les observations de température dans les Alpes, en phase avec les anomalies de température à l'échelle globale, semblent montrer une sensibilité accrue de cet espace au réchauffement climatique (Beniston, 2009, p. 139). En termes de prévision, « selon des résultats de Modèles Climatiques Régionaux (RCM), les températures moyennes alpines pourraient augmenter au maximum de 3°C à 5°C en hiver et de 4°C à 6°C en été, d'ici à la fin du 21e siècle, en comparaison avec les températures moyennes du 20e siècle » (ONERC, 2008, p. 9).

Evolution des précipitations : observations et modélisations

L'évolution des précipitations ne montrent pas de tendance aussi claire que celle observée sur les températures (GIEC, 2007), en particulier dans les Alpes (ONERC, 2008) où la distribution temporelle et géographique des précipitations, particulièrement influencée par le relief, est difficile à modéliser. De nombreuses incertitudes demeurent.

Néanmoins, à l'échelle globale et selon le GIEC (2007), « il est très probable que le volume des précipitations augmentera sous des latitudes élevées, alors qu'il diminuera probablement dans la plupart des régions émergées subtropicales » (p. 16 ; figure 2.16). En France, cela se traduirait par une augmentation des précipitations hivernales et automnales et une baisse des précipitations estivales (ONERC, 2009, p. 17).

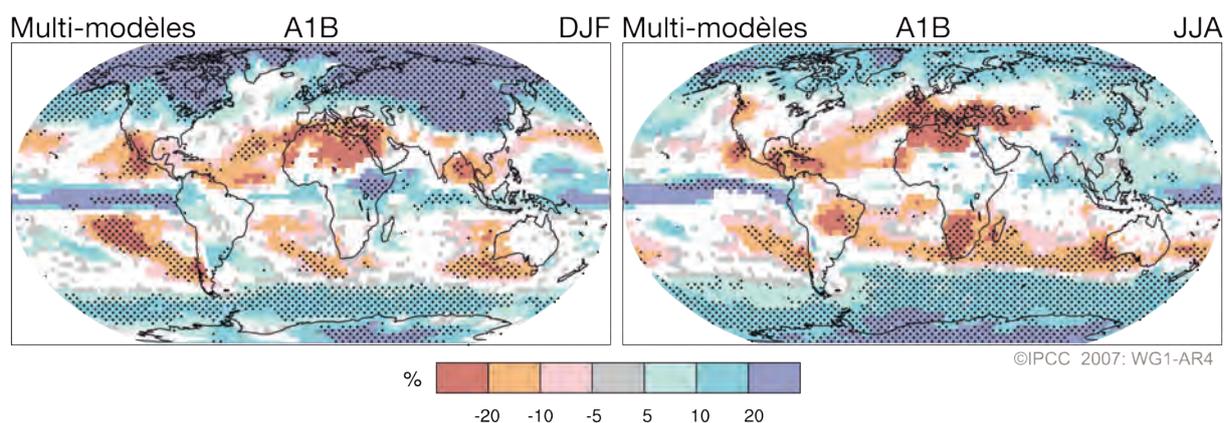


Figure 2.16 : Modélisation des changements relatifs des précipitations (en pourcentages) pour la période 2090-2099 par rapport à 1980-1999 (extrait de GIEC, 2007, p. 16). « Les valeurs sont issues de moyennes sur de nombreux modèles basés sur le scénario A1B du RSSE pour les mois de décembre à février (à gauche) et de juin à août (à droite). Les aires blanches représentent les zones où moins de 66% des modèles concordent sur le signe du changement, les zones hachurées correspondent aux cas où plus de 90% des modèles concordent sur le signe du changement » (idem).

Ces résultats sont corroborés par la recherche de J. Boé (2007) qui propose dans ses travaux de doctorat de physique du climat une régionalisation du changement global et du cycle hydrologique à l'échelle de la France. A l'horizon 2050, celui-ci obtient les résultats suivants (p. 236) :

- diminution modérée des débits hivernaux, sauf dans les Alpes où ceux-ci augmentent,
- forte diminution des débits estivaux et automnaux,
- forte diminution des précipitations neigeuses et des hauteurs maximales de neige à basse altitude, diminution qui tend à s'estomper plus on s'élève en altitude.

M. Beniston (2009) confirme les résultats ci-dessus en expliquant que la région alpine pourrait connaître une augmentation possible des précipitations en hiver et une substantielle diminution pendant l'été (p. 175). Cela se traduirait par une modification des régimes hydrologiques : augmentation des débits hivernaux et diminution des débits estivaux (en relation aussi avec le recul glaciaire ; figure 2.17).

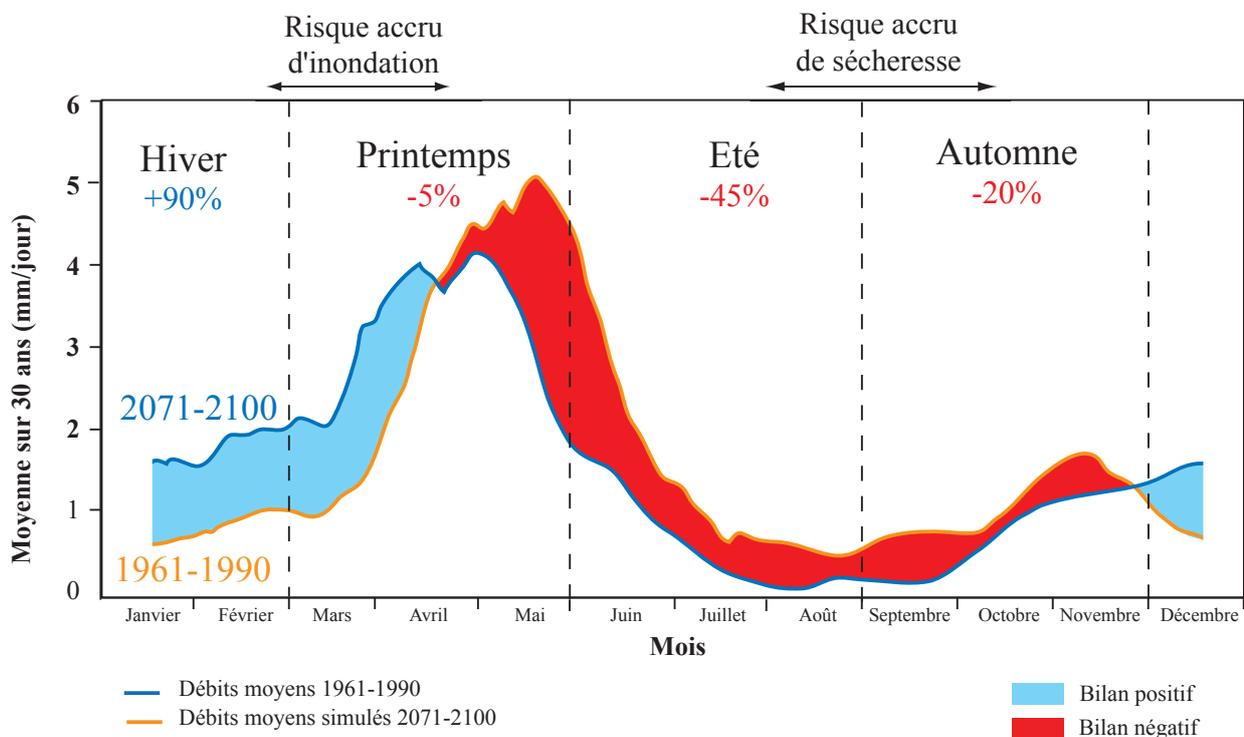


Figure 2.17 : Changement du ruissellement dans les Alpes dans la perspective du changement climatique (extrait de Beniston, 2007)

Malgré de véritables efforts de recherche concernant la régionalisation des impacts du changement climatique, notamment dans les Alpes comme nous venons rapidement de le voir, les prévisions concernant les effets locaux du réchauffement global restent encore trop imprécises. C'est ce qu'explique A. Brun (2007) : « Pour prévoir le changement climatique sur un point précis, projeter les modèles globaux est insuffisant. Un travail de recherche scientifique est nécessaire : la régionalisation du changement climatique. Ce type de questions est au cœur de la problématique des SGAR [Secrétaire général aux affaires régionales] et de la DIACT [Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires]. Il est en effet important de déterminer quel scénario et quelle stratégie utiliser pour faire les calculs afin de s'adapter au changement climatique » (p. 19).

La tendance à la baisse du niveau d'enneigement a justement été l'objet de prévisions au niveau régional, en lien avec les modèles d'évolution climatique issus des scénarii produits par le GIEC. C'est notamment le cas des modèles SAFRAN et CROCUS de Météo France qui se sont attachés à prévoir l'évolution du nombre de journées avec de la neige au sol dans les Alpes et les Pyrénées.

Evolution de la couverture de neige au sol

De nombreuses observations font état d'une diminution tendancielle des cumuls de neige en montagne et de la couverture neigeuse associée (Etchevers et Martin, 2002 ; Yvrande, 2008 ; Seiz et Foppa, 2007 ; Chaix 2008...). Dans les Alpes françaises, la série la plus connue est celle du Col de Porte, du Centre d'Etude de la Neige : à 1320 mètre d'altitude en Chartreuse (Isère), la tendance générale est à la diminution de l'enneigement depuis la fin des années 1970 (Etchevers et Martin, 2002, p. 2 ; ODIT France, 2009, p. 44) même si la variabilité interannuelle reste majeure.

Les modélisations de l'évolution de la couverture de neige au sol proposées par Météo France confortent les observations réalisées jusqu'alors. En effet, les simulations météorologiques réalisées à l'horizon 2060 et 2100 avancent l'hypothèse d'une diminution du nombre de jours avec neige au sol à basse altitude (figure 2.18). Le nombre de journées avec de la neige au sol (simulé par les modèles SAFRAN et CROCUS), dans l'hypothèse d'un réchauffement de 1,8°C¹², diminue d'un mois à 1 500 m sur tous les massifs. On passerait de 5 à 4 mois dans les Alpes du Nord et de 3 à 2 mois dans les Alpes du Sud et les Pyrénées.

A cette même altitude et selon ces mêmes simulations, l'épaisseur du manteau neigeux diminuerait de 40 cm dans les Alpes du Nord (pour une épaisseur de 1 m en moyenne actuellement) et de 20 cm dans les Alpes du Sud et les Pyrénées (pour une épaisseur de 30 à 40 cm actuellement) (Etchevers, Martin, 2002, p. 5). A haute altitude, au dessus de 2 500 m, l'enneigement serait légèrement retardé et la fonte un peu plus rapide (une douzaine de jours d'enneigement en moins) (*idem*).

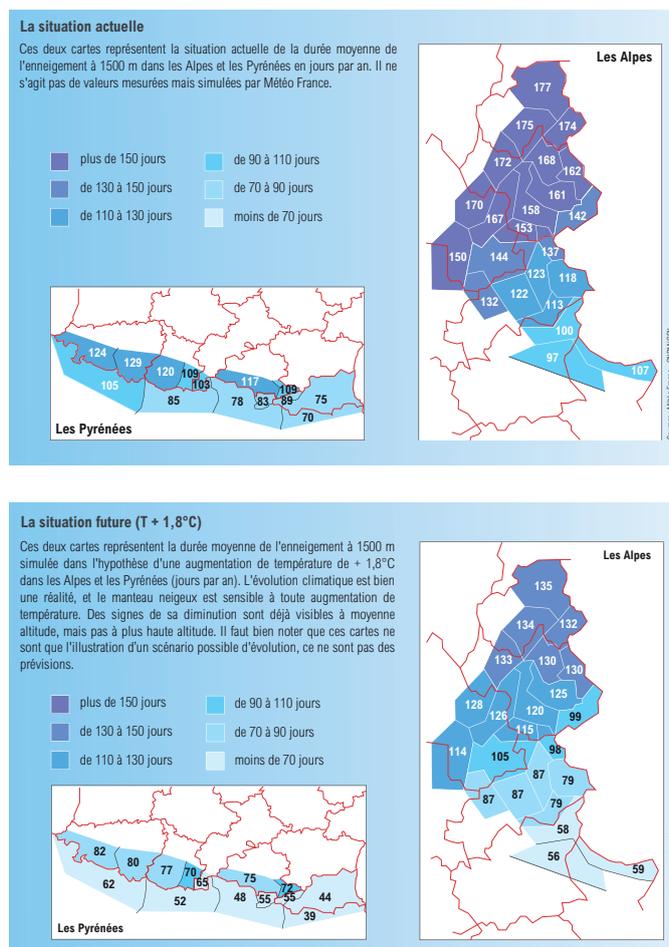


Figure 2.18 : Impact sur l'enneigement d'un réchauffement de 1,8°C sur les Alpes et les Pyrénées (d'après Météo France, extrait de ODIT France, 2009, p. 45)

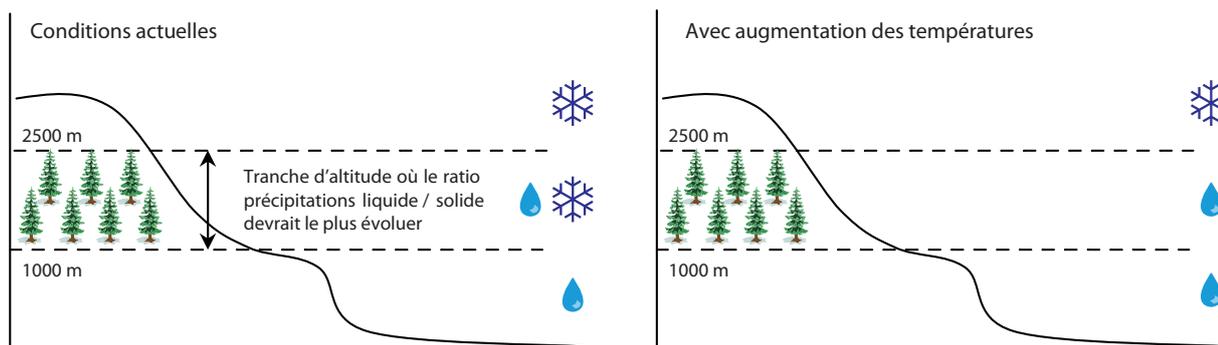
¹²

+1,8°C est un réchauffement des températures mondiales correspondant à l'horizon 2060 pour les scénarios A1B et A2 du GIEC et à l'horizon 2100 pour le scénario B1 (GIEC, 2007).

Cette diminution du nombre de jours avec de la neige au sol s'expliquerait à la fois par une fonte plus précoce du manteau neigeux du fait de températures plus douces, mais également par l'élévation altitudinale de la limite pluie/neige : à l'altitude où la majorité des précipitations hivernales tombent aujourd'hui sous forme de neige, ces précipitations pourraient tomber sous forme de pluie pour des températures plus chaudes (figure 2.19).

Si les précipitations mondiales devraient augmenter du fait d'une intensification du cycle hydrologique (GIEC, 2001), d'après E. Brun (2007, p. 20), l'augmentation possible des précipitations hivernales en montagne (comme vu précédemment) ne contrecarrerait pas l'effet de la hausse des températures sur la fonte du manteau neigeux.

Bassin versant alpin



Bassin versant de type préalpin ou plateau

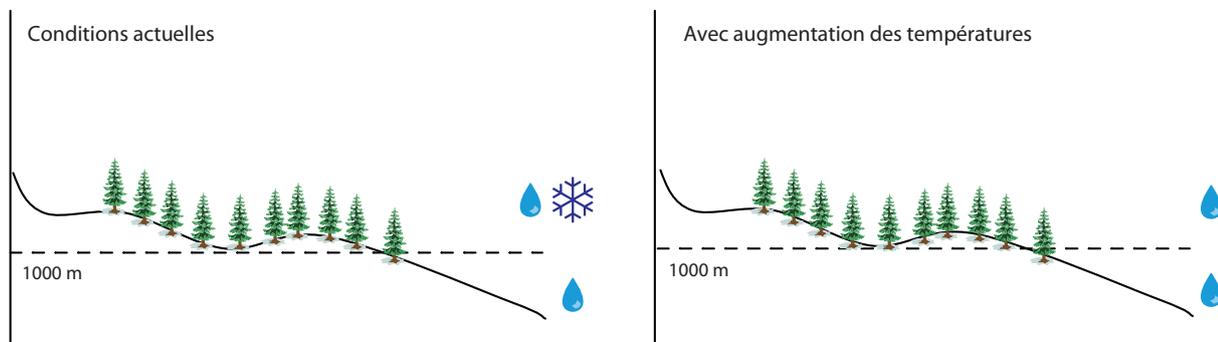


Figure 2.19 : Évolution schématique du ratio hivernal précipitations liquides/solides pour un bassin versant de type alpin ou de type préalpin/plateau (extrait de Prudent-Richard, 2008, p. 39, modifié)

-  La plupart des précipitations tombent sous forme de neige
-  Les précipitations tombent sous forme de pluie et de neige
-  La plupart des précipitations tombent sous forme de pluie

Face à ces constats et projections de diminution de l'enneigement, que nous questionnerons dans la limite de nos moyens sur nos différents terrains d'étude, les conséquences sur l'économie des sports d'hiver sont *a priori* sans équivoque. En acceptant une relation linéaire de cause à effet – ce qui est discutable considérant un système ouvert et complexe –, il est effectivement facilement envisageable la perte d'au moins une partie de l'activité ski pour les massifs sujets à la diminution, voire la disparition, de l'enneigement.

Pour certains auteurs néanmoins, cette lecture du risque centrée sur l'aléa systématise une vision catastrophiste des événements à venir sans prendre en compte les possibles opportunités de ces changements (Deshaies, 2009, p. 195). Pour d'autres, si elle reste indispensable, elle doit être complétée : elle approche la notion du risque sous un angle trop déterministe sans prendre en compte les capacités de résilience des systèmes humains et territoriaux considérés. Ainsi, aux recherches centrées sur les aléas à venir dans le cadre du changement climatique, doivent être associées des investigations sur les vulnérabilités des systèmes considérés et donc sur leur capacité à faire face à ces nouveaux dangers.

3.2.3. La production de neige : un prisme de lecture de la vulnérabilité des stations de sports d'hiver

Nous le précisons, la vulnérabilité est le deuxième facteur de définition du risque. En termes de risque climatique pour les stations de sports d'hiver, c'est toujours la perspective d'une diminution de l'enneigement qui intéresse notre réflexion.

E. Marcelpoil et V. Boudières (2008) définissent précisément la vulnérabilité des territoires touristiques de montagne et, dans ceux-ci, des stations de sports d'hiver en défendant une lecture endogène du risque. Nous nous appuyons sur leurs propos pour construire notre raisonnement.

Deux approches sont effectivement possibles pour apprécier la vulnérabilité des stations. Elles renvoient respectivement à une lecture exogène ou endogène du risque, c'est-à-dire à la définition de celui-ci par l'analyse de la vulnérabilité structurelle ou organisationnelle du système considéré, en l'occurrence, le système touristique des sports d'hiver.

La localisation géographique (Préalpes ou massifs plus internes), l'altitude (moyenne montagne ou altitude), la taille et la puissance des remontées mécaniques, etc. représentent tout autant de facteurs définissant le degré de vulnérabilité structurelle des stations de sports d'hiver. Analyser ces différents éléments revient à porter un regard sur des paramètres physiques au système ; cette approche constitue en cela une lecture exogène du risque. Elle est une acception passive de la vulnérabilité.

Au contraire, les modes de gestion, les capacités d'organisation et de réorganisation, la possible résilience du système, les stratégies d'adaptation ou d'atténuation de l'aléa, etc. sont des facteurs définissant le degré de vulnérabilité organisationnelle des stations de sports d'hiver. Appréhender l'ensemble de ces variables consiste à s'intéresser aux paramètres socio-économiques du système ; c'est une lecture endogène du risque. Elle est une acception active de la vulnérabilité.

A notre sens, ces deux approches sont complémentaires puisque les paramètres du système sont en interrelation : la réactivité du système dépend en partie de la structure de celui-ci (par exemple, la possibilité de financer une installation d'enneigement dépend de la taille de la station) mais, en retour, l'adaptation du système à des forçages externes peut en modifier la structure (par exemple, l'adaptation au changement climatique par le choix d'une mutation du modèle économique).

Nos travaux portent donc sur un objet relevant du champ de la vulnérabilité organisationnelle des stations de sports d'hiver : si le dessein de la production de neige est bien d'atténuer les effets de la raréfaction de la ressource neige en conséquence du changement climatique, nous serions bien en présence d'une stratégie interne d'adaptation à ces évolutions, dont il nous faudra alors juger de la pertinence. Dans tous les cas, la production de neige ne remet pas en cause la structure du système ; au contraire, il la renforce.

Toutefois, notre recherche se focalise sur cet unique objet ; il convient de ne pas oublier qu'il existe d'autres stratégies possibles et qu'il s'agirait d'en mesurer l'importance.

Effectivement, en ne s'intéressant qu'à la pratique de l'enneigement, il est possible d'apprécier en valeur absolue la dimension que revêt l'objet dans le système de développement touristique mais pas d'en comprendre la valeur relative, c'est-à-dire en comparaison des autres logiques possibles. Bien sûr, nous approcherons forcément ces autres dimensions : dans les discours sur la production de neige se mêlent toujours, de façon connexe, les questions de la diversification des activités, du tourisme quatre saisons, etc.

Il faut cependant préciser que, dans la méthodologie conduite sur nos différents terrains, nous approcherons également la vulnérabilité structurelle des stations de sports d'hiver étudiées : leur positionnement géographique et altitudinale sera confronté aux scénarii d'évolution du couvert neigeux disponibles et compréhensibles.

En fait, l'objectif de ce questionnement, tant sur l'aléa que sur la vulnérabilité, est bien de pouvoir mettre en regard deux choses : les choix d'investissement en installation de production de neige et leurs implications environnementales d'un côté et la sensibilité du modèle de développement touristique des sports d'hiver dans le contexte actuel de changement climatique de l'autre. La durabilité de notre objet de recherche ne peut être en effet envisagée qu'en pensant de façon pérenne la structure sur laquelle celui-ci repose. On retrouve ici ce que nous défendons au préalable : la nécessité de penser le développement territorial pour gérer durablement la ressource en eau.

CONCLUSION DU CHAPITRE 2

La gestion durable de l'eau doit répondre de façon pérenne à des objectifs environnementaux, sociaux et économiques. Ce modèle de gestion est indissociable de la dimension territoriale dans laquelle il s'inscrit. Ainsi, la gestion de l'eau en montagne, où la ressource est d'ailleurs particulièrement hétérogène, ne peut pas se passer d'une réflexion sur le système qui en conditionne les usages. Dans le cadre de notre recherche, l'usage est la production de neige ; il s'inscrit dans le modèle de développement touristique des sports d'hiver. Notre objet d'étude est donc un vecteur de réflexion puissant puisqu'il se situe au croisement de deux enjeux particuliers : celui de l'eau et celui de l'aménagement touristique des territoires de montagne. Objectif d'intégration idéale de deux sous-système parfaits, la gestion durable du complexe « eau et territoire » revêt une forme quelque peu utopique. Construction chimérique certes, l'amélioration des modes de gestion successifs n'en reste pas moins certainement possible, dans tous les cas nécessaire à une démarche de progrès ; nous essaierons ainsi d'être constructifs lorsqu'il nous faudra proposer des pistes de progrès réalistes.

Telle que nous la concevons, la gestion intégrée de l'eau est une des composantes, nécessaire mais pas suffisante, de la gestion durable. Traitée depuis quelques années par de nombreux auteurs, il n'en existe pas de définition formelle ; les acceptions des uns et des autres dépendent des problématiques choisies et des parcours disciplinaires. Nous la définissons pour notre part comme la conciliation des usages de l'eau et des milieux naturels. Elle est l'état stationnaire d'un système complexe que des perturbations peuvent obliger à repenser. Perturbation au sens d'élément entrant, les besoins croissants en eau des installations d'enneigement remettent probablement en cause la gestion actuelle de la ressource en eau. En analysant les interrelations de cette pratique avec les autres usages de l'eau et ses impacts sur les milieux naturels, nous interrogerons la gestion intégrée de l'eau appliquée à la production de neige.

Dans notre recherche, la durabilité du modèle de développement touristique des sports d'hiver sera questionnée sous l'angle des évolutions climatiques actuelles. Effectivement, la production de neige repose sur une structure dont la pérennité est aujourd'hui remise en question par le changement climatique. L'« hiver sans neige », aléa que l'économie des sports d'hiver redoute tant, pourrait effectivement devenir plus fréquent.

Les températures moyennes alpines hivernales pourraient augmenter de plusieurs degrés d'ici à la fin du siècle (+3°C à +5°C). Dès lors, la remontée en altitude de la limite pluie-neige, conjuguée à une fonte plus précoce du manteau neigeux, conduirait effectivement à la raréfaction de la ressource neige, matière première indispensable à l'économie des sports d'hiver.

Cette approche centrée sur l'aléa n'est néanmoins pas suffisante pour qualifier le risque que représente le réchauffement climatique pour les stations de sports d'hiver ; il faut la compléter par une lecture de leur degré de vulnérabilité. Cette vulnérabilité est de plusieurs ordres : structurelle, elle tient à des paramètres physiques aux stations (altitude, massif...) ; organisationnelle, elle dépend des stratégies déployées par les acteurs des stations. Parmi ces stratégies, la production de neige en est une. Même si notre propos reste focalisé sur cet objet, nous questionnerons aussi la vulnérabilité structurelle des stations terrain d'étude et, par l'analyse de données climatiques, les évolutions climatiques constatées. Tous ces éléments nous permettront d'avoir une vision d'ensemble du risque.

CONCLUSION DE LA PREMIÈRE PARTIE

Notre premier chapitre consistait à poser la méthodologie de notre recherche. Ce sont deux aspects de celle-ci qui ont été soulignés : cheminement intellectuel pour définir la problématique générale de notre recherche mais également méthodes d'investigation à déployer sur les terrains d'étude.

Pour ce qui est de notre problématique, portant sur **l'insertion possible de la production de neige dans un modèle de gestion durable de la ressource en eau**, c'est à partir des manques à la connaissance que nous l'avons choisie : lacunes d'informations quant aux implications de la production de neige sur l'eau à l'échelle des bassins versants supports des stations de sports d'hiver.

Pour répondre à la problématique choisie, nous nous appuyons sur un ensemble d'hypothèses posées en entrée de notre recherche. Elles sont relatives à l'ensemble des « questions » soulevées par la production de neige : qu'en est-il de l'évolution des équipements, des impacts sur la ressource en eau, des conséquences des évolutions climatiques sur les stations de sports d'hiver et de la pertinence de l'aménagement du territoire ? Il s'agit d'un ambitieux champ d'investigation qui correspond en fait aux questions de la société.

Ce questionnement sociétal, nous en avons rapidement saisi la teneur grâce à une lecture des nombreux articles de journaux traitant de la production de neige. Dans la présentation des faits, le manichéisme des débats est l'un des premiers éléments qu'il est possible de mettre en évidence : les tenants de la neige de culture d'un côté, les détracteurs de l'enneigement artificiel de l'autre. Pour étayer cette question, il nous faudra saisir le détail des arguments que chacune de ces parties défend. N'y a-t-il par ailleurs pas d'acteurs « intermédiaires » existants ?

Dans ce contexte, le choix d'une méthodologie adaptée s'imposait : volonté d'appréciation objective des faits, au plus proche du terrain, avec toutes les précautions à prendre pour ne pas s'inscrire dans la polémique.

Nous nous sommes ensuite attachés à définir les principales notions sur lesquelles la recherche proposée s'appuie. Il s'agit en particulier des termes de la problématique de notre recherche : la gestion durable de l'eau, en lien avec la production de neige. A notre sens, un modèle de gestion durable de l'eau passe forcément par un décloisonnement des problématiques relatives à l'eau d'un côté et à l'aménagement du territoire de l'autre. En d'autres termes, on ne peut pas penser la durabilité de la gestion d'une ressource sans questionner la structure sur laquelle celle-ci repose. Poursuivant cette logique, il nous faudra alors questionner sur le terrain deux choses : (1) la gestion intégrée de l'eau, c'est-à-dire la conciliation de la production de neige avec les autres usages de l'eau et les milieux, mais également (2) la durabilité du modèle des sports d'hiver, dans la considération du réchauffement climatique. Pour ce dernier élément, c'est la question de la vulnérabilité des stations qui est posée.

Jusqu'à présent, nous n'avons pas véritablement défini notre objet d'étude : comment et pourquoi fabrique-t-on de la neige, dans quel cadre réglementaire cette pratique s'inscrit-elle ? Ambitionner d'apprécier objectivement une pratique et, pourquoi pas, les arguments des uns et des autres, nécessite de la connaître avec précision. Notre chapitre suivant s'attache justement à décrire précisément la production de neige en stations de sports d'hiver.

Deuxième partie

LA PRODUCTION DE NEIGE : ENTRE PRATIQUE ET PERCEPTIONS

DEUXIÈME PARTIE - LA PRODUCTION DE NEIGE : ENTRE PRATIQUE ET PERCEPTIONS

L'objectif de cette seconde partie est de **porter attention à la pratique de la production de neige mais également aux positionnements des acteurs impliqués**. Cet ensemble nous permettra de mieux comprendre le cadre technique de notre objet d'étude et les discours qui l'accompagnent.

Pour ce qui est de la pratique en elle-même, trois temps structureront notre propos. Le premier concerne le **développement de la pratique**, principalement en France mais en avançant également quelques éléments de comparaison avec les autres pays de l'arc alpin. Nous montrerons à cette occasion que la production de neige n'est pas si récente que cela à l'échelle du développement des stations de sports d'hiver. Elle est dans tous les cas aujourd'hui une pratique largement généralisée sur les domaines skiables alpins.

Dans un second temps, nous expliquerons **l'intérêt de la production de neige**, partant du point de vue des opérateurs de domaines skiables. Les raisons de la pratique sont importantes à comprendre dans le cadre de notre réflexion. Elles nous permettront de mesurer le poids que revêt aujourd'hui l'outil dans la gestion et l'exploitation des domaines skiables.

Enfin, c'est **le cadre réglementaire des installations d'enneigement**, particulièrement en ce qui concerne les prélèvements en eau, qui focalisera notre attention. L'idée est d'en expliquer la teneur pour nous permettre d'en cerner les limites. La législation est effectivement fréquemment invoquée par les différents acteurs dans leurs discours sur notre objet d'étude.

Les perceptions de la production de neige par les opérateurs de domaines skiables, collectivités territoriales, administrations d'Etat, acteurs de l'eau et associations d'usagers de la montagne et de protection de l'environnement seront ensuite posées. Nous employons le terme de « perceptions » pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les arguments invoqués par les uns et les autres doivent encore, à ce stade de notre réflexion, être confrontés aux réalités que nous constaterons sur le terrain. Par ailleurs, s'ils sont parfois tout à fait justes et pertinents, les arguments invoqués semblent d'autres fois ne cerner qu'une partie de la complexité des enjeux. Quelques fois enfin, ils semblent seulement répondre à des logiques « artisanes ».

En réalité, nous ne pouvons pas nous passer d'**exposer les points de vue de chacun** : ils constituent le contexte de notre recherche. Notre analyse dépassera néanmoins le strict cadre des « perceptions » ; nous nous attacherons également aux actions entreprises vis-à-vis de notre objet d'étude (soutiens financiers ou actions de communication par exemple). Dans la mesure de leur intérêt pour notre raisonnement, ces éléments seront présentés.

Quoiqu'il en soit, nous verrons que **des logiques contradictoires s'affrontent** jusqu'à parfois générer des conflits. Cette dimension doit être mesurée dans notre travail. Une conciliation des usages et des milieux passe en effet par une forme de concertation entre les acteurs. Aussi, si le dialogue est impossible, la conciliation est compromise.

En fait, tant dans l'intérêt porté à la technique de la production de neige qu'aux points de vue des différents acteurs, l'objectif reste de parfaire notre connaissance de l'objet et de son contexte. Il s'agit de construire des **réponses objectivées à nos questionnements et hypothèses**.

CHAPITRE 3 - LA PRATIQUE DE L'ENNEIGEMENT

Après avoir défini et expliqué les principales notions sur lesquelles s'appuie notre travail, ce troisième chapitre a pour objet la pratique de l'enneigement artificiel.

Dans un premier temps, nous analyserons en quoi la production de neige est un outil au service de la gestion et de l'exploitation des domaines skiables. L'intérêt que représente la production de neige pour les opérateurs de remontées mécaniques sera ici abordé. Il nous permettra de comprendre les motivations de ces derniers.

Dans un second temps, les processus de production de neige seront traités. L'objectif de cette partie est de connaître les techniques et infrastructures de l'enneigement artificiel afin de pouvoir porter un regard objectif sur la pratique.

Enfin, dans un troisième et dernier temps, nous nous attacherons à décrire le cadre législatif français dans lequel la production de neige évolue. L'idée est de pouvoir cerner en détail les contours de cette législation pour, s'il le fallait, en préciser les limites.

1. UN OUTIL AU SERVICE DU MODÈLE DE DÉVELOPPEMENT TOURISTIQUE DES SPORTS D'HIVER

1.1. Historique et développement des installations d'enneigement en stations de sports d'hiver

1.1.1. Pallier le manque de neige : des premières solutions artisanales aux procédés industriels de production de neige

D'hier à aujourd'hui, la variabilité de l'enneigement

Le manque de neige en stations de sports d'hiver en pleine saison hivernale n'est pas un phénomène nouveau. La presse (figure 3.1) a souvent relevé de tels manques :

« Neige sur la France - Mais les stations des Alpes attendent encore d'être touchées par la distribution de blanc. Paris, 12 janvier [1964]. - La neige, tant attendue par certains, se décide enfin à tomber sur de nombreuses régions de France. Toutefois, elle a encore épargné les Alpes, où les skieurs espèrent que les écluses célestes consentiront à s'ouvrir au cours des prochains jours » (Le Dauphiné Libéré, le 13 janvier 1964, p. 1).

Figure 3.1 : Le manque de neige à la Clusaz (Haute-Savoie), au mois de novembre 1964 (Le Dauphiné Libéré, le 27 novembre 1964, p. 7)



Jouer au tennis le 25 janvier et à 1.100 mètres d'altitude grâce à deux courts « en dur » construits au printemps 1963 par la commune à Clusaz (1) surtout à une saison d'hiver fantaisiste, voilà une aventure que nous ne sommes pas près (et souhaitons-le) de revoir. Bruno et Marcellin (notre photo), tous deux moniteurs de ski à l'occasion... et professeurs de tennis, ont troqué les skis pour la raquette et ont repris un sport inattendu pour eux en cette saison.

Dans un article intitulé « *Les hivers sans neige et l'économie des sports d'hiver : un phénomène récurrent, une problématique toujours renouvelée* », C. Gauchon (2009) s'attache à décrire la perception par différents acteurs de quatre « hivers sans neige » majeurs : 1931-1932, 1963-1964 (dont nous rapportons ci-dessus un extrait du *Dauphiné Libéré*), 1988-1989 et 2006-2007 (p. 195 et suivantes). Ce ne sont néanmoins certainement pas les seuls. En ce qui concerne l'hiver 2006-2007, « *La situation se présente toutefois sous un jour nouveau, d'abord parce que cet hiver sans neige n'est plus perçu comme une anomalie climatique somme toute classique, mais comme le signe d'un dérèglement tangible du climat* » (*idem*, p. 202).

Bien entendu, les professionnels des sports d'hiver se soucient très tôt de cette problématique. La revue *Aménagement et Montagne* soulignait déjà en 1976, dans un article consacré à la neige de culture, « *l'inquiétude permanente chez les responsables de station devant le problème de l'enneigement* » (Rocher-Revol et Fourrat, 1976, p. 54).

Entre les hivers 1963-1964 et 2006-2007, la problématique de l'enneigement déficitaire n'a eu de cesse que de se renouveler. Ces épisodes météorologiques sont toujours retranscrits par les journaux d'information locaux. Entre hier et aujourd'hui, un élément majeur les distingue néanmoins : « *vingt années d'enneigement artificiel sont passées par là, et la situation a changé du tout au tout* » (Gauchon, 2009, p. 202). Ainsi, pour deux photographies similaires (pourtant avec 40 années d'écart ! ; figure 3.2 et 3.3) qui pointent l'absence de neige en stations de sports d'hiver, on glisse de la perception d'un « *hiver pas comme les autres...* » (*Le Dauphiné Libéré*, le 23 janvier 1964, p. 5) à celle des « *canons à neige terrassés par le coup de chaud* » (*La Tribune de Genève*, le 28 novembre 2006, p. 1).

Figure 3.2 : « Hiver sans neige » 1963-1964 à Megève (Haute-Savoie) (*Le Dauphiné Libéré*, le 23 janvier 1964, p. 5)



Figure 3.3 : « Hiver sans neige » 2006-2007 à La Clusaz (Haute-Savoie) (*La Tribune de Genève*, le 28 novembre 2006, p. 1)



Un golfeur jouant sur un domaine skiable sans neige malgré le début de la saison hivernale. Une différence importante est à noter : un canon à neige, « terrassé par le coup de chaud » : 40 ans de progrès technologique dans les techniques d'exploitation et de gestion de la ressource neige...

Garantir le ski avec « les moyens du bord »

Pour pallier ce manque de neige et garantir l'activité ski, des alternatives pour enneiger les pistes « avec les moyens du bord » sont, dès les premiers temps, mises en œuvre. C'est à l'aide de poubelles, de pelles, voire de lessiveuses que l'on enneige les pistes afin de garantir la pratique du ski. La presse de l'hiver 1963-1964, riche d'informations à ce sujet, en témoigne (figure 3.4 et 3.5).

Malgré la rareté de la neige, grâce à l'union de ses habitants, la station des Gêts a pu inaugurer sa « piste 64 »

Les Gêts, 22 janvier. — On peut pratiquer le ski aux Gêts. Voilà qui donne, quand on sait que la plupart des stations alpines attendent depuis plusieurs semaines la chute d'une bonne couche de poudreuse, dont l'absence, jusqu'ici, cause un important préjudice à tous ceux qui vivent du tourisme hivernal et des sports d'hiver.

Aux Gêts (où le Grand Prix International fut annulé, au début du mois, faute de neige), le ciel est « désespérément bleu » : pas le plus petit nuage en vue, apportant un quelconque espoir...

Et pourtant, les hôteliers de la station n'ont enregistré jusqu'à ce jour que peu de déceptions parmi leurs réservations, et les pensionnaires pleurent ne se plaignent (presque) pas.

Il faut dire que le peu de neige couvrant les pentes peu exposées, au soleil a été utilisé de façon heureuse, notamment à Super-Chavanne. Et maintenant, on peut skier, les cours de l'École de ski fonctionnent à plein.

— Nous allons bientôt faire subir des épreuves de « Chamois » et de « Fiches », nous a dit M. Roger Lago, le directeur de l'E.S.

Il faut souligner l'union qui s'est faite aux Gêts pour offrir aux hivernants dans la station de quoi satisfaire leurs désirs. De nombreux hôteliers ont mis du personnel à la disposition de l'École de ski, les moniteurs de celle-ci ont débroussaillé, ont charrié, avec les volontaires, des lessiveuses et toutes sortes de récipients remplis de neige, sous sa main, en peu de temps, la « Piste 64 » comme on l'appelle, fut praticable, sur une longueur de plus de 1.300 mètres. C'est donc une nouvelle piste qui est ainsi créée de toutes pièces. Quand l'enneigement sera normal, elle viendra s'ajouter à l'éventail des pistes de Super-Chavanne.

Parallèlement, à ce charroi de neige, deux téléskis furent amenés sur place : l'un (celui des Follets) fut loué, le second fut acheté par la commune.

Cette opération enneigement est également entreprise au Mont-Chéry...

Voici d'ailleurs des extraits de la

circulaire adressée aux habitants des Gêts par M. Alphonse Monnet, maire :

« La neige tant désirée ne vient pas. Nous devons nous organiser, pour faire face à une situation qui risque de devenir catastrophique, pour notre commune. Déjà, un très gros effort a été accompli pour pouvoir mettre en service plusieurs téléskis aux Chavannes.

Il faut continuer. Nous avons décidé, en accord avec M. Bouchet,

de déplacer le téléski de la Grande Ourse et d'enneiger cette nouvelle piste...

C'est pourquoi je vous lance un appel pour que vous veniez, à la gare du Chéry, munis de lessiveuses, de poubelles, et de pelles. Nous aurons ainsi une nouvelle piste à offrir à nos vacanciers.

Est-il besoin de préciser que cet appel fut largement entendu, et qu'il y avait foule, l'autre jour, près de la Grande Ourse ?



C'est ainsi que l'on met en état une piste : des volontaires transportent la neige dans des lessiveuses et des poubelles

A LA PELLE...



Nous avons souligné l'union qui existe, dans la station des Gêts, entre tous les habitants, de quelque corps de métier qu'ils soient, afin d'offrir aux hivernants en séjour dans la commune des raisons de ne pas être trop déçus par le manque de neige : les hôteliers, l'Office du Tourisme, l'École de ski et même le masseur ont mis la main à la pâte afin d'amener la neige là où l'on peut tracer une piste praticable.

Voici deux moniteurs de ski maniant la pelle avec dextérité, sur les hauteurs de Super-Chavanne.

Figure 3.4 et 3.5 : Solutions mises en œuvre pour pallier le manque de neige sur les pistes de la station des Gêts (Haute-Savoie) pendant l'hiver 1963-1964 (à gauche, Le Dauphiné Libéré, le 23 janvier 1964, p. 4, et à droite, Le Dauphiné Libéré, le 24 janvier 1964, p. 7).

Les solutions retenues à cette époque, telles que celles évoquées ci-dessus, demandent évidemment d'importants efforts de manutention et ne peuvent convenir à une économie touristique qui tend à se structurer et se massifier. Néanmoins, ces alternatives pour s'adapter à l'« hiver sans neige », certes très artisanales, témoignent d'une certaine souplesse d'organisation pour faire face à l'aléa ; les possibles conséquences économiques sont dans tous les cas moins prégnantes qu'aujourd'hui.

Les métiers de la neige se professionnalisent, les acteurs se tournent vers d'autres solutions, plus automatisées, pour rationaliser l'exploitation des domaines skiables.

Le procédé de transport pneumatique TRANSNEIGE, permettant de déplacer facilement d'importants volumes de neige des secteurs excédentaires vers les secteurs déficitaires, est ainsi présenté au 2^{ème} salon de l'Aménagement en Montagne de Grenoble (avril 1976). Mais cette innovation ne connaîtra jamais de véritable engouement... La production de neige automatique, bien au contraire, connaîtra quant à elle un succès fulgurant.

« 1950-60 : Les pionniers » de la production de neige¹

On rapporte souvent, pour évoquer l'invention de la neige de production, l'expérience accidentelle des années 1950 (1951 ?) des frères Tropeano (par exemple, Le Ski, 1963, p. 150 ; Jeandreaux, 1963, p. 10 ; Walter, 1980, p. 141 ; Galvin, 2007, p. 114), propriétaires d'une société spécialisée dans le matériel d'irrigation agricole aux Etats-Unis (Boston) :

« Ils expérimentaient à l'extérieur une machine pour pulvériser de l'eau sur les arbres fruitiers afin de les protéger contre le gel. A la fin de la journée, l'un d'eux quitta le verger tandis que l'autre était au téléphone. Pendant l'appel téléphonique, la température extérieure s'abaisa. Lorsqu'il raccrocha, quelle ne fut pas sa surprise de constater que l'eau pulvérisée s'était transformée en neige ! » (Galvin, 2007, p. 114).

Dans la même décennie, une solution automatisée est pensée par un fabricant de skis en aluminium, lourdement affecté par de précédents hivers sans neige : un brevet, déposé le 27 avril 1954 aux Etats-Unis par M. Wayne Pierce Jr., propose une méthode pour « fabriquer et distribuer de la neige » (« *method for making and distributing snow* », dans le texte). On retrouve sur ce document (figure 3.6) les différents éléments d'une installation d'enneigement : une source d'alimentation en eau, une pompe pour remonter cette eau, un compresseur d'air et un ensemble de buses, ici installé sur des petits skis et que l'on venait « clipper » le long des canalisations distribuant les fluides air et eau.

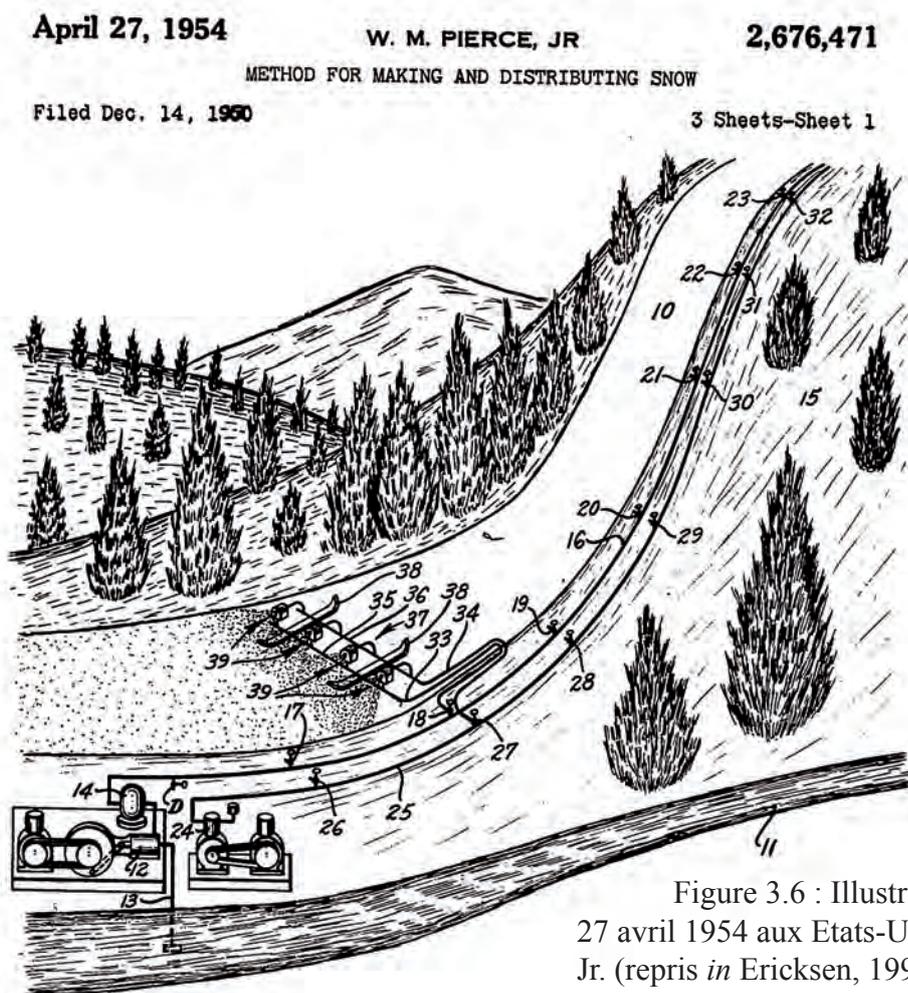


Figure 3.6 : Illustration du brevet déposé le 27 avril 1954 aux Etats-Unis par M. Wayne Pierce Jr. (repris in Ericksen, 1990, p. 141)

¹ Titre emprunté à M. Galvin (2007, p. 114) dont l'article « *La grande épopée de la neige de culture* » est un texte de référence pour retracer l'historique des installations d'enneigement en stations.

En France, on retrouve mention de la production de neige dès les années 1960, en particulier dans un article du journal *Le Ski*, daté d'avril 1963 et intitulé « *Le Snowmaker* »² (photo 3.1). Dans celui-ci, un représentant de la Société AMF, distribuant ce système d'enneigement, vante les mérites de ses produits. Il procède à une explication détaillée du principe de fabrication de neige et des infrastructures associées. Les propos tenus par l'auteur se révèlent être presque visionnaires pour l'époque puisqu'encore parfaitement d'actualité :

« Il n'y a donc pas de limites à la longueur des pistes qui peuvent être couvertes par un snowmaker ? En principe non. En réalité, on est limité par la taille des compresseurs nécessaires, par les problèmes d'eau [la problématique n'est donc pas nouvelle !], par le coût [...]. On entrevoit immédiatement la véritable révolution que peut représenter le Snowmaker pour le sport du ski. Bien sûr, les stations de haute altitude s'intéresseront au snowmaker comme une assurance contre le manque de neige. Les stations de basse altitude y verront un moyen unique d'être préservées de l'inactivité totale qu'elles connaissent parfois pendant de longues semaines d'hiver » (Le Ski, 1963, p. 152).

le Snowmaker

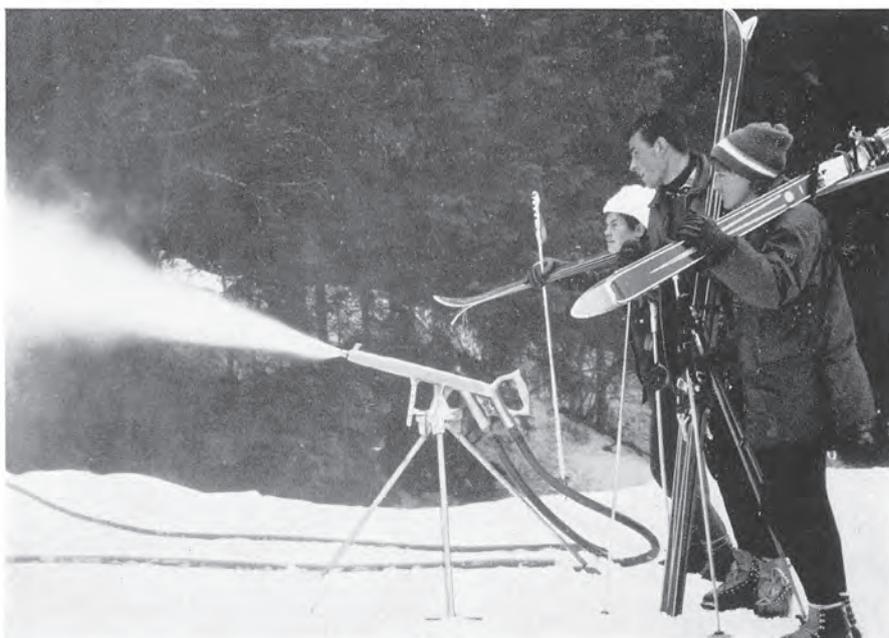


Photo 3.1 : Enneigeur de la société AMF en action (cliché : auteur inconnu, année inconnue *in* *Le Ski*, 1963, p. 150)

Depuis le vraisemblable premier brevet de M. Wayne Pierce Jr., de nombreux autres furent déposés, principalement aux Etats-Unis, pour améliorer les techniques d'enneigement (figure 3.7, *infra*, p. 125). Les principaux constructeurs se livrent une bataille technologique importante jusque dans les années 1990 pour le développement de produits toujours plus performants. A partir de cette date, si les constructeurs continuent toujours d'innover, « *les technologies de base (haute/basse pression, bi/mono-fluide) sont matures et le débat technologique dépassé* » (Aménagement et Montagne, 2007, p. 66).

²

Le terme « snowmaker » est le nom donné aux enneigeurs (ou « canon à neige ») dans cet article. Aujourd'hui, « snowmaker » (littéralement, le « faiseur de neige ») est utilisé pour désigner le nivoculteur, responsable de la production de neige sur un domaine skiable.

Les premières stations françaises équipées

Il est intéressant de noter que les premiers essais d'enneigement artificiel en France n'ont pas été réalisés dans de grandes stations d'altitude mais sur de petits domaines de moyenne montagne. En 1963, au **Champ du Feu** (Bas-Rhin, Vosges ; photo 3.2 et 3.3), la société d'exploitation de ce petit domaine skiable « *avait réussi à enneiger une piste de 550 m de longueur pendant 3 années consécutives avec du matériel américain «Snowmaker»* » (SNTF, 2002, p. 1). L'ensemble de l'installation, qui comportait « *4 canons à neige, un réservoir d'eau, un compresseur, une pompe à eau et de la tuyauterie* » est « *venu à point pour compléter les 4 téléskis déjà existants avec 2000 remontées par heure* » (Schweitzer, 1965, p. 33). L'installation est considérée comme révolutionnaire, créant des possibilités nouvelles, « *de sorte que les strasbourgeois peuvent skier depuis novembre* » (*idem*).



Photo 3.2 : Réglage de l'installation d'enneigement du Champ du Feu en 1963 (cliché : Auteur inconnu, 1963 ; transmis par N. Bureth, 2009)

Photo 3.3 : Un enneigeur de l'installation du Champ du Feu (cliché : Auteur inconnu, 1963 ; transmis par N. Bureth, 2009)



Si les premiers essais d'enneigement au Champ du Feu sont bien connus et maintes fois rapportés, on ne fait mention que beaucoup plus rarement de l'expérience de la petite **station morvandelle du Haut-Folin**, culminant à 902 mètres d'altitude (point culminant du massif du Morvan, Saône et Loire, région Bourgogne). Dans un article de la revue du Club Alpin Français (« *Paris-Chamonix* ») de décembre 1963, le Président de la sous section d'Autun explique comment ce site est en passe de devenir la première « *station artificielle* » grâce aux 5 « *snowmakers* » que l'on vient d'y installer : « *La mise en application d'une invention récente, destinée à **produire artificiellement de la neige naturelle** [choix des mots qui réconcilie les tenants du débat sémantique « artificiel », « naturel » ou de « culture » !], va faire du Haut-Folin la première station artificielle, à l'image des 130 stations qui existent déjà depuis quatre ans en Amérique* » (Jeandreaux, 1963, p. 9).

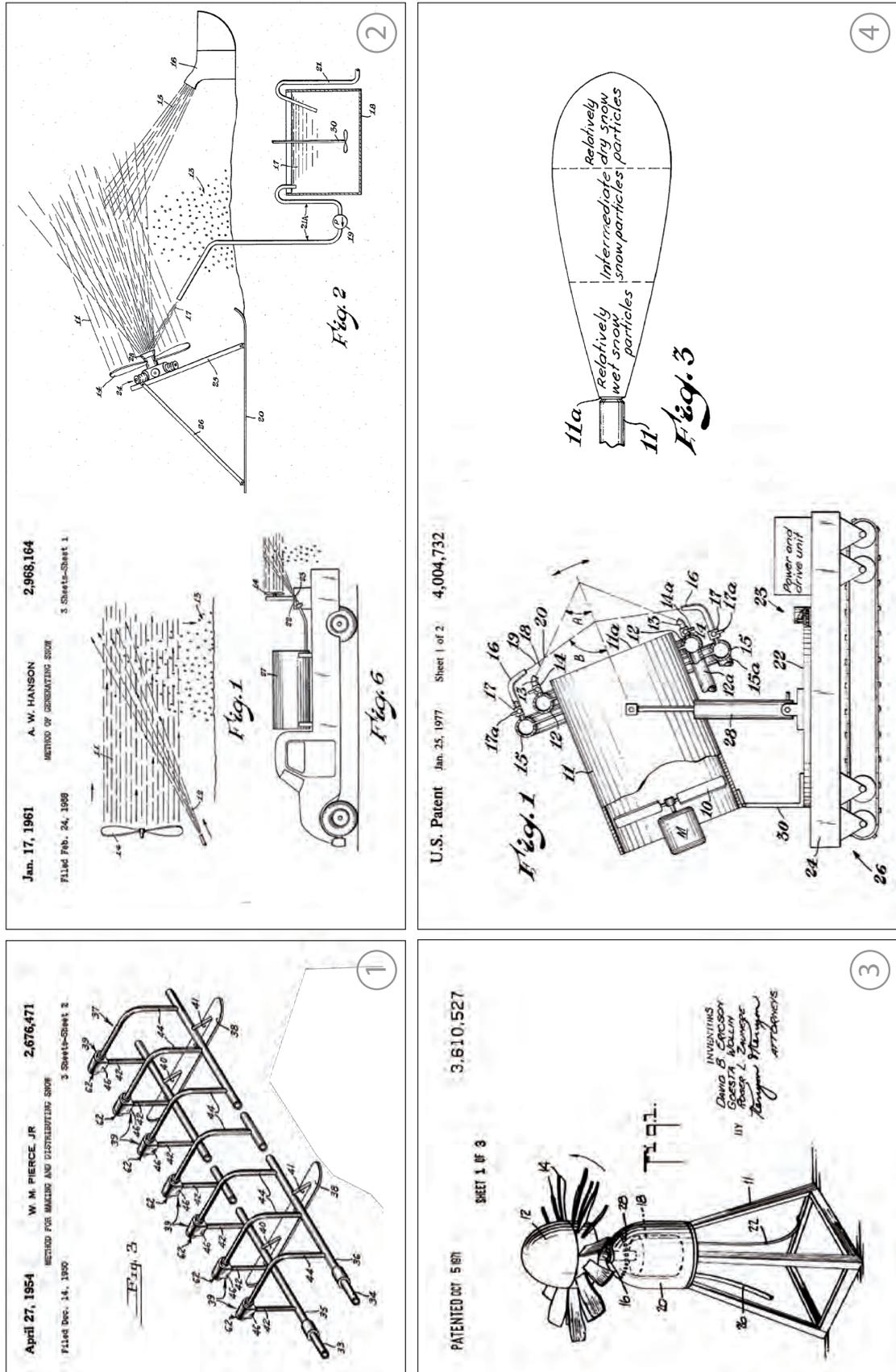


Figure 3.7 : Quelques illustrations des brevets déposés entre 1954 et 1977 aux Etats-Unis (Auteurs : [1] W. M. Pierce Jr, 1954 ; [2] A. W. Hanson, 1961 ; [3] David B. Ericson, 1971 ; [4] A. W. Hanson, 1977). En 1977, la configuration des enneigeurs monofluides actuels est reconnaissable.

Si le réchauffement climatique n'est bien évidemment pas d'actualité à l'époque, l'auteur se veut tout de même prudent : « *Il ne faut cependant pas croire au miracle et penser que cette neige fournira au Haut-Folin une saison de ski plus longue que celles des grandes stations des Alpes Françaises* » (*idem*, p. 10). Les caprices de la météo lui donneront malheureusement raison : après quelques mauvais hivers, la station fermera ses portes à la fin des années 1980.

Dans les Alpes françaises, les essais des premiers « canons à neige » dateraient de 1964. Un court article du *Dauphiné Libéré* de janvier 1964 relate effectivement des tests réalisés sur le **domaine skiable de Megève** (cité *in* Gauchon, 2009, p. 199 ; figure 3.8). C'est la plus ancienne mention d'enneigement artificiel que nous ayons trouvée pour les Alpes françaises. Là encore, les propos tenus sont presque prophétiques tant ils se révèlent aujourd'hui plus que pertinents, en particulier du point de vue économique :

« *Au Mont d'Arbois, on a procédé aux essais des canons-neige (que tout le monde à Megève appelle déjà les « canons de la Baronne» [la Baronne Maurice de Rothschild a effectivement contribué au développement de Megève, en particulier du domaine du Mont d'Arbois])... Sans doute, un jour prochain, les canons-neige seront au ski ce que les patinoires artificielles sont aux sports de glace : un moyen de lutte contre les «défaillances» de la nature. Cela coûtera cher ? Indiscutablement... mais essayez un peu de calculer les centaines de millions qui se perdent en ce moment dans les stations mal enneigées !* » (Le *Dauphiné Libéré*, le 14 janvier 1964, p. 5).

De la neige (artificielle) pour les stations de sports d'hiver

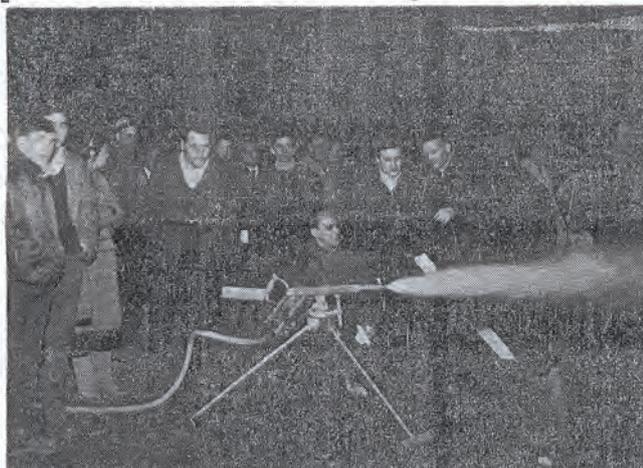


Figure 3.8 : Production de neige à Megève en 1964 (Le *Dauphiné Libéré*, le 14 janvier 1964, p. 5, cité *in* Gauchon, 2009, p. 199)

Après ces premiers essais, qui relèvent plus de l'expérimentation que de l'enneigement systématique, **Flaine (Haute-Savoie) serait la première grande station française à s'équiper** (voire européenne d'après Badré *et al.*, 2009, p. 15) : la piste Mephisto est enneigée sur 600 m de dénivelée et 14 hectares de superficie. Mais à cette époque, l'opération est « *jugée par l'ensemble des observateurs français peu ou pas rentable, et même d'un impact négatif sur la clientèle* » (SNTF, 2002, p. 1), partant du principe que si l'on doit fabriquer de la neige, c'est que celle-ci doit être déficitaire. « *En outre, les difficultés d'exploitation et les coûts de l'investissement avaient engendré un doute sur la faisabilité et l'intérêt de fabrication de neige sous le climat français* » (*idem*).

Vraisemblablement, pratiquement plus aucune station ne semble douter aujourd'hui de l'intérêt de l'outil : il s'est généralisé.

1.1.2. Aujourd'hui, un équipement quasi généralisé

Depuis son invention, la production de neige s'est largement généralisée sur l'ensemble des domaines skiables de l'arc alpin. En France, c'est à la fin des années 1980 que débutent l'équipement massif des domaines skiables en installation d'enneigement.

En guise d'avertissement méthodologique, nous souhaitons préciser que l'analyse proposée ci-dessous repose en partie sur les chiffres publiés et les nombreuses données aimablement mises à notre disposition par la Direction des Etudes et de l'Aménagement Touristique de la Montagne (DEATM) tout au long de nos échanges et collaborations. La DEATM est depuis mai 2009 une Direction d'Atout France (Agence de Développement Touristique de la France), établissement public sous tutelle du ministère chargé du tourisme, suite à la fusion d'ODIT France (Observation, Développement et Ingénierie Touristique France) et de Maison de la France (agence de promotion de la France à l'étranger).

Les chiffres utilisés et rapportés ci-dessous sont issus d'une base de données très riche, en particulier à propos des installations d'enneigement, et alimentée depuis de nombreuses années par la DEATM :

« Conscient que le développement de la neige de culture constitue l'un des axes majeurs de la modernisation et de la mutation des domaines skiables français, ODIT France a déployé depuis plus de dix ans un dispositif d'observation continu et détaillé qui repose sur :

- *un suivi annuel des investissements (en partenariat avec Montagne Leaders) auprès des exploitants, des communes, des fabricants et des bureaux d'études permettant d'avoir une connaissance exhaustive des installations de neige de culture en France et de leur rythme de développement*
- *une enquête annuelle auprès des exploitants portant sur le fonctionnement de ces installations au cours de la saison d'hiver »* (Berlioz, 2008, p. 2).

En France : une lecture multiscalaire de l'importance des équipements

A l'échelle nationale

Plusieurs hivers souffrant d'un manque de neige à la fin des années 1980 et au début des années 1990 sont à l'origine du décollage des investissements en installations d'enneigement (ODIT France, 2008, p. 5 ; Badré *et al.*, 2009, p. 15). R. Knafou confirme cet état de fait :

« Une succession de trois hivers très mal enneigés, à partir de 1987-1988, venant après des hivers copieusement enneigés, a été à l'origine d'une brutale prise de conscience d'un risque d'autant plus fort que les intérêts en jeu sont désormais considérables. Un nouvel hiver très peu enneigé en 1992-1993 a renforcé l'alerte. C'est dans ce contexte qu'il faut replacer la politique d'équipement des stations en installations de neige de culture. Il y a, en France, une nette corrélation entre cette séquence d'hivers peu enneigés et les investissements dans la production de neige de culture » (Knafou, 2003, p. 50)

Dès lors, les équipements ne cesseront de se développer. **En 1974, moins de 10 hectares** de pistes (à Flaine) sont enneigeables artificiellement sur la totalité du parc français (Aménagement et Montagne, 2007, p. 10). M. Rocher-Revol et J.-M. Fourrat (1976, p. 53) comptent **seulement 4 stations équipées en 1976** : La Bresse (Vosges), Isola 2000 (Alpes Maritime), Flaine (Haute-Savoie) et Saint-Michel de Chaillol (Hautes-Alpes).

En 2009, 5 333 ha de pistes (équivalent à 53 km²) **seraient équipés en France**, soit environ 23% de la surface totale des pistes balisées³. Sur les 293 stations françaises recensées, 204 possèderaient une installation d'enneigement, soit plus du tiers (figure 3.9 et 3.10).

Figure 3.9 : Evolution du nombre de stations équipées (extrait de ODIT France, 2009, p. 43)

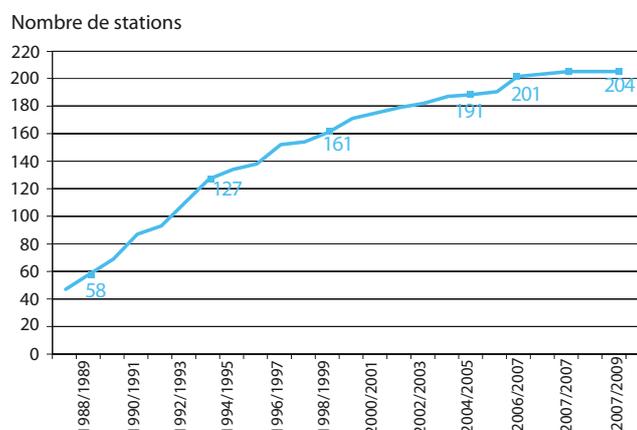
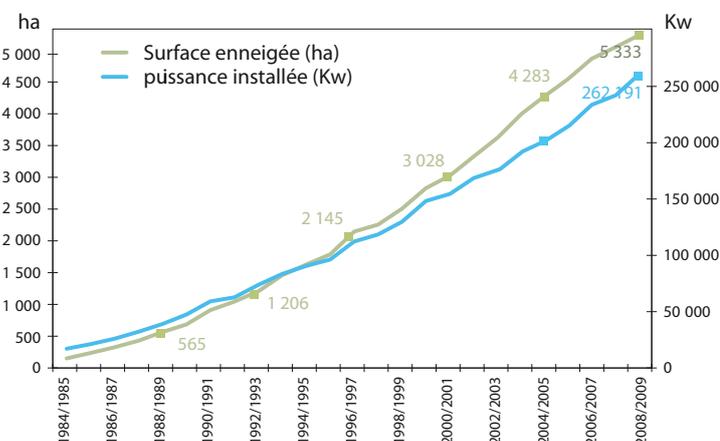


Figure 3.10 : Evolution de la surface enneigée et de la puissance installée (extrait de ODIT France, 2009, p. 43)



A l'échelle des massifs

Tous les massifs français, sans exception, comptent des domaines skiables équipés en installations de production de neige (tableau 3.1). Des disparités quant au taux d'équipement (rapport entre la surface potentiellement enneigable et la surface totale des pistes) sont néanmoins à relever : par exemple, 30% de la surface des pistes du massif des Vosges seraient enneigables artificiellement tandis que 21% le seraient dans les Alpes du Nord, qui comptent pourtant un parc de remontées mécaniques très dense.

En s'appuyant sur les éléments avancés par les opérateurs de domaines skiables eux-mêmes (SNTF 74 et DDE 74, 2008, p. 4), plusieurs interprétations peuvent être données pour expliquer ces disparités :

- problématiques spécifiques des différents massifs au regard de leurs conditions climatiques et en particulier de leurs conditions d'enneigement (fortement corrélées à leurs altitudes respectives) ;

³

Cette surface est de 26 581 ha d'après ODIT France (2009, p. 44). Elle est un peu moins importante dans le tableau 3.1 suivant (23 409 ha), pourtant établi à partir des données transmises par ODIT France... De manière générale, cette différence traduit bien la difficulté d'inventorier précisément l'ensemble des infrastructures liées aux sports d'hiver sur l'ensemble du territoire national. Cette difficulté n'est cependant pas propre aux sports d'hiver ; en matière d'hébergements touristiques par exemple, obtenir des informations précises est une gageure, les chiffres disponibles sont parfois divergents à plusieurs dizaines de milliers près (Gerbaux et George-Marcelpoil, 2004, p. 31) !

- difficulté d'équiper les massifs et domaines les plus étendus compte tenu des coûts d'investissement et de fonctionnement très importants qu'exigent les installations d'enneigement ;
- stratégies propres aux opérateurs de domaines skiables qui ont soit favorisé le renouvellement du parc de remontées mécaniques, soit le développement des installations d'enneigement ;
- santé économique et capacité à mettre en œuvre une stratégie d'investissement en installations de production de neige différente selon les stations et massifs considérés ;
- des politiques publiques locales différentes selon les territoires (régions, départements, communes...) quant au soutien apporté aux installations de production de neige.

Massif	Nombre de stations	Surface totale des pistes balisées (en ha)	Nombre de stations équipées en neige de culture	Surface des pistes équipées en neige de culture (en ha)	Part des pistes équipées en neige de culture (en % de la surface totale des pistes)
Alpes du Nord	128	14425	92	3100	21%
Alpes du Sud	51	5220	40	1217	23%
Pyrénées	34	2513	29	644	26%
Massif Central	19	527	10	159	30%
Jura	32	378	7	82	22%
Vosges	26	346	9	131	38%
Total	290	23409	187	5333	23%

Tableau 3.1 : Répartition par massif des superficies enneigées en 2008-2009 (d'après les données transmises par ODIT France, 2009)⁴

Les domaines de « moyenne altitude » (selon la typologie établie par ODIT France) seraient vraisemblablement les plus équipés en la matière (ODIT France, 2008, p. 6 ; figure 3.11). Suivraient ensuite les domaines de « haute altitude » puis les domaines de « faible altitude », ces derniers possédant *a priori* la plus faible proportion de pistes enneigeables artificiellement.

En relation avec les explications précédentes quant aux différences d'équipement selon les massifs, deux effets contraires peuvent expliquer cette constatation (ODIT France, 2008, p. 5 ; DDEA 73 et EDYTEM., 2009, p. 13) : d'une part, les stations de haute montagne sont relativement protégées d'un enneigement naturel déficitaire et n'éprouvent ainsi pas nécessairement le besoin d'équiper l'ensemble de leur domaine skiable ; d'autre part, les stations de faible altitude, le plus souvent de petites unités, n'ont pas forcément la capacité financière pour investir et exploiter des installations d'enneigement.

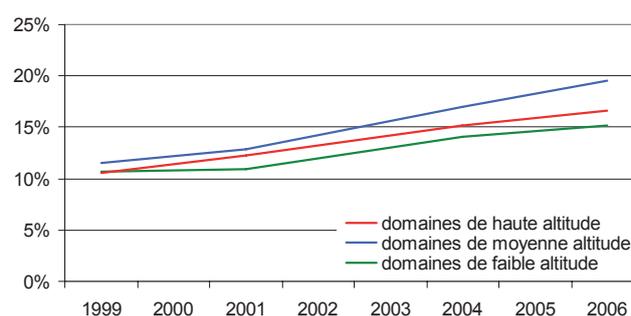


Figure 3.11 : Proportion des surfaces de pistes équipées en neige de production selon l'altitude des domaines skiables (extrait de ODIT France, 2008, p. 6)

⁴ Le nombre de stations françaises présenté dans ce tableau est de 290. Il est différent de celui annoncé précédemment (293 d'après ODIT France, 2009, p. 42). Cette différence s'explique peut-être par la non comptabilisation des stations Corse dans le présent tableau.

A l'échelle des grands bassins hydrographiques et du bassin Rhône Méditerranée

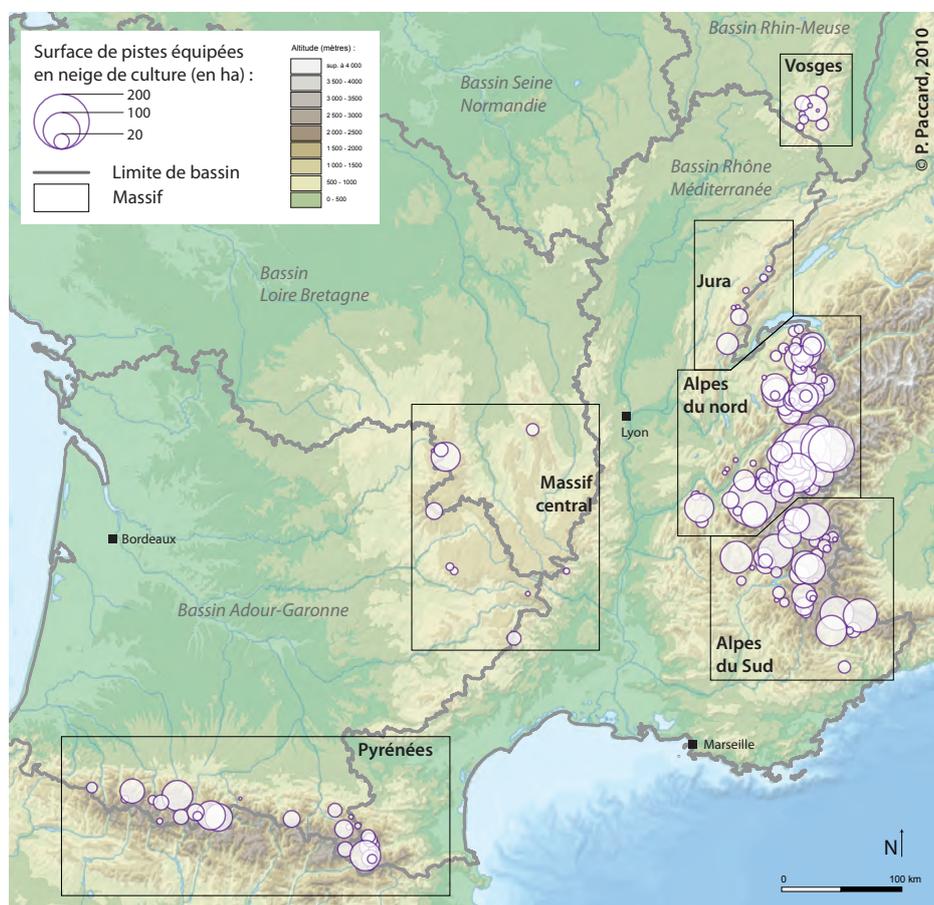
De l'ensemble des bassins hydrographiques français, le bassin Rhône Méditerranée est le plus sollicité pour la production de neige (tableau 3.2 ; carte 3.1).

En 1990, un premier recensement réalisé pour l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse (Mattia, 1991) comptabilisait **40 stations équipées pour 330 ha enneigables** (seuls les massifs des Alpes avaient été considérés à l'époque).

Puis, en 2002, T. Champion recensait pour l'Agence **119 stations équipées pour 2 417 ha enneigables** sur l'ensemble du bassin. Aujourd'hui, le bassin Rhône-Méditerranée concentre, **sur 149 stations, 86 % de la surface équipée en France, soit plus de 4600 ha**. Cette surface se répartit entre les Alpes, où se concentre la majorité des équipements, les Pyrénées-Orientales et le Jura.

Tableau 3.2 : Répartition par bassin des superficies enneigées en 2008-2009 (d'après les données transmises par ODIT France, 2009)

Bassin	Nombre de stations équipées en neige de culture	Surfaces des pistes équipées en neige de culture (en ha)
Rhône-Méditerranée	149	4608
Adour-Garonne	25	473
Rhin-Meuse	9	131
Loire-Bretagne	4	121
Total	187	5333



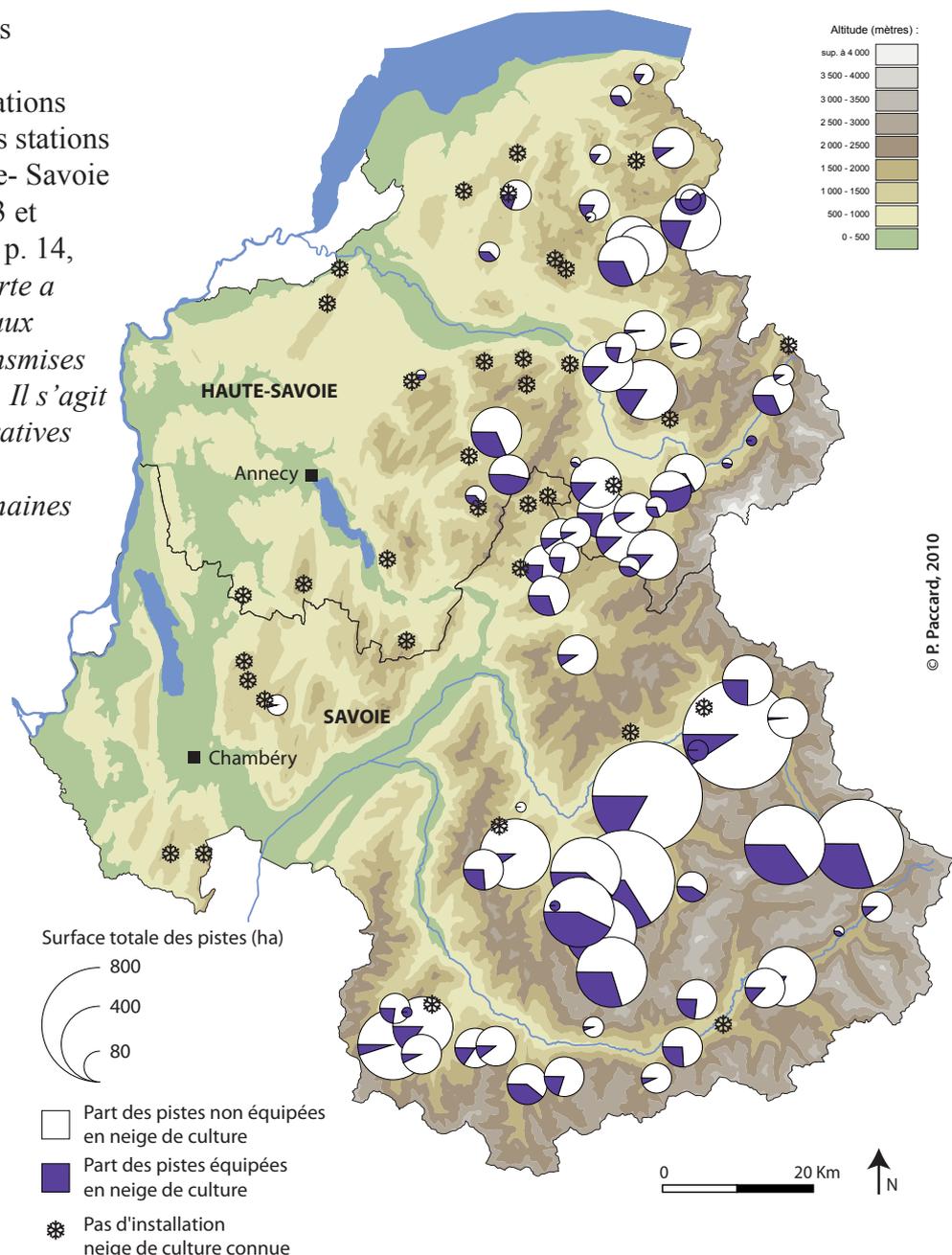
Carte 3.1 : Les Surfaces de pistes équipées d'installations d'enneigement en France (d'après les données transmises par ODIT France, 2009). *Les équipements se concentrent majoritairement sur le bassin Rhône-Méditerranée et dans les Alpes en particulier.*

A l'échelle de la Savoie et de la Haute-Savoie⁵

L'offre de ski alpin en Savoie et Haute-Savoie se compose de plus de 110 stations, toutes tailles comprises. Sur cet ensemble, 79 stations de ski alpin sont aujourd'hui équipées d'une installation d'enneigement (41 en Savoie et 38 en Haute-Savoie ; carte 3.2). Toutes les grandes stations sont équipées. Seules quelques petites stations des Préalpes n'ont pas d'installation de production de neige connue.

Comme à l'échelle nationale, les surfaces de pistes équipées d'installations d'enneigement sont en constante progression. Elles sont aujourd'hui plus importantes en Savoie qu'en Haute-Savoie : 1 783 ha en Savoie, 874 ha en Haute-Savoie (données transmises par ODIT France, 2009). La carte 3.2 représente la proportion en surface des pistes enneigeables des stations des départements des deux Savoie. En moyenne, on estime cette proportion à 23% en 2009 pour les deux départements.

Carte 3.2 : Part des surfaces de pistes équipées d'installations d'enneigement des stations de Savoie et Haute-Savoie (d'après DDEA 73 et EDYTEM., 2009, p. 14, modifié). Cette carte a été établie grâce aux données 2009 transmises par ODIT France. Il s'agit de données déclaratives transmises par les opérateurs de domaines skiables.



⁵ D'après DDEA 73 et EDYTEM (2009, p. 10-14).

Dans les pays de l'arc alpin⁶

En termes de comparaison avec les autres pays de l'arc alpin, la France serait avec l'Allemagne le pays bénéficiant de la plus faible proportion de pistes équipées d'installations d'enneigement (tableau 3.3 ; carte 3.3) : 23% de la surface des pistes équipées contre 70% en Italie, 59% en Autriche, et 33% en Suisse (Remontées mécaniques suisses, 2008 ; Cometto, 2009). Certains massifs italiens, comme les Dolomites, sont équipés à plus de 90% de la surface de leur domaine skiable. A titre d'exemple, 100% des pistes de la station italienne de Kronplatz, intégrées au grand domaine « Dolomiti Superski »⁷, sont enneigeables artificiellement ; seulement 100 heures de fonctionnement des installations (à -7°C de température humide) sont nécessaires pour enneiger 60% de la surface du domaine qui se développe de 900 m à 2275 m d'altitude (Dorfmann, 2009).

Du point de vue des opérateurs de domaines skiables français, le « faible » taux d'équipement

	Surface totale des pistes balisées en 2004 (domaines skiables alpins, en ha)	Part des pistes équipées en neige de culture en 2004 (domaines skiables alpins, en ha)	Part des pistes équipées en neige de culture en 2009 (moyenne nationale)
Pays \ Source	CIPRA, 2004, p. 6	CIPRA, 2004, p. 6	Remontées Mécaniques Suisses, 2008, p. 21 Cometto, 2009
Italie	22600	40%	70%
Dolomites	Ø	Ø	92%
Val d'Aoste	Ø	Ø	50%
Autriche	23000	40%	59%
Suisse	22000	10%	33%
France	20800	13%	23%
Slovénie	1200	27%	Ø
Allemagne	3700	10%	Ø
Liechtenstein	5	0%	Ø
Espagne	-	Ø	34%
Andorre	-	Ø	30%

Ø : pas de données

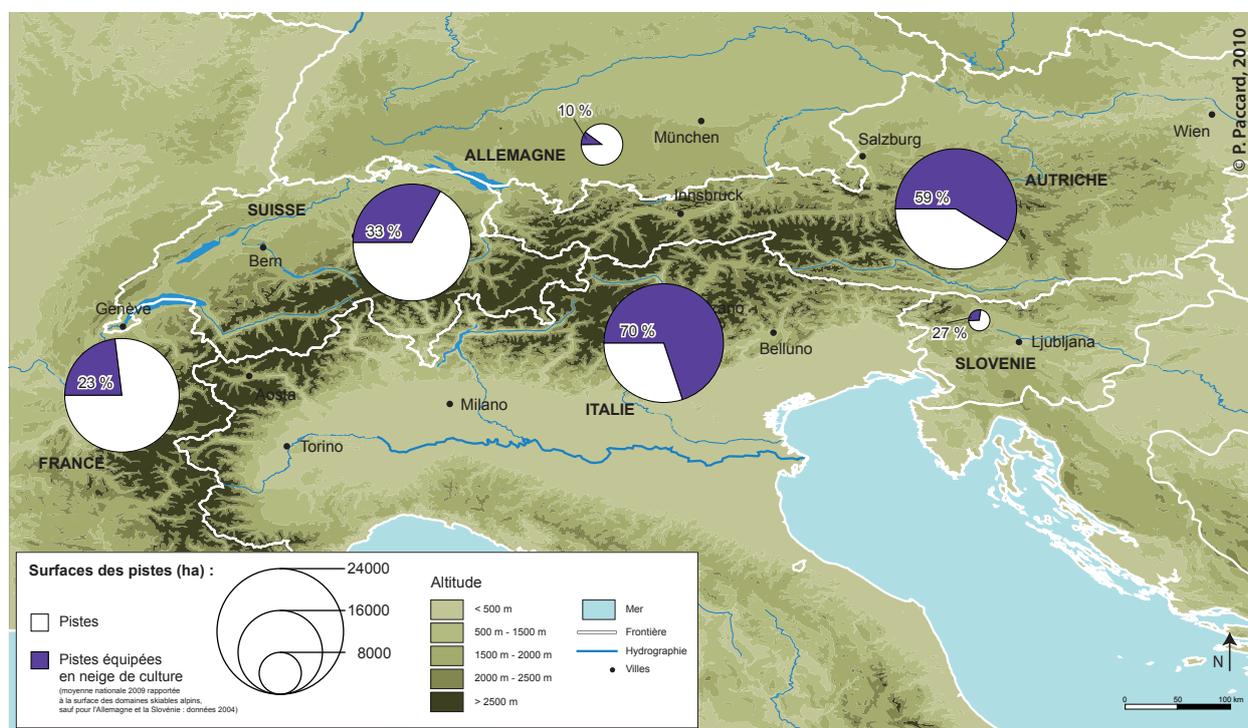
Tableau 3.3 : Part des pistes équipées d'installations d'enneigement dans les pays de l'arc alpin (d'après les données *in* CIPRA, 2004, p. 6 ; Remontées Mécaniques Suisses, 2008, p. 21 et Cometto, 2009).

⁶ En guide d'avertissement (et en écho à notre remarque précédente), il faut souligner la difficulté de comptabiliser précisément et de façon cohérente les infrastructures de production de neige. Cette remarque est particulièrement vraie à l'échelle internationale où les données disponibles ne sont pas forcément issues des mêmes méthodes de calcul. Ce constat est partagé par l'OCDE qui explique : « *Les informations sur l'utilisation des équipements de neige artificielle dans les Alpes sont abondantes. Cependant, les données proviennent de nombreuses sources différentes qui se contredisent parfois. Certaines renvoient au nombre de canons à neige, d'autres à l'étendue des pistes équipées. Les informations ne sont donc pas toujours comparables* » (OCDE, 2007, p. 45). De la même façon ODIT France précise lorsqu'il s'agit de comparer les infrastructures liées aux stations de sports d'hiver des différents pays du monde que « *les données rassemblées ici sont issues de sources très différentes suivant les pays : organismes d'Etat, associations de stations ou d'exploitants, sites commerciaux... Une certaine précaution est donc nécessaire lorsqu'il s'agit de faire des comparaisons car les termes utilisés n'ont pas forcément la même signification, les méthodes de calcul pouvant être différentes d'un pays à l'autre* » (ODIT France, 2009, p. 56).

⁷ « Dolomiti Superski » est l'un des plus vastes domaines skiables du monde (450 remontées mécaniques et 1200 kilomètres de pistes pour un seul forfait de ski). Il comprend la plupart des domaines skiables élémentaires des Dolomites. « Dolomiti Superski » est une organisation gérée par un consortium d'exploitants de chaque domaine skiable qui le constitue. Kronplatz est l'un d'entre eux (Dorfmann, 2009).

français est perçu comme un retard, une faiblesse de l'offre dans le contexte concurrentiel du marché du ski. C'est un élément d'argumentaire lorsqu'il s'agit de justifier des projets d'aménagement en la matière, en particulier auprès des pouvoirs publics. En tout état de cause, malgré ce « faible » taux d'équipement, avec 54,6 millions de journées skieurs pour la saison 2007-2008, les domaines skiables français restent parmi les plus fréquentés (contre 55,1 millions pour l'Autriche et 60,1 pour les Etats-Unis ; chiffres *in* ODIT France, 2009, p. 56).

L'ensemble des pays de l'arc alpin ont, dans tous les cas, connu un développement spectaculaire des installations d'enneigement depuis une vingtaine d'années (OCDE, 2007, p. 45).



Carte 3.3 : Part des surfaces de pistes équipées d'installations d'enneigement des pays de l'arc alpin (d'après les données *in* CIPRA, 2004, p. 6 ; Remontées mécaniques suisses, 2008, p. 21 ; Cometto, 2009)

Au même titre que les raisons invoquées pour expliquer les différences de taux d'équipement entre les massifs français, plusieurs paramètres sont à considérer pour expliquer les raisons de ces disparités entre les pays de l'arc alpin. Ceux-ci peuvent ainsi être :

- **Les caractéristiques de l'enneigement naturel** (chutes de neige, épaisseur du manteau neigeux...) **liées en grande partie à l'altitude moyenne des domaines skiables**. Les basses altitudes caractérisées globalement par un enneigement moindre, leurs domaines skiables pourraient être davantage équipés qu'à haute altitude (cas des « stations village » de moyenne montagne autrichiens, très équipées en installations d'enneigement ; photo 3.4). Cependant,

l'analyse de l'altitude moyenne de l'ensemble des domaines de l'arc alpin (OCDE, 2007, p. 31 ; figure 3.12) ne permet pas de confirmer pleinement cette hypothèse. L'Italie par exemple, qui compte pourtant des domaines skiables parmi les plus hauts en altitude de l'arc alpin, est le pays le plus équipé en installations d'enneigement. En réalité, pour infirmer ou confirmer cette hypothèse, les données relatives à l'ensemble des surfaces skiables **par tranche altitudinale** seraient nécessaires. Elles permettraient de comparer précisément l'altitude moyenne des domaines de chaque massif et leurs différents taux d'équipement.



Photo 3.4 : Piste équipée d'installations de production de neige sur le domaine skiable d'Hauser-Kaibling, Styrie, Autriche (cliché : P. Paccard, le 28/02/2008). *Entre les deux versants de la vallée, le contraste est saisissant...*

- **Le substratum et la topographie sur lesquels se développent les domaines skiables considérés.** Il est bien évident que celui-ci n'est pas le même entre les domaines de basse et de haute altitude, entre les massifs occidentaux et orientaux ou encore entre les massifs externes et internes. Le recours à la production de neige se justifie davantage sur des substratums rocheux (gommage des irrégularités du terrain et « skiabilité » améliorée par la fabrication d'une sous-couche) que sur des zones d'alpage, où quelques centimètres de neige sont parfois suffisants pour ouvrir une piste de ski. Néanmoins, nous n'avons pas rassemblé de données précises à l'échelle de l'arc alpin permettant de confirmer l'importance de ce paramètre dans les différences d'équipement constatées.
- **Les politiques locales des acteurs eux-mêmes, c'est-à-dire des stations, des pouvoirs publics et des populations.** Les capacités financières des stations et leur « conception » des sports d'hiver ne sont certainement pas les mêmes partout et pourraient expliquer ces différences. Par ailleurs, selon les pays, les politiques publiques, nationales ou territoriales, de soutien ou non au développement des installations d'enneigement sont différentes : volontaristes ou, au contraire, contraignantes (nous verrons que, sur ce point, les collectivités et l'Etat français ne sont pas forcément d'accord dans leurs actes ; cf. chapitre 4, p. 190). Une étude comparée serait nécessaire pour aller plus loin dans le rôle des politiques publiques sur le développement

ou non de l'enneigement artificiel. Enfin, les populations n'ont peut être pas le même degré « d'acceptation sociale » de la production de neige. Seraient-elles ainsi moins « préoccupées » par la question de la production de neige qu'en France ?

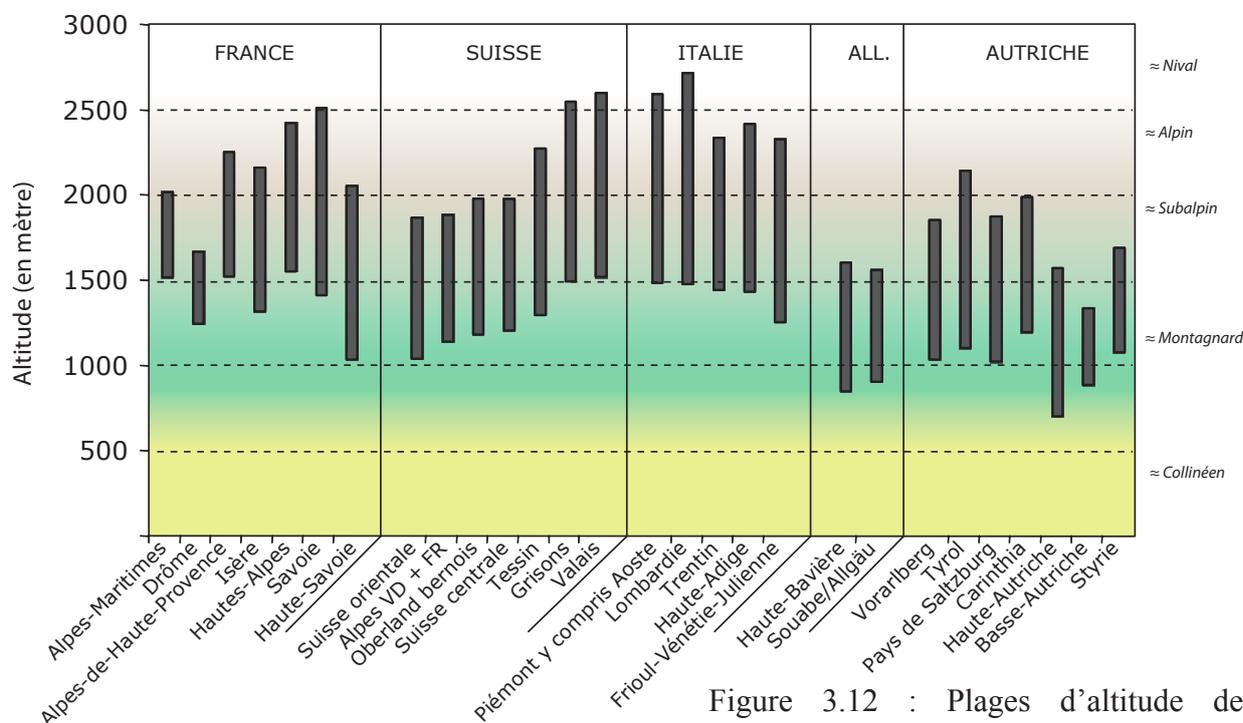


Figure 3.12 : Plages d'altitude des domaines skiables de l'arc alpin (d'après OCDE, 2007, p. 31, modifié)

1.1.3. Perspectives d'évolution des équipements

Il est intéressant de relever les prévisions annoncées dans le passé en matière d'évolution des équipements de production de neige :

- **En 1982**, J. Cambau (Ingénieur au Service d'Etude et d'Aménagement Touristique de la Montagne, SEATM) professait : « Résistant mieux que la neige naturelle à l'abrasion des skieurs, ou à l'ardeur solaire, assurance anticatastrophe si la neige ne tombe pas, au confort apprécié des skieurs, solution à des problèmes de retour trop tôt déneigé, relativement peu coûteuse à l'exploitation, compte tenu des investissements et des emplois en jeu, nul doute que la fabrication de la neige pourra connaître aussi en Europe occidentale, moyennant quelques précautions, un essor important comme chez nos voisins américains » (Cambau, 1982, p. 38). **Une trentaine d'années plus tard, l'essor des installations d'enneigement en Europe est sans conteste.**
- **En 1991**, A. De Mattia (Ingénieur à l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse) prévoyait : « on peut penser qu'il y aura d'ici quelques années un doublement des équipements » (De Mattia, 1991, p. 11). **La surface enneigable en France était proche de 1 000 ha en 1991 ; elle était le double dès 1997.**
- **Enfin, en 2002**, T. Champion expliquait : « Le développement futur de cette activité (multiplication minimum par 2 ou 3 des installations et des volumes utilisés) est prévisible » (Champion, 2002, p. 61). **Entre 2002 et 2009, la surface des pistes équipées a augmenté de plus de 150 %.**

Aujourd'hui, un faisceau d'indices nous laisse penser que, sauf forçage extérieur au système actuel, les équipements de production de neige devraient continuer à se développer. La question ne se pose pas tellement en termes de nouvelles stations (presque toutes possèdent aujourd'hui au moins un enneigeur) mais plutôt en termes d'extension des réseaux existants.

En fait, les projets actuellement connus sont nombreux. Nous verrons ultérieurement que nos trois terrains d'étude portent tous des projets, importants ou non, de développement de l'outil. La quantification de l'ensemble de ces projets reste néanmoins difficile à établir car les projets sont bien souvent gardés en interne aux sociétés d'exploitation et ne sont pas communiqués vers l'extérieur. C'est principalement grâce à nos participations aux travaux de la Société d'Economie Alpestre de la Haute-Savoie (indirectement impliquée dans le contrat de rivière de l'Arly), au SAGE du Drac et de la Romanche et au groupe de travail « neige de culture » interservices de l'Etat que nous avons pu apprécier qualitativement ces projets.

Il est révélateur de l'intérêt de ces démarches que de pouvoir s'appuyer sur les résultats acquis dans le cadre de celles-ci pour porter un jugement sur les perspectives à venir. Quantifiant les projets et donc les besoins en eau à venir, ces résultats répondent à un des critères de la gestion intégrée de la ressource en eau. Reste à quantifier la disponibilité de la ressource...

Nous en rapportons respectivement ici trois exemples précis à l'échelle d'un bassin (Val d'Arly), d'un domaine skiable (les 2 Alpes) et d'un département (la Haute-Savoie). Dans le cas des projets que nous rapportons pour le Val d'Arly et les 2 Alpes, ce sont les opérateurs de domaines skiables qui, peu ou prou, ont été associés à ces outils de gestion intégrée de l'eau. A notre sens, leurs participations à ces travaux doivent être renforcées et les outils que nous mentionnons (SAGE, contrat de rivière) plus largement déployés qu'ils ne le sont aujourd'hui.

L'exemple du Val-d'Arly : +40% du linéaire des pistes équipées d'ici 5 ans

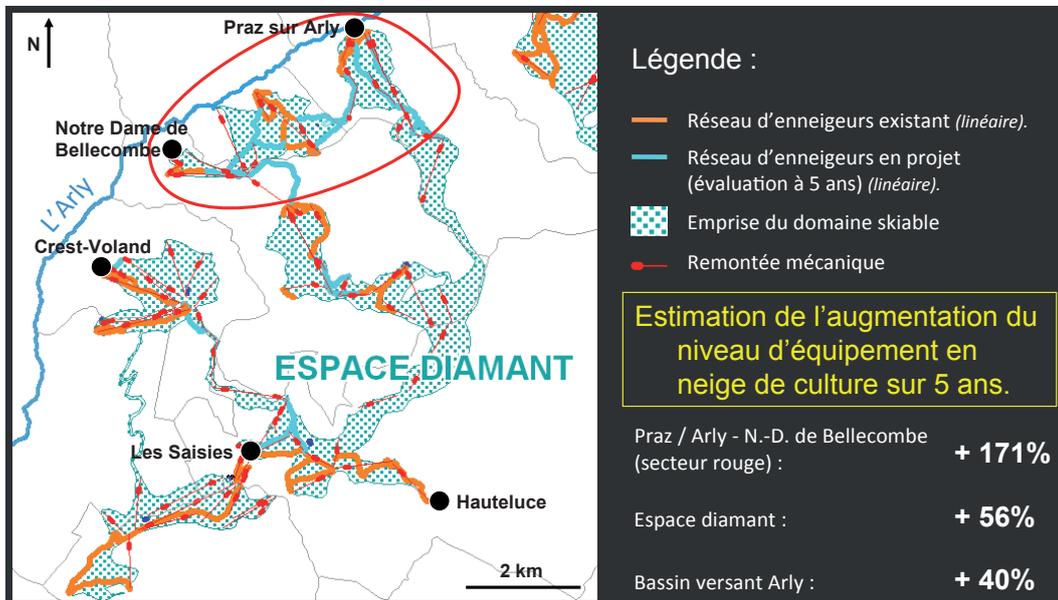
Dans le Val d'Arly (Savoie ; carte 3.4), le linéaire des pistes équipées d'installations d'enneigement augmentera probablement à l'horizon 2014, si les projets se réalisent. Cette progression serait de l'ordre de +171% sur les domaines de Praz-sur-Arly - Notre-Dame-de-Bellecombe, de +56% sur l'ensemble de l'Espace Diamant et de +40% sur l'ensemble du bassin de l'Arly (qui comprend également les domaines des Contamines, D'Arêches-Beaufort et de Megève) (Brun, 2009, p. 30 et 33).

L'exemple des 2 Alpes : de 14% du domaine équipé aujourd'hui à 34% envisagé demain

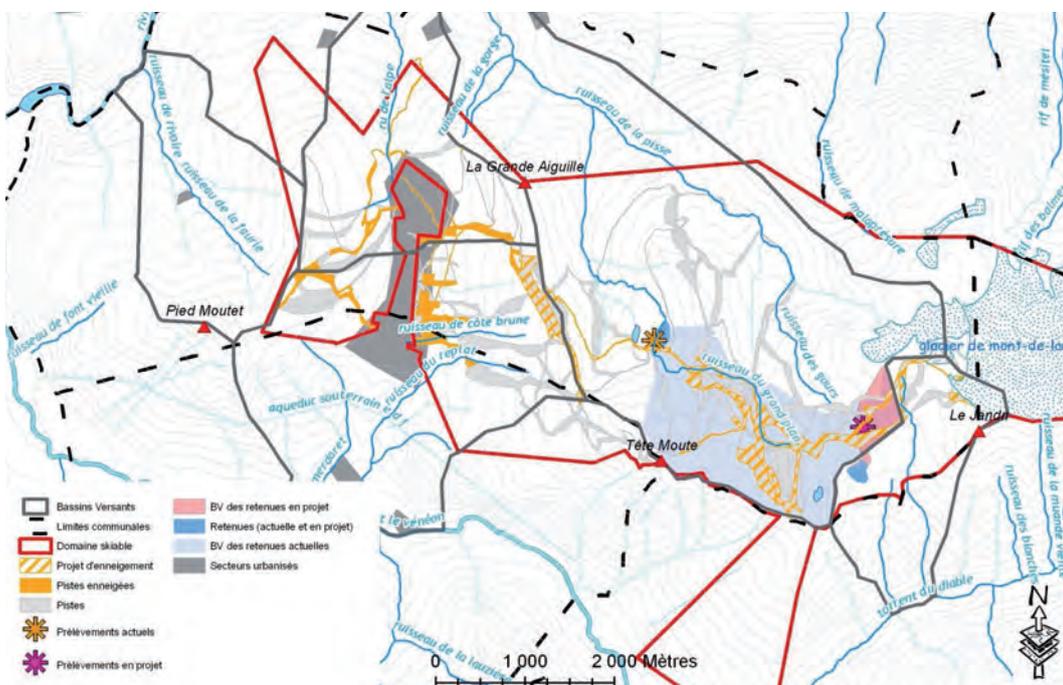
Par ailleurs, l'un des objectifs des « schémas de conciliation » de la neige de culture avec les milieux et les autres usages de l'eau, en cours de rédaction pour l'ensemble des stations du département de l'Isère⁸, est de définir les projets futurs d'enneigement artificiel pour chaque domaine skiable. Il s'agit par là même de pouvoir apprécier les besoins en eau sous-jacents à chaque projet.

⁸ Dans le cadre du travail porté par le secrétariat de la Commission Locale de l'Eau (CLE) du SAGE du Drac et de la Romanche.

Les premiers résultats (en cours de validation), portant sur le domaine skiable des 2 Alpes (Isère), montrent que les projets d'extension des pistes équipées d'installations d'enneigement sont nombreux (carte 3.5) : sur les 420 ha de pistes du domaine, 58 ha sont aujourd'hui équipés (14% du domaine) et 142 ha pourraient l'être demain (34% du domaine) compte tenu des souhaits de l'opérateur du domaine ; la surface équipée serait ainsi plus que doublée.



Carte 3.4 : Les projets d'extension des installations d'enneigement sur le domaine skiable relié de l'« Espace Diamant » (d'après Brun, 2009, p. 33, modifié)



Carte 3.5 : Organisation du réseau d'enneigement artificiel actuel et en projet sur le domaine skiable des 2 Alpes (extrait de SEPIA Conseils et ANTEA, 2010, p. 7 d'après les données des Deux Alpes Loisirs et de la BD Carthage). *A la date du mois de juin 2010, cette carte est un document de travail ; les travaux de la Commission Locale de l'Eau du SAGE du Drac et de la Romanche et des bureaux d'étude mandataires ne sont en effet pas encore finalisés.*

En Haute-Savoie, de 23% des surfaces de pistes équipées à plus de 30% en 2012 : effet JO ?

Enfin, il est probable que la candidature d'Annecy aux Jeux Olympiques de 2018 participe également au développement de nouvelles installations d'enneigement dans les domaines skiabiles du département de la Haute-Savoie. Cela avait vraisemblablement déjà été le cas dans les années 1990 dans la perspective de Jeux Olympiques d'Albertville de 1992 :

En 1990, « le département le mieux équipé est celui de la Savoie : c'est probablement la perspective des Jeux Olympiques de 1992 qui a suscité les investissements dans ce domaine. On peut ainsi noter beaucoup d'équipements très récents (1988, 1989 voire 1990) » (De Mattia, 1991).

Quoi qu'il en soit, effet JO ou pas, un audit réalisé en 2008 par le Bureau d'Etudes de la Cellule Etudes et Travaux Aménagement/Remontées Mécaniques (BE CETAM) de la Direction Départementale de l'Équipement de la Haute-Savoie (DDE 74)⁹, pour connaître les besoins des exploitants en matière d'installations d'enneigement, montre que les intentions en la matière sont ambitieuses. Si celles-ci devenaient effectives, elles pourraient porter la proportion des pistes équipées, actuellement d'environ 23%, à plus de 30% à l'horizon 2012 :

Sur les 21 sites enquêtés (les plus gros opérateurs de domaines skiabiles du département), « 15 sites ont des projets de remise à niveau ou retrofit¹⁰ de leurs installations existantes (réseaux, enneigeurs, supervisions, pompes).

Par ailleurs, les 21 sites enquêtés ont tous des projets de réseaux nouveaux. Ils visent soit à réaliser le premier réseau de neige de culture pour les 3 sites qui ne sont pas équipés [Praz de Lys, Sommand, Manigod/Croix-Fry], soit pour les sites déjà équipés à sécuriser :

- les pistes qui ne sont pas enneigées jusqu'au sommet
- les pistes stratégiques non équipées à ce jour (liaisons, front de neige, retour stations)
- les points particuliers (points noirs) clairement identifiés qui empêchent l'ouverture de la piste
- les pistes commerciales prisées par la clientèle [...].

Le taux de couverture à l'horizon 2012 serait de 33 % soit 1 040 hectares équipés sur 3 160 hectares de pistes balisées » (DDE74/SISTER/BE/CETAM, 2008, p. 6).

A notre connaissance, la disponibilité de la ressource (comme les perspectives d'enneigement des ces domaines à court, moyen ou long terme) n'a pas été envisagée dans le cadre de ces projets et donc nouveaux besoins en eau. Suffira-t-elle pour y répondre ?

Finalement, l'ensemble de ces éléments porte à croire que les équipements de production de neige continueront à se développer d'ici les prochaines années. Au rythme du développement actuel, la surface équipée du parc de domaine skiable français pourrait se situer entre 7 000 et 9 000 ha à l'horizon 2020. Le taux d'équipement serait alors compris entre 30 et 40% (figure 3.13) sauf éléments nouveaux significatifs, notamment sur le plan des politiques des pouvoirs publics qui peuvent influencer sur le développement des infrastructures.

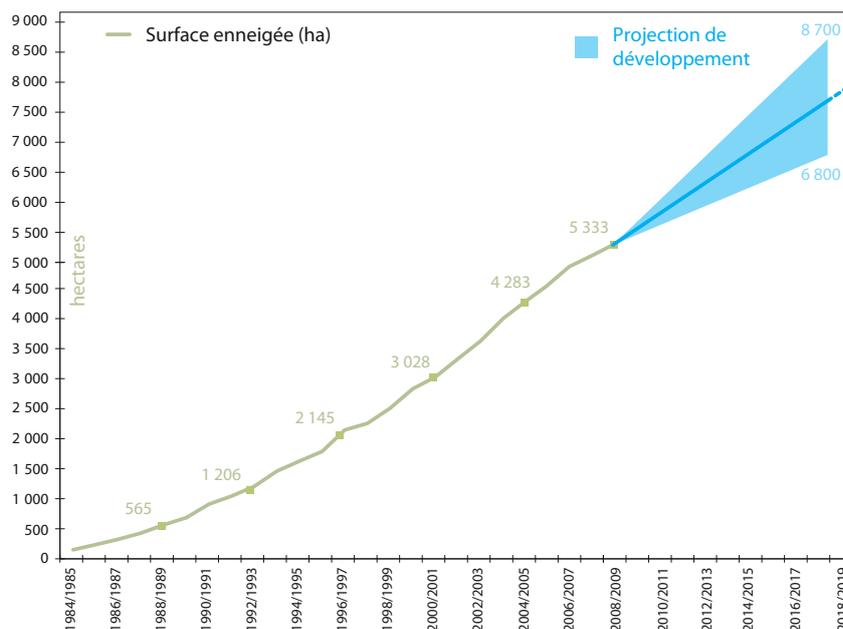
⁹

Le Bureau d'Etudes de la Cellule Etudes et Travaux Aménagement/Remontées Mécaniques (BE CETAM) était une cellule du Service Ingénierie Sécurité Transport et Education Routière (SISTER) de la Direction Départementale de l'Équipement de la Haute-Savoie (DDE 74). Cette cellule n'existe désormais plus dans la nouvelle Direction Départementale des Territoires de la Haute-Savoie (DDT 74) résultant de la fusion des services de l'Équipement (DDE) et de l'Agriculture (DDAF).

¹⁰

Retrofit : pratique consistant à échanger des pièces usées et des composants d'équipements obsolètes tout en maintenant la configuration des équipements et de l'unité de production d'origine.

Figure 3.13 : Projection de l'évolution de la surface enneigée (d'après les données de ODIT France, 2009, p. 43). *Projection établie sur la base du rythme de développement actuel des installations d'enneigement et sur une appréciation qualitative des projets connus.*



Nous venons de le voir, la production de neige a connu un développement spectaculaire ces dernières années et pourrait continuer à se développer. Si l'enneigement artificiel connaît un tel succès, c'est que cette pratique présente de nombreux intérêts pour les opérateurs de domaines skiables. Nous nous appuyons sur leur argumentaire pour le montrer.

1.2. Intérêts de la production de neige

In fine, ce sont toujours des raisons économiques qui motivent la production de neige. Ces raisons sont néanmoins de plusieurs ordres : il peut être question de pallier des aléas climatiques, d'améliorer la qualité de la prestation touristique proposée ou encore de garantir l'exploitation de certains appareils touristiques dont la rentabilité dépend du volume d'activité.

Il importe de souligner que ces raisons sont centrées sur la rentabilité du domaine skiable. Elles ne sont pas focalisées sur le développement des territoires concernés même si, indirectement, elles y participent. Nous ne sommes pas non plus dans une logique première de gestion de l'eau.

Les motivations de la production de neige ont été parfaitement listées dans « *le Guide d'aide à la décision* » sur la neige de culture publié en 1995 par le Service d'Etudes et d'Aménagement Touristique de la Montagne (SEATM, 1995, p. 1). Celles-ci seront reprises dans deux documents auxquels le SNTF a contribué, qu'il s'agisse de sa représentation nationale (SNTF, 2002, p. 4) ou locale (SNTF 74 et DDE 74, 2008, p. 3). **En fait, depuis leur première formulation en 1995, les motivations à l'équipement n'ont pas évolué dans ces textes. Elles restent quasiment formulées dans les mêmes termes.**

Pour nous, il ne s'agit pas ici de reproduire telle quelle cette argumentation, sans approche critique, mais plutôt d'essayer de la présenter, en adoptant le point de vue des exploitants, puis de l'illustrer et de la discuter si nécessaire.

1.2.1. Garantir ou améliorer, par la préparation d'une sous-couche, l'enneigement de début de saison afin de tenir les engagements d'ouverture (et de fermeture) de la station

La programmation d'ouverture d'une station à date fixe est un élément important : le démarrage coordonné de l'ensemble des activités socio-économiques (remontées mécaniques mais également, hôteliers, restaurateurs, loueurs...) en dépend. Les volumes de neige produits avant l'ouverture de la station et en début de saison – ils représentent au mois de novembre et décembre en moyenne 60 % de la neige produite sur l'ensemble de la saison (Marnézy et Rampnoux, 2006) – permettent de garantir l'enneigement compte tenu de cette exigence. Il s'agit de préparer une sous-couche dense (« bande anti-crevaison » pour SNTF, 2009, p. 4), même si l'enneigement naturel est absent (photo 3.5), sur laquelle les autres chutes de neige se déposeront et « tiendront » avec plus de facilité (Fauve, 2002, p. 48).

De la même façon, les forfaits séjours vendus par les tour-opérateurs à leurs clients (à un prix tout compris) obligent les prestataires à tenir leurs engagements, et en particulier les opérateurs de domaines skiables quant aux dates d'ouverture. Cette obligation s'est généralisée ces dernières années, rapidement, notamment avec la multiplication des résidences de tourisme.

Les partenariats commerciaux entre tour-opérateurs et sociétés d'exploitation de domaines skiables ne se réalisent ainsi que sous certaines conditions, dont la garantie d'enneigement. J.-P. Lalanne¹¹, Directeur commercial de la Société des Trois Vallées confirme cette idée : si les installations d'enneigement ne sont plus un avantage concurrentiel (toutes les stations sont équipées), et qu'elles ne sont plus vraiment non plus un critère important pour la clientèle, elles sont par contre un argument déterminant pour l'engagement des tour-opérateurs.

Ce mode de fonctionnement pose la question de **l'hyperspécialisation du système et de sa capacité d'adaptation à d'éventuelles perturbations, notamment quant aux évolutions climatiques** (cf. chapitre 8). Dans ce questionnement, il convient de faire la part des choses entre les domaines d'altitude et de moyenne montagne qui ne sont pas contraints de la même manière à l'enneigement.

Photo 3.5 : Production de neige d'avant saison à Veysonnaz, Valais, Suisse (cliché : D. Fragnière, le 05 novembre 2006). *Les tas de neige produite seront ensuite régalez par les engins de damage pour être reliés entre eux. C'est une opération délicate, tant il faut essayer de ne pas souiller la neige par des traces de terre qui accélèreraient la fonte* (Viallet, 2009).



¹¹ Entretien du 07 avril 2009 à Courchevel.

1.2.2. Assurer en cas d'aléas climatiques l'ouverture d'une zone skiable minimale

La variabilité de l'enneigement est une caractéristique structurelle des massifs alpins. En France, le « mauvais » hiver 2006-2007 en est la preuve la plus récente. De nombreux domaines skiables ont souffert de ce manque de neige : -15% de fréquentation sur l'ensemble des domaines skiables français par rapport à la saison précédente (ODIT France, 2008, p. 3).

Mais les conditions météorologiques défavorables aux précipitations neigeuses ne le sont pas forcément pour la production de neige. Pendant les situations anticycloniques d'hiver, stables et froides, les chutes de neige peuvent être nulles pendant plusieurs semaines et les conditions de température et d'hydrométrie très favorables pour la production de neige (froides et sèches). Même lorsque les hivers sont au contraire doux et humides, de courtes fenêtres de froid nocturnes peuvent permettre cette production (c'est le cas de l'hiver 2006-2007 ; photo 3.6).

Il est alors possible d'assurer, en cas d'aléas climatiques, l'ouverture d'une zone skiable minimale en travaillant la neige présente et en complétant les secteurs véritablement déficitaires par de la neige de production, si les conditions le permettent.

Bien entendu, cette situation ne saurait être économiquement tenable si de nombreux mauvais hivers venaient à se succéder, compte tenu des coûts d'exploitation importants des installations d'enneigement.



Photo 3.6 : Zone skiable minimale au Ballon d'Alsace... (cliché : C. Gauchon, Noël 2006, in Gauchon, 2009, p. 202). « Noël 2006, pas un flocon au sommet du Ballon d'Alsace ! Aucune remontée mécanique ne fonctionne. Un enneigeur permet d'aménager une « piste » de ski de fond d'environ 200 mètres de long, constituant ainsi un mini-stade d'entraînement sur lequel deux ou trois acharnés faisaient des allers-retours : qui dira qu'il n'y a pas de neige dans les Vosges ? » (idem).

1.2.3. Assurer l'ouverture des secteurs stratégiques (liaison inter-stations, front de neige, retour station « skis aux pieds »)

Améliorer l'offre des produits proposés à leur clientèle a toujours été l'un des axes de travail des opérateurs touristiques et des organismes qui les fédèrent et les structurent. Dans cette logique, la qualité et l'entretien du manteau neigeux font partie des priorités des opérateurs de domaines skiables : il s'agit de proposer des pistes de qualité, adaptées à la demande de leurs clientèles (un « *billard de velours* » pour Van Houdenhove, 2010, p. 27) puisque « *la plupart des gens préfèrent des pistes simples, pas trop raides et bien préparées* » (Fauve et al., 2002, p. 61). Un domaine skiable doit comporter « *dans son réseau de pistes, une offre de pistes faciles, de qualité, accessibles, bien enneigées et homogènes en terme de difficulté* » (ODIT France, 2008, p. 10). Un soin particulier est ainsi accordé au damage des pistes, réalisé principalement la nuit (Bernier, 2009, p. 12). A Courchevel par exemple, chaque matin, un plan des pistes damées durant la nuit est édité et proposé à la clientèle : il garantit aux skieurs des pistes très bien entretenues.

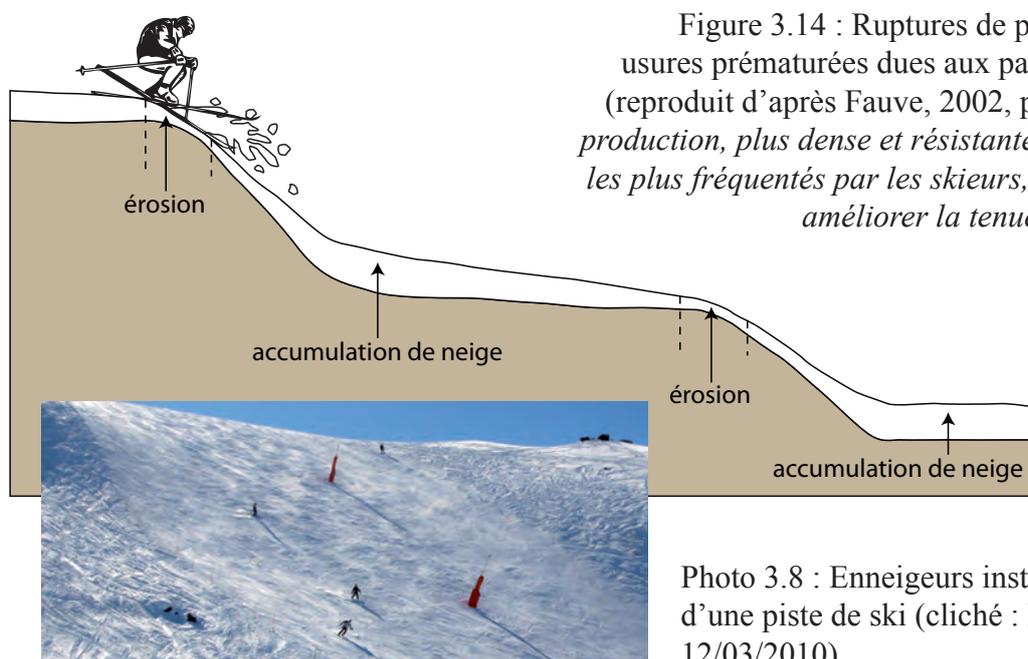
La production de neige est l'un des éléments participant à l'entretien du manteau neigeux sur les domaines skiables. En produisant de la neige, puis en la travaillant, aux endroits stratégiques d'un domaine, c'est la continuité du ski et la qualité des pistes que les exploitants cherchent à améliorer dans un contexte de marché concurrentiel. Les points de basculement entre deux domaines reliés, souvent situés sur des zones de crêtes ou au passage d'un col, exposés au vent, peuvent être assurés par la neige de production, plus dense et résistante que la neige naturelle (photo 3.7). De la même façon, un soin particulier est accordé aux fronts de neige (ou « grenouillères »), portes d'entrées d'un domaine skiable et secteurs de haute fréquentation. Les pistes de retours sont également des axes importants, où la production de neige peut trouver son utilité, puisqu'il s'agit de garantir la continuité du ski sans « déchausser » entre le haut du domaine skiable et la station.



Photo 3.7 : Un enneigeur situé à la liaison des secteurs Agudes et Peyresourde, formant le domaine skiable de Peyragudes (cliché : Maison de Peyragudes, date inconnue). *Le basculement entre les deux secteurs du domaine skiable, au niveau d'une zone de crête où la neige peut être soufflée par le vent, est garanti par la production de neige artificielle. La particularité du domaine de Peyragudes est de s'étendre sur deux départements : Hautes-Pyrénées (versant Peyresourde) et Haute-Garonne (versant Agudes).*

1.2.4. Maintenir une couverture neigeuse sur les pistes qui subissent des usures prématurées

Les conditions topographiques particulières d'une piste de ski (rupture de pente, exposition au soleil...) couplées à de nombreux passages de skieurs peuvent entraîner une dégradation rapide du manteau neigeux si un entretien actif n'est pas mis en œuvre. Ici encore, il est question d'améliorer l'offre de ski proposée à la clientèle. Dans l'ensemble des techniques développées pour la préparation et l'entretien des pistes de ski (Fauve, 2002), la production de neige occupe une place importante (Viallet, 2009). Grâce à sa résistance élevée, elle peut permettre de maintenir une couverture neigeuse sur les portions de pistes qui subissent des usures prématurées (Figure 3.14) et **d'assurer, par là même, la qualité du ski proposé et la sécurité des usagers des pistes** (les clients comme le personnel du service des pistes).



© P. Paccard, 2010

D'après C. De Jong (2008), la neige artificielle étant plus dense et plus dure que la neige naturelle, celle-ci favoriserait au contraire les accidents de ski. Cette thèse est contestée par les opérateurs de domaines skiables et non reconnue par la Commission de la sécurité des consommateurs qui estime que « l'utilisation de la neige de culture en complément de la neige naturelle n'entraîne pas de risques supplémentaires pour les usagers des pistes. Au contraire, l'absence de neige de culture dans les périodes de manque de neige naturelle conduirait les skieurs à utiliser des pistes insuffisamment enneigées et susceptibles de comporter des pierres et des plaques de terre sources d'accidents » (Commission de la sécurité des consommateurs, 2008). A notre sens, il est effectivement plus dangereux de tomber sur une pierre déneigée qu'une pierre enneigée, même si elle est enneigée artificiellement...

Néanmoins, cette commission explique que « par leur présence sur les pistes ou dans leur voisinage immédiat, les enneigeurs et leurs perches constituent indéniablement des obstacles qui augmentent le risque de collision accidentelle » (idem). Elle invite donc l'ensemble des acteurs concernés à éloigner le plus possible les enneigeurs de l'emprise des pistes de ski pour éviter tout risque d'accident (voir à ce sujet : Agence France Presse, 2010). Nous avons pu constater que cela n'est pas toujours le cas (photo 3.8), certains enneigeurs étant disposés en plein milieu des pistes de ski ! A notre avis, ce n'est pas l'emplacement judicieux pour s'affranchir de tout risque d'accident.

1.2.5. Rationaliser l'exploitation de certains équipements

Les installations d'enneigement permettent, en assurant la présence de neige, de garantir l'amortissement des installations de remontées mécaniques dont la rentabilité dépend du volume d'activité. La réalisation de nouvelles remontées mécaniques, très coûteuses, est désormais très souvent couplée à l'installation d'un réseau de production de neige sur les pistes qui leur correspondent.

Le coût d'investissement d'un télésiège débrayable 6 places (TSD 6), par exemple de 1500 mètres de longueur et de 450 mètres de dénivelée, est estimé à 5 millions d'euros (ODIT France, 2008, p. 72). Pour atteindre son équilibre financier, ce télésiège doit compter un minimum d'environ 350 000 passages par saison, compte tenu du coût de son investissement et de son fonctionnement (ODIT France, 2008, p. 83). Considérant ces impératifs, on comprend l'intérêt qu'il y a d'équiper d'installations d'enneigement les pistes concernées, pour en garantir le fonctionnement même en cas d'enneigement déficitaire (photo 3.9).

Néanmoins, les interdépendances production de neige/remontée mécanique sont très exigeantes financièrement parlant. Badré *et al.* (2008) parlent ainsi d'un « *couplage resserré, qui entre dans la logique commerciale des exploitants de stations, entre montée/remontée mécanique et descente/neige de culture [qui] induit deux impératifs quantitatifs et qualitatifs : le renouvellement et l'entretien réguliers des remontées mécaniques, l'aménagement adéquat des pistes et le damage. Il conduit à une dépendance de plus en plus forte à l'égard de l'aménagement des domaines skiables, et donc de son coût* » (p. 22).

Photo 3.9 : Une ligne d'enneigeurs (10 perches, à gauche) pour deux téléskis et un télésiège débrayable 6 places à l'Alpe d'Huez, Isère, France (cliché : P. Paccard, janvier 2009). *La production de neige peut permettre l'exploitation de l'ensemble de ces appareils même lorsque l'enneigement est globalement déficitaire.*



1.2.6. Garantir l'organisation des manifestations sportives

Deux principales raisons expliquent l'intérêt que représente la production de neige pour la tenue des manifestations sportives. La première d'entre elles est que le ski « *de compétition exige des pistes présentant une résistance élevée [... qui] doit pouvoir résister le plus longtemps possible aux influences météorologiques et au passage des skieurs* » (Fauve et al., 2002, p. 82). Le cahier des charges à respecter pour l'homologation des pistes de ski de compétition exige ainsi des équipements de production de neige. L'article 7 de celui des courses « élite » de la Fédération Internationale de Ski (FIS) précise : « *Les épreuves doivent se dérouler sur des pistes bénéficiant d'un enneigement artificiel* » (Fédération Française de Ski, 2009, p. 6). De la même façon, le règlement de la coupe du monde et des coupes continentales de ski alpin (FIS) explique que « *la préparation des pistes [...] doit être garantie par des installations d'enneigement ayant une capacité suffisante* » (Fédération Internationale de Ski, 2009, p. 59). En fait, « *La neige de culture possède dès sa production une densité très élevée. C'est la raison pour laquelle ce type de neige requiert moins de travail pour obtenir une piste dure et convient dès lors mieux pour une piste de compétition* » (Fauve et al., 2002, p. 85). Elle convient d'ailleurs également pour la préparation des modules des « snowparks » très sollicités par les sauts des pratiquants.

La deuxième raison est que la production de neige représente, dans une certaine mesure, l'assurance de la tenue de ces événements, même si l'enneigement naturel est déficitaire. Les derniers jeux olympiques d'hiver de Vancouver sont une bonne illustration de ce fait : le mauvais enneigement de différents sites, en particulier celui de Cypress Mountain où se tenaient les épreuves de snowboard, de ski acrobatique et de skicross, a en partie été compensé par les volumes de neige produits¹². « *Jeux d'hiver : Vancouver sous la neige... artificielle* » titrait ainsi G. Halais dans un article pour Radio-France à ce sujet (Halais, 2008). Cette problématique a d'ailleurs interpellé J. Rogge, Président du Comité International Olympique (CIO) : « *Dorénavant, pour attribuer les Jeux, nous nous renseignerons sur les statistiques d'enneigement des sites, sur les conditions météo locales, mais également sur les possibilités de pallier le manque de neige, soit par la fabrication de neige artificielle, soit par le transport de neige* » (cité in MEIER, 2010). Est-ce un élément à considérer pour la candidature d'Annecy (Haute-Savoie, France) aux jeux de 2018 ? Dans tous les cas, si les enjeux sont parfois de moindre importance pour d'autres manifestations sportives, les installations d'enneigement permettent néanmoins toujours de préparer les pistes concernées et de leur assurer un enneigement minimum. Plus de 80% des compétitions de ski se déroulent sur de la neige artificielle (Fauve et Rhyner, 2004, p. 1).

Nous venons de détailler toutes les raisons qui conduisent les opérateurs de domaines skiables à s'équiper d'installations d'enneigement. Considérant l'ensemble de ces raisons, une question fondamentale se pose : **existe-t-il une piste de ski qui ne répondrait pas à au moins une de celles-ci ? Autrement dit, cet argumentaire ne conduirait-il pas à l'équipement de l'ensemble des pistes balisées, s'il devait guider les équipements ?**

Dans cette mesure, s'il fallait ne pas systématiser l'outil sur l'ensemble d'un domaine skiable (et sur l'ensemble des domaines), il faudrait rester prudent quant à l'emploi de ces critères : sans contraintes économiques, il conduirait à l'équipement de toutes les pistes, ou presque.

¹²

Des quantités importantes de neige ont également été acheminées par camions ou hélicoptères...

Les logiques de la production de neige sur les domaines skiables viennent d'être expliquées. C'est désormais sur les techniques de production de neige en elles-mêmes que nous souhaitons nous attarder car effectivement, comment fabrique-t-on de la neige ? Nous défendons l'intérêt porté à ces procédés de production pour pouvoir porter un regard objectif sur la pratique.

2. INTRODUCTION AUX PRINCIPES DE L'ENNEIGEMENT

De nombreux documents expliquant les principes de fabrication de la neige sont disponibles publiquement. Les premiers d'entre eux datent des années 1960 et 1970. Certes peu détaillés, ils n'ont, au moins sur les principes de base, pas tellement vieilli (*op. cit.* : Le Ski, 1963 ; Rochet-Revol et Fourrat, 1976).

En 1996, le Service d'Etude et d'Aménagement Touristique de la Montagne (SEATM) publie, en collaboration avec le Centre d'Etude de la Neige de Grenoble, le CNRS et les constructeurs d'installations d'enneigement, un « Guide d'aide à la décision » en matière d'investissement, de réalisation, d'exploitation et de gestion des installations de neige de culture (SEATM, 1996)¹³. Ici aussi, les principes techniques de la fabrication de la neige sont expliqués. Ils le sont cette fois-ci dans le détail sur plus de soixante pages.

Le site internet de l'Association Nationale des Professionnels de la Neige de Culture (ANPNC) consacre de nombreuses pages à la description de toutes les composantes d'une installation d'enneigement. Celles-ci traitent de façon détaillée l'ensemble du sujet, depuis les connaissances météorologiques de base nécessaires aux nivoculteurs, jusqu'aux textes de loi applicables, en passant par les différentes technologies de production et les règles de sécurité à respecter pour la gestion de ces installations. Il s'agit d'un véritable « recueil du nivoculteur », présenté explicitement comme tel.

En réalité, il s'agit d'une copie exacte d'un document publié en 2002 par le SNTF et intitulé « *Neige de culture : le savoir et la production* ». L'ANPNC avait d'ailleurs participé à la rédaction de celui-ci, aux côtés de l'Association Nationale des Directeurs de Pistes et de la Sécurité de Stations de Sports d'Hiver (ADSP), le Service d'Etude et d'Aménagement Touristique de la Montagne (SEATM), le SNTF, Météo-France et un constructeur (SNTF, 2002, p. 138).

A l'occasion de colloques spécialisés dans les sports d'hiver, voire dans les techniques de production de neige elles-mêmes, les processus et leur évolution ont été plusieurs fois présentés (Fauve et Rhyner, 2004 ; Galvin *et al.*, 2009 ; Galvin, 2010).

Une récente thèse de géographie s'est également attachée à présenter les principes de fabrication de la neige : en préalable de ses travaux sur la climatologie hivernale des versants alpins (types de temps, températures et vents en Savoie), C. Chaix décrit en quatre pages l'ensemble du processus de production et les différents paramètres climatiques à considérer dans le cadre de celui-ci (Chaix, 2007, p. 55 à 58). Ce sont les données météorologiques enregistrées par les installations d'enneigement qui ont servi à l'auteur à décrire les microclimats des versants supports de 4 domaines skiables savoyards.

Si l'ensemble des éléments à venir a déjà été traité pour partie, nous ne pouvons néanmoins nous passer de décrire les techniques de production de neige : il s'agit de l'objet même de notre recherche. Dans le cadre de travaux ci-dessus cités, nous apporterons ainsi des réflexions et illustrations personnelles sur la question, en particulier sur les questions des adjuvants et des « pertes » d'eau associées à la production de neige.

¹³ Ce document est vraisemblablement la mise à jour d'un autre plus ancien, dont la trace n'a pas été retrouvée. La page de remerciement précise en effet que le SEATM est l'auteur de cette « réactualisation » (SEATM, 1996, page de remerciements non numérotée).

2.1. Les différentes technologies existantes

Deux principales technologies existent aujourd'hui pour la fabrication de neige. Il s'agit des enneigeurs communément appelés :

- **mono-fluides** (ou, mais à tort, « basse pression ») ;
- **bi-fluides** (ou, mais à tort, « haute pression »).

Ces deux technologies permettent, en pulvérisant de l'eau dans de l'air froid, de produire de la neige selon des processus physiques de transformation d'eau en neige (1 m³ d'eau est nécessaire à la production de 2 m³ environ de neige ; c'est une donnée incompressible).

Une troisième technologie consiste à broyer de la glace et à l'étaler sur les pistes de ski. Il s'agit d'un procédé indépendant des conditions climatiques ambiantes (possibilité de produire de la neige par toute température) : un film d'eau est déposé sur une paroi métallique cylindrique réfrigérée au fréon (-25°C), formant de la glace qui est raclée en permanence. Ces « paillettes » peuvent être ensuite stockées pour un usage ultérieur ou transportées par convoyeur pneumatique (soufflage). Ce procédé, très coûteux en énergie (50 kWh/m³ de neige produite contre moins de 5 kWh/m³ pour les technologies bi-fluides ou mono-fluides), est très peu utilisé en stations de sports d'hiver. Il l'est néanmoins au Japon, en Ski « indoor » ou dans les parcs d'attraction (Husson, 2006).

A notre connaissance, deux stations de ski alpines, pour le moins prestigieuses, ont cependant acquis de telles installations¹⁴ : Zermatt (Valais, Suisse) et Pitztal (Tirol, Autriche). A Zermatt, cette infrastructure, installée dans un bâtiment d'une surface de 100 m² pour 11 m de haut, a été acquise pour 1,5 million d'euros (Sargenti, 2007). A Pitztal, elle se situe à 2840 m d'altitude au pied du glacier du même nom (photo 3.10).

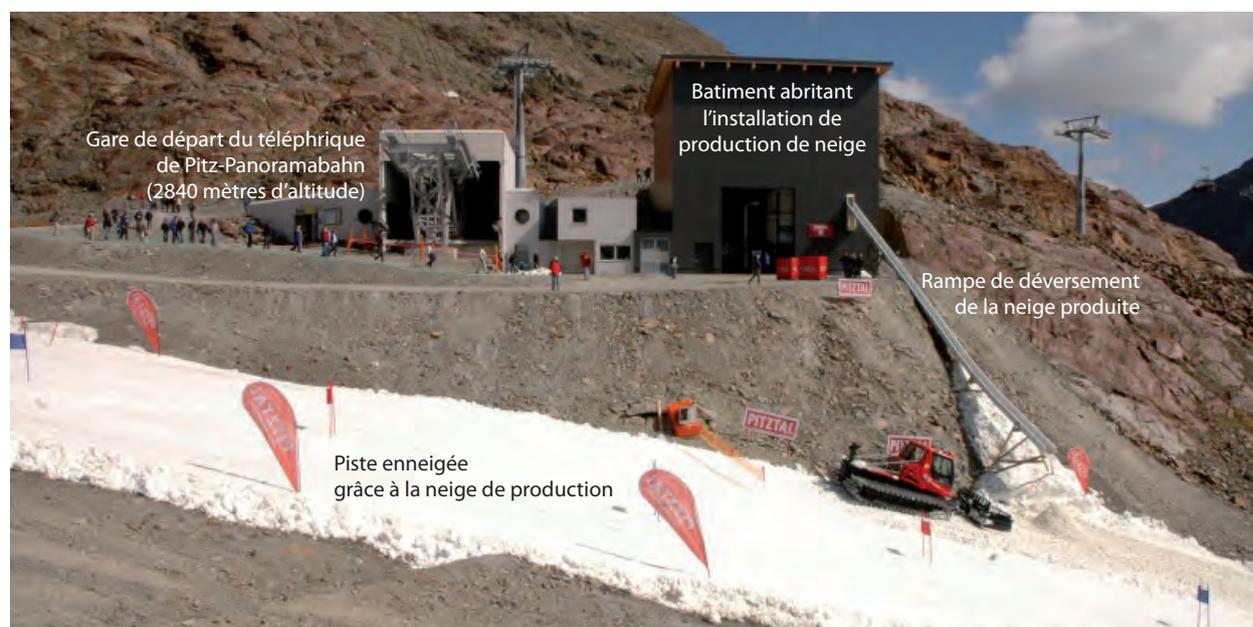


Photo 3.10 : L'installation de production de neige « toute température » de Pitztal, en Autriche (cliché : IDE Technologies, octobre 2009)

¹⁴

Infrastructures acquises auprès de la société Israélienne IDE Technologies, dont le réchauffement climatique est un des arguments commerciaux invoqués pour la promotion de ce produit (voir à ce sujet IDE Technologies, 2010).

Le développement de telles installations n'est évidemment pas sans questionner quant à leurs impacts environnementaux ou économiques, leur durabilité, et somme toute leur pertinence. La problématique est en réalité presque philosophique. Est-il raisonnable de fabriquer de la neige là où **par nature** il n'y en a pas, ou plus ? Où doit s'arrêter l'aménagement touristique lorsque la technologie permet de dépasser toutes les limites ?

Inexistante en France et à l'état embryonnaire sur le marché des sports d'hiver, nous ne développerons pas plus à propos cette dernière technologie. Les deux premières sont au contraire précisées ci-dessous.

2.1.1. Le système mono-fluide

Les enneigeurs mono-fluides (photo 3.11) sont qualifiés comme tels car alimentés sous pression par un unique fluide : l'eau. Ils s'apparentent à de gros ventilateurs et se rapprochent par leur forme à de petits canons, d'où vraisemblablement le terme de « canon à neige ».

Deux principes permettent de fragmenter (pulvériser) l'eau sous-pression (10 à 65 bars¹⁵) :

1. De **multiples gicleurs** de section fixe ou variable sont disposés sur une ou plusieurs couronnes (figure 3.15). Les avantages de l'enneigeur multigicleur résident dans sa capacité de démarrage en marginal (température proche de la limite de production), sa qualité de neige et son besoin d'une faible pression d'eau. A contrario, ses inconvénients sont : son poids, son encombrement, sa sensibilité à l'eau chargée (turbide), sa relative complexité, le travail important de régilage de la neige et la maintenance qu'il nécessite.
2. Une **unique buse centrale** ajuste le débit d'eau (figure 3.16). Les avantages de l'enneigeur monobuse résident dans sa capacité de production, sa simplicité et sa fiabilité (peu sensible à l'eau chargée). A contrario, ses inconvénients sont : son poids, son encombrement, sa dépendance à la pression d'eau, son prix, le travail important de régilage de la neige et la maintenance qu'il nécessite.

Dans chaque cas, les gouttelettes formées à la sortie des gicleurs sont propulsées par un ventilateur électrique. Leur transformation en neige est facilitée par la formation de microcristaux de glace projetés dans le jet principal (nucléation). Des gicleurs spécifiques utilisant de l'eau et de l'air sous pression permettent leur formation. Cet air comprimé est produit à l'aide d'un compresseur embarqué qu'il faut alimenter en énergie électrique. Les enneigeurs mono-fluides peuvent être mobiles (montés sur roues ou patins) ou à poste fixe (montés sur tour ou sur bras articulé).

¹⁵ Une colonne d'eau de 10 mètres de haut sur 1 cm² de surface, exerce une pression d'environ 1 bar. Une colonne d'eau de 100 m de haut sur 1 cm² de surface, exerce une pression d'environ 10 bars, etc.

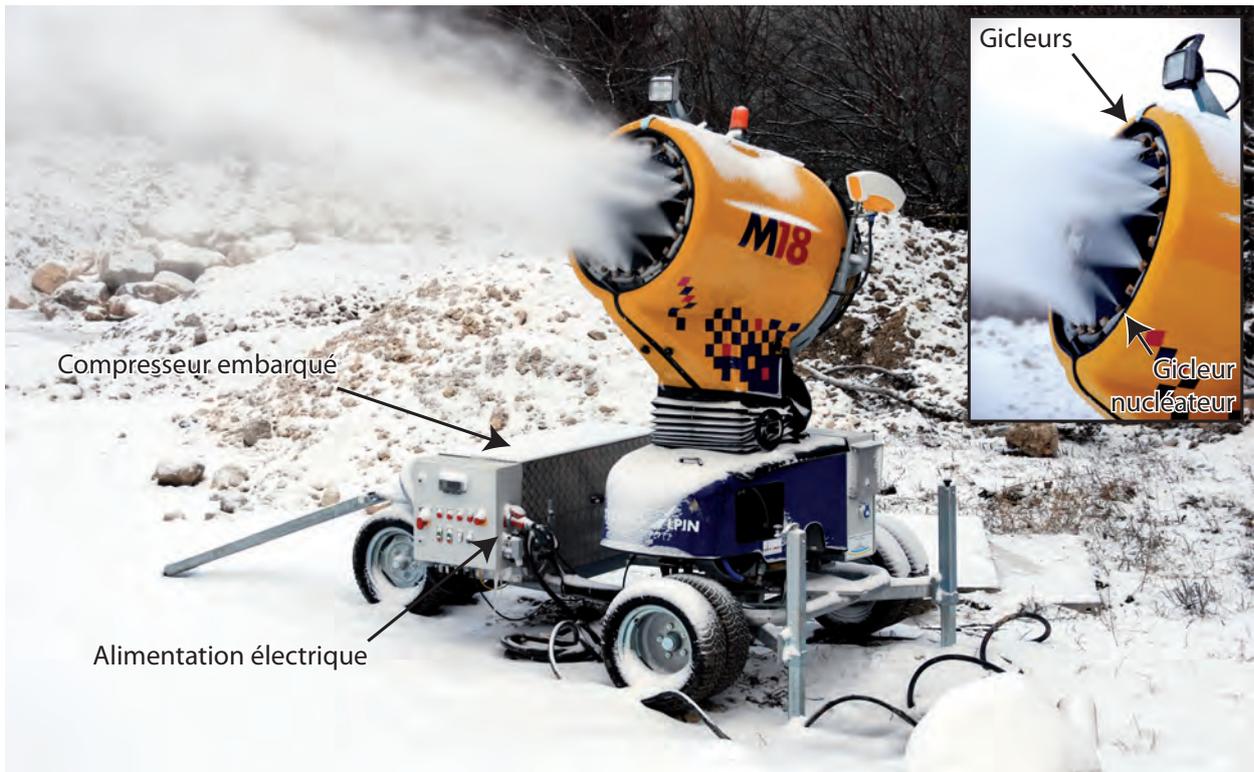


Photo 3.11 : Enneigreur mono-fluide en fonctionnement (enneigreur multigicleurs de section fixe montés sur couronnes, Saint-Pierre-de-Chartreuse, Isère)
(cliché : P. Paccard, le 15/12/2009)

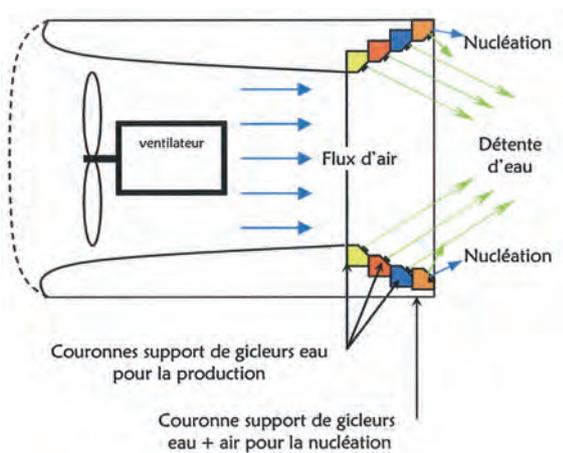


Figure 3.15 : Schéma de principe de l'enneigreur multigicleurs de section fixe montés sur couronnes (extrait de SNTF, 2002, p. 63)

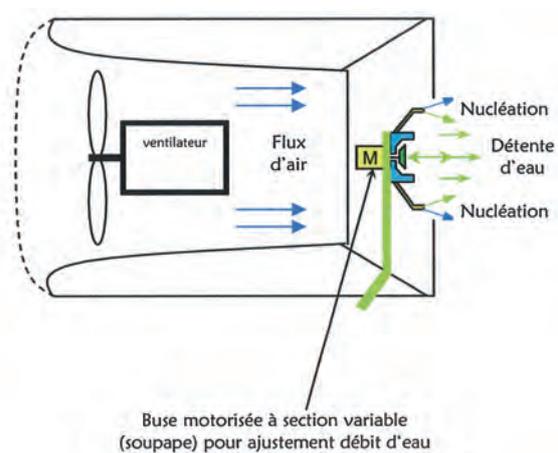


Figure 3.16 : Schéma de principe de l'enneigreur monobuse de section variable (extrait de SNTF, 2002, p. 63)

2.1.2. Le système bi-fluide

Les enneigeurs bi-fluides (photo 3.12) sont qualifiés comme tels car alimentés sous pression par deux fluides : l'eau et l'air. Ils s'apparentent à de grandes perches disposées régulièrement le long des pistes de ski et sont les enneigeurs les plus couramment utilisés par le parc de stations françaises. Deux principes permettent de mélanger l'eau et l'air, envoyés vers les enneigeurs sous pression :

1. Air et eau sont introduits dans une chambre de mélange (figure 3.17 ; photo 3.13) à l'intérieur de la tête de l'enneigreur (pression de 6 à 10 bars pour l'air et de 6 à 12 bars pour l'eau). La détente de l'air à la sortie de celle-ci, et le refroidissement qu'elle entraîne, provoquent la fragmentation de l'eau et la formation de microcristaux de glace nucléateurs. Les avantages de l'enneigreur bi-fluide à **mélange interne** résident dans : sa facilité d'exploitation, sa régulation linéaire du débit pour une qualité de neige constante et son prix. A contrario, ses inconvénients sont : sa consommation d'air, son niveau sonore et sa faible tolérance à une température d'eau élevée.



Photo 3.12 : Enneigreur bi-fluide en fonctionnement (cliché : Y. Deschaux, le 07/12/2008, Les Sept-Laux, Isère)

2. Plusieurs gicleurs de section fixe ou variable fragmentent l'eau sous pression (15 à 65 bars) à la sortie de l'enneigreur (figure 3.18 ; photo 3.14). De façon séparée, l'air comprimé est expulsé par d'autres gicleurs spécifiques. La détente de l'air et son refroidissement permettent, lorsqu'il rencontre le flux d'eau, la formation de microcristaux de glace nucléateurs. Les avantages de l'enneigreur bi-fluide à **mélange externe** résident dans sa facilité d'exploitation, son niveau sonore, son rapport énergétique et son prix. A contrario, ses inconvénients sont : sa dépendance à la pression d'eau, son seuil de démarrage et sa faible tolérance à une température d'eau élevée.

Les enneigeurs bi-fluides sont généralement alimentés en air et eau sous pression depuis une « salle des machines » regroupant l'ensemble des installations de compression. Ils sont fixes dans leur très grande majorité et installés sur des pieds (des modèles sur luges, mobiles, existent tout de même). Diverses tailles permettent de produire de la neige depuis le sol jusqu'à 10 mètres de hauteur. Il faut noter qu'en l'espace de 30 ans, les progrès de la technique ont permis de diviser la quantité d'air nécessaire à ces enneigeurs par 4, réduisant le bruit qu'ils émettent de plus de 10 décibels et la quantité d'énergie nécessaire à la fabrication d'un m³ de neige de 10 à moins de 4 kWh (Galvin, 2009 et 2009 ; Galvin *et al.*, 2009).



Photo 3.13 : Tête (double) d'enneigeur bi-fluide à mélange interne (cliché : P. Paccard, le 05/04/2009)



Photo 3.14 : Tête d'enneigeur bi-fluide à mélange externe (cliché : P. Paccard, le 15/12/2009)

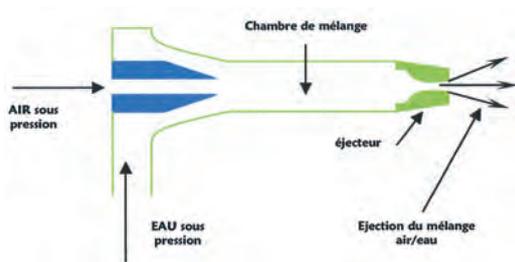


Figure 3.17 : Schéma de principe de l'enneigeur bi-fluide à mélange interne (extrait de SNTF, 2002, p. 60)

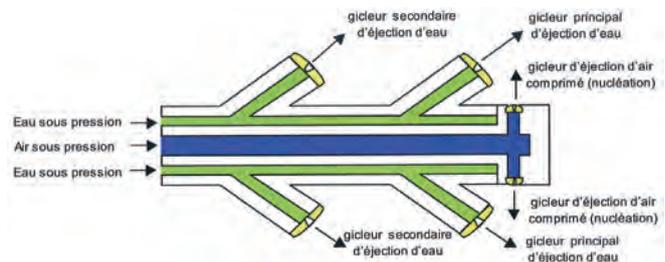
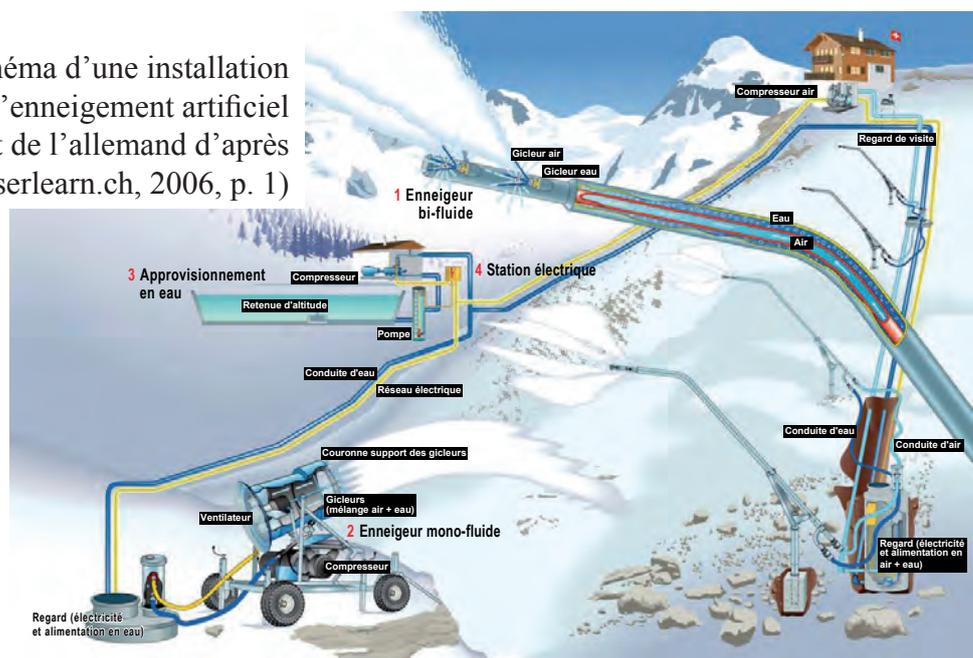


Figure 3.18 : Schéma de principe de l'enneigeur bi-fluide à mélange externe (extrait de SNTF, 2002, p. 61)

2.2. Les autres éléments constituant une installation d'enneigement artificiel

En réalité, les enneigeurs ne constituent bien souvent que la partie la plus visible d'une installation d'enneigement artificiel (IEA ; figure 3.19). En réalité, l'infrastructure dans son ensemble est importante et complexe. Elle nécessite de nombreux travaux et aménagements, qui dépassent la seule échelle du « canon à neige », pour être complète.

Figure 3.19 : Schéma d'une installation complète d'enneigement artificiel (reproduit et traduit de l'allemand d'après userlearn.ch, 2006, p. 1)



Les enneigeurs sont en effet branchés sur des **regards** (photo 3.15), reliés entre eux par un important **réseau de distribution d'air et d'eau** sous pression, et un **réseau électrique**. Des appareils de mesure permettent de contrôler et d'optimiser en permanence les conditions de fabrication de la neige (débit, température, pression...). L'ensemble de ces réseaux converge généralement vers une ou plusieurs **salles des machines** (SDM ou « usine à neige ») où sont regroupées les installations électriques et de compression de l'air et de l'eau (photo 3.16). C'est également dans la salle des machines que se trouve le **poste de contrôle** des installations, géré en « supervision » (suivi et pilotage informatique de l'ensemble du process de production ; photo 3.17). L'automatisme des installations est désormais tel que l'ensemble du réseau de production peut être piloté à distance, depuis les pistes de ski par exemple.

Enfin, et nous y reviendrons longuement, une source d'alimentation en eau complète ce dispositif. Signifiée par un réservoir sur la figure 3.19 précédente (*supra*, p. 151), elle peut également être installée au fil d'un cours d'eau ou sur un réseau d'alimentation en eau potable. Les retenues d'altitude restent néanmoins aujourd'hui la solution privilégiée par les opérateurs de domaines skiables.

Photo 3.17 : Poste de contrôle des installations d'enneigement de Flaine, Haute-Savoie (cliché : Y. Gosseume, le 21/02/2009)

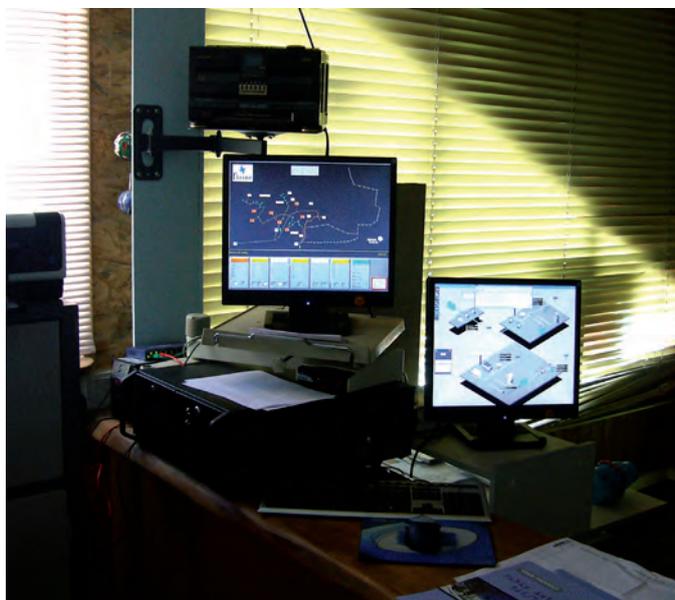


Photo 3.15 : Regard d'alimentation en eau et air d'un enneigeur bi-fluide (cliché : P. Paccard, le 07/05/2009, Courchevel, Savoie)

Photo 3.16 : Salle des machines de Serre-Chevalier Briançon, Hautes-Alpes (cliché : P. Paccard, le 04/01/2010).
Au premier plan, en bleu, les pompes permettant d'envoyer l'eau sous-pression vers le réseau d'enneigeur.



Chacune des séquences qui permet de transformer de l'eau en neige va désormais être rapidement décrite. Les paramètres climatiques nécessaires à la production de neige ainsi que les propriétés physiques de la neige de production seront ensuite expliqués. Dans un dernier temps, l'utilisation d'adjuvants pour la production de neige ainsi que la « perte » potentielle d'eau liée au phénomène d'évaporation seront discutées.

2.3. Les différentes phases du processus de transformation de l'eau en neige

La production de neige est un principe simple en apparence : pulvériser de l'eau dans de l'air froid. En réalité, c'est un processus physique complexe qu'il n'est pas évident de maîtriser. Qu'il s'agisse des enneigeurs mono-fluides ou bi-fluides, la transformation de l'eau en neige répond à plusieurs séquences successives (figure 3.20) : atomisation, nucléation, insémination, évaporation et convection. En l'espace de 20 à 80 mètres selon la portée des enneigeurs, ces étapes transforment des gouttelettes d'eau liquide en neige.

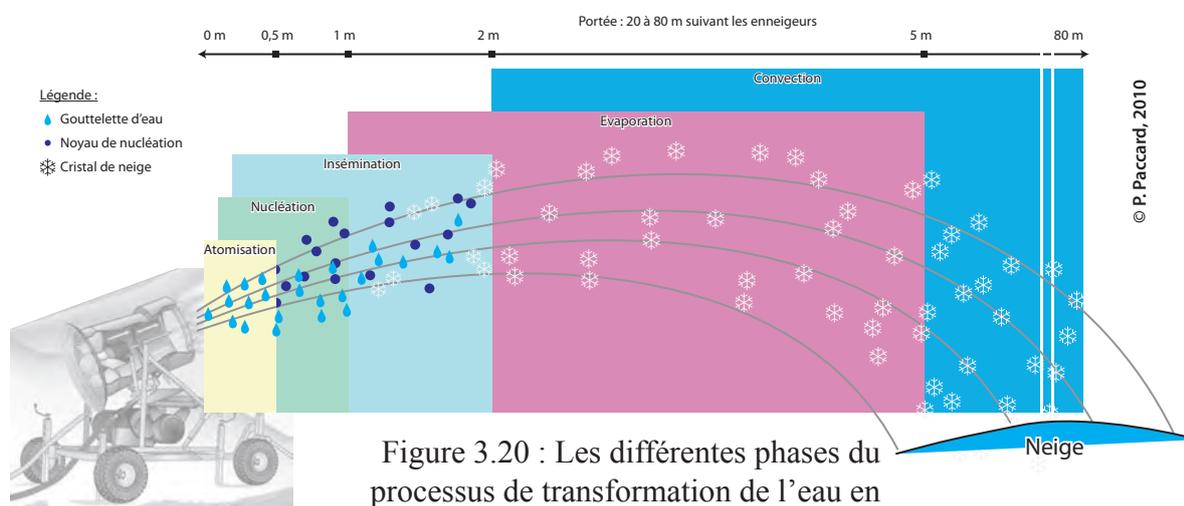


Figure 3.20 : Les différentes phases du processus de transformation de l'eau en neige (d'après SNTF, 2002, p. 52, modifié)

2.3.1. Atomisation (ou fragmentation)

La première étape consiste en la **pulvérisation de l'eau à travers des buses de faible diamètre**, formant de très fines gouttelettes d'eau (diamètre de 0,2 à 0,8 mm). Projetées en un jet homogène dans l'air froid ambiant, ces gouttelettes cristalliseront en glace d'autant plus facilement qu'elles sont petites.

2.3.2. Nucléation

En parallèle de la première étape d'atomisation de l'eau, des buses spécifiques (les nucléateurs), plus fines, libèrent un mélange homogène d'eau et d'air sous pression. Le refroidissement ainsi provoqué par la **détente brutale de l'air à la sortie de l'enneigeur cristallise immédiatement les fines particules d'eau projetées** : elles forment ainsi des noyaux de nucléation qui favoriseront le changement de phase des autres gouttelettes, d'abord liquides puis solides.

2.3.3. Insémination

L'insémination consiste en la **rencontre du flux d'atomisation principal et du flux de nucléation**. Considérant que l'eau ne congèle pas forcément aux températures inférieures à 0°C lorsqu'elle est parfaitement pure (phénomène de surfusion), des noyaux glaçogènes sont nécessaires pour rompre son état d'équilibre et déclencher ainsi sa congélation.

Il faut noter que les particules présentes dans l'eau (turbidité naturelle ou utilisation d'adjuvants) favorisent également la formation de ces noyaux glaçogènes.

2.3.4. Evaporation

Les gouttelettes sont projetées puis dispersées dans l'air ambiant ; leur partie extérieure s'évapore. **Ce phénomène d'évaporation abaisse alors la température des gouttelettes et facilite ainsi leur congélation.**

Plus l'air est sec, plus le phénomène d'évaporation est important. La production de neige s'en trouve facilitée (il faut noter que l'air froid n'est pas un facteur favorable à l'évaporation mais qu'il reste évidemment un facteur favorable à la production de neige grâce au phénomène de convection).

2.3.5. Convection

La dernière étape du processus de production de neige est la convection. Il s'agit de **l'échange de chaleur entre les gouttelettes et l'air ambiant**. Plus celui-ci est froid, plus la production de neige sera performante.

2.4. Les conditions climatiques nécessaires au fonctionnement des installations¹⁶

La production de la neige dépend ainsi étroitement des conditions climatiques de l'air ambiant. Il s'agit principalement de la température et du taux d'humidité de l'air (taux d'hydrométrie), dont la combinaison forme une grandeur appelée température humide. Le vent et la pression atmosphérique sont également des paramètres influençant la production de neige.

2.4.1. Température sèche et humidité relative de l'air : la température humide

La température humide (TH ou température du bulbe humide) est une valeur qui met en relation la température sèche de l'air et son pourcentage d'humidité relative. Cette grandeur peut être mesurée avec un psychromètre, et calculée ou évaluée en utilisant un abaque (tableau 3.4).

Les installations d'enneigement sont généralement programmées pour démarrer la production de neige lorsque la température humide est inférieure ou égale à -4°C (voire -3°C TH) soit :

- -2°C de température sèche et 60% d'humidité ;
- -3°C de température sèche et 80% d'humidité ;
- -4°C de température sèche et 100% d'humidité.

Des sondes installées régulièrement le long des réseaux de production de neige permettent de mesurer ces paramètres (photo 3.18). Aux alentours de -3°C TH la production de neige devient

¹⁶ Repris principalement d'après SEATM (1996, p. 13 à 15) et SNTF (2002, p. 53 à 58).

délicate : on parle de production en température marginale. La température humide influence également la qualité de la neige produite : plus elle est faible, meilleure est la qualité de neige (neige plus sèche, moins « mouillée »)¹⁷.

Hum. relative (%) temp. sèche (°C)	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
-9	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-10	-10	-10	-10	-9	-9
-8	-12	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-10	-10	-10	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8
-7	-10	-10	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7
-6	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-6
-5	-9	-9	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-5
-4	-8	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-4
-3	-7	-7	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3
-2	-7	-7	-6	-6	-6	-6	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-3	-2
-1	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1
0	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0
1	-5	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	1
2	-4	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1	1	2	2	2
3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	2	2	3	3	3
4	-2	-2	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4	4

Conditions limites de la production de neige

Tableau 3.4 : Tableau de conversion de la température sèche et du taux d'hygrométrie de l'air en température humide (TH en °C) (d'après SnowatHome, non daté, modifié). La couleur bleue représente les conditions favorables à la production de neige.



Photo 3.18 : Une des sondes (sous abri) du réseau de production de neige de l'Alpe d'Huez, Isère (cliché : P. Paccard, le 03/01/2009). En arrière plan, le glacier du Mont de Lans (domaine skiable des Deux Alpes).

¹⁷ La température de l'eau utilisée intervient également dans la qualité de la neige produite et le rendement des installations. Une eau froide, de quelques degrés Celsius seulement, est plus favorable à la production de neige.

2.4.2. Pression atmosphérique et vent

La pression atmosphérique intervient également dans les conditions influençant la production de neige. Effectivement, le pouvoir de refroidissement de l'air diminue lorsque la pression atmosphérique s'abaisse. A l'inverse, son pouvoir d'évaporation augmente lorsqu'elle diminue. Une faible pression atmosphérique est donc plus favorable à la production de neige, facilitant l'évaporation de l'eau et le froid nécessaires à la cristallisation des gouttes d'eau.

Enfin, le vent affecte aussi le processus de refroidissement. Il renouvelle d'une part l'air ambiant, accroissant ainsi la quantité d'air disponible pour les échanges thermiques avec les gouttes d'eau. Il augmente d'autre part la vitesse des transferts d'énergie. Néanmoins, un vent trop fort n'est pas favorable à la production de neige : risque de dispersion de la neige produite en dehors des pistes ou de formation d'un « bouchon » de glace sur la tête des enneigeurs dans le cas d'un vent contraire au sens de production (photo 3.19). Des anémomètres disposés sur les réseaux d'enneigement permettent de contrôler la force et la direction du vent (photo 3.20).



Photo 3.19 : Un des anémomètres du réseau de production de neige Villard-de-Lans, Isère (cliché : P. Paccard, le 05/04/2009)

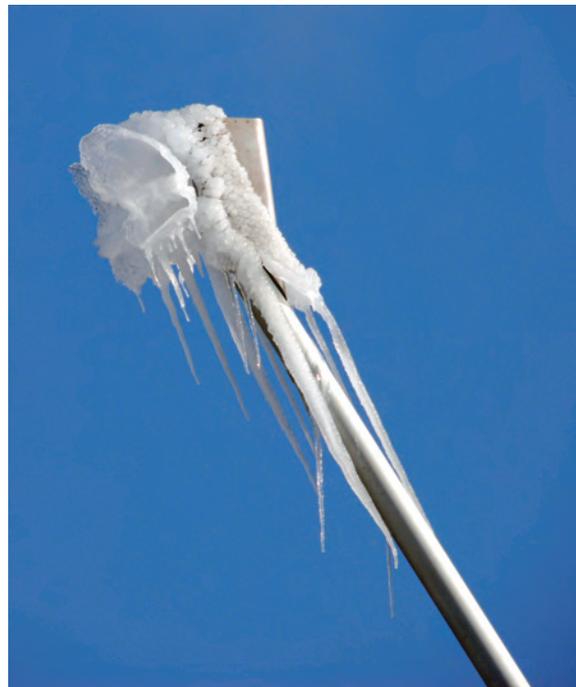


Photo 3.20 : Bouchon de glace formé sur la tête d'un enneigeur par un vent contraire au sens de production (cliché : P. Paccard, le 15/12/2009, Villard-de-Lans, Isère)

Pour résumer, la production de neige sera d'autant **facilitée par un air sec (humidité relative faible) et froid (température sèche froide), une pression atmosphérique et un vent faibles**. Ces conditions sont à mettre en regard de notre questionnement sur le changement climatique : les évolutions des températures et, plus généralement, des conditions atmosphériques seront-elles en mesure de contraindre les facteurs nécessaires à la production de neige ? Nous appréhenderons cette question sur les terrains d'études.

2.5. Les propriétés physiques de la neige de production

2.5.1. La neige de production : une congélation de l'eau

A la différence de la neige naturelle qui se forme par sublimation inverse (ou condensation solide : l'eau passe d'un état gazeux à solide), la neige de production se forme par congélation (l'eau passe d'un état liquide à solide ; figure 3.21). Ces changements d'état sont l'explication des propriétés physiques particulières de la neige de production.

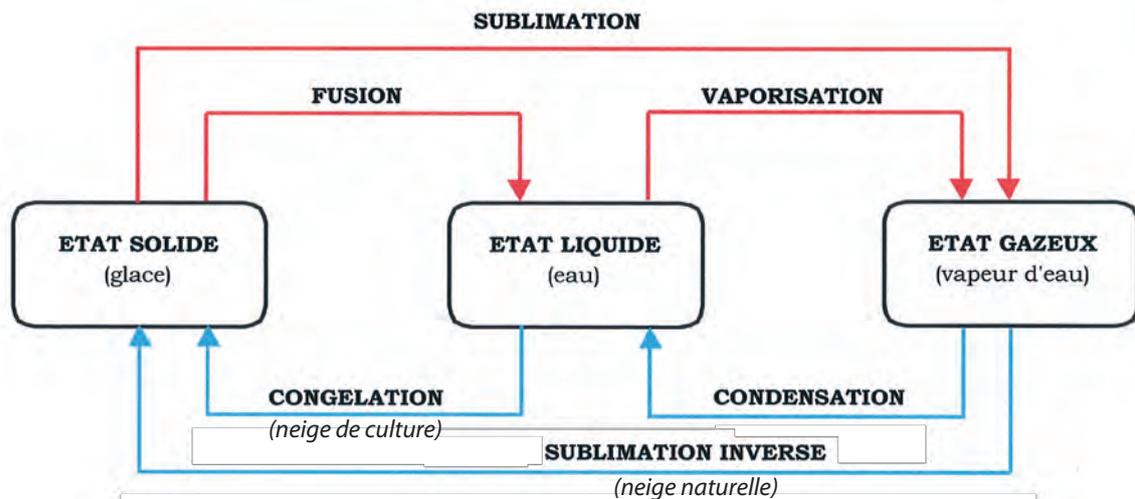


Figure 3.21 : Place de la neige naturelle et de culture dans les différents changements d'état de l'eau (d'après SNTF, 2002, p. 28, modifié)

Dans le processus de formation des grains de neige, l'enveloppe congèle avant le centre, à partir d'un noyau de congélation, lorsque la température est suffisamment froide. Le phénomène est inverse pour les flocons de neige naturelle : l'eau se solidifie à partir d'un noyau de condensation, au centre du flocon à la fin du processus (figure 3.22).

Il arrive parfois que l'eau pulvérisée ne congèle pas en totalité avant d'arriver sur le sol. Seule l'enveloppe extérieure du grain est alors solidifiée (Fauve *et al.*, 2002, p. 47). Les nivoculteurs savent bien qu'il est nécessaire de faire « reposer » la neige produite avant de la travailler, de façon à laisser le temps aux grains de congeler en totalité. Sans ce repos, le risque est de briser les grains, libérant l'eau qu'ils contiennent, et de former ainsi des plaques de verglas fort peu appréciées des skieurs.

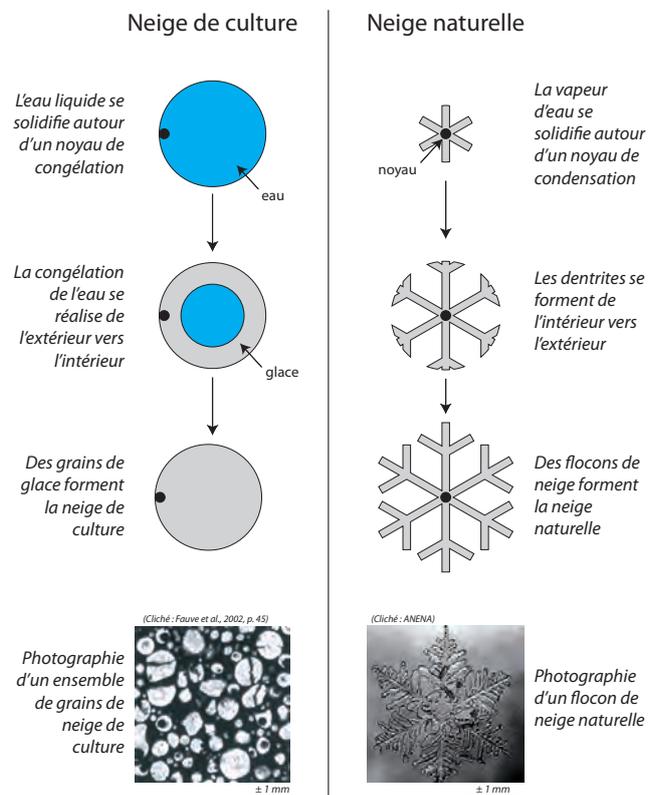


Figure 3.22 : Comparaison de la formation de la neige de production et de la neige naturelle

2.5.2. Densité et dureté de la neige de production

La densité moyenne de la neige de production est d'environ 400 kg/m³ (Fauve *et al.*, 2002, p. 45 ; SNTF, 2002, p. 46 ; figure 3.23) ; elle emprisonne peu d'air. Cette densité est fonction de la quantité d'eau que la neige contient ; une neige « mouillée » sera plus dense qu'une neige « sèche » (cette qualité de neige peut être définie par le nivoculteur lors de la production). Il est ainsi couramment admis qu'1 m³ d'eau permet de produire 2 m³ de neige (il faut donc en théorie 3500 m³ d'eau par hectare pour 2 campagnes d'enneigement de 35 cm chacune ; ces chiffres se vérifient par la pratique).

A titre de comparaison, la densité moyenne de la neige naturelle damée est d'environ 480 kg/m³ tandis que celle de la neige fraîche naturelle est d'environ 100 kg/m³. Le volume important d'air emprisonné entre les flocons explique la faible densité de la neige naturelle.

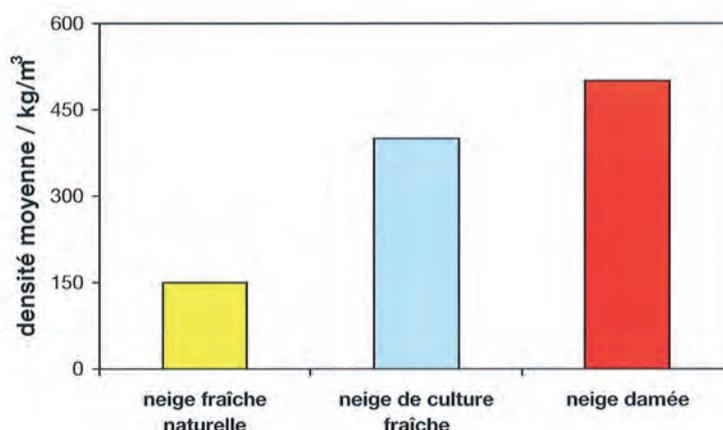


Figure 3.23 : Densité de la neige de production, de la neige fraîche naturelle et de la neige damée (extrait de Fauve *et al.*, 2002, p. 45)

Composée de petits grains de glace et d'une densité élevée, la neige de production présente une dureté (résistance à la pénétration) deux fois supérieure à celle de la neige naturelle damée : environ 35 Newton (soit résistance à une masse d'environ 3,5 kg ; figure 3.24). Sa rapide solidification par frittage (formation de petits ponts de glace entre chaque grain) dès que les grains parviennent au sol, explique cette dureté élevée (Fauve *et al.*, 2002, p. 47).

La neige de production est donc résistante aux nombreux passages des skieurs, un avantage sur les pistes les plus fréquentées et les pistes de compétition.

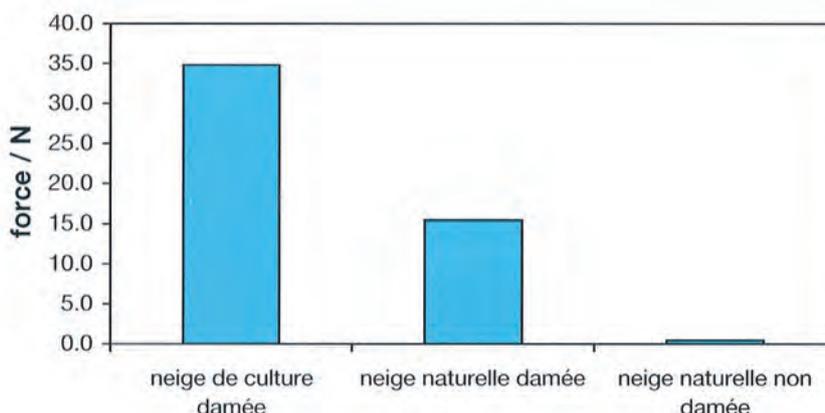


Figure 3.24 : Dureté de la neige de production, de la neige fraîche naturelle et de la neige damée (extrait de Fauve *et al.*, 2002, p. 45)

2.6. Deux enjeux liés aux processus de production de neige : les adjuvants et les pertes potentielles en eau

Bien souvent au cœur des débats, les questions des adjuvants et des « pertes » potentielles en eau associées à la production de neige sont effectivement deux éléments importants à considérer. Ils correspondent au volet qualitatif et quantitatif de la ressource. Si en France la problématique des adjuvants ne se pose plus pour le moment – ces produits ne sont plus utilisés –, les volumes d'eau évaporés dans le processus de production et sublimés depuis la neige reposant au sol restent à déterminer précisément.

2.6.1. La question des adjuvants

Les adjuvants, facilitateurs de la nucléation

Nous venons de le voir, la nucléation est une étape importante dans le processus de production de neige. L'insémination de noyaux de congélation dans les gouttelettes pulvérisées permet de « casser » le phénomène de surfusion de l'eau et de favoriser ainsi la congélation de celle-ci.

La fabrication de ces noyaux de congélation peut être facilitée par l'ajout de produit dans l'eau utilisée pour l'enneigement. Bien des agents nucléateurs sont présents naturellement dans l'eau (de simples poussières peuvent suffire), d'autres présentent un pouvoir cryogène supérieur. Ces derniers peuvent ainsi améliorer le rendement des installations d'enneigement (Brown, 1997). Ils permettent de produire de la neige à quelques degrés au dessus des températures habituelles de démarrage des installations.

Parmi les différents produits utilisés à travers le monde (AFSSET, 2008, p. 26), le Snomax est certainement le plus connu d'entre eux. Des protéines cryogènes stérilisées, issues de la culture d'une bactérie, *Pseudomonas syringae*, le constituent. Elles permettraient la formation de noyaux de glace dès -2°C, et d'augmenter ainsi le seuil de production de neige d'un ou deux degrés.

Les impacts environnementaux et sanitaires

En 2004, un article du Monde titrait : « *Les additifs ajoutés à l'eau des canons à neige artificielle favorisent la pollution des sols* » (Cabret, 2004). Il est certain que **cette pratique n'est pas sans soulever un certain nombre de questions**, légitimes, quant à ses impacts sur l'environnement, voire la santé humaine (Férraille, 2004 ; Brillaud *et al.*, 2005). Plus récemment, M. Badré *et al.* s'interrogeaient encore :

« *Bien qu'elle soit stérilisée, reste-t-il encore des bactéries viables dans la neige ? A-t-elle un impact sur la végétation des pistes et sur la qualité des eaux : qualité chimique par apport direct d'azote et qualité bactériologique, notamment en facilitant la prolifération d'autres bactéries par apport de nutriments ? Le patrimoine génétique des bactéries utilisées (petits éléments d'ADN circulaire appelés plasmides) peut-il se transmettre à d'autres bactéries et disséminer ainsi ce pouvoir cryogène ? Existe-t-il des risques sanitaires pour les usagers des pistes enneigées ou les professionnels ?* » (Badré *et al.*, 2009, p. 47).

Les recherches du CEMAGREF et de l'université de Turin

Pour répondre à ces interrogations, deux équipes de recherche du CEMAGREF et de l'université de Turin ont été sollicitées par la société qui commercialisait le Snomax, York Neige (aujourd'hui *Johnson Controls neige*). Celles-ci ont rendu les résultats de leur recherche en 2004 (Dinger, 2004). Un colloque international a même été organisé le 22 avril 2004 à l'occasion du Salon de l'Aménagement de la Montagne de Grenoble pour les présenter (Dinger, 2004). Les principaux résultats de ces recherches sont les suivants :

*« Les analyses ont permis de confirmer qu'il n'y avait plus de bactéries *Pseudomonas syringae*, ni dans le produit fini (sachet de granulés), ni dans la neige de culture. En revanche, on retrouve d'autres micro-organismes qui profitent de ce milieu nutritif pour proliférer. [...] Tous ont trouvé un milieu de culture favorable. La question de l'impact de la neige artificielle sur l'environnement et sur l'homme dépend donc aussi de la qualité de l'eau. [...] »*

Ceux-ci se multiplient dans le milieu nutritif qu'offre le snomax mélangé à l'eau. Ils sont alors apportés en fortes quantités dans le milieu naturel et on peut se poser la question de risque pathogène pour l'homme et pour l'environnement. [...]

Y a-t-il un impact sur la végétation ? Trois campagnes de mesure ont été réalisées entre 2001 et 2003 dans deux stations de ski : Valloire en France à 1940 mètres d'altitude et Antagnod en Italie entre 2200 et 2307 mètres d'altitude. L'équipe italienne s'est intéressée à une station récente dont la couverture végétale venait juste d'être réalisée. Elle n'a relevé aucun effet du snomax sur ce couvert végétal jeune. En revanche, l'équipe du Cemagref a étudié une station française plus ancienne dont la végétalisation datait d'une quinzaine d'années. Là, quelques différences ont été mises en évidence : les plantes semblent pousser mieux dans les endroits où il y a eu du snomax » (Dinger, 2004).

Il s'agirait donc d'un produit inerte mais très nutritif, favorisant la prolifération de germes déjà présents dans les eaux utilisées et induisant (peut être) une légère fertilisation des sols. **Le véritable enjeu résiderait donc dans la qualité de l'eau utilisée pour l'enneigement.**

L'expertise de l'AFSSET

D'autres recherches, plus récentes ont été menées sur le même sujet. Suite à une saisine par la Direction Générale de la Santé du ministère en charge de la santé, la Direction de la prévention des pollutions et des risques et la Direction des études économiques et d'évaluation environnementale du ministère en charge de l'écologie et du développement durable, **l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET)** publie en 2008 un rapport d'« *évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation d'adjuvants pour la fabrication de la neige de culture* » (AFSSET, 2008). Le travail de l'AFSSET a principalement porté sur le produit Snomax. Elle retient les conclusions suivantes :

- que la bactérie *P. syringae*, unique constituant bactérien du Snomax®, **ne présente pas de pouvoir pathogène pour l'homme**,
- que le Snomax®, au regard de sa composition chimique, **ne présente pas de toxicité pour l'homme**,
- que l'exposition aux endotoxines du produit Snomax® pour les usagers des pistes (adultes et enfants) et les populations professionnelles, à l'exception des nivoculteurs (en charge de fabrication de la neige de culture), ne constitue pas un danger supplémentaire à celui de l'exposition quotidienne de l'homme aux endotoxines d'origine naturelle,
- que le risque sanitaire lié à l'utilisation du Snomax® est, selon les scénarii, « nul » ou « nul à négligeable » pour les usagers des pistes (adultes) et pour les professionnels concernés, à l'exception des nivoculteurs,
- que le risque sanitaire lié à l'utilisation du Snomax® est « négligeable » pour les enfants exposés à la neige de culture au sol et « nul à négligeable » pour les autres scénarii,

- que le risque sanitaire lié à l'utilisation du Snomax® est, selon les scénarii, « négligeable » ou « négligeable à faible » pour le nivoculteur » (AFSSET, 2008, p. 5).

Seul le nivoculteur, potentiellement en contact direct avec le produit en question, est ainsi concerné par un risque sanitaire considéré comme « négligeable ». En marge de la question pour laquelle elle a été saisie, l'AFSSET recommande néanmoins l'utilisation d'une eau de bonne qualité pour la production de neige. On retrouve ainsi les préoccupations de F. Dinger en 2004 :

« considérant la vulnérabilité aux pollutions des aquifères et des captages d'eau potable en zone de montagne, notamment ceux localisés au sein des domaines skiables voire à proximité immédiate des pistes, les experts mentionnent que la fonte d'une neige de culture de mauvaise qualité microbiologique peut impacter la qualité sanitaire de l'eau destinée à la production d'eau de consommation humaine » (AFSSET, 2008, p. 60).

Depuis la publication de ce rapport, les opérateurs de domaine skiable se sont saisis de cette question de la qualité de l'eau. Des études sont en cours et un cahier des charges concernant l'aptitude qualitative de l'eau à la production de neige est en phase de test. Nous encourageons cette démarche qui permettra certainement d'améliorer la gestion qualitative de l'eau.

Une pratique abandonnée en France depuis 2005

Le Snomax fut utilisé, vraisemblablement de façon ponctuelle voire sous forme de test, dans certaines stations françaises jusqu'en 2005 (23 stations de ski françaises d'après AFSSET, 2008, p. 27 ; photo 3.21 et 3.22). Déjà utilisé au JO de Calgary en 1988 (Aménagement et Montagne, 1991, p. 43), il fut d'après l'AFSSET « commercialisé pour la première fois en France en 1992 à l'occasion des jeux olympiques d'Albertville » (2008, p. 27).

En réalité, on retrouve les traces de l'utilisation de ce produit avant cette date. En 1989, l'exploitant du domaine des Planards à Chamonix (Haute-Savoie) explique ainsi, suite aux tests qu'il vient de réaliser : « nous avons obtenu un gain de productivité de 10 % à une température de moins 2° » (propos in Boutry, 1989, p. 22). En 1991, un représentant de la société française Rustifrance, qui commercialisait à l'époque ce produit¹⁸, se livre dans les pages d'« Aménagement et Montagne » à une explication détaillée du mode d'utilisation du Snomax, tout en vantant les mérites de celui-ci :

« Quels sont les avantages du Snomax ? Economie d'abord [...]. Une plus grande souplesse de production [...]. Une amélioration de la qualité de la neige [...]. Enfin, le Snomax est d'une utilisation simple » (Aménagement et Montagne, 1991, p. 43).

Photo 3.21 : La cuve nécessaire au mélange de l'eau et du Snomax installée à Méribel au début des années 1990 (cliché : in Aménagement et Montagne, 1991, p. 42). **Cette installation n'est aujourd'hui plus utilisée.**



¹⁸

Commercialisation par Rustifrance du Snomax également évoquée in Dinger et Dubost (1995, p. 15).

Photo 3.22 : Test d'efficacité du Snomax (cliché : *in* Aménagement et Montagne, 1991, p. 43). *L'enneigreur de droite, pulvérisant une eau mélangée à du Snomax, semble produire une neige plus dense, dans tous les cas plus blanche !*



Effet de lumière ? Aucun commentaire - autre que « la différence entre les deux enneigeurs est due au Snomax » - n'explique plus en détail cette photo dans l'article qui l'accompagne...

Aujourd'hui, et depuis 2005, **l'ensemble des exploitants de domaines skiables français déclare ne plus utiliser d'adjuvant pour la production de neige. Ces déclarations ont pu être vérifiées par nos soins lors de nos visites de terrains : nous n'avons trouvé la trace d'utilisation d'adjuvant ni dans les discours de l'ensemble des opérateurs questionnés à ce sujet, ni dans les usines à neige visitées.** A l'heure actuelle, absolument rien ne nous permet de mettre en doute la non-utilisation d'adjuvant pour la production de neige par les opérateurs des domaines skiables français.

L'AFSSET précise les raisons du moratoire sur ce produit, auxquelles il faut ajouter le coût élevé de ce produit qui n'a pas favorisé son développement (900 euros pour 3 kg) :

« Son utilisation est suspendue depuis 2005 à l'initiative du Syndicat national des téléphériques de France (SNTF) à la suite d'une remise en cause de l'utilisation de ce produit par des associations de défense de l'environnement, d'interrogations de certaines DDASS, DIREN et de certains Préfets quant à ses conséquences éventuelles pour la santé de l'homme et pour l'environnement. La commercialisation du Snomax® n'est cependant pas interdite en France, et d'autres pays européens et frontaliers avec la France l'utilisent régulièrement » (AFSSET, 2008, p. 18).

Ce fait est d'ailleurs actuellement l'un des éléments d'argumentaire de la campagne d'information portée par le Syndicat National des Téléphériques de France (2008) : *« la neige de culture, c'est de l'eau, de l'air, et c'est tout ! »*. En termes d'image du produit ski vis-à-vis de la clientèle, la pratique était difficile à tenir explique le Directeur du Syndicat¹⁹. Malgré cela, la question des adjuvants est toujours au centre des débats sur la production de neige ; elle est d'ailleurs très souvent la première posée lorsque nous présentons nos recherches...

Dans tous les cas, l'utilisation de ces produits n'est pas interdite en France au plan national même si, au contraire, des réglementations territoriales l'interdisent. La Direction Régionale de l'Environnement Rhône-Alpes note ainsi un **potentiel de développement** de ces produits qu'il convient de surveiller :

« En revanche, il existe sans doute, une marge de développement des produits, des équipements et des plages d'utilisation importante de ces adjuvants au sens large, qui appelle à la vigilance. Le principe de précaution qui prévoit que c'est bien au fabricant de prouver l'innocuité de son produit, devrait pouvoir s'appliquer » (De Guillebon, 2008)

¹⁹

A l'occasion du séminaire « Neige de culture » organisé au laboratoire EDYTEM le 08/04/2010.

Quoi qu'il en soit, nous pensons qu'interdire cette pratique par une législation nationale serait une bonne chose. Elle permettrait non seulement de s'affranchir de tout risque potentiel mais également de faire taire les débats sur ce point ; l'espace libéré permettrait certainement de se concentrer davantage sur d'autres problèmes, plus cruciaux.

2.6.2. La question des « pertes » d'eau associées à la production de neige

Sous le titre « *La production de neige artificielle détériorerait l'eau des Alpes* », le Journal de l'environnement expliquait en 2007, rapportant des propos tenus sur la question lors du rendez-vous annuel de l'European Geosciences Union (EGU) à Vienne :

« en gardant l'eau dans des réservoirs au lieu de la laisser rejoindre les eaux souterraines, et en produisant de la neige dans des canons, un tiers de la masse aqueuse s'évapore, formant des nuages qui voyagent au-delà des Alpes » (Avignon, 2007).

Cette question est effectivement importante et n'est *a priori* pas à négliger : en supposant qu'une partie importante de l'eau disparaisse du bassin versant dans lequel elle a été prélevée, c'est l'ensemble des territoires aval qui en pâtirait, si celle-ci était suffisamment importante pour déséquilibrer de façon notable les écoulements initiaux. En des termes maximalistes, l'idée est que les pertes amont priveraient d'eau l'aval... Si ces pertes paraissent de prime abord et de façon qualitative mineures au regard des volumes d'eau globaux en jeu, peut-on les quantifier et les comparer aux bilans hydrologiques en montagne (photo 3.23) ?



Photo 3.23 : Evaporation et sublimation liées à la production de neige ? (cliché : P. Paccard, le 15/12/2009, Saint-Pierre-de-Chartreuse, Isère). *Un coup de vent au moment même de la prise de la photographie donne l'impression que 100 % de la neige produite s'évapore dans l'atmosphère... Ce n'est évidemment pas le cas !*

Dans ce cadre, le discours de la profession des opérateurs de domaines skiables est sans équivoque et nous semble être parfaitement trompeur. Il est parfaitement retranscrit dans une affiche de la campagne d'information du SNTF sur la neige de culture titrant « *Avec la neige de culture, 100 % de la neige retourne à la nature* » (SNTF, 2008). Autrement dit, selon cette approche, la production de neige ne soustrairait en rien de l'eau aux hydrosystèmes, celle-ci retournant dans son intégralité aux milieux aquatiques à la fonte de la neige. Cette idée renvoie à la conception d'un cycle de l'eau perpétuel et planétaire que nous critiquions auparavant (cf. chapitre 2 ; p. 89).

En réalité, ne serait-ce que le temps où la neige repose sur les pistes de ski, c'est autant d'eau qui ne se trouve plus là (écoulement superficiel, lac, retenue...) où celle-ci a été prélevée ; ces volumes doivent bien sûr être appréciés dans leur contexte hydrologique.

Le dossier de presse qui accompagne cette campagne tempère néanmoins de façon explicite cette idée. Par deux fois (p. 1 et 3), il est expliqué que :

« l'eau empruntée est restituée au milieu naturel, principalement sous forme liquide à la fonte des neiges par infiltration des sols (70 à 90%), alternativement sous forme de vapeur d'eau par évaporation (10 à 30%) »
(SNTF, 2008, p. 3)

Est-il possible de vérifier ces chiffres d'évaporation de l'eau dans le panache des enneigeurs et de la sublimation de la neige au sol par une approche scientifique ?

Comme nous l'avons vu auparavant, l'évaporation est une étape à part entière du processus de production de neige. **Il est donc incontestable qu'une partie de l'eau utilisée au moment de la production de neige soit transférée de la fraction continentale du cycle de l'eau, sous une forme liquide, vers la fraction atmosphérique de ce même cycle, sous une forme gazeuse.**

L'écart d'une perte par évaporation de 10 à 30 % du volume d'eau initial, mentionné ci-dessus, est fréquemment évoqué (Mountain Wilderness, 2005, p. 4 ; SNTF, 2006, p. 5 ; De Jong, 2007 ; Paccard, 2007, p. 75 ; MISE Hautes-Pyrénées, 2008, p. 4 ; Compagnie des Alpes, 2008, p. 16 ; DDEA 73 et EDYTEM., 2009, p. 36 ; Badré *et al.*, 2009, p. 42 ; Charnay, 2010, p. 133). A notre connaissance, la plus ancienne mention de ce phénomène se trouve dans le « Guide d'aide à la décision » en matière de neige de culture du SEATM de 1996 : « *ce supplément d'eau consommée par l'évaporation peut varier de 10 % à 30 % selon la température et l'humidité de l'air* » (SEATM, 1996, p. 61). Un constructeur questionné à ce sujet explique quant à lui que seul 2% à 4% d'eau seraient en moyenne évaporés dans le process, compte tenu des hygrométries et températures généralement très basses lors de la production de neige et des faibles débits d'eau des enneigeurs lorsque les températures se rapprochent de 0°C.

Dans tous les cas, il est effectif que plus l'air ambiant sera chaud (ce qui n'est pas favorable à la production de neige...) et sec, plus la part d'eau évaporée sera grande. Au contraire, celle-ci sera d'autant plus petite que l'air sera humide (facteur également défavorable à la production de neige) et froid. La quantité d'eau évaporée dépend donc étroitement des conditions climatiques ambiantes.

Malgré ces fourchettes d'évaporation annoncées, dont celle de 10 à 30 % maintes fois reprise et qui semble l'avoir été de façon routinière au cours du temps, **nous ne connaissons aucune démonstration scientifique quantitative les justifiant**. Ce fut néanmoins l'objectif du programme de recherche SEASALT, auquel nous avons participé, dont les résultats n'ont pas permis de dégager la moindre tendance²⁰.

²⁰ Le projet SEASALT (Signatures of Evaporation of Artificial Snow *in* the Alpine Lower Troposphere) est un programme de recherche porté par des étudiants en 2008. Il s'inscrivait dans le programme de formation de la flotte

Finalement, les explications théoriques les plus claires ont été trouvées dans un dossier de demande d'autorisation d'une installation d'enneigement artificiel :

« La perte entre le volume prélevé et l'eau restituée à la fonte des neiges est estimée de l'ordre de 30 % ; elle est due aux phénomènes suivants :

- évaporation d'une partie de l'eau lors de sa réfrigération dans l'atmosphère,
- sublimation de la neige artificielle lors de la pulvérisation (détente au canon),
- sublimation du manteau neigeux artificiel dû au rayonnement solaire

(CEDRAT développement, 2001, p. 93).

Selon ces hypothèses, le total des pertes en eau serait donc lié à des phénomènes d'évaporation mais également de sublimation de la neige. A ce sujet, dans un document d'analyse sur la « *Neige de culture et [les] ressources en eau dans les Alpes* » et dans un encart dédié au phénomène de sublimation de la neige, F. Berlioz explique :

« En pratique, l'eau libérée par la fonte de la neige semble représenter entre 60 et 80 % de la teneur en eau de la neige. Pour fixer les idées, on peut donc considérer que 70 % de l'eau prélevée pour fabriquer la neige est restituée dans le milieu naturel, et que 30 % est consommée car transformée en vapeur d'eau » (Berlioz, 2004, p. 6).

Quoi qu'il en soit, ces pertes par sublimation semblent estimées ici encore de façon très approximative. M. Badré *et al.*, insistent sur le fait qu'il s'agit de les évaluer (2009, p. 35), au même titre que l'évaporation de l'eau liée à son stockage dans les retenues d'altitude²¹.

A notre sens, cette évaluation ne peut passer que par des laboratoires scientifiques qui ne sont pas partie prenante de la question pour ne pas créer de suspicion. Cela n'a pas été réalisé dans le cadre de notre recherche. Nous pensons tout de même que le véritable enjeu quantitatif de la production de neige se situe au moment du prélèvement dans les cours d'eau de montagne, en particulier en période d'étiage.

européenne pour la recherche aéroportée (EUropean Fleet for Airborne Research, EUFAR). L'objectif était d'appliquer des techniques de mesure aéroportées in-situ pour mesurer les possibles variations des conditions atmosphériques provoquées par une campagne d'enneigement automatique, dont la quantité d'eau évaporée depuis le « panache » des enneigeurs.

Un aéronef Ultra Léger Motorisé (ULM), équipé de capteurs adéquats, a ainsi survolé un domaine skiable autrichien (station d'Hauser-Kaibling, Styrie) aux mois de février et mars 2008 pour essayer d'enregistrer la « signature » de la production de neige dans l'atmosphère (augmentation de la teneur en vapeur d'eau ?). Les données enregistrées au cours de cette expérience n'ont pas montré de variations des conditions atmosphériques au cours d'une campagne de production (Arabas *et al.*, 2008).

²¹ Nous attirons également l'attention sur le fait que, sur une installation d'enneigement, existent des « fuites permanentes ». Celles-ci sont intentionnelles et destinées à empêcher l'eau de geler dans les conduites d'amenée (purge des tuyaux). Elles peuvent représenter, selon les cas, des volumes d'eau absolument considérables. Il nous semble que cet élément des installations pourrait être amélioré (comment ?) pour ne pas soustraire davantage d'eau au milieu en période hivernale.

3. LE CADRE JURIDIQUE DE LA PRODUCTION DE NEIGE EN FRANCE

Il n'y a pas de réglementation propre aux installations d'enneigement artificiel : le droit commun s'applique. Dans ce cadre, l'ensemble des dispositions relatives à la police des eaux, à la police des Installations Classées (IC) et au code de l'urbanisme est à respecter.

Cette réglementation est maintes fois reprise et détaillée dans divers documents traitant de la production de neige, en particulier dans des documents techniques établis pour ou par les exploitants de domaines skiables (on peut citer par exemple : SEATM, 1995, p. 15 ; SEATM, 1996, p. 74 ; SNTF, 2002, p. 127 ; SNTF, 2002, p. 30 ; SNTF, 2006, p. 27 ; SNTF, 2006, p. 7 ; SNTF 74 et DDE 74, 2008, p. 17 ; Badré *et al.*, 2009, p. 74 ; SNTF, 2009, p. 10 ; Peyras et Mériaux, 2009, p. 14 ; DDEA 73 et EDYTEM., 2009, p. 5...).

Après avoir rappelé brièvement les principes de cette réglementation sur la base des travaux ci-dessus cités, l'intérêt de ce développement sur le cadre juridique de la production de neige réside surtout dans la lecture des préconisations territoriales des SAGE et SDAGE. Il s'agit également de montrer que la production de neige est bien encadrée par la réglementation mais que celle-ci présente quelques limites, qui justifieraient, pourquoi pas, quelques ajustements.

3.1. La réglementation nationale relative aux prélèvements en eau

Les **prélèvements en eau** pour la production de neige sont réglementés par le Code de l'Environnement. Celui-ci a été récemment modifié par la **loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA)**. L'article L210-1 du Code de l'environnement (*op. cit.*) précise depuis cette date que « *L'eau fait partie du patrimoine commun de la nation. Sa protection, sa mise en valeur et le développement de la ressource utilisable, dans le respect des équilibres naturels, sont d'intérêt général* ». La loi **sur l'eau et les milieux aquatiques a également introduit la problématique climatique dans les modes d'appréhension de l'eau puisqu'elle précise que** « *cette gestion prend en compte les adaptations nécessaires au changement climatique* » (article L211-1 I du Code l'environnement).

3.1.1. La procédure IOTA

La nomenclature « eau », instaurée par la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 (modifiée par la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de décembre 2006 ; articles L214-1 à L214-6 du Code de l'environnement), détermine les installations, ouvrages, travaux et aménagements (IOTA) soumis aux procédures de déclaration ou d'autorisation (tableau 3.5). L'instruction de l'ensemble des dossiers de demande d'autorisation ou de déclaration relève de la **Direction des Territoires** du Département concerné (DDT, suite à la fusion des DDE et DDAF).

Au cours de cette procédure d'instruction (figure 3.25 et 3.26, *infra*, p. 168), le pétitionnaire doit remettre au service instructeur **un document d'incidence du projet sur l'environnement**. Ce document d'incidence doit présenter (article R214-6 et R214-32 du Code de l'environnement) :

- les incidences directes et indirectes, temporaires et permanentes, du projet sur la ressource en eau, le milieu aquatique, l'écoulement, le niveau et la qualité des eaux, y compris de ruissellement, en fonction des procédés mis en œuvre, des modalités d'exécution des travaux ou de l'activité, du fonctionnement des ouvrages ou installations, de la nature, de l'origine et du volume des eaux utilisées ou affectées et compte tenu des variations saisonnières et climatiques ;

Usages indicatifs	Rubrique - nomenclature des Installations, Ouvrages, Travaux et Activités (IOTA)	N° de rubrique	Seuil de déclaration	Seuil d'autorisation
Captages d'eau souterraine	Réalisation de sondage, forage, puits ou ouvrage souterrain non domestiques dans les eaux souterraines (y compris nappes d'accompagnement de cours d'eau).	1.1.1.0.	Déclaration systématique	
	Prélèvement temporaire ou permanent dans un forage, un puits ou un ouvrage souterrain (à l'exclusion des nappes d'accompagnement de cours d'eau).	1.1.2.0.	Prélèvement > 10 000 m ³ /an	Prélèvement > 200 000 m ³ /an
Captages d'eau superficielle	Prélèvement et ouvrage permettant le prélèvement dans un cours d'eau ou dans sa nappe d'accompagnement.	1.2.1.0.	Capacité max. des installations > 400 m ³ /h ou Capacité max. des installations > 2% du débit QMNA5 du cours d'eau	Capacité max. des installations > 1000 m ³ /h ou Capacité max. des installations > 5% du débit QMNA5 du cours d'eau
Travaux de terrassement	Ouvrage, remblais et épis dans le lit mineur d'un cours d'eau, constituant : 1) Un obstacle à l'écoulement des crues.	3.1.1.0.		1) Autorisation systématique
	2) Un obstacle à la continuité écologique entraînant une différence de niveau de la ligne d'eau (en débit annuel moyen).		2) Différence de niveau de la ligne d'eau entre l'amont et l'aval > 20 cm	2) Différence de niveau de la ligne d'eau entre l'amont et l'aval > 50 cm
	Dérivation ou détournement d'un cours d'eau. Installations, ouvrages, travaux ou activité modifiant le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau, hors travaux de protection des berges.	3.1.2.0.	Longueur de cours d'eau modifiée < 100 m	Longueur de cours d'eau modifiée > 100 m
Création plan d'eau	Création d'un plan d'eau.	3.2.3.0.	Superficie du plan d'eau > 0.1 ha	Superficie du plan d'eau > 3 ha
	Barrage de retenue.	3.2.5.0.	Ouvrages classé D	Ouvrages classés A, B ou C
Vidange	Vidange d'un plan d'eau issu de barrages de retenue.	3.2.4.0.	Superficie du plan d'eau > 0.1 ha Une seule déclaration pour les vidanges périodiques	Hauteur du barrage > 10 m ou Volume retenu > 5 000 000 m ³
Travaux en zone humide	Assèchement, mise en eau, imperméabilisation ou remblais de zones humides ou de marais.	3.3.1.0.	Surface affectée > 0.1 ha	Surface affectée > 1 ha
	Réalisation de réseaux de drainage (en zone humide, ne concerne pas les renvois d'eau sur piste).	3.3.3.0.	Drainage d'une surface > 20 ha	Drainage d'une surface > 100 ha

Tableau 3.5 : Liste des opérations se rapportant à l'eau et soumises à la réglementation IOTA (d'après Orthlieb, 2006, p. 2, modifié, cité in SNTF, 2006, p. 30). *Chaque rubrique de l'article R214-1 du Code de l'environnement correspond à une opération pouvant être soumise à déclaration ou à autorisation préfectorale. L'article précise les seuils au-delà desquels chaque opération doit être déclarer puis autoriser.*

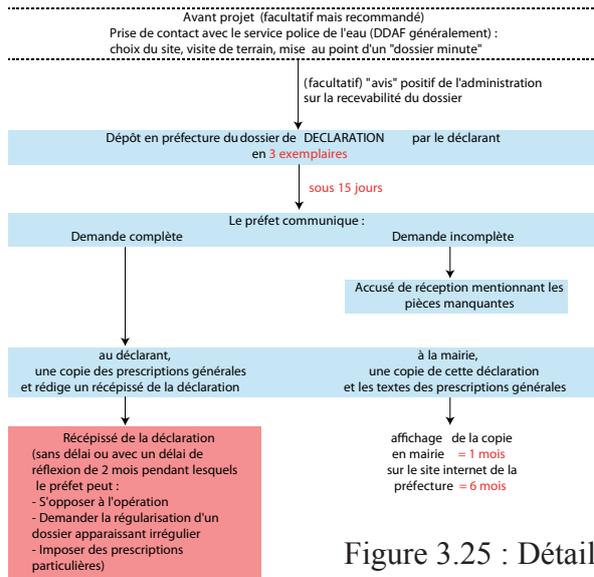
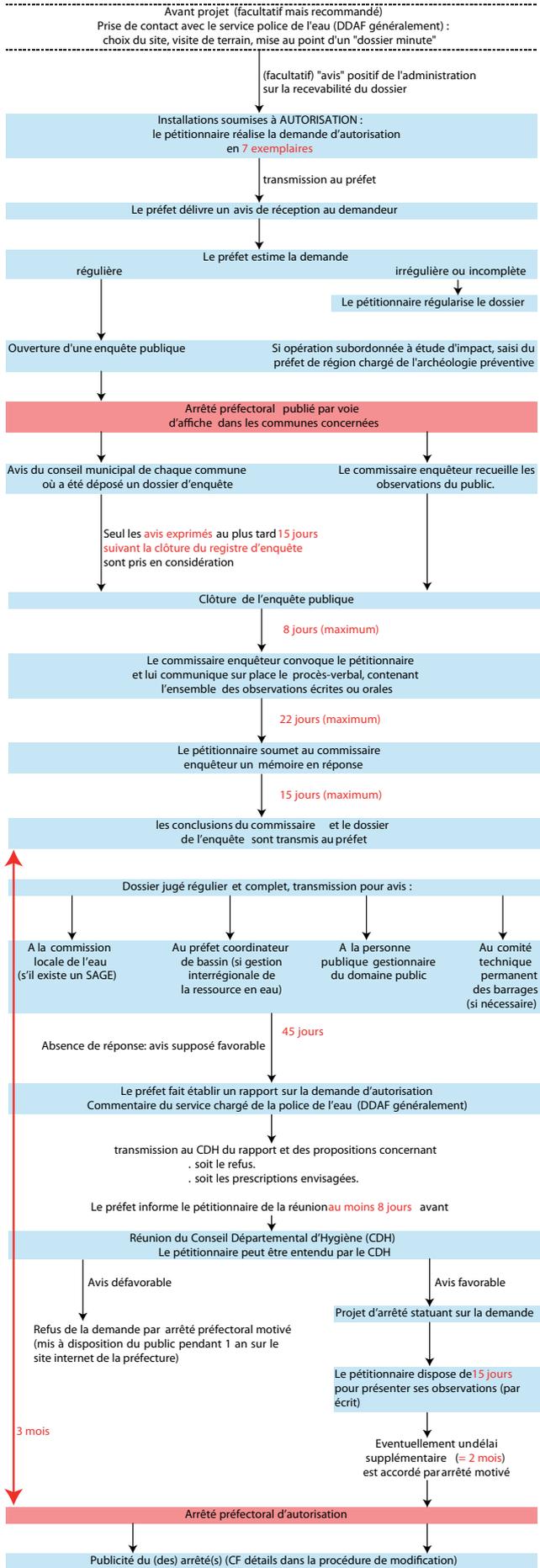


Figure 3.25 : Détail de la procédure de déclaration au titre de la loi sur l'eau (d'après Orthlieb, 2006, p. 9, modifié, cité in SNTEF, 2006, p. 37).

Figure 3.26 : Détail de la procédure d'autorisation au titre de la loi sur l'eau (d'après Orthlieb, 2006, p. 6, modifié, cité in SNTEF, 2006, p. 34).

- les incidences du projet sur les sites Natura 2000 existants, au regard des objectifs de conservation de ces sites ;
- le cas échéant, la compatibilité du projet avec le schéma directeur ou le schéma d'aménagement et de gestion des eaux ;
- les mesures correctives ou compensatoires envisagées ;
- les moyens de surveillance prévus et, si l'opération présente un danger, les moyens d'intervention en cas d'incident ou d'accident ;
- si le projet prévoit un barrage d'altitude (retenue d'altitude), les consignes de surveillance de l'ouvrage en toutes circonstances et les consignes d'exploitation en période de crue ; une note décrivant les mesures de sécurité pendant la première mise en eau ; une étude de dangers si l'ouvrage est de classe A ou B [les différentes classes d'ouvrages, A, B, C et D, sont décrites un peu plus loin].

3.1.2. Le débit réservé

En complément de cette réglementation IOTA, **le maintien d'un débit minimal dans les cours d'eau sollicités doit être garanti** de façon à préserver la vie aquatique dans le cours d'eau à l'aval de l'ouvrage (article L214-18 du Code de l'environnement). Ce débit minimal à respecter (débit réservé) ne doit pas être :

- inférieur au 1/10 du module interannuel du cours d'eau pour les cours d'eau dont le module est inférieur à 80 m³/s ;
- inférieur au 1/20 du module interannuel du cours d'eau pour les cours d'eau dont le module est supérieur à 80 m³/s.

Il faut noter que, si le débit entrant instantané est inférieur au débit minimal, les prélèvements ne sont pas autorisés (cas pouvant se produire lors des étiages hivernaux en montagne). En outre, si plusieurs ouvrages de captage venaient à se succéder sur un cours d'eau, les débits réservés des ouvrages en projet devraient tenir compte des prélèvements réalisés en amont.

Il faut noter que, pendant longtemps, les captages de sources AEP (dont les trop-pleins sont possiblement utilisés pour la production de neige) ne se sont pas souciés de cette question du débit réservé, prélevant l'intégralité du débit disponible. **Cela pose évidemment un problème pour les écoulements de ruisseaux et torrents qui dépendent de ces sources.** Aujourd'hui, les débits réservés commencent à être pris en compte dans les modes d'exploitation de ces sources.

3.1.3. Le registre des prélèvements

Les bénéficiaires d'une autorisation de prélèvement sont également tenus de **consigner sur un registre les valeurs des volumes prélevés** mensuellement et annuellement (arrêté du 11 septembre 2003 fixant les prescriptions générales applicables aux prélèvements soumis à autorisation).

3.1.4. La déclaration à l'Agence de l'Eau.

Les Agences de l'Eau perçoivent sur leur circonscription des redevances sur les prélèvements en eau. Avant le 1^{er} janvier 2008, date d'entrée en vigueur de la dernière loi sur l'eau, la redevance sur les prélèvements était constituée des termes « captage » et « consommation » (Paccard, 2007, p. 74) : le terme **captage** représentait le volume d'eau annuel capté dans les eaux superficielles et

souterraines, tandis que le terme **consommation** était déterminé forfaitairement en faisant le produit du volume d'eau annuel capté par des coefficients de consommation définis pour chaque usage de l'eau. Dans les faits, les volumes consommés correspondaient à la part des volumes prélevés qui n'était pas restituée au cycle de l'eau continentale (eau superficielle ou eau souterraine) (IFEN, 2004, p. 1). Ces volumes consommés étaient donc calculés à l'aide de coefficients, variables selon les usages.

Le coefficient de consommation d'eau de l'usage « fabrication de neige artificielle » était de 0,50 sur le bassin Rhône-Méditerranée et Corse (contre, par exemple, 0,70 pour l'irrigation par aspersion et 0,90 pour l'irrigation par goutte à goutte) (JO du 31 décembre 2006). Il signifiait que 50% du volume d'eau prélevé pour fabriquer de la neige ne serait pas restitué au cycle de l'eau continentale mais perdu, par exemple par évaporation²².

Depuis le 1^{er} janvier 2008, le terme « consommation » n'existe plus²³. La redevance sur les prélèvements n'est établie que sur l'assiette des volumes captés²⁴. Ces volumes peuvent être mesurés ou estimés, en fonction des caractéristiques des installations de pompage ou sur la base du ratio de 4 000 m³ d'eau par an et par hectare de piste enneigée (Arrêté du 9 novembre 2007 relatif aux modalités de calcul de l'assiette de la redevance pour prélèvement sur la ressource en eau).

Sur la base de ces volumes, tout prélèvement en eau supérieur à 10 000 m³/an (seuil de perception abaissé à 7 000 m³/an en zones de répartition des eaux : zones où est constatée une insuffisance, autre qu'exceptionnelle des ressources par rapport aux besoins) doit être **déclaré à l'Agence de l'Eau** du bassin concerné pour donner lieu au paiement de la redevance au titre de la loi sur l'eau (article L213-11 du Code de l'environnement).

3.2. Les préconisations territoriales des SAGE et SDAGE relatives aux prélèvements en eau pour la production de neige

Les prélèvements doivent respecter les dispositions prises dans le cadre des **Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)**, signés entre les Agences de Bassin et les collectivités territoriales, et des **Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE)**, arrêtés par les préfets de bassin.

3.2.1. Les préconisations des SDAGE Rhône-Méditerranée et Adour-Garonne

Deux dispositions du SDAGE du bassin Rhône Méditerranée traitent de la problématique de l'enneigement. Il s'agit tout d'abord de la disposition 2-05 (*op. cit.*) qui stipule :

²² Ce qui était bien plus que les 10 à 30% de pertes communément admis pour cet usage (cf. p. 163, « La question des « pertes » d'eau associées à la production de neige »)

²³ Badré *et al.* (2009) considèrent cet élément de loi comme un recul par rapport aux avancées législatives antérieures (p. 28).

²⁴ La campagne d'information sur la neige de culture du SNTF utilise cet élément pour expliquer : « *Les Agences de l'Eau distinguent le prélèvement d'eau, de la consommation d'eau. Dans le cas de la neige de culture, il s'agit d'un prélèvement temporaire et non d'une consommation* » (SNTF, 2008, p. 3). En réalité, il n'y a plus de distinction entre prélèvement et consommation depuis le 1^{er} janvier 2008 pour le calcul de la redevance.

« Pour ne pas compromettre l'atteinte des objectifs environnementaux du SDAGE, les services de l'Etat veillent à ce que tous les projets susceptibles d'impacter les milieux aquatiques tiennent compte des évolutions qualitatives et quantitatives constatées ou prévisibles des milieux aquatiques à l'échelle des bassins versants en lien [... notamment] avec les effets du changement climatique, en particulier sur la disponibilité de la ressource. Ces éléments sont en particulier à prendre en compte : **dans les projets liés à des usages nouveaux ou à fort développement (exemples : production de neige artificielle, retenues collinaires...)** ; [...] » (Comité de Bassin Rhône Méditerranée, 2009, p. 59).

De la même façon, dans son orientation fondamentale n°7 – Atteindre l'équilibre quantitatif en améliorant le partage de la ressource en eau et en anticipant l'avenir – le SDAGE précise, dans sa disposition 7-09, la volonté de « *Promouvoir une véritable adéquation entre l'aménagement du territoire et la gestion des ressources en eau* » (*idem*, p. 205). En matière de production de neige, cette disposition est explicitée par la formulation suivante :

« Plus spécifiquement, **les dossiers relatifs aux projets d'installation ou d'extension d'équipements pour l'enneigement artificiel** ou relatifs aux modifications ou création d'unités touristiques s'appuient sur :

- une analyse de leur opportunité au regard notamment de l'évolution climatique et de la pérennité de l'enneigement en moyenne altitude ;
- un bilan des ressources sollicitées et volumes d'eau utilisés, notamment au regard des volumes sollicités sur les mêmes périodes pour la satisfaction des usages d'alimentation en eau potable des populations accueillies en haute saison touristique ;
- une simulation du fonctionnement en période de pénurie hivernale avec établissement d'un zonage de priorité d'enneigement du domaine skiable.

Les maîtres d'ouvrage dimensionnent le projet et analysent ses impacts sur l'eau et les milieux aquatiques dans le respect de l'objectif de non dégradation des masses d'eau et des milieux naturels concernés, avec :

- le maintien d'un débit minimum hivernal n'aggravant pas l'état des rivières (quantité et qualité) ;
- la préservation des zones humides » (*ibid.*)

Comme vu précédemment, d'autres grands bassins hydrographiques sont sollicités pour la production de neige. Après le bassin Rhône Méditerranée, le bassin Adour-Garonne est le deuxième concerné. Son Comité de Bassin s'est saisi de la question en établissant une disposition spécifique à la production de neige (disposition F14) dans son orientation fondamentale F « *Privilégier une approche territoriale et placer l'eau au cœur de l'aménagement du territoire* » (Comité de Bassin Adour-Garonne, 2009, p. 134). Cette disposition est d'ailleurs, à quelques mots près, la même que celle établie par le SDAGE du Bassin Rhône Méditerranée :

« **Mettre en place une gestion raisonnée du développement de la neige de culture**

Il est recommandé que le Comité de Bassin établisse d'ici la fin 2011 un bilan des impacts majeurs liés à l'utilisation des canons à neige sur les massifs en termes de prélèvements ou de pollution.

Par ailleurs, il est recommandé que l'autorité administrative veille dans l'instruction des demandes d'autorisation ou de déclaration pour les décisions administratives dans le domaine de l'eau à ce que les opérations demandées intègrent autant que possible :

- une analyse de son opportunité au regard notamment de l'évolution climatique et de la pérennité de l'enneigement en moyenne altitude ;
- un bilan des ressources sollicitées et volumes d'eau utilisés ;
- une simulation du fonctionnement en période de pénurie hivernale avec établissement d'un zonage de priorité d'enneigement.

L'autorité administrative analyse les impacts du projet sur l'eau et les milieux aquatiques dans le respect de l'objectif de non-dégradation des masses d'eau et des milieux naturels concernés avec :

- préservation des zones humides ;
- maintien d'un débit minimum hivernal n'aggravant pas l'état des rivières (quantité, qualité) et tenant compte des surcroûts de pollution en période touristique.

Les partenaires financiers et les services de l'État examinent les éléments ci-dessus pour se prononcer sur le projet » (*idem*, p. 140)

Les SDAGE des bassins Loire-Bretagne et Rhin-Meuse, bien moins concernés par les prélèvements en eau pour la production de neige, n'ont pour leur part pas de dispositions spécifiques à la neige de production.

3.2.2. Les préconisations des SAGE Drac-Amont et Drac-Romanche

Pour ce qui est des préconisations prises dans le cadre des SAGE, nous ne prendrons ici pour exemple que les documents établis par la Communauté Locale de l'Eau du Drac Amont en juillet 2005 (le bassin du Drac Amont se situe principalement dans le Département des Hautes-Alpes ; **la station d'Orcières-Merlette est incluse dans son périmètre**) et par la Commission Locale de l'Eau du Drac et de la Romanche en mars 2007 (le bassin du Drac et de la Romanche se situe principalement dans le Département de l'Isère). A notre connaissance, dans les Alpes, il semble qu'ils soient les deux seuls SAGE concernés par l'enneigement artificiel et qui se soient intéressés à la question.

Trois mesures prises par la CLE du SAGE Drac Amont concernent la production de neige (CLE Drac Amont, 2005) : un objectif d'Etude pour l'amélioration de la connaissance (mesure E) et deux Orientations de Gestion (mesure OG ; programme comprenant plusieurs phases, études, actions à programmer). Celles-ci sont reproduites ci-dessous :

- « E - I.1.1 - Réactualiser la connaissance des prélèvements (superficiels et souterrains) qu'il s'agisse d'usages agricoles, individuels (arrosages de jardins) ou collectifs (**enneigement artificiel, AEP...**). Cette analyse précisera les consommations actuelles, les besoins futurs... » (idem, p. 27) ;

- « OG - IV.8.1 - Privilégier les schémas directeurs d'alimentation en eau potable comme un des outils privilégiés de gestion de la ressource en eau. [...] Le SAGE recommande de n'utiliser l'eau potable que pour des usages internes domestiques. Il encourage les collectivités à développer des réseaux d'eaux brutes pour tous les usages externes comme les arrosages des espaces verts, lavage des voitures, **enneigement artificiel...** » (ibid., p. 64) ;

- « OG - I.3.4 - Eviter sur les zones humides identifiées par les différents inventaires (départemental, PNE, SAGE..), toute opération de remblaiement ou de drainage. [...] Il est également recommandé d'effectuer un suivi de la tourbière de Libouze (commune de St Léger) utilisée à l'heure actuelle pour l'enneigement artificiel... » (ibid., p. 73).

L'amélioration des connaissances concernant les prélèvements réalisés, la conciliation des usages d'eau potable et de production de neige, et la protection des zones humides sont ainsi les trois enjeux identifiés en matière d'enneigement artificiel par la CLE du Drac Amont. De façon beaucoup plus complète, la CLE du SAGE Drac Romanche s'est également penchée sur la question de la production de neige. Elle a fait de cette question une priorité en définissant à ce propos un objectif à part entière dans son ambition 2, « améliorer le partage de l'eau » :

« Objectif II. Avoir une vision à court et long terme sur l'évolution des prélèvements liés à la neige de culture (et, dans une moindre mesure, à l'agriculture) - Définir les conditions de production de neige de culture respectueuses des milieux et de la sécurité des personnes » (CLE Drac-Romanche, 2007, p. 13).

Cet objectif se traduit par 5 principes généraux et 9 mesures très précises, visant à encadrer les prélèvements destinés à la production de neige. Pour répondre à certaines de ces mesures, en particulier le besoin d'améliorer les connaissances quant aux prélèvements réalisés et à leurs impacts sur l'eau et les milieux aquatiques, la CLE du SAGE du Drac et de la Romanche est actuellement maître d'œuvre d'une opération pilote dont l'objet est d'établir, station par station

comprise dans le périmètre de l'étude, **un schéma de conciliation de la neige de culture avec les milieux et les autres usages de l'eau**. Nous y reviendrons ultérieurement lorsqu'il s'agira de proposer des pistes de réflexion pour améliorer la prise en compte de l'enneigement artificiel dans les modes de gestion de l'eau : le SAGE du Drac et de la Romanche (en particulier les schémas de conciliation actuellement développés) sera alors pris comme exemple de bonne pratique.

3.3. La réglementation relative aux installations de compression d'air et aux autres éléments d'une Installation d'Enneigement Artificiel (IEA)

3.3.1. Les installations de compression : installations classées pour la protection de la nature et de l'environnement

Les installations de compression d'air, possiblement associées, selon la technologie retenue, à un réseau de production de neige, sont soumises à déclaration ou autorisation préfectorale au titre de la loi sur les installations classées pour la protection de la nature et de l'environnement (ICPE ; décret n°2007-1467 du 12 octobre 2007 relatif à la nomenclature des installations classées) : déclaration pour les compresseurs d'une puissance inférieure à 500 kW et autorisation au-delà. Il faut noter que la procédure d'autorisation dans le cadre des ICPE exige une étude d'impact sur l'environnement, bien plus contraignante que le dossier d'incidence requis au titre de la loi sur l'eau.

Les tours de refroidissement des installations de compression ou de l'eau utilisée pour la production de neige (de moins en moins utilisées) sont également soumises à la législation relative aux installations classées.

L'administration chargée de l'instruction de l'ensemble de ces dossiers ICPE est la **Direction régionale de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement** (DRIRE ou, en fonction des régions, la DREAL si la fusion des DRIRE, DRE et DIREN est effective).

3.3.2. Les bâtiments et terrassement du sol : soumis au code de l'urbanisme

Les bâtiments abritant les équipements de neige de production (généralement l'ensemble des installations de compression) sont soumis aux règles du code de l'urbanisme (décret n°2007-18 du 5 janvier 2007 relatif au permis de construire et aux autorisations d'urbanisme). Il s'agit notamment de la procédure de permis de construire : simple déclaration préalable en mairie pour une Surface Hors Œuvre Nette (SHON) inférieure à 20 m², demande de permis de construire au-delà. Bien entendu, le pétitionnaire doit s'assurer de la maîtrise foncière pour la construction de ces bâtiments.

En fonction des travaux engagés, **les affouillements et exhaussements** du sol peuvent être également soumis à autorisation conformément au code de l'urbanisme :

- aucune déclaration si : surface de l'exhaussement (ou affouillement) < 100 m² ou hauteur de l'exhaussement (ou affouillement) < 2 m ;
- déclaration préalable si : surface de l'exhaussement (ou affouillement) > 100 m² et hauteur de l'exhaussement (ou affouillement) > 2 m ;
- permis d'aménager si : surface de l'exhaussement (ou affouillement) > 2 ha et hauteur de l'exhaussement (ou affouillement) > 2 m.

3.4. La prise en compte des risques liés aux retenues d'altitude

Si les retenues d'altitude se sont multipliées depuis les années 1990 pour alimenter en eau les réseaux de production de neige, la prise en compte des risques spécifiques à leur réalisation et exploitation n'est que récente. « *Songeons que les décrets et arrêtés spécifiques à ces retenues d'altitude, dont le nombre n'a cessé de croître depuis le début des années quatre-vingt-dix, datent de 2006, 2007 et 2008...* » relève à ce sujet J. Giraud en préface de l'ouvrage « Retenue d'altitude » de L. Peyras et P. Mériaux (2009). Nous développons ci-dessous l'évolution de la prise en compte de ces risques par la réglementation.

3.4.1. Les risques liés aux retenues d'altitude : un exemple de glissement de terrain

Il faut noter qu'à ce jour, et à notre connaissance, un seul ouvrage de retenue a connu de réels problèmes de stabilité, heureusement sans conséquence pour les populations et les biens aval : la retenue de Beaudin sur le domaine skiable de Valmorel (Savoie ; figure 3.27). Initialement d'un volume de 26 000 m³, des travaux d'agrandissement prévoyaient en septembre 2004 de faire passer la capacité de celle-ci à 50 000 m³. Un glissement de terrain, lié à une instabilité de versant, est survenu pendant ces travaux alors que l'ouvrage était vide ; la retenue a dû être abandonnée.



Figure 3.27 : Le glissement de la retenue de Baudin (Valmorel, Savoie) (1 et 2) et la réhabilitation du site (3, 4 et 5) (clichés : DDAF 73 [1, 2, 4 et 5] ; P. Paccard [3])

D'importants terrassements ont alors été entrepris pour remettre en état le site. Jusqu'à présent, ces travaux de remise en état du site sont à notre connaissance le seul exemple d'ouvrage

« rebouché » et dont le site fut réhabilité (végétalisation, etc.). Il faut noter que les sols ont été ici profondément remaniés et ne retrouveront pas leur configuration originelle.

3.4.2. Un tournant dans l'instruction des dossiers loi sur l'eau : la retenue de la Lovatière

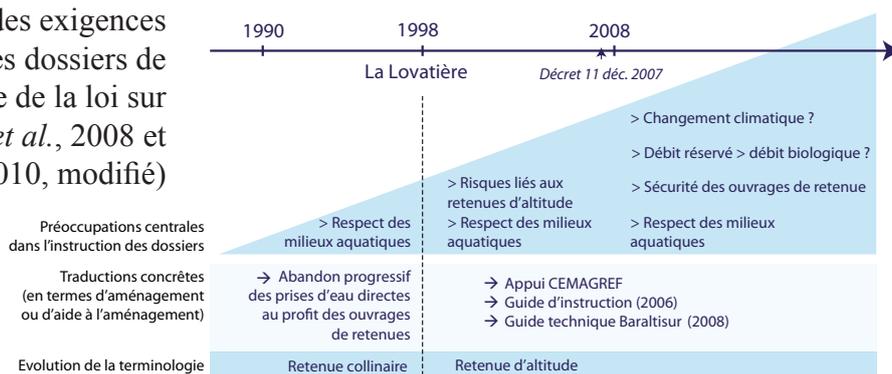
En 1998, c'est vraisemblablement le projet de retenue d'altitude de la Lovatière sur le domaine skiable de la Plagne (Savoie ; photo 3.24) qui a permis de prendre conscience des enjeux relatifs à la réalisation de tels ouvrages de stockage en altitude. D'un volume modeste (21 000 m³ à 2100 m d'altitude), sa conception est néanmoins particulière. Elle est située dans une zone exposée aux avalanches et en amont d'hébergements touristiques d'une grande capacité d'accueil (station de La Plagne). Deux tourtes paravalanches permettent de la protéger des avalanches qui auraient pu entraîner son débordement et la submersion des territoires aval. Lorsque le projet est déposé devant l'administration, les services instructeurs se retournent vers le CEMAGREF pour un appui technique sur ce dossier, compte tenu des enjeux importants de sécurité publique en question. La retenue sera finalement réalisée en 2002 avec toutes les précautions requises.



Photo 3.24 : La retenue de la Lovatière sur le domaine skiable de La Plagne, en Savoie (cliché : DDAF 73, le 26 août 2004)

Le dépôt de ce dossier marque un tournant important dans l'évolution des exigences de l'administration pour l'instruction des dossiers de retenue au titre de la loi sur l'eau (figure 3.28). Alors que les préoccupations centrales des services instructeurs étaient principalement le respect des milieux aquatiques, avec pour effet une certaine incitation à la réalisation d'ouvrages de retenue (effet tampon) en lieu et place des prises d'eau directes dans les cours d'eau, la question du risque devient centrale dans l'instruction des dossiers (Evette *et al.*, 2008 ; Lenfant, 2010). A partir de cette date, il ne s'agira donc plus de « retenues collinaires » mais bien de « retenues d'altitude » (Cazenave, 2006, p. 5), terminologie plus appropriée pour des ouvrages bien souvent

Figure 3.28 : Evolution des exigences dans l'instruction des dossiers de retenues d'altitude au titre de la loi sur l'eau (d'après Evette *et al.*, 2008 et Lenfant, 2010, modifié)



situés au dessus de 2000 m d'altitude et soumis à toutes les contraintes physiques de la montagne : avalanche, torrentialité, glissement de versant, écoulement, chute de blocs, etc. (Peyras et Mériaux, 2009, p. VIII).

3.4.3. Le projet BARALTISUR et l'adaptation de la réglementation

Cet élément de contexte important que représente La Lovatière figure parmi les raisons qui ont motivé le projet BARALTISUR. Celui-ci visait « à produire un guide pour la conception, la réalisation, le suivi et la réhabilitation des retenues d'altitude. Ce projet de recherche et développement mobilis[ait] une équipe pluridisciplinaire composée de chercheurs du Cemagref et d'ingénieurs de bureaux d'études. Il [était] financé par le Conseil Régional PACA, la Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires (DIACT) et par le Ministère chargé de l'écologie dans le cadre du programme Risque Décision Territoire » (Peyras et al., 2008, p. 23).

Ce projet se concrétisera par deux publications importantes (*idem*, p. 24) :

- Un « Guide pour l'instruction des dossiers d'autorisation ou de déclaration des barrages d'altitude » (Peyras, 2006) destiné à faciliter l'instruction des dossiers d'autorisation et de déclaration des projets de barrages d'altitude et à contribuer à l'amélioration des études techniques de ces ouvrages.
- Un guide technique de recommandations pour la conception, la réalisation, l'entretien et la réhabilitation des barrages d'altitude intitulé « Retenue d'altitude » (Peyras et Mériaux, 2009). Ce guide s'appuie sur un retour d'expériences richement documenté, sur la bibliographie existante, et couvre un public allant des maîtres d'ouvrages aux bureaux d'études. Il est véritablement le document de référence pour ce qui est de l'ingénierie de ces ouvrages.

En parallèle et de façon complémentaire à ces recherches, le législateur s'est également saisi de la question puisque la réglementation relative à la sécurité des retenues a récemment été modifiée pour gagner en efficacité : « le décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques remplace la notion de "classement comme intéressant la sécurité publique" introduite dans la circulaire interministérielle du 14 août 1970 par des classes d'importance décroissante A, B, C et D de barrages de retenue en fonction de critères géométriques » (Peyras et Mériaux, 2009, p. X). En fonction de la classe de l'ouvrage, les règles à respecter, relatives à la sécurité de l'ouvrage, sont alors différentes (tableau 3.6) ; le préfet peut par ailleurs surclasser un ouvrage (par exemple de D en C), s'il estime qu'il y a des enjeux particuliers pour la sécurité des personnes et des biens. A l'heure actuelle, les barrages d'altitude se situent majoritairement en classe C et D, plus rarement en B (SNTF 74 et DDE 74, 2008, p. 18 ; Peyras et Mériaux, 2009, p. X ; Lenfant, 2010).

Classe de l'ouvrage	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Critères géométriques Hauteur H (en mètres) Volume V (en millions de m ³)	H ≥ 20	H ≥ 10 et H ² .V ^{1/2} ≥ 200 Pas en A	H ≥ 5 et H ² .V ^{1/2} ≥ 20 Pas en A ou B	H ≥ 2 Pas en A, B, C
Régime (déclaration / autorisation)	Autorisation			Déclaration
Examen par le Centre Technique Permanent des Barrages (CTPB)	oui	non	non	non
Dossier de l'ouvrage (récolement)	oui	oui	oui	oui
Registre de l'ouvrage	oui	oui	oui	oui
Visite technique approfondie (VTA)	≤ 1 an	≤ 2 ans	≤ 5 ans	≤ 10 ans
Rapport de surveillance	1 an	≤ 5 ans	≤ 5 ans	non
Rapport d'auscultation	2 ans	≤ 5 ans	≤ 5 ans	non
Étude de danger	oui	oui	non	non

Tableau 3.6 : Les classes de barrages de retenue selon le décret du 11 décembre 2007 et leurs règles de sécurité respectives (d'après SNTF 74 et DDE 74, 2008, p. 18, modifié)

3.5. Bilan et limites de la réglementation relative aux installations d'enneigement.

L'ensemble de notre développement sur la réglementation relative aux installations d'enneigement, tant du point de vue de l'eau que des risques, avait pour objectif d'en cerner les principales caractéristiques et, partant de là, les principales limites.

3.5.1. Une réglementation globalement complète

Nous l'avons compris, les installations d'enneigement sont bien encadrées par le dispositif actuel. Celui-ci se révèle être d'ailleurs relativement complexe et difficile à appréhender par le néophyte...

En termes de prélèvements en eau, c'est la notion de débit réservé qu'il faut retenir : 1/10 du module interannuel d'un cours d'eau à préserver. L'ensemble des prélèvements doit par ailleurs être déclaré aux Agences de l'Eau. Pour ce qui est des retenues d'altitude, la procédure d'autorisation ou de déclaration comporte une succession d'étapes, relative à la loi sur l'eau et codifiée dans le Code de l'Environnement. En matière de risques enfin, le législateur s'est récemment saisi plus en détail de la question, prenant conscience de l'enjeu de sécurité publique que représentent les nombreux ouvrages de retenue : ils sont soumis aux aléas de la montagne et souvent implantés au dessus de zones d'habitation.

3.5.2. Quelques améliorations possibles

A notre avis, bien que déjà précise, cette réglementation présente quelques limites qui ne vont pas dans le sens d'une gestion durable et intégrée de l'eau. Nous reprendrons ces points lorsqu'il s'agira d'établir des propositions pour une amélioration de la situation existante mais, d'ores et déjà, nous en retenons trois principaux.

Retenues d'altitude et étude d'impact

Badré *et al.* (2009) relèvent que certaines retenues d'altitude peuvent échapper à l'obligation d'étude d'impact : les réservoirs de stockage d'eau d'une superficie inférieure à 10 ha (pris individuellement et n'étant pas déjà attachés à une autre opération soumise à étude d'impact) ne sont sujet qu'à notice d'impact (p. 67 ; figure 3.29). La notice d'impact est une version beaucoup plus allégée de l'étude d'impact. Compte tenu des implications environnementales de ces ouvrages, qui peuvent d'ailleurs être très importantes quelle que soit la taille de la retenue, il est certain que toutes les études environnementales nécessaires doivent être conduites en amont de leur réalisation. Aussi, même si dans les faits nous n'avons jamais rencontré de cas de retenue réalisée à la suite d'une seule notice d'impact (il semble que les services instructeurs veillent à instruire toutes les demandes comme de réelles études d'impact), nous pensons que ce point de réglementation devrait être corrigé : toutes les retenues nécessitent une étude d'impact sérieuse.

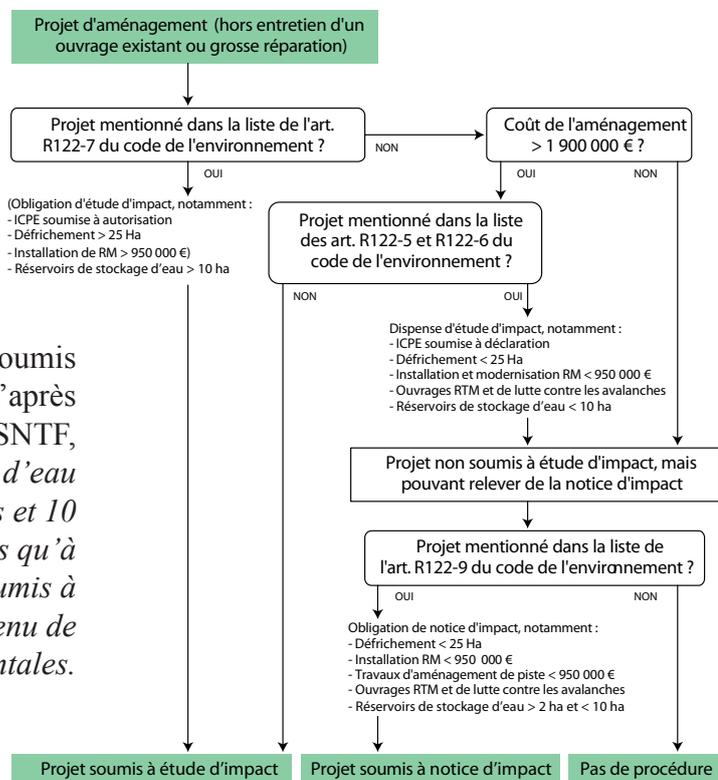


Figure 3.29 : Logigramme des projets soumis à étude d'impact ou à notice d'impact (d'après Orthlieb, 2006, p. 1, modifié, cité in SNTF, 2006, p. 40). *Les réservoirs de stockage d'eau d'une surface comprise entre 2 hectares et 10 hectares ne sont théoriquement soumis qu'à notice d'impact. Ils devraient être soumis à une véritable étude d'impact compte tenu de leurs implications environnementales.*

Un débit minimum biologique modulable ?

La réglementation sur les débits réservés pose également question. Pour ce qui est de la ressource en eau et des milieux naturels, l'enjeu réside effectivement dans la définition des niveaux de prélèvement.

Un débit réservé correspondant au 1/10 du module interannuel d'un petit cours d'eau de montagne ne représente que quelques litres par seconde (variable selon les cas). Dès lors, le peu de débit restant en aval des prises d'eau peut facilement geler en période hivernale. Si cette problématique peut être résolue par la réalisation d'ouvrages de stockage à remplir en période de hautes eaux, elle pourrait également l'être par la systématisation de « débits biologiques » : ceux-ci garantiraient un débit minimum à préserver en période hivernale, supérieur aux débits réservés aujourd'hui en vigueur. Au contraire, en période de hautes eaux, les prélèvements autorisés pourraient être relevés, à la condition de ne pas affecter la vie aquatique. Il s'agirait donc de définir un débit minimum biologique modulable en fonction de la période de l'année et des besoins biologiques du contexte local (altitude, potentialités écologiques ou biologiques) ; toute la difficulté résidant justement dans la définition des minima biologiques.

Dans les faits, certains arrêtés préfectoraux d'autorisation de prélèvements tiennent déjà compte de cela : ils interdisent les prélèvements à l'étiage hivernal. Néanmoins, il nous semble que cette problématique des débits biologiques reste à travailler ; nous n'en avons jamais rencontré de bien définis au cours de notre recherche.

Quel outil pour une « vision d'ensemble » des prélèvements ?

Il nous semble que la réglementation existante ne permet aujourd'hui d'instruire les demandes de prélèvements qu'au cas par cas, sans vision d'ensemble ni dans le temps ni dans l'espace. Cela dépasse d'ailleurs la seule production de neige puisqu'il s'agit de pouvoir porter un regard sur l'ensemble d'un bassin versant, quel que soit l'usage.

En réalité, pour revenir aux installations d'enneigement, le droit de l'environnement français fait bien référence à la notion de programme général de travaux (article R.122-8 du Code de l'environnement) devant permettre à l'ensemble des parties de pouvoir apprécier les incidences globales d'un projet, potentiellement fractionné dans le temps et dans l'espace. Dans les faits, il semble que cette notion de programme de travaux soit insuffisamment appliquée.

Les SAGE et leur Commission Locale de l'Eau (CLE) devraient permettre de pallier cette difficulté d'apprécier les usages d'un bassin versant dans son ensemble : ils prennent en compte tous les usages de l'eau, depuis l'amont jusque l'aval, et peuvent être des structures relativement pérennes dans le temps à la condition que leurs missions soient reconduites. En établissant des « passages » obligatoires devant la CLE d'un SAGE pour toutes les demandes nouvelles de prélèvements (c'est par exemple le cas du SAGE du Drac et de la Romanche), l'ensemble de la commission peut alors considérer le projet au regard de « l'existant » sur le bassin versant. Elle peut alors décider en relative connaissance de cause si le projet est supportable ou non.

Aujourd'hui et à notre connaissance, seuls deux SAGE semblent s'être saisis de la question de l'enneigement dans les Alpes françaises (Drac Amont et Drac & Romanche). Celui du Drac et de la Romanche est particulièrement interventionniste en la matière. Un déploiement plus large de ces outils, ou de démarches équivalentes (en régie d'une collectivité départementale ?), nous semble être possible.

Pour conclure sur ce volet réglementaire, et au-delà de la réglementation nationale que nous venons de décrire, nous rappelons le point concernant les installations d'enneigement du protocole tourisme de la convention alpine, ratifiée par la France en 2005 :

« Les législations nationales peuvent autoriser la fabrication de neige pendant les périodes de froid propres à chaque site, notamment pour sécuriser des zones exposées, si les conditions hydrologiques, climatiques et écologiques propres au site concerné le permettent » (article 14 du protocole tourisme de la Convention Alpine²⁵)

Définir des conditions hydrologiques et écologiques opportunes à la production de neige n'est pas une chose facile ; nous approcherons cette complexité au travers de nos études de cas.

A notre sens et dans le cadre des évolutions en cours, il est encore plus complexe de définir des conditions climatiques permettant la production de neige sur le long terme. Bien sûr, en altitude, les plages de froid sont encore suffisantes pour mener à bien l'ensemble des campagnes d'enneigement d'un domaine skiable. La question se pose surtout pour les altitudes plus modestes, de moyenne montagne. Nous verrons par la suite que des difficultés de production se sont d'ores et déjà fait sentir, par exemple au cours de l'hiver 2006-2007, particulièrement doux.

Ce principe de la Convention Alpine rejoint en quelque sorte un des points de la dernière loi sur l'eau française qui précise que la gestion de l'eau doit prendre en « *compte les adaptations nécessaires au changement climatique* » (*op. cit.*).

Nous pensons que cette prise en compte des évolutions climatiques appliquée aux installations d'enneigement, obligation de droit dans l'intérêt commun, passe nécessairement par deux éléments : (1) une simulation des potentialités hydrothermiques des sites visés par des projets d'enneigement, c'est-à-dire des perspectives à venir en termes de disponibilité de froid et d'eau, mais surtout (2) une réflexion profonde sur l'opportunité (ou inopportunité) de la production de neige pour les domaines skiables vraisemblablement contraints, à terme, par un déficit d'enneigement. Ce n'est qu'à ce titre que l'on peut envisager une gestion durable de l'eau.

²⁵

A ce sujet, il faut noter qu'un « protocole eau » de la Convention Alpine est en cours de discussion. Ce besoin de réaffirmation de l'intérêt porté à l'eau à l'échelle alpine est à notre sens essentiel ; il est d'ailleurs étonnant, même si les implications politiques d'un tel document sont certainement grandes, que ce protocole n'existe toujours pas, compte-tenu des défis hydrologiques importants auxquels sont aujourd'hui confrontés les territoires de montagne.

CONCLUSION DU CHAPITRE 3

Depuis leur invention dans les années 1950 aux Etats-Unis, **les installations d'enneigement ont connu un développement spectaculaire** en France et, plus globalement, dans tous les pays de l'arc alpin. En France, les deux tiers des stations sont équipées. Cela porte la proportion des surfaces de pistes enneigeables à plus de 20%. A titre d'exemple, cette même proportion est de 70% en Italie ; cela ne fait néanmoins pas des domaines skiabiles français les moins fréquentés, au contraire.

La production de neige est **un outil, au service des opérateurs de domaines skiabiles afin d'entretenir et de préparer les pistes de ski**. Elle assure également la pérennité de l'activité par rapport à la variation interannuelle des précipitations neigeuses. Dans le détail, un ensemble de raisons, centrées sur la rentabilité du domaine skiable, conduit à l'équipement des secteurs stratégiques des domaines mais également des pistes prisées par la clientèle ; sur celles-ci, les exploitants de domaines skiabiles soignent la qualité de la neige. **Le système commercial des stations de sports d'hiver explique aussi le poids important de la production de neige dans la gestion des domaines skiabiles**. Les obligations d'ouverture et de fermeture à des dates précises, par les contrats passés entre tour-opérateurs, gestionnaires de résidences de tourisme et gestionnaires de domaines skiabiles, génèrent un système contraint, dans lequel l'aléa n'est plus supportable. Enneiger les pistes de ski pour assurer le démarrage coordonné de l'ensemble des activités de la station devient dès lors une nécessité. **En fait, toutes les raisons invoquées, liées les unes aux autres, expliquent le développement croissant des installations d'enneigement**.

Les moyens développés pour satisfaire ces besoins d'enneigement sont aujourd'hui d'une très haute technicité. Sauf pour certains produits développés à l'étranger, les installations d'enneigement utilisées en France (bi-fluides ou mono-fluides) nécessitent du froid et de l'eau ; le monitoring complet des installations d'enneigement est possible et automatise leur démarrage à -4°C de température humide. Par ailleurs, les propriétés de résistance élevée de la neige de production rendent effectivement intéressante son utilisation sur les pistes de ski.

Du point de vue de l'eau, deux points ont concentré notre attention : **la question des adjuvants et celle des « pertes d'eau » dans le processus de production**. La première ne se pose plus en France : plus aucun opérateur n'utilise d'additifs pour faciliter la production de neige. Pour la seconde, même si nous supposons ces pertes mineures au regard des volumes en jeu dans les bilans hydrologiques de montagne, il faut reconnaître le peu de véracité des chiffres annoncés. Les « 10 à 30% » régulièrement invoqués semblent être la reprise routinière d'une information au cours du temps, sans démonstration scientifique précise. Il conviendrait donc d'étayer ce point.

Enfin, notre lecture de la réglementation, existant à propos des installations d'enneigement, montre que **celle-ci est complexe, globalement complète, avec quelques améliorations possibles**. La législation nationale est d'ailleurs renforcée par les préconisations des SDAGE et des SAGE, lorsque ces derniers existent. **Bons outils d'appréhension de l'ensemble des usages de l'eau d'un bassin versant de montagne, dont la production de neige, les SAGE peuvent justement compléter l'insuffisance de la législation nationale sur ce point**. En termes d'amélioration de l'existant, un point relevé par Badré *et al.* (2009) est d'importance : **en théorie, les retenues d'altitude pourraient échapper à l'obligation d'étude d'impact**. Compte tenu des implications environnementales de ces ouvrages, il semble nécessaire de corriger cet élément. Enfin, en termes

de débits à laisser s'écouler dans les cours d'eau, nous posons la question de la pertinence d'un débit réservé défini comme constant sur une année. **Ne pourrait-il pas varier en fonction des débits et des besoins des espèces aquatiques ?**

Désormais en possession des éléments clés de la pratique, ce sont les perceptions de la production de neige que nous souhaitons questionner. Comment les acteurs impliqués par la question se positionnent autour de notre objet d'étude ? Quel est leur discours ? Par là même, la concertation est-elle possible ? Quel rapports de force en présence ? Ce sont les principales questions auxquelles nous souhaitons répondre dans notre chapitre suivant.

CHAPITRE 4 - LES PERCEPTIONS DE LA PRODUCTION DE NEIGE

Les perceptions de la production de neige font appel à des représentations singulièrement différentes de la montagne : espace de développement économique pour les uns, écrin environnemental à sauvegarder pour les autres. Environnement et économie semblent être effectivement les « intérêts généraux » en jeu. De ces différentes perceptions découlent des attitudes, des logiques et des discours parfaitement contradictoires.

Ce chapitre permettra tout d'abord d'identifier les différentes parties prenantes impliquées dans la question de la production de neige. En adoptant un point de vue le plus objectif possible, le positionnement de chacun sera expliqué¹. L'échelle d'analyse est principalement celle des Alpes françaises, même si d'autres territoires seront également pris pour exemple.

Cette construction s'appuie sur l'analyse des documents publiés par les différentes parties, des entretiens réalisés avec certains des acteurs impliqués et le recueil des positions de chacun au cours de nos participations à des instances de travail sur l'eau et la production de neige. Dans un deuxième temps, nous nous intéresserons à la dimension du conflit opposant certaines de ces parties sur le sujet. Nous essaierons de qualifier la nature et l'intensité de ces oppositions, dont les manifestations sont diverses.

1. LES DISCOURS ET LES ACTIONS DES ACTEURS IMPLIQUÉS : DU SOUTIEN À LA CONTESTATION

La traduction du discours, voire des actes, des différentes parties prenantes que nous proposons s'appuie sur un corpus de documents dont elles sont, principalement, les auteurs respectifs. Ces textes ont été sélectionnés en fonction de leur capacité à refléter, au mieux, le positionnement de chaque groupe d'acteurs dont il est question.

Si cette présentation des arguments invoqués par les uns et les autres n'engage que notre point de vue, ces positions ont cependant pu être vérifiées, de façon qualitative, lors des rencontres formelles ou informelles réalisées avec les acteurs en question. Par ailleurs, dans son mémoire sur « *L'acceptation sociale de la neige de culture en stations de sports d'hiver* », G. Langlois (2010) rapporte un certain nombre d'entretiens sur lesquels nous nous appuierons également². **Globalement, les groupes d'acteurs et leurs discours sont présentés de façon hiérarchique, des plus laudatifs à l'égard de la pratique, aux plus critiques.**

¹ Nous ne porterons ici pas de jugement de valeur sur les arguments invoqués par les uns et des autres. Si nous ne sommes pas d'accord avec tous, ce n'est cependant pas le moment que nous choisissons pour vérifier notre questionnement. C'est au terme de notre démarche que nous proposerons des réponses à celui-ci.

² Travaux de Master 1, conduits à l'Université de Savoie, en partie sous notre direction dans le cadre de notre recherche doctorale, aux côtés de C. Gauchon (Maître de Conférence) et d'A. Marnézy (Professeur).

1.1. Les opérateurs de domaines skiables

La communication des opérateurs de domaines skiables sur la production de neige s'est, pendant longtemps, faite particulièrement discrète. En réponse à de nombreuses inquiétudes sociétales, en partie conséquences de ce vide d'informations, et aux prises de position publiques d'associations de protection de l'environnement, les professionnels de l'aménagement et de l'exploitation des domaines skiables ont désormais déployé un important dispositif de communication sur **cette pratique qu'ils approuvent et défendent ardemment**. Le milieu des années 2000 semble marquer le tournant de ce changement de stratégie.

1.1.1. Un discours collectif de soutien à la pratique...

L'importance de l'outil pour l'exploitation des domaines skiables

Du point de vue des opérateurs de stations de sports d'hiver, la production de neige est un outil fondamental pour l'entretien et l'exploitation du manteau neigeux. Pour C. Reverbel, directeur adjoint attaché au service des pistes de la station de l'Alpe d'Huez³ (Isère), « *sans neige artificielle, aujourd'hui, le massif des Grandes Rousses [sur lequel se développe le domaine skiable de l'Alpe d'Huez] serait complètement inskiable ! On aurait des gens au chômage, des magasins fermés, des commerçants et des skieurs furieux...* » (cité in Brun, 2002, p. 63).

De façon généralisée, c'est l'ensemble de la profession des opérateurs de domaines skiables qui insiste sur l'intérêt que représente la production de neige pour l'exploitation des pistes (photo 4.1). E. Gouazé, Directeur Technique du Groupe LabelleMontagne⁴, parle « *d'un équipement indispensable, à qui la station [de La Bresse-Hohneck (Vosges)] doit tout, ou presque* » (Gouazé, 2009) tandis que la section locale du SNTF de la Haute-Savoie évoque (dans un document rédigé pour son compte par un service de la Direction Départementale de l'Équipement de la Haute-

Photo 4.1 : Affichage publicitaire pour la station d'Hauser-Kaibling, Styrie, Autriche (cliché : P. Paccard, le 05/03/2008). *En Autriche aussi, la production de neige revêt une importance particulière pour les stations.*

Littéralement, le titre de ce panneau signifie « Plus de neige ...pour les plus belles pistes ». Outre l'importance de la production de neige pour la préparation des pistes que met en exergue cet affichage, il fait de cette pratique un véritable argument commercial.



³ Sur l'ensemble de son domaine skiable relié, qui figure parmi les plus grands de France, l'Alpe d'Huez compte aujourd'hui quelque 1000 enneigeurs pour assurer la production de neige sur environ 200 hectares de piste (Reverbel, 2009), soit l'équivalent de 2 km². La gestion et l'exploitation du domaine skiable de l'Alpe d'Huez sont assurées par la SATA (Société d'Aménagement Touristique de l'Alpe d'Huez et des Grandes Rousses), Société d'Économie Mixte dont la majorité du capital social est détenu par la commune d'Huez. Le domaine skiable culmine à 3300 mètres (sommet du Pic Blanc) et relie l'Alpe d'Huez à cinq autres stations : Auris-en-Oisans, La Garde, Oz-en-Oisans, Vaujany et Villard-Reculas.

⁴ Le Groupe Remy Loisirs / LabelleMontagne exploite 9 domaines skiables dans les Vosges et les Alpes françaises, dont celui d'Orcières 1850 (Hautes-Alpes).

Savoie) « une composante importante de l'aménagement et de la rationalisation des domaines skiables » (SNTF 74 et DDE 74, 2008, p. 3). La représentation nationale du SNTF explique quant à elle que « depuis vingt ans, la neige de culture s'est imposée comme un outil incontournable d'aide à l'exploitation des domaines skiables » (SNTF, 2008, p. 6).

Un débat injustifié : une pratique impactant peu les milieux naturels et très encadrée par la réglementation

Les débats portant sur la question de la production de neige sont souvent présentés par les opérateurs comme injustifiés, dans tous les cas la conséquence d'une véritable méconnaissance du sujet. Ainsi, dans un chapitre spécial dédié à la question de la neige de culture de son dossier de presse 2008/2009, la Compagnie des Alpes explique que « la neige de culture reste encore largement méconnue, et les débats qu'elle suscite sont souvent fondés sur des idées inexactes » (Compagnie des Alpes, 2008, p. 16). Le procédé de fabrication de la neige et ses impacts sur l'environnement sont ensuite expliqués mais relativisés. On peut y lire que « la neige de culture est seulement prélevée dans la nature et sera restituée lors de la fonte des neiges », qu'elle « va permettre une protection thermique du couvert végétal pendant toute la saison d'hiver » et que les volumes prélevés sont faibles comme « en Tarentaise, [où] 0,1% de la ressource disponible est prélevée pour l'enneigement artificiel » (*idem*, p. 16 et 17).

Le discours tenu au niveau du groupe se retrouve naturellement dans les propos des opérateurs qui le constituent. Ainsi, dans un entretien qu'il a conduit auprès d'un des responsables de la SEVABEL⁵, G. Langlois note :

« La neige de culture est considérée comme un outil stratégique ayant évolué pour sécuriser l'industrie des sports d'hiver, naturel, peu impactant, encadré et réglementé. Les attaques dont la neige de culture fait l'objet sont qualifiées de polémiques injustifiées » (Langlois, 2010, p. 19).

L'Association Nationale des Directeurs de pistes et de la Sécurité de stations de Sports d'Hiver (ADSP)⁶ consacre également plusieurs pages de son site Internet à la « Fabrication de neige ». Le sous-titre accordé au texte introduisant celles-ci témoigne de l'importance que revêt la production de neige aux yeux de cette association : « L'eau c'est la vie... dit-on... mais la neige aussi ! » (ADSP, 2010). Ici encore, on insiste sur la réglementation stricte qui encadre la pratique : « arsenal de lois et de textes règlementaires », « **Des contrôles méticuleux** sont exercés en permanence et de manière régulière par les exploitants et les différentes administrations » ou encore « L'ensemble des dispositifs de fabrication de neige est **réglementairement très encadré** » (*idem*). En matière de prélèvement en eau et de stockage, « la fabrication de neige « emprunte » de l'eau dans le milieu naturel » tandis que « La gestion partagée de la ressource en eau et la prise en compte des débits réservés des ruisseaux et rivières se sont traduites par la construction de **petites retenues d'eau en altitude** » (*ibid.*).

⁵ La SEVABEL, Société d'Exploitation de la Vallée des Belleville, gère les domaines skiables des stations de Saint-Martin-de-Belleville et des Ménuires (Savoie). Ces domaines sont reliés à celui de Val Thorens, Méribel et Courchevel pour constituer le très grand domaine skiable relié des « 3 Vallées ».

⁶ L'ADSP regroupe l'ensemble des directeurs de pistes et de la sécurité des stations de sports d'hiver françaises. Elle est une association importante dans le paysage des stations de sports d'hiver françaises. Son bureau est actuellement basé aux Ménuires (Savoie).

De la même façon, dans une plaquette d'information sur la production de neige éditée par l'Association Nationale des Professionnels de la Neige de Culture, les faibles impacts de la pratique sur les milieux sont expliqués :

« La végétation est peu affectée par la fabrication de neige.

L'eau de fonte est comparable à de l'eau de pluie. La réglementation impose de laisser un débit minimum d'écoulement dans les cours d'eau de façon à préserver la vie aquatique. Les volumes d'eau destinés à la fabrication de neige sont donc limités.

Le paysage est la plupart du temps respecté par un habillage adapté de l'usine à neige » (ANPNC, non daté).

La réglementation sur les débits réservés est ainsi rappelée et invoquée pour expliquer la limite des prélèvements réalisés pour la production de neige.

L'importance de la production de neige dans l'exploitation et la gestion des domaines skiables (et *a fortiori*, l'activité économique qu'elle permet d'assurer), **le peu d'impact de cette pratique sur l'environnement et la réglementation stricte qui l'encadre** sont les trois points principaux qui ressortent du discours des opérateurs de domaines skiables. Parfois, derrière celui-ci, relativement « standard » auprès de l'ensemble de la profession, quelques nuances pointent néanmoins. Un responsable de l'Association de Gestion du Site Nordique des Confins (Aravis, Haute-Savoie) confie par exemple à G. Langlois que *« si elle est déjà réglementée, la neige de culture doit en revanche bénéficier de contrôle et d'une bonne gestion. Elle est également considérée comme un outil généralisé dont l'avenir mérite réflexion »* (Langlois, 2010, p. 19).

La question de la gestion de cet usage figure également dans un article publié par le Président du Directoire de la Société des 3 Vallées⁷ sur un site internet consacré au développement durable dans les Alpes. Si dans un premier temps et en référence aux inquiétudes et polémiques médiatiques que suscite la production de neige, celui-ci explique que l'*« on ne saisit pas bien “cet excès d'honneur, cette indignité” »*, la nécessité d'une gestion globale de l'eau en montagne, incluant la production de neige, est dans un second temps plébiscitée :

« il est vrai que les outils juridiques et opérationnels existent pour créer la solidarité des usagers entre l'amont et l'aval d'un bassin ou pour l'utilisation d'un même aquifère et sont sans doute sous-utilisés. Les contrats de bassin versant sont bien, en particulier, l'outil adapté que l'Etat a mis à la disposition des collectivités locales et qui devrait être généralisé » (Faure, 2008).

Dans ce discours, on note à nouveau l'idée d'un débat injustifié mais, en filigrane, la production de neige est présentée comme l'un des usages de l'eau en montagne, usages qu'il convient de gérer dans leur globalité et en utilisant les outils adéquats, aujourd'hui encore insuffisamment déployés.

Une volonté de communiquer : des usines à neige à visiter

S'il fut un temps où les opérateurs de domaines skiables semblaient avoir quelques réticences à assumer leur production de neige, voire à investir dans ce type d'infrastructure, ce n'est plus le cas aujourd'hui. En invitant leur clientèle à venir visiter les usines à neige dont ils ont la charge, les opérateurs de domaines skiables veulent clairement afficher leur transparence. Dans la plupart des cas gratuites⁸, ces visites ont pour objectif d'expliquer les principes de production de neige.

⁷ La Société des 3 Vallées est une Société d'Economie Mixte, gérant et exploitant le domaine skiable relié des stations de La Tania, Courchevel et Méribel Mottaret (Savoie).

⁸ Comme celle de Méribel Alpina à laquelle nous avons participé au cours de l'hiver 2006/2007. J.-L.

C'est également l'occasion de présenter le métier de nivoculteur et d'insister sur la non-utilisation d'adjuvants pour la production de neige. Sur les sites Internet de plusieurs stations de sports d'hiver, des appels invitent à ces visites. On peut citer, à titre d'illustration :

- Aussois (Haute-Maurienne, Savoie) - « Afin de découvrir et de mieux comprendre comment on fabrique de la neige de culture, des visites de l'usine à neige sont proposées tout l'hiver » (<http://www.aussois.com>) ;
- Alpe d'Huez (Oisans, Isère) - « Visite de l'usine à neige et neige de culture. Visitez une des deux unités de production de neige automatique de l'Alpe d'Huez : l'usine du Plat des Marmottes à 2 300 m d'altitude. Cette installation automatique York, de 4 000 KW, dotée de 2 salles des machines ultra-modernes, représente une des plus grosses puissances installées d'Europe. Visite tous les jeudis à partir de 14 h (sur réservation) » (<http://www.alpedhuez.com>) ;
- Peyragudes (Hautes-Pyrénées et Haute-Garonne) – « Le jeudi, à 10 heures, durant les périodes de vacances scolaires, vous pourrez visiter l'usine à neige et poser toutes vos questions aux magiciens de la neige, à savoir les «nivoculteurs» » (<http://www.peyragudes.com>).

A notre connaissance, des visites sont également organisées à Flaine (Haute-Savoie), La-Pierre-Saint-Martin (Pyrénées-Atlantiques) et Chalmazel (Loire). Des panneaux d'information sur la production de neige complètent parfois les visites de ces installations (photo 4.2 et 4.3).

Photo 4.2 : Panneau d'information sur la fabrication de neige sur le domaine skiable de La Tania, Savoie (cliché : P. Paccard, le 05/07/2009). Ce panneau est le premier du sentier thématique du Grand Bois, au départ de la télécabine de La Tania, dont l'objectif est de faire découvrir les paysages, la faune, la flore et les activités de la montagne aux randonneurs l'empruntant.



Photo 4.3 : Panneau d'information sur le principe de production de neige à proximité de l'usine à neige de Flaine, Haute-Savoie (cliché : Y. Gosseume, le 21/02/2009).

Conçu par un fabricant d'installation d'enneigement, ce document explique en des termes simples le principe de production : il est avant tout destiné au grand public.



Santon, Directeur Qualité Sécurité Environnement (QSE), expliquait à cette occasion les principales caractéristiques de l'installation d'enneigement de la station. Extraits de notre carnet de terrain : « 375 enneigeurs, 130 hectares enneigeables (50% du domaine équipé), essais du Snomax en 1992 mais plus d'adjuvants désormais utilisés, 800 000 m³ de neige produits en 2005/2006, 2 retenues d'altitude remplies par pompage des eaux du Doron des Allues, 4 remplissages des ouvrages pour satisfaire la production de neige de l'hiver 2005/2006, difficultés de production pendant l'hiver 2006/2007 dues aux températures anormalement élevées »...

1.1.2. ... relayé par le Syndicat National des Téléphériques de France.

Informer sur la production de neige

Le Syndicat National des Téléphériques de France déploie depuis quelques années une stratégie de communication importante sur la production de neige. L'idée générale de cette politique est de rattraper le retard accumulé pendant longtemps par une non-prise de parole des opérateurs de domaines skiables sur le sujet.

Pour l'ancien Président du SNTF, J.-F. Faraudo, « *l'absence d'informations claires et accessibles sur ce sujet constitue aujourd'hui le socle de croyances erronées, d'a priori négatifs qui peuvent à terme nuire à l'image des stations de montagne et impacter leur vitalité économique* » (propos in SNTF, 2008, p. 1). Dans son magazine, en introduction d'un article intitulé « *Informer sur la neige de culture* », le SNTF explique : « *La neige de culture souffre d'un important déficit d'image lié pour l'essentiel à une sous-information. Le SNTF engage une campagne d'information dès la saison 2008/09 à l'intention de la clientèle et des salariés des domaines skiables* » (SNTF, 2008, p. 6). Selon les termes même de l'organisation syndicale, il s'agit « *de rétablir la vérité sur la fabrication et l'utilisation de la neige de culture ainsi que sur ses effets vertueux à l'échelle de la montagne* » (SNTF, 2008, p. 1).

« Comment l'eau devient cristal le temps d'un hiver ? » - Acte 1

La prise de parole du SNTF sur la thématique de la production de neige débute en 2006 par la publication collective, avec l'ADSP et l'Association Nationale des Maires des Stations de Montagne (ANMSM), d'une plaquette d'information « *Neige de culture - Comment l'eau devient cristal le temps d'un hiver?* » (SNTF, 2006). Dans ce document (8 pages), la production de neige est présentée comme moteur pour l'économie locale, peu impactant pour les milieux et très encadrée par la réglementation. On retrouve les idées développées de façon individuelle par les exploitants, elles-mêmes reposant pour partie sur le discours de leur représentation syndicale. Les éléments avancés dans ces quelques pages constituent les fondations de l'ensemble de la communication produite par la suite : certaines formulations se retrouveront *stricto sensu* dans toutes les publications ultérieures et successives.

Le déploiement d'un important dispositif de communication

L'année 2008 marque une accélération incontestable de cette volonté d'informer sur la production de neige. Avec l'appui technique d'une agence de communication et d'une société de conseil, le SNTF déploie un important dispositif pour relayer son message. Cette campagne d'information, intitulée « *Les talents insoupçonnés de la neige de culture* », se traduit de façon opérationnelle par :

- un communiqué et un dossier de presse expliquant l'objectif et les éléments de la campagne (SNTF, 2008 ; SNTF, 2008) ;
- la création d'un site Internet (<http://lamontagneenmouvement.com>) sur lequel un film « pédagogique » explique l'intérêt de la production de neige ;
- des supports graphiques (affiches, stickers...) destinés aux opérateurs de domaines skiables eux-mêmes, adhérents au SNTF, pour affichage dans les espaces disponibles au sein de leur station (figure 4.1 et photo 4.4) ;
- un « *mémo interview presse* », véritable « éléments de langage », « permettant de répondre aux

- journalistes sur différentes thématiques concernant la neige de culture » (SNTF, 2008, p. 2) ;
- des distributions d'éléments papier, à destination des touristes se rendant en station, aux péages des autoroutes AREA (Société des Autoroutes Rhône-Alpes) pendant les vacances d'hiver.



Photo 4.4 : Affichage d'un des éléments de la campagne du SNTF (à droite) dans une gare de remontée mécanique (cliché : P. Paccard, le 17/01/2009).



Figure 4.1 : Une des affiches de la campagne d'information du SNTF (SNTF, 2008).

« Comment l'eau devient cristal le temps d'un hiver ? » - Acte 2

Le dernier élément en date de cette campagne d'information est la publication, dans le courant de l'année 2010, d'un fascicule de 15 pages, dont le titre reprend exactement celui du document précédemment diffusé : « Neige de culture – Comment l'eau devient cristal le temps d'un hiver ? » (SNTF, 2010). Hormis la mise en cohérence de ce document avec la charte graphique de l'ensemble de la campagne et la précision du discours par de nombreux chiffres, il n'y pas beaucoup d'éléments nouveaux dans celui-ci : l'intérêt économique de la production de neige, la non-utilisation d'adjuvants, le principe de production, la réglementation encadrant la pratique et le faible poids des prélèvements en eau (figure 4.2) sont toujours les différents titres développés, de façon néanmoins plus détaillée, dans ce document.

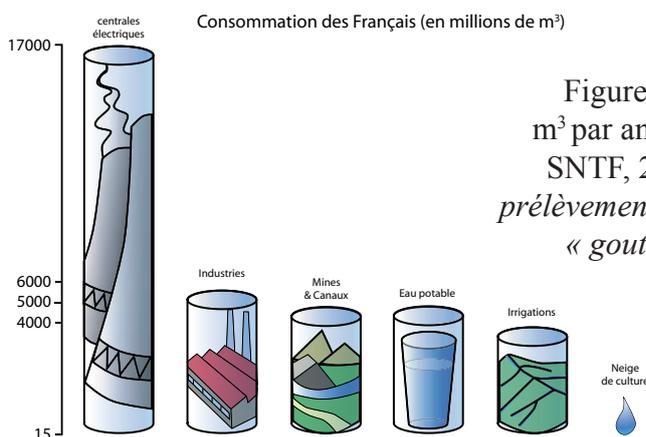


Figure 4.2 : Prélèvements des français (en millions de m³ par an) selon les différents usages de l'eau (extrait de SNTF, 2010, p. 3). *A cette échelle spatiotemporelle, les prélèvements pour la production de neige sont faibles (une « goutte d'eau ») ; c'est ce que le SNTF veut montrer.*

Celui-ci introduit cependant quelques précisions supplémentaires⁹ quant aux relations qui pourraient lier le changement climatique et la production de neige :

« s'agit-il d'une parade au changement climatique ? Sur le long terme, pas du tout ! Tout d'abord les volumes produits (60 cm en moyenne) sont insignifiants au regard des volumes de neige qui tombent pendant la saison (plusieurs mètres). Ensuite, un procédé qui repose sur la transformation naturelle de gouttelettes d'eau en glace, sans ajout de produits chimiques, requiert évidemment des températures froides. Non, la neige de culture n'est pas une parade au changement climatique » (SNTF, 2010, p. 4).

Le discours du SNTF semble ainsi signifier : la production de neige n'est pas une mesure d'adaptation (« parade ») au changement climatique sur le long terme et n'est pas employée comme telle par les opérateurs de domaines skiables ; elle reste cependant un moyen de se prémunir de l'aléa climatique sur le court terme.

1.2. Les pouvoirs publics et les collectivités territoriales

1.2.1. Les collectivités territoriales : des discours contradictoires ?

A l'échelle communale : l'affirmation de la nécessité des installations d'enneigement

Les Maires des communes supports d'une station, qu'elle soit gérée en régie ou en délégation de service public, sont directement concernés et impliqués dans le développement des infrastructures du domaine skiable de leur territoire. Au titre de l'organisation de l'espace, de la protection de l'environnement ou du développement économique de leur commune, ils sont amenés à se positionner sur la question de l'enneigement artificiel.

Un entretien conduit auprès de J. Guillot, maire de Chamrousse (Isère, photo 4.5)¹⁰, nous a permis de recueillir sa position sur le sujet : si la gestion de l'eau est d'importance, les prélèvements en eau pour la production de neige sont considérés comme marginaux au regard de biens d'autres usages (la comparaison avec les volumes d'eau colossaux utilisés par la ville de Paris pour le nettoyage des voies publiques est établie). La priorité en matière d'eau n'est donc, pour lui, pas celle-ci ; elle serait plutôt l'amélioration du rendement des réseaux d'eau potable des collectivités de



Photo 4.5 : Le front de neige de la station de Chamrousse (Isère), à 1750 mètres d'altitude (cliché : P. Paccard, le 05/01/2009)

⁹ Ces quelques lignes avaient en réalité déjà été publiées dans l'article « Les domaines skiables face au changement climatique » du magazine du SNTF (SNTF, 2009, p. 5).

¹⁰ Le 05 janvier 2009 à la Mairie de Chamrousse (Isère).

montagne. Il n'en reste pas moins que certaines précautions sont à prendre en matière d'utilisation de l'eau pour la production de neige ; les transferts de masses d'eau importantes d'un bassin versant à un autre sont, par exemple, à éviter. Du point de vue économique, J. Guillot insiste sur les bénéfices de l'enneigement artificiel qui permettent de soutenir l'activité de la station. A la question du changement climatique, celui-ci répond que ses temporalités sont différentes de celles des installations d'enneigement : les infrastructures seront rentabilisées bien avant que les conséquences du changement climatique ne se fassent sentir. Il regrette enfin des politiques de soutien aux installations d'enneigement disparates selon les territoires : pas de possibilité d'aide au financement auprès de la région Rhône-Alpes et du Conseil Général de l'Isère à la différence des régions PACA et Midi-Pyrénées.

Malgré un affichage « écolo » selon ses propres termes, l'importance que revêt la production de neige pour une commune support de station nous est confirmée par G. Sauvageon, maire de Corrençon-en-Vercors¹¹ : « *A l'hôtel [dont il est le gérant], 4 clients sur 5 nous demandent si la station est équipée de canons à neige. Quand on peut assurer le retour à la station, il est vrai que c'est beaucoup plus simple ! C'est également important pour les investisseurs, les commerçants. Les canons ne vont peut être pas nous permettre de tenir 50 ans au regard du changement climatique. Peut être que 20 ans. Mais ça compte !* ». Les précautions à prendre quant aux prélèvements en eau des enneigeurs sont par la suite expliquées.

G. Langlois rapporte les mêmes conclusions d'un entretien conduit auprès d'A. Marnézy maire d'Aussois (Haute-Maurienne, Savoie) : « *Au travers de ce discours, la neige de culture est considérée comme garante de l'activité ; les impacts possibles sont à échelle locale [...], la question de la diversification est compliquée* » (Langlois, 2010, p. 20).

M. Pélieu, maire de Loudenvielle (station de Peyragudes, Hautes-Pyrénées, photo 4.6) a également insisté, lors de notre rencontre¹², sur les retombées économiques des sports d'hiver, pour lesquels la production de neige occupe désormais une place majeure. Selon lui, du point de vue de l'eau, les prélèvements ne représentent que « *quelques instants seulement du débit de la Neste du Louron* », la rivière de la vallée.



Photo 4.6 : Deux retenues d'altitude (premier plan à gauche) du versant Peyresourde de la station de Peyragudes (Hautes-Pyrénées) (cliché : P. Paccard, le 12/03/2010). *Au fond de la vallée coule la Neste du Louron, sous-affluent de la Garonne.*

¹¹ Le 14 octobre 2009 à la Mairie de Corrençon-en-Vercors (Isère).

¹² Le 11 mars 2010 à la Mairie de Loudenvielle (Hautes-Pyrénées).

Dans les actes des « *Premières rencontres de l'eau et de l'énergie dans les stations de montagne* », nombre de maires sont cités et beaucoup insistent sur l'importance de la production de neige. C'est notamment le cas de A. Perrillat-Amédée, ancien maire du Grand-Bornand (Haute-Savoie) :

« nous avons mis en place des réseaux de neige de culture qui permettent de garantir les débuts et fin de saison, ce qui est essentiel pour la commercialisation de nos séjours. En effet, cet argument nous a permis de sécuriser la clientèle, d'être plus crédibles auprès des tours opérateurs, des agences de voyages et des revendeurs. Le Grand-Bornand a fait le choix d'une retenue collinaire pour alimenter les réseaux de neige de culture. Ce principe consiste à prélever, quand l'eau est abondante, la surverse de nos captages d'eau potable et de la stocker. Ainsi, la distribution d'eau potable ou les milieux naturels n'en sont pas affectés » (Suez et ANMSM, 2006, p. 21).

Ces discours d'élus pris individuellement, qui insistent sur l'importance socio-économique de la production de neige et sur les faibles besoins en eau qu'elle représente, se retrouvent à plus forte raison dans les documents émanant des associations qui les représentent : l'Association Nationale des Elus de la Montagne (ANEM) et l'Association Nationale des Maires des Stations de Montagne (ANMSM).

Dans une motion adoptée par les élus adhérents de l'ANEM du massif des Pyrénées et suite aux difficultés de l'hiver 2006/2007, ces derniers affichent clairement l'intérêt qu'ils portent aux installations d'enneigement en demandant un soutien financier du gouvernement :

« Les élus pyrénéens demandent que le gouvernement [...] affecte, dans le cadre des conventions interrégionales de massif, des crédits d'État significatifs en faveur des investissements relatifs à la neige de culture, dès lors que les conditions techniques et économiques, notamment, le permettent » (ANEM, 2007, p. 2)¹³.

L'ANMSM s'est également prononcée explicitement sur l'enneigement artificiel. D'une part, la charte nationale en faveur du développement durable dans les stations de montagne adoptée par l'ANMSM en 2007 évoque cette question, dans une section consacrée au « *Domaine skiable et loisirs de neige* » et rédigée en collaboration avec le SNTF. Le ton est à l'optimisation de la technique pour en limiter les impacts environnementaux :

*« - Donner la priorité à la consommation d'eau potable avant toute utilisation pour la production de neige
- Utiliser des technologies et des équipements privilégiant l'optimisation et l'efficacité,
- Interdire l'utilisation d'adjuvant dans la production de neige,
- Garantir un juste équilibre entre la ressource en eau, l'équilibre économique des stations et la gestion du domaine skiable,
- Réduire en période estivale l'impact visuel des installations d'enneigement aux endroits les plus fréquentés »* (ANMSM, 2007, p. 18).

D'autre part, dans une motion se prononçant contre le projet de Directive Territoriale d'Aménagement (DTA) des Alpes du Nord (désormais abandonné), adoptée à l'unanimité de ses membres, l'ANMSM explique l'intérêt qu'elle porte aux infrastructures d'enneigement et sa crainte quant à un nouveau texte contraignant leur développement :

« L'ANMSM rappelle également que la neige de culture est un élément indispensable à la sauvegarde et à la pérennité de l'activité économique des stations. La notion de "compatibilité des besoins en enneigement

¹³

Cette demande s'inscrit en réponse à une instruction du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEDDAT) de bloquer en 2008 les fonds du FNADT (Fonds National d'Aménagement et de Développement du Territoire) consacrés aux installations d'enneigement dans le cadre des volets interrégionaux des Contrats de Projet Etat-Région (conventions interrégionales de massif).

artificiel” avec “l’ensemble des besoins en eau et les enjeux de maintien de la biodiversité à l’échelle des vallées” introduit un principe nouveau dont l’appréciation et la mise en œuvre seront une source supplémentaire de contentieux et par conséquent de blocage de l’aménagement des domaines skiables en France, au détriment de leur compétitivité » (ANMSM, 2009).

L’ANEM et l’ANMSM s’expriment d’ailleurs d’une seule voix, au côté du SNTF, pour expliquer à la mission de l’Inspection Générale de l’Environnement sur la production de neige que celle-ci « *n’appelait pas de dispositif législatif et réglementaire particulier, qui ne serait ni utile ni opportun [...]. En outre, dans une remarquable unanimité, les élus et exploitants des remontées mécaniques ont rappelé à l’Inspection que, sauf à revoir radicalement le modèle de développement touristique des territoires de montagne, les stations de sports d’hiver françaises, particulièrement celles de moyenne altitude, ne pouvaient faire l’économie du recours à la neige de culture » (Pour la montagne, 2008, p. 10).*

Le discours des élus communaux de montagne et de leurs représentations associatives est donc clairement favorable aux installations d’enneigement. Ils demandent un soutien au développement de ces infrastructures. Pour eux, le développement socio-économique de leur collectivité respective en dépend.

A l’échelle départementale : de l’interventionnisme à la diversification

A l’échelon départemental, les politiques d’aides (ou non) aux infrastructures d’enneigement ont été questionnées auprès des Conseils Généraux de la Haute-Savoie, de la Savoie, de l’Isère et des Hautes-Alpes. Si tous les départements interrogés expliquent la possibilité, sous certaines conditions, d’une aide au financement des installations d’enneigement plus ou moins importante, ils ont également insisté sur les politiques de diversification des activités touristiques des stations de moyenne montagne qu’ils mettent en œuvre. Sur ces quatre départements, la Haute-Savoie, suivie des Hautes-Alpes, semble être la plus interventionniste en matière de neige artificielle :

« Suite aux grandes difficultés de début de saison de l’hiver 2006/2007, la section Haute-Savoie du Syndicat National des Téléphériques de France (SNTF) a sollicité le Conseil Général pour une aide à l’équipement en neige de culture des domaines skiables du département et, dans le même temps, a confié à la Cellule d’Etudes et Travaux des Appareils de Remontées Mécaniques (CETARM), service de la DDE, un état des lieux et une prospective. [...]

Dans sa séance du 12 septembre 2008, la Commission Sports - Tourisme - Montagne a émis un avis favorable pour une aide sur la gestion de l’eau [il faut lire « sur les retenues d’altitude »] et le retrofit (pas sur les installations nouvelles) avec un engagement de 6 M € sur 4 ans, et avec un plafonnement de 1 M€ par commune avec les critères d’éligibilité définis ci-dessous :

- *dispositif concernant les communes et syndicats intercommunaux supports de domaines skiables (grandes stations et stations intermédiaires),*
- *le chiffre d’affaires du domaine skiable rapporté à la commune support sera inférieur ou égal à 20 M€,*
- *le montant des travaux subventionnés ne dépassera pas le chiffre d’affaires du ou des domaine(s) skiable(s) de la commune concernée » (Conseil Général de la Haute-Savoie, 2008).*

Il faut noter que cette aide à l’enneigement artificiel s’est accompagnée d’un soutien financier à la mise en place de la démarche environnementale des domaines skiables de la Haute-Savoie (certification ISO 14001).

Dans les Hautes-Alpes, les interventions du Conseil Général furent particulièrement fortes jusqu'en 2008 pour les petites stations de son territoire. Le service tourisme et montagne du Conseil Général nous explique¹⁴ que trois cas doivent être distingués :

1. **Les « grandes stations » (exemples de Serre-Chevalier, Vars, etc.) pour lesquelles le Conseil Général intervient peu.** Celles-ci doivent établir des partenariats, sous la forme de Délégation de Service Public (DSP), afin de financer les investissements projetés. Néanmoins, le Département peut intervenir pour pallier certaines situations d'urgence au travers soit du cautionnement d'emprunt, soit des subventions portant sur d'autres projets que le domaine skiable proprement dit. Les investissements en installations de production de neige ne sont pas ici directement concernés.
2. **Les « petites stations » (exemples Réallon, Pelvoux, Crévoux) pour lesquelles le Conseil Général intervient fortement mais en ne s'impliquant pas directement dans la gestion.** Dans ces cas, il subventionne uniquement les projets de renouvellement des vieux télésièges par des aides maximales de 50%.
3. **Les « petites stations » (exemples des massifs du Queyras, Champsaur [Orcières non comprise], Chazelet) pour lesquelles le Conseil Général intervient fortement en s'impliquant directement dans la gestion et l'investissement.** Celles-ci sont désormais organisées sous la forme de Syndicats Mixtes, dans lesquels le Département est partie prenante. En 2002, celui-ci a décidé d'intervenir fortement auprès de ces stations au titre de l'aménagement du territoire. Ce choix tient compte de l'importance du secteur touristique pour le Département et des difficultés des petites stations à soutenir financièrement leur activité. De 2002 à 2008, le Conseil Général est intervenu jusqu'à 90% dans les montants d'investissements, infrastructures d'enneigement comprises (réseaux, retenues d'altitude, etc.). Depuis 2008, il n'intervient plus qu'à hauteur de 50% maximum.

Globalement, le service tourisme et montagne du Conseil Général des Hautes-Alpes explique également que, la ressource en eau n'étant pas illimitée, les stations sont invitées à se positionner de façon responsable en matière d'équipement de production de neige : c'est la préoccupation première du service environnement de la collectivité départementale qui reste vigilant au regard des projets d'équipement en installations de production de neige.

Entre les **politiques interventionnistes des départements de Haute-Savoie et des Hautes-Alpes que nous venons de décrire, celles de la Savoie et de l'Isère semblent plus mesurées** : des aides sont possibles mais il n'y a pas d'intervention spécifique en matière d'installations d'enneigement. L'ensemble des politiques des quatre départements est présenté dans le tableau 4.1.

A l'échelle régionale : des logiques contraires selon les territoires

• **La région Rhône-Alpes**, par le biais du dispositif « stations durables de moyenne montagne », souhaite accompagner les stations de moyenne montagne vers un nouveau modèle économique respectueux des principes du développement durable et moins dépendant du produit neige et de

¹⁴ Entretien téléphonique du 13 novembre 2009.

Conseil Général	Contact service tourisme et montagne	Les aides en matière d'investissement « neige de culture »...	... au regard des politiques de diversification des activités touristiques.
Haute-Savoie	M. Denis	Aide 2009 sur la «gestion de l'eau» et le retrofit (pas installations nouvelles) = 6 M € / 4 ans (1 M € / commune maximum) pour : ► communes et syndicats intercommunaux supports (grandes stations et stations intermédiaires) ; ► CA domaine skiable rapporté à la commune support doit être ≤ 20 M€. Montant des travaux subventionnés doit être < au CA du domaine skiable.	Contrats d'objectifs destinés à accompagner les stations moyennes (dont diversification des produits touristiques hors domaines skiables mais également produit neige en domaines skiables) + Contrat de reconversion.
Savoie	M.-C. Mathias	Pas d'interventions spécifiques mais possibles dans les dispositifs : ► « Gds domaines » = soutenir interconnexion ; ► « Stations moyennes » = accompagner isolement.	Programme « station moyenne » : conforter l'activité sports d'hiver et favoriser la diversification de l'offre touristique hors ski et toutes saisons. Programme « petit site » : problématiques du renouvellement des remontées mécaniques, de la diversification de l'offre touristique et du développement d'une réelle économie d'accueil et de séjour.
Isère	S. Vittoz (I. Pissard)	Aides possibles, traitement au cas par cas, pas de politique spécifique. Déficit de lisibilité sur l'opportunité de ces aides / situation de chaque station. ► Attente forte des conclusions de l'étude du SAGE Drac et Romanche et de son volet économique.	Contrat de Développement Diversifié : développer une offre hiver hors ski, proposer une offre quatre saisons ou viser la reconversion des certains sites.
Hautes-Alpes	A. Mars + P. Cea	« Petites stations » pour lesquelles le CG intervient fortement (gestion et investissement). 2002-2008 ► intervention jusqu'à 90% dans les montants d'investissements (dont IEA : réseau, retenue...) 2008 ► intervention 50% investissement maximum.	Soutien aux stratégies de diversification dans le cadre des « contrats de station ».

Tableau 4.1 : Les aides possibles aux installations d'enneigement et les politiques de diversifications de quatre départements alpins

l'offre de ski. Des aides financières pour la mise en œuvre de cette politique sont disponibles sur la période 2008-2013.

Pour toutes les stations de moins de 20 000 lits situées sur son territoire, « *l'intervention de la Région peut concerner des actions immatérielles (diagnostics, expertises, formations-actions, ingénierie de conseil, etc.) et des actions d'investissements structurantes (acquisition de matériels communs en lien avec le développement d'activités quatre saisons, à l'exception des équipements de fabrication de neige de culture, les gros équipements de remontées mécaniques, du matériel d'entretien de piste, etc.)* » (Région Rhône-Alpes, non daté).

Les investissements en équipements de production de neige ne sont donc pas aidés par la région Rhône-Alpes. La volonté politique est de soutenir la diversification des activités des stations de moyenne montagne et non des investissements lourds, spécialisés sur l'offre ski.

• **En région Provence-Alpes-Côte d'Azur**, la stratégie a récemment changé¹⁵, vraisemblablement du tout au tout. Dans le cadre des « contrats montagne », la collectivité régionale a financé des équipements d'enneigement artificiel sur la période 2000-2004. Aujourd'hui, la région ne finance plus ces équipements dans le programme régional «d'aménagement et de développement durable et solidaire des stations des alpes du sud» adopté en 2006 et de la convention interrégionale du massif des alpes conclue avec l'Etat et la Région Rhône-Alpes en 2007.

¹⁵ Courrier électronique de P. Guedu, Chef de la Mission Montagne, Direction de l'Aménagement des Territoires de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, le 03 septembre 2010.

• Au contraire, pour les stations situées sur son territoire, **la Région Midi-Pyrénées** finance l'installation d'enneigeurs, pour consolider l'activité ski, sur la base des conditions suivantes (pour les entreprises touristiques privées, le taux maximum de ces aides publiques est de 30 ou 35%) :

« Programme des actions subventionnables par la Région : [...] équipements en neige de culture motivés par une étude de faisabilité portant sur la pertinence technique de l'implantation, sa nécessité ou l'impact sur la fréquentation du domaine skiable, son intégration paysagère et la garantie de ressource en eau sans risque pour les équilibres naturels et la satisfaction des besoins des autres utilisateurs » (Région Midi-Pyrénées, non daté).

Récemment, le Président de la région Midi-Pyrénées en personne, M. Malvy, a fait part de l'intérêt que représente la production de neige pour les stations pyrénéennes : *« s'il est légitime et nécessaire d'engager la réflexion, elle ne doit pas conduire à geler le développement des stations de sports d'hiver au moment où ce type d'investissement [les installations d'enneigement] s'avère essentiel pour l'avenir de nombreuses stations pyrénéennes »* (propos in Arbouet, 2008 et La Gazette Ariégeoise, 2008)¹⁶.

A l'inverse de la région Rhône-Alpes, **les installations de production de neige peuvent ainsi être aidées financièrement par la région Midi-Pyrénées** ; une volonté politique de soutien à cette pratique semble être effective.

Cette rapide analyse des politiques publiques de soutien aux installations de production de neige montre **qu'elles sont très différentes selon les collectivités et territoires en question, en fonction des priorités affichées** : soutien à la compétitivité des territoires d'un côté ou réorganisation de l'activité touristique hivernale de l'autre, principalement pour des motifs environnementaux et climatiques.

Globalement, les élus des communes supports de station font entendre leur voix, à la quasi unanimité, pour l'exploitation et le développement des installations d'enneigement. Les quatre départements alpins questionnés, s'ils laissent la possibilité de financer ces installations, affichent dans le même temps des politiques de diversification des sites de moyenne montagne. Leur discours se situe entre l'accompagnement, voire le soutien, du modèle des sports d'hiver pour les stations d'altitude et la nécessaire reconversion des sites de moyenne montagne. Enfin, au niveau régional, sur les trois régions questionnées, l'éclatement des politiques ne peut être que constaté : soutien à la production de neige de la région PACA et Midi-Pyrénées, au contraire de la région Rhône-Alpes.

Finalement, **la question de la cohérence des politiques de l'ensemble de ces collectivités territoriales est posée**. Considérant le seul angle du changement climatique, *« un décalage est observé, en matière de stratégie, lorsque l'on passe du niveau national au niveau local. Ainsi, plus la proximité au territoire touristique est forte, plus le problème est envisagé sous l'angle de l'atténuation plutôt que de l'adaptation »* (Marcelpoil et Boudières, 2008, p. 8). Par atténuation, il faut entendre « atténuation des effets du changement climatique », en l'occurrence pallier la raréfaction de la neige par la production de neige. L'« adaptation au changement climatique » serait au contraire la volonté de sortir les stations de leur dépendance à la neige.

¹⁶ Ces propos ont là encore été tenus suite à la décision gouvernementale de bloquer les fonds du FNADT consacrés aux installations d'enneigement.

Après avoir qualifié le positionnement des collectivités territoriales vis-à-vis de la production de neige, c'est désormais à celui de l'Etat que nous souhaitons nous attacher. Plusieurs éléments vont être ici présentés dans l'objectif de mieux comprendre les perceptions de la production de neige de l'administration, qu'il s'agisse de ces représentations territoriales ou nationales.

1.2.2. L'administration d'Etat

Au niveau territorial, quelques positions prudentes de services déconcentrés de l'Etat

• Les préfets de Savoie et de Haute-Savoie se sont prononcés sur la question de la production de neige. Le 2 février 2004, J.-F. Carencio, alors préfet de la Haute-Savoie, adressait un courrier sur le sujet à l'ensemble des gestionnaires de domaines skiables du département, au titre de la Mission Inter-Services de l'Eau de sa préfecture ; il commençait le développement de celui-ci de la façon suivante :

« La production de neige de culture est en plein essor dans notre département. Si cette technique permet de sécuriser ou d'améliorer l'enneigement des domaines skiables existants, elle ne doit pas être le moyen de développer des équipements dans des zones à enneigement naturel insuffisant. En effet, elle n'est pas sans répercussion sur la ressource en eau, et, indirectement, sur la sécurité publique via la construction de retenues collinaires » (Carencio, 2004).

Sans remettre en cause l'intérêt de la production de neige dans la gestion et l'entretien des domaines skiables, le ton est ici à la vigilance quant à la protection de la ressource en eau ; il l'est d'ailleurs jusqu'à la fin de ce document.

Dans une « *Note de doctrine sur la neige de culture* » accompagnant ce courrier (MISE Haute-Savoie, 2004), et après avoir rappelé la réglementation applicable aux installations d'enneigement, des « *Règles d'utilisation de la ressource en eau* » et des « *Principes de conception et de gestion des retenues collinaires* » sont posés. La protection de la ressource en eau est là encore une préoccupation importante :

« [Les prélèvements] ne sont possibles, en période d'étiage hivernal, que sous réserve du maintien d'un débit « biologique » en aval du prélèvement » [...]
« les prélèvements pour la fabrication de neige artificielle en quantité « industrielle » sont à disjoindre des réseaux d'eau potable » [...]
« il ne sera généralement pas possible de remplir à nouveau en période hivernale une retenue vidée pour l'enneigement artificiel » [...]
« [l'utilisation d'adjuvants] est fortement déconseillée... » (idem, p. 4 et 5).

En matière de retenues d'altitude par ailleurs, c'est principalement sur la question du risque pour la sécurité publique que portent les préconisations de la MISE de la Haute-Savoie¹⁷.

¹⁷ La MISE des Hautes-Pyrénées s'est également prononcée sur la question : « *Les prélèvements d'eau utilisés pour la fabrication de neige artificielle n'ont pas actuellement une incidence notable pour la ressource en eau. De plus, l'abandon des adjuvants (du type snomax) de renfort pour la cristallisation des flocons limite les risques de pollution au moment de la fonte des neiges. Selon les sources, la sublimation de la neige représente 20 à 30 % du volume, c'est à dire que 70 à 80 % du manteau neigeux retourne localement au milieu sous forme aqueuse à la fonte des neiges. Les maîtres d'ouvrages sont bien sûr invités à respecter la réglementation en la matière avant toute réalisation. Pour cela, il leur est recommandé de prendre contact, le plus en amont possible des projets, avec les services de la DDAF et de la DRIRE car l'impact de tous travaux (comme des tranchées d'extension du réseau neige) doit être étudié* » (MISE des Hautes-Pyrénées, 2008).

• En Savoie, un Conseil Départemental de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques (CODERST) spécial « *neige de culture et développement durable* » s'est tenu le 10 décembre 2007, sous la présidence de R. Thuau, préfet du département. A cette occasion, la DDAF de la Savoie, ODIT France, l'Assemblée du Pays Tarentaise Vanoise, le SNTF, l'Institut de la Montagne et le CEMAGREF ont exposé au préfet leurs points de vue sur la question. Celui-ci retiendra les points suivants, en guise de conclusion :

- « - *Un comparatif nécessaire entre alimentation en eau potable et neige de culture, avec toutes les pondérations à prendre en compte ;*
- *Une comparaison également souhaitable avec les pratiques des pays voisins ;*
- *Des conflits d'usage potentiels que l'administration devra surveiller et prévenir ;*
- *Une influence possible sur la qualité des eaux d'un bassin versant même s'il n'y a pas d'additif à la confection de neige de culture en France;*
- *Une approche détaillée par bassin versant et secteur homogène indispensable pour une plus grande fiabilité des données;*
- *Une prise en compte du risque et de l'information du public lors de la création puis de la gestion des retenues d'altitude;*
- *Peu de risques de fuite en avant, mais un consensus nécessaire sur le développement des équipements »* (CODERST de la Savoie, 2007).

Ici encore, la question de l'eau, du point de vue qualitatif et quantitatif, semble être la préoccupation première. Celle des risques associés aux retenues d'altitude est également présente.

A l'issue de ce CODERST, les administrations savoyardes de l'équipement et de l'agriculture et de la forêt ont poursuivi la réflexion en constituant un groupe de travail « *neige de culture* », inter-services de l'Etat, Savoie et Haute-Savoie¹⁸. L'ambition de ce travail était « *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 socioéconomique) pour une aide à la décision* » (DDEA 73 et EDYTEM, 2009, p. 8). Les 8 recommandations issues de la conclusion du rapport publié à cette occasion traduisent le point de vue des administrations qui ont participé à ce travail : celles-ci considèrent que, si les prélèvements sont bel et bien réglementés, les impacts sur la ressource en eau ne sont pas à négliger ; une amélioration des connaissances quant aux conditions de réalisation de la pratique est par ailleurs souhaitée. Les administrations considèrent également que l'appréciation des projets ne peut se faire qu'au cas par cas tandis que la mise en œuvre d'une gestion plus efficiente de l'eau est nécessaire. Enfin, les conséquences du changement climatique sont à observer et à suivre.

• A un niveau scalaire supérieur, l'administration se préoccupe également de la question de la production de neige. Le Directeur Régional de l'Environnement Rhône-Alpes a par exemple présenté l'état des connaissances de son administration (la DIREN aujourd'hui DREAL) sur le sujet dans une note publiée en 2008 (affaire suivie par P. Raviol). Emanant d'une administration de l'environnement, celle-ci s'attache logiquement aux interrelations entre la production de neige et les milieux naturels.

Sans remettre en cause la pratique en elle-même, le discours insiste sur ses « *répercussions sur la ressource en eau, sur les milieux naturels, sur le paysage, sur les besoins en énergie et sur la sécurité publique lorsqu'elle induit la construction de barrages de stockage d'eau*. [Ces aménagements] *s'inscrivent de plus dans un contexte incertain de réchauffement climatique qui*

¹⁸ Le dispositif du monitorat en entreprise a permis notre mise à disposition de ce groupe de travail.

ne garantit pas que les investissements soient réellement judicieux » (De Guillebon, 2008, p. 1). En conclusion, des exigences sont énoncées, visant principalement la protection des milieux aquatiques en particulier, et la justification des projets d'enneigement au regard du changement climatique.

Finalement, la lecture des discours des différentes administrations évoquées (il faut rappeler ici qu'elles ont la charge de l'instruction des dossiers de demande d'autorisation pour les projets d'enneigement) montre que, **sans remettre en question l'importance de l'outil pour les domaines skiables, celles-ci restent néanmoins vigilantes sur la question des impacts de la production de neige, sur l'eau en particulier.**

Au niveau national : pas de faveur pour les installations d'enneigement

Entre les années 1980 et aujourd'hui, le changement de paradigme dans la considération de la production de neige par les politiques d'Etat pourrait être parfaitement illustré par une simple comparaison : celle de la photographie du Ministre du Temps Libre, A. Henry, datant de 1982 et publiée dans Aménagement et Montagne (figure 4.3), avec la Une du Dauphiné Libéré du 24 novembre 2007 rapportant l'impression de N. Kosciusko-Morizet, alors secrétaire d'Etat chargée de l'Écologie, sur la production de neige (figure 4.4). De l'intérêt porté au progrès technologique, soutien à l'économie des sports d'hiver, à une certaine « *prudence sur la neige de culture* » les temps semblent avoir changé.



Figure 4.3 : A. Henry, Ministre du Temps Libre, et la production de neige en 1982 (extrait de Aménagement et Montagne, 1982)



Figure 4.4 : N. Kosciusko-Morizet, secrétaire d'Etat chargée de l'Écologie en 2007 (Une du Dauphiné Libéré, le 24 novembre 2007)

Si nous ne possédons en réalité que trop peu d'éléments pour affirmer le soutien de l'Etat au développement des installations d'enneigement il y a 20 ans, l'interventionnisme de celui-ci dans la planification du développement des stations et du tourisme des sports d'hiver n'est plus à démontrer : les années 1960 marquent l'époque du « Plan neige » où la puissance publique oriente « *les deniers publics vers les stations privant ainsi d'autres formes de développement touristique* » (François, 2007, p. 30). H. François parle même de « doctrine neige » pour qualifier cette politique (*idem*, p. 7). Ainsi, pour avoir initié à une époque un modèle de développement touristique fondé quasi exclusivement sur le tourisme de sports d'hiver et créé de fait la dépendance de celui-ci à la ressource neige, l'Etat n'aurait-il pas sans le vouloir implicitement favorisé le développement des installations d'enneigement ? Poursuivant cette logique, la « *marche triomphale* » des installations d'enneigement (pour reprendre les termes de CIPRA, 1990, p. 42) pourrait être, du moins en partie, héritée des politiques étatiques passées en matière de développement touristique.

Quoiqu'il en soit, ces dernières années marquent une certaine prise de distance de l'Etat vis-à-vis de la production de neige. A la question d'une journaliste, lors d'une visite en Haute-Savoie en 2008, « *faut-il modérer l'ardeur des stations de sports d'hiver à se développer ?* », N. Kosciusko-Morizet répond :

« C'est le problème de toutes les stations. Les équipements doivent être dimensionnés. Concernant les canons à neige, j'ai demandé une mission d'inspection car il faudrait que l'on puisse avoir une doctrine raisonnable. Même si on n'utilise plus d'additifs, il faut toujours pomper l'eau. J'attends les propositions du conseil général du développement durable. Quoi qu'il en soit, au ministère, nous ne donnerons plus de subventions aux stations de moyenne montagne pour les seuls sports d'hiver. Elles doivent investir dans la multi-activité. Les canons à neige ne seront pas la réponse universelle aux variations d'enneigement induits par les changements climatiques. Ce ne sont pas des alibis pour se dispenser de se poser les questions de fond. Notre rôle est d'accompagner les évolutions, pas d'y échapper » (propos in Pilichowski, 2008).

Nous avons déjà largement évoqué la mission d'inspection sur la neige de culture dont il est question ci-dessus. Les principaux résultats et recommandations de celle-ci ont déjà été présentés. Des réserves sont émises, dans une certaine mesure, sur la compatibilité de la production de neige avec l'idée d'un tourisme durable (Badré *et al.*, 2009, p. 71).

Dans le résumé de son rapport, la mission en question concède que « *L'Etat n'a pas de légitimité à préconiser lui-même l'arrêt des équipements en neige de culture dans certains types de stations : le temps du «plan neige», où l'Etat décidait seul de l'avenir du tourisme hivernal en montagne, est révolu* » (Badré *et al.*, p. 8). Il n'en reste pas moins que la décision prise en 2008 par le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT) marque le peu de faveur que l'Etat accorde désormais aux installations de production de neige : en 2008, une instruction du délégué à l'aménagement du territoire est adressée aux préfets, dans le cadre de la préparation des volets interrégionaux des Contrats de Projet Etat-Région (conventions interrégionales de massif), pour le blocage des fonds du FNADT (Fonds National d'Aménagement et de Développement du Territoire) consacrés aux installations d'enneigement.

Les motifs de cette décision nous sont expliqués par le Directeur de Cabinet du Secrétariat d'Etat à l'Aménagement du Territoire¹⁹ : les ressources du FNADT étant réduites, il faut faire des choix stratégiques ; les investissements soutenus par l'Etat à travers le FNADT visent à accompagner en priorité la diversification des stations de moyenne montagne, et à favoriser l'étalement de l'offre touristique sur l'année. L'idée est de s'inscrire dans une stratégie de développement durable des

¹⁹ Courriel électronique de V. Piveteau, Directeur de Cabinet du Secrétariat d'Etat à l'Aménagement du Territoire, le 17 septembre 2008.

stations de moyenne montagne et dans ces conditions, les équipements en faveur de la production de neige ne constituent plus la cible.

Ainsi, il apparaît clairement qu’aujourd’hui les installations d’enneigement n’ont pas la faveur de l’Etat, en particulier pour ce qui est des stations de moyenne montagne. Le discours est à la diversification des activités et à la sortie d’un modèle « tout neige », perçu comme peu compatible avec les exigences environnementales et climatiques d’aujourd’hui.

Finalement, les discours de politiques publiques sur la production de neige semblent s’inverser lorsque l’on change d’échelle : entre les discours des élus communaux (proches du terrain), clairement en faveur des installations d’enneigement, et celui de l’administration d’Etat (plus éloignée du terrain), beaucoup moins favorable à ces infrastructures, la tonalité est franchement différente. Ce constat est partagé par P. Langevin *et al.* (2008) ; nous reprenons ci-dessous leur analyse en guise de conclusion de notre propos sur ce point :

*« Plus on s’éloigne du terrain, moins cette attitude [l’intérêt porté aux installations d’enneigement] est partagée. Les départements sont plus prudents quant au soutien à apporter à ces équipements (position différenciée sur ce point des départements alpins). L’Etat y est défavorable, l’Europe franchement hostile ; mais les communes continuent à demander des aides pour fabriquer de la neige de culture. La plupart des collectivités locales ne sont pas encore prêtes à entrer dans une posture de changement. La saison d’hiver et la neige, demeurent l’axe majeur des politiques touristiques territoriales du massif alpin. Dans la Région Provence- Alpes-Côte d’Azur, les départements Alpains n’ont pris de véritables mesures pour reconverter les stations les plus vulnérables en matière d’enneigement. La pression des élus reste forte pour poursuivre l’équipement des stations de moyenne montagne en enneigement artificiel » (Langevin *et al.*, 2008, p. 58).*

1.3. Les acteurs de l’eau

Dans la présentation des points de vue que nous proposons ci-dessous, nous sommes certainement loin d’être exhaustifs : la typologie des acteurs de l’eau est riche et variée (du consommateur au gestionnaire, en passant par les utilisateurs) et s’étend sur l’ensemble du territoire national... Compte tenu de notre problématique, nous n’interrogeons pas la totalité des parties en question, mais plutôt les acteurs-clés du champ de l’eau et de la production de neige. Il s’agit des représentants d’institution en charge des politiques de gestion de l’eau à différents niveaux scalaires (Agence de l’eau, animateurs d’un SAGE ou d’un contrat de rivière), d’un utilisateur particulier de l’eau, sollicité pour le partage de la ressource dont il dispose (EDF) et d’un office en charge du contrôle de la réglementation sur terrain (l’ONEMA).

1.3.1. Les institutions en charge des politiques de gestion de l’eau

• En 2002, l’Agence de l’Eau Rhône Méditerranée et Corse expliquait ne pas être trop inquiète des implications de la production de neige du point de vue de l’eau. Elle affichait néanmoins clairement sa volonté de suivre attentivement son développement :

« Si la situation actuelle ne paraît pas trop alarmante du point de vue de la ressource en eau, il faut signaler qu’elle pourrait le devenir rapidement dans le futur, du fait de la poursuite de l’expansion de l’activité de neige de culture qui est annoncée dans les prochaines années. [...] compte tenu de l’amélioration constante des performances technologiques pour la fabrication de neige de culture, l’approvisionnement en eau tend à devenir le principal facteur limitant de la production, après les conditions de température. Ceci ne fait donc que renforcer l’inquiétude qui pèse sur les ressources en eau et la nécessité de suivre attentivement l’évolution de la situation » (Dugleux, 2002, p. 7).

Aujourd'hui, une des preuves de la volonté de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse de suivre les évolutions de la pratique de l'enneigement artificiel est bien son soutien financier à nos recherches... Il est vrai que son éloignement du terrain (Charnay, 2010, p. 207) complique sa lecture de la production de neige et des impacts potentiels sur l'eau qu'elle peut occasionner.

La perception des redevances sur les prélèvements en eau est également d'importance pour les Agences de l'Eau. Elle leur permet d'initier et de financer des démarches participant à l'amélioration des connaissances et de la gestion de l'eau.

En terme de production de neige, et au cours de l'une de nos rencontres, l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, évoque la différence entre les volumes d'eau comptabilisés par ODIT France et par elle-même, pour le calcul des redevances : les chiffres annoncés par ODIT France sont toujours supérieurs aux totaux établis par l'Agence, grâce aux déclarations des prélèvements²⁰. Par cette comparaison, s'il faut tout de même tenir compte de son seuil de perception (désormais de 10 000 m³ par an et par exploitant), la volonté d'améliorer le taux de recouvrement de la redevance est exprimée.

- Le constat établi en 2002 par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse (situation non-alarmanante mais besoin de suivre les évolutions de la pratique) semble partagé par les institutions en charge des politiques de gestion de l'eau au niveau local. C'est tout d'abord le cas de la **Communauté Locale de l'Eau du Drac Amont** (CLE Drac Amont) qui publie en 2006 une « *Note : neige de culture et ressource en eau dans la vallée du Champsaur* ». Celle-ci explique que « *Sur le Champsaur, les volumes annuels prélevés pour la neige de culture restent globalement compatibles avec les besoins minimums des milieux naturels sollicités. [...] l'impact le plus notable réside peut-être dans la modification des circulations d'eau sur les réseaux hydrographiques de montagne [...]. Une seconde problématique est le prélèvement en période d'étiage sévère au risque d'assécher les cours d'eau en aval immédiat des prises [...]. Quoiqu'il en soit il convient de suivre attentivement l'évolution de cet usage et, si la production de neige de culture tend à se développer au fil du temps, le développement des capacités de stockage devra probablement suivre pour concilier et répondre à divers enjeux* » (CLE Drac Amont, 2006, p. 4).

- Sur son territoire d'intervention, la **CLE du Drac et de la Romanche** dresse quasiment le même constat. Celle-ci explique en effet en 2008 que « *la relative modestie des volumes sollicités à l'échelle des ressources de Drac – Romanche [...] renvoie à une analyse locale des impacts au titre des autorisations de prélèvements. Faibles à l'échelle du bassin versant du Drac et de la Romanche, ces prélèvements peuvent avoir des impacts forts voire très forts localement dans le milieu montagnard très fragile [...]. Cependant, devant leur localisation [...] et devant les nombreux projets à venir [...], une vision par massif doit être élaborée* » (CLE Drac Romanche, 2008, p. 7). Cette vision par massif plébiscitée se traduit par la réalisation (en cours) d'un « *Schéma de conciliation de la neige de culture avec la ressource et les milieux et avec les autres usages* ». Ses objectifs principaux sont l'amélioration des connaissances sur les prélèvements en eau réalisés ainsi que sur leurs impacts, et la planification dans le temps des projets d'enneigement, station par station.

²⁰ Constatation également faite par DDEA 73 et EDYTEM (2009, p. 11).

• La relativisation des prélèvements en eau que nécessitent la production de neige d'un côté et le besoin d'étude localisée de l'autre sont également deux éléments qui ressortent du discours de l'animatrice du **contrat de rivière « Isère en Tarentaise »**. G. Langlois rapporte en ces termes son entretien :

« Au travers de ce discours, la neige de culture est considérée comme n'étant pas un énorme problème, même si des tensions à l'échelle locale peuvent survenir. La nécessité d'une réflexion par les acteurs, de combler le manque de données et d'analyser les situations à échelle fine est pointée. La responsabilité des exploitants quant au prélèvement est également avancée » (Langlois, 2010, p. 20).

Le « *Bilan quantitatif de la ressource en eau sur le bassin versant de l'Isère en amont d'Albertville* » (APTV, 2008 ; photo 4.7), réalisé dans le cadre de la préparation du contrat de rivière en question, a affectivement montré que les prélèvements pour la production de neige ne représentaient pas un volume significatif sur l'année, à l'échelle de ce grand bassin versant ; il est cependant relevé que des insuffisances quantitatives sur la ressource en eau sont possibles, localement et en période d'étiage.



Photo 4.7 : Le Doron de Bozel, affluent de l'Isère, en amont de Moûtiers (Savoie) (cliché : P. Paccard, le 10/01/2010). *Le bilan quantitatif de la ressource en eau sur le bassin versant de l'Isère en amont d'Albertville s'est attaché à évaluer la part des prélèvements de chaque usage de l'eau au regard de la ressource théoriquement disponible. En matière de neige de culture, cette étude a montré qu'elle ne représentait pas un volume significatif au pas de temps annuel et sur l'ensemble du bassin versant. Des déséquilibres peuvent néanmoins survenir à une échelle plus fine (petit cours d'eau) et en période d'étiage.*

Finalement, les discours sur la production de neige de l'ensemble des institutions en charge des politiques de gestion de l'eau que nous avons identifiées ci-dessus, se recourent. Toutes expliquent le poids relativement modeste des volumes d'eau en jeu pour la production de neige à l'échelle d'un grand bassin de montagne. Elles insistent cependant sur les impacts locaux importants qu'ils peuvent générer. Elles expriment par ailleurs leur besoin d'une amélioration des connaissances quant aux modes de réalisation de la pratique et des conséquences sur l'eau, à une échelle fine.

1.3.2. Un utilisateur particulier de l'eau : Electricité De France et l'enjeu économique de la production de neige

Le « *Bilan quantitatif de la ressource en eau sur le bassin versant de l'Isère en amont d'Albertville* » dont nous venons de faire mention explique que « *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* » (APTV, 2008, p. 90).

Le positionnement d'EDF vis-à-vis de la production de neige nous est expliqué par deux de ses responsables sur la vallée de la Tarentaise, C. Tarversier et T. Gras²¹, essentiellement sur la base de la réglementation des concessions hydroélectriques. Deux cas de figure peuvent se présenter.

Le premier est celui du cahier des charges des concessions hydroélectriques (article 49 ou 50 selon les cas) qui 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. Le concessionnaire (EDF en l'occurrence) ne peut dans ce cas élever aucune réclamation. **En montagne, il est admis que la production de neige puisse prétendre à une partie de ce volume, défini dans le cahier des charges d'une concession hydroélectrique.**

Outre ce volume, **EDF tolère la distraction d'une partie de l'eau initialement réservée à la production d'hydroélectricité pour un autre usage, par exemple la production de neige, à condition que les volumes dérivés restent marginaux**, et que ce prélèvement ne dégrade pas la sûreté de l'aménagement hydroélectrique. C'est le second cas de figure possible. Dans cette situation, EDF doit être systématiquement indemnisée pour le préjudice occasionné (indemnisation de perte d'usage). L'estimation de la perte de production est fonction de la hauteur de la chute d'eau puisque la quantité d'énergie produite dépend de celle-ci. La valorisation de cette perte de production, variable selon les cas, est aujourd'hui d'environ 20 à 30 centimes d'euro par m³ d'eau prélevé.

Les prélèvements dans les concessions hydroélectriques doivent non seulement être marginaux et indemnisés mais ils doivent être également autorisés par l'Etat (la DREAL, anciennement la DRIRE, de la région concernée), puisque l'usage initial est détourné.

Pour nos interlocuteurs, EDF est un acteur important de l'eau sur les territoires qui est prêt à trouver des **solutions pour un partage équilibré de la ressource et du territoire. Les prélèvements pour la production de neige, tolérés et indemnisés dans les aménagements hydroélectriques dont EDF a la charge**, en sont la preuve.

²¹ Le 08 septembre 2009 dans les locaux du Groupement d'Exploitation Hydraulique Savoie Mt-Blanc à Albertville (Savoie).

1.3.3. Le contrôle sur le terrain : l'ONEMA veille aux impacts hydrologiques de la production de neige

L'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) est un établissement public à caractère administratif, sous tutelle du ministère chargé de l'environnement. Parmi ses activités figure une mission de police et de contrôle des installations de prélèvement sur le terrain, pour faire respecter les prescriptions réglementaires à tous les usages de l'eau.

A l'occasion d'une réunion organisée sur le thème de la production de neige, les services départementaux de Savoie et de Haute-Savoie, ainsi qu'un représentant de la délégation régionale Rhône-Alpes, ont présenté l'état de leurs connaissances sur le sujet et leur avis, assez critique, sur la question²².

Ils insistent tout d'abord sur les impacts des prélèvements réalisés. « Certes, l'eau utilisée pour la fabrication de neige retourne au milieu naturel à la fonte des neiges. Cependant il y a souvent transfert de bassin versant et la restitution ne se fait pas au « bon moment » car au printemps, au moment des crues » (ONEMA, 2008, p. 3). Les difficultés du contrôle des installations existantes sont ensuite expliquées, « du fait des conditions d'accès limitées par la neige, notamment en Savoie » (*idem*). L'ONEMA semble ensuite regretter qu'« en matière de projets, il n'est jamais constaté de rejet de la part de la Préfecture, même dans les cas de démarrage illicite de travaux (une régularisation est alors demandée) » (*ibid.*, p. 4).

L'ONEMA déplore les impacts engendrés sur les milieux aquatiques par l'enneigement de la plus grande partie des domaines skiables et la multiplication des projets de stockage : « On ne fait qu'accompagner la destruction des milieux » explique l'un de ses représentants. Néanmoins, des progrès sont constatés, à la fois dans les méthodes d'instruction des dossiers mais également dans la conception des ouvrages permettant la production de neige. Globalement, cet usage ne ferait pas craindre de danger de pénurie en eau, sauf si « tout le monde ouvre les robinets en même temps » (*ibid.*).

Le ton de l'ONEMA est ainsi critique sur la question de l'enneigement artificiel. En charge du contrôle des installations sur le terrain, il regrette dans son discours les impacts sur les milieux aquatiques, impacts constatés sur le terrain.

Dans une certaine mesure, le discours de l'ONEMA se rapproche de celui de quelques associations de protection de l'environnement, auquel nous souhaitons désormais nous attacher.

1.4. Les associations d'usagers de la montagne et de protection de l'environnement : un ton critique sur la pratique

Par leur nombre important d'adhérents, la voix des associations d'usagers de la montagne et de protection de l'environnement porte et compte dans les débats sur la production de neige. Elle alimente ces débats par de régulières prises de position, sous la forme de publications, communiqués, tables-rondes, etc... Hormis Mountain Riders dont le positionnement est particulier, le discours de ces associations est particulièrement critique sur cette pratique.

²² Le 30 octobre 2008 dans les locaux du Service Départemental de la Savoie à Chambéry (Savoie). Cette réunion a motivé la rédaction, par la délégation régionale de l'ONEMA, d'une note d'information sur le thème de la production de neige diffusée aux différents personnels de cette institution (ONEMA, 2008).

1.4.1. Les associations d'usagers de la montagne

Mountain Riders : un positionnement particulier

Mountain Riders est une association d'éducation, de recherche et de sensibilisation sur le développement durable en stations de montagne. Elle revendique une position d'interface entre les opérateurs de domaines skiables, les collectivités de montagne, les usagers des stations et les associations de protection de l'environnement²³. De ce positionnement découle **une volonté de ne pas prendre partie dans les débats sur la production de neige**. G. Langlois résume ainsi un entretien réalisé auprès d'un des responsables de l'association :

« L'association ne prend pas partie concernant la neige de culture, préférant faire discuter les acteurs sur des sujets qu'ils jugent prioritaires et sur lesquels ils sont d'accord. Le discours se place donc dans un microcontexte : celui de la position de l'association, intermédiaire entre deux parties opposées. Cette position provient du macro-contexte : celui de la situation de la neige de culture, objet de débats et d'oppositions, qui questionne sur l'avenir du tourisme hivernal en montagne. Le discours s'inscrit fortement à une échelle générale, replaçant la neige de culture dans son contexte (par rapport aux autres activités impactantes en stations de sports d'hiver) et celui du développement – durable – des territoires de montagne » (Langlois, 2010, p. 17).

Ce non-positionnement, ou ce positionnement neutre, vis-à-vis de la production de neige, se retrouve dans deux documents dont l'association est l'auteur. Le premier est la récente page Internet (10/2009) consacrée à la production de neige sur le site de l'association : elle n'est en réalité qu'un résumé du rapport « *Neige de culture* » du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (Badré *et al.*, 2009) ; elle renvoie rapidement à sa lecture, sans porter de commentaire, ni dans un sens, ni dans l'autre.

Le second est « *L'éco guide des stations de montagne* » que publie chaque année Mountain Riders pour mettre en valeur les initiatives prises par les stations en matière de protection de l'environnement. Dans celui-ci et pour chaque station, d'un côté la proportion du domaine skiable équipée de canons à neige est annoncée et de l'autre côté les engagements dans le domaine de l'eau sont présentés (station d'épuration, récupération de l'eau de pluie, etc.). Si ces deux éléments ne sont pas contradictoires, ils sont souvent présentés comme tels. Leur rapprochement dans « *L'éco guide* » témoigne de la prise de distance de l'association vis-à-vis de la problématique de l'enneigement.

La volonté de Mountain Riders de ne pas prendre partie dans le débat sur la production de neige est ainsi explicite.

La FFCAM (Club Alpin Français) : fédération sportive hostile à la production de neige

La Fédération Française des Club Alpins et de Montagne (FFCAM) est une importante fédération d'associations d'usagers de la montagne, centrée sur la pratique des sports de montagne. Elle regroupe notamment l'ensemble des Clubs Alpins Français (CAF) et édite la revue « *la Montagne et Alpinisme* », dont un article complet traitait de l'enneigement artificiel en 2003 (*op. cit.*, Lardreau, 2003).

²³

A ce titre, Mountain Riders a contribué à la « Charte nationale en faveur du développement durable dans les stations de montagne » au côté de l'ANMSM (ANMSM, 2008).

Dans sa « Charte Montagne », adoptée en janvier 2010 lors de l'Assemblée Générale de Grenoble²⁴, la FFCAM présente 12 menaces qui pèsent sur les milieux montagnards. La quatrième est « *Le développement des installations d'enneigement artificiel qui altèrent le paysage à travers le remodelage des pistes et la création de retenues collinaires, avec le risque d'entraîner une pénurie d'eau* » (FFCAM, 2010, p. 3). Forte de ce constat, la FFCAM propose dans le développement de sa charte la « *soumission à une étude d'impact de tout projet d'enneigement artificiel* » (*idem*, p. 6). Le ton n'est ici pas très virulent.

À l'inverse, la critique est beaucoup plus vive dans le « *Manuel de la Montagne* » édité par le Club Alpin en 2004, ouvrage de référence en matière de techniques d'alpinisme et plus généralement de sports de montagne. Une page est effectivement consacrée à la production de neige en ces termes :

« Les aléas climatiques et les difficultés des stations de moyenne montagne ont fini par imposer la pratique de l'enneigement artificiel, qui nous vient d'Amérique et que tous les pays européens ont adoptée. En France, une véritable artillerie veille pour sauver l'honneur des sites où la neige risque de faire défaut. Quelque 6 000 « canons » sont implantés dans 186 stations et arrosent environ 15 % des domaines skiables, essentiellement dans les Alpes du Nord. Le comble est atteint lorsqu'une station de Savoie veut ainsi équiper ... un glacier [...]. La consommation d'eau en période d'étiage et alors que la population des stations est à son maximum commence à poser de sérieux problèmes. L'alimentation en eau potable, et la qualité de celle-ci sont parfois compromises. La multiplication de bassins de rétention de plus en plus importants n'est qu'une contribution supplémentaire à l'enlaidissement du paysage estival. Les besoins en énergie, les nuisances sonores et esthétiques de ces engins ajoutent à la facture. L'impact sur les cycles de végétation et l'évolution de celle-ci est en débat, mais probablement pas négligeable... » (CAF, 2004, p. 95).

Le discours de la FFCAM est donc globalement hostile à la production de neige. Celle-ci insiste sur les impacts paysagers de ces infrastructures et sur les impacts environnementaux de la production de neige, en particulier sur l'eau puisque l'alimentation en eau potable des populations serait, selon elle, mise en péril.

1.4.2. Les associations de protection de l'environnement, individuellement : une pratique clairement inopportune

La FRAPNA

La FRAPNA, Fédération Rhône-Alpes de Protection de la Nature, est une association de protection de l'environnement. Non spécialisée sur les territoires de montagne, elle intervient sur l'ensemble du territoire rhône-alpin. La problématique de la gestion et de la protection de l'eau fait partie de son domaine d'intervention. À ce titre et d'autres, cette association intervient fréquemment sur la question de l'enneigement artificiel pour en **dénoncer les impacts environnementaux**.

Dans un document publié en 2007, « *La biodiversité en Rhône Alpes* », la FRAPNA détaille 88 propositions, traduction concrète de l'objectif affiché de ce travail : « *définir les priorités aptes à préserver la biodiversité de notre région en s'inscrivant dans une politique prenant en compte les enjeux d'un réel Développement Durable* » (FRAPNA, 2007, p. 4). La thématique de la production de neige trouve une large place à l'intérieur de celui-ci ; les formulations employées traduisent la position de cette association en la matière. Deux principaux champs font référence à l'enneigement artificiel : celui de l'eau et celui de l'aménagement touristique.

²⁴ À cette occasion et une fois de plus, les mots ont fait débat : un agriculteur de montagne, en référence à ses propres cultures agricoles, s'est publiquement élevé contre l'emploi du terme « culture » pour qualifier la neige de production...

• En introduction d'une section consacrée à l'eau, on retrouve l'idée du conflit entre les différents usages, dont la production de neige : « *nombre de conflits d'usage, [...] pour sa disponibilité entre les différentes catégories de consommateurs [...] ou pour les usages de production d'électricité, de fabrication de neige artificielle, de loisirs...* » (idem, p. 188). En réponse à ces pressions sur l'eau, la proposition n°49 « *Partager l'eau entre les usagers et la nature* » invite à « *définir un seuil limite à la multiplication des retenues collinaires (en nombre et en taille)* » pour « *prévenir les effets négatifs sur les écosystèmes situés en aval* » (ibid., p. 197). Toujours en matière d'eau, la proposition n°50 « *Connaître les ressources que nous exploitons* » explique le besoin de « *faire un bilan de la ressource avant tout prélèvement pour la production de neige artificielle* ». C'est l'occasion pour l'association d'affirmer formellement : « *Nous ne soutenons pas cette politique de développement de neige de culture [...], et rappelons que ces installations n'ont pas vocation à recouvrir l'ensemble d'un domaine skiable* » (ibid., p. 199).

• La production de neige se retrouve également dans une autre section de ce document, consacrée au tourisme et aux sports de nature. L'introduction de celle-ci explique en effet que « *L'industrie du ski est dispendieuse en espace et en énergie (canons à neige, remontées mécaniques...)* » (ibid., p. 210). Après avoir présenté les impacts du changement climatique sur l'économie des sports d'hiver (en s'appuyant sur OCDE, 2007), la FRAPNA explique observer de façon paradoxale une « *hausse substantielle, et relativement constante depuis 2001, des investissements, notamment au travers des travaux de création de remontées mécaniques et d'installations d'infrastructures liées à la production de neige artificielle* » (ibid., p. 211). D'après ce constat, l'association, dans sa proposition n°62 « *Préparer, accompagner la réduction inévitable de l'activité touristique d'hiver* », défend la nécessité d'« *assumer ou [de] poursuivre la diversification ou/et la reconversion des stations de sports d'hiver* » et précise que « *l'arrêt de l'artificialisation est un enjeu majeur. Il passe en priorité par le renoncement complet à l'extension et à l'interconnexion des stations de sports d'hiver, l'interruption définitive de l'équipement d'enneigement artificiel* » (ibid., p. 215).

En fait, tous les points concernant l'enneigement artificiel développés dans ce document se retrouvent également dans une note de l'association à propos des « *Retenues collinaires* ». Celle-ci ne traite pas spécifiquement des ouvrages destinés à la production de neige mais s'y intéresse néanmoins. On retrouve les thématique de l'eau, du changement climatique et de la reconversion des stations dans les quelques lignes suivantes :

« Cet équilibre [adéquation ressource / besoin] est rendu problématique par le changement climatique, et l'on s'attend à voir l'impact de ces retenues s'accroître à la mesure des déficits de précipitations. La fabrication de la neige artificielle pose d'autres questions, telle l'adjonction d'adjuvant de fabrication. D'autres modèles de développement pour les stations de moyenne altitude que le « tout ski » devraient être davantage promus, au lieu de la simple poursuite du modèle dominant et des perturbations sur le cycle de l'eau qui l'accompagne » (FRAPNA, 2007, p. 4).

Les vives critiques adressées aux installations d'enneigement quant aux prélèvements en eau qu'elles nécessitent et au devenir du tourisme des sports d'hiver sont les principaux éléments du discours de la FRAPNA qui se positionne globalement contre le développement de la production de neige. Cependant, plusieurs permanents de l'association en charge des questions relatives à la montagne et à l'eau nuancent quelque peu cette position. En conclusion d'un dossier de la Lettre eau n°37 de France Nature Environnement qu'ils consacrent à la neige

artificielle, ils expliquent en effet :

« Globalement, l'impact de l'enneigement artificiel est faible par rapport à d'autres usages, mais il ajoute une consommation énergétique supplémentaire non négligeable. Par contre, localement, les risques et les impacts sur les débits et sur les zones humides peuvent être importants. En conséquence, le développement des enneigeurs ne doit plus être mené de façon anarchique, au coup par coup, sans tenir compte des effets cumulatifs mais doit être accompagné d'une vision globale durable, dans le respect maximal des milieux naturels et de l'alimentation en eau des communes » (Pulou et al., 2006, p. 15).

L'impact de la production de neige est ici relativisé par rapport à d'autres usages, tandis que les auteurs insistent sur l'idée d'une gestion globale et durable de l'eau.

La CIPRA : un discours critique d'envergure internationale

La Commission Internationale pour la Protection des Alpes (CIPRA) est une Organisation Non Gouvernementale engagée en faveur d'un développement durable de l'espace alpin. Elle accompagne la mise en œuvre de la Convention Alpine et cherche, selon ses propres termes, à concilier les intérêts économiques, écologiques et sociaux de ces territoires. Une représentation internationale fédère des délégations nationales, dont CIPRA France. CIPRA International et CIPRA France **critiquent régulièrement la pratique de l'enneigement artificiel.**

En 1990, CIPRA International publie un document complet intitulé « *Enneigement artificiel et conflits d'intérêt* ». Dans celui-ci, qui reste malgré tout d'actualité pour certaines de ces observations, l'organisation explique tout d'abord les principes de production de neige, avant de décrire les impacts directs de la pratique sur l'eau, la végétation et la faune (bruit des installations). En termes d'impacts indirects, c'est principalement la contribution de la production de neige « à l'accélération du cercle vicieux du tourisme » (CIPRA, 1990, p. 23) qui est décriée. Après avoir précisément détaillé les textes de lois en vigueur dans tous les pays de l'arc alpin et expliqué la tendance au développement rapide de ces installations, la CIPRA prend explicitement position contre l'enneigement artificiel généralisé des domaines skiables :

« Par souci de la nature et de notre environnement, mais aussi pour le maintien à long terme d'un tourisme sain et durable, il est demandé à tous les décideurs de n'autoriser aucune installation de neige artificielle couvrant de grandes surfaces. Les canons à neige ne peuvent être autorisés que pour l'enneigement de points exposés et/ou dangereux. En outre, tout projet d'équipement d'enneigement artificiel doit être soumis à une étude d'impact sur l'environnement. Une installation d'enneigement artificiel doit être formellement interdite :

- Si elle doit être établie au-dessus de la limite naturelle de la forêt (Alpes orientales 1600 m (externes) - 2000 m (internes). Alpes occidentales - 1800 m (externes) - 2200 m (internes))
- Si elle doit desservir des surfaces contenant des associations végétales naturelles ou proches de l'état naturel, ou des zones humides ;
- Si elle est destinée à de grandes surfaces, c'est à dire plus de 5 hectares par domaine skiable (enneigement des seuls endroits exposés et dangereux) ;
- S'il s'agit d'une installation à haute pression... » (Broggi et Willi, 1990, p. 50 et 51).

En 2004, CIPRA International réalise un rapport de synthèse sur « *L'enneigement artificiel dans l'arc alpin* ». La dimension internationale de celui-ci est intéressante puisqu'il permet la comparaison, chiffres à l'appui, entre les différents pays concernés. On retrouve néanmoins la plupart des éléments déjà développés une dizaine d'années auparavant : principes de production,

impacts de la pratique sur l'eau, la flore, la faune et les paysages, perspective de développement des installations. Le ton est critique.

La vraie nouveauté de ce document réside dans sa dernière partie, consacrée au changement climatique. Pour la CIPRA, les perspectives prévisibles en la matière remettent non seulement en cause les politiques de développement des installations d'enneigement mais également, et plus largement, le devenir des sports d'hiver :

« Il est incohérent de justifier la mise en exploitation de la haute montagne et la construction d'installations d'enneigement artificiel par l'argument des changements climatiques – imminents ou réels –, tout en restant fermement attachés au tourisme hivernal traditionnel (et en minimisant voire ignorant le réchauffement climatique). Le changement climatique accroît le risque de voir les mutations structurelles qui s'imposent au secteur des remontées mécaniques se solder par une concurrence ruineuse » (Hahn, 2004, p. 15 et 16).

Depuis la publication de ce rapport en 2004, d'autres articles sur la thématique de l'enneigement artificiel sont régulièrement publiés par la CIPRA. **La question des impacts environnementaux et de la nécessaire reconversion des stations vers une autre forme de tourisme que le seul tourisme de sports d'hiver en constitue toujours les éléments clés.** On peut citer par exemple :

- « *Quel avenir pour les stations de sports d'hiver dans les Alpes ? - Stratégies et alternatives pour le tourisme d'hiver* », par D. Di Simine (2006) ;
- « *Des canons à neige contre le réchauffement climatique - L'enneigement artificiel et ses conséquences* », par CIPRA International (2006).

Mountain Wilderness : « Enneigement artificiel – Eau secours ! »

Mountain Wilderness est une association militante pour la protection de l'environnement en montagne. Parmi les projets développés, l'aménagement de la montagne et des stations de sports d'hiver fait partie des problématiques sur lesquelles l'association travaille. Elle affiche régulièrement **son opposition à la pratique de l'enneigement artificiel.**

De l'ensemble des documents critiques sur la pratique de l'enneigement artificiel émanant d'associations de protection de l'environnement, le document publié en 2005 par Mountain Wilderness (avec le soutien du Conseil Général de l'Isère, de la région PACA et de la Région Rhône-Alpes) est certainement le plus connu. Le titre accrocheur de celui-ci, « *Enneigement artificiel – Eau secours !* », en donne rapidement la tonalité. Il contraste dans tous les cas fortement avec les intitulés (parfois presque lyriques) des documents émanant des opérateurs de domaine skiables. A notre connaissance, il semble être en France la première critique spécifique à l'égard de l'enneigement artificiel ouvertement formulée et spécialement publiée dans cet objectif. L'introduction de celui-ci en résume les grandes lignes :

« L'enneigement artificiel, lié au phénomène de réchauffement climatique, est devenu en quelques années la réponse miracle aux difficultés de nos stations. Les inconvénients environnementaux ne font évidemment pas le poids face aux arguments économiques de "l'assurance neige". Le "marketing" qui semble commander aux stratégies des stations vaut tant pour le kilométrage de pistes offert par une station que pour la surface de pistes enneigées artificiellement. La neige artificielle, c'est la belle pour qui rien ne semble trop beau » (Mountain Wilderness, 2005, p. 2).

En termes d'impacts environnementaux, l'association insiste sur la consommation en eau démesurée (on ne parle pas ici de « prélèvements » mais bien de « consommation », ce qui est lourd de sens) des installations d'enneigement : « 10 millions de m³ d'eau ont été consommés en 1999/2000 pour fabriquer de la neige artificielle, soit l'équivalent de la consommation annuelle d'une ville de 170 mille habitants (la taille de Grenoble !) » (*idem*, p. 4). Au-delà de ce simple constat, le document insiste sur la problématique du conflit d'usage entre la production de neige et l'eau potable :

*Des conflits d'usage autour de « l'or bleu ». La consommation en eau est telle que se posent parfois des problèmes d'approvisionnement en eau potable [...]. En 2001, une commune de la Haute-Savoie avait vu la dégradation de la qualité de ses eaux, à la suite de quoi les prélèvements pour enneigement avaient dû être stoppés [...]. A Chamrousse, un projet de retenue collinaire a été bloqué : il aurait privé d'eau les communes de piémont... » (*ibid.*, p. 3).*

La question des impacts des prélèvements sur l'eau n'est pas la seule à être relevée par Mountain Wilderness : la consommation énergétique importante des installations au moment même des besoins de pointe, les nuisances sonores dues au fonctionnement des canons à neige (et le dérangement probable de la faune associé), les impacts paysagers de l'ensemble des infrastructures (photo 4.8) ainsi que les risques environnementaux liés à l'utilisation d'adjuvants figurent également parmi les vives critiques développées à l'égard de l'enneigement artificiel.

Du point de vue de l'aménagement de la montagne, les équipements de production de neige sont présentés comme une réponse parfaitement inadaptée aux perspectives du changement climatique. La diversification des activités des stations de moyenne montagne, voire l'abandon du ski alpin pour certains sites, est évoquée alors que les politiques d'équipement en canons à neige sont qualifiées de véritable « fuite en avant ».

Enfin, après avoir décrit la législation à laquelle sont soumises les installations d'enneigement, Mountain Wilderness semble déplorer le manque de réglementation spécifique à la pratique. Dans tous les cas, l'association insiste sur les difficultés de contrôle de celle-ci : « Cette réglementation n'est cependant pas bien respectée ; les instances en charge du contrôle rencontrent des difficultés à assurer le contrôle par manque de personnel » (*ibid.*, p. 5). L'ONEMA nous a effectivement fait part de ces difficultés de contrôle mais pour des raisons d'accessibilité aux installations en période hivernale.

Photo 4.8 : Enneigeurs dans le paysage estival de la station de Saint François Longchamp (Savoie) (cliché : P. Paccard, le 04/07/2009)



1.4.3. Les associations de protection de l'environnement, collectivement

Au mois de décembre 2006, la CIPRA France, la FFCAM, la FRAPNA et Mountain Wilderness publient collectivement un communiqué visant à réaffirmer leur positionnement vis-à-vis de cette problématique (on peut noter que, logiquement, Mountain Riders ne s'est pas associé à celui-ci). **Ce document démontre leur convergence d'opinions sur le sujet** et reprend l'ensemble des critiques qu'elles formulent de façon individuelle sur l'enneigement artificiel : impacts sur les paysages et la biodiversité (écosystèmes, faune et flore). De façon explicite, elles avancent en termes de conséquences pour les populations humaines des « *conflits d'usage entre l'enneigement artificiel et l'approvisionnement des populations en eau potable* » (CIPRA et al., 2006, p. 1). Malgré un ton très critique à l'égard de la production de neige, ce collectif ne demande pas son abandon, ni même celui des projets en cours mais propose 10 mesures visant à régir plus strictement la pratique. La plupart de ces mesures ont trait à l'eau, dont les 5 suivantes :

- « - Interdire les constructions de retenues sur des zones à intérêt naturel, notamment les zones humides [...].
 - Interdire le prélèvement direct sur le réseau d'eau potable à l'échéance 2012.
 - Interdire définitivement l'utilisation d'adjuvants dans l'eau.
 - Réajuster les débits réservés pour les torrents et sources.
 - Conditionner l'autorisation de création de réserves collinaires à leur parfaite intégration au site.
 - Rechercher l'économie des ressources en eau et en énergie sur l'ensemble du fonctionnement de la station. »
- (CIPRA et al., 2006, p. 2).

La production de neige est donc considérée par l'ensemble des associations de protection de l'environnement comme une pratique impactant fortement les milieux naturels. Celles-ci souhaitent une réglementation plus contraignante pour un encadrement plus strict de la production de neige, considérée comme une solution généralisée mais de court terme pour faire face au changement climatique en cours. Simple palliatif, c'est l'ensemble du modèle de développement des stations qui, pour ces associations, est à renouveler.

Après avoir présenté de façon analytique les discours des différents acteurs gravitant autour de la question de la production de neige, nous présentons leurs divergences de points de vue sur le sujet. Nous montrerons ensuite que de ces divergences de points de vue peuvent naître, dans certains cas, des conflits.

2. LA DIMENSION DU CONFLIT

2.1. De franches divergences de points de vue

2.1.1. Sur la question des impacts environnementaux

Pour les exploitants, dont le discours est relayé par le SNTF, les impacts de la production de neige sont minimes et les débats, à ce sujet, injustifiés. Les prélèvements en eau sont temporaires et ne privent d'aucune manière les milieux ou territoires aval puisque toute l'eau prélevée retourne à la nature à la fonte des neiges.

Globalement, le discours des élus communaux se rapproche de ce point de vue : les prélèvements en eau ne constituent qu'une fraction négligeable de l'eau disponible en montagne. En outre, du fait de l'augmentation des capacités de stockage (retenues d'altitude), les milieux naturels et la distribution d'eau potable ne s'en trouvent pas affectés.

Les associations de protection de l'environnement ne partagent pas du tout cette analyse. Les impacts environnementaux de la production de neige constituent une part importante de leur discours. Cette question les fédère : toutes dénoncent les pressions sur l'eau des prélèvements pour la production de neige. Elles avancent des conflits d'usage entre la production de neige et l'alimentation en eau des populations. Plus largement, la production de neige est considérée comme une pratique très impactante pour les milieux faunistiques et floristiques montagnards. Les retenues d'altitude font également l'objet de vives critiques, notamment quant à leur implantation sur des zones humides, écosystèmes fragiles qu'il conviendrait au contraire de protéger. S'il relativise tout de même le poids des prélèvements en eau, le point de vue de l'ONEMA se rapproche de celui des associations sur cette question des impacts.

Pour l'Administration d'Etat, sans remettre en cause la pertinence de la pratique, elle affiche sa vigilance quant au développement des installations de production de neige en rappelant régulièrement les précautions à respecter pour limiter les impacts de la pratique sur les milieux.

Sur la question des impacts, le discours des institutions en charge des politiques de gestion de l'eau se rapproche de celui de l'Administration. Elles relativisent les prélèvements réalisés au regard des ressources disponibles à l'échelle d'un grand bassin versant et des autres usages de l'eau. Elles envisagent néanmoins des tensions possibles à une échelle locale ; la problématique doit ainsi être envisagée à une échelle fine, au cas par cas, le plus proche du terrain possible.

2.1.2. Sur la question de la réglementation

Pour les opérateurs de domaines skiables, la pratique est parfaitement règlementée et encadrée. Celle-ci est même parfois présentée comme très contraignante : un véritable arsenal législatif et réglementaire. Le détail de la législation en vigueur est d'ailleurs utilisé comme élément d'argumentaire pour justifier le peu d'impact de la pratique sur les milieux naturels.

Une fois de plus, les élus communaux et leurs représentations associatives se positionnent dans cette logique : la réglementation actuelle est bien suffisante. Leur opposition à une évolution législative en la matière se retrouve d'ailleurs dans le discours tenu à la mission d'inspection sur la neige de culture et dans la motion prononcée à l'encontre de la DTA des Alpes du Nord : ils communiquent leur opposition à un encadrement plus strict de la pratique.

A l'inverse, pour les associations de protection de l'environnement, la production de neige n'est pas suffisamment réglementée, encadrée et contrôlée. Celle-ci propose une réglementation plus contraignante et une meilleure prise en compte de cet usage de l'eau dans les documents de planification de la gestion de l'eau. La difficulté du contrôle des installations est avancée pour expliquer que la réglementation n'est peut être pas toujours respectée. Les difficiles conditions d'accès aux installations de prélèvements sont effectivement un des éléments du discours de l'ONEMA.

L'administration locale rappelle quant à elle la réglementation en vigueur, soucieuse de son application. Celle-ci n'est néanmoins pas remise en cause et semble être perçue comme suffisante. Il est cependant nécessaire d'affiner les connaissances, de suivre l'évolution des prélèvements et d'intégrer la production de neige dans une politique globale de la gestion de l'eau en montagne.

Là encore, le point de vue des gestionnaires institutionnels de l'eau converge avec celui de l'administration. Tous insistent moins sur la réglementation en vigueur que sur la nécessité d'améliorer les connaissances sur les modes de réalisation de la pratique, en particulier sur leur propre territoire d'intervention.

2.1.3. Sur la question du modèle de développement touristique

Pour les opérateurs de domaines skiables comme pour les élus des communes supports de station, la production de neige est une pièce maîtresse de l'économie touristique hivernale. Utilisée de façon raisonnée et dans un souci de préservation de l'environnement, elle permet de se prémunir de l'aléa météorologique et de garantir la compétitivité des territoires. Elle est un outil stratégique pour sécuriser l'industrie des sports d'hiver (enneigement aléatoire en début et fin de saison) et pour assurer le développement socio-économique des territoires de montagne.

Pour ce qui est de la question du changement climatique, le discours est ambigu. D'un côté, la production de neige ne serait pas « *une parade* », sur le long terme, au changement climatique mais plutôt un outil pour se prémunir des aléas météorologiques interannuels. D'un autre côté, le changement climatique est invoqué lorsqu'il s'agit de justifier de nouveaux projets d'équipement (Badré *et al.*, p. 46)²⁵. Quoi qu'il en soit, les investissements réalisés sont considérés comme rentables au regard des perspectives du changement climatique et de la possible raréfaction de la ressource neige à venir.

Pour les opérateurs de domaines skiables comme pour les élus communaux, il n'existe pas par ailleurs de modèle alternatif aussi performant que le tourisme des sports d'hiver ; la question de la diversification des activités est complexe et difficile.

Les départements et régions sont plus prudents. S'ils laissent la possibilité, selon les cas, d'un soutien au développement des installations d'enneigement, ils insistent néanmoins sur leur politique de diversification des activités dans les stations de moyenne montagne. Cette préoccupation est également celle de l'Etat qui semble insister dans le sens de la mutation nécessaire du modèle « tout neige », en particulier pour les stations de moyenne montagne.

²⁵

C'est notamment le cas de la réponse d'un opérateur de domaine skiable de Vanoise (Savoie) à la question d'un commissaire enquêteur, quant à la pertinence du projet présenté au regard de l'évolution de l'enneigement : la diminution des hauteurs de neige mesurées par Météo-France au Col de Porte en Chartreuse (Isère) depuis 1960 – graphique désormais utilisé de façon presque symbolique pour montrer les conséquences du réchauffement climatique sur la ressource neige dans les Alpes françaises – est alors avancée par l'opérateur pour justifier son projet.

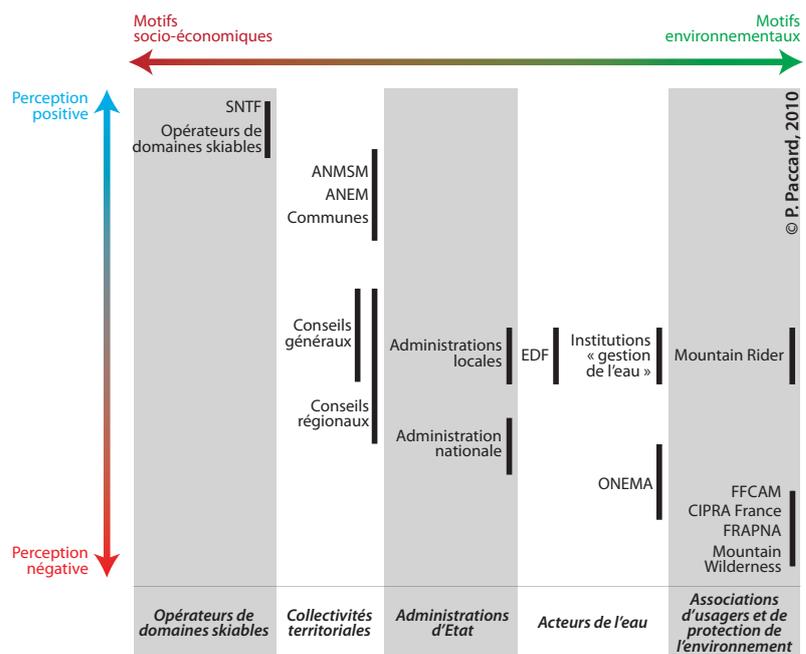
L'intérêt porté aux installations d'enneigement semble s'inverser entre le point de vue des opérateurs et des élus communaux d'un côté, et celui de l'administration d'Etat de l'autre : du « *plaidoyer pour la neige de culture* » (Camier, 2007) à l'échelle locale²⁶, à la « *prudence sur la neige de culture* » (Le Dauphiné Libéré, 24 novembre 2007) à l'échelle nationale.

Une fois de plus, le point de vue des associations de protection de l'environnement est radicalement opposé à celui des opérateurs et des élus communaux. L'enneigement artificiel est une pratique généralisée, détournée de sa fonction principale (pallier les déficits ponctuels de neige) et clairement employée pour lutter contre les effets du changement climatique. En ce sens, elles considèrent que la production de neige est une réponse inadaptée aux changements climatiques en cours. Les installations d'enneigement sont qualifiées de « fuite en avant », destinées à porter un modèle de développement qui est à revoir. L'adaptation et la diversification des activités des stations de sports d'hiver sont une nécessité ; le modèle de développement touristique est à renouveler.

Finalement, les perceptions de la production de neige sont bien différentes au regard des discours et des actions entreprises par les différents acteurs ou groupes d'acteurs que nous venons de décrire. Pour synthétiser, celles-ci s'échelonnent, graduellement, d'une perception positive à une perception négative de la pratique. Cependant, les raisons de ces différences de perception ne se situent pas sur le même registre : pour défendre l'intérêt de la pratique, les uns argumentent sur des motifs socio-économiques (et contre-argumentent sur des motifs environnementaux, dont climatiques), tandis que les autres, pour la critiquer, argumentent sur des motifs environnementaux (figure 4.5). Ces différences de perception se traduisent par des divergences de points de vue très marquées sur l'ensemble des enjeux liés à la production de neige qui peuvent devenir, parfois, véritablement conflictuelles.

Figure 4.5: Perception de la production de neige par les différents acteurs impliqués.

Pour défendre l'intérêt de la pratique, les opérateurs de domaines skiables argumentent sur des motifs socio-économiques, tandis que les associations, pour la critiquer, argumentent sur des motifs environnementaux. D'autres acteurs se positionnent de façon beaucoup plus nuancée sur la question. C'est notamment le cas des administrations locales, des institutions en charge de la gestion de l'eau ou de Mountain Riders.



²⁶ En matière de plaidoyer pour la production de neige, nous recommandons la lecture des discours prononcés au 24^{ème} congrès de l'ANEM le 24 octobre 2008 à St Flour par M. Saddier (Saddier, 2008), Président de l'ANEM jusqu'à cette date, et par H. Nayrou (Nayrou, 2008), son successeur à la Présidence de cette association.

2.2. De ces divergences de points de vue naissent des conflits

Les divergences de points de vue les plus fortes sont donc celles qui opposent les opérateurs de domaines skiables et leur représentation syndicale, et les associations de protection de l'environnement ; c'est ce qu'a montré l'analyse de leur discours. C'est donc logiquement et principalement entre ces deux parties que prend forme le conflit environnemental, dans le sens de L. Laslaz (2005, p. 150), sur la question de la production de neige.

2.2.1. Une manifestation du conflit : les armes de la communication

Ce conflit se manifeste notamment par des publications régulières des principales parties prenantes, semblant se répondre, contre-argumentant dans tous les cas de façon quasi systématique les positions de l'une ou de l'autre des parties (figure 4.6). On peut citer à titre d'exemple les documents « *Enneigement artificiel : eau secours !* » (Mountain Wilderness, 2005), « *L'enneigement artificiel en question* » (CIPRA et al., 2006) et « *Réponse des associations à la campagne d'information du Syndicat National des Téléphériques de France (SNTF) au sujet de la neige artificielle* » (CIPRA et al. 2009) auxquels a répondu le SNTF par le document « *Neige de culture : comment l'eau devient cristal le temps d'un hiver ?* » (SNTF, 2006) et la campagne d'information « *Les talents insoupçonnés de la neige de culture* » (SNTF, 2008).

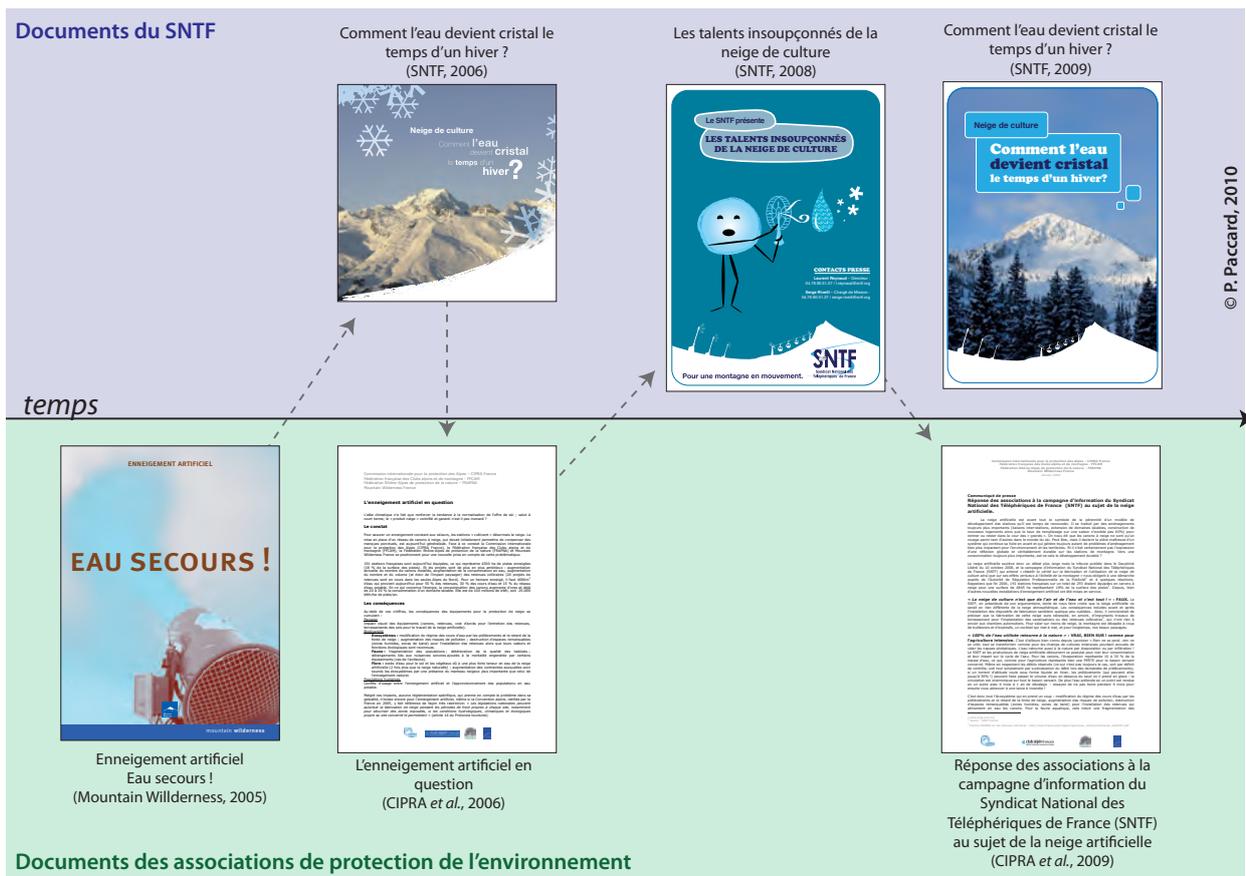


Figure 4.6 : Le dialogue des documents de communication émanant du SNTF et des associations de protection de l'environnement. Ces documents, émanant des deux parties dont les points de vue sont les plus distants sur la question de la neige de culture, semblent se répondre au cours du temps. Ce dialogue par communiqués interposés est-il symptomatique d'une radicalisation des débats sur la neige de culture ?

Les débats entre les associations de protection de l'environnement et la chambre syndicale des opérateurs de domaines skiables semblent avoir aujourd'hui atteint leur paroxysme. Dans un récent communiqué de presse (janvier 2009), le collectif d'associations regroupant la CIPRA France, la FFCAM, la FRAPNA et Mountain Wilderness explique clairement leur opposition à la campagne d'information du SNTF sur la production de neige :

« La neige artificielle soulève donc un débat plus large mais la tribune publiée dans le Dauphiné Libéré du 10 octobre 2008, et la campagne d'information du Syndicat National des Téléphériques de France (SNTF) qui entend « rétablir la vérité sur la fabrication et l'utilisation de la neige de culture ainsi que sur ses effets vertueux à l'échelle de la montagne » nous obligent à une démarche auprès de l'Autorité de Régulation Professionnelle de la Publicité et à quelques réactions » (CIPRA France et al., 2009, p. 1).

La CIPRA France réaffirme cette « *Divergence de points de vue sur la neige artificielle* » dans la newsletter d'AlpMedia du mois de janvier 2009. Elle y explique que « *comme les associations écologistes ne pensent pas, à la différence du SNTF, que la production de neige artificielle est déjà régie en France par des règles strictes, elles font aussi des propositions concrètes concernant la réglementation à mettre en place* » (AlpMedia Newsletter, 2009, p. 3).

Associée au communiqué de presse que nous évoquions ci-dessus et comme elle l'annonçait, la FRAPNA a porté réclamation auprès du Jury de Déontologie Publicitaire²⁷, « *considérant que cette campagne contient des contre-vérités et des approximations qui violent les principes de loyauté et de véracité recommandés par l'ARPP [Autorité de régulation professionnelle de la publicité], principalement les règles déontologiques relatives à l'emploi d'arguments écologiques et au respect du développement durable* » (Jury de Déontologie Publicitaire, 2009, p. 1).

Si la plainte fut finalement rejetée, le Jury ayant considéré en conclusion que « *les publicités en cause sont conformes aux dispositions déontologiques en vigueur* » (*idem*, p. 3), elle reste néanmoins symptomatique de la crispation des parties prenantes sur la question de la production de neige. A notre connaissance, c'est la première fois qu'un élément du débat est porté devant un tiers, pour arbitrage. Le conflit est donc manifeste, s'entretient et chacune des parties prenantes semble vouloir, en apparence, camper sur ses positions.

Cette opposition conflictuelle n'est pas un exemple isolé. Certes généralement plus modestes, d'autres cas se manifestent néanmoins régulièrement sur les territoires de montagne.

2.2.2. Une multitude de micro-conflits

Les conflits environnementaux liés à la production de neige représentent, dans une certaine mesure, un enjeu social important : ils remettent en question la cohésion des parties impliquées dans l'aménagement, la gestion et la protection des milieux de montagne.

L. Laslaz (2005) s'est intéressé à la dimension du conflit environnemental dans ses travaux sur les parcs nationaux français, en s'appuyant notamment sur les recherches d'A. Lecourt (2003) ou d'A. Caron et A. Torre (2005). A partir de ces références, A. Daugas-Marzouk (2009) a redéfini le

²⁷ Instance indépendante française ayant pour mission de statuer sur les plaintes du public à l'encontre de publicités diffusées.

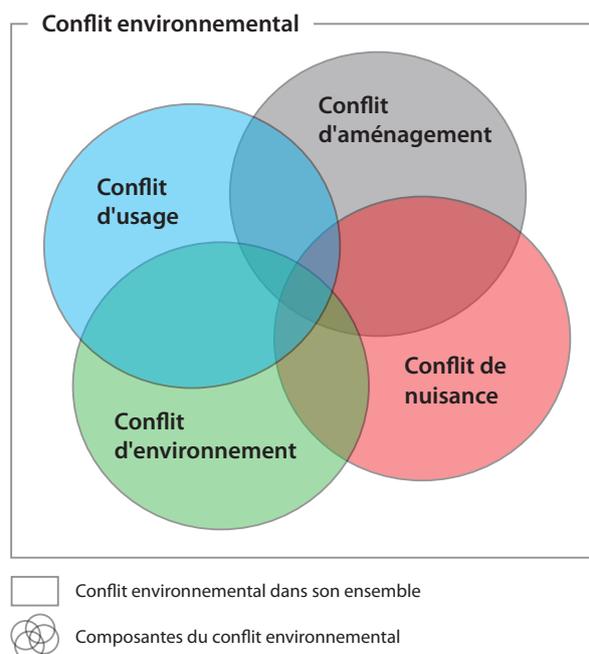
conflit environnemental lié à la production de neige²⁸. L'objectif était de faire la part des choses entre ce qui pouvait réellement relever du conflit d'usage, en particulier entre l'alimentation en eau potable et les prélèvements pour la production de neige, et ce qui n'était en fait qu'une opposition entre plusieurs parties pour d'autres raisons.

La définition du conflit environnemental lié à la production de neige

Pour ce qui est des installations d'enneigement, plusieurs types de conflits doivent être distingués (Daugas-Marzouk, 2009, p. 9 ; figure 4.7). Un même conflit environnemental s'exprime selon une ou plusieurs des composantes ci-dessous :

1. **Les conflits d'aménagement** opposent les différentes parties prenantes en amont de la réalisation d'un projet, sur une question de principe. Ils sont le plus souvent liés à l'implantation d'une infrastructure (par exemple, opposition à la réalisation d'une retenue d'altitude).
2. **Les conflits d'usage** peuvent survenir une fois le projet réalisé ou n'être que des craintes en amont de celui-ci. Ils sont le « fruit d'une concurrence autour d'un espace ou d'une ressource » (Lecourt, 2003, p. 17, cité in Laslaz, 2005, p. 150) (par exemple, compétition pour l'exploitation d'une ressource en eau entre l'alimentation en eau potable et la production de neige).
3. **Les conflits de nuisance** sont liés à la dégradation de la qualité de vie (par exemple, le bruit, la dégradation d'un paysage).
4. Enfin, **les conflits d'environnement** proprement dits ont trait à la dégradation d'un écosystème (par exemple, le dérangement de population d'animaux lié au fonctionnement des enneigeurs).

Figure 4.7 : Le conflit environnemental appliqué à la question de la production de neige (d'après Daugas-Marzouk, 2009, p. 10, modifié, repris de Laslaz, 2005, p. 150).



²⁸ Travaux de Master 1, conduits à l'Université de Savoie, en partie sous notre direction dans le cadre de notre recherche doctorale, aux côtés d'A. Marnézy (Professeur).

Des conflits nombreux mais modestes

A. Daugas-Marzouk considère qu'il y a conflit « à partir du moment où l'on peut retrouver une trace écrite d'opposition, ou de contestation de l'aménagement. Cette trace doit pouvoir être accessible à tous (avis défavorable dans une enquête publique, article de presse, communiqué de presse, magazine, manifestation, juridiction...) » (*idem*, p. 11).

Sur cette base, **19 traces de conflit lié peu ou prou à la question de la production de neige²⁹ ont été recensées** jusqu'à aujourd'hui, principalement sur les départements de l'Isère et de la Savoie³⁰ (en pratique, tous ces conflits datent des années 2000).

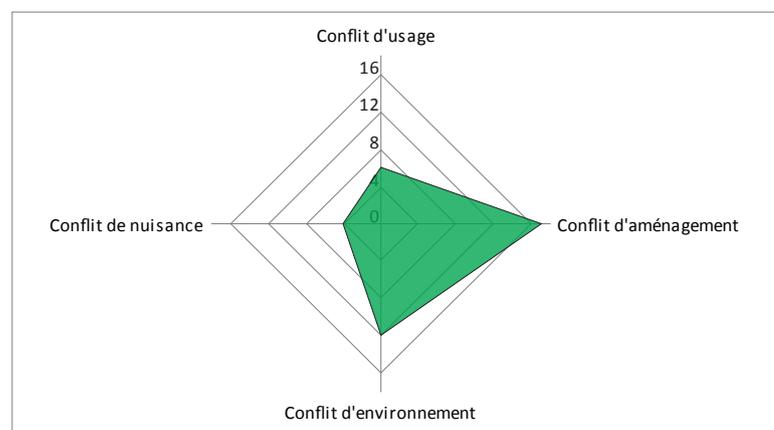
La quasi-totalité de ces conflits oppose un opérateur de domaine skiable à une association de protection de l'environnement, locale ou régionale. Même les plus intenses de ces conflits restent néanmoins modestes. Ils regroupent plusieurs parties prenantes et sont bien relayés par la presse locale et/ou régionale ; ils se manifestent dans certains cas par une action publique (manifestation ou recours). Un processus de négociation est engagé pour quelques uns d'entre eux.

Une prédominance des conflits d'aménagement

Ces 19 conflits possèdent une ou plusieurs composantes (figure 4.8) :

- conflit d'aménagement pour 17 d'entre eux ;
- conflit d'environnement pour 12 d'entre eux ;
- conflit d'usage pour 6 d'entre eux ;
- conflit de nuisance pour 4 d'entre eux.

Figure 4.8 : Les composantes des 19 conflits environnementaux liés à la production de neige recensés (d'après Daugas-Marzouk, 2009, p. 60, modifié)



La majorité des conflits liés à la production de neige recensés dans le cadre de cette étude sont donc des conflits d'aménagement. Il s'agit d'oppositions à la réalisation d'aménagements (retenues d'altitude principalement) pour des motifs divers. La remise en cause du principe même de la production de neige ou de sa nécessité en est le motif principal. Vient ensuite la problématique du risque et de la sécurité des barrages d'altitude ou des objections quant à la pertinence du choix de leur site d'implantation.

²⁹ Le recours de la FRAPNA devant le Jury de Déontologie Publicitaire fait par exemple partie des conflits recensés.

³⁰ Ces deux départements constituaient le terrain d'étude principal de ce travail. Quelques investigations ont également été menées en Haute-Savoie mais elles restent marginales.

En deuxième position viennent les conflits d'environnement. Les oppositions à la production de neige se fondent, dans ce cas, sur les impacts de la pratique sur la faune, la flore ou les milieux aquatiques. Il s'agit par exemple de la destruction d'une zone humide par la réalisation d'une retenue d'altitude.

Enfin, les conflits d'usage et de nuisance sont les derniers recensés, les moins importants d'un point de vue quantitatif. Le dérangement des populations résidentes par le bruit des installations d'enneigement est le principal motif des conflits de nuisance. Quant aux conflits d'usage, leurs motifs sont expliqués ci-dessous.

Les conflits d'usage : pertes d'alpage et craintes quant aux prélèvements en eau

Le détail des 6 conflits d'usage recensés est le suivant :

- 1 concerne la perte d'une portion d'alpage exploitée par un agriculteur, suite à la réalisation d'une retenue ;
- 1 se rapporte à une perte potentielle de production d'hydroélectricité et à la perte d'une portion d'alpage exploitée par un agriculteur, suite à la réalisation d'une retenue ;
- 4 sont liés à des craintes (et non à des faits avérés) quant aux impacts des prélèvements sur l'alimentation en eau potable, d'un point de vue quantitatif ou qualitatif.

Dans la limite des conflits recensés, aucun n'a donc trait à un conflit d'usage avéré entre alimentation en eau potable et production de neige.

En matière de conflits d'usage impliquant des agriculteurs, l'étude conduite par M. E. Chochon en 2008 sur la question de l'« *Impact sur l'agriculture de la construction de retenues d'altitude pour l'enneigement artificiel* » est intéressante. Elle confirme effectivement que les agriculteurs sont souvent concernés par la réalisation de retenues d'altitude : celles-ci peuvent empiéter sur des alpages dont ils ont besoin pour faire pâturer leurs bêtes. Néanmoins, il n'y a pas pour autant d'opposition conflictuelle quant à la réalisation de ces ouvrages. Sur l'ensemble des retenues savoyardes étudiées en 2008 (35 ouvrages), 19 sont implantées sur des zones d'alpage et seuls deux ouvrages ont pu poser problème : 9 d'entre elles impactent peu l'agriculture ; 4 impactent les pratiques mais les compensations acquises par les agriculteurs sont satisfaisantes ; enfin, 2 impactent les pratiques mais les compensations ne semblent pas satisfaisantes (Chochon, 2008, p. 9).

Pour conclure sur les oppositions sur le thème de la production de neige, notre recherche montre que les divergences de points de vue sur la question se concrétisent bel et bien sur le terrain par de réels conflits. Néanmoins, ces derniers ne se manifestent pas par des conflits d'usage avérés avec l'alimentation en eau potable comme on aurait pu le penser. « *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* ». rappelle le « *Bilan quantitatif de la ressource en eau sur le bassin versant de l'Isère en amont d'Albertville* » (APTV, 2008, p. 90).

Effectivement, nous avons montré que les conflits liés aux installations d'enneigement sont bien souvent des conflits d'aménagement, opposant différentes parties en amont de la réalisation d'un projet, à l'instar de la manifestation organisée à Sommand (Haute-Savoie) au mois de décembre 2009 (photo 4.9). Si des précautions doivent donc être prises lorsqu'il s'agit d'évoquer la question des conflits d'usage, termes qui nous semblent avoir été parfois galvaudés, ces résultats ne doivent pas conduire à la perception d'une ressource en eau inépuisable. Nos trois études de cas suivantes le montreront.



Photo 4.9 : Manifestation organisée le 29 décembre 2009 contre le projet d'aménagement et d'enneigement artificiel, dans le cadre d'un dossier UTN, de la station de Sommand (Chablais, Haute-Savoie) (cliché : auteur inconnu, le 29/12/2009 in Mouvement Région Savoie, 2009). *Organisée par le groupe local des Verts Faucigny-Mont-Blanc pour faire connaître à la municipalité leur opposition à ce projet, cette manifestation constitue un exemple récent de conflit d'aménagement lié à la production de neige.*

CONCLUSION DU CHAPITRE 4

De façon détaillée, nous venons de décrire les différentes perceptions de la production de neige par toutes les parties prenantes de la question. Nous ne pouvions nous passer de l'analyse de ce contexte, non seulement parce qu'il est celui dans lequel évolue notre recherche et qu'il conditionne fatalement les attitudes de nos différents interlocuteurs, mais également, et surtout, parce qu'il est un élément important à considérer dans l'objectif d'une conciliation des usages et des milieux. Effectivement, une conciliation ne nous semble être possible qu'à la condition d'une relative **concertation entre les acteurs**, du moins d'une possibilité de dialogue sur les enjeux de l'objet considéré.

En matière de production de neige, **entre les tenants de la pratique et les associations de protection de l'environnement, les oppositions sont particulièrement fortes** ; et ce sur toutes les dimensions de l'objet : réglementation, pérennité du modèle touristique proposé et impacts sur l'environnement, en particulier sur l'eau. Tandis que les premiers expliquent le peu d'incidence de l'objet, la stricte réglementation qui l'encadre et son utilité socio-économique, les seconds insistent au contraire sur les impacts importants qu'il génère, la « fuite en avant » du modèle de développement support de la pratique et l'insuffisance actuelle de la réglementation. De ce point de vue, nous avons d'ores et déjà vu que la pratique est bien encadrée même si des aménagements sont souhaitables. Il s'agit en particulier de permettre d'apprécier plus objectivement l'ensemble des usages de l'eau d'un bassin de montagne au regard de la ressource potentiellement disponible. Les impacts de la pratique et l'évolution de la « ressource neige » dans la perspective du réchauffement climatique devront être questionnés plus en détail sur nos différents terrains d'étude. Néanmoins, nous savons déjà qu'il n'est **pas possible de se passer d'appréhender les conséquences des évolutions climatiques** sur le modèle des sports d'hiver pour envisager une gestion durable de la ressource : nous défendons cette idée dans la première partie de notre étude.

Entre ces deux attitudes opposées, se trouvent **les services de l'Etat qui s'attachent à surveiller le développement de la pratique et ses conséquences environnementales**. Au niveau national, par le biais des outils dont il dispose, l'Etat tente d'orienter les stations pour l'évolution d'un modèle « tout neige » qu'il estime peu compatible avec les enjeux environnementaux et climatiques actuels. Cette démarche n'est pas forcément facilitée par les orientations des collectivités territoriales : **entre élus locaux, collectivités départementales ou régionales, l'intérêt porté aux installations d'enneigement diverge**. Il diverge d'ailleurs autant entre les différents échelons territoriaux que suivant les territoires considérés. A notre sens, quelles que soient les orientations choisies, une mise en cohérence de l'ensemble de ces politiques d'aménagement du territoire permettrait certainement de gagner en efficacité pour atteindre les objectifs souhaités.

Dans tous les cas, **les oppositions sur la production de neige génèrent des conflits**. Nous avons montré que ceux-ci sont bien réels. Parmi les thématiques fréquemment invoquées dans le débat sur la production de neige figure souvent la question du conflit d'usage sur la ressource en eau. En étudiant plus en détail la nature des conflits liés à l'enneigement, nous avons montré qu'il s'agit plus souvent d'**oppositions d'acteurs ou de groupes d'acteurs entre eux que de réels conflits d'usage sur la ressource**, impliquant qu'un usage ne puisse pas être satisfait. Ce résultat pourra également être renforcé par nos analyses de terrain.

A notre sens, les oppositions de discours sur la production de neige, quand bien même leur apparente tonalité semble incompatible, **ne se traduisent pas fatalement par une impossibilité**

de dialogue, de concertation et donc de conciliation des usages et des milieux. Cette idée tient à trois éléments particuliers. Tout d'abord, dans les discours que nous avons présentés, existent parfois des points de convergences : **derrière les postures se tiennent heureusement des concessions, voire même des accords,** tant sur les impacts environnementaux de la pratique que sur son intérêt socio-économique. En ce sens, des plateformes de dialogue existent sur les idées. Elles existent également sur le terrain : la plateforme environnement développée par le syndicat des opérateurs de domaines skiabiles, rassemblant toutes les parties prenantes, le prouve ; elle est à encourager et à reconduire. Ensuite, **la position d'intermédiaires que peuvent jouer certains acteurs est également importante en termes d'espace de dialogue disponible.** Nous souhaitons ici faire référence au travail porté par la Société d'Economie Alpestre de la Haute-Savoie : réunissant opérateurs de domaines skiabiles, associations, administrations, scientifiques et gestionnaires de l'eau, cette démarche a conduit à la formulation d'un guide opérationnel, un guide de bonnes pratiques pour « la culture de la neige ». Il est un outil pour la conciliation des usages et des milieux. Enfin, en matière de gestion intégrée de la ressource en eau proprement dite, **un certain nombre d'outils existent, notamment les SAGE et contrats de bassin.** Ils représentent une fois de plus des supports de concertation, du moins de dialogue possible, pour orienter la gestion actuelle de l'eau dans le sens d'une gestion intégrée.

CONCLUSION DE LA SECONDE PARTIE

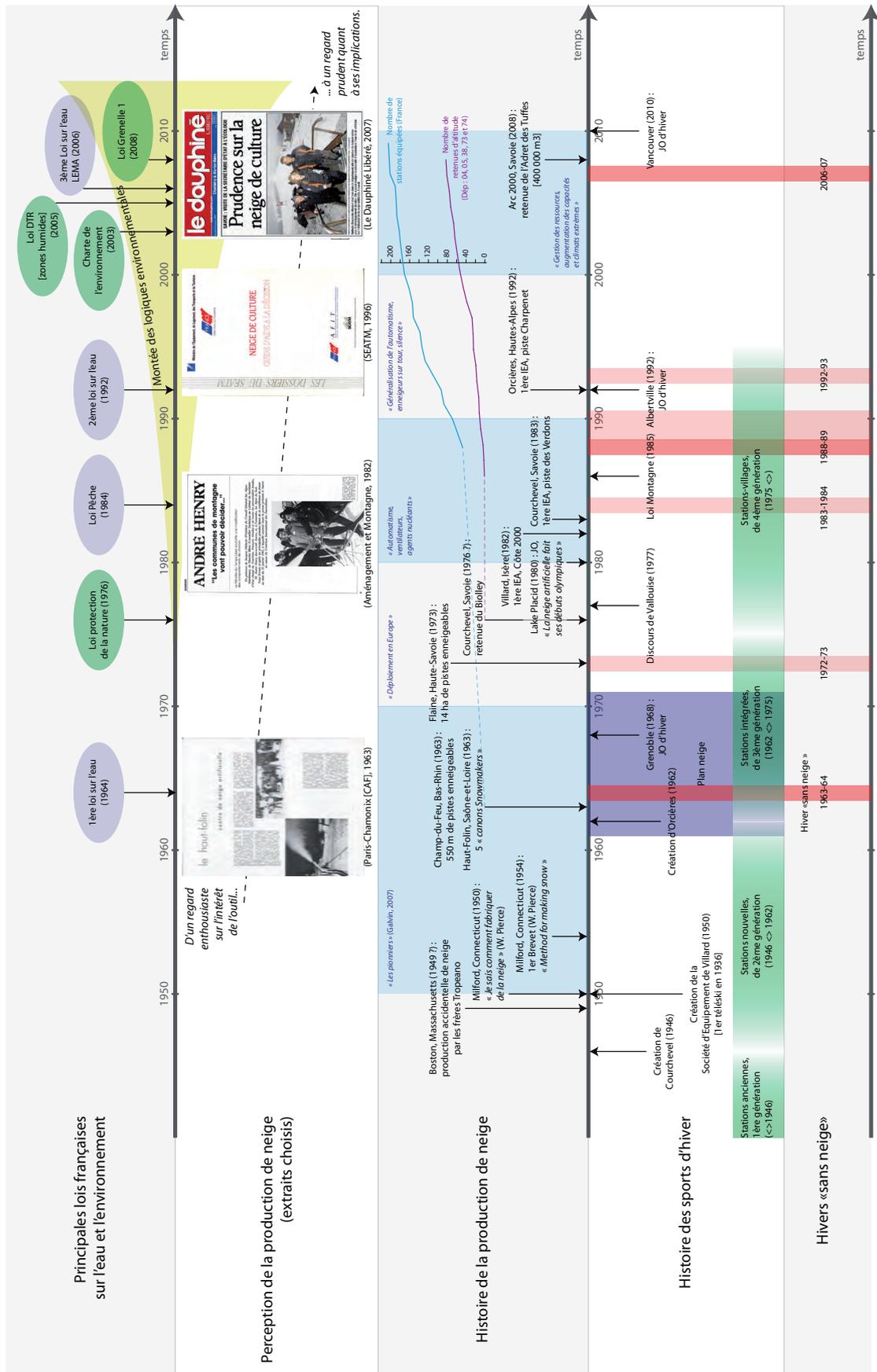
Les « débuts » des installations de production de neige remontent aux années 1950 aux Etats-Unis tandis que **les premières installations connues en France datent des années 1960**. Il est intéressant de constater que le développement de la pratique est partie, en France, de domaines skiables tout à fait modestes, loin des « hautes montagnes » alpines ou pyrénéennes. Par rapport à l'histoire des sports d'hiver, ces dates ne font pas de la production de neige une pratique tout à fait récente (figure II.1).

A cette époque, la gestion de la neige sur les domaines skiables semble revêtir un aspect, certes « artisanal », mais dans lequel, peut-être, l'aléa **pouvait être supportable**. Il faut dire que le système économique des sports d'hiver ne représentait pas le poids important qu'il occupe désormais. Néanmoins, « l'hiver sans neige » était déjà une préoccupation des stations de sports d'hiver.

Une succession d'hivers peu enneigés des années 1990 marque le début du **développement spectaculaire** des installations d'enneigement. Aujourd'hui, **les deux tiers des stations françaises sont équipées** ; seuls les « petits » domaines skiables ne le sont pas. En fait, la production de neige est aujourd'hui **un élément clé d'un système touristique et commercial** complexe, où les obligations contractuelles entre différentes parties ne laissent plus de place à l'imprévu. Les installations, d'une **technologie éprouvée**, permettent de garantir l'ouverture des stations à date fixe par un enneigement maîtrisé. Elles permettent également de soigner les pistes proposées à la clientèle dans une **logique d'amélioration de la qualité de l'offre**. L'enjeu de la « ressource en neige » est désormais majeur. Si la production de neige vise à **répondre à la variabilité des précipitations neigeuses**, la question de la vulnérabilité d'un système hyperspécialisé se pose tout de même, dans le contexte des évolutions climatiques actuelles.

Dans tous les cas, le code de l'environnement, enrichi de 4 lois sur l'eau et de 4 lois sur l'environnement entre 1960 et aujourd'hui, régleme de façon globalement complète les prélèvements d'eau pour la production de neige. Les dernières évolutions de la réglementation sont relatives aux retenues d'altitude, dont les enjeux en termes de sécurité publique sont grands, mais désormais bien encadrés. Il n'en reste pas moins que la réglementation pourrait, nous semble-il, être améliorée ou complétée sur quelques points. Il s'agirait par exemple d'interdire formellement l'utilisation d'adjuvants pour la production de neige.

Bien que ceux-ci soient abandonnés depuis 2005 par les opérateurs de domaines skiables, la question des adjuvants est l'un des éléments qui ressort du discours des associations de protection de l'environnement, très critique sur la production de neige. En fait, c'est **entre ces deux parties** (associations environnementales et opérateurs) **que les oppositions semblent les plus fortes**. Les logiques environnementales sont de plus en plus prégnantes. Parfois, ces oppositions **génèrent même des conflits**. Cela rend-il la concertation impossible ? A notre sens, des espaces de dialogues sont possibles, notamment par le biais d'outils de gestion de la ressource en eau. Nous avons vu que **le discours des acteurs de l'eau est mesuré** sur la question des impacts hydrologiques de la production de neige. Pour notre part, en précisant la définition du conflit environnemental, nous avons montré la **confusion possible entre le conflit « d'usages » et le conflit « d'idées »** ; le premier étant bien plus rare que le second.



© P. Paccard, 2010

Figure II.1 : La production de neige au regard de l’histoire des stations de sports d’hiver et de l’évolution des préoccupations environnementales

Quoi qu'il en soit, **les avis divergent sur la question de la production de neige**. Ils divergent également entre les collectivités territoriales. Les élus communaux de montagne affichent clairement leur soutien à la pratique ; les régions soutiennent (Midi-Pyrénées) ou ne soutiennent pas (Rhône-Alpes). Les services d'Etat locaux surveillent le développement des installations et leurs incidences sur l'environnement tandis que les politiques étatiques orientent les stations, en particulier de moyenne montagne, vers la sortie d'un modèle « tout neige ».

Finalement, ces divergences de point de vue sur la question nous confortent dans notre méthodologie : apprécier les incidences de la pratique sur l'eau et les autres usages, non pas sur la base des discours, mais bel et bien **en investiguant le terrain**. C'est ce que trois études de cas locales proposent.

Troisième partie

TROIS ÉTUDES DE CAS DES ALPES FRANÇAISES :
ORCIÈRES-MERLETTE (HAUTES-ALPES),
VILLARD-DE-LANS - CORRENÇON-EN-VERCORS (ISÈRE)
ET COURCHEVEL - LA TANIA (SAVOIE)

TROISIÈME PARTIE - TROIS ÉTUDES DE CAS DES ALPES FRANÇAISES:

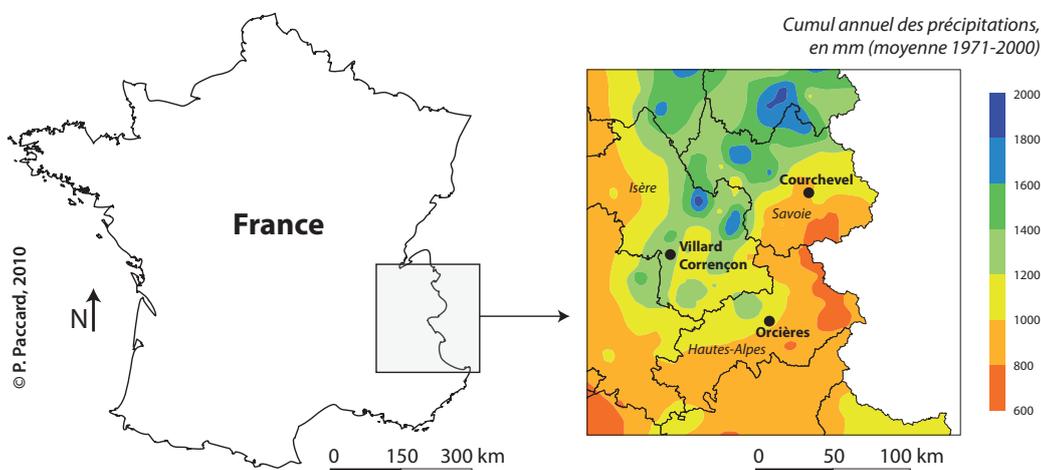
ORCIÈRES-MERLETTE (HAUTES-ALPES), VILLARD-DE-LANS - CORRENÇON-EN-VERCORS (ISÈRE) ET COURCHEVEL - LA TANIA (SAVOIE)

Après les deux premières parties posant le cadre de notre travail et la démarche utilisée, trois études de cas sont au cœur de cette troisième partie. Il s'agit d'être confronté aux réalités de terrain. L'idée est de resserrer l'analyse pour appréhender concrètement les enjeux et impacts de la production de neige, et ce au plus proche des faits concernant la ressource en eau.

Selon ODIT France, il existe 293 stations (ou centres de ski) à l'échelle nationale (ODIT France, 2009, p. 42). Il fallait donc évidemment faire un choix. Celui-ci s'est porté sur les stations de Courchevel - La Tania (Savoie), de Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors (Isère) et d'Orcières-Merlette (Hautes-Alpes).

Ce choix s'appuie sur des facteurs-clés liés à la problématique de nos travaux. Considérant ces facteurs, les situations à étudier devaient être raisonnablement différentes pour intéresser la comparaison mais l'ensemble suffisamment représentatif d'une certaine globalité des cas existants. Appréhendés de façon *a priori*, la génération de la station, son mode de gestion, l'envergure et la situation du domaine skiable (domaine relié ou non), la disponibilité des ressources en eau (carte III.1), la vulnérabilité potentielle à un déficit d'enneigement naturel (en moyenne ou en haute montagne), le taux d'équipement en installations d'enneigement... constituaient tout autant de facteurs-clés à considérer pour réaliser ce choix (tableau III.1).

De façon plus pragmatique et compte tenu du temps imparti pour nos recherches, trois terrains d'étude semblaient être un maximum. Ce choix devait également tenir compte des souhaits formulés par les partenaires de notre travail.



Carte III.1 : Localisation des terrains d'étude à l'échelle nationale et départementale, dans leur contexte pluviométrique (d'après les données de Météo-France, 2009)

Station	Orcières - Merlette	Villard - Corrençon	Courchevel - La Tania	Source / Mode de calcul
Situation	Hautes-Alpes, Ecrins Sud	Isère, Vercors	Savoie, Vanoise	-
Génération de la station	Station de troisième génération	Station de première génération	Station de seconde génération	Littérature
Mode de gestion	DSP à une SA	DSP à une SA	DSP à une SEM	Littérature
Altitude pied des pistes (mètres)	1850	1143	1260	Plan des pistes / Carte topographique
Altitude du sommet des pistes (mètres)	2725	2050	2738	Plan des pistes / Carte topographique
Nombre d'enneigeurs	49	250	550	Plan des pistes / Littérature
Longueur totale des pistes (mètres)	51534	59463	112729	Calcul SIG
Longueur totale des pistes enneigeables (mètres)	18443	17341	36778	Calcul SIG
Proportion de pistes enneigeables (en longueur)	36%	29%	33%	-
Contexte hydrogéologique	Massif cristallin	Massif calcaire (karstique)	Massif cristallin	Carte géologique
Commune	Orcières	Villard-de-Lans Corrençon-en-Vercors	Saint-Bon-Tarentaise La-Perrière	
Population totale	721	4228 381	1959 438	INSEE RP 2007
Besoin théorique en eau potable (m3/an)	39475	231483 20860	107255 23981	(150 l / jr / hab.)
Nombre de lits touristiques	18000	3058 632	31900 3600	Office du Tourisme / CDT
Station météo de référence	Orcières (n°05096001)	Villard de Lans (n°38548001) (pas de poste)	Bozel (n°73055001) Méribel (n°73015001)	Météo France
Altitude (mètres)	1440	1025	865 2040	-
Précipitations annuelles moyenne (mm)	1232	1331	924 781	-
Température moyenne annuelle (°C)	7,6	7,5	(pas de donnée) 3,31	-
Aperçu du questionnement moteur initial	Une station créée ex-nihilo ne rencontre-t-elle pas des difficultés supplémentaires pour son alimentation en eau ? La «méditerranéité» de la station est-elle contraignante pour la disponibilité de l'eau et la satisfaction de l'ensemble des usages ? Quelle est la raison du faible nombre d'enneigeurs ?	Le karst (aridité de surface) contraint-il la disponibilité de l'eau pour l'enneigement ? La production de neige rentre-t-elle en conflit avec les besoins en eau de la population résidente ? Quelles perspectives pour la neige et la neige de culture en «moyenne montagne» ?	Comment alimenter en eau une telle installation d'enneigement (550 enneigeurs) ? Les faibles précipitations sont-elles un facteur limitant pour la disponibilité de l'eau ? Les besoins en neige de culture sont-ils aussi importants pour une station d'altitude ?	

Tableau III.1 : Caractéristiques principales des trois terrains d'étude, selon des facteurs présumés « clés » pour la résolution de notre problématique

La méthodologie employée sur nos trois terrains d'étude avait pour objet de révéler les éléments factuels et tangibles, permettant d'apprécier sur une base objective les modes de réalisation de l'enneigement artificiel et ses implications pour l'eau.

Pour cela, en termes d'acteurs, nous nous sommes en premier lieu adressés aux opérateurs de ces domaines skiabiles. Praticiens de la production de neige, ces opérateurs détiennent des éléments importants pour notre étude. Le meilleur exemple est tout simplement la question des volumes prélevés, données fondamentales pour planifier la gestion de l'eau. Bien souvent, eux seuls connaissent avec exactitude et à une résolution spatio-temporelle suffisante ces données pour appréhender leurs implications hydrologiques.

En plus des entretiens conduits auprès de la plupart des responsables de la production de neige sur ces trois terrains d'étude, l'objectif était d'aborder concrètement le terrain. Descendre dans les regards de visite, aller voir les lieux de prélèvements, parcourir les cours d'eau sollicités, entrer dans les usines à neige... sont tout autant d'actions que notre méthodologie impliquait. Si besoin, il nous fallait obtenir l'accord des services concernés. La lecture des éléments techniques en rapport avec l'ensemble de ces installations (dossier de projet, autorisation préfectorale, étude d'impact...) complète cette démarche d'investigation.

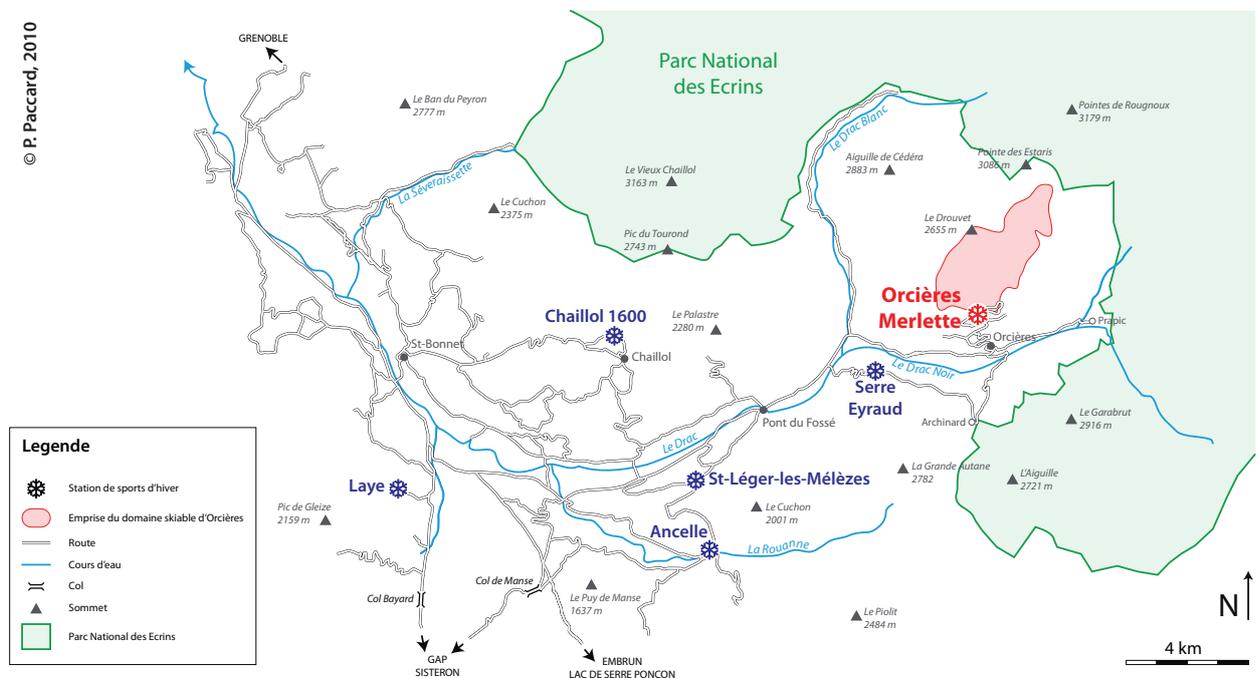
Partant de la production de neige, nous nous sommes également intéressés aux autres acteurs et/ou usages de l'eau impliqués. Pour chaque situation, c'est en reconstituant puis en parcourant les différents éléments du système que nous avons pu comprendre son fonctionnement. Ce fonctionnement implique souvent d'autres acteurs que ceux intervenant directement sur le domaine skiable, par exemple, les gestionnaires de l'alimentation en eau potable ou encore les producteurs d'hydroélectricité.

Chaque cas, présenté de façon analytique (monographie), nous a permis de constituer les informations nécessaires à notre travail. En conclusion de cette troisième partie, nous reviendrons de façon synthétique sur les principaux enseignements que nous pouvons tirer de l'analyse de ces trois situations.

CHAPITRE 5 - ORCIÈRES-MERLETTE : L'ENJEU DU LAC DES ESTARIS

En 1926, E. Benévent s'interrogeait déjà, dans sa thèse sur le climat des Alpes françaises, sur la limite entre les Alpes du Nord et les Alpes du Sud (Bénévent, 1926), deux entités géographiques non administratives. Sur des considérations climatiques, une ligne rejoignant d'Ouest en Est les cols du Rousset, de la Croix-Haute, du Festre, Bayard, de Manse, du Lautaret et du Galibier fut tracée. Même si C. Meyzenq doutait de la pertinence de cette limite, considérant que « *les réalités ne sont pas si simples, chaque auteur traçant sa propre limite* » (Meyzenq, 1984, p. 243), elle reste néanmoins encore aujourd'hui celle communément admise pour partager les Alpes françaises entre une moitié Nord et une moitié Sud. Ainsi dessinée, cette ligne fait presque d'Orcières-Merlette la plus méridionale des stations des Alpes du Nord.

Orcières-Merlette est effectivement la plus grande des 6 stations de sports d'hiver de la vallée du Champsaur (carte 5.1), bordée au Sud par le col Bayard et le col de Manse permettant de basculer sur le pays Gapençais et la vallée de la Durance. Elle est la plus haute station du bassin versant du Drac, affluent de la rive gauche de l'Isère. Le Drac naît de la confluence du Drac Blanc et du Drac Noir, prenant leur source dans le Parc National des Ecrins, respectivement sur les communes de Champoléon et d'Orcières.



Carte 5.1 : Les stations de ski de la vallée du Champsaur.
Le domaine skiable d'Orcières-Merlette est le plus grand de la vallée.

Le domaine skiable d'Orcières-Merlette se développe à l'adret de la vallée du Drac Noir, de 1850 mètres à 2725 mètres d'altitude (photo 5.1). Après avoir rapidement décrit et expliqué l'histoire de la station, c'est à son installation d'enneigement que nous nous attacherons. L'intérêt sera de pouvoir caractériser dans le détail ces infrastructures et leurs implications pour l'eau. Nous montrerons à cette occasion que le lac des Estaris, situé dans une réserve naturelle gérée par le Parc National des Ecrins, constitue aujourd'hui l'enjeu majeur de l'alimentation en eau du dispositif d'enneigement. D'autres usages dépendent également de cette ressource ; nous discuterons ainsi des interrelations entre la production de neige et les autres usages de l'eau, principalement l'alimentation en eau potable de la commune. Les impacts hydrologiques de la production de neige à Orcières-Merlette seront par ailleurs posés. Enfin, ce sont les conséquences du changement climatique sur l'eau et la ressource neige que nous questionnerons dans un dernier temps.



Photo 5.1 : La partie basse du domaine skiable d'Orcières-Merlette, sur le versant adret de la vallée (cliché : P. Paccard, le 07/02/2010). *A l'ubac, sous le sommet de La Grande Autane, des forêts de Mélèze couvrent les versants ; à gauche de la Grande Autane, en face d'Orcières, le vallon d'Archinard, très fréquenté par les skieurs de randonnée.*

1. LA PLACE DE LA PRODUCTION DE NEIGE DANS L'HISTOIRE DE L'AMÉNAGEMENT ET DE LA GESTION DE LA STATION

1.1. D'Orcières à Orcières-Merlette : un rapide historique du développement de la station au fil du temps

1.1.1. Une économie agro-pastorale en perte de vitesse (début XX^{ème})

À l'occasion de l'anniversaire des 40 ans d'Orcières, l'Office du Tourisme revient sur l'historique de la station, dans un livre publié pour l'occasion (OT d'Orcières-Merlette, 2002)¹ ; les premières pages de celui-ci s'attardent sur les motifs qui ont conduit à la réalisation de la station : « *Dans les années 1940, l'exode et la chute démographique frappent de plein fouet le village [d'Orcières]. En 1830, la population frôlait les 1600 âmes, elle va chuter à 535 en 1954 (et même 514 en 1962)* » (*idem*, p. 10).

¹ Ce document est d'un grand intérêt pour qui souhaite plus de précisions quant à l'histoire de la station d'Orcières.

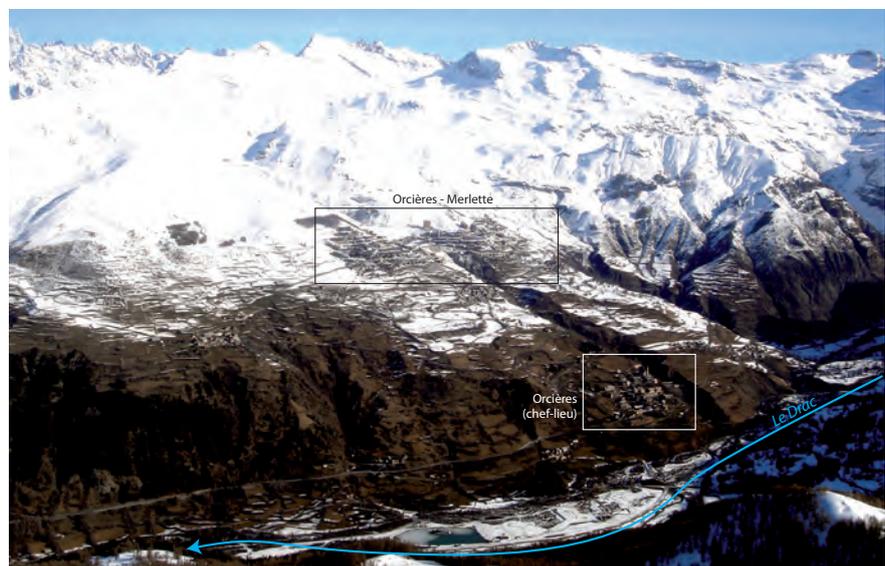
A. Illaire qualifiait cette situation, commune à l'ensemble de la vallée du Champsaur, de « *mal montagnard* » : « *Une pauvreté extrême, une surpopulation qu'une émigration constante ne parvenait pas à absorber, l'inaction pendant l'hiver, tels sont les maux communs à toute vallée de haute-montagne, isolée par l'altitude le relief et le climat* » (Illaire, 1953, p. 141). Effectivement, A. Perpillou expliquait (en établissant le compte rendu du travail de géographie de C. Riou réalisé en 1964 sur « *Le tourisme dans le Champsaur et le Valgaudemar* ») qu'en « *trois quarts de siècle, le Champsaur, dans son ensemble, a perdu plus de la moitié de sa population ; le départ des jeunes s'aggrave d'une émigration féminine encore plus active* ». A Orcières, « *le tourisme lui même s'écarte d'un pays qui se meurt sans espoir de survie...* ». Dans son ensemble, l'économie agropastorale est décrite comme « *un petit monde rural* » avec « *ses problèmes propres, de remembrement, de mécanisation, d'organisation coopérative... bien étrangers à ceux du tourisme et auxquels le tourisme ne semble proposer aucune solution* » (Perpillou, 1966, p. 344).

1.1.2. L'alternative des sports d'hiver (1950)

En 1952, un premier remonte-pente (il ne s'agit en fait que d'un fil-neige) est installé au chef-lieu du village à l'initiative des commerçants d'Orcières : 200 mètres de longueur au départ de 1400 mètres d'altitude environ. Ses 80 mètres de dénivelé connaissent un véritable succès auprès de la population champsaurine. Il semble avoir été inauguré par le Maire d'Orcières en personne (E. Bernard-Reymond), en présence du préfet du département, de parlementaires, de conseillers généraux et de maires. Le discours du maire prononcé à cette occasion témoigne explicitement de la volonté de sortir du marasme socio-économique de l'époque par le développement de remontées mécaniques. Ce fil-neige permit « *au chef-lieu de conserver une activité hivernale renforcée par de nombreuses « classes de neige* » (Ricou, 1963, p. 109).

En réalité, la réalisation de la station, au lieu-dit Merlette, sur le site que l'on connaît aujourd'hui (à 1850 mètres d'altitude, photo 5.2), ne se fera que 10 années plus tard sur la motivation des habitants d'Orcières et de la municipalité de l'époque, « *grâce à l'aide de la Société d'Équipement du Département des Hautes-Alpes et de la Société Centrale pour l'Équipement du Territoire* » (*idem*, p. 110).

Photo 5.2 : Vue sur la station d'Orcières-Merlette et le chef-lieu d'Orcières, à l'adret de la vallée, depuis le sommet de la Petite Autane d'Orcières (cliché : P. Paccard, le 08/03/2007)



Le premier télésiège (« de la Draye ») est réalisé en 1962 ; le ministre du tourisme en personne, A. Paquet, inaugure la même année les premières constructions de la station, bâties sur un site vierge de toute habitation permanente. Très rapidement, les premiers plans de la station sont tracés (carte 5.2) ; ils préfigurent avec précision la configuration actuelle d'Orcières-Merlette. En ce tout début de l'histoire de la station, le maire d'Orcières, C. Ricou (dont l'investissement personnel est majeur pour la création de la station) ne cache pas son enthousiasme puisque selon lui, « *Orcières-Merlette aspire à devenir le carrefour des Alpes françaises, l'endroit où des amis dispersés à Paris, Marseille, Lyon et Toulouse pourront se donner rendez-vous en étant certains d'y trouver de la bonne neige, des pentes variées, dans un cadre magnifique et en baignant du matin au soir dans le soleil méditerranéen* » (Ricou, 1963, p. 110).

Sa date de réalisation (1962), et sa création ex-nihilo (figure 5.1), font d'Orcières-Merlette² une station de troisième génération, sans présenter toutefois le caractère parfaitement intégré que R. Knafou décrit par exemple pour la Plagne, en Savoie (Knafou, 1978, p. 24). Quoi qu'il en soit, elle marque la profonde mutation de ce territoire, d'une économie agro-pastorale à touristique. L'agriculture restera néanmoins présente dans la vallée du Champsaur ; comme le remarque A. Reffay en 1980, « *ce n'est pas dans les communes à stations de sports d'hiver que le nombre d'exploitations agricoles a le plus diminué entre 1970 et 1979 : Saint-Michel, Saint-Léger, Ancelle et Orcières, avec des pourcentages de diminution de 35 %, 35 %, 26 %, 34,5 % se situent à cet égard autour de la moyenne régionale (28,5 %)* » (Reffay, 1980, p. 50).



Figure 5.1 : Evolution du front de neige de la station d'Orcières-Merlette de 1961 à 2009.

La flèche rouge indique le même chalet sur toutes les photographies. Avant 1961, seules quelques granges à foin occupaient la rive droite du talweg du torrent de la Combe. Le talweg fut complètement comblé en 1961 pour permettre l'aménagement de la station (sur la photo de 1961 proposée, une visite de terrain des aménageurs de la station) ; le torrent de la Combe est aujourd'hui busé et s'écoule sous terre, sous le front de neige de la station. Dans les années 1970, les grands ensembles architecturaux proposent déjà de nombreux lits aux touristes fréquentant la station. Aujourd'hui, l'urbanisation de l'espace se poursuit (en bas à gauche de la photo de 2009, un immeuble en construction).

²

Le nom « commercial » d'Orcières-Merlette est aujourd'hui « Orcières 1850 » ; il témoigne de la volonté de communiquer sur l'altitude relativement élevée de la station.



Carte 5.2 : Les projets de développement du domaine skiable d'Orcières-Merlette en 1963 (extrait de Ricou, 1963, p. 108). *Aujourd'hui, pratiquement toutes les remontées prévues ont été réalisées, hormis le téléporteur permettant de monter au sommet de Roche Brune (2956 m), au dessus du col de Fressinières (derrière le col se trouve le vallon de Chichin, descendant jusqu'au hameau de Dormillouse, en zone centrale du Parc National des Ecrins ; ce projet de téléporteur figure encore aujourd'hui sur le plan des pistes de la station). La route montant au col de Fressinières ne sera par ailleurs jamais réalisée, malgré la volonté de l'époque de relier par cet axe les communes d'Orcières et de Fressinières ; la création du Parc en 1973 fermera définitivement la porte à ce projet (Laslaz, 2005, p. 109).*

Comme vu ci-dessous, évaluée à 1600 habitants en 1830 (OT d'Orcières-Merlette, 2002, p. 10), la population d'Orcières chute à moins de 600 habitants au début des années 1950 (tableau 5.1). « *La création de la station a permis d'enrayer l'exode rural et de connaître un certain essor démographique. Le village qui comptait 535 habitants en 1954 en avait gagné 200 de plus en 1968* » (INA et Région PACA, 2010)³. Au XX^{ème} siècle, le maximum démographique de la commune se situe en 1982 : 890 habitants sont recensés, exactement 20 ans après la création de la station. Depuis cette date, la population décroît doucement ; en 2007, Orcières compte 721 habitants.

Année	1830	1954	1962	1968	1975	1982	1990	1999	2006	2007
Hab.	1600 ?	535	514	734	855	890	841	811	725	721

Tableau 5.1 : Evolution de la population municipale d'Orcières de 1830 à 2007 (d'après les données de l'INSEE, sauf pour 1830 et 1954, in OT d'Orcières-Merlette, 2002, p. 10)

1.1.3. La gestion d'Orcières-Merlette de 1962 à aujourd'hui

Epaulée par les pouvoirs publics de l'époque, la commune d'Orcières est à l'initiative de la création de la station. La gestion des remontées mécaniques d'Orcières-Merlette restera communale jusqu'en 1991. En fait, ce sont deux crises financières majeures qui semblent avoir eu raison de ce mode de gestion.

La première crise que traverse la station date du début des années 1970. A cette époque, « *Orcières-Merlette est l'une des communes touristiques les plus endettées de France [...] La C.I.A.M. [Commission Interministérielle pour l'Aménagement Touristique de la Montagne devenue le SEATM puis la DEATM au sein d'ODIT France] en avait fixé la capacité à 8 000 lits. 14 000 furent réalisés. La première tranche fut vendue à perte. Fin 1972, les annuités d'emprunt s'élevaient, jusqu'en 1980, à 15 millions [de francs] par an (garantis par le département) et le découvert à 15 millions aussi (Rapport de la Cour des Comptes de 1973)* » (Arnaud, 1975, p. 243).

A la fin des années 1980 et au début des années 1990, Orcières connaît une deuxième crise financière importante⁴. En 1991, J.-P. Bonnabel, le maire de l'époque, s'exprime en ces termes pour décrire la situation :

« *Nous devons assumer chaque année 9 millions d'annuités pour les remontées mécaniques, 6 millions de francs pour le Palais des Sports et 5 millions pour des aménagements divers. Or, notre capacité de remboursement est de 15 millions de francs. Nos impayés s'accroissent et s'élèvent aujourd'hui à 30 millions. Et nous sommes toujours en discussion avec les banques et les institutionnels pour le rééchelonnement de cette dette mais c'est très difficile !* » (cité in Bardiau, 1991, p. 13).

³ Cette citation est extraite de la notice accompagnant un film documentaire sur la création d'Orcières-Merlette (durée d'1 minute et 47 secondes, réalisé par l'ORTF [Office de Radiodiffusion Télévision Française] et diffusé le 19 octobre 1962). Ce document d'archives est disponible sur Internet à l'adresse : <http://www.ina.fr/fresques/reperes-mediterraneens/Html/PrincipaleAccueil.php?Id=Repped00329>

⁴ En réponse à un rapport de la Cour des Comptes traitant des « *stations de sports d'hiver en Provence-Alpes-Côte-d'Azur* », le Ministre de l'Intérieur explique en 2001 : « *Le manque d'enneigement des hivers 1987 à 1990 a révélé des difficultés liées plus à des carences structurelles qu'à des phénomènes climatiques ponctuels. L'absence de ressources pendant plusieurs années consécutives a permis de mettre en lumière les limites et les faiblesses d'un système auxquelles des collectivités de petite taille engagées seules dans les projets se sont heurtées sans avoir les moyens d'y faire face aussi bien sur le plan financier que juridique* » (Cour des comptes, 2001, p. 827)

En 1991, pour faire face à ces difficultés, la Société d'Economie Mixte d'Orcières-Merlette (SEMILOM) est constituée : elle assurera désormais, en délégation de service public, l'exploitation du domaine skiable mais également celle de la maison du tourisme, du palais des sports, de la base de loisirs d'été de la vallée et d'un restaurant d'altitude. Dans le capital de cette société, la commune et le département des Hautes-Alpes restent majoritaires (aux côtés de la Chambre de Commerce et d'Industrie des Hautes-Alpes, de deux centres de vacances de la station, d'un groupement de commerçants et de la CISE, gestionnaire du service d'alimentation en eau potable de la commune).

A la fin de l'année 2003, le contrat de la SEMILOM arrivant à échéance, un appel d'offres pour une nouvelle délégation de service public est organisé par la commune : la société Orcières LabelleMontagne, filiale du groupe Remy Loisirs / LabelleMontagne, remporte le marché ; elle devient gestionnaire des activités touristiques de la station. La délégation à cet opérateur privé est établie pour les 18 années à venir, soit jusqu'en 2021⁵.

1.2. Le développement de la production de neige dans l'aménagement du domaine skiable

Pour L. Laslaz, « *Station de troisième génération construite en versant Sud, Orcières-Merlette souffre d'un enneigement médiocre* » (2005, p. 105). Il est vrai que le soleil dont bénéficie le domaine skiable, s'il est fort apprécié des touristes, altère rapidement la qualité du manteau neigeux, en particulier au pied des pistes et en fin de saison hivernale. L'altitude élevée que gagne le domaine permet néanmoins de compenser ce handicap. La partie basse (pistes de retour à la station) sera par ailleurs le premier secteur équipé d'installations d'enneigement.

1.2.1. Historique des installations d'enneigement

Sur presque 50 ans d'existence, Orcières-Merlette est équipée d'installations de production de neige depuis une petite vingtaine d'années : **en 1992** (alors que la SEMILOM gère le domaine skiable depuis 1 an), **3 premiers enneigeurs sont installés au pied des pistes**, à l'altitude de 1850 mètres environ (carte 5.3).

Jusqu'au début des années 2000, le réseau s'étend progressivement, toujours vers l'amont du domaine skiable, pour en couvrir jusqu'à 50 ha de pistes, soit le quart de sa surface. Aujourd'hui, ce sont 49 enneigeurs qui permettent de produire de la neige sur 90 ha de piste, soit approximativement 50% de la surface du domaine skiable⁶. L'enneigement des pistes est possible jusqu'à plus de 2500 mètres d'altitude, soit 250 mètres de dénivelé sous le sommet du domaine (carte 5.4).

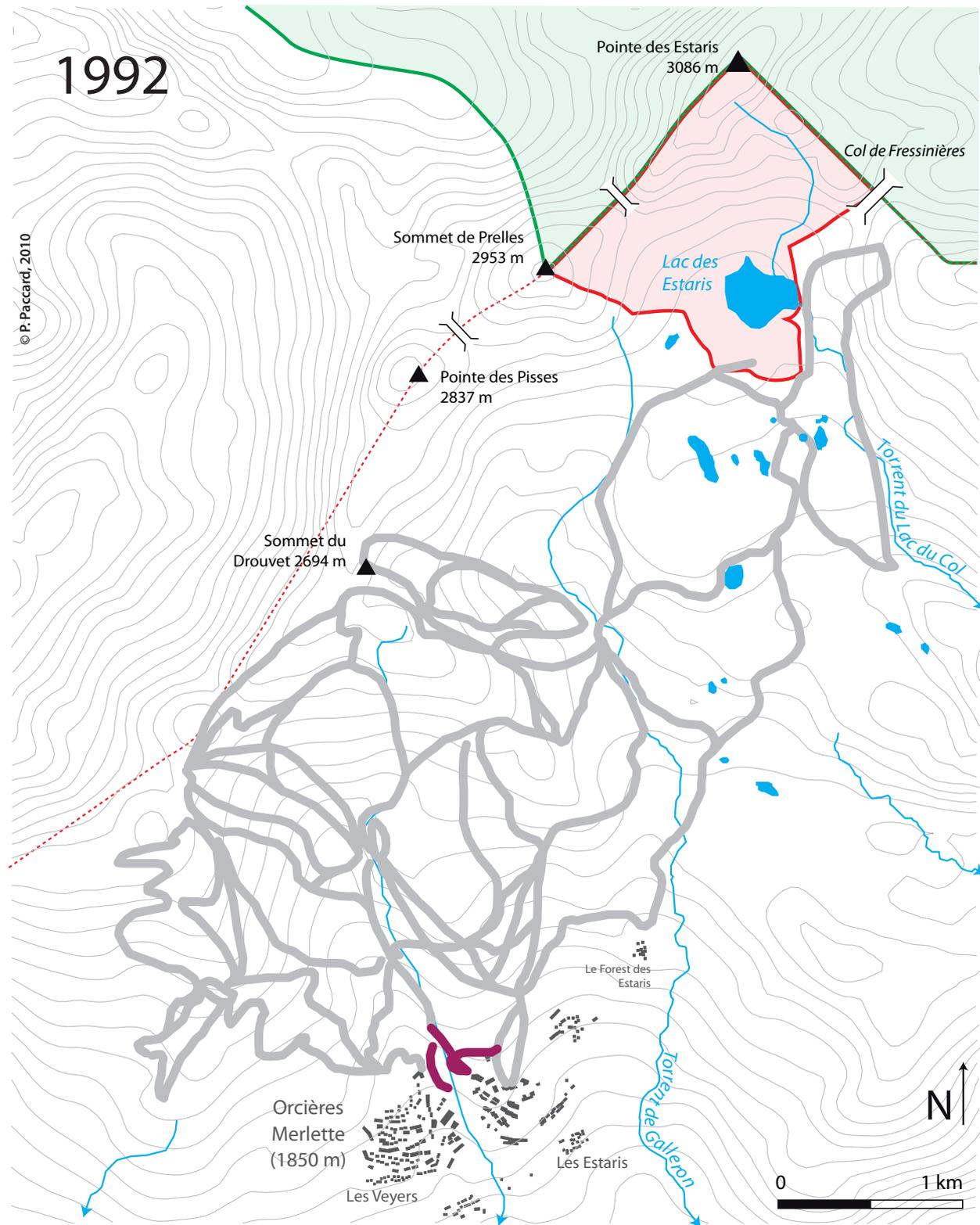
Récemment, en 2007, le Conseil Général des Hautes-Alpes subventionnait à Orcières-Merlette une « *opération neige de culture* » (intitulé utilisé dans le contrat station 2005-2007 signé entre la commune d'Orcières et le département des Hautes-Alpes) à hauteur de 330 000 euros, soit 30% du montant total des travaux envisagés.

⁵

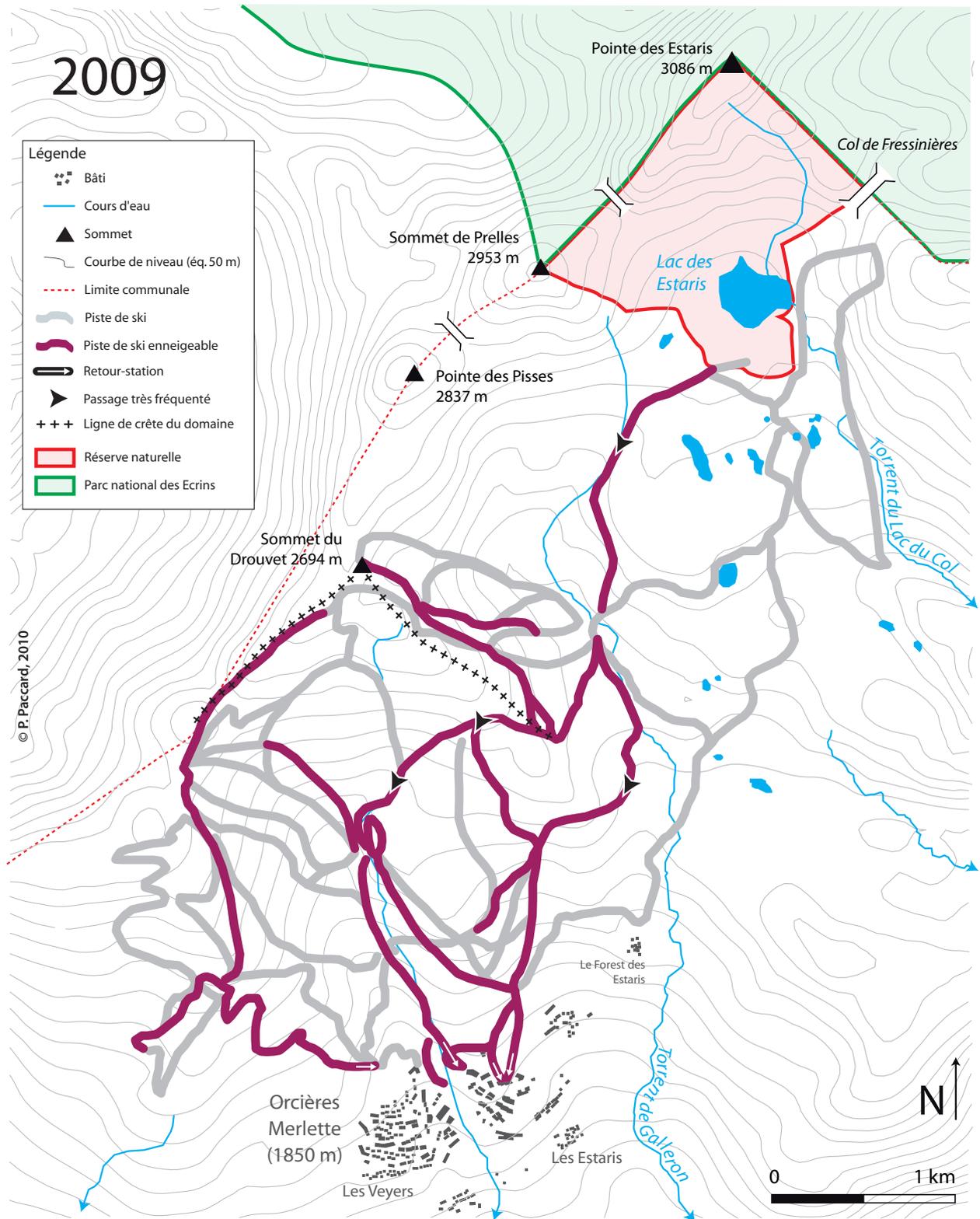
Les remontées mécaniques de la petite station de Serre-Eyraud, sur la commune d'Orcières, sont également gérées en délégation de service public par Orcières LabelleMontagne. Un seul enneigeur est installé sur ce domaine, au pied des pistes. Il est alimenté par un trop-plein du réseau d'eau potable.

⁶

Donnée transmise par Orcières LabelleMontagne.



Carte 5.3 : Les pistes équipées d'installations d'enneigement à Orcières en 1992



Carte 5.4 : Les pistes équipées d'installations d'enneigement à Orcières en 2009

Les principaux secteurs enneigeables sont les zones de crête (pistes des Vallons, des Bouquetins, des Chamois), pratiquement toutes les pistes de retour à la station (pistes du Montagnou, Charpenet et Mézelle) ainsi que les grands axes du domaine, très fréquentés (pistes Rochasson, Chardonnet et du Goulet). Ces investissements ont permis, dans une certaine mesure, de garantir une partie des recettes de la station lorsque l'enneigement était déficitaire (figure 5.2 et photo 5.3). Ils entraînent cependant, nécessairement, des coûts d'exploitation de plus en plus importants.

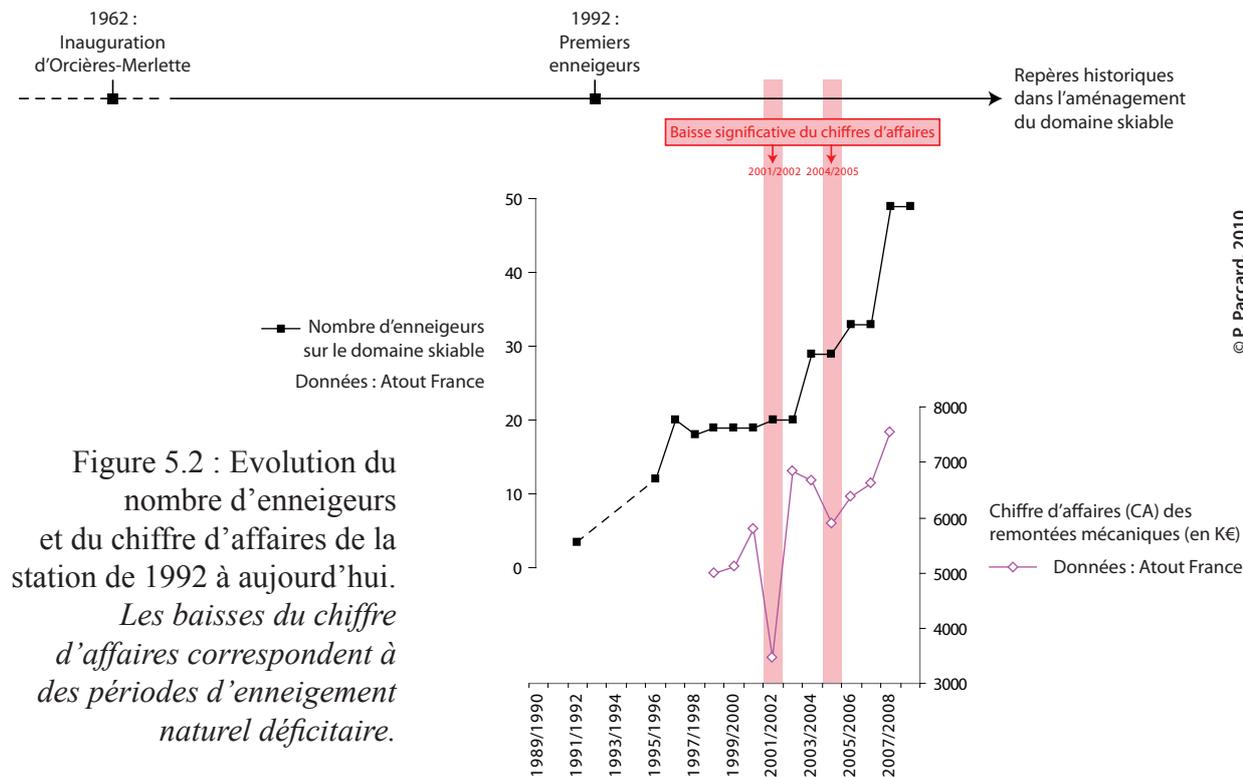


Photo 5.3 : L'enneigement sur le domaine skiable d'Orcières au mois de janvier 2007. Vue depuis le vallon d'Archinard (cliché : P. Paccard, le 13/01/2007). A cette période d'enneigement déficitaire (sur le bas du domaine skiable), les retours station (en bas, à gauche) ont pu être assurés par le travail de la neige (damage et production de neige).

1.2.2. Les caractéristiques techniques de l'installation d'enneigement

Une installation atypique, exclusivement monofluide

La particularité de l'installation d'enneigement artificiel d'Orcières-Merlette réside dans l'emploi quasi-exclusif d'enneigeurs de type « mono-fluide ». Une dizaine d'entre eux sont à poste fixe, installés sur une tour (photo 5.4) ; les autres, mobiles, sont déplacés de regard en regard tout au long de la saison et des campagnes d'enneigement, en fonction des secteurs à enneiger (photo 5.5). En tout, ce sont 110 regards, installés le long des pistes enneigeables sous lesquelles passent les canalisations d'eau, qui permettent le branchement des 49 enneigeurs de la station. Le déplacement des enneigeurs demande un travail de manutention important, réalisé par les nivoculteurs de la station et le service des pistes, avec l'aide des engins de damage.



Photo 5.4 : Enneigeur monofluide à poste fixe, monté sur tour



Photo 5.5 : Enneigeur monofluide mobile, installé à proximité du front de neige de la station (clichés : P. Paccard, le 25/01/2009)

L'alimentation gravitaire du réseau d'enneigement

Le choix de cette technologie mono-fluide, effectué dès l'origine, s'explique par l'alimentation gravitaire de l'installation d'enneigement, principalement depuis le Grand Lac des Estaris, situé pratiquement au sommet du domaine skiable (figure 5.3). Ce mode d'alimentation a permis de s'affranchir de la construction d'une usine à neige, regroupant des installations de pompage d'eau, à laquelle auraient également pu être associés des compresseurs d'air, pour le fonctionnement d'enneigeurs de type bi-fluide.

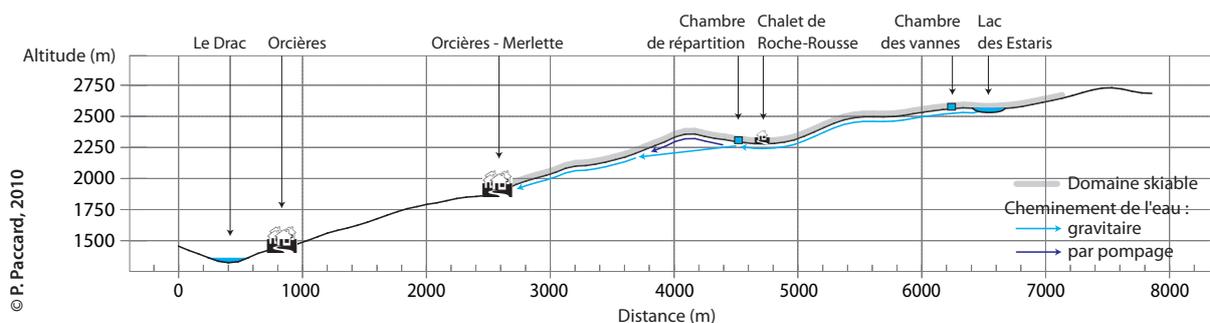


Figure 5.3 : Coupe schématique du cheminement de l'eau pour la production de neige depuis le lac des Estaris vers le réseau d'enneigeurs de la station. *Le lac, situé au sommet du domaine skiable, permet d'alimenter de façon gravitaire la majeure partie de l'installation d'enneigement.*

Par ailleurs, cette alimentation gravitaire permet à l'exploitant de réaliser d'importantes économies quant aux dépenses énergétiques nécessaires à la production de neige : pratiquement aucune reprise de pompage n'est nécessaire (hormis le long de la crête menant au sommet du Drouvet) pour alimenter en eau l'ensemble de l'installation. Cette caractéristique fait d'Orcières-Merlette un « *site modèle sur le plan énergétique* » pour E. Gouazé, Directeur Technique du groupe Remy Loisir / LabelleMontagne (Gouazé, 2009 ; figure 5.4). A titre de comparaison, si la part de l'électricité dans le coût moyen d'un m³ de neige à Orcières est de 19%, elle est de 55% à La Bresse (Vosges), autre station du groupe LabelleMontagne (figure 5.4).

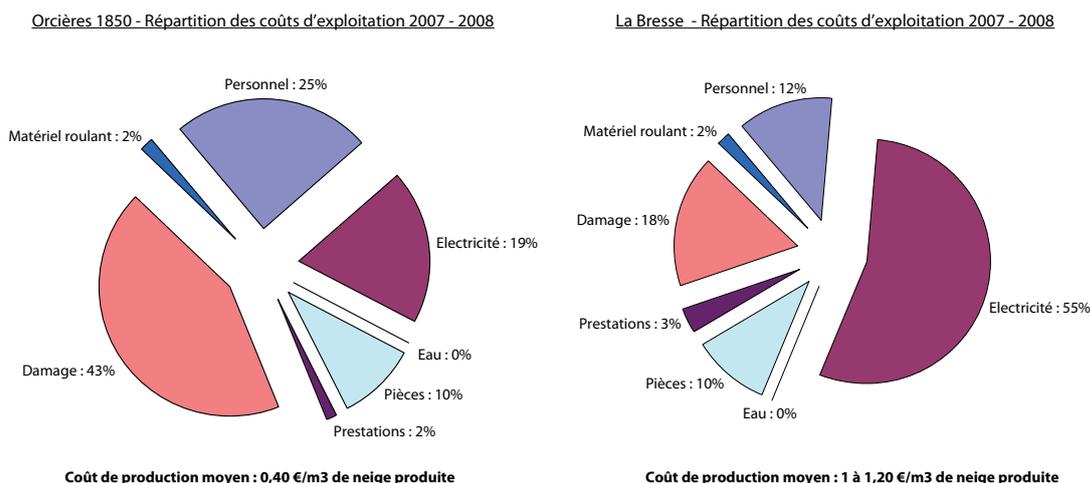


Figure 5.4 : Comparaison des coûts de production, par poste de dépense, d'un m³ de neige de production à Orcières-Merlette et à La Bresse (Vosges) (d'après Gouazé, 2009, modifié). *Sur cette figure, le coût de l'eau est estimé comme nul. En réalité, à Orcières et selon le mode de calcul de la redevance « prélèvement » des agences de l'eau, le coût d'un mètre cube d'eau pour la production de neige (considéré pour ce calcul comme un « usage économique ») s'élève à 0,0081 euros en 2010 ; en zone de redevance majorée (ressource déficitaire ou de catégorie 2), situation dans laquelle se trouve le Haut-Drac, le taux applicable pour un prélèvement d'eau superficielle à usage économique est effectivement de 8,10 euros par millier de mètres cubes prélevés.*

Le Grand Lac des Estaris : source principale d'alimentation en eau

D'une surface au miroir de 8,5 ha à sa côte maximale, le Grand Lac des Estaris (photo 5.6) se situe à 2559 mètres d'altitude. Il est bordé par un cirque montagneux, constitué à l'Ouest du Sommet de Prelles (2953 mètres), au Nord de la pointe des Estaris (3080 mètres), et au Nord-Est du col de Fressinières (2782 mètres). C'est une butte morainique, correspondant à une moraine frontale récente formée par l'ancien glacier du cirque des Estaris, qui constitue la digue Sud du lac (Jeannolin, 2007, p. 5).

Une bathymétrie du lac, réalisée en 1993 par le laboratoire d'hydrobiologie de l'Université de Provence, a permis de mesurer une profondeur maximale de 8,25 mètres pour un volume de 400 000 m³ (cité in ECODIR, 1993, p. 27).

Le lac est alimenté par une série d'écoulements superficiels provenant du cirque entre le Sommet de Presles et le col de Fressinières. Ces derniers présentent un régime nival marqué, « *avec des débits importants à la fonte printanière, un tarissement quasi général en fin d'été, et un retour des eaux lors des pluies automnales* » (Jeannolin, 2007, p. 6). L'exutoire du lac est constitué par l'échancrure d'une petite digue en pierres maçonnées, réaménagée en 1976 ; la digue rehausse le niveau du lac d'un mètre environ.

L'émissaire du lac est le Torrent du Lac du Col, de régime également nival, affluent du Torrent de Blaisil rejoignant le Drac en aval de Prapic (1476 mètres d'altitude à la confluence). Les écoulements du Torrent du Lac du Col sont quasi-nuls à l'exutoire du lac de décembre à avril et importants à la fonte printanière (jusqu'à 200 l/s au mois de juin) ; ils redeviennent nuls en août avant de reprendre un débit d'environ 30 ou 40 litres par seconde grâce aux précipitations automnales (ECODIR, 1993, p. 35). Il faut noter que de petites pertes du lac par infiltrations ont par ailleurs été constatées (*idem*).

D'un point de vue piscicole, une petite population de truites fario et d'ombles chevalier s'est maintenue, malgré l'arrêt des alevinages en 1976 (Jeannolin, 2007, p. 4).

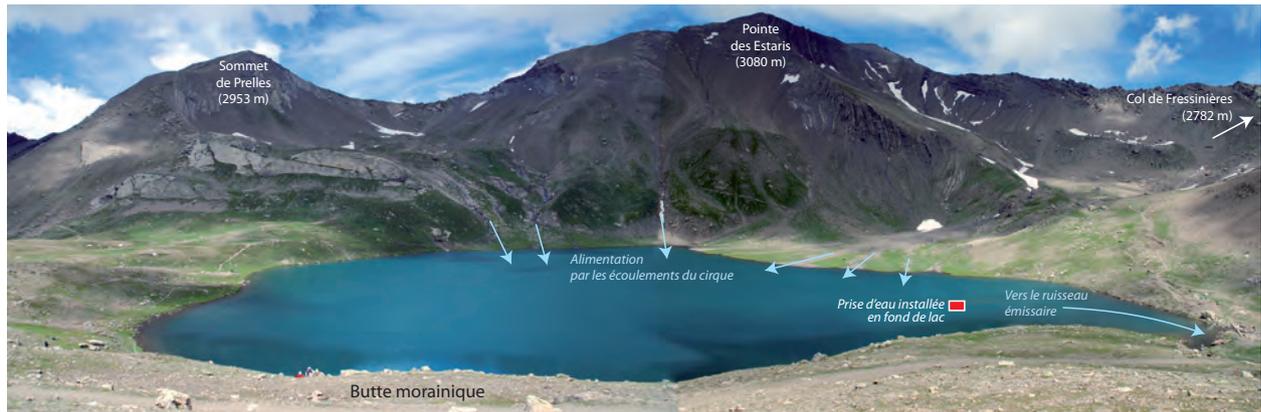


Photo 5.6 : Le cirque du Grand Lac des Estaris (cliché : P. Paccard, le 09/07/2009)

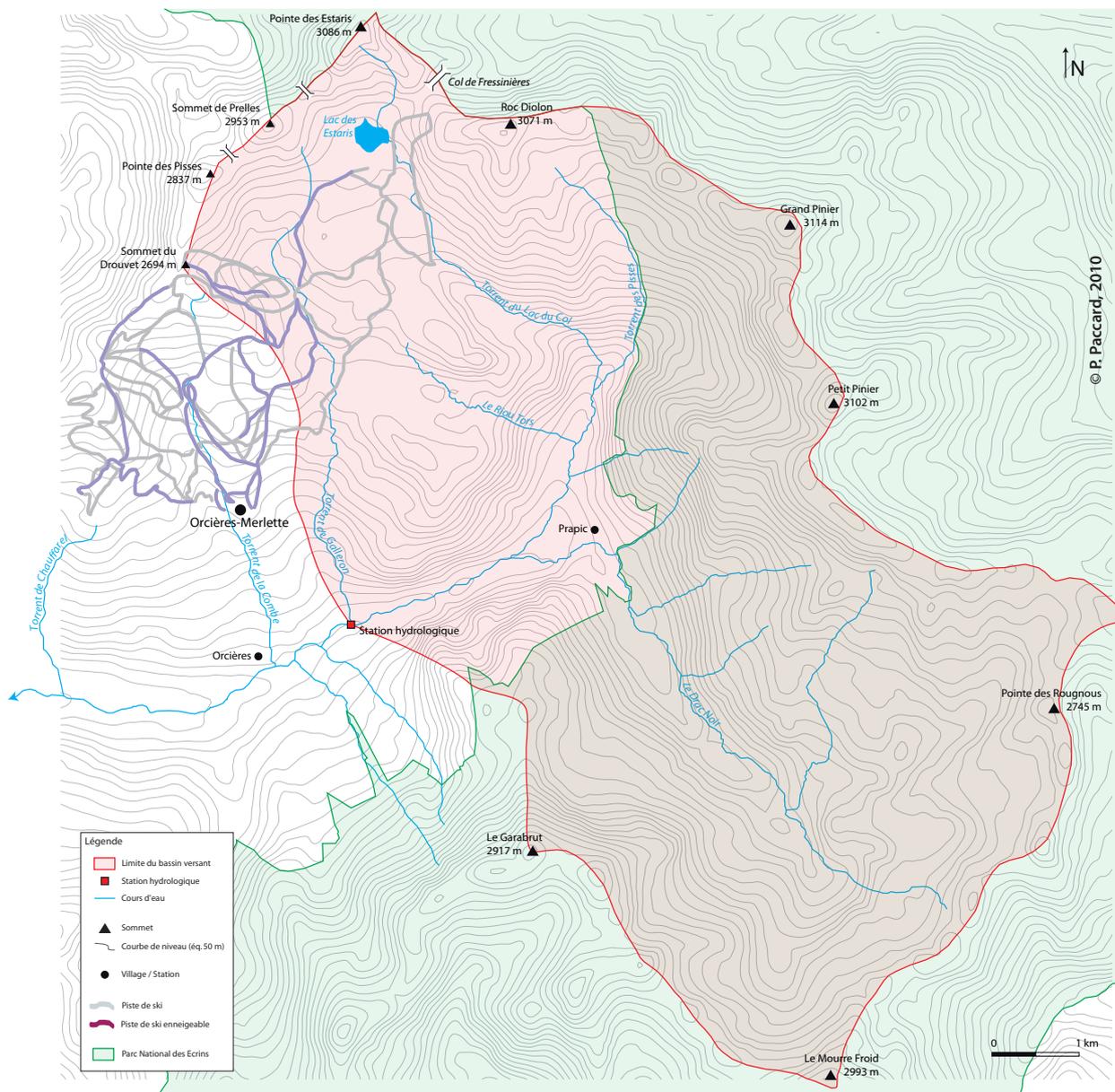
Aujourd'hui, le **Grand Lac des Estaris constitue la principale source d'alimentation en eau de l'installation d'enneigement artificiel d'Orcières-Merlette** (un trop-plein de captage d'eau potable complète ce dispositif ; nous le verrons ultérieurement). Le prélèvement s'effectue grâce à une prise d'eau installée à 4,5 mètres de profondeur et à 35 mètres environ de l'exutoire du lac. Au départ de la prise d'eau partent deux conduites en acier de 350 mm de diamètre. Elles rejoignent une chambre des vannes, située juste en contrebas de l'exutoire, à 250 mètres environ de celui-ci. Grâce à ces canalisations, un dispositif de vannes permet, en cas de besoin, la vidange du lac ; c'est également le point de départ du dispositif d'alimentation de l'ensemble des installations d'enneigement de la station (photo 5.7 et 5.8). Des débitmètres permettent de mesurer précisément les volumes d'eau prélevés dans le Lac des Estaris. Aujourd'hui, les besoins en eau de la station pour la production de neige sont estimés à 400 000 m³ d'eau maximum par saison (contre 76 500 m³ en 1993) pour un débit de prélèvement instantané de 140 l/s.



Photo 5.7 : Vue de l'extérieur de la chambre des vannes des Estaris (cliché : P. Paccard, le 09/07/2009)



Photo 5.8 : Vue de l'intérieur de la chambre des vannes des Estaris (cliché : P. Paccard, le 09/04/2009)



Carte 5.5 : Le bassin versant topographique du Drac Noir à l'amont de la station hydrologique d'Orcières (57,3 km²).

2. LES IMPLICATIONS DE LA PRODUCTION DE NEIGE POUR L'EAU

Les implications de la production de neige pour l'eau à Orcières sont de deux ordres principaux. Il s'agit non seulement des impacts hydrologiques des prélèvements sur le fonctionnement des hydrosystèmes des bassins versants concernés, mais également des interrelations que la production de neige entretient avec les autres usages de l'eau de la commune, avec l'eau potable en particulier.

2.1. Les impacts hydrologiques

Deux impacts de la production de neige à Orcières-Merlette vont être ici discutés : la modification probable du régime des eaux des bassins versants sur lesquels elle se situe, que nous estimerons de façon quantitative, et le marnage du lac des Estaris, que nous analyserons de façon plus qualitative.

2.1.1. La question des régimes hydrologiques et des transferts de masse d'eau : éléments d'appréciation

Pour évaluer les incidences hydrologiques de la production de neige, les volumes d'eau prélevés peuvent être comparés aux lames d'eau s'écoulant naturellement sur les bassins versants concernés. A Orcières, grâce à la disponibilité de quelques années de données d'une station hydrologique, cette comparaison peut être réalisée à l'échelle du haut bassin versant du Drac Noir ou à l'échelle, plus fine, des sous-bassins versants supports de la station. Pour bien mesurer les volumes en jeu, ces deux échelles de comparaison sont retenues.

Les volumes en jeu à l'échelle du bassin versant du Drac Noir (57 km²).

Une station hydrologique fut en service sur le Drac Noir du 01/10/1974 au 01/09/1977 ; elle n'est aujourd'hui, malheureusement, plus en fonctionnement. A notre connaissance, c'est la seule station hydrologique existante au plus proche d'Orcières-Merlette. Elle se situe à l'altitude de 1440 mètres, à la confluence du Torrent de Galleron et du Drac Noir, à moins d'un kilomètre en amont du village d'Orcières (carte 5.5). Elle couvre un bassin versant d'une surface de 57,3 km², dont la majeure partie se trouve en zone centrale du Parc des Ecrins.

Bien entendu, compte tenu de l'ancienneté de la station hydrologique du Drac Noir à Orcières et, surtout, du peu d'années de mesure dont elle dispose (seulement 3 années d'enregistrement), toutes les précautions sont de rigueur quant à l'utilisation de ces données. Elle permet néanmoins d'établir des comparaisons intéressantes entre les écoulements naturels du bassin versant considéré et les volumes d'eau prélevés pour la production de neige.

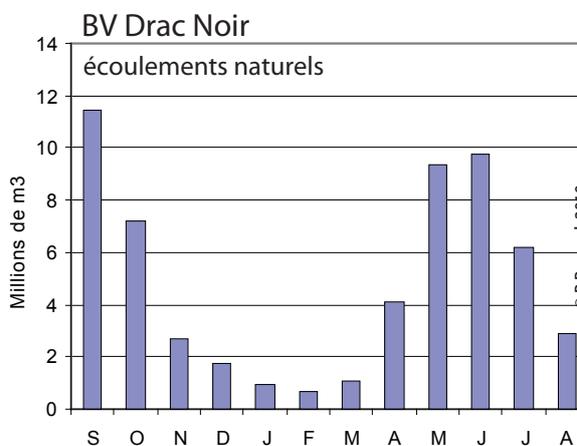
Ainsi, pour les trois années d'enregistrement, les données de cette station hydrologique (disponibles sur la Banque Hydro⁷) permettent d'apprécier les écoulements moyens annuels

⁷

Les données, libres et gratuites, de la banque hydro sont administrées par un service du Ministère de l'Environnement. Les données de la station d'Orcières (code station : W2002010) ont été produites par la DIREN PACA et sont disponibles à l'adresse suivante : <http://www.hydro.eaufrance.fr/>.

de l'ensemble du bassin versant topographique du Drac Noir, en amont de celle-ci (figure 5.6). Ils présentent un régime pluvio-nival caractéristique, marqué par les importantes précipitations automnales et la fonte des neiges au printemps. En rapportant le débit annuel moyen des 3 années d'enregistrement à la surface du bassin versant, le débit spécifique du Drac Noir au point de mesure est de 33 l/s/km².

Figure 5.6 : Les écoulements moyens du Drac Noir mesurés à la station hydrologique d'Orcières d'octobre 1974 à septembre 1977 (d'après les données de la banque Hydro)



D'après le projet global d'enneigement de la station (détail des pistes à enneiger et des volumes d'eau à traiter)⁸, les besoins en eau s'élèvent à 73 680 m³ pour le mois de novembre, 101 188 m³ en décembre, 97 117 m³ en janvier et 75 058 en février.

Pour établir la comparaison de ces prélèvements avec les écoulements du bassin versant du Drac Noir, nous proposons de :

- retrancher ces volumes des écoulements du bassin versant du Drac Noir pour chaque mois de prélèvement ;
- ajouter ces volumes aux écoulements du bassin pour les mois de fonte de la neige, en prenant l'hypothèse d'une restitution uniforme de l'ensemble du volume de neige produit sur les mois d'avril, mai et juin.

Les écoulements du Drac Noir influencés par la production de neige sont ainsi obtenus (figure 5.7), sur la base des débits moyens enregistrés de 1974 à 1977. **A cette échelle de travail (bassin versant de plus de 50 km²), les prélèvements pour la production de neige à Orcières et leur restitution à la fonte semblent peu significatifs :**

- pour les prélèvements, respectivement -3%, -6%, -10% et -11% des écoulements totaux des mois de novembre, décembre, janvier et février ;
- pour les restitutions, respectivement +3%, +1% et +1% des écoulements des mois d'avril, de mai et de juin.

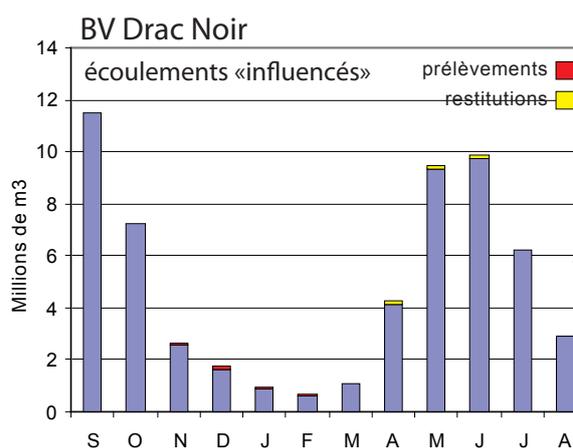


Figure 5.7 : Les écoulements moyens du Drac Noir, influencés par la production de neige (d'après les données de la banque Hydro et du projet global d'enneigement, transmis par la station)

⁸ Ce document, transmis par le Service des Pistes de la station, ne représente pas les prélèvements effectivement réalisés mais le planning des pistes à enneiger, par ordre de priorité et en fonction des périodes de la saison. Pour chaque piste, le volume de neige à produire est mentionné, ainsi que les besoins en eau correspondants. Ce planning d'enneigement est modulé en fonction des conditions de neige de la saison.

En réalité, l'échelle du bassin versant du Drac Noir en amont de la station hydrologique n'est certainement pas la plus pertinente pour l'analyse de ces impacts : elle renvoie d'une part à une surface hydrologique très vaste, dans laquelle les volumes en jeu pour la production de neige ne sont plus significatifs ; d'autre part, les restitutions liées à la fonte de la neige de production ne se font pas, dans leur majorité, sur ce bassin versant mais sur ceux correspondant au Torrent de la Combe et au Torrent de Galleron. Ainsi, c'est à l'échelle des sous-bassins effectivement supports des pistes du domaine skiable d'Orcières que nous poursuivons cette analyse.

Les volumes en jeu à l'échelle des bassins élémentaires supports du domaine skiable

Quatre sous-bassins versant supportent le domaine skiable d'Orcières-Merlette. Ils correspondent aux 4 torrents s'écoulant vers le Sud depuis la partie haute du domaine vers le Drac Noir : le Torrent de la Combe, le Torrent de Galleron, le Riou Tors et le Torrent du Lac du Col. Les prélèvements d'eau pour la production de neige se réalisent principalement depuis le Grand Lac des Estaris, situé sur le bassin versant du Torrent du Lac du Col ; l'eau est ensuite transportée, transformée en neige puis restituée sur les bassins versant du Torrent de la Combe et du Torrent de Galleron (carte 5.6, *infra*, p. 251).

Le détail des volumes d'eau transformés en neige est connu, par piste et au pas de temps mensuel, grâce au projet global d'enneigement de la station. En établissant la correspondance entre chaque piste et son bassin versant respectif, il est alors possible d'établir les volumes d'eau transformés en neige sur chaque sous-bassin versant (tableau 5.2, *infra*, p. 250) et d'estimer ainsi les volumes d'eau restitués au réseau hydrographique à la fonte des neiges.

Grâce aux informations du tableau 5.2 et aux données de la station hydrologique dont nous disposons, il est possible d'approcher l'influence de la production de neige sur les écoulements de chaque sous-bassin versant.

- Dans un premier temps, en utilisant le débit spécifique du Drac Noir mesuré à la station hydrologique d'Orcières (33 l/s/km²) et la surface de chaque sous-bassin versant (calcul SIG), les écoulements « naturels » à l'exutoire respectif de ces derniers sont reconstitués. Cette extrapolation nous permet d'approcher les écoulements de ces sous-bassins versant à partir des données de la station hydrologique, à défaut d'avoir pu les mesurer.

Cette méthodologie se heurte néanmoins à des **limites certaines** (seules trois années de données à la station hydrologique, hétérogénéité probable des écoulements sur chaque sous-bassin versant, etc.). Les résultats avancés doivent ainsi être appréhendés en considération de ces incertitudes.

- Dans un second temps, les écoulements « influencés » par la production de neige sont également reconstitués, en réemployant la méthode précédemment présentée :
 - les volumes prélevés sont soustraits des écoulements du bassin versant du Torrent du Lac du Col, pour chaque mois de prélèvements ;
 - les volumes restitués sont ajoutés aux écoulements des bassins récepteurs pour les mois de fonte de la neige (hypothèse d'une restitution uniforme de l'ensemble des volumes de neige produits sur les mois d'avril, mai et juin).

Mois	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.
Prélèvements depuis le Lac des Estaris, BV du Torrent du Lac du Col (m3)	73 680	101 188	97 117	75 058
Volume d'eau transformée en neige (m3), BV du Torrent de la Combe	43 468	58 816	63 840	54 428
Volume d'eau transformée en neige (m3), BV du Torrent de Galleron	30 212	42 372	33 277	20 630

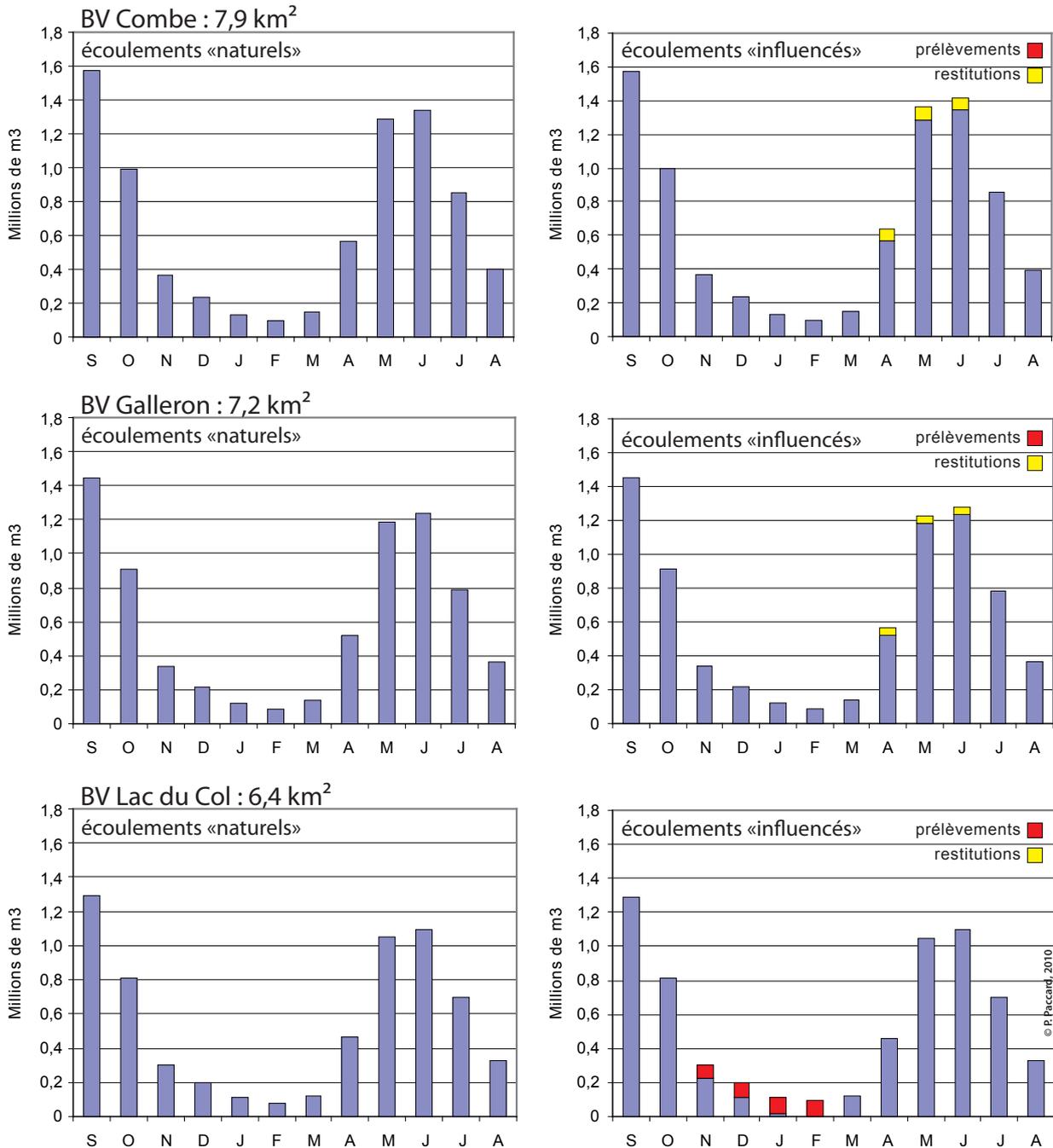
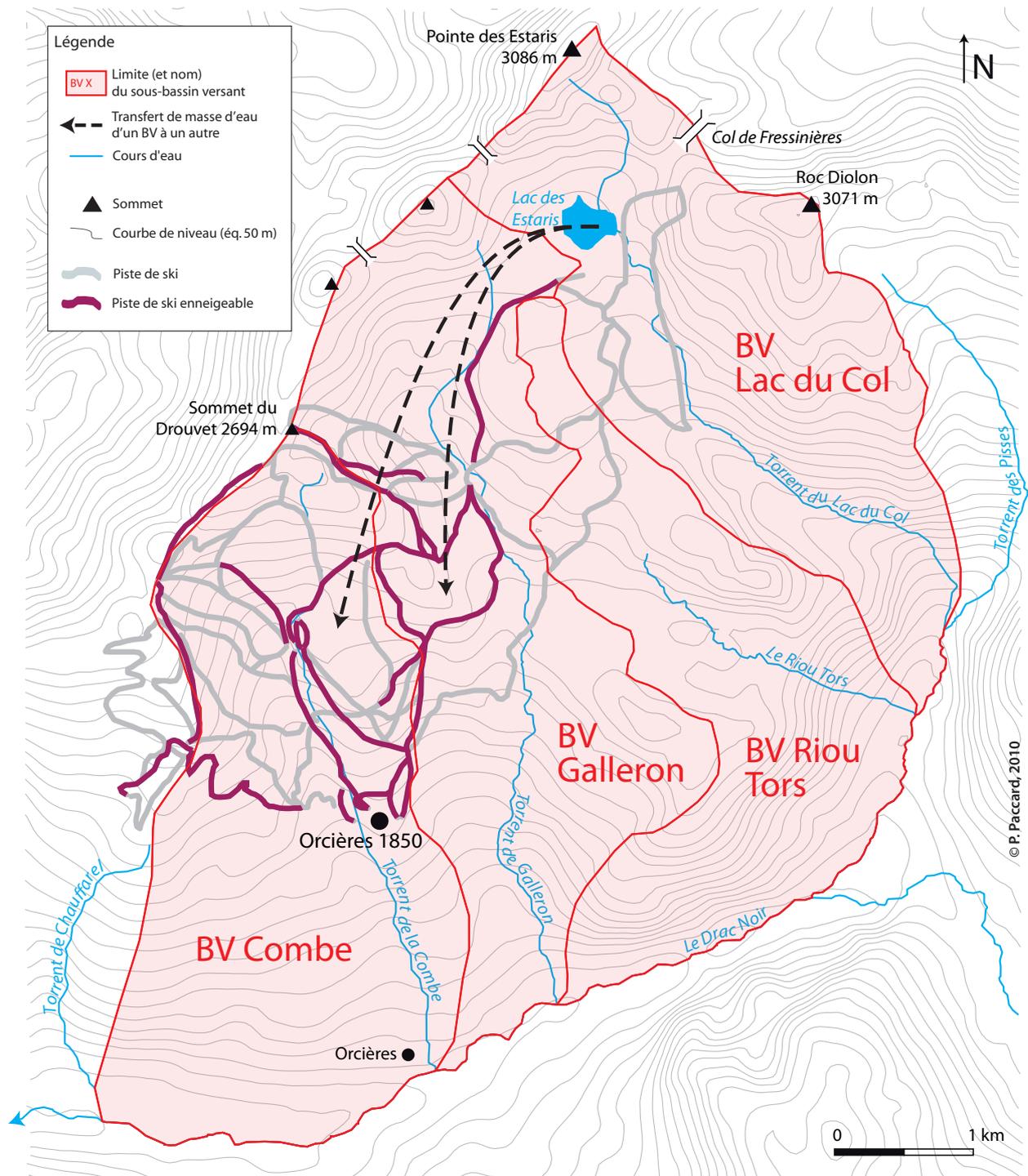
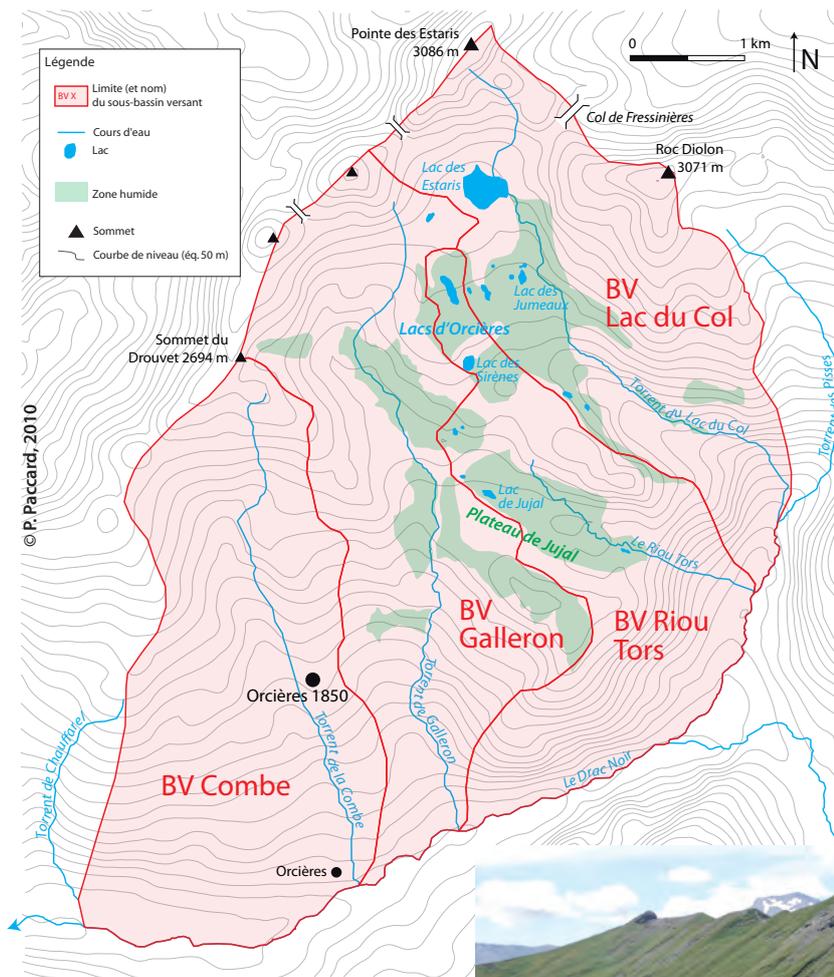


Figure 5.8 : Les écoulements moyens reconstitués, influencés par la production de neige, du bassin source des prélèvements (Torrent du Lac du Col) et des deux bassins récepteurs (Torrent de la Combe et Torrent de Galleron) (d'après les données de la banque Hydro et du projet global d'enneigement, transmis par la station)

Tableau 5.2 : Répartition mensuelle des volumes d'eau prélevés et transformés en neige sur le bassin source (Torrent du Lac du Col) et les deux bassins récepteurs (Torrent de la Combe et Torrent de Galleron) (d'après les données du projet global d'enneigement, transmis par la station)



Carte 5.6 : Les quatre bassins versants élémentaires supports de la station d'Orcières-Merlette. Le bassin versant du Torrent du Lac du Col constitue le bassin source des prélèvements. L'eau prélevée est ensuite transférée vers les pistes des bassins du Torrent de la Combe et de Galleron, alors récepteurs des volumes mobilisés pour la production de neige.



Carte 5.7 : Le cortège de zones humides et les nombreux lacs situés sur le domaine skiable d'Orcières (d'après l'inventaire des zones humides réalisé et transmis par le Parc National des Ecrins)

Photo 5.9 : Le lac de Jujal (2190 mètres d'altitude) (clichés : P. Paccard, le 09/07/2009)



Photo 5.10 : Le lac des Sirènes (2380 mètres d'altitude)



Photo 5.11 : Les lacs des Jumeaux (2460 mètres d'altitude)

Les résultats de cette modélisation relativement simple montrent bien l'influence de la production de neige (prélèvements et restitutions à la fonte) sur le régime des écoulements de chaque sous-bassin versant (figure 5.8, *supra*). D'après ceux-ci, **la fonte de la neige de production augmenterait les débits du Torrent de la Combe** respectivement de +13%, +6% et +5% au mois d'avril, de mai et de juin et les débits du Torrent de Galleron de +8%, +4% et +3% pour les mêmes mois.

A l'inverse, **les prélèvements depuis le sous-bassin versant du Torrent du Lac du Col en diminueraient les écoulements** respectivement de -26%, -41%, -87% et -100% au mois de novembre, de décembre, de janvier et de février. En réalité – c'est bien là la limite de cette modélisation –, ce n'est pas tout à fait le cas : les prélèvements sont effectués depuis le Grand Lac des Estaris, jouant un rôle de « tampon », et non à l'exutoire de ce sous-bassin versant.

A cette échelle de travail, les impacts hydrologiques de la production de neige sont donc bien visibles, tant en termes de volumes prélevés sur les bassins versants « source » que de volumes restitués sur les bassins versants « récepteurs ».

Quels impacts de la modification du régime des eaux sur le cortège de zones humides ?

Les inventaires des groupements végétaux humides réalisés par le Parc National des Ecrins permettent d'établir la cartographie des zones humides situées sur l'emprise du domaine d'Orcières-Merlette (carte 5.7). En fait, c'est tout un cortège de tourbières (dont celle, très grande, du Plateau de Jujal), de prairies humides et de lacs que comporte la partie amont du domaine skiable (photo 5.9, 5.10 et 5.11). Des espèces végétales protégées au niveau national et au niveau régional y ont été recensées : jonc Arctique (*Juncus arcticus*), callitriche des marais (*Callitriche palustris*), rubaniers (*Sparganium*), sabline à deux fleurs (*Arenaria biflora*), etc.

D'un point de vue qualitatif, si le fonctionnement de ces écosystèmes est dépendant de l'hydrologie du bassin versant sur lequel ils se situent, il est tout à fait plausible qu'une artificialisation du régime des eaux impacte peu ou prou, à terme, ces derniers : en quelque sorte, les sous-bassins versants source des prélèvements pour la production de neige se trouvent privés d'une partie de leurs écoulements naturels, tandis que les sous-bassins récepteurs de la neige produite sont « suralimentés » en eau.

Des suivis précis de l'évolution dans le temps de ces milieux et des pratiques anthropiques qui sont susceptibles de les influencer, dont la production de neige, pourraient peut être permettre de quantifier les impacts potentiels en jeu, ce qui n'a pas été réalisé dans le cadre de ce travail.

2.1.2. Le marnage du Grand Lac des Estaris

Au-delà des transferts de masses d'eau d'un bassin versant élémentaire à un autre, les impacts hydrologiques de la production de neige à Orcières se situent naturellement à l'endroit du prélèvement en lui-même, c'est-à-dire au niveau du Grand Lac des Estaris. Ces impacts avaient très bien été identifiés et caractérisés dans l'étude d'impact réalisée en 1993 (début de la production de neige à Orcières-Merlette) par le bureau d'étude ECODIR, pour un prélèvement de 120 000 m³ à 150 000 m³ depuis le lac (on rappelle que les besoins sont aujourd'hui estimés à 400 000 m³ maximum par saison).

Les prélèvements dans le lac pour l'alimentation de l'installation d'enneigement ont deux conséquences hydrologiques particulières à la prise d'eau. La première est l'effet de marnage du lac du fait des prélèvements. En supposant qu'aucun apport d'eau ne vienne alimenter le lac en période hivernale (de novembre à mars), le prélèvement de 120 000 m³ d'eau abaisserait le niveau du lac de -2 mètres environ, sur une hauteur d'eau au plus profond de 8,25 mètres (ECODIR, 1993, p. 53). Si, en théorie, un prélèvement de 400 000 m³ viderait le lac dans son intégralité, cela n'est en pratique pas possible : la prise d'eau ne se situe pas au fond du lac mais à une profondeur d'environ -4,5 mètres (figure 5.9).

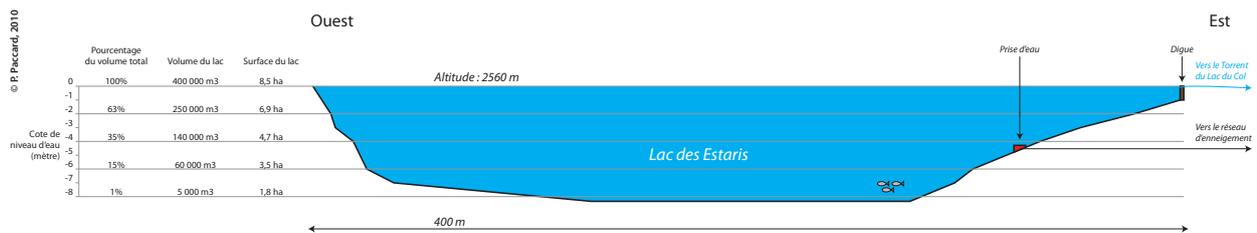


Figure 5.9 : Coupe Est-Ouest et caractéristiques du Lac des Estaris à ses différentes cotes de niveau d'eau (d'après les données de ECODIR, 1993, p. 26 et 29)

Une simulation de l'évolution du lac au cours d'un cycle annuel, proposée par ECODIR (*op. cit.*, p. 51), permet d'apprécier les conséquences des prélèvements sur son niveau d'eau (figure 5.10).

De novembre à mars, en période hivernale les prélèvements pour la production de neige ont pour conséquence la baisse du niveau d'eau du lac sous la glace. Le niveau du lac est donc bas en fin d'hiver. Au printemps, en période de dégel, le lac se remplit progressivement grâce aux écoulements de versant tributaires. Lorsque la cote maximale est atteinte, au mois de juin, la surverse est à nouveau effective et alimente alors le Torrent du Lac du Col. En période estivale, le niveau du lac baisse à nouveau par marnage naturel. Le lac retrouve enfin son niveau haut à l'automne, grâce aux précipitations de la saison.

La deuxième conséquence des prélèvements dans le lac, et du marnage induit de celui-ci, est la modification du régime des écoulements de son émissaire, le Torrent du Lac du Col. En comparaison de son régime hydrologique naturel, le retard de sa mise en eau serait d'environ 1 mois pour un prélèvement de 150 000 m³ (figure 5.11). Jusqu'au mois de juin, le débit de la portion du torrent principalement dépendante de la surverse du lac serait alors nul (photo 5.12). En aval de cette portion, le débit du torrent redeviendrait effectif, grâce à la réapparition des eaux infiltrées et les apports latéraux dont il bénéficie. Lorsque le lac atteint à nouveau son niveau maximum, la surverse de celui-ci réalimente la portion amont du Torrent du Lac du Col.

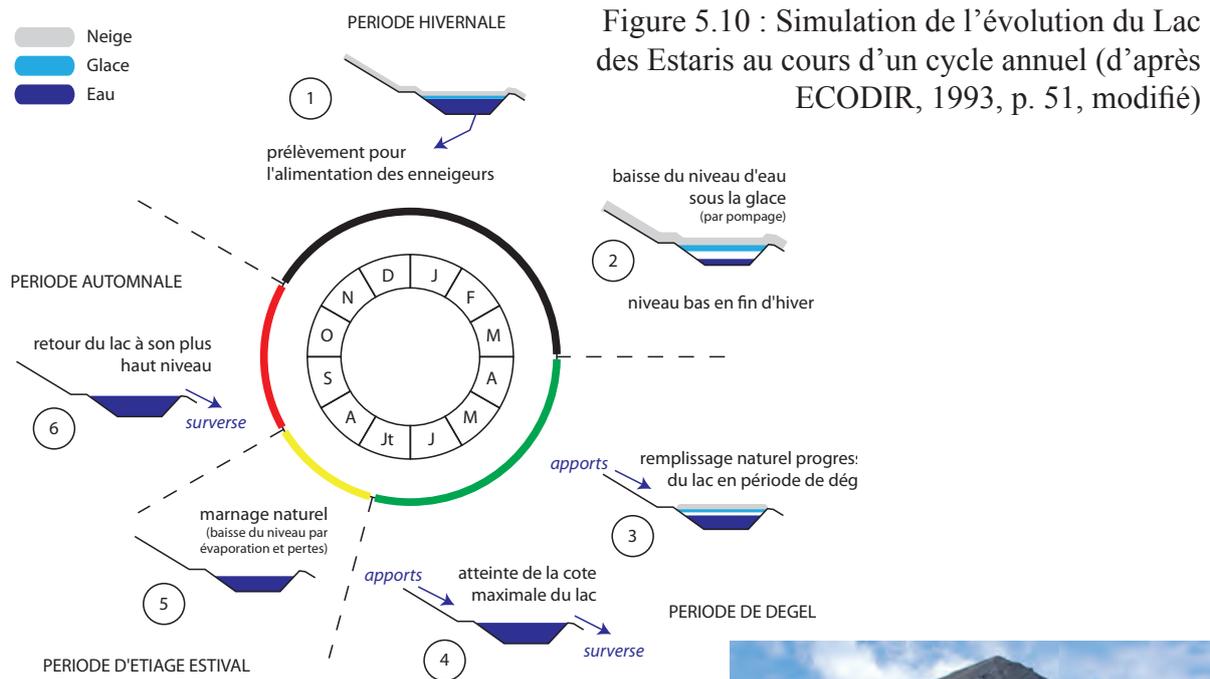


Figure 5.10 : Simulation de l'évolution du Lac des Estaris au cours d'un cycle annuel (d'après ECODIR, 1993, p. 51, modifié)

Photo 5.12 : Le Torrent du Lac du Col en aval immédiat de la surverse du lac (cliché : P. Paccard, le 09/07/2009)

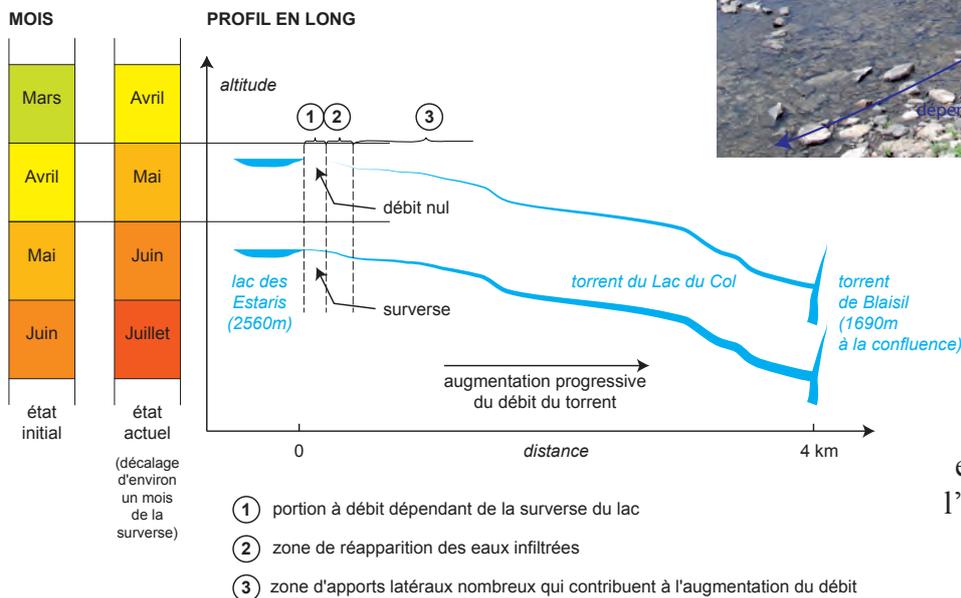
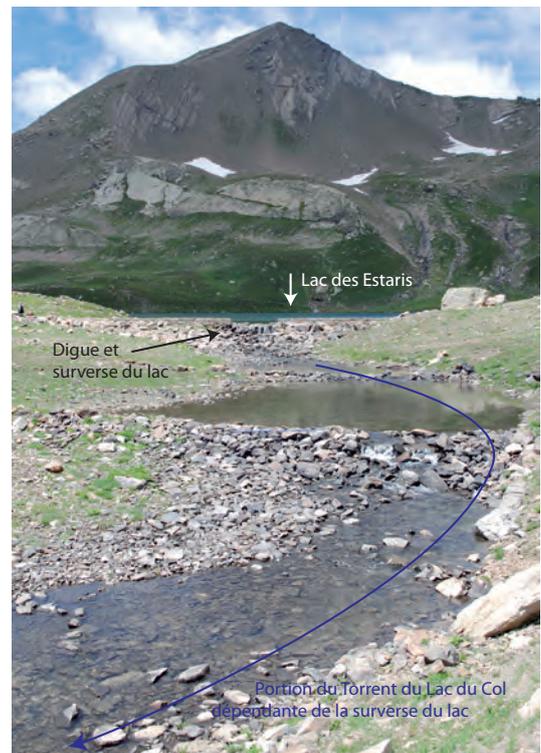


Figure 5.11 : Schéma des écoulements du Torrent du Lac du Col : comparaison entre l'état initial et l'état actuel (d'après ECODIR, 1993, p. 55, modifié)

La reprise de **l'activité biologique du torrent** (il s'agit principalement d'une faune benthique d'altitude), en particulier sur sa partie amont fortement dépendante de la surverse du lac, est alors retardée par des **conditions d'étiage hivernales prolongées**.

En guise de conclusion sur les impacts hydrologiques des prélèvements en eau pour la production de neige, ceux-ci résident à la fois dans le déplacement de masses d'eau sur les différents bassins versant supports du domaine skiable que dans l'effet de marnage du lac des Estaris. A l'étiage hivernal, ceux-ci sont exacerbés. **Dans tous les cas, c'est bien à l'échelle locale des sous-bassins versant supports que ceux-ci peuvent être appréciés.**

2.2 Alimentation en eau potable et production de neige : le dialogue des usages de l'eau autour du Lac des Estaris

L'alimentation en eau potable de la commune d'Orcières est assurée en délégation de service public par la SAUR (Société d'Aménagement Urbain et Rural). Le dernier contrat d'affermage signé entre ces deux parties date du 22 décembre 2006 et les lie jusqu'au 31 décembre 2015. Auparavant, ce service fut assuré directement par la commune (jusqu'en 1986) puis par la CISE, Compagnie Internationale de Service et d'Environnement, filiale du groupe Saint-Gobain avant son absorption par la SAUR. Il faut rappeler la participation de la CISE au capital de la SEMILOM, société gestionnaire d'Orcières de 1991 à 2003, à hauteur de 30% (Bardiau, 1991, p. 13).

Aujourd'hui, au moins deux raisons principales conduisent au dialogue les nivoculteurs d'Orcières LabelleMontagne et les services de la SAUR d'Orcières : d'une part, une partie des ouvrages de distribution de l'eau est commune aux usages d'alimentation en eau potable et de production de neige ; d'autre part, ces deux usages de l'eau portent un projet commun de renforcement des volumes d'eau dont ils peuvent disposer. Mais en réalité, les usages d'alimentation en eau potable et de production de neige gravitent depuis longtemps autour de la ressource en eau que constitue le Grand Lac des Estaris.

2.2.1. Comparaison des volumes d'eau mobilisés

La comparaison des volumes récemment mobilisés pour les deux usages de l'eau montre que, pour le mois de décembre, les besoins en eau pour la production de neige peuvent représenter près du double des volumes distribués sur le réseau d'eau potable de la commune (figure 5.12). Pour la saison 2008-2009, ces derniers sont maximums au mois de décembre (86 405 m³ d'eau destinés à la préparation d'une sous couche de neige en préparation de la saison) ; ils restent importants au mois de janvier (72 769 m³) puis deviennent marginaux au mois de janvier et de février.

Les volumes d'eau potable mis en distribution sur le réseau de la commune sont quant à eux maximums (sur la saison comme sur l'année) au mois de février (53 946 m³ en moyenne pour les années 2008 et 2009) ; c'est effectivement au mois de février, au moment des vacances scolaires que le taux de remplissage des hébergements de la station est maximum.

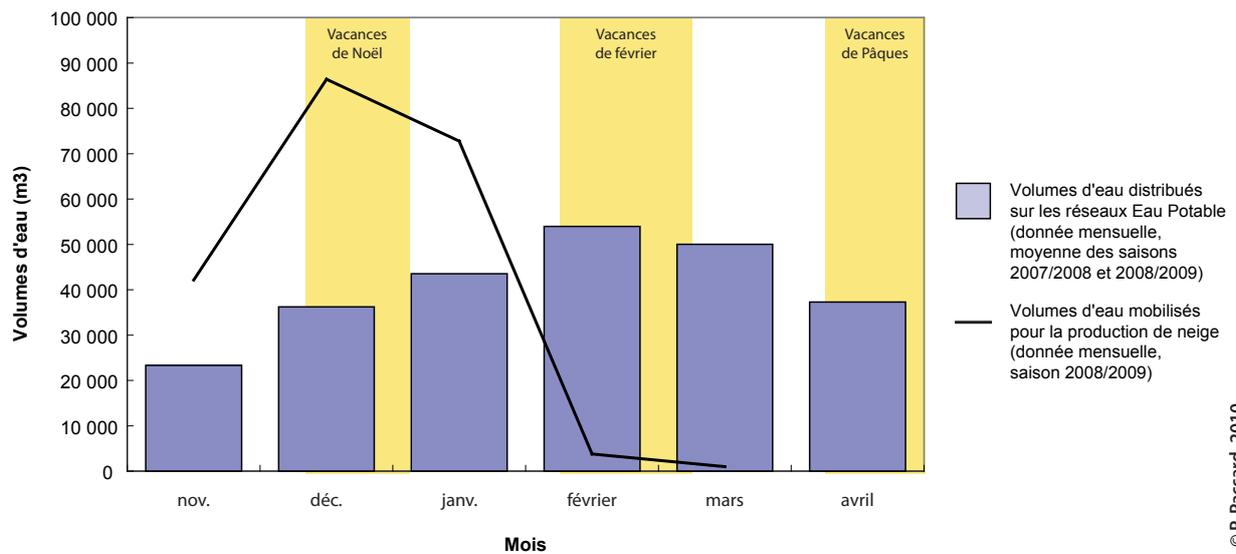


Figure 5.12 : Comparaison des volumes d'eau potable distribués à Orcières (saison 2007/2008 et 2008/2009) et des volumes mobilisés pour la production de neige (saison 2008/2009) (d'après les données transmises en 2009 par la SAUR pour l'eau potable et Orcières LabelleMontagne pour la production de neige)

Si cette comparaison est intéressante puisqu'elle permet d'apprécier les volumes d'eau en jeu pour ces deux usages, elle ne permet néanmoins pas de conclure sur la possibilité, ou non, d'un conflit entre ces deux utilisations de l'eau. En réalité, pour le gestionnaire du réseau d'eau potable de la commune, cette éventualité est impossible et n'est d'ailleurs jamais arrivée : la priorité sera toujours donnée aux abonnés du service d'alimentation en eau potable⁹.

Quoi qu'il en soit, si les réseaux de distribution d'eau potable et de production de neige se recourent bien en un endroit du domaine skiable, **la configuration actuelle du dispositif empêche techniquement tout risque de production de neige au détriment de l'alimentation en eau potable.**

2.2.2. Le trop-plein de la chambre de répartition de Roche-Rousse

Pas de risque de conflit d'usage...

La chambre de répartition des eaux de Roche-Rousse, située à l'altitude de 2280 mètres, à l'aval du chalet et sur le plateau du même nom, constitue le seul point où les réseaux d'alimentation en eau potable et de production de neige sont maillés sur le domaine skiable. Dans cet ouvrage (bétonné, semi-enterré), transitent les eaux prélevées dans le Lac des Estaris. Le trop-plein d'un captage d'eau potable, le captage de Roche-Rousse, y est également recueilli avant d'être redistribué vers les réseaux d'enneigeurs (photo 5.13 et figure 5.13). Au moment où le trop-plein du captage est actif, en période de faible consommation d'eau potable, il se déverse dans une cuve et rejoint l'eau provenant du lac des Estaris. Depuis cette cuve, une canalisation repart en direction du réseau d'enneigeurs.

⁹ Entretien du 08 avril 2009 avec J.-P. Giraud Telme (SAUR d'Orcières) dans les locaux de la SAUR à Orcières.

Par ailleurs, lorsque l'installation d'enneigement n'est pas en fonctionnement, un robinet à flotteur empêche l'eau provenant du lac de s'écouler. En outre, le surplus d'eau potentiel provenant du captage de Roche-Rousse retourne vers le torrent de Galleron par une trappe prévue à cet effet. Il n'y a ainsi aucun risque de prélèvement d'eau pour la production de neige au détriment de la production d'eau potable.

Photo 5.13 : L'arrivée d'eau du trop plein de Roche-Rousse, repris pour l'enneigement (cliché : P. Paccard, le 09/04/2009)

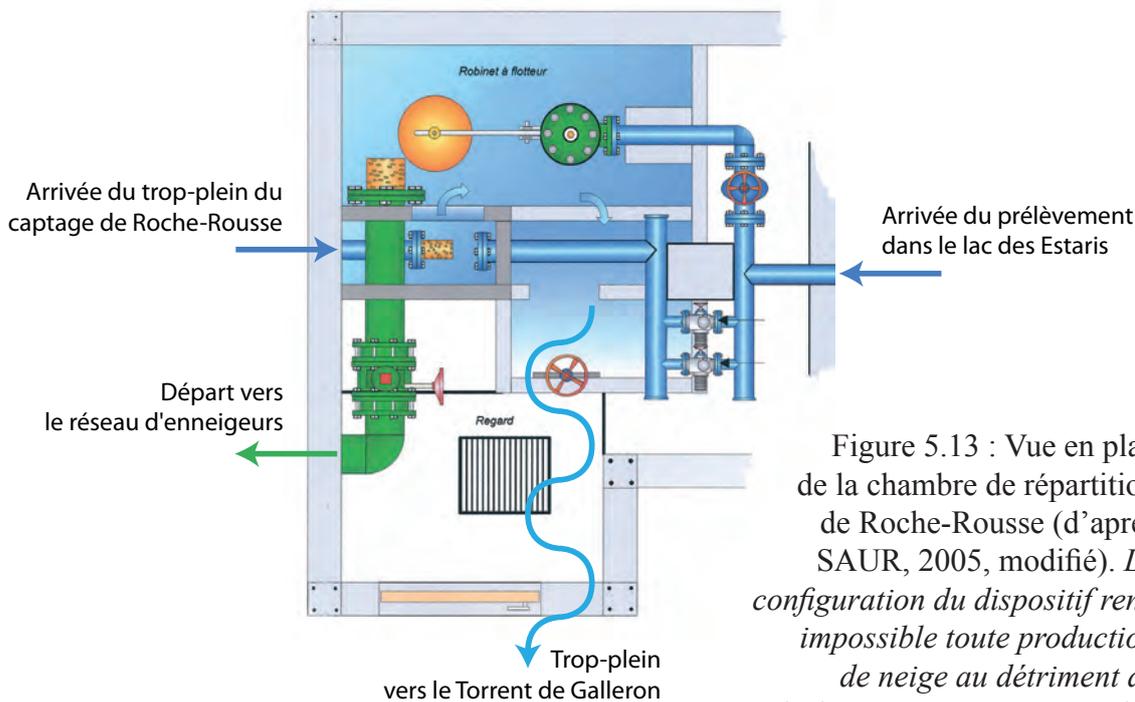
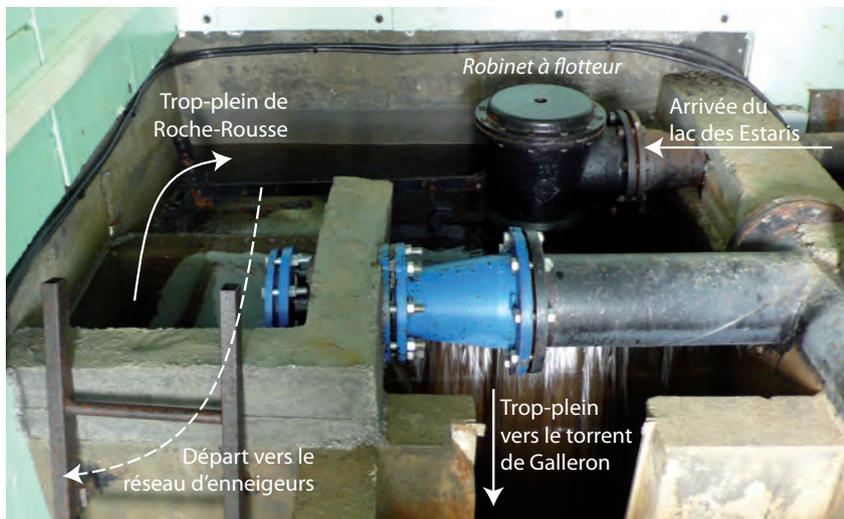


Figure 5.13 : Vue en plan de la chambre de répartition de Roche-Rousse (d'après SAUR, 2005, modifié). La configuration du dispositif rend impossible toute production de neige au détriment de l'alimentation en eau potable de la commune.

... mais un trop-plein en moins pour le torrent de Galleron

En période d'étiage hivernal, les écoulements du torrent de Galleron sont vraisemblablement très faibles. Lorsque le trop-plein du captage de Roche-Rousse coule et qu'il n'est pas utilisé pour la production de neige, celui-ci retourne alors au torrent de Galleron ; il participe alors au soutien de son étiage. A l'inverse, celui-ci n'est pas disponible pour le milieu lorsqu'il est dérivé vers le réseau d'enneigement (photo 5.14 et 5.15).

Cette appréciation qualitative ne peut cependant pas être confirmée par des données quantitatives. D'une part, les débits du torrent de Galléron sont inconnus. Leur reconstitution grâce au débit spécifique du Drac Noir, comme nous le proposons auparavant, est toujours possible mais se heurterait, là encore, à de nombreuses limites.

D'autre part, et surtout, il n'existe pas de compteurs dans la chambre de répartition permettant d'apprécier les volumes d'eau potable brutes détournés vers le réseau d'enneigement. Jusqu'à présent, l'eau issue du trop-plein du captage n'est pas facturée (donc pas comptabilisée) par la SAUR à Orcières LabelleMontagne ; il n'y a pas de tarifs, pas de contrats écrits mais de simples arrangements. Il n'est donc pas possible de quantifier les volumes d'eau dont aurait potentiellement pu bénéficier le torrent de Galléron, s'ils n'avaient pas été utilisés pour fabriquer de la neige.



Photo 5.14 et 5.15 : Le trop-plein de la chambre de répartition de Roche-Rousse en été et en hiver (clichés : P. Paccard). *Lorsque celui-ci est actif, il vient soutenir les débits du torrent de Galléron. Cette appréciation qualitative ne peut être néanmoins mesurée quantitativement faute de données disponibles.*

2.2.3. L'utilisation de l'eau du Grand Lac des Estaris : historique et perspectives

Le Grand Lac des Estaris est au cœur des enjeux liés à l'eau pour la station d'Orcières Merlette depuis le début du XX^{ème} siècle, et de façon beaucoup plus prégnante depuis une trentaine d'années désormais. Effectivement, antérieurement à 1914, le captage des eaux du lac fut déjà envisagé afin de produire de l'énergie hydroélectrique. Les travaux furent néanmoins abandonnés en raison de la guerre ; une digue en chantier fut vraisemblablement laissée en l'état, moins haute qu'une précédente déjà existante (ECODIR, 1993, p. 21).

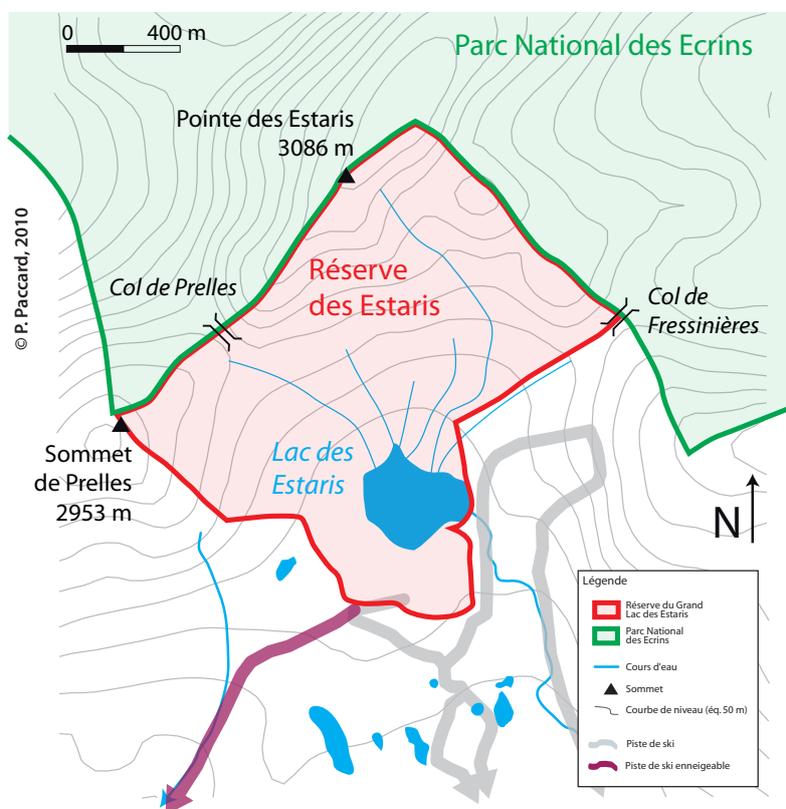
La réserve du cirque du Grand Lac des Estaris (1974)

Soixante ans plus tard, le décret n°75-540 du 15 mai 1974, émanant du Ministère des Affaires Culturelles et de l'Environnement, classe en réserve naturelle plusieurs sites contigus au Parc National des Ecrins.

Parmi ceux-ci se trouve le cirque du Grand Lac des Estaris, pour une surface de 145 hectares environ. Jusqu'à aujourd'hui, les limites de la Réserve Naturelle n'ont pas changé. Elles correspondent, au Nord-Ouest et au Nord-Est, aux limites du Parc National des Ecrins, au Sud-Est

au sentier du col de Freissinières et au Sud-Ouest, approximativement, aux limites du bassin versant du Grand Lac des Estaris (carte 5.8). L'exutoire du lac, c'est-à-dire la digue qui en rehausse le niveau, correspond exactement à la limite Sud-Ouest de la réserve.

Carte 5.8 : La réserve naturelle du cirque du Grand Lac des Estaris



Le cirque du Grand Lac des Estaris fait partie des réserves naturelles nationales, dont la valeur patrimoniale est jugée d'intérêt national ou international, et qui sont classées par décision du ministre de l'Environnement. Le Parc National des Ecrins est chargé de la gestion de cette réserve. Les dispositions réglementaires applicables à la réserve du cirque du Grand Lac des Estaris (article 2 à 19 du décret n°75-540) interdisent toute modification de l'état ou de l'aspect du milieu. Les activités agro-pastorales et la pêche restent possibles tandis que la chasse est interdite.

Le lac des Estaris comme source d'alimentation en eau potable (1976-1997)...

En 1976, pour faire face à des problèmes de disponibilité en eau potable en période d'étiage, la commune présente un projet de renforcement du réseau d'alimentation de la station d'Orcières-Merlette et du chef-lieu du village par prélèvements dans le lac des Estaris. Ce projet donne lieu à la définition d'un périmètre de protection correspondant au bassin versant d'alimentation du lac par un hydrogéologue agréé puis à une autorisation par arrêté préfectoral le 03/12/1976. La pêche est alors interdite et le débit maximum de prélèvement dans le lac défini à 50 l/s.

Dès l'année 1976, la prise d'eau en fond de lac est installée ; la première digue est réaménagée (bétonnée et maçonnée) et rehausse le niveau du lac d'environ 1 mètre (elle fera l'objet de travaux d'étanchéité en 1986). Depuis la prise d'eau, des canalisations sont installées et permettent de distribuer de façon gravitaire l'eau du lac vers les habitations concernées. Dès lors, en période d'affluence touristique, l'eau du lac est utilisée ; elle le sera jusqu'à la fin de l'année 1997 (1999 d'après Jeannolin, 2007, p. 2), date à laquelle cette utilisation du lac à des fins d'alimentation en eau potable est interdite par un premier arrêté préfectoral.

... puis de production de neige (1994)

Le 30 décembre 1994, suite à la demande de la SEMILOM et à l'étude d'impact conduite par le cabinet ECODIR, les prélèvements en eau pour la production de neige depuis le Grand Lac des Estaris sont autorisés par arrêté préfectoral, aujourd'hui encore en vigueur. Celui-ci précise dans son article 2 :

« - Le prélèvement d'eau sera assuré par l'intermédiaire des installations existantes pour l'alimentation en eau potable. Toutefois, dans un délai de 3 ans à compter de la date du présent arrêté, la commune ne devra plus utiliser l'eau du Lac des Estaris pour assurer son alimentation en eau potable.
- Le débit prélevé sera limité à 70 l/s en pointe au moyen d'un limiteur de débit.
- Le volume prélevé annuellement pour tous les besoins ne devra en aucun cas conduire à un abaissement du niveau du Grand Lac des Estaris de plus de 2 m » (Préfecture des Hautes-Alpes, 1994, p. 2).

L'usage du lac pour l'alimentation en eau potable de la commune est donc interdit à la date du 30 décembre 1997. Un deuxième arrêté du 06/01/2005, faisant suite au souhait de la commune d'autoriser à nouveau la pêche dans le lac, abroge définitivement l'arrêté du 03/12/1976. Dès lors, d'un point de vue administratif, la pêche dans le lac est à nouveau possible.

Bilan et perspectives

Cette approche diachronique des différentes utilisations du lac des Estaris montre finalement la succession des différents usages de l'eau (figure 5.14) autour d'une même ressource, dont la « naturalité » n'est en réalité plus que partielle depuis de nombreuses années.

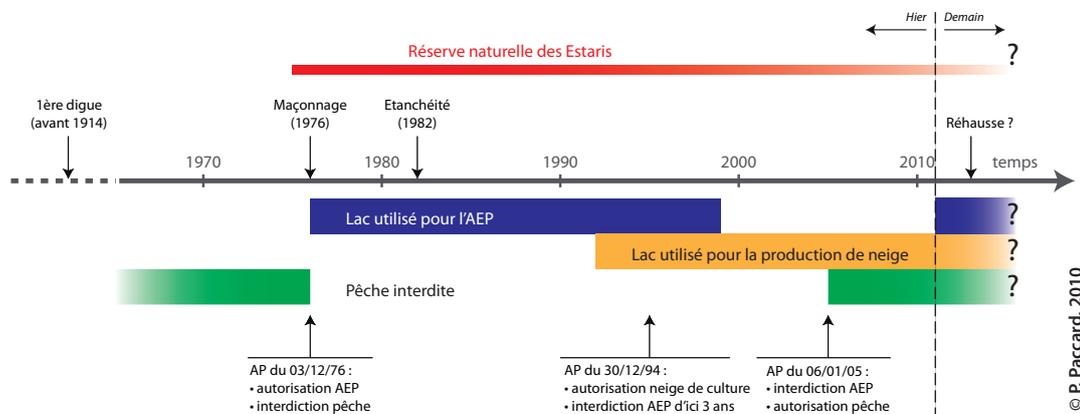


Figure 5.14 : Evolution diachronique des usages du Grand Lac des Estaris (AP = Arrêté Préfectoral)

Aujourd'hui, parmi les usages gravitant autour du lac, les besoins en eau pour la production de neige exprimés par la station dépasseraient les prescriptions réglementaires en vigueur depuis 1994, s'ils venaient à être effectivement comblés.

Par ailleurs, compte tenu de l'urbanisation du site (achèvement d'une Unité Touristique Nouvelle de 3000 lits portant la capacité d'accueil de la station à 19 000 lits) le Schéma Directeur d'Alimentation en Eau Potable (SDAEP) d'Orcières, réalisé en 2002, prévoit un déficit d'alimentation en eau potable à hauteur de 680 m³ par jour à l'horizon 2020 sur les hébergements d'Orcières-Merlette (G2C Environnement, 2002, p. 87). Parmi les trois scénarii envisagés pour pallier ce déficit, la mobilisation du lac des Estaris est à nouveau proposée ; les infrastructures de prélèvement et de distribution étant déjà en place, cette solution serait, d'après les conclusions du SDAEP, la plus économique.

Compte tenu des nouveaux besoins de ces deux usages, le gestionnaire de l'eau potable, l'exploitant du domaine skiable et la commune sont aujourd'hui en pourparlers avec les services de l'administration (DDASS et DDAF) : d'une part afin d'utiliser à nouveau l'eau du lac pour un usage d'eau potable et, d'autre part, pour redéfinir le débit autorisé pour la production de neige.

Dans cette perspective, plusieurs actions ont été menées ou sont toujours en cours. Pour parvenir à trouver un accord, une mission de conseil a tout d'abord été confiée à un maître d'œuvre extérieur (Saunier et Associés, agence de Gap). Plusieurs réunions entre l'ensemble des parties prenantes ont d'ores et déjà été conduites.

Une convention est par ailleurs en projet entre la commune, la SAUR et Orcières LabelleMontagne pour « *définir les droits et obligations liés à l'utilisation du lac des Estaris, et des équipements associés, dans la mesure où ces ressources en eau et les équipements associés sont mis à la disposition des deux délégataires* » (Orcières LabelleMontagne et al., 2009, p. 2). Cette convention précise notamment :

« La commune autorise également Orcières LabelleMontagne à utiliser le trop-plein des sources du plateau de Rocherousse pour son réseau de neige de culture »

« En période de pénurie de la ressource en eau, les installations mises à la disposition du délégataire du domaine skiable seront utilisées en priorité pour l'alimentation en eau potable des usagers de la commune d'Orcières.

A ce titre, la commune pourra, à tout moment, y compris en période de production de neige de culture ou à titre conservatoire, interdire au délégataire du domaine skiable d'utiliser les installations détaillées à l'annexe 1, sans qu'il en résulte pour celui-ci un droit à l'indemnisation » (Orcières LabelleMontagne et al., 2009, p. 2 et 3).

Un hydrogéologue agréé, F. Jeannolin, a également été saisi pour définir des conditions de prélèvement assurant la protection de la ressource. Dans son rapport d'étude hydrogéologique (« *Définition des périmètres de protection de la prise d'eau du grand lac des Estaris* »), celui-ci définit un périmètre de protection immédiat correspondant à la surface du lac à sa cote maximale (l'activité de pêche resterait tolérée) et un périmètre de protection rapproché sur les limites du bassin versant topographique du lac (Jeannolin, 2007, p. 10 et 12). Une station de traitement de l'eau du lac (filtration et désinfection) est par ailleurs préconisée avant sa distribution vers les habitations concernées. Enfin, sous réserve d'acceptation des autorités compétentes, la rehausse d'environ 0,40 mètres du seuil du déversoir du lac est envisagée. Elle permettrait d'augmenter le volume disponible pour les différents usages de l'eau. Cette dernière solution – la rehausse du niveau du lac – impliquerait cependant le déclassement (partiel ou total) de la réserve naturelle du Grand Lac des Estaris (photo 5.16).

La commune d'Orcières et le Parc National des Ecrins avaient déjà évoqué le projet de déclassement de la réserve en 2002. Ce déclassement devant obligatoirement être accompagné d'une contre partie « biologique », un Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope (APPB) de l'ensemble des lacs d'Orcières et du plateau de Jujal avait été envisagé sur le bassin versant¹⁰. Cette alternative n'avait pas été jugée acceptable par la commune : l'emprise de l'APPB concernait une large part du domaine skiable ; il aurait été trop contraignant pour la gestion et le développement de celui-ci.

¹⁰ Echanges par courriel avec H. Quellier, Parc National des Ecrins, au mois de mars 2009.

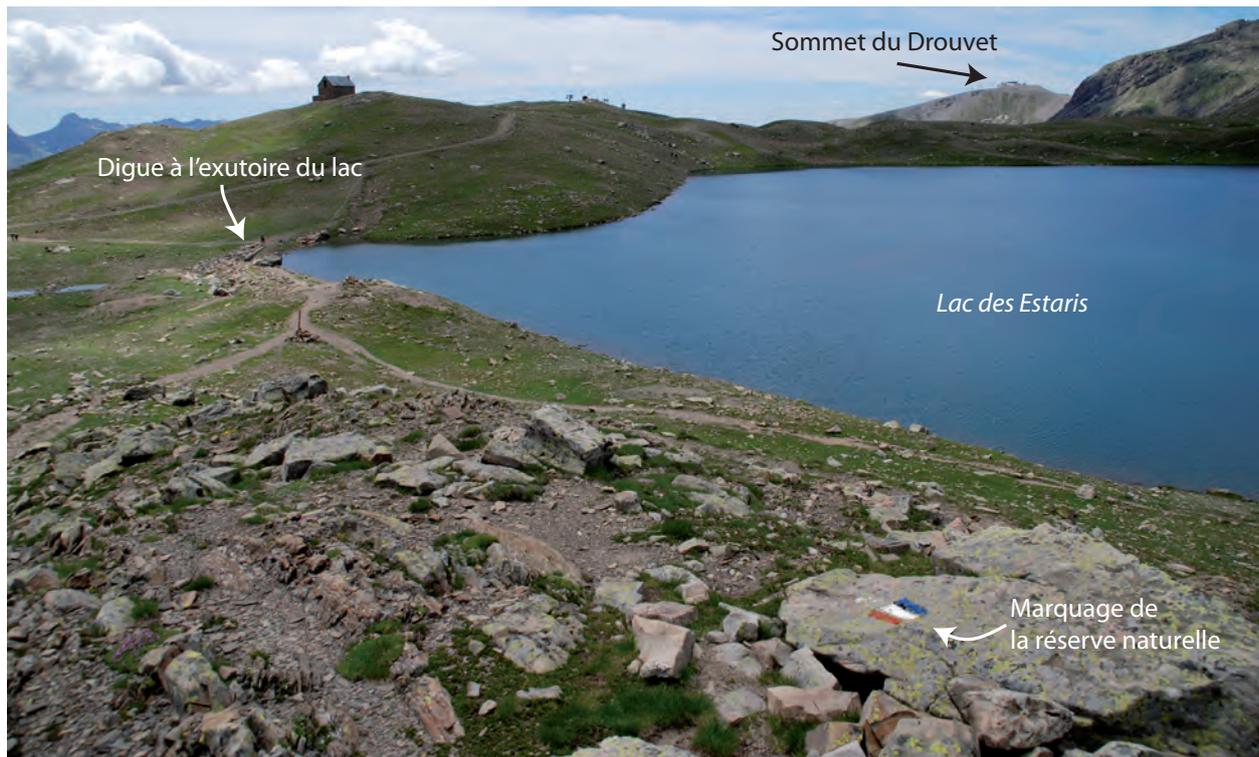


Photo 5.16 : Vue amont de l'exutoire du lac des Estaris (cliché P. Paccard, le 09/07/2009).
 Le marquage de la réserve naturelle est bien visible. A l'arrière plan, le sommet du Drouvet
 (2655 m) et l'arrivée du télésiège du même nom.

Aujourd'hui, le contexte est différent : la charte du Parc National des Ecrins est en cours d'élaboration et les communes concernées, dont Orcières, seront prochainement amenées à se prononcer sur leur adhésion à l'espace se substituant à l'ancienne « zone périphérique ». Aussi, dans ce contexte de rapprochement du parc et des communes de la zone d'adhésion potentielle, la question de l'APPB des lacs d'Orcières et du plateau de Jujal n'est plus d'actualité. En contrepartie du déclassement potentiel d'une partie de la réserve, l'idée d'une mise en défens des pentes de l'ubac de la commune (secteur éloigné du domaine skiable, en vue de mieux encadrer les activités de pleine nature s'y pratiquant, dont le ski de randonnée) est avancée par la commune et le Parc.

Quoi qu'il en soit, l'avis du Conseil National de Protection de la Nature (CNPN) est nécessaire pour le déclassement de la réserve ; à la date du 20 octobre 2008, celui-ci ne semblait pas favorable à cette perspective (Saunier et Associés, 2008, p. 2). Les négociations ne sont ainsi pas terminées aujourd'hui.

Nous venons de détailler le fonctionnement des installations d'enneigement d'Orcières-Merlette et leurs implications hydrologiques, du point de vue des écoulements naturels et des autres utilisations du lac des Estaris.

Désormais, c'est à la question du changement climatique que nous souhaitons nous intéresser. L'idée est d'essayer de caractériser les effets du changement climatique sur la ressource neige à Orcières pour pouvoir mettre en perspective les investissements en installations d'enneigement. Plus généralement, c'est ici la question des conséquences du réchauffement des températures sur la couverture neigeuse et, *a fortiori*, sur l'activité ski qui est posée.

3. LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

3.1. L'évolution des températures et des précipitations

Une station météorologique Météo France se situe au chef-lieu du village d'Orcières, à l'altitude de 1415 mètres. Fermée en 2006, elle permet néanmoins de disposer d'une série de données de températures, de précipitations et de hauteurs de neige de plus de trente ans (données disponibles sur la Climathèque de Météo France¹¹). C'est sur l'analyse de ces données que nous construirons notre propos ci-dessous.

3.1.1. Les températures hivernales depuis 1976

La température moyenne des périodes hivernales (de novembre à avril inclus) à Orcières se situait aux alentours de 1,5°C au début de la période étudiée (figure 5.15). Si la variabilité des températures reste très importante d'une saison sur l'autre, la moyenne saisonnière a augmenté tout de même, en moyenne linéaire, de +1,3°C en l'espace de 30 ans. Sur l'ensemble de la série, trois périodes peuvent être différenciées :

- Entre 1976 et 1984, les températures moyennes hivernales sont relativement stables d'une année à l'autre. Elles se situent aux alentours de 1,5°C.
- Entre 1985 et 1989, les températures moyennes augmentent de façon assez spectaculaire sur 4 périodes hivernales successives.
- Depuis 1990, la variabilité entre les périodes est grande ; la moyenne se situe aux alentours de 2,5°C. On note une légère baisse des températures moyennes les dix dernières saisons.

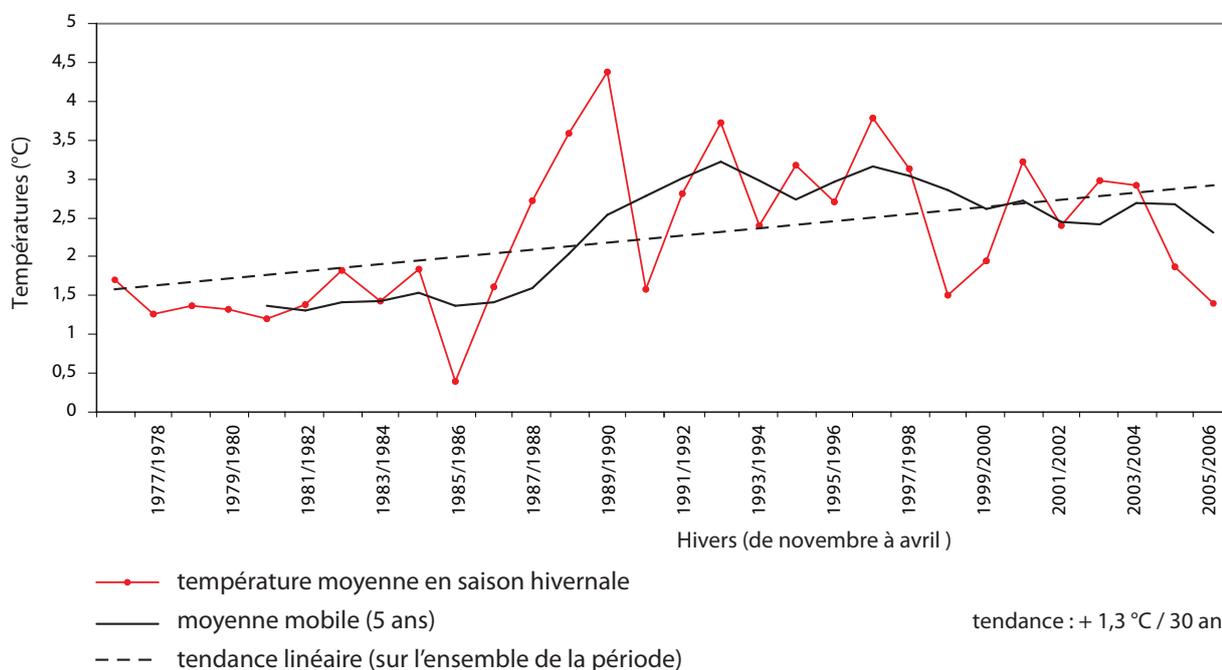


Figure 5.15 : Evolution des températures moyennes en saison hivernale à Orcières (1415 m) entre 1976 et 2006 (d'après les données de Météo France)

¹¹ Les données, payantes, de la Climathèque sont issues des relevés des postes Météo France. La Climathèque est un service disponible sur Internet à l'adresse suivante : <http://climatheque.meteo.fr>.

La conséquence de cette hausse des températures pourrait être la remontée en altitude de la limite pluie/neige. A une altitude donnée, la part des précipitations sous forme de pluie augmenterait alors progressivement, au détriment des précipitations sous forme de neige. Le couvert neigeux pourrait néanmoins conserver son importance du fait d'une augmentation des précipitations hivernales. A Orcières, entre 1976 et 1996, ce n'est pas le cas. Non seulement les températures ont augmenté¹², mais les précipitations ont diminué.

3.1.2. Les précipitations hivernales depuis 1976

Depuis 1976, la moyenne des précipitations totales (pluie et neige confondues, exprimées en lame d'eau) en période hivernale est de 604 mm (cette moyenne est de 1232 mm sur l'ensemble de l'année). Sur les 30 périodes considérées, on note une baisse moyenne linéaire de 200 mm de précipitations (figure 5.16). Cette baisse est relativement régulière. Seule la saison 2000/2001 semble déroger franchement à cette régularité : elle connaît un record de précipitation de 1080 mm.

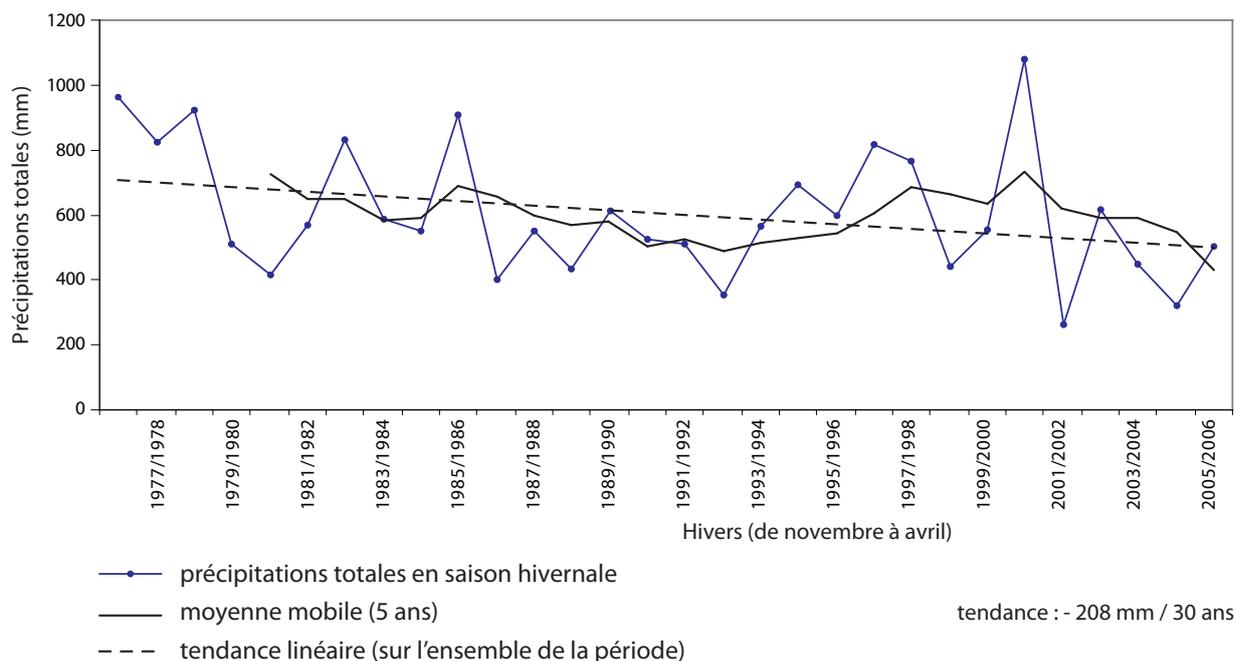


Figure 5.16 : Evolution des précipitations totales en saison hivernale à Orcières (1415 m) entre 1976 et 2006 (d'après les données de Météo France)

¹²

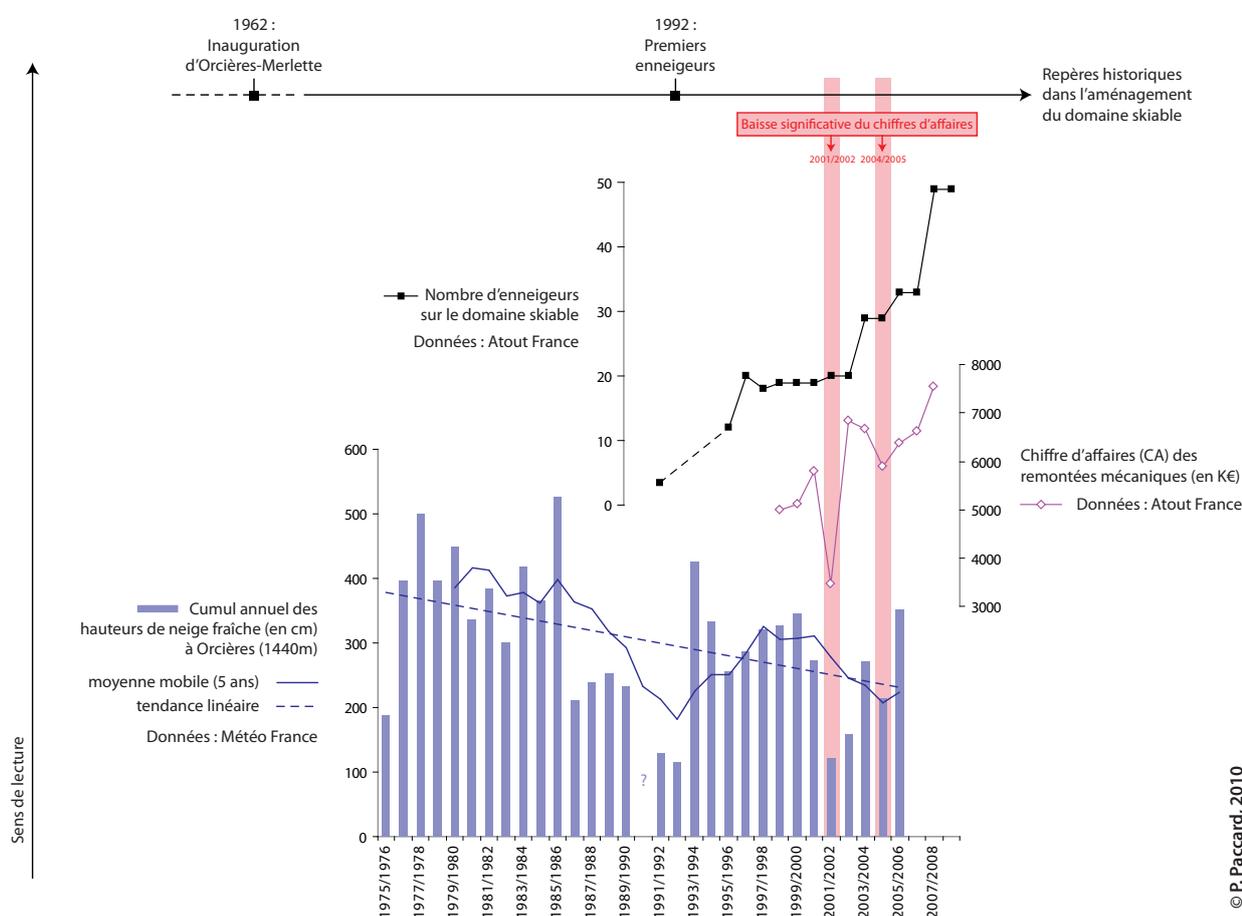
La question de l'évolution des températures à une échelle locale très fine reste compliquée : sur les stations de sports d'hiver qu'il a étudiées d'un point de vue climatologique (Les Menuires, Val Thorens, Aussois et Valloire en Savoie), C. Chaix a observé une forte diminution des températures minimales en janvier-février entre 1988 et 2005 (Chaix, 2007, p. 112). Si cela ne remet pas en cause le réchauffement moyen des températures hivernales entre 1950 et 2010 (+2°C), ces travaux ont montré combien «la gestion des domaines skiables» est une question complexe dans un contexte de variabilité climatique importante ; les travaux de recherche sur les implications locales du changement climatique en montagne doivent ainsi toujours être encouragés.

3.2. Les effets du réchauffement sur le couvert neigeux

3.2.1. Evolution rétrospective de l'enneigement

Au poste météo d'Orcières (qui ne situe pas, nous le rappelons, sur le domaine skiable mais plus bas, au chef-lieu du village), le cumul annuel moyen (portant principalement sur les mois d'octobre à avril) des hauteurs de neige fraîche s'élève à un petit peu plus de 3 mètres. Mais depuis l'hiver 1975-1976, ces hauteurs semblent avoir, d'après les données dont nous disposons, franchement régressé : en l'espace de 30 ans, elles ont diminué, en moyenne linéaire, de 150 cm environ (figure 5.17). Bien entendu, la variabilité interannuelle des cumuls de neige reste importante, plus importante d'ailleurs que la baisse moyenne constatée depuis une trentaine d'années.

Dans le même temps, le chiffre d'affaires des remontées mécaniques progressait, comme le nombre d'enneigeurs dont le domaine skiable dispose.



© P. Paccard, 2010

Figure 5.17 : Evolution des cumuls de neige enregistrés à Orcières (1415 m), du chiffre d'affaires des remontées mécaniques et du nombre d'enneigeurs installés sur le domaine skiable.

3.2.2. Quelles perspectives ?

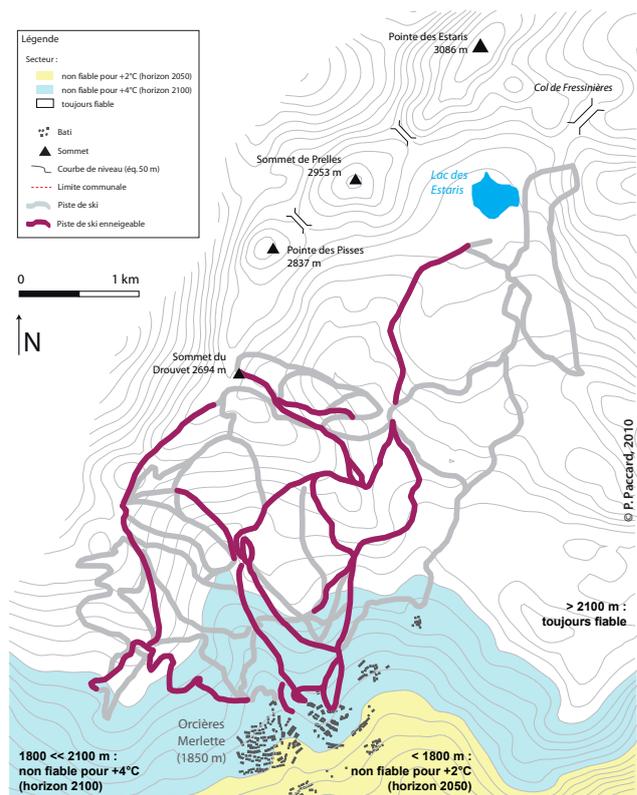
Prédire l'avenir de la neige, et par là même de l'activité ski, à Orcières ou ailleurs, est une évidente gageure... Néanmoins, d'après l'OCDE (2007), l'altitude de fiabilité de l'enneigement, c'est-à-dire la limite en dessous de laquelle l'activité ski ne pourrait plus être rentable, se situerait à 1500 mètres pour le département des Hautes-Alpes (p. 32). Cette limite augmenterait par ailleurs

de 150 m par degré de réchauffement moyen : elle passerait à 1650 m pour +1 °C, 1800 m pour +2 °C et 2100 m pour +4 °C. Ces degrés de réchauffement correspondent approximativement aux horizons 2030, 2050 et 2100 du scénario le plus pessimiste proposé par le GIEC (2007, p. 14).

Appliquées au domaine d'Orcières, ces projections conduisent aux hypothèses suivantes (carte 5.9) : l'ensemble des pistes de la station situé à une altitude supérieure à 1850 mètres ne serait pas affecté à court terme par la raréfaction de la couverture neigeuse annoncée. Seule la partie basse du domaine skiable, situé à une altitude inférieure à 2100 mètres pourrait être affectée à l'horizon 2100 (soit dans 90 ans, ce qui est pratiquement deux fois plus que les 48 années de l'histoire de la station...).

Il paraît évident que les incertitudes, à cette échelle de temps, sont encore trop grandes pour affirmer le devenir du couvert neigeux et, par là même, le devenir du ski à Orcières-Merlette.

Carte 5.9 : Hypothèse de fiabilité des différents secteurs du domaine skiable d'Orcières selon les projections établies par l'OCDE (2007) (d'après les limites de fiabilité de l'enneigement proposées par l'OCDE, 2007, p. 32)



Quoi qu'il advienne, en l'état de la situation, J.-Y. Remy, Président-Directeur-Général du groupe Remy Loisirs / LabelleMontagne auquel appartient l'opérateur d'Orcières-Merlette, doute d'une alternative économiquement crédible au tourisme de sports d'hiver s'il fallait sérieusement l'envisager. A l'occasion de l'enregistrement d'une émission de télévision à Grenoble en décembre 2008, « *Quel avenir pour nos stations de sports d'hiver ?* »¹³, celui-ci évoque la question de la diversification des stations de moyenne montagne. Selon ses propres termes, à « *périmètre économique constant* », il n'y a pas d'alternative aussi performante que l'offre de ski ; si des

¹³

Emission enregistrée le 16 décembre 2008 à la patinoire Polesud de Grenoble et diffusée une première fois le 18 décembre 2008 sur téléGrenoble, TLM, TV8 Mont-Blanc et TL7. La production de neige occupe une place importante dans cette émission, disponible à l'adresse suivante : http://www.rhonealpes.fr/ID_VIDEOCENTRALE/160/rechercheVideo/OK/recherchePage/1/VID_TITRE/Mots+cl%C3%83%C6%92%C3%82%C2%A9s/ID_VIDEOCATEGORIE/20/VID_TITRE_HIDDEN/1/96-rechercher-une-video.htm.

activités connexes, complémentaires au ski sont possibles et parfois mises en œuvre¹⁴, elles ne peuvent cependant pas, à l'heure actuelle, remplacer l'activité économique générée par le ski.

Par ailleurs, les potentialités thermiques du site d'Orcières-Merlette pour la production de neige (que nous n'avons pas pu mesurer), sont aujourd'hui encore suffisantes pour assurer, en moyenne, les 800 heures de fonctionnement des installations (équivalentes à plus de 30 jours) nécessaires à la production de neige chaque saison.

Force est donc de constater que la neige occupe une place majeure à Orcières, où les sports d'été s'affichent timidement (photo 5.17).



Photo 5.17 : Orcières, station de sports d'été... Mais encore et surtout de neige !
(cliché : P. Paccard, le 24/01/2009)

¹⁴ Orcières-Merlette développe par exemple sur son domaine skiable un important produit « vélo-tout-terrain », de qualité.

CONCLUSION DU CHAPITRE 5

Finally, the arrival of snow production at Orcières-Merlette (1992) is almost recent in the history of the station (creation in 1962). Today, two sources of supply allow feeding the snow installation with water, the management of which falls to Orcières LabelleMontagne, the delegate of the public service of mechanical lifts. **Un trop-plein de captage d'eau potable est la première de celles-ci.** The volume redistributed to the snow production network by this bias is unknown but certainly marginal in the context of **prélèvements réalisés dans le lac des Estaris**, the second and main source of the snow installation.

Initial needs (estimated in 1993 at 76 500 m³ for a maximum instantaneous flow of 72 l/s), current needs (400 000 m³ for a flow of 140 l/s), and the 1994 authorization (70 l/s for a maximum lake depth of 2 meters), the snow installation has not stopped extending since then.

Hydrological impacts of snow production at Orcières have been considered: they consist in the transfer of water masses from one elementary basin to another, modifying time and space functioning of hydrological systems. In winter, these impacts can be very strong. Water is taken from one of these basins, transported, transformed and stored, then returned to two others. « *On mobilise de l'eau et on la rend au milieu au printemps, avec un décalage* » explains on this subject the CLE of Drac Amont (2006, p. 4)¹⁵. Discharges of torrents in question are reinforced.

More obvious, it is the lake of Estaris which is impacted by these withdrawals: its water level varies according to snow needs, dropping for a moment (a few months?) in the upper part of the Torrent du Lac du Col, dependent of the lake's overflow.

At Orcières, if they are of importance (two times superior to the volume of drinking water distributed in December 2008), the withdrawals for snow production cannot impact in any way the availability of water for drinking water of the commune. Not only the physical configuration of networks does not allow producing snow to the detriment of drinking water, but moreover, the actors agree to conciliate their interests.

The lake of Estaris, situated in a national natural reserve (whose purpose is the protection of local ecosystems), is just at the heart of this conciliation process. To face the development of the station and a recent increase in the number of beds, additional resources must be found. The reuse of the lake of Estaris is projected; the dam will be raised accordingly.

The commune, SAUR (delegate of the drinking water distribution service) and Orcières LabelleMontagne are associated in this project which the Administration, for its part, seems to want to temper. Involving necessarily the downgrading, partial or total, of the natural reserve of Estaris, the manager of this reserve, the Parc National des Ecrins, is also a party in the ongoing discussions. Initially unfavorable, its position could evolve in the context of the elaboration of the charter of adhesion.

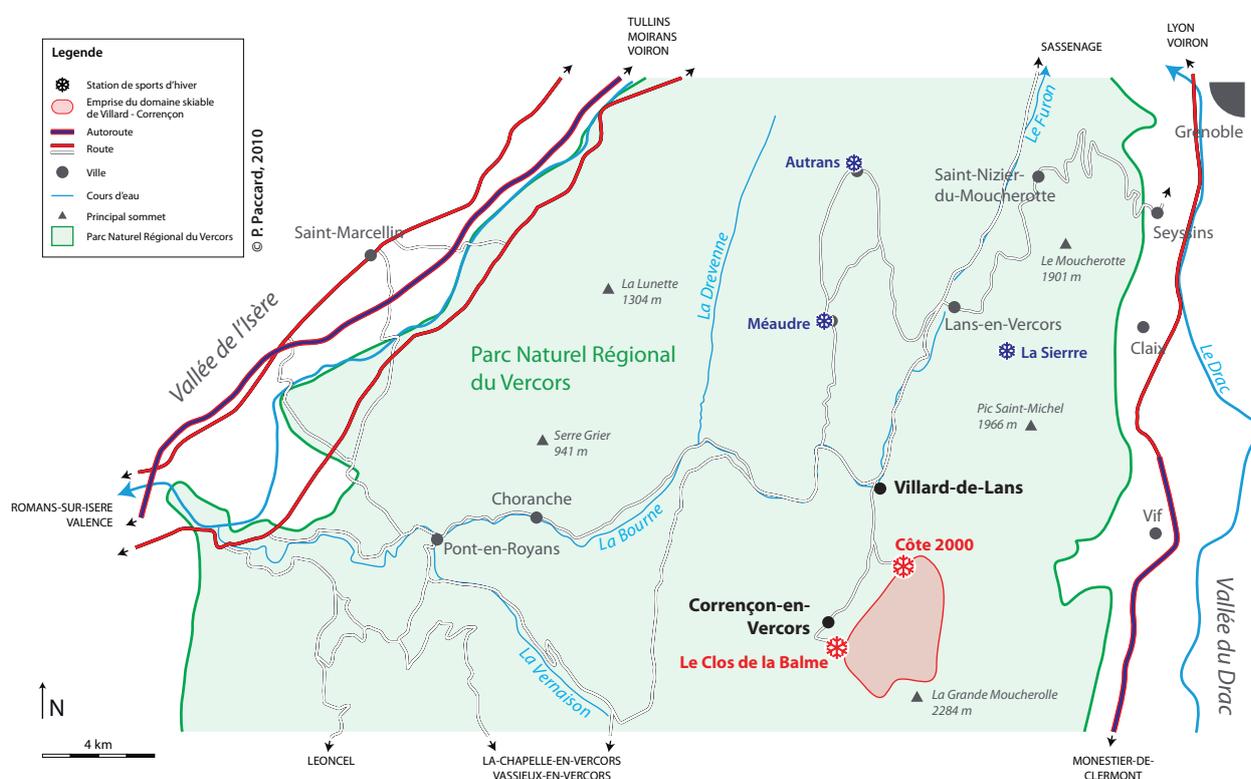
¹⁵

The positioning of the CLE of Drac Amont regarding snow production has been explained in the previous chapters (cf. p. 172 and p. 202).

En termes climatiques, les températures ont augmenté à Orcières (1415 m) de plus d'1°C en l'espace de 30 ans (moyenne linéaire). Sur la même période, les précipitations ont diminué de façon importante (-200 mm en moyenne linéaire). Ces deux effets conjugués sont certainement la cause de la diminution constatée de l'enneigement naturel. Le cumul annuel des hauteurs de neige fraîche a en effet diminué de plus d'un mètre entre 1976 et 2006, au poste météorologique d'Orcières. Si cette tendance se confirme, l'altitude d'Orcières-Merlette, relativement élevée, pourrait tout de même lui permettre d'assurer son produit ski. Dans tous les cas, elle cherche indubitablement à conforter dans le temps cette activité par la production de neige. Cette « garantie neige » s'affiche d'ailleurs sur le plan des pistes de la station : l'ensemble des pistes équipées d'installations d'enneigement y est signalé.

CHAPITRE 6 - VILLARD-DE-LANS - CORRENÇON-EN-VERCORS : PRODUIRE DE LA NEIGE EN MOYENNE MONTAGNE KARSTIQUE

Le domaine de ski alpin de Villard-de-Lans – Corrençon-en-Vercors est le plus grand du massif du Vercors¹. Il se situe dans la partie iséroise du Parc Naturel Régional, au plus haut du bassin versant de la Bourne, affluent de la rive gauche de l'Isère (carte 6.1). Les pistes de ski de la station se développent sur les flancs Nord-Ouest de la Grande Moucherolle, sur le rebord oriental du plateau du Vercors. Villard-de-Lans – Corrençon-en-Vercors fait partie, au même titre que Chamrousse, Saint-Pierre-de-Chartreuse ou les Sept-Laux, des stations de moyenne montagne périurbaines de Grenoble.



Carte 6.1 : Localisation de la station de Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors

Dans l'étude de la pratique de l'enneigement artificiel et de la gestion de l'eau destinée à cet usage, le cas particulier de Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors est intéressant à double titre. D'une part, il s'agit d'une station de moyenne montagne pour laquelle les aléas climatiques sont très prégnants. La production de neige est ici largement employée pour garantir l'activité ski – une des activités économiques importantes du territoire –, par rapport à la variabilité des conditions d'enneigement (photo 6.1). Un des marqueurs de cette volonté de pérenniser le ski par la production de neige est d'ailleurs le plan des pistes de la station, dont l'un des éléments centraux est la mention des « 251 enneigeurs [qui] assurent l'accès aux pistes desservies par 2 télécabines et 4 télésièges ».

¹ Ce chapitre a fait l'objet d'une publication en 2009 dans la revue *Karstologia* (Paccard, 2009). L'article est ici repris et complété par des éléments nouveaux.



Photo 6.1 : Production de neige en avant saison sur la partie basse du domaine skiable de Villard-de-Lans (cliché : P. Paccard, le 15/12/2009). Le domaine skiable de Villard-Corrençon est équipé de plus de 250 enneigeurs bifluides. 3 « salles des machines » (usines à neige) regroupent les installations de compression d'air et de pompage de l'eau nécessaires à l'alimentation des enneigeurs.

D'autre part, si la production de neige nécessite la mobilisation d'importants volumes d'eau, le contexte hydrogéologique de la station n'est *a priori* pas favorable à la satisfaction de cet usage : la station se situe en domaine karstique, caractérisé par la quasi-absence d'écoulement superficiel (aridité de surface). A ce titre, la question des interactions entre la production de neige et le karst se pose, en particulier du point de vue des ressources en eau. Le karst est-il un facteur contraignant dans la satisfaction des besoins en eau pour la production de neige, qui en nécessite d'importantes quantités ? Rétroactivement, la production de neige et les aménagements induits impactent-ils le karst et ses ressources en eau ?

En fait, pour satisfaire les besoins en eau de l'enneigement, une émergence karstique est exploitée ; l'eau est acheminée vers deux ouvrages artificiels de stockage construits sur le domaine skiable, en passant par le réseau d'eau potable de la commune de Villard-de-Lans. L'analyse des interrelations entre les différents usages de l'eau en présence (production de neige, eau potable, hydroélectricité), et des impacts de la production de neige sur le karst et ses ressources en eau, nous permettra de questionner le mode de gestion de l'eau sur ce territoire.

Un premier temps sera consacré à qualifier le poids de la production de neige dans l'exploitation du domaine skiable de Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors, en s'appuyant sur un historique des aménagements réalisés à cet effet. Ce sera l'occasion de montrer que, si le domaine skiable s'est toujours développé vers l'amont dans l'objectif d'« aller chercher la neige » en altitude, celle-ci reste cependant incertaine. Cette incertitude est aujourd'hui exacerbée par le changement climatique observé. Dans un deuxième temps, l'accent est mis sur l'émergence karstique de Goule Blanche qui est un élément clé dans l'alimentation en eau de Villard-de-Lans et des installations d'enneigement. Enfin, la question des impacts de la production de neige sur le karst et ses ressources en eau est abordée dans un dernier temps.

1. LE POIDS DE LA PRODUCTION DE NEIGE DANS L'AMÉNAGEMENT ET L'EXPLOITATION DU DOMAINE SKIABLE

1.1. Brève chronique de l'évolution du domaine skiable et de son enneigement

1.1.1. Un développement vers l'amont

Le domaine skiable de Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors se développe aujourd'hui sur les pentes de la Grande Moucherolle qui culmine à 2284 mètres d'altitude. Si le premier télésiège de Villard (Pomagalski) est installé à proximité du village en 1936, en fond du val de Lans et à une altitude proche de 1050 mètres (site « des bains », photo 6.2 et 6.3), les aménagements successifs du domaine skiable vont dès lors être réalisés vers l'amont, « *pour aller chercher* [selon les termes employés par l'exploitant du domaine skiable] *la neige où elle se trouve* » (SEVLC, 2004, p. 6).

Quinze ans après le premier télésiège de Villard, le domaine de Côte 2000 est équipé d'une première télécabine débrayable 2 places (en 1951). Aujourd'hui, le domaine de ski alpin compte 24 remontées mécaniques et 34 pistes, représentant une longueur totale de 125 kilomètres² (Offices de Tourisme de Villard-de-Lans et de Corrençon-en-Vercors, 2009) et réparti entre 1050 et 2050 m d'altitude. Il est accessible depuis Villard-de-Lans (Balcons de Villard, photo 6.4, ou Glovettes) ou depuis Corrençon-en-Vercors (village ou Clos de la Balme).

La gestion du domaine skiable de Villard - Corrençon est confiée, par délégation de service public, à un opérateur privé local, la Société d'Équipement de Villard-de-Lans - Corrençon en Vercors (SEVLC). Le contrat de délégation lie la commune de Villard à la SEVLC jusqu'en 2025 (il fut signé en 1950 pour une durée de 75 ans !); celui convenu avec la commune de Corrençon expire en 2013.



Photo 6.4 : Le retour vers Côte 2000, une des portes d'entrée du domaine skiable située à 1150 mètres d'altitude, à la fin de la saison 2008/2009 (cliché : P. Paccard, le 05/04/2009). *En arrière plan, la résidence des Balcons de Villard.*

²

Donnée commerciale à relativiser : le calcul SIG de la longueur totale des pistes de la station donne un résultat de 60 kilomètres environ, soit deux fois moins que le chiffre ici annoncé.



Photo 6.2 : Le site des Bains dans les années 1970 (cliché : Zéno, date inconnue, in Préau et Barbier, 1974, p. 74). Il fut équipé en 1936 du premier télésiégi de Villard-de-Lans.



Photo 6.3 : Le site des Bains aujourd'hui, désormais équipé d'installations d'enneigement (cliché : P. Paccard, le 15/12/2009). Ce site est aujourd'hui un parc de glisse ludique, « la Colline des Bains », destiné à l'apprentissage du ski et à la pratique de la luge pour les enfants.

Un domaine de ski de fond réputé, le « site nordique du Haut-Vercors » (130 km de pistes), complète les aménagements dédiés au ski alpin. Ce domaine nordique, géré par les communes supports, est également accessible depuis les deux villages et s'étend entre 1150 et 1400 mètres d'altitude.

Souvent qualifiée de station de « première génération », au titre de la date de réalisation de la première remontée installée à Villard-de-Lans et de sa proximité avec ce bourg, en réalité, les « satellites » – pour reprendre le terme de R. Knafou (1978, p. 19) – du Balcon de Villard, des Glovettes ou du Clos de la Balme (les trois sites regroupant les hébergements les plus proches du domaine skiable) « constituent de véritables stations nouvelles » (*idem*). Ces sites se rapprochent de l'archétype des stations intégrées, construites en altitude pour la pratique du ski.

Dans tous les cas, à l'aval, les bourgs de Villard et de Corrençon semblent avoir profité de l'attractivité du domaine skiable et, de façon plus générale, du tourisme d'été et d'hiver dont les dynamiques respectives sont plus équilibrées sur le Vercors qu'ailleurs. La population des communes n'a globalement pas cessé d'augmenter depuis les années 1950 (tableau 6.1).

Année	1936	1946	1954	1962	1968	1975	1982	1990	1999	2007
Hab. à Corrençon	173	179	139	140	159	193	259	264	322	364
Hab. à Villard	2 215	3 990	3 321	2 760	3 085	3 258	3 224	3 346	3 798	4 023

Tableau 6.1 : Evolution de la population municipale de Corrençon-en-Vercors et de Villard-de-Lans de 1936 à 2007 (d'après les données de l'INSEE et de CASSINI³)

1.1.2. Les incertitudes de l'enneigement

La moyenne montagne contrainte par les aléas d'enneigement

Compte tenu de son altitude, et des récents changements climatiques, la question de la neige se pose pour cette station de moyenne montagne. En 1990, J. Mainguy souligne : « *Les sports d'hiver sont sujets aux aléas de la demande. Ils sont de surcroît totalement tributaires d'un autre type d'aléa, celui de l'enneigement. Ceci est particulièrement vrai dans le Vercors où les précipitations hivernales malgré leur abondance, prennent souvent un caractère pluvieux. En effet, les domaines skiables s'y trouvent à des altitudes assez faibles (de 1000 m à 2200 m, mais pour la majeure partie en-dessous de 1700 m) et les précipitations hivernales s'y concentrent relativement sur les régimes de Sud-Ouest où la limite pluie-neige se situe souvent au-dessus de 1500 ou 2000 m [sic]. De ce fait, l'enneigement des stations est très variable et souvent déficient pour les vacances de Noël* » (Mainguy, 1990, p. 24). En conclusion de son travail sur « *le couvert neigeux et les conditions d'enneigement en Vercors* », P. Chaffard (1985, p. 172) relève que « *dans les massifs préalpins, la neige est un phénomène climatique plus capricieux encore que la pluie, avec une plus grande variabilité des hauteurs de chutes. Les fluctuations de l'isotherme 0° sont extrêmement sensibles dans la tranche d'altitude moyenne et avec un volume égal d'eau, des hivers doux et pluvieux peuvent s'opposer à des hivers froids et neigeux* ».

³ Le site Internet « *Des villages de Cassini aux communes d'aujourd'hui* », administré par l'École des Hautes Etudes en Sciences Sociales (EHESS), avec le concours du CNRS, de la Bibliothèque Nationale de France et du Ministère de l'Environnement, met en scène l'évolution du territoire français à partir de la carte de Cassini et de données actuelles. Des informations historiques sur les démographies communales y sont notamment disponibles : <http://cassini.ehess.fr/cassini/fr/html/index.htm> .

On notera que ces deux dernières références climatologiques (Chaffard, 1985 et Mainguy, 1990) interviennent avant que les effets du changement climatique ne soient perçus par les décideurs politiques et les acteurs socio-économiques locaux comme un enjeu international majeur. A titre d'illustration, la création du Groupe Intergouvernemental d'Etude du Climat (GIEC) date de 1988 et le sommet de la Terre de Rio s'est tenu en 1992. La variabilité des précipitations neigeuses était déjà identifiée comme une caractéristique climatique des années 1980 du massif du Vercors. Compte tenu des tendances et observations actuelles, cette variabilité sera vraisemblablement amplifiée par le réchauffement déjà observé et attendu d'ici à la fin du siècle (Cabret, 2002).

Evolution des températures, des précipitations et de la neige dans un contexte de changement climatique

Le poste météorologique de Villard-de-Lans (poste Météo France situé à 1025 m d'altitude) permet de disposer d'une série de données sur les trente dernières années, en températures et précipitations (données disponibles sur la Climathèque de Météo France).

Au début des années 1980 en période hivernale (de novembre à avril), la température moyenne à Villard-de-Lans était inférieure à 1,5°C (figure 6.1). En l'espace de 30 ans, malgré de fortes variations interannuelles, cette moyenne saisonnière a augmenté de +1,4°C (augmentation de la moyenne hivernale linéaire). En fait, ce réchauffement des températures se manifeste surtout à partir de la saison 1985/1986 où 4 hivers successifs sont de moins en moins froids. On note néanmoins une stabilisation, voire une légère baisse, des températures ces dix dernières années.

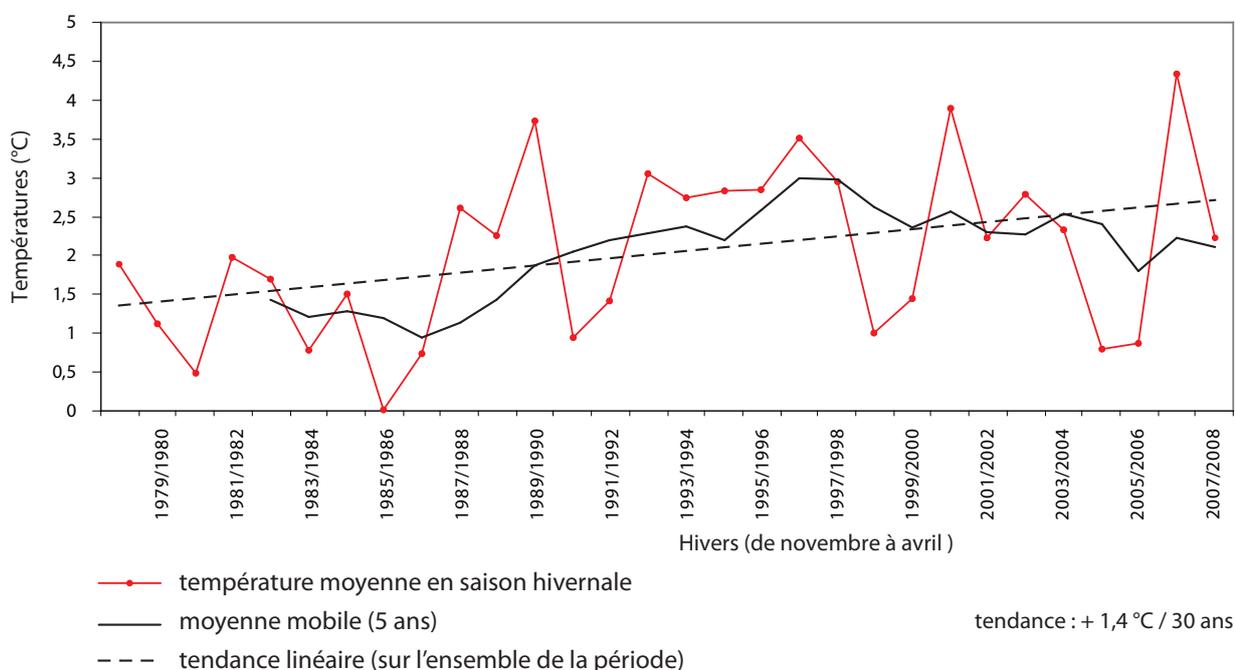


Figure 6.1 : Evolution des températures moyennes en saison hivernale à Villard-de-Lans (1025 m) entre 1978 et 2008 (d'après les données de Météo France)

Les observations sont différentes en termes de précipitations (précipitations totales, pluie et neige confondues) puisque celles-ci restent relativement stables sur les trente périodes hivernales étudiées (figure 6.2). En moyenne linéaire, 50 mm de précipitations sont toutefois perdus en l'espace de trente ans (sur des totaux de l'ordre de 600-800 mm par hiver).

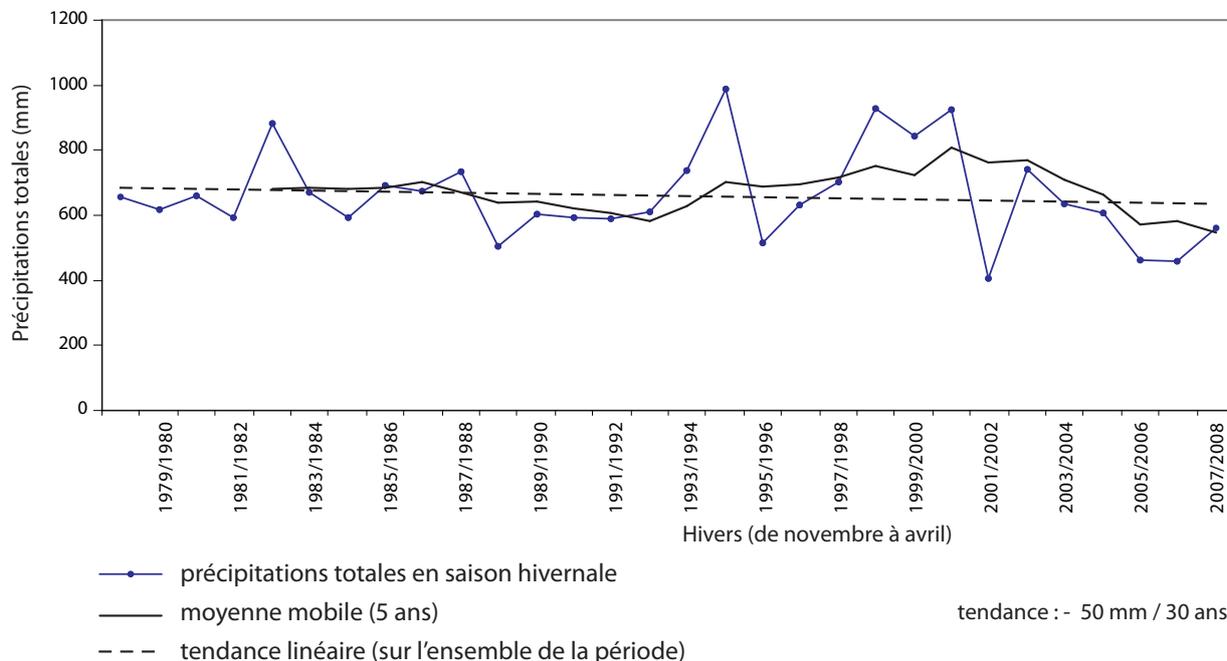
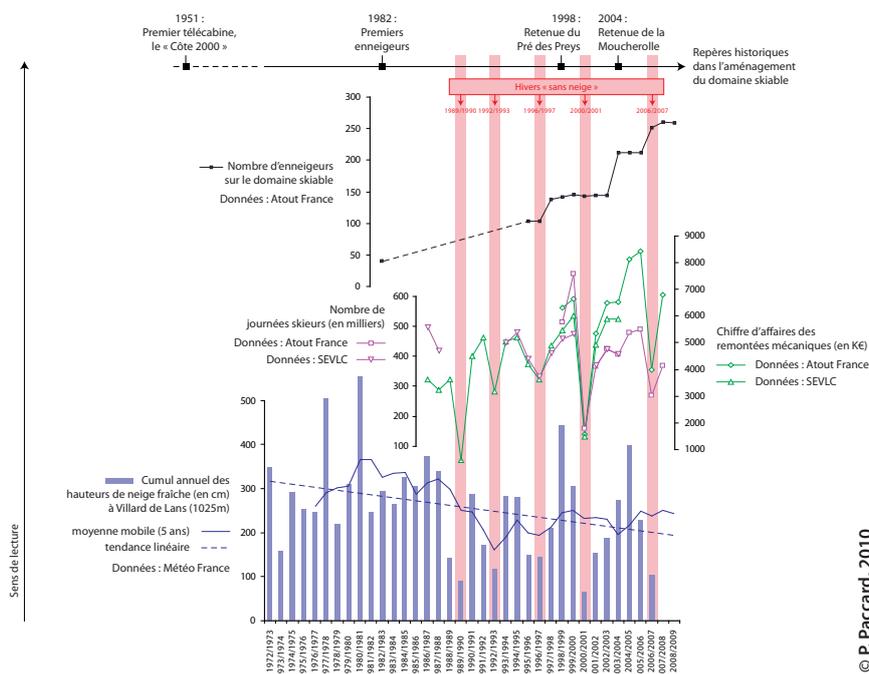


Figure 6.2 : Evolution des précipitations totales en saison hivernale à Villard-de-Lans (1025 m) entre 1978 et 2008 (d'après les données de Météo France)

Le réchauffement des températures, conjugué à la stabilité des précipitations, pourrait expliquer la baisse conséquente du cumul annuel des hauteurs de neige fraîche enregistrées au poste Météo de Villard-de-Lans. En moyenne linéaire, une baisse de 110 cm est constatée en un peu plus de 30 ans. Ce déficit de neige est particulièrement marqué depuis la fin des années 1980 (figure 6.3).

Figure 6.3 : Evolution des cumuls de neige enregistrés à Villard-de-Lans, du chiffre d'affaires des remontées mécaniques et du nombre d'enneigeurs installés sur le domaine skiable.



Si l'on se réfère aux scénarii proposés par l'OCDE (2007, p. 32), la limite de fiabilité de l'enneigement se situerait actuellement en Isère, et donc pour le Nord du massif du Vercors, vers 1200 mètres. Les portes d'entrée du domaine skiable de Villard-Corrençon se situent juste à cette altitude (Côte 2000 à 1140 m et le Clos de la Balme à 1220 m). Si cette limite venait à remonter de 150 mètres, 300 mètres ou 600 mètres pour un réchauffement de +1°C, +2°C ou +4°C, comme le propose l'analyse prospective de l'OCDE, ce sont respectivement **les retours-station, la partie basse ou la majeure partie du domaine skiable sur lesquels la neige pourrait faire défaut**. Ces projections restent néanmoins des hypothèses, dont la véracité doit être éprouvée.

Quoi qu'il en soit, depuis les années 1980, qui marquent l'emballlement du réchauffement climatique dans les Alpes, on relève 5 hivers « sans neige » pour la station de Villard - Corrençon. Ces derniers ont fortement impacté le chiffre d'affaires des remontées mécaniques et certainement, plus largement mais de façon indirecte, l'activité touristique et économique de ce territoire. Ces hivers ont été un élément essentiel dans la prise de position des exploitants du domaine skiable, pour lesquels « *l'investissement en neige de culture est prépondérant* » (SEVLC, 2004). Très tôt, des investissements ont été réalisés pour se doter d'installations de production de neige, afin de garantir l'ouverture d'une zone skiable minimale, et d'assurer de la neige sur les secteurs définis comme stratégiques pour l'exploitation du domaine skiable.

Compte tenu de la date à laquelle ces premiers investissements ont été réalisés (1982), il est certain que l'objet n'était pas initialement d'essayer de contrecarrer les effets du changement climatique, ce dernier n'étant, à l'époque, pas encore perçu. L'idée était plutôt de garantir le ski au regard de la variabilité interannuelle des précipitations neigeuses et d'améliorer la qualité du produit proposé à la clientèle. Cela étant dit, désormais, la stratégie de l'enneigement artificiel à Villard-de-Lans interroge quant à sa durabilité par rapport au réchauffement des températures et à la baisse de l'enneigement constatés.

1.2. Le développement de la production de neige dans l'aménagement du domaine skiable

1.2.1. Quatre sites de production de neige

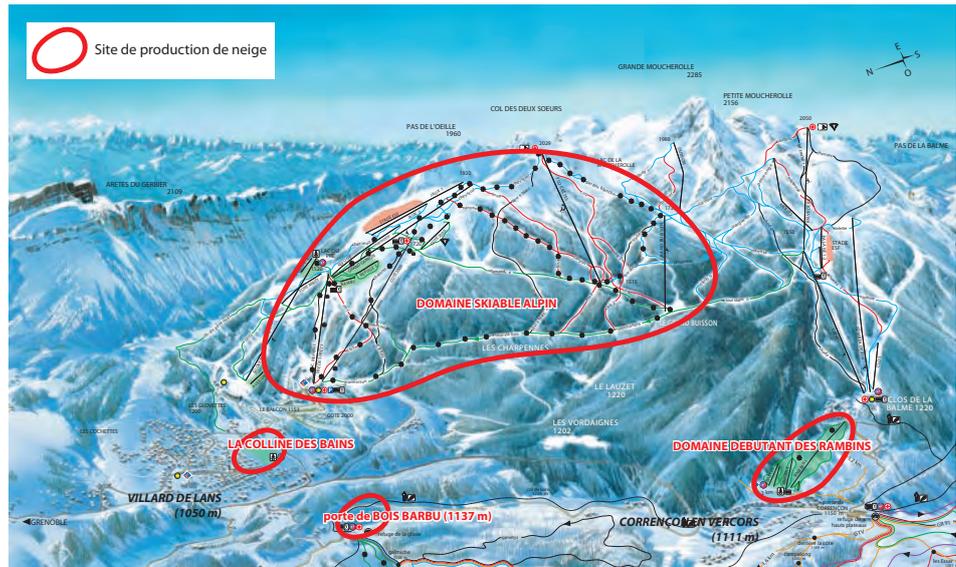
Sur l'ensemble des domaines skiables de Villard - Corrençon, quatre sites de production de neige, aux fonctions différentes, ont été développés (figure 6.4). Le plus grand nombre d'enneigeurs se trouve sur le domaine de ski alpin de la Moucherolle, gérés par la SEVLC, sur lequel notre propos se focalise (tableau 6.2).

Les autres installations, beaucoup plus modestes, sont gérées par les communes de Corrençon-en-Vercors et de Villard-de-Lans. Pour F. Hugues, l'équipement en neige artificielle du domaine de ski de fond par la commune de Villard-de-Lans soutient et prolonge l'action de la SEVLC (Hugues, 2007, p. 229). Il ne s'agit que d'une petite boucle au départ des pistes (photo 6.5) mais il constitue l'une des premières installations d'enneigement sur un domaine de ski de fond en France⁴.

L'aménagement du parc de glisse de la « Colline des bains », dont les 14 enneigeurs sont également gérés par la commune de Villard, a quant à lui bénéficié du soutien du Conseil Général de l'Isère dans le cadre de sa politique de « Contrats de Développement Diversifié ».

⁴ D'autres domaines de ski de fond sont désormais également équipés. On peut citer dans le Vercors le plateau de Gève à Autrans (Vercors, Isère), le départ des pistes de la Féclaz (Bauges, Savoie), une piste d'entraînement du domaine de Gap-Bayard (Champsaur, Hautes-Alpes), le site nordique des Confins (Aravis, Haute-Savoie)...

Figure 6.4 : Les 4 sites de production de neige à Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors. (d'après le plan des pistes des Offices de Tourisme de Villard-de-Lans et de Corrençon-en-Vercors, 2009).



Site	Fonction	Nombre d'enneigeurs
Parc de glisse de la « Colline des Bains »	Pratique de la luge et apprentissage du ski	14 enneigeurs bifluïdes
Domaine débutant des Rambins	Apprentissage du ski	5 enneigeurs bifluïdes
Porte de Bois Barbu	Pratique du ski de fond	1 enneigeur monofluïde (mobile)
Domaine de ski alpin de la Moucherolle	Pratique du ski alpin	+ de 250 enneigeurs bifluïdes

Tableau 6.2 : Nombre d'enneigeurs et fonction des sites de production de neige sur l'ensemble des domaines skiables de Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors. *Seule l'installation d'enneigement du domaine de la Moucherolle est gérée par la SEVLC. La commune de Villard-de-Lans gère l'enneigement du site de la « Colline des Bains » et de la Porte de Bois Barbu, la commune de Corrençon-en-Vercors celui du domaine des Rambins.*



Photo 6.5 : Le départ des pistes de ski de fond de Villard-de-Lans, enneigeables artificiellement (cliché : P. Paccard, le 15/12/2009).

En bas à droite, détail du plan du domaine de ski de fond. Celui-ci mentionne bien la boucle enneigée artificiellement l'hiver.

1.2.2. Le domaine de la Moucherolle, 1982 : « l'équipement d'enneigement automatique le plus important d'Europe »

Sur ce domaine, la première installation d'enneigement date de 1982, juste avant que la liaison entre les pistes de Villard et de Corrençon ne soit réalisée en 1983. 72 regards pour 42 canons amovibles d'une capacité de production de neige de 10 à 40 m³/heure chacun sont installés sur les pistes garantissant le retour vers la Côte 2000 (Photo 6.6). Ils permettaient d'enneiger 12 hectares de pistes sur une dénivellation de 400 mètres (de 1150 m à 1550 m sur 3,2 kilomètres de pistes). Il s'agissait alors, selon la revue *Aménagement et Montagne*, de l'installation d'enneigement automatique la plus importante d'Europe : « Pourquoi une telle installation à Villard-de-Lans ? D'une part pour pallier au manque de neige fréquent sur le bas des pistes. D'autre part, pour allonger la saison du début décembre à fin avril [...]. Enfin, l'installation d'enneigement automatique permet de créer une sous-couche au début de saison » (Pelletier, 1983, p. 35). En 1992, l'automatisation et l'extension du réseau de production de neige vers l'amont du domaine skiable « augmentent la production [de neige] de 30% » (SEVLC, 2004).

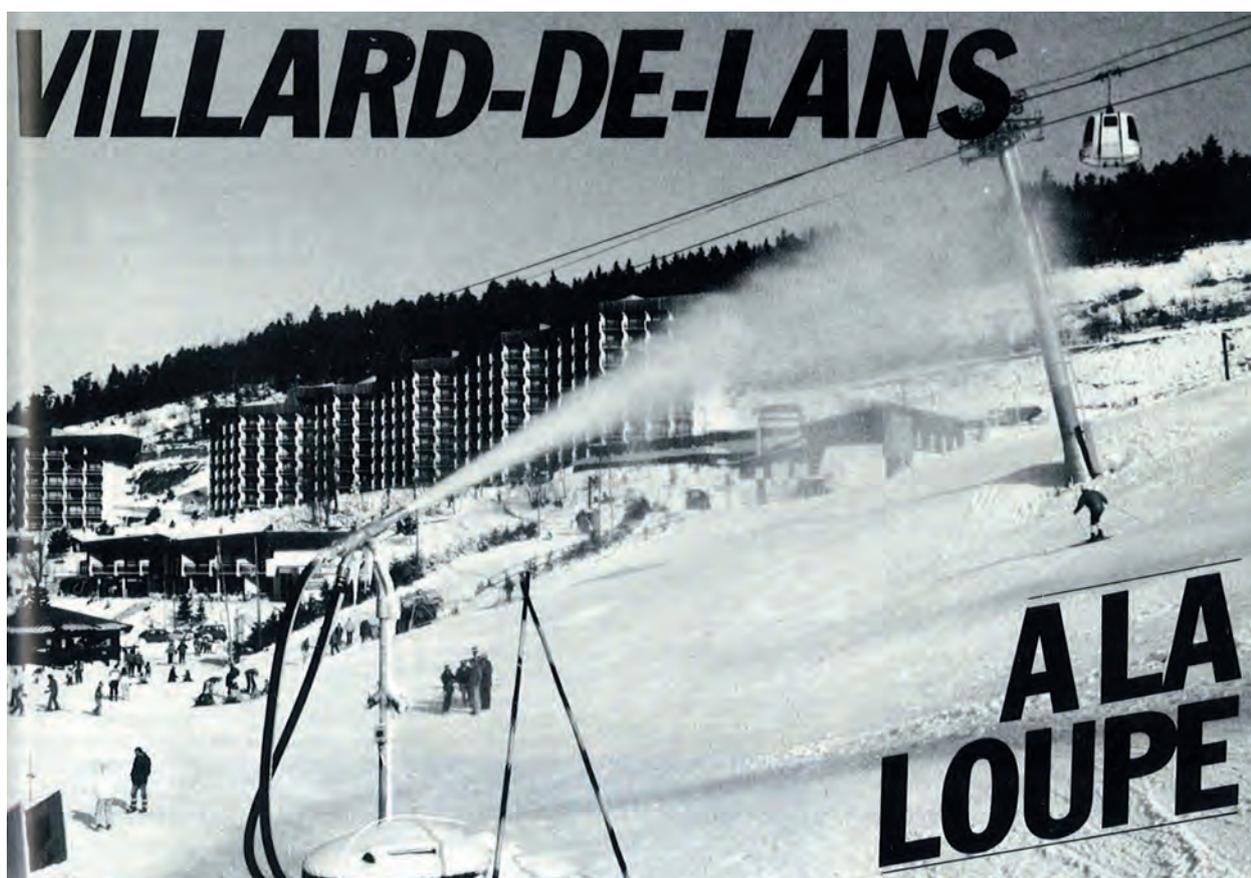


Photo 6.6 : Premier enneigeur sur les pistes menant à la Côte 2000, sur le domaine skiable de Villard-de-Lans (cliché : M. Drapier, 1983 in *Aménagement et Montagne*, 1983, p. 45). Photographie extraite d'un article intitulé : « Enneigement automatique : Villard-de-Lans à la loupe ». Le sous titre précise que « Villard-de-Lans s'est doté, rappelons-le, de l'équipement d'enneigement automatique le plus important d'Europe ». En arrière plan, la résidence des Balcons de Villard.

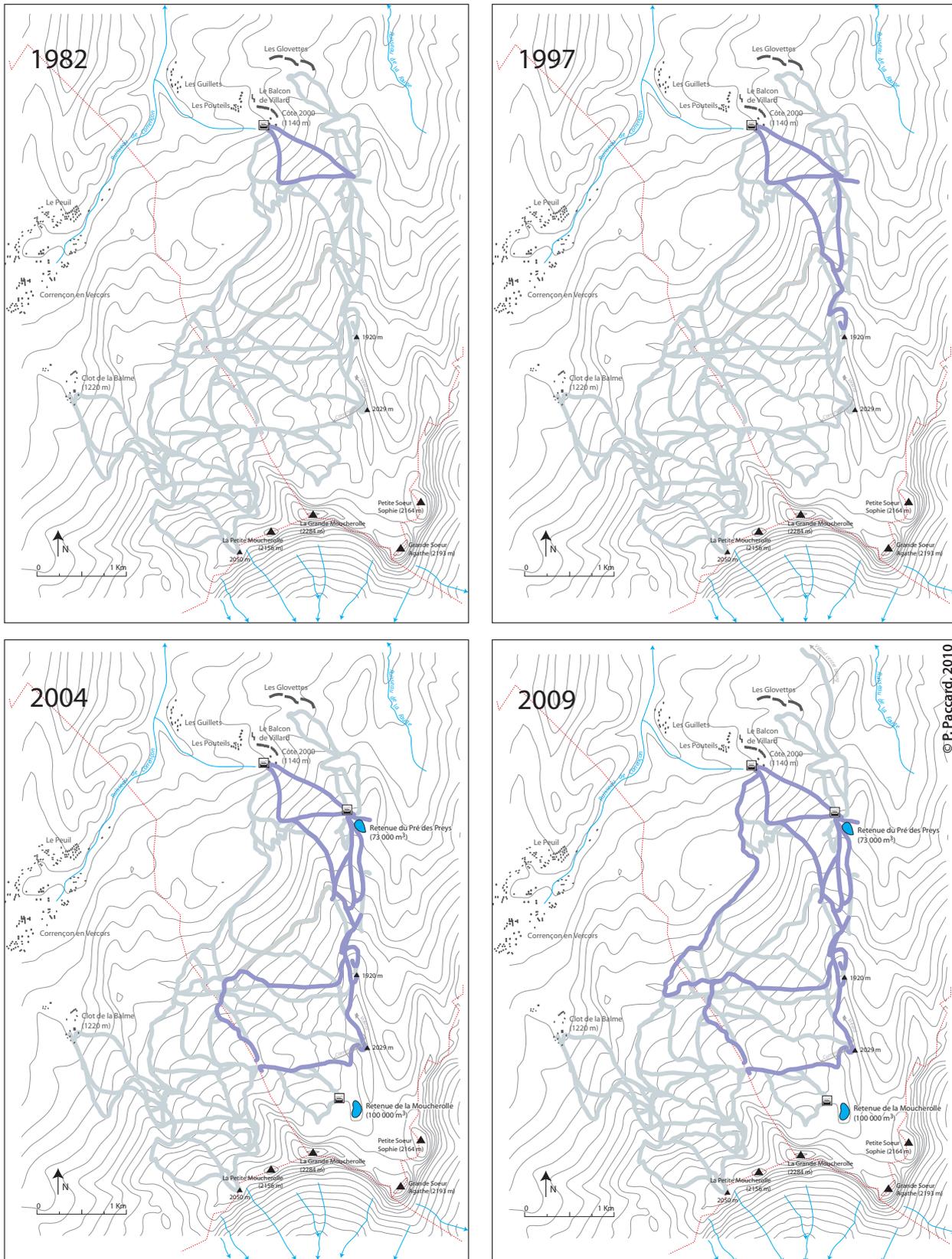
Aujourd'hui, après de nombreux investissements en l'espace d'une vingtaine d'années (carte 6.2), plus de 250 enneigeurs permettent de couvrir près de 30% de la surface totale des pistes. Les pistes équipées sont essentiellement les retours vers la Côte 2000, garantissant un retour « ski au pied » à la clientèle à 1150 mètres d'altitude ; est également concernée la liaison avec Corrençon (il s'agit du sommet du domaine skiable situé à 2029 mètres d'altitude) ; enfin, quelques pistes dites « commerciales » (pistes faciles, prisées par la clientèle) ont été équipées. Des travaux sont entrepris chaque année pour moderniser et étendre le réseau de production de neige (exemple de la partie basse de la piste « Salamandre », desservant la Côte 2000, équipée d'enneigeurs au cours de l'été 2009).

Paradoxalement, si de nombreux enneigeurs ont été installés sur le territoire de Villard-de-Lans, **celui de Corrençon n'est pratiquement pas équipé en production de neige**. Pourtant définis comme prioritaires, les projets d'aménagement sur cette partie du domaine skiable (carte 6.3) sont pour le moment gelés dans l'attente de l'éventuel renouvellement de la convention de délégation de service public qui lie l'exploitant du domaine skiable, la Société d'Équipement de Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors, à la commune de Corrençon jusqu'en 2013. Dans tous les cas, la commune reste demandeuse d'un équipement de production de neige sur au moins une piste, permettant de fiabiliser le retour jusqu'au Clos de la Balme, où une résidence et de nouveaux lits sont en projet⁵.

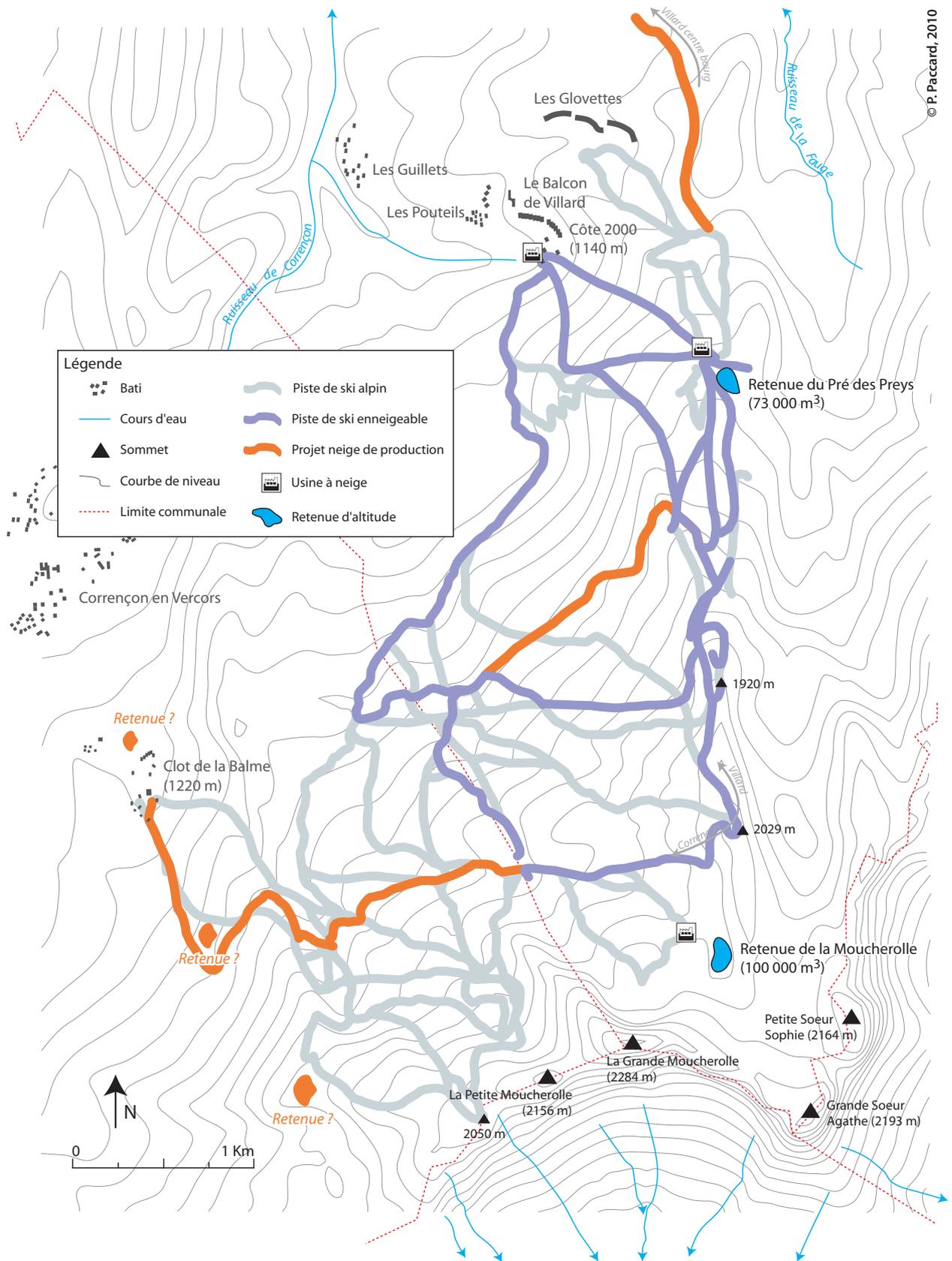
De ce rapide historique, il apparaît que la production de neige occupe une place croissante dans l'aménagement et la gestion du domaine skiable. Concrètement, cela se traduit par une mobilisation d'importants volumes d'eau. On rappelle que près de 3500 m³ d'eau par hectare (et en moyenne, sur le plan énergétique, 26 200 kWh / ha d'après ODIT France, 2008) sont, en effet, nécessaires à l'enneigement d'une piste sur une saison ; ce ratio correspond à deux campagnes d'enneigement de 30 cm d'épaisseur chacune, qui est généralement le cas le plus fréquent. En termes de bilan, cela signifie que pour le domaine de Villard - Corrençon, qui compte plus de 60 hectares de pistes enneigeables (donnée transmise par ODIT France, 2009), c'est un volume théorique maximum d'environ 210 000 m³ d'eau qui est nécessaire chaque saison. Ce volume, vérifié par les informations recueillies sur le terrain, doit être mis en regard avec l'environnement karstique de ce site, caractérisé par une absence d'eau de surface.

⁵

Entretien du 14 octobre 2009 avec G. Sauvageon, Maire de Corrençon.



Carte 6.2 : Les pistes équipées d'installations d'enneigement à Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors en 1982, 1997, 2004 et 2009



© P. Paccard, 2010

Carte 6.3 : Les projets d'installations d'enneigement à Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors.

Carte 6.4 : Les traçages réalisés autour de l'emprise du domaine skiable de Villard - Corrençon dans le bassin d'alimentation karstique de Goule Blanche (74 km²) (d'après Rousset, 1982 et Rocheblave, 1995 in SOGREAH, 2006, p. 44)

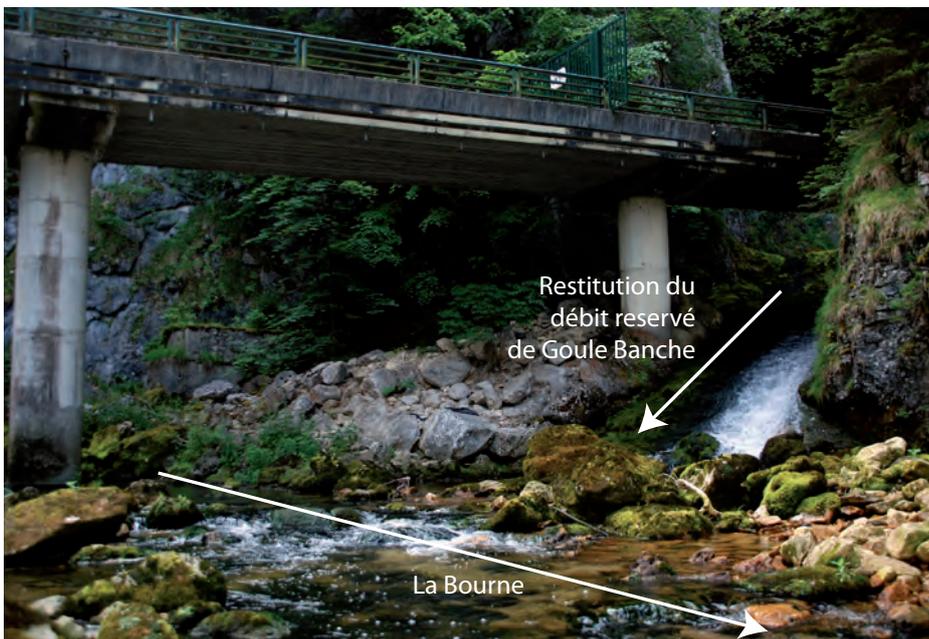
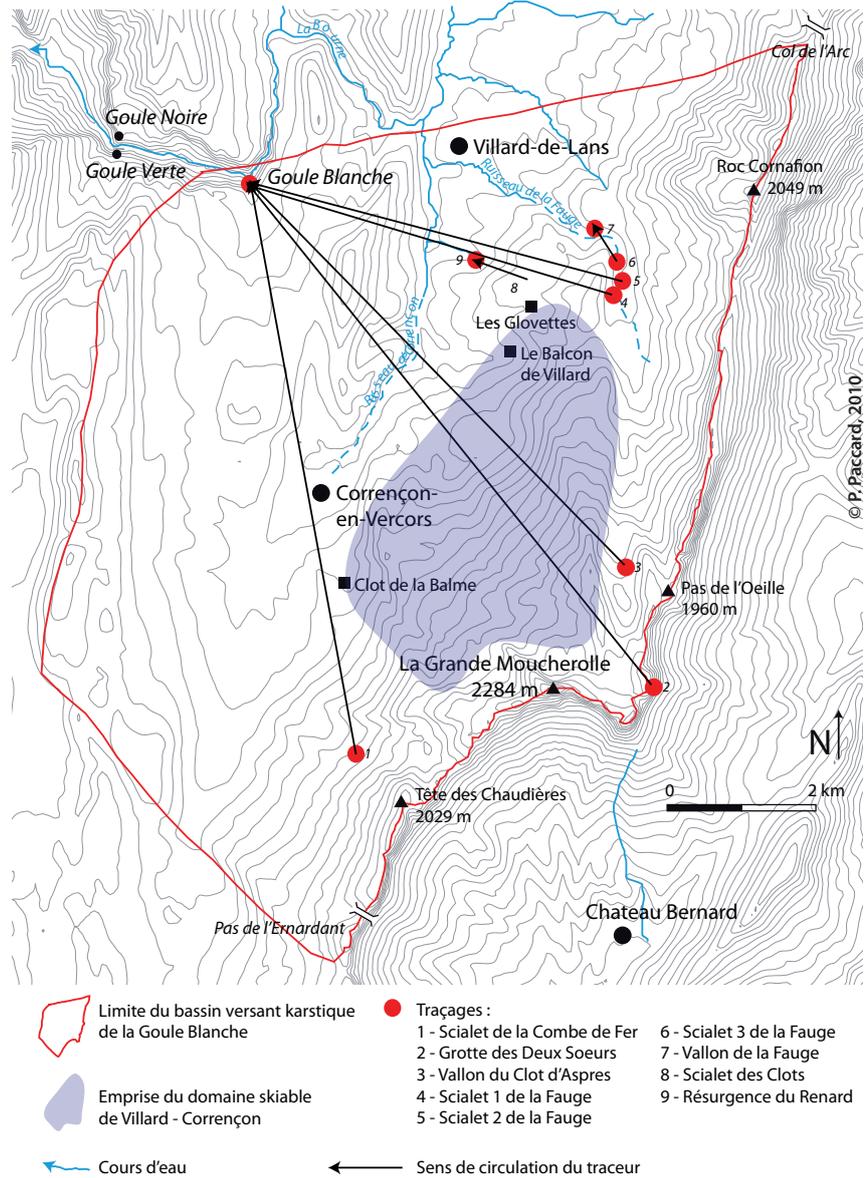


Photo 6.8 : Ecoulement de la Bourne en aval immédiat de Goule Blanche (cliché : P. Paccard, le 30/06/09). La restitution du débit réservé de Goule Blanche (135 l/s) se fait par un canal situé juste en contrebas de la passerelle d'accès à la cavité de l'émergence.

2. LE BASSIN VERSANT KARSTIQUE DE GOULE BLANCHE ET LE DISPOSITIF D'ALIMENTATION EN EAU POUR LA PRODUCTION DE NEIGE

Les prélèvements d'eau pour la production de neige s'effectuent en règle générale à partir des eaux de surface. Les « ruisseaux » de Corrençon et du Vallon de la Fauge sont les seuls écoulements de surface dans ce secteur, hormis la Bourne. Leur faible débit et leur fonctionnement temporaire ne permettent pas de prélèvements. Cela a obligé les exploitants à aller chercher l'eau où elle existe, c'est-à-dire à la sortie des systèmes karstiques. Plusieurs émergences se trouvent dans la partie amont des gorges de la Bourne (Goule Blanche, Goule Verte et Goule Noire). La plus proche de Villard et la plus soutenue en débit est Goule Blanche.

2.1. L'émergence de Goule Blanche

2.1.1. Le bassin d'alimentation et les débits de l'émergence

L'émergence de Goule Blanche s'ouvre dans les gorges de la Bourne (832 m d'altitude) à l'aval de Villard-de-Lans. Elle draine un important bassin d'alimentation d'environ 74 km². « *Celui-ci englobe, d'une part, le secteur de la forêt de la Loubière-Essartaux et, d'autre part, l'ensemble du rebord oriental, compris entre le col de l'Arc et le Pas d'Ernadant et qui se caractérise par les hauts reliefs du Cornafion, des Deux Sœurs et de la petite et grande Moucherolle situés entre 2050 et 2284 m. Les limites hydrogéologiques sont au nord la gouttière traverse de la Bourne, au nord-est le chevauchement du Moucherotte - Pic St-Michel, à l'est la base du crêt urgonien et au sud la faille de Carette. La limite occidentale correspond au chevauchement de l'ondulation anticlinale de la Loubière-Essartaux (crête de l'Ange Sambue)* » (Delannoy, 1997). Plusieurs traçages ont permis de préciser le périmètre d'alimentation de cette émergence karstique (carte 6.4).

Le débit moyen de Goule Blanche est de l'ordre de 1,1 m³/s avec un débit d'étiage de 250 l/s qui, lors d'étiages sévères, peut descendre aux alentours de 50 l/s (SOGREAH, 2006, p. 87). Les étiages sont dans ce cas à la fois estivaux et hivernaux (ce qui diffère des régimes nivoglaciers où l'étiage est hivernal). Si la cohérence entre la disponibilité en eau en hiver et la pratique touristique hivernale est un réel problème (besoins de pointe à l'étiage), le recours à la production de neige peut, sans possibilité de stockage, renforcer ce paradoxe. A Villard-de-Lans, deux retenues d'altitude permettent de répondre à cette superposition des besoins et de l'étiage.

2.1.2. Une ressource exploitée par de multiples usages

L'émergence de Goule Blanche est exploitée depuis plus de 70 ans pour l'hydroélectricité (photo 6.7, *infra*, p. 286). L'eau est acheminée par une conduite forcée pour être turbinée à la centrale électrique de « Goule Blanche » (située à 2,5 kilomètres en aval, pour 160 mètres de chute d'eau). Le cahier des charges de la concession hydroélectrique fixe le débit réservé de l'émergence à 135 l/s, soit un débit équivalent au 1/10 du module interannuel des écoulements de Goule Blanche (photo 6.8).

Par ailleurs, une convention a été établie le 29 janvier 1973 (modifiée et complétée par les avenants des 4 janvier 1982 et 19 mai 1992) entre EDF et la commune de Villard-de-Lans : EDF autorise la commune à prélever de l'eau depuis Goule Blanche pour l'alimentation en eau potable et la production de neige (article 23 du cahier des charges de la concession de la chute de la Goule Blanche, Electricité de France, 2007). Ce « droit d'eau » - l'eau est en réalité achetée à EDF par

Veolia, le délégataire du service de l'eau potable de Villard-de-Lans - est établi pour un débit maximum de 500 m³/h la nuit (soit 139 l/s de 22h à 7h) et de 250 m³/h le jour (soit 70 l/s de 7h à 22h). Il ne constitue actuellement qu'une ressource d'appoint pour la commune, qui est principalement alimentée en eau potable par d'autres sources situées sur le rebord Est du val de Lans. Une station de pompage située à proximité de la prise, puis une station de relais, permettent ainsi de relever l'eau depuis l'altitude de 840 mètres jusqu'à une station de traitement aux ultra-violets et au chlore située à 1150 mètres. Dès lors, l'eau peut être distribuée sur le réseau de la commune.

L'exutoire karstique de Goule Blanche, qui concentre tous les écoulements souterrains et est exploité pour l'alimentation du réseau d'eau potable de la commune de Villard-de-Lans, est désormais de plus en plus sollicité pour la production de neige.

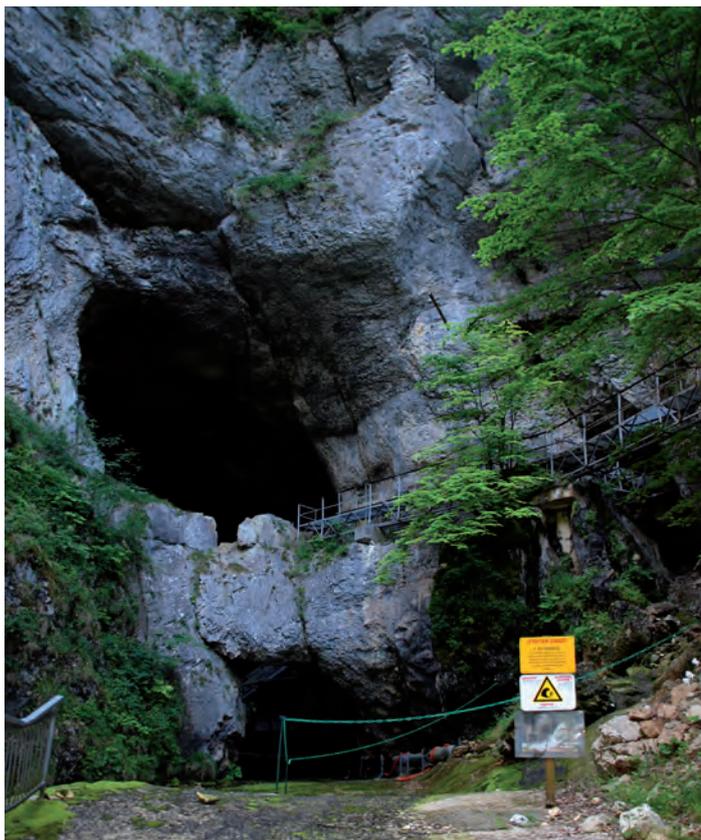


Photo 6.7 : L'émergence de Goule Blanche dans les Gorges de la Bourne (cliché : P. Paccard, le 30/06/09).
Cet exutoire, ici en période d'étiage, a été aménagé et est exploité pour la production d'hydroélectricité et d'eau potable.

2.2. Sur la provenance de l'eau pour la production de neige

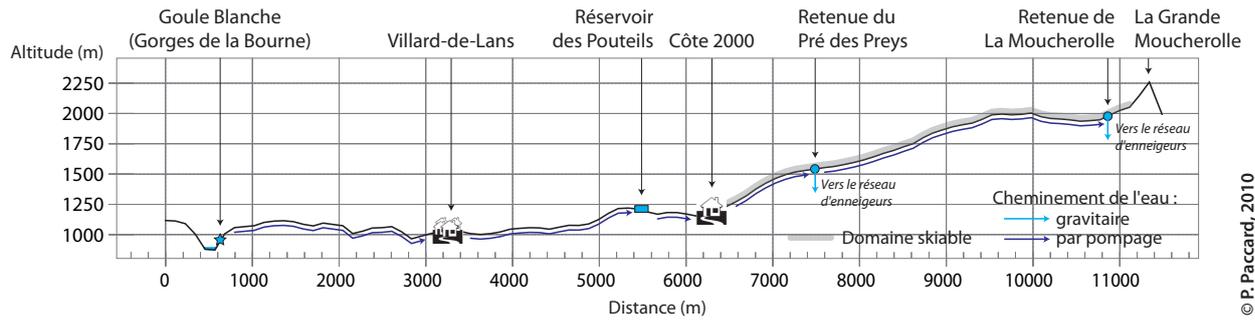
2.2.1. Deux retenues d'altitude pour le stockage de l'eau...

Deux retenues d'altitude situées dans la partie supérieure du domaine skiable de Villard-de-Lans ont été créées pour permettre le stockage de l'eau destinée à la production de neige. Elles sont alimentées par pompage et permettent, une fois remplies, de distribuer l'eau de façon gravitaire vers les réseaux d'enneigeurs. (figure 6.5).

La première retenue est celle du Pré des Preys (1520 m, photo 6.9, 6.10 et 6.11). Elle a été réalisée en 1998 et a une capacité utile de 73 000 m³. Cet ouvrage est empoissonné pour la pratique de la pêche à la mouche et peut également servir de réserve d'eau pour lutter contre les incendies⁶.

La seconde retenue, celle de la Moucherolle (1915 m), a été réalisée en 2004. D'une capacité utile de 100 000 m³, elle se situe sur la partie sommitale du domaine skiable, en plein karst (photo 6.12, page suivante). Du point de vue de l'exploitant, les avantages de ces deux ouvrages artificiels résident dans la possibilité d'une alimentation gravitaire des réseaux d'enneigement, qui limite ainsi les coûts de production. L'altitude de ces retenues permet de disposer d'une eau froide, en relative quantité, pour la production de neige en période de froid.

⁶ Un exercice s'est déroulé le jeudi 22 janvier 2009 en partenariat entre la SEVLC et le Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) de l'Isère. Les sapeurs-pompiers disposent désormais d'un matériel adaptable, qu'il est possible de brancher sur le réseau d'enneigement de la station (Calendre, 2009).



© P. Paccard, 2010

Figure 6.5 : Coupe schématique du cheminement de l'eau pour la production de neige depuis la Goule Blanche vers les retenues d'altitude de Villard-de-Lans. *A la différence d'autres stations, bénéficiant de la proximité d'écoulements de surface pour l'alimentation des retenues d'altitude, il a fallu aller chercher cette ressource là où elle est disponible, c'est-à-dire aux exutoires du karst. L'eau est remontée par pompage jusqu'aux retenues d'altitude sur plusieurs kilomètres.*



Photo 6.9 : Le val de Villard-de-Lans. Vue depuis les arêtes du Gerbier sur la retenue d'altitude du Pré des Preys, la résidence des Glovettes et les Gorges de la Bourne (cliché : P. Paccard, le 05/09/2009)



Photo 6.10 : La retenue du Pré des Preys en fin de saison hivernale (cliché : P. Paccard, le 05/04/2009). *A l'altitude 1520 mètres, cet ouvrage a une capacité utile de 73 000 m³.*



Photo 6.11 : La retenue du Pré des Preys en période de remplissage (cliché : P. Paccard, le 30/06/2009). *Il s'agit ici d'un remplissage de l'ouvrage après vidange pour entretien décennal.*



Photo 6.12 : La retenue de la Moucherolle (1915 m) sur la partie haute du domaine skiable de Villard - Corrençon, vue depuis le sommet de la Grande Moucherolle (cliché : C. Gauchon, le 13/08/2009). *D'une capacité utile de 100 000 m³, elle est aménagée en plein milieu karstique.*

2.2.2. ... alimentées par le réseau d'eau potable communal

Ces deux retenues sont alimentées depuis le réservoir d'eau potable « des Pouteils », situé au lieu dit « les Glovettes ». L'eau, prélevée depuis ce réservoir, est refoulée jusqu'à la retenue du Pré des Preys. Depuis celle-ci, un deuxième dispositif de pompage permet de remonter à nouveau l'eau vers la retenue de la Moucherolle. Le réservoir « des Pouteils » alimente également en eau potable les résidences des Glovettes et du Balcon de Villard. Il est lui-même alimenté par une série de captages communaux et, lorsque ceux-ci ne suffisent plus (retenues en période de remplissage) par le captage de Goule Blanche.

Depuis l'origine du dispositif, des modifications ont été apportées pour l'adduction en eau des retenues d'altitude. Cette adduction était initialement branchée sur la conduite de distribution d'eau potable depuis le réservoir « des Pouteils » jusqu'à la « résidence du Balcon de Villard ». Ce dispositif risquant de provoquer des baisses de pression dans le réseau d'eau potable, l'adduction se fait désormais directement depuis le réservoir lui-même (figure 6.6 et carte 6.5).

Le remplissage des retenues destinées à la production de neige se fait toujours aux moments des périodes creuses de fréquentation touristique, avec l'accord du gestionnaire du réseau d'eau potable. Ce dernier précise si besoin les créneaux horaires auxquels les prélèvements peuvent se faire. Il n'y a jusqu'à présent jamais eu de restrictions pour des raisons de non disponibilité de la ressource (ce qui aurait pu être le cas en périodes de

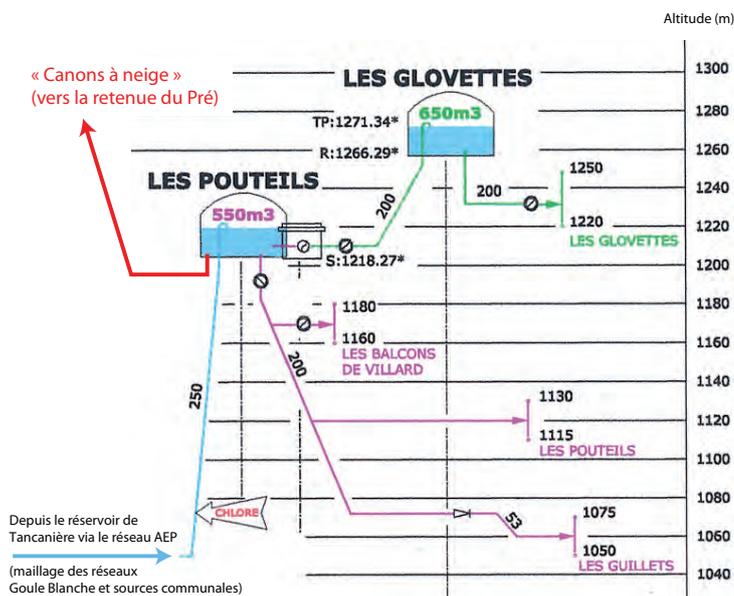
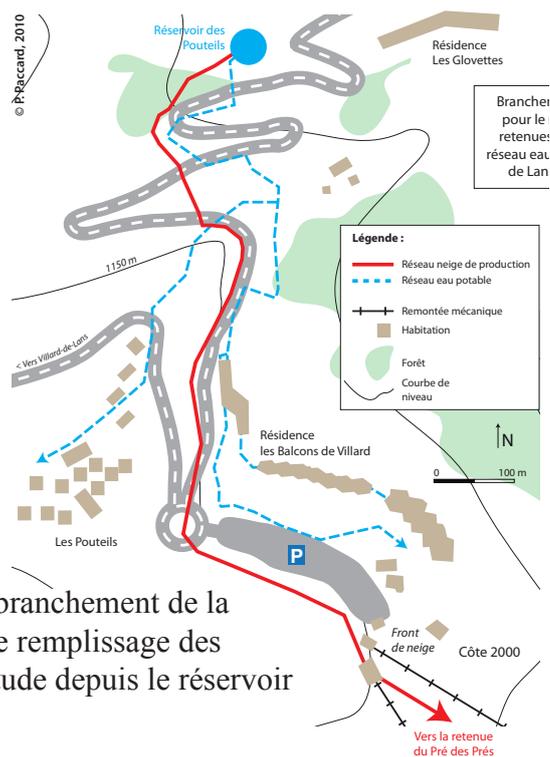


Figure 6.6 : Extrait du schéma altimétrique du réseau d'eau potable de Villard (d'après la Compagnie Générale des Eaux, 2006). Le réservoir des Pouteils alimente en eau potable les résidences des Balcons de Villard et des Glovettes (au pied du domaine skiable) ainsi que les hameaux des Pouteils et des Guillets. Il est également le point de départ du dispositif d'alimentation en eau de l'installation d'enneigement de la station : remplissage de la retenue du Pré, puis de celle de la Moucherolle avant la distribution de l'eau vers les enneigeurs.



Carte 6.5 : Le branchement de la SEVLC pour le remplissage des retenues d'altitude depuis le réservoir des Pouteils.

pointe de fréquentation touristique). Ainsi, pour Veolia⁷ (gestionnaire, en délégation de service public, de la distribution de l'eau potable à Villard), il n'y a jamais eu de conflits d'usage entre l'alimentation en eau potable et la production de neige (le remplissage des retenues) ; la distribution d'eau potable est dans tous les cas la priorité et la disponibilité de la ressource est aujourd'hui suffisante pour satisfaire tous les besoins.

En fait, l'eau est achetée par l'exploitant du domaine skiable à Veolia, à un tarif « industriel » au-delà de 50 000 m³ prélevés. Selon la Société d'Équipement de Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors⁸, cet achat d'eau représente un coût d'environ 90 000 euros par an pour environ 120 000 m³ d'eau prélevés annuellement pour la production de neige.

S'il apparaîtrait ainsi, selon une approche déterministe, que le karst ne semble pas être un handicap pour la production de neige à partir du captage de Goule Blanche et des retenues d'altitude, il faut s'interroger sur les effets de ces aménagements (pistes, retenues...) sur le système karstique (régulateur) et la disponibilité en eau pour l'aval (au-delà de Goule Blanche) : quels impacts possibles de la production de neige, en particulier sur les débits de la Bourne, alimentée en grande partie par la Goule Blanche ? Quelle intégration des autres usages de l'eau et du milieu karstique ? La gestion globale de la ressource en eau est ici en jeu.

3. QUELS IMPACTS POSSIBLES DE LA PRODUCTION DE NEIGE SUR LA RESSOURCE EN EAU ?

3.1. Impact quantitatif : bilan besoins / ressources disponibles

D'après les informations transmises par Veolia, les prélèvements d'eau annuels pour la production de neige – en réalité, pour le remplissage des retenues d'altitude – ont représenté en 2005, 2006, 2007 et 2008 des volumes respectifs de 191 600 m³, 161 650 m³, 150 249 m³ et 183 000 m³. Sur ces quatre années, la moyenne est donc d'environ 171 600 m³ d'eau prélevés pour la production de neige.

3.1.1. Première approximation : quelques éléments de comparaison

En première approximation, ces volumes peuvent être comparés aux quantités d'eau entrant et sortant du bassin d'alimentation de Goule Blanche. D'une part, la pluviométrie moyenne annuelle est de 1300 mm à la station Météo France de Villard-de-Lans (moyenne annuelle de 1978 à 2008). Sur l'ensemble du bassin d'alimentation de Goule Blanche, d'une superficie de 74 km², ces précipitations représentent l'équivalent d'un volume d'eau de plus de 96 millions de m³ (ce chiffre ne tient pas compte du gradient altitudinal des précipitations et des phénomènes d'évapotranspiration, c'est à dire des précipitations efficaces). D'autre part, en considérant un débit moyen annuel de Goule Blanche de 1,1 m³/s, les écoulements totaux à l'émergence représenteraient un volume total théorique de plus de 34 millions de m³. **Au regard de ces totaux annuels, correspondant partiellement aux entrées et aux sorties d'eau sur le bassin d'alimentation de Goule Blanche, les prélèvements pour la production de neige peuvent paraître insignifiants (0,2% des précipitations brutes annuelles et 0,5% des écoulements totaux annuels de Goule Blanche).**

⁷ Entretien du 04 mai 2009 avec F. Meyer, responsable Veolia Eau pour le secteur de Villard-de-Lans.

⁸ Entretien du 17 juin 2009 avec D. Beuque, Directeur Général de la SEVLC.

Cependant, l'adéquation entre les besoins et la ressource disponible ne peut être appréhendée de cette manière. Il faut raisonner au pas de temps journalier et au moment où les prélèvements pour la production de neige sont maximums.

3.1.2. Production de neige et eau potable à Villard-de-Lans

La phase de remplissage des retenues correspond à une période comprise entre les mois de décembre à avril. Sur l'ensemble de ces mois, les prélèvements sont maximums en mars et avril ; à titre de comparaison, ils équivalent aux 2/3 des volumes distribués pour l'alimentation en eau potable de la commune de Villard au mois de mars 2007, aux 4/5 de ces mêmes volumes au mois d'avril (figure 6.7).

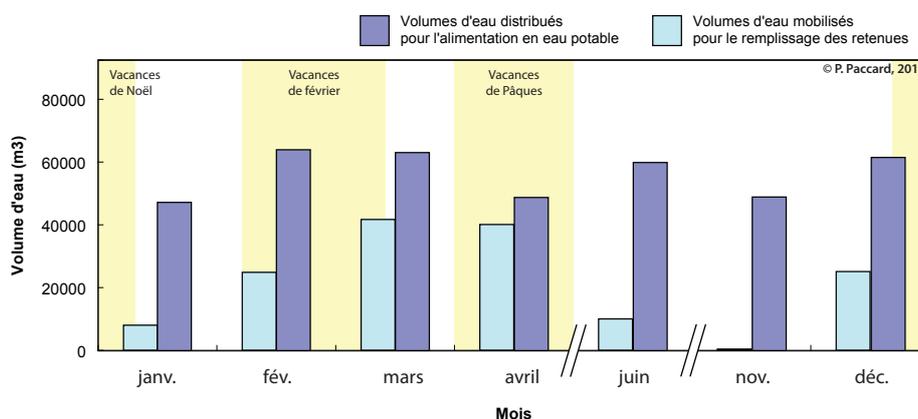
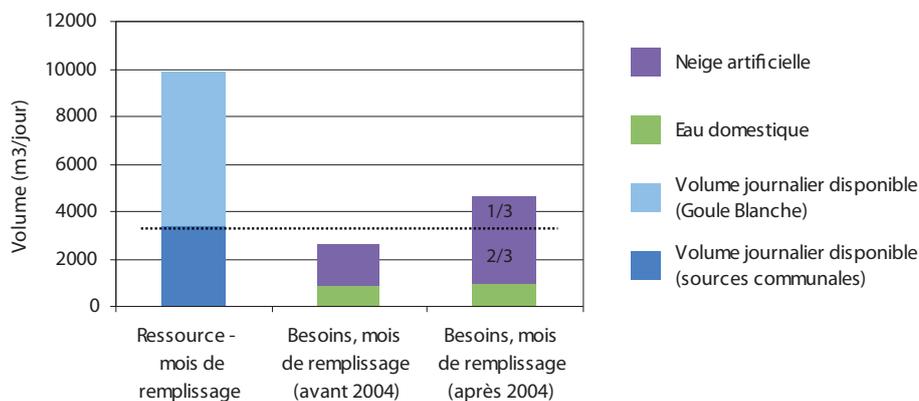


Figure 6.7 : Comparaison des volumes d'eau distribués pour l'alimentation en eau potable de la commune de Villard-de-Lans et des volumes d'eau mobilisés pour le remplissage des retenues d'altitude en 2007 (d'après les données transmises en 2009 par Veolia).

Un bilan « besoins / ressources », établi en 2006 par la SOGREAH pour les mois de remplissage des retenues a montré que les ressources disponibles à cette période de l'année sont apparemment excédentaires et permettent de subvenir à l'ensemble des besoins en eau pour la production de neige (figure 6.8). D'un côté, la ressource disponible a été évaluée à environ 10 000 m³/jour (selon une méthodologie propre à la SOGREAH) dont 3 300 m³/jour depuis les sources communales et 6 700 m³/jour depuis Goule Blanche (convention avec EDF). De l'autre côté, les besoins ont été estimés en 2006 à environ 4 500 m³/jour dont 3 800 m³/jour pour le remplissage des retenues et 700 m³/jour pour la distribution d'eau domestique.

Figure 6.8 : Bilan ressources / besoins pour la production de neige et la distribution d'eau domestique à Villard-de-Lans pour les mois de remplissage des retenues d'altitude..



« Note : l'année 2004 marque la création de la retenue de la Moucherolle »
(extrait de SOGREAH, 2006, p. 75)

Jusqu'à présent, les ressources disponibles sur la commune de Villard-de-Lans ont donc toujours été suffisamment abondantes pour garantir les usages d'alimentation en eau potable et de production de neige, en partie sur les bases des volumes convenus avec EDF. Néanmoins, dans l'hypothèse d'un étiage sévère et prolongé de Goule Blanche (des débits d'étiage de 50 l/s ont parfois été relevés) la satisfaction de l'ensemble des usages pourrait devenir problématique, en particulier dans la perspective de nouveaux projets d'aménagement.

3.1.3. Production de neige et eau potable à Corrençon-en-Vercors

Sur la commune de Corrençon-en-Vercors, le bilan « besoins / ressources » semble être moins favorable. Aujourd'hui, si aucune des pistes du domaine de la Moucherolle n'est équipée d'installations de production de neige, le petit secteur des Rambins, géré par la commune est quant à lui enneigable artificiellement grâce à 5 canons installés le long des pistes (photo 6.13). Ceux-ci sont branchés sur le réseau de distribution d'eau potable de la commune. A ces besoins en eau hivernaux, il faut ajouter les besoins estivaux d'irrigation du golf de la commune. Ainsi, le Schéma Directeur d'Alimentation en Eau Potable de Corrençon précise « *qu'une grande partie des besoins ne correspondent pas à de la consommation domestique sur Corrençon : l'alimentation des canons à neige peut représenter jusqu'à 50 % des besoins en période hivernale, et l'irrigation du golf jusqu'à 75% des besoins en période estivale, selon les années* » (Alp'études, 2009, p. 40)⁹. Malgré ces importants besoins, d'après le SDAEP, la disponibilité de l'eau est actuellement suffisante pour satisfaire ces différents usages ; ce n'est pas forcément le cas pour le scénario futur envisagé.

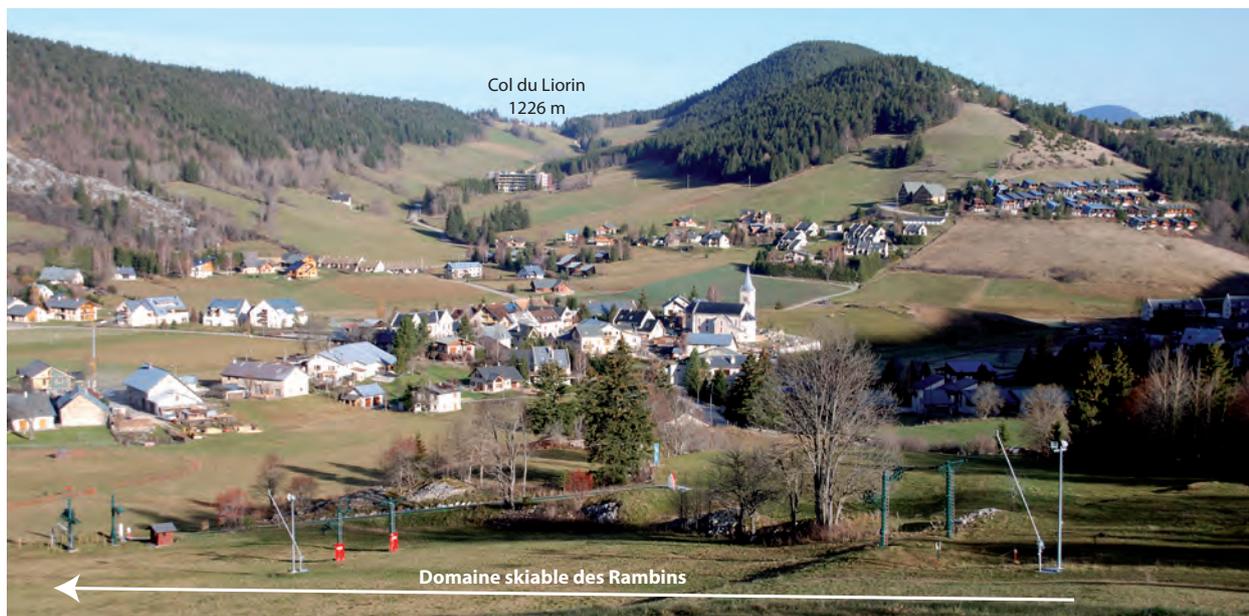


Photo 6.13 : Le village de Corrençon (arrière plan) et une des pistes du domaine des Rambins, équipée d'enneigeurs (premier plan) (cliché : P. Paccard, le 17/11/2009)

En considérant le projet de lits marchands nouveaux au Clos de la Balme (résidence de tourisme en projet, photo 6.14), le nombre d'abonnés au service de distribution d'eau potable passerait, sur ce secteur, de 700 à l'heure actuelle à 1000 à l'horizon 2025 (*idem*, p. 38). Le bilan « besoins / ressources » du Clos de la Balme, aujourd'hui excédentaire, se présente alors comme déficitaire en

⁹ Le document consulté, daté du mois de Juillet 2009, ne constitue qu'une partie du SDAEP (phase 1) de Corrençon-en-Vercors, en cours d'élaboration au moment de nos recherches. Les phases ultérieures de ce travail doivent confirmer ou infirmer les pistes évoquées dans la première partie du SDAEP.

situation future : 81 m³/jour de déficit en périodes de besoins de pointe et de ressources à l'étiage. Le reste de la commune, c'est-à-dire les habitations du village, est quant à lui toujours présenté en situation excédentaire dans le scénario envisagé.

Parmi les solutions avancées pour pallier le déficit pronostiqué du Clos de la Balme figure l'augmentation de la production des sources existantes ou l'interconnexion avec les entités distributrices d'eau voisines. La troisième solution envisagée est la création d'une nouvelle retenue d'eau, juste à proximité ou plus en amont du Clos de la Balme.

Interrogées sur ce point, la commune et l'exploitant du domaine skiable confirment leur intérêt pour cette dernière solution : elle permettrait à la commune de Corrençon de disposer d'une nouvelle ressource pour l'alimentation en eau des nouveaux lits projetés et à la SEVLC d'alimenter de nouveaux enneigeurs sur les pistes de Corrençon, si toutefois un tel projet devait se concrétiser. D'ailleurs, d'après G. Sauvageon, Maire de Corrençon, les prestataires intéressés par la gestion de la résidence en projet tiennent à l'équipement des pistes ; « *s'il n'y a pas de canons, on ne fait pas la résidence ! C'est une exigence du gestionnaire* », nous a-t-il confié. Une troisième retenue et de nouveaux enneigeurs pourraient ainsi, peut-être, voir le jour sur le domaine skiable de la Moucherolle.



Photo 6.14 : Le site du Clos de la Balme (1220 m) (cliché : P. Paccard, le 17/11/2009).
Un projet de résidence de tourisme est actuellement à l'étude au Clos de la Balme.

3.2. Impact quantitatif : des régimes hydrologiques influencés ?

Le deuxième impact quantitatif de la production de neige sur les hydrosystèmes est son influence possible sur le régime des écoulements aval (de Goule Blanche et de la Bourne en l'occurrence). Les besoins en eau surviennent effectivement au moment des étiages hivernaux, au moment où l'eau est peu disponible dans l'espace montagnard. Cette eau est alors transformée en neige pour être restituée dans sa plus grande partie au milieu naturel à la fonte des neiges, soit au printemps au moment où les débits des cours d'eau de montagne sont déjà maximums. La production de neige peut être d'un côté un facteur de stress hydrique supplémentaire en hiver et de l'autre, un facteur aggravant de crues au printemps. A ce sujet, l'association de pêche et de protection des milieux aquatiques locale s'était prononcée contre le projet de la retenue de la Moucherolle en 2001,

en envoyant une lettre au commissaire chargé de l'enquête publique dénonçant des pompages excessifs pour « *des étiages jugés dramatiques de la Bourne* » (cité in Daugas-Marzouk, 2009, p. 31). En termes de protection des milieux aquatiques, on comprend bien que toute modification du régime des écoulements influence la nature même des habitats existant en rivière et, donc, des espèces y résidant.

En fait, il est possible de **comparer les volumes prélevés pour le remplissage des retenues aux écoulements moyens mensuels de Goule Blanche** de 1934, 1935 et 1936 (figure 6.9), d'après les débits mensuels moyens relevés par A. Bourgin en 1941 (certes anciennes, ces données sont à notre connaissance les seules disponibles permettant de reconstituer le régime hydrologique de Goule Blanche).

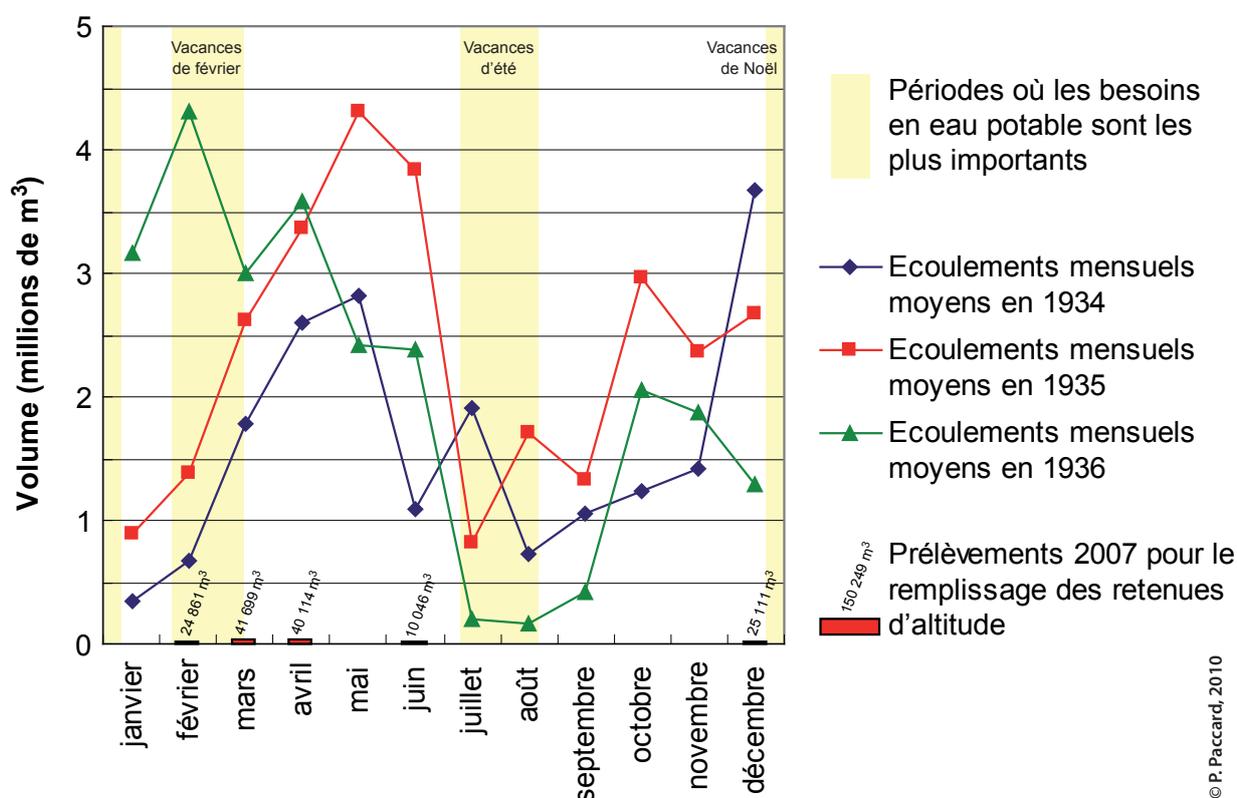


Figure 6.9 : Écoulements mensuels moyens de Goule Blanche en 1934, 1935 et 1936 (d'après Bourgin, 1941, p. 73) et volumes prélevés pour le remplissage des retenues de Villard-de-Lans en 2007 (données transmises en 2009 par Veolia). Par rapport aux débits de Goule Blanche, drainant les écoulements d'un bassin de 74 km², les prélèvements pour le remplissage des retenues de Villard sont marginaux.

En réalité, les volumes prélevés, au regard de l'ensemble des écoulements du bassin versant (74 km²), semblent être marginaux pour être significatifs dans l'influence des régimes hydrologiques. La réponse à cette question ne saurait cependant être complète sans l'instrumentation d'un bassin versant pour mesurer précisément l'influence de la production de neige sur les écoulements, dans la mesure d'un état initial connu.

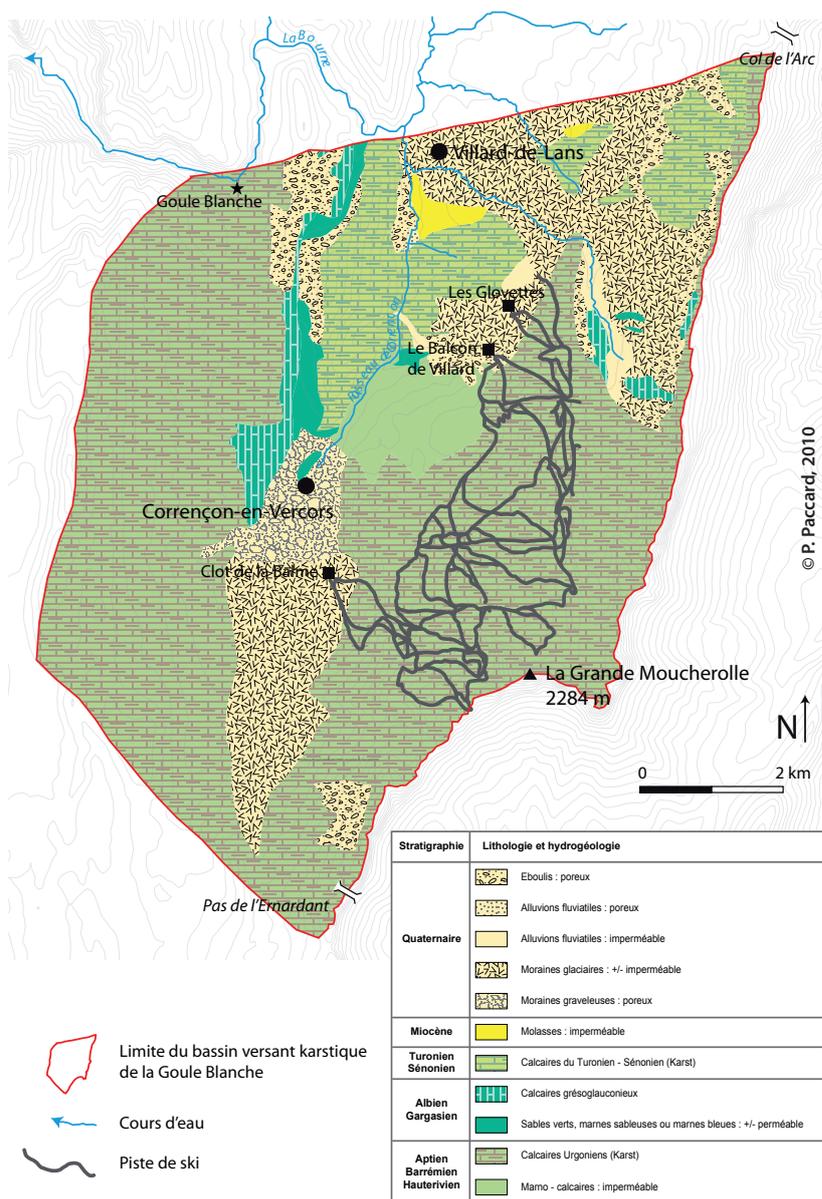
En règle générale, les retenues d'altitude permettent de décaler le moment des prélèvements pour la production de neige lorsque celles-ci sont remplies au printemps (Marnézy et Rampoux, 2006). L'eau est alors stockée jusqu'à l'hiver pour être ensuite transformée en neige. A Villard - Corrençon, les retenues n'ont pas été exploitées de cette façon en 2007. Celles-ci ont été remplies

(depuis le réseau d'eau potable communal) du mois de décembre au mois d'avril, avec des prélèvements maximums aux mois de mars et avril. Ces prélèvements constituent une pression anthropique supplémentaire pour les ressources en eau mais qu'il convient d'apprécier par rapport aux écoulements moyens de Goule Blanche. La figure 6.9 nous montre qu'ils sont marginaux à l'échelle du bassin étudié.

3.3. Impact qualitatif : des risques de pollution ?

3.3.1. Un aquifère karstique vulnérable...

D'un point de vue théorique, la production de neige peut influencer la qualité des ressources en eau et des milieux aquatiques en tant que source ou agent de transfert de pollution. En termes d'évaluation des risques de pollution par la production de neige à Villard - Corrençon, plusieurs éléments sont à prendre en considération. **En premier lieu, l'ensemble des pistes de ski du domaine de Villard - Corrençon, qu'elles soient équipées d'installations d'enneigement ou pas, est entièrement situé sur le karst développé sur les assises urgoniennes** (carte 6.6). Une éventuelle pollution, induite par les installations d'enneigement (une fuite d'huile par exemple), se retrouverait ainsi transférée sans filtration naturelle à l'émergence de Goule Blanche. Un traçage réalisé en 1964 a montré un temps de transfert rapide, de 13 heures, entre la partie supérieure du bassin d'alimentation karstique (grotte des Deux Sœurs) et Goule Blanche (donnée issue de la base de données sur les circulations souterraines en milieu karstique, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, Fédération Française de Spéléologie et Burgeap). Le périmètre de protection éloigné de l'émergence de Goule Blanche s'étend d'ailleurs sur la majeure partie de son bassin d'alimentation.



Carte 6.6 : Carte lithologique et hydrogéologique du bassin d'alimentation karstique de Goule Blanche (d'après SOGREAH, 2006, modifié). Les pistes de ski sont toutes situées sur le karst des assises urgoniennes

3.3.2. ... mais quels aléas polluants ?

Par ailleurs, si la vulnérabilité des ressources en eau karstiques, d'ores et déjà exploitées, est grande, comme nous venons de le voir, les aléas polluants en matière de production de neige semblent relativement limités à Villard - Corrençon. Le procédé haute-pression de fabrication de neige employé à Villard - Corrençon nécessite l'emploi d'huile pour la lubrification des compresseurs. Mais d'après l'étude d'impacts réalisée dans le cadre du projet d'aménagement de la retenue de la Moucherolle, les taux d'hydrocarbures estimés dans la neige produite sont suffisamment faibles pour ne pas impacter la qualité de l'eau de fonte (CEDRAT développement, 2001, p. 95). En la matière, les travaux du CEMAGREF réalisés sur d'autres sites ont montré qu'effectivement, ces quantités peuvent paraître faibles par rapport à d'autres formes de pollution (par exemple une fuite d'hydrocarbures sur les engins de damage) : « *nous insisterons surtout sur le fait que nous avons trouvé des taux importants d'hydrocarbures sur toutes les pistes, enneigées ou non artificiellement. Si cela minimise l'impact de l'enneigement artificiel en la matière du fait de la pollution déjà importante, il nous semble primordial de soulever ici la question de la pollution par les engins de damage* » (Dinger et Dubost, *op. cit.*, 1995, p. 40).

Enfin, aucun adjuvant cryogène mélangé à l'eau n'est ici utilisé pour produire de la neige¹⁰. De plus, l'eau prélevée pour la production de neige à Villard - Corrençon est de qualité potable avant d'être stockée dans les retenues d'altitude. Cette eau est effectivement traitée aux ultraviolets puis au chlore pour être d'abord distribuée sur le réseau d'eau potable de la commune avant d'être utilisée pour la production de neige. Les quantités de chlore utilisées seraient trop faibles pour être préjudiciables aux écosystèmes et à l'empoisonnement de la retenue du Pré (pratique de la pêche à la mouche). A l'heure actuelle, il semble néanmoins qu'aucun travail n'ait été conduit sur le long terme pour étayer cette question du chlore.

Les opérateurs de domaines skiables, dont la SEVLC, se sont néanmoins saisis récemment de la question de la qualité de l'eau utilisée pour l'enneigement. Des travaux sont en cours. Ils portent également sur l'évolution qualitative de l'eau stockée dans les retenues d'altitude.

3.4. Un impact indirect : l'aménagement du karst

Les projets d'équipement d'une piste en neige de production sont très souvent couplés à des opérations de terrassement, destinées à améliorer la qualité du support sur lequel la neige sera produite. D'après la section locale du Syndicat National des Téléphériques de France de la Haute-Savoie, « *les travaux de pistes prévus pour accompagner un projet de neige de culture permettent de préparer un support qui nécessite une épaisseur de neige limitée pour être skié, de conserver de façon optimale la neige notamment en jouant sur le profil de la piste et sur les dévers, d'optimiser les opérations de damage et d'entretien des pistes, d'améliorer la circulation des skieurs sur le domaine skiable* » (Syndicat National des Téléphériques de France 74 et Direction Départementale de l'Équipement 74, 2008, p. 20).

Le profilage des pistes, destiné à optimiser le travail de la neige, est dommageable, sur Villard - Corrençon, aux modelés karstiques de surface d'intérêt particulier et, vraisemblablement, à l'un des plus beaux lapiés du Vercors. Il est à noter qu'il ne s'agit pas ici d'une pratique exclusive aux pistes équipées d'installations d'enneigement mais, plus généralement, à de nombreuses pistes du domaine skiable (photo 6.15) ; ces dommages sont en partie antérieurs à la production de neige.

¹⁰

Nous rappelons qu'il en est de même pour l'ensemble des exploitants de domaine skiable français, qui se sont engagés à proscrire cette pratique dans les procédés de production de neige

Si la question de la destruction d'un paysage aux valeurs patrimoniales se pose (Duval, 2007, p. 40 ; Tschertter et Cantalupi, 2007, p. 4), les enjeux sur la protection de la ressource en eau sont également prégnants. En terrassant la zone épikarstique de l'aquifère karstique, des formes pouvant potentiellement participer au soutien des étiages en conservant la neige plus tardivement risquent d'être détruites (lapiés, combes à neige, névés souterrains...). Le régime des cours d'eau situés à l'aval peut s'en trouver ainsi influencé. Ces conséquences sont là encore difficilement quantifiables sans mesures hydrologiques rigoureuses. Toutefois, en 1997, le groupe spéléologique des Coulmes Saint-Marcellin concluait leur propos sur cette question de la façon suivante : « *en considérant l'éradication de dix névés souterrains, soit schématiquement dix milliers de mètres cube de neige-glace, la perte de débit moyen est de l'ordre d'un litre/seconde* » (Groupe Spéléologique des Coulmes St-Marcellin, 1997). Nous n'avons pas été capables de vérifier ce chiffre.



Photo 6.15 : Un exemple de piste terrassée dans les lapiés du karst de Villard - Corrençon

Entre exploitation des ressources en eau karstiques d'une part et impacts possibles d'autre part, la production de neige semble être finalement, une fois encore, un prisme de lecture intéressant dans l'exploration des relations entre un territoire touristique et les ressources en eau dont il dispose.

CONCLUSION DU CHAPITRE 6

En l'espace d'une vingtaine d'années, les installations d'enneigement se sont largement développées à Villard - Corrençon. Elles sont un outil d'importance dans la gestion du domaine skiable et l'entretien des pistes. La production de neige correspond à la volonté de pérenniser une activité économique centrée sur les sports d'hiver, par rapport à la variabilité interannuelle des précipitations neigeuses. Si cette variabilité peut être définie comme une caractéristique structurelle du massif du Vercors, liée à sa condition de massif de moyenne montagne, elle pourrait être exacerbée par les effets du réchauffement des températures constaté depuis au moins 30 ans (remontée de la limite pluie neige en altitude). Ces hypothèses, s'il faut nécessairement les travailler davantage, posent néanmoins la question de la durabilité de la stratégie d'enneigement artificiel, largement employée dans la gestion du domaine skiable.

Aujourd'hui, le système mis en place pour la répartition des ressources en eau destinées à l'enneigement implique en cascade au moins cinq acteurs principaux, pour trois usages de l'eau différents : hydroélectricité pour EDF d'abord, puis eau potable pour les communes de Corrençon-en-Vercors, de Villard-de-Lans et son délégataire Veolia, et enfin production de neige pour la Société d'Équipement de Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors. Dans les échanges entretenus entre ces différentes parties, hormis sur la question du gel de l'aménagement du domaine skiable côté Corrençon, il n'y a vraisemblablement pas d'obstacle à la pratique de l'enneigement des pistes de ski.

Dans ce débat, nous n'avons pas explicité la position du Parc Naturel Régional du Vercors¹¹, faute d'éléments d'investigation suffisants. A 12 ans d'intervalle, on peut néanmoins relever deux éléments, plutôt contradictoires, à ce sujet. En conclusion d'un article de synthèse sur les potentialités thermiques de l'enneigement artificiel appliquées au massif du Vercors, J. Mainguy (*op. cit.*) explique en 1990 qu'« *En montrant son intérêt pour des projets d'enneigement artificiel, le Parc naturel régional du Vercors n'a fait preuve de militantisme ni pour ni contre ceux-ci, mais a donné aux responsables des stations de sports d'hiver du plateau des Quatre Montagnes, les moyens d'introduire des données objectives dans leur politique d'investissement* » (Mainguy, 1990, p. 28). A l'époque, le Parc s'était effectivement investi dans le programme de recherche sur la question, commandé par le SEATM au département « Environnement climatique » du CNRS (domaine universitaire de Grenoble). En 2002, à l'aune du projet de retenue de la Moucherolle, sollicité pour avis par le préfet, le bureau du Parc émettait des réserves à la réalisation de celui-ci : insuffisance de l'étude d'impacts, de l'étude économique et absence d'approche globale des projets successifs. En outre, sa commission « biodiversité » se prononçait franchement contre le projet, pour des motifs environnementaux (Gosa, 2002).

Dans le système d'alimentation en eau des installations d'enneigement, l'émergence karstique de Goule Blanche est l'élément central, puisque sollicitée en période de remplissage des retenues d'altitude, outil d'importance pour la gestion de la production de neige sur le domaine skiable. Ces ouvrages permettent à l'exploitant de disposer dès qu'une période de froid se présente de grands volumes d'eau pour la production de neige. Exploitées en partie pour l'enneigement, les ressources en eau du karst de Villard - Corrençon peuvent en retour être théoriquement impactées, de façon relative et difficilement quantifiable, par la production de neige.

¹¹ Un entretien a tout de même été réalisé auprès de G. Bournet, chargé de mission eau et milieux aquatiques du PNR du Vercors, le 05 février 2009.

Des projets sont encore à l'étude, en particulier sur le secteur du domaine skiable situé sur la commune de Corrençon. Pour répondre à la satisfaction de cette pratique, des quantités d'eau de plus en plus importantes doivent être mobilisées. Dans le cadre de son enquête annuelle sur les installations d'enneigement des stations françaises, 70 000 m³ ont été déclarés à ODIT France pour la saison 1996/1997, 200 000 m³ pour la saison 2005/2006.

Mais jusqu'alors, compte tenu de la disponibilité de la ressource, **aucun conflit quantitatif ne semble s'être manifesté entre les différents usages de l'eau**, en particulier entre l'alimentation en eau potable communale et la production de neige, pourtant intimement mêlées. Cette disponibilité, qui satisfait les besoins d'enneigement, est certainement liée aux conditions d'aménagement de la station : le domaine skiable de Villard - Corrençon s'est greffé sur les villages existants, implantés en fonction de considérations autres que le ski, dont la disponibilité de l'eau. Dans ce contexte, la gestion proprement dite de l'eau (locale, empirique et non-institutionnalisée) semble aujourd'hui suffisante tant elle satisfait l'ensemble des usages. Seul le projet d'urbanisme du Clos de la Balme n'est aujourd'hui pas assuré de son alimentation en eau future ; des solutions à l'étude pourraient également convenir au développement d'installations d'enneigement sur les pistes du domaine de la Moucherolle desservant Corrençon

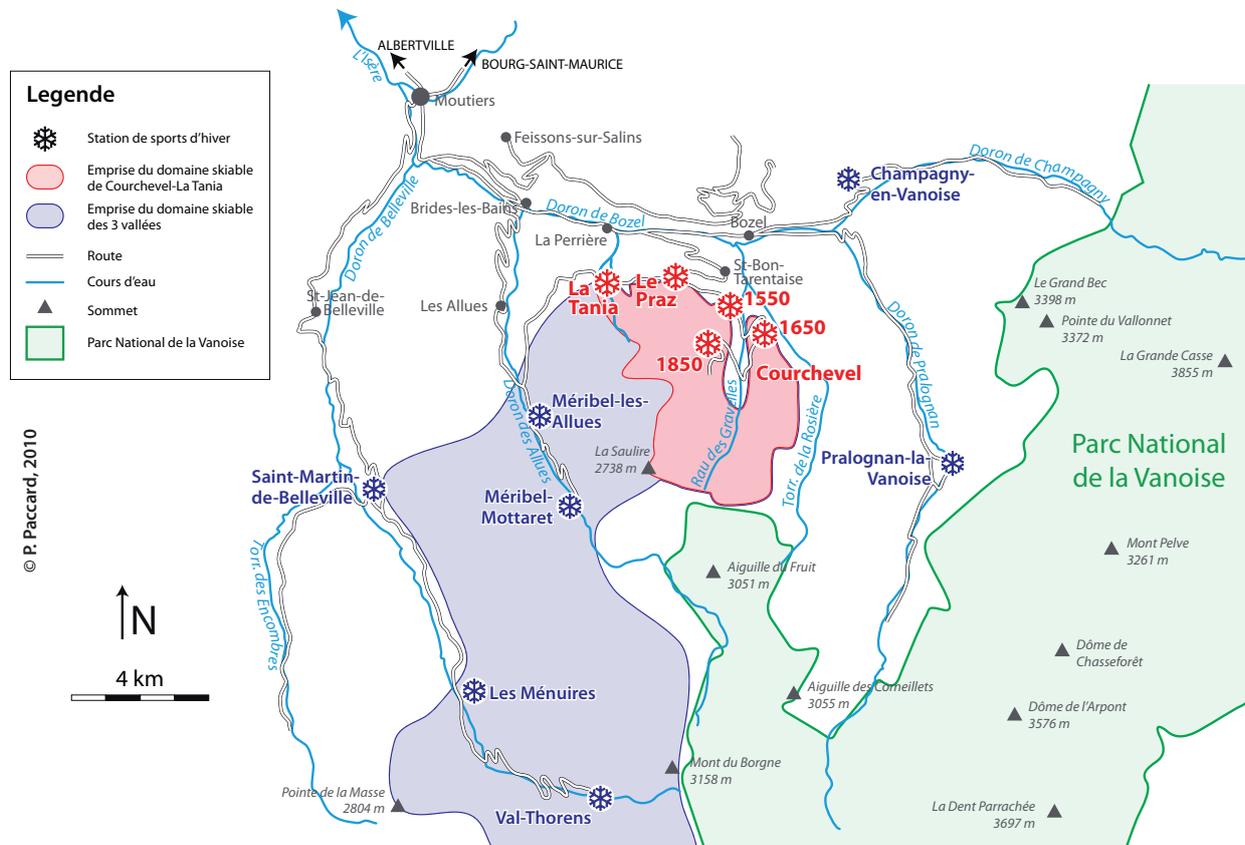
Il reste cependant nécessaire de veiller à la bonne gouvernance de la ressource pour prévenir tout conflit en cas de pénurie. En la matière, l'initiative proposée par la Commission Locale de l'Eau du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux du Drac et de la Romanche est intéressante et actuellement en cours de réalisation sur le territoire de Villard – Corrençon : nous rappelons qu'il s'agit d'élaborer un schéma de conciliation de la neige de culture avec les autres usages de l'eau et les milieux aquatiques (CLE Drac Romanche, 2008).

De la gestion durable des ressources en eau à la gestion durable du territoire, il n'y a qu'un pas à franchir. La production de neige est ici un élément à considérer dans la gestion de l'eau de ce bassin versant de montagne, au même titre que les autres usages de l'eau (comme par exemple, l'irrigation du golf de Corrençon, l'alimentation en eau potable des deux communes, etc.). Elle l'est également du point de vue de l'aménagement du territoire : quelle est la durabilité du modèle de développement touristique de moyenne montagne ici proposé, auquel participe la production de neige, dans la perspective du changement climatique ?

CHAPITRE 7 - COURCHEVEL - LA TANIA : LA « HOUILLE BLANCHE » EN APPUI DE L' « OR BLANC »

M. Jaulmes conclut son « *Histoire de Courchevel* » par les mots suivants : « *C'est une des plus belles stations de sports d'hiver du monde et sa renommée est universelle, aussi les savoyards espèrent qu'elle recevra partiellement les Jeux Olympiques d'hiver en 1992, car elle en est digne. Le Conseil Général de la Savoie et le Sénateur De la Gontrie ont gagné leur pari du 26 novembre 1945, au-delà de tout ce qu'ils osaient espérer* » (Jaulmes, 1985, p.10). A cette date, effectivement, la 3^{ème} commission du Conseil Général de la Savoie, sous la Présidence de P. de La Gontrie, adopte à l'unanimité le principe de création d'une station départementale. Elle le sera « de toute pièce » et, dite première de la seconde génération de stations, elle « *sera la première pierre d'une politique qui sera portée et diffusée par le plan neige* » (François et Marcelpoil, 2010, p. 152). Et Courchevel recevra une partie des épreuves des Jeux Olympiques d'Albertville : saut à ski et combiné nordique.

Aujourd'hui de réputation internationale, son domaine skiable, rejoint par les pistes de La Tania, se raccroche à celui des 3 vallées (carte 7.1). A en croire son slogan publicitaire, le domaine skiable relié des 3 Vallées est le plus grand du monde : 330 pistes pour 600 km de ski, de 1300 à 3230 mètres d'altitude (Pointe du Bouchet). Et 2000 enneigeurs.



Carte 7.1 : Localisation du domaine skiable de Courchevel - La Tania. Relié aux pistes des stations de Méribel-les-Allues, Méribel-Mottaret, Saint-Martin-de-Belleville, les Ménuires et Val-Thorens, il est une partie du domaine skiable des 3 Vallées.

Les cours d'eau principaux de Courchevel sont, d'Ouest en Est : le ruisseau des Verdon depuis le flanc Nord-Est de la Croix du Verdon, le ruisseau des Gravelles depuis les pentes Est de la Saulire et le torrent de la Rosière depuis le versant Nord de l'Aiguille de Chamrossa.

Les écoulements sur le secteur de La Tania correspondent principalement aux ruisseaux de Praz-Juget, du Nant de la Caille, puis de Closettaz, s'écoulant sur le versant nord du Rocher de la Loze jusqu'à leur confluence avec le Doron de Bozel, en amont de La Perrière.

Superposé à ce réseau hydrographique, **le dispositif d'enneigement artificiel de Courchevel - La Tania figure certainement parmi les plus grandes installations alpines existantes** : plus de 500 enneigeurs se répartissent sur les pistes du domaine. En fait, il est à la mesure de l'importance de la Société des 3 Vallées, l'opérateur du domaine skiable relié de Courchevel - La Tania - Méribel-Mottaret, dont trois chiffres seulement permettent d'en cerner les dimensions (données *in* Montagne Leader, 2009, p. 49) : pour la saison 2008/2009, 2 millions de journées skieurs, 145 emplois permanents (489 emplois saisonniers) et 55 millions de chiffre d'affaires. La Société des 3 Vallées représente le troisième chiffre d'affaires de l'ensemble des opérateurs français de domaines skiables.

L'installation d'enneigement de Courchevel est un système complexe où de nombreux transferts d'eau sont possibles entre les diverses installations, afin de satisfaire les besoins d'enneigement des différents secteurs du domaine skiable. Tous sont donc gérés par un exploitant unique, la Société des 3 Vallées (S3V). Déployée depuis les années 80 comme l'un des moyens de garantir la neige ou d'améliorer la qualité du ski sur les pistes du domaine, la production de neige est aujourd'hui devenue un enjeu stratégique dans l'exploitation de celui-ci.

Nous reviendrons dans un premier temps sur l'historique du développement des infrastructures dédiées à l'enneigement des pistes de ski, ce qui nous permettra de présenter dans le détail l'ensemble du dispositif d'alimentation en eau.

Un deuxième temps sera consacré à la retenue de l'Ariondaz, ouvrage majeur, récent et particulier, puisqu'il subvient à la fois à la production de neige du domaine et à l'alimentation en eau de la station. Nous nous attarderons sur les implications de cet ouvrage du point de vue de l'eau et sur les avantages qu'il présente pour l'opérateur du domaine.

Pour fournir de l'eau à l'installation d'enneigement de Courchevel, un barrage hydroélectrique est depuis quelque temps mis à contribution : le maillage hydroélectrique coïncidait avec la localisation géographique de la station et un dispositif de prélèvement a ainsi pu être mis en place. La vocation première des barrages étant la production d'électricité, des arrangements ont dû être trouvés pour satisfaire ce nouvel usage de l'eau. L'analyse de cette particularité constituera le troisième temps de notre propos.

Facteur d'influence externe sur le système en place spécialisé sur la neige, nous proposerons dans un dernier temps quelques réflexions sur les manifestations climatiques locales du changement climatique à Courchevel - La Tania. Nous essaierons d'appliquer, de façon prospective et sous la forme d'hypothèses, les conséquences possibles de ce changement sur la ressource neige.

En s'appuyant sur des réalités locales, nous montrerons ainsi les enjeux liés au partage de la ressource en eau sur deux communes de montagne dont l'une est à la fois support d'une station de sports d'hiver de réputation internationale et d'une usine de production d'hydroélectricité.

1. HISTORIQUE DE L'ENNEIGEMENT ARTIFICIEL SUR LE DOMAINE SKIABLE DE COURCHEVEL - LA TANIA

1.1. Du Service Public des Trois Vallées à la Société des 3 Vallées (1946 – 2000).

1.1.1. Le regroupement des différents exploitants du domaine par la SEM des 3 Vallées

Depuis 1946, date à laquelle le département de la Savoie achète des terrains en altitude à la commune de Saint-Bon-Tarentaise, et jusqu'en 2000, deux principaux exploitants se sont partagé l'exploitation du domaine skiable de Courchevel. Il s'agit de la Société des Téléskis de Moriond (STM) pour la gestion de l'ensemble du domaine de Courchevel 1650 d'une part, et de l'autre le Service Public des Trois Vallées (SPTV), régie du département de la Savoie.

Les reprises successives des concessions d'autres petits exploitants par le Service Public des Trois Vallées ont en effet conduit celui-ci à devenir, à la fin des années 1990, le gestionnaire unique des remontées mécaniques et des pistes des stations de Courchevel 1850, 1550, du Praz et de La Tania (depuis la création de la station en 1990 sur la commune de la Perrière). On peut notamment citer :

- la Société des Téléskis du Bouc Blanc, sur la commune de la Perrière, dirigée par L. Boix-Vive et reprise dans les années 1970 ;
- la Société des Téléskis de Pralong à Courchevel 1850, dirigée par J. Blanc et reprise en 1987 ;
- la SERM à Courchevel 1550, dirigée par A. Obert et reprise en 1998.

En 2000, la Société des 3 Vallées (S3V), sous la forme d'une Société d'Economie Mixte (SEM), se substitue à la régie départementale SPTV pour l'aménagement et l'exploitation des remontées mécaniques et des pistes de ski de Courchevel. L'année 2003 marque la fusion-absorption de la Société des Téléskis de Moriond par la Société des 3 Vallées. **La Société des 3 Vallées devient ainsi le seul délégataire du service public des remontées mécaniques** et du domaine skiable de Courchevel pour le département de la Savoie, les communes de Saint-Bon-Tarentaise et de la Perrière (domaine skiable de La Tania).

1.1.2. Un maillage progressif des réseaux de production de neige

Cet historique de l'aménagement de la station explique l'existence de réseaux d'enneigement séparés jusqu'en 1990 entre le domaine de Moriond (aujourd'hui Courchevel 1650) d'une part, et les domaines de Courchevel 1850, 1550 et du Praz d'autre part. Chaque exploitant développa en effet son propre réseau d'enneigement sur son domaine skiable, indépendamment des autres domaines. Les travaux réalisés en 1991 furent néanmoins conjointement planifiés entre la Société des Téléskis de Moriond et le Service Public des Trois Vallées : la salle des machines de Praméruel, destinée à alimenter le réseau de production de neige du domaine de Moriond, fut également conçue pour alimenter de futures extensions de réseaux vers la piste des Creux, à la limite entre les deux concessions. De plus, l'extension du réseau du Service Public des Trois Vallées par la piste de Praméruel a rapidement permis des échanges d'eau entre les deux exploitants. Les pistes de La Tania attendront par ailleurs jusqu'en 2000 avant d'être équipées d'une installation d'enneigement artificiel. Finalement, entre les débuts de la production de neige à Courchevel (1983, carte 7.3, p. 306) et aujourd'hui (carte 7.4), les installations de production de neige se sont largement développées sur le domaine skiable, vers l'amont (sommet du domaine) comme vers l'aval (Courchevel 1550, Le Praz...).

1.2 - Le premier réseau de Courchevel 1850 et la retenue du Biolley (1983)

1.2.1. La piste des Verdons : premières productions

C'est en 1983 que Courchevel 1850 s'équipe de sa première installation d'enneigement. Celle-ci est alimentée en eau depuis la retenue d'altitude du Biolley, d'une capacité utile de 50 000 m³ et dont les travaux avaient vraisemblablement débuté dès 1976. Un premier réseau est installé sur le secteur des Verdons (36 canons bi-fluides pour 64 abris), du pied de la Combe Saulire jusqu'au pied des pistes de Courchevel 1850 (photo 7.2 et 7.3, 7.4, *infra*, p. 308). A l'époque, les travaux entrepris, de plus de 10 millions de francs, ont été financés à hauteur de 60% par le Conseil Général de la Savoie et de 40% par la commune de Saint-Bon-Tarentaise. Cette installation, l'une des premières en France, questionne déjà quant à sa pertinence... L'hiver suivant (1983-1984) donnera cependant raison à cet aménagement : peu de neige sur l'ensemble de la station, excepté sur la piste des Verdons puisqu'enneigée artificiellement¹ !

Les motivations qui ont conduit à la réalisation de cette installation sont expliquées dans un article d'H. Pelletier qui a couvert son inauguration (Pelletier, 1984). Il rapporte les propos de J.-P. Pecchio, à l'époque directeur d'exploitation de la station :

« Pourquoi une telle installation à Courchevel qui semble bénéficier d'un climat la mettant à l'abri d'un manque total de neige ? Jusqu'à présent, les stations qui ont investi dans ce type d'installation l'ont fait principalement pour se préserver d'une possible carence de la nature. C'est le cas de Auron après la saison catastrophique de 1980-81, ou pour assurer le retour sur la station en enneigeant la partie basse du domaine skiable, comme à Villard-de-Lans. L'installation permettra, bien sûr, d'enneiger des pistes délicates et d'accroître ainsi la rentabilité des remontées mécaniques, mais surtout « d'avancer de manière systématique le début de saison, par l'ouverture de la Saulire, des Verdons, du secteur de la Loze, dès la seconde quinzaine de novembre, jusqu'au centre de Courchevel 1850 », affirme Jean-Pierre Pecchio, directeur d'exploitation » (p. 12).

En fait, à partir de cette première installation, de nombreuses extensions de réseaux (vers Courchevel 1550 et Le Praz) permettront désormais de garantir l'ouverture et la fermeture du domaine skiable à date fixe, soit du premier week-end de décembre (et non dès la seconde quinzaine de novembre) au dernier week-end d'avril. Déjà, *« En 1985, [l'installation d'enneigement] a fonctionné 730 h pour produire 160 000 m³ de neige sur 40 hectares à l'aide de 140 canons »* (Aménagement et Montagne, 1987, p. 35).

¹ Entretien du 17/02/2009 avec L. Fillion, Directeur de Moutain Resort Consulting (ancien Directeur de l'exploitation de la Société des 3 Vallées), service de la S3V, dans les locaux de la S3V à Chambéry.

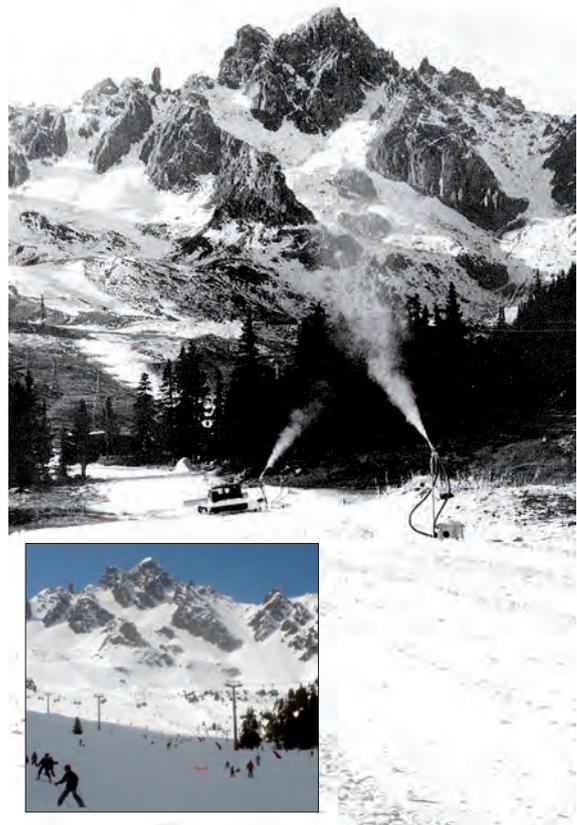
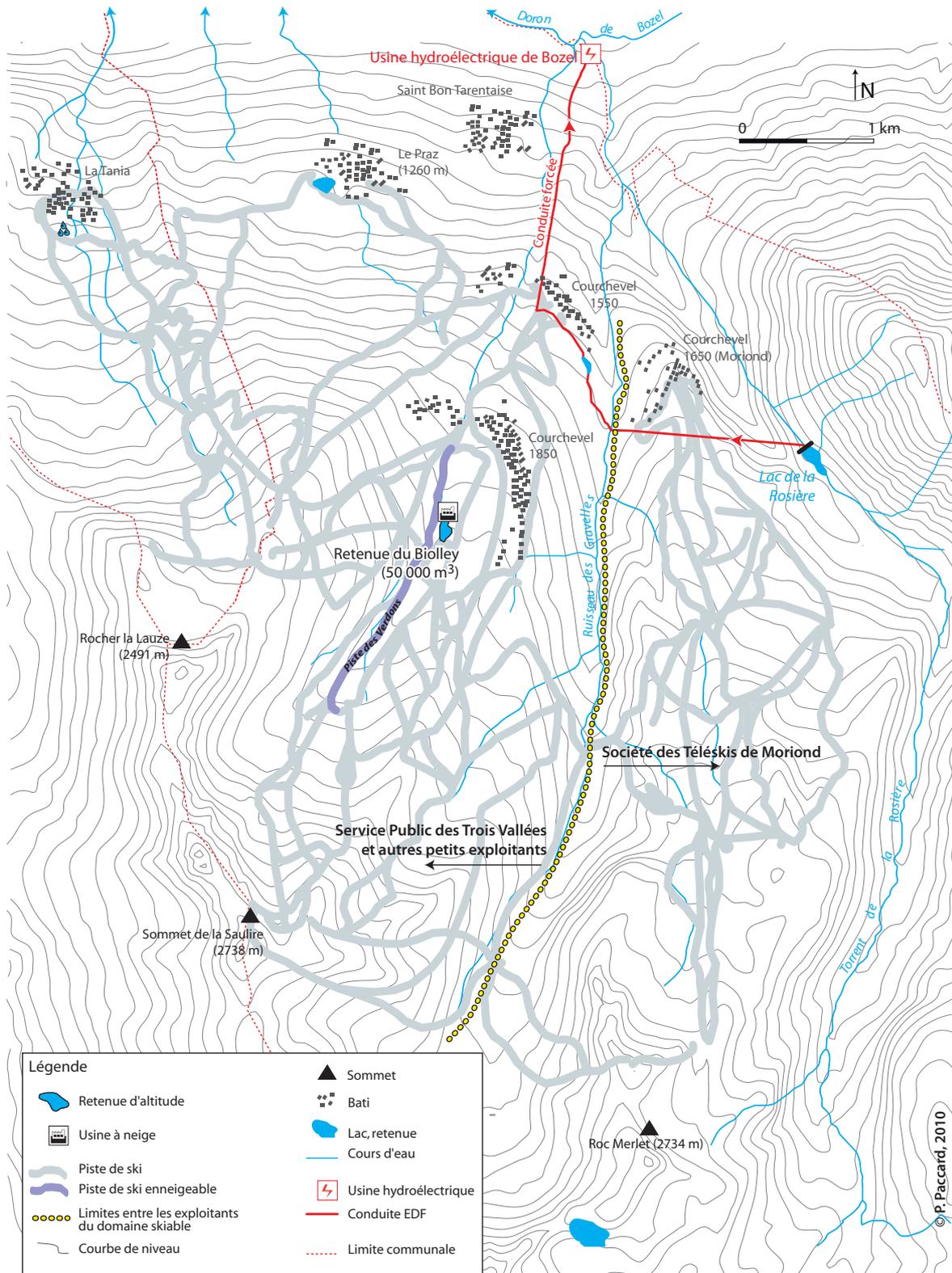
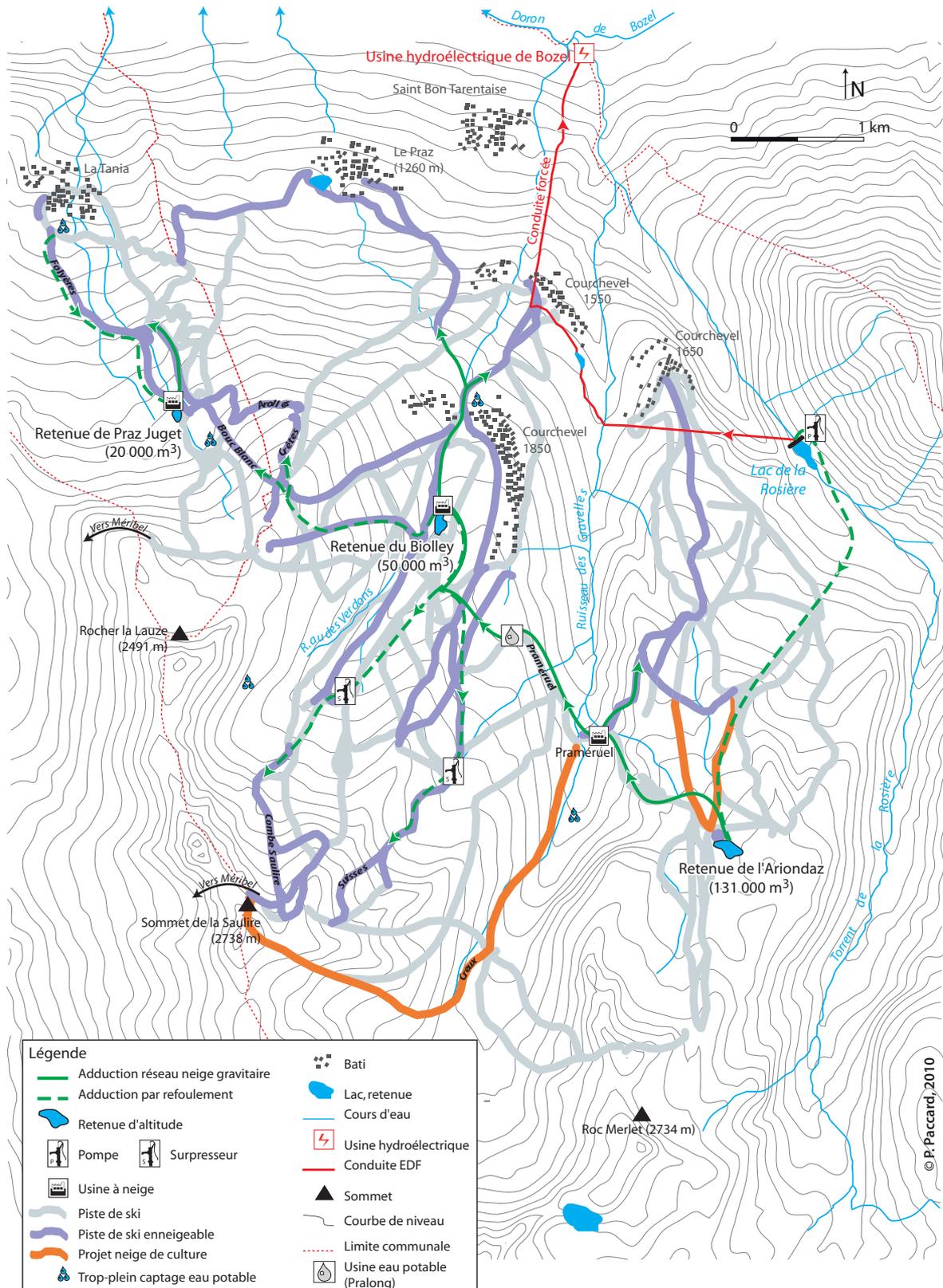


Photo 7.2 : La piste des Verdons, le 19 novembre 1983 (cliché : H. Pelletier, 1983 in Pelletier, 1983, p. 14). En médaillon (en bas à gauche), une nouvelle génération d'enneigeurs couvre désormais ce secteur (cliché : P. Paccard, le 03/04/2009). En arrière plan, sur les deux clichés, le sommet de la Croix de Verdon (2739 m)



Carte 7.3 : Les pistes équipées d'installations d'enneigement à Courchevel en 1983. *Avertissement : le dessin des pistes et des stations correspond à la situation actuelle. A titre d'exemple, la station de La Tania ne fut inaugurée qu'en 1990.*



Carte 7.4 : Les pistes équipées d'installations d'enneigement à Courchevel - La Tania en 2009, les projets d'équipement et le dispositif d'alimentation en eau du réseau d'enneigement. *Remarque : tous les noms de lieu utilisés infra figurent sur cette carte ; nous renvoyons à la lecture de celle-ci pour l'ensemble des éléments toponymiques qui suivront.*



Photo 7.3 : La piste des Verdons enneigée artificiellement en 1983 (cliché : H. Pelletier, novembre (?) 1983 in Pelletier, 1983, p. 13). « Courchevel, après une centaine d’heures de fonctionnement » explique le commentaire de cette photographie dans l’article qui l’accompagne.



Photo 7.4 : Le pupitre de commande de la première installation d’enneigement de Courchevel (cliché : H. Pelletier, 1983 in Pelletier, 1983, p. 15). En médaillon (en haut à gauche), le contrôle des installations se fait désormais grâce à un ordinateur classique (cliché : P. Paccard, le 29/09/2009).

1.2.2. La retenue du Biolley : première alimentation du réseau d'enneigement

La retenue du Biolley (ou lac du Biolley, 1 860 m d'altitude) est principalement alimentée en eau par une dérivation du ruisseau des Verdons (photo 7.5). Ce ruisseau bénéficie lui-même de trop-pleins de captages pour l'alimentation en eau potable se déversant dans son lit (il s'agit de la série de captages des Verdons située à 2 040 m d'altitude). Une deuxième source d'alimentation du lac du Biolley est le captage de la Douna (1 770 m d'altitude), dont l'eau non utilisée pour la distribution d'eau potable est remontée par pompage vers la retenue. Depuis le milieu des années 1990, 20 000 m³ sur les 50 000 m³ totaux de la retenue sont consignés par la commune pour un soutien à la distribution publique d'eau potable. Un local et une pompe ont donc été installés à cet effet à proximité du lac. Aujourd'hui, le lac du Biolley peut également être rempli grâce à une autre retenue, la retenue de l'Ariondaz, réalisée en 2007.



Photo 7.5 : La retenue du Biolley et son dispositif d'alimentation en eau (cliché : P. Paccard, le 07/05/2009). Une vanne permet de dériver une partie de l'eau du torrent des Verdons vers l'ouvrage ; un dispositif de cale permet de garantir le débit réservé du cours d'eau. A partir de ce point, le torrent des Verdons est en grande partie busé et s'écoule de façon souterraine jusqu'à Courchevel 1850.

La retenue du Biolley est vraisemblablement un des premiers ouvrages réalisés en France pour l'alimentation en eau d'une installation d'enneigement. Compte-tenu de sa date de réalisation (avant 1983), aux balbutiements des retenues d'altitude, l'administration n'avait jusqu'au début des années 1990 qu'une connaissance partielle de cet ouvrage. Suite à une première demande de régularisation du Service Public des 3 Vallées en 1992, les installations d'enneigement artificiel du Biolley furent finalement autorisées par l'arrêté préfectoral du 28 juillet 1995, arrêté actualisé par l'arrêté du 1^{er} mars 2002.

1.2.3. Les installations de pompage du Biolley

En matière de production de neige, suite au développement d'installations vers d'autres pistes du domaine, trois réseaux pouvaient à l'origine être schématiquement distingués depuis le lac du Biolley : (1) un réseau d'enneigeurs alimenté par gravité en aval de Courchevel 1850 (pistes desservant Courchevel 1550 et Le Praz), (2) un réseau moyenne-pression (pression gravitaire renforcée par des installations de pompage) entre la retenue du Biolley et Courchevel 1850 et (3) un réseau haute-pression entre la retenue du Biolley et le pied des pistes de la Combe Saulire et des Suisses. 5 compresseurs d'air d'une puissance de 440 kVA (kilo Volt-Ampère) et des pompes installées à proximité de la retenue du Biolley, dans la salle des machines du même nom, permettent aujourd'hui d'alimenter ces réseaux en air et en eau sous pression (photo 7.6). En 2000, la création de surpresseurs au pied des pistes de la Combe Saulire et des Suisses a permis d'augmenter la pression en eau disponible et la capacité de production sur ce secteur en utilisant des enneigeurs plus performants.



Photo 7.6 : Les pompes de la salle des machines du Biolley (cliché : P. Paccard, le 29/09/2009).
Elles permettent d'envoyer l'eau sous-pression vers les réseaux d'enneigeurs.

1.3. La salle des machines de Praméruel ou le maillage des réseaux de production de neige de Courchevel 1850 et 1650 (1991).

1.3.1. Des pompes dans le ruisseau de Praméruel...

En 1991, une nouvelle salle des machines regroupant les installations nécessaires à la production de neige (pompes et compresseurs) est construite au lieu-dit Praméruel, dans un vallon séparant les domaines de Courchevel 1850 et de Courchevel 1650 : la salle des machines de Praméruel (1 820 m d'altitude). Cette installation permet notamment de disposer d'une nouvelle adduction d'eau par

pompage dans le ruisseau de Praméruel (photo 7.7), lui-même en partie alimenté par des trop-pleins de captages d'eau potable situés en contre-haut (série de captages de Praméruel situés vers 1900 m d'altitude). La salle des machines de Praméruel était destinée principalement à alimenter en eau les réseaux d'enneigeurs en direction de Courchevel 1650. Une tour aéro-réfrigérante permettait de refroidir l'eau captée du ruisseau de Praméruel, pas suffisamment froide pour la production de neige, avant d'être envoyée vers les enneigeurs de Courchevel 1650.

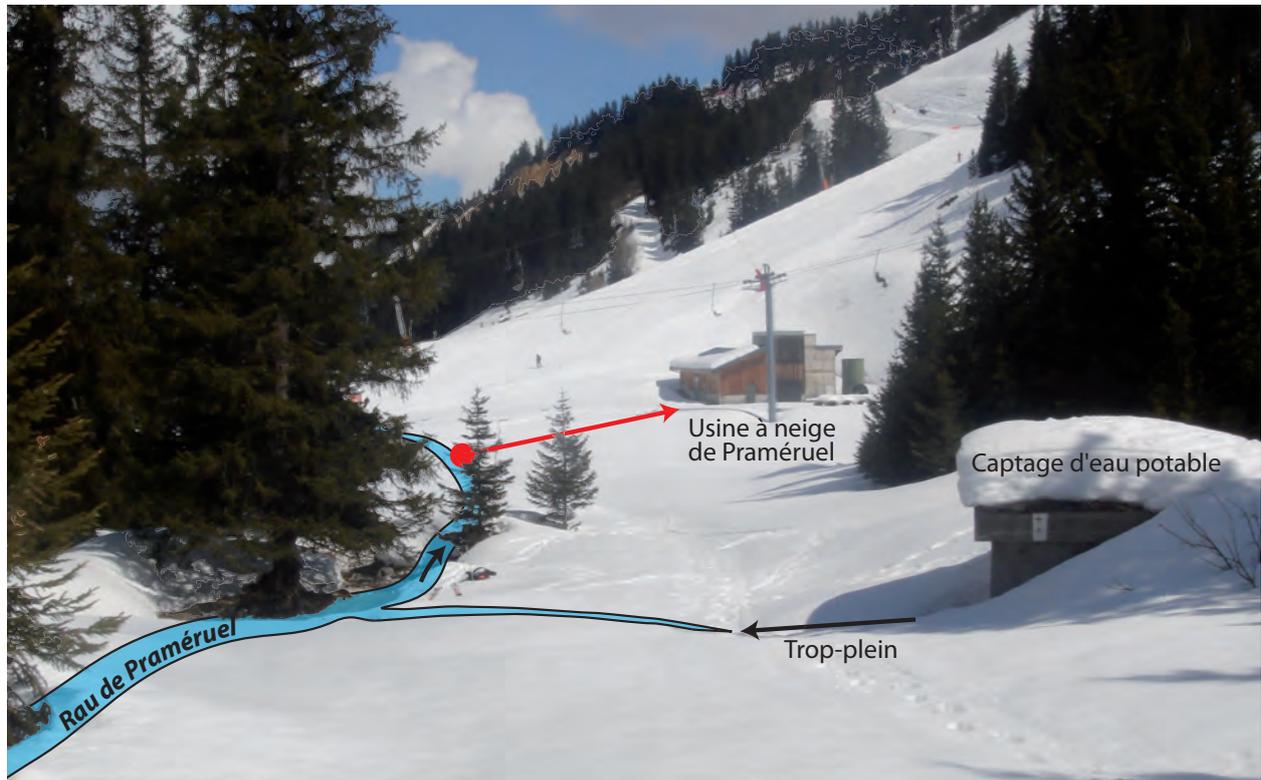


Photo 7.7 : L'alimentation en eau de la salle des machines de Praméruel, en service jusqu'en 2007 (cliché : P. Paccard, le 03/04/2009). Le ruisseau de Praméruel, soutenu par des trop-pleins de captages d'alimentation en eau potable, est resté une source de prélèvements d'eau jusqu'en 2006.

1.3.2. ... pour des échanges d'eau avec la retenue du Biolley

Si besoin, la salle des Machines de Praméruel pouvait également alimenter en eau la retenue du Biolley, les deux ouvrages étant reliés par des conduites. Inversement, l'eau du lac du Biolley pouvait être remontée vers la salle des machines de Praméruel pour être ensuite transformée en neige sur les pistes de Courchevel 1650. La circulation de l'eau pouvait ainsi se faire dans les deux sens : de Biolley vers Praméruel ou, inversement, de Praméruel vers Biolley. Les réseaux de production de neige de Courchevel 1850 et de Courchevel 1650, désormais reliés, permettaient ainsi des échanges d'eau entre la Société des Téléskis de Moriond et le Service Public des Trois Vallées. Il n'existait cependant pas encore de mise en commun de moyens tels que des compresseurs ou des pompes pour la production de neige proprement dite.

Aujourd'hui, suite à la réalisation de la retenue de l'Ariondaz, cette salle des machines n'est plus en service ; seules des canalisations d'adduction d'air et d'eau transitent par le bâtiment qui ne contient plus d'installations de compression, ni de tour de refroidissement.

1.4. Enneigement artificiel à La Tania (2000)

1.4.1. La retenue de Praz-Juget

Inaugurée le 20 décembre 1990, ce n'est qu'en 2000 que la station de La Tania fut équipée d'un premier réseau de production de neige. La retenue de Praz-Juget (1 860 m d'altitude ; photo 7.8), construite à cette occasion, permet de stocker 20 000 m³ d'eau. Un ensemble de trop-pleins de captage d'eau potable, descendant en cascade jusqu'à la station de La Tania pour l'alimentation des hébergements de la station puis remonté par pompage, alimente la retenue. La production de neige sur le domaine de La Tania mobilise environ 40 000 m³ d'eau par an, soit deux fois le volume de la retenue. Celle-ci est donc remplie une première fois à l'avant saison puis une nouvelle fois pendant la saison hivernale.



Photo 7.8 : La retenue de Praz-Juget, à l'altitude de 1860 mètres, sur la partie haute du domaine de La Tania (cliché : P. Paccard, le 29/09/2009). *En médaillon (en bas à gauche), l'arrivée des canalisations qui alimentent la retenue en eau.*

1.4.2. Les pistes enneigées sur le domaine de La Tania

La production de neige depuis la retenue de Praz-Juget se fait principalement sur la piste des Folyères rejoignant le village de La Tania. Sur cette piste, deux zones de production importantes de neige sont à noter jusqu'en 2008 : (1) le bas de la piste pour l'aménagement de la zone débutant du domaine de La Tania et (2) le haut de la piste pour permettre aux engins de damage de remonter une quantité importante de neige sur la piste du Bouc Blanc, alors non-équipée d'installations de production de neige.

Sur cette dernière piste, la répartition de la neige ne se fait plus de cette façon ; depuis 2008, les pistes du Bouc Blanc et des Arolles, assurant la liaison entre Courchevel 1850 et La Tania, sont équipées d'enneigeurs (photo 7.9). Ceux-ci ne sont néanmoins pas alimentés par la retenue de Praz-Juget mais par pompage depuis la retenue du Biolley. C. Faure, Président du Directoire de la Société des 3 Vallées, explique cet aménagement :

« Sur le secteur de La Tania, la neige de culture était attendue depuis plusieurs saisons déjà. Le retour vers ce site constituait une zone de faiblesse sur notre domaine. Les pistes bleues dans ce secteur, en forêt, sont particulièrement utilisées par la clientèle familiale de La Tania. Elles pourront désormais être aisément empruntées par les écoles de ski et les enfants » (cité in Montagne Leaders, 2008, p. 70).

Ces enneigeurs sont opérationnels depuis l'hiver 2008-2009 et, désormais, le domaine skiable de La Tania est équipé de haut (2200 m) en bas (1350 m).

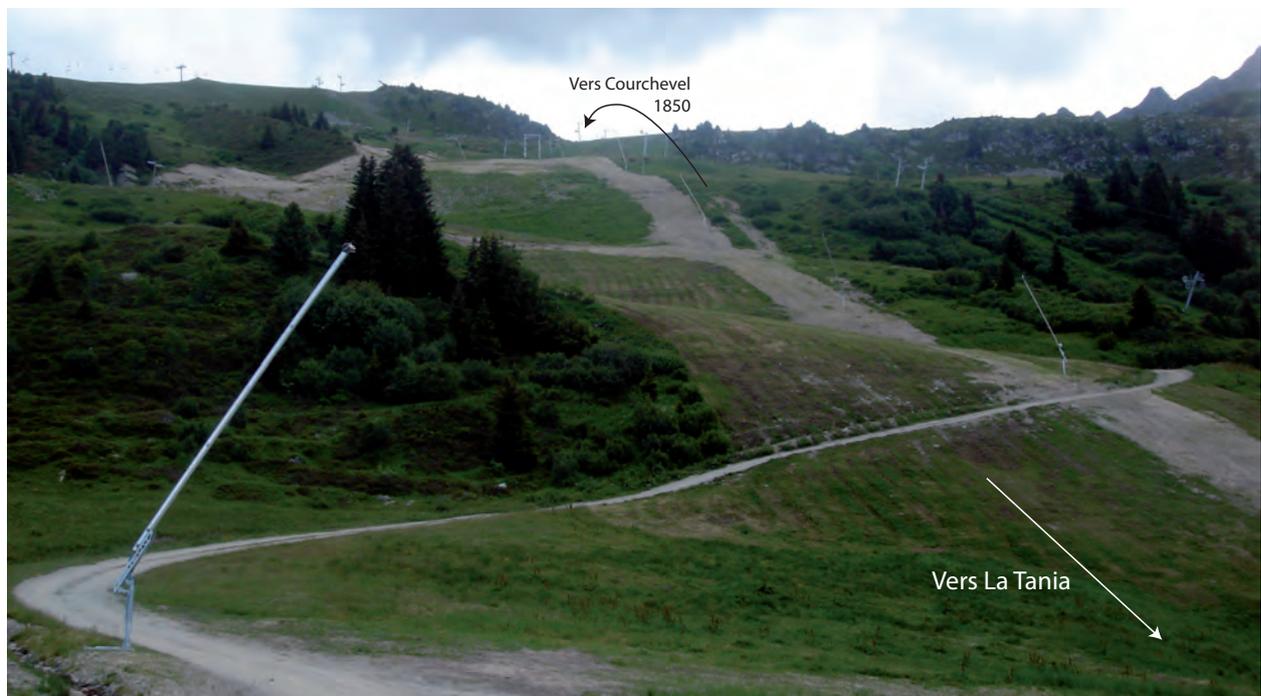


Photo 7.9 : La piste du Bouc-Blanc équipée d'enneigeurs depuis la fin de l'année 2008. Vue depuis l'altitude de 1890 mètres (cliché : P. Paccard, le 29/09/2009). *Sur cette piste, un an après l'installation des enneigeurs, les marques des travaux de terrassement restent visibles.*

En fait, l'équipement de ces dernières pistes sur La Tania est consécutif à la réalisation récente d'un ouvrage majeur sur le domaine de Courchevel. A l'amont des pistes de Courchevel 1650, **la retenue d'altitude de l'Ariondaz** est en service depuis le début de la saison 2007-2008. Elle participe à l'alimentation en eau d'une grande partie du domaine skiable.

Cet investissement de plus de 6 millions d'euros (hors taxes), qualifié d'« aménagement durable », est également présenté comme « *la plus grande retenue artificielle d'eau potable d'Europe* » (Montagne Leaders, 2007, p. 57). Qu'en est-il vraiment ?

2. LA RETENUE DE L'ARIONDAZ (2007)

2.1. La genèse du projet : renforcer les disponibilités en eau pour la production de neige... et d'eau potable

En 2003, le renouvellement de la concession hydroélectrique de la chute de Bozel a permis à la commune de Saint-Bon-Tarentaise de prévoir, en accord avec Electricité De France (EDF), la possibilité de dériver une partie des eaux du torrent de la Rosière en vue de satisfaire des besoins d'irrigation, d'alimentation en eau potable ou de services publics². C'est à partir de cette ressource nouvellement disponible qu'une réflexion entre la Société des 3 Vallées et la commune de Saint-Bon-Tarentaise a débouché sur un projet commun de réservoir : la retenue d'altitude de l'Ariondaz (photo 7.10)³.

Deux objectifs principaux justifiaient ce projet et rapprochaient la commune et l'opérateur de la station pour cette réalisation : renforcer les volumes d'eau disponibles (1) pour la production de neige (2) ainsi que pour l'alimentation du réseau d'eau potable.



Photo 7.10 : La retenue de l'Ariondaz : 131 000 m³ à 2170 m d'altitude
(cliché : P. Paccard, le 29/09/2009)

2.1.1. Des besoins en eau croissants pour la production de neige

Extensions de réseaux, nouveaux besoins en eau

Les besoins en eau pour la production de neige sur le domaine de Courchevel augmentaient au fur et à mesure que le réseau de production de neige se développait : 137 000 m³ déclarés à ODIT France pour la saison 1995/1996, 195 000 m³ pour 2000/2001 et 341 000 m³ pour 2004/2005.

De même, pour faire face à des périodes de froid plus courtes, le réseau fut progressivement modifié, notamment entre 2000 et 2003, pour avoir une capacité de production instantanée plus

² Nous verrons par la suite que la production de neige rentre de fait, administrativement parlant, dans les besoins dit de « services publics ».

³ Photographie prise lors de notre accompagnement à une visite de contrôle des installations d'enneigement de Courchevel - La Tania le 29/09/2009 (et de Méribel-Mottaret le 28/09/2009) par A. Lenfant (DDEA de la Savoie), avec l'aimable autorisation de la Société des 3 Vallées. Ce fut pour nous l'occasion de nous entretenir avec J.-M. Aparicio, nivoculteur responsable de l'installation d'enneigement de Courchevel - La Tania.

importante. A titre d'exemple, si vingt jours étaient nécessaires pour remplir le lac du Biolley en avant-saison et plus de trente jours en saison (du fait de la non-disponibilité des trop-pleins du réseau d'alimentation en eau potable en période de pointe touristique), la production de neige dans de bonnes conditions aurait pu vider le lac en trois jours seulement. Outre le besoin d'augmenter la disponibilité de la ressource en eau, l'idée était également, avec la retenue de l'Ariondaz, de pouvoir en disposer au bon moment pour pouvoir alimenter le réseau de production de neige avec un débit suffisant pendant les périodes de froid.

Production de neige et eau potable, comparaison des volumes en jeu

A Courchevel, les volumes d'eau mobilisés pour la production de neige sont maximums en avant-saison (semaine 50 et 51 ; figure 7.1) ; ils permettent de constituer une sous-couche sur les pistes de ski avant l'ouverture de la station. A cette période, pour comparaison, ces quantités sont supérieures aux volumes d'eau distribués pour l'alimentation en eau potable de l'ensemble de la commune de Saint-Bon-Tarentaise. Bien entendu, cette constatation n'est *a priori* pas synonyme de conflit entre ces deux usages de l'eau, leurs adductions respectives n'étant pas forcément dépendantes l'une de l'autre.

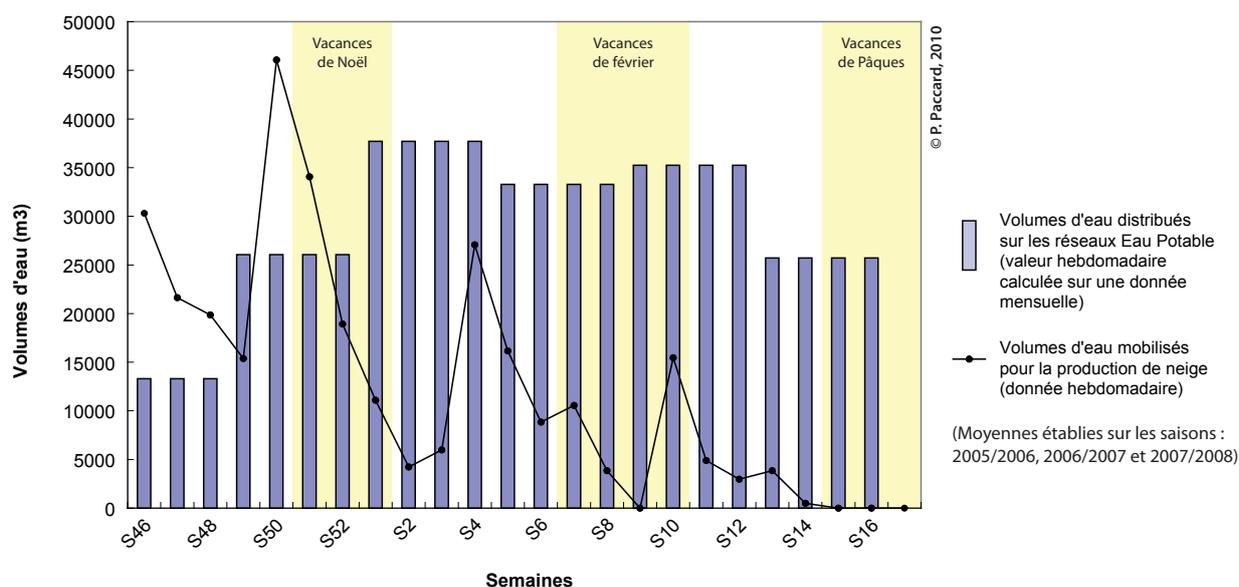


Figure 7.1 : Comparaison des volumes d'eau potable distribués sur la commune de Saint-Bon-Tarentaise et des volumes d'eau mobilisés pour la production de neige en saison d'hiver à Courchevel (d'après les données transmises par le service de l'eau de Saint-Bon-Tarentaise, 2009, et la Société des 3 Vallées, 2009)

Mais en plus de la production de neige, la retenue de l'Ariondaz permettrait, du point de vue de la commune, de faire face à d'éventuelles situations de sécheresse (connues notamment en 2003 et 2006). Il s'agissait également de répondre aux nouveaux besoins en eau générés par le développement urbanistique de la station.

2.1.2. Un bilan « besoins / ressources » déficitaire pour l'AEP de Saint-Bon-Tarentaise

Aujourd'hui, les besoins en eau sur les secteurs d'hébergements touristiques de la commune de Saint-Bon-Tarentaise sont maximums en saison hivernale (figure 7.2). Entre la basse saison touristique et la haute saison, ils peuvent être multipliés par 4. Il faut préciser que la commune compte 32 000 lits touristiques pour 1913 habitants permanents (la démographie communale est en constante progression depuis les années 1960, avec un ralentissement ces dix dernières années ; d'après les données de l'INSEE, 2007).

La temporalité de ces besoins en eau, caractéristique des situations rencontrées en stations de sports d'hiver, est gérée par le service public de l'eau potable de Saint-Bon, régie de la commune.

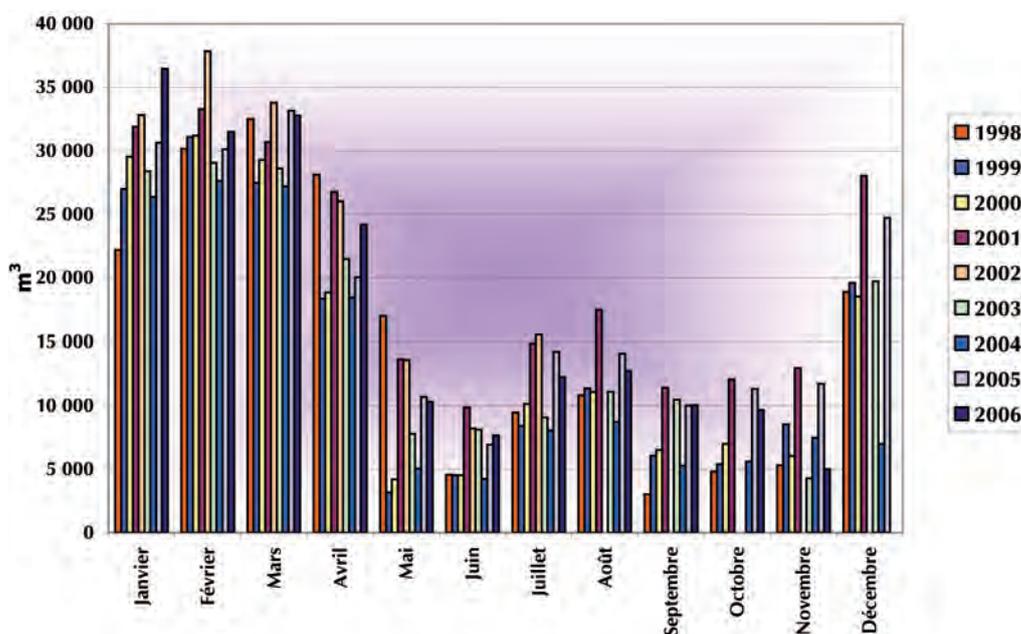


Figure 7.2 : Evolution interannuelle des volumes d'eau distribués sur les secteurs de Bellecôte et Courchevel 1850 Centre (extrait de SCERCL, 2007, p. 24). *Le commentaire* accompagnant cette figure précise : « Les volumes distribués sont très importants pendant la saison d'hiver. On remarque que les volumes distribués pendant l'hiver 2003 (janvier, février, mars) sont en diminution par rapport aux années précédentes : 86 088 m³ en 2003 contre 104 452 m³ en 2002 » (*idem*).

Le Schéma Directeur d'Alimentation en Eau Potable (SDAEP) de la commune de Saint-Bon-Tarentaise réalisé en 2007 par le cabinet SCERCL a précisé les ressources aujourd'hui disponibles à l'étiage pour chaque secteur de la commune (SCERCL, 2007). Les besoins futurs, à court et moyen terme (horizon 2015), ont également été estimés dans le cadre de ce travail⁴ ; ils correspondent à l'addition des besoins actuels et des besoins générés par les projets d'urbanisme sur la commune. A titre d'exemple, les projets considérés sur le secteur de Courchevel 1850 sont : la construction d'un hôtel 4 étoiles, d'un hôtel 3 étoiles avec piscine, l'agrandissement du forum (hôtel 3 étoiles) et la réalisation d'un nouveau bâtiment pour la gendarmerie (70 logements).

Les résultats de ce bilan « besoins / ressources disponibles à l'étiage » montrent un déficit théorique à l'horizon 2015 de 43 l/s (équivalent à 3700 m³/jour) considérant l'ensemble du territoire communal. Sur ce total, les secteurs où les déficits sont les plus importants sont ceux

⁴ SDAEP subventionné par le Conseil Général de la Savoie. Il est une traduction concrète de la politique menée par le département de la Savoie en la matière. Avec le soutien financier du Conseil Général depuis 5 ans, « 103 structures (représentant 90% des communes) se sont engagées dans la démarche [d'un SDAEP], la moitié ayant terminé et même validé leur étude » (Observatoire Savoyard de l'Environnement, 2008, p. 27).

de Courchevel 1550 (-29,6 l/s) et de Courchevel 1850 (-10,8 l/s). Et, d'après les conclusions du SDAEP, « La solution permettant de pallier le manque d'eau de 43 l/s est de pomper cette eau dans le lac de la Rosière » (*idem*, p. 56).

Mutualisée avec les besoins de la Société des 3 Vallées, la perspective de pompage dans le torrent de la Rosière deviendra rapidement effective, via le stockage dans la retenue de l'Ariondaz (figure 7.3)⁵.

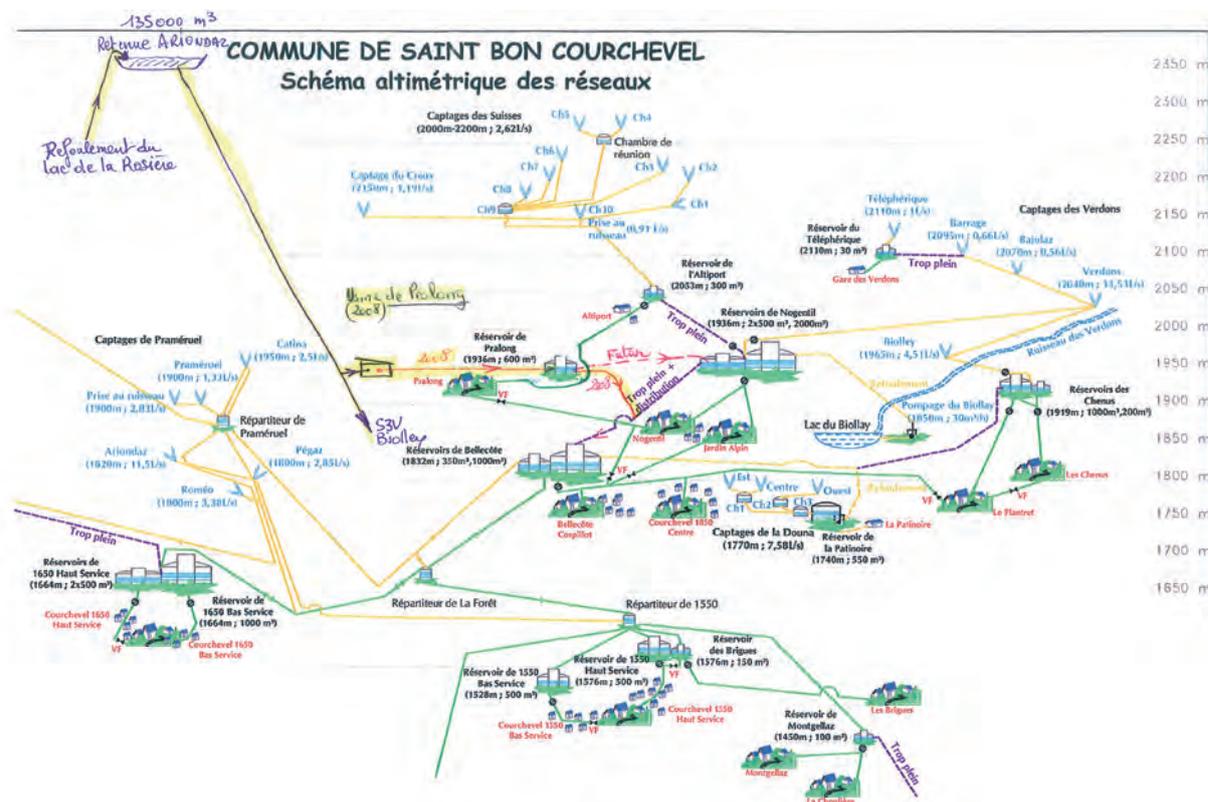


Figure 7.3 : Extrait du schéma altimétrique des réseaux d'eau potable de la commune de Saint-Bon-Tarentaise (SCERCL, non daté). Deux éléments importants sont à noter sur ce document : (1) le projet de retenue de l'Ariondaz (dessiné en haut à gauche par le service de l'eau de Saint-Bon-Tarentaise) venant renforcer (après traitement) les adductions du réseau d'eau potable de Courchevel et (2) le pompage du Biolley, depuis la retenue du même nom, qui poursuit le même objectif.

2.2. Du projet à l'utilisation effective de l'eau : enjeux quantitatifs et qualitatifs du partage de l'eau

2.2.1. Enquête publique, avis des services de l'état, expertises : les voix d'un dossier « loi sur l'eau »

Autorisé par arrêté préfectoral, le projet de l'Ariondaz a suivi toute la procédure règlementaire spécifique aux retenues d'altitude de cette dimension. Il permet à la S3V de prélever 750 000 m³ d'eau par an dans le torrent de la Rosière : 700 000 m³ pour la production de neige, 50 000 m³ pour l'eau potable⁶.

⁵ Document transmis par le responsable technique du service de l'eau de Saint-Bon-Tarentaise, D. Avrillier, lors de notre entretien du 19/02/2009 dans les locaux du service de l'eau, Courchevel 1850.

⁶ 700 000 m³ d'eau correspondent à 1 400 000 m³ de neige, soit de quoi produire deux fois 30 cm de neige sur 200 hectares de pistes, équivalents à 40 pistes d'1 km de longueur et 50 m de largeur.



Photo 7.11 : Le chantier de l'Ariondaz : 2^{ème} jour (cliché : S3V, le 07/06/2009). *Le décapage de la terre végétale (ou « étrépage ») permet de conserver les mottes de terre enherbées pour une réimplantation sur les zones mis à nu une fois les travaux terminés. Cette photographie appartient à un ensemble de 51 autres, mis en ligne sur le site Internet de la Société des 3 Vallées (rubrique « nouveautés »), qui permettait de suivre l'évolution du chantier jour après jour ; elles ne sont plus disponibles en ligne aujourd'hui.*



Photo 7.12 : Les travaux de terrassement de la retenue de l'Ariondaz (cliché, DDAF de la Savoie, le 12/09/2007). *La réalisation d'une retenue d'altitude est un énorme chantier ; ici, un tombereau à « pleins poumons ». Interrompu plus de 30 jours pour cause d'intempéries, celui de l'Ariondaz a duré 5 mois ; la première mise en eau de l'ouvrage s'est faite au mois de novembre 2007.*

Dans la chaîne des étapes réglementaires « loi sur l'eau » à respecter figurent la réalisation d'une enquête publique et la consultation des services de l'Etat. A ces occasions, **des voix se sont élevées contre le projet de l'Ariondaz**. Nous citerons les parties suivantes :

- La FRAPNA dénonce, dans un courrier du 5 mars 2007 consigné dans le registre d'enquête publique, l'équipement en neige artificielle de toute la montagne (« *fuite en avant* »), l'utilisation excessive de la ressource en eau, jugée vulnérable, et, de façon globale, une insuffisante prise en compte des milieux naturels faunistiques et floristiques.
- En bloc, les habitants du hameau des Moulins (où se trouve l'usine hydroélectrique de Bozel) se prononcent contre le projet au cours de l'enquête publique : en cas de rupture de l'ouvrage, une partie au moins du hameau pourrait être détruite.
- La DIREN Rhône-Alpes émet un avis défavorable dans deux courriers consécutifs adressés respectivement à la préfecture de la Savoie (1er février 2007) et au maire de Saint-Bon-Tarentaise (5 juillet 2007). Les arguments avancés sont l'insuffisance de justification générale du besoin en neige artificielle, les impacts sur le ruisseau de la Rosière et la disproportion des volumes dédiés à l'eau potable (7% du prélèvement total) en comparaison de ceux réservés à la production de neige (93%).

A l'inverse, **parmi les avis favorables au projet, on peut relever les éléments suivants** :

- L'avis favorable du commissaire enquêteur à l'issue de l'enquête publique conduite dans les mairies des communes impliquées (Saint-Bon, Bozel, La Perrière, Montagny, Brides-Les-Bains, Feissons-sur-Salins, Villarlurin, Salin-Les-Thermes et Moûtiers).
- Le soutien inconditionnel au projet de beaucoup de socioprofessionnels de la station (syndicat hôtelier, office du tourisme, syndicat des commerçants, écoles de ski, syndicat des moniteurs de ski), dont les avis (construits *stricto sensu* sur le même schéma rédactionnel) restent consignés dans les registres d'enquête publique.
- L'avis du CEMAGREF d'Aix en Provence, intervenant comme expert technique « barrages » dans ce dossier, qui valide sur le plan géotechnique la conception et le dimensionnement de l'ouvrage. En conclusion de son rapport, daté du 28 novembre 2006, le CEMAGREF explique même que « *Le dossier présenté est un dossier de projet, étudié dans le détail et dont la qualité doit être soulignée* ».

En définitive, après le dernier avis favorable du Conseil Départemental de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques (CODERST) de la Savoie, le projet de retenue de l'Ariondaz est autorisé par la préfecture de la Savoie « *à des fins d'enneigement de culture et d'alimentation en eau potable* ». L'arrêté rédigé à cet effet, d'une grande précision (13 articles détaillés sur 14 pages), prend date le 5 juin 2007 ; dès le lendemain, les travaux de terrassement du site démarrent (photo 7.11 et 7.12).

2.2.2. Stocker (traiter) et utiliser les eaux de la Rosière

Le chantier de l'Ariondaz : 131 000 m³ de stockage d'eau

En fait, la réalisation complète de la retenue d'altitude de l'Ariondaz et de son adduction en eau s'est étalée sur deux années. Les travaux réalisés pendant l'été 2006 ont principalement consisté en la réalisation de la station de pompage du lac de la Rosière, de la pose des canalisations entre le lac de la Rosière et le site de l'Ariondaz (4 kilomètres pour plus de 600 mètres de dénivelée positive) et des canalisations entre le site de l'Ariondaz et l'usine à neige du Biolley (4 kilomètres pour plus de 300 mètres de dénivelée négative).

Ce n'est qu'à l'été 2007, après l'obtention de l'autorisation préfectorale, que la retenue proprement dite fut construite : 131 000 m³ de capacité utile et située à 2 170 m d'altitude (altitude de la crépine en fond de lac), sa hauteur d'eau maximum est de 10,5 mètres. Dans la mesure d'un prélèvement effectif des 750 000 m³ autorisés depuis le torrent de la Rosière, l'ouvrage serait rempli plus de 6 fois au cours d'une saison (les prélèvements sont interdits en mars, mois d'étiage du torrent de la Rosière).

Des stations d'espèces floristiques protégées (Clématite des Alpes, Sabot de Vénus, Horminelle des Pyrénées, Pyrole verdâtre...) ayant été identifiées sur le tracé des conduites d'alimentation de l'ouvrage, celui-ci fut modifié en conséquence, afin de ne pas empiéter sur ces espaces. Sur le site même de la retenue, où les travaux de terrassement ont été considérables (180 000 m³ de terrassement, d'après Montagne Leaders, 2007, p. 57) comme l'impliquent toutes les réalisations de ce type, aucune espèce protégée n'avait été recensée.

Une retenue pour l'eau potable : des contraintes particulières

Des précautions particulières ont dû être apportées à la conception même de la retenue de l'Ariondaz pour le respect des normes de potabilité quant au stockage de l'eau. Pour éviter tout intrant indésirable, potentiellement polluant pour les eaux de la retenue, des barrières fixes et un ensemble de fossés et de drains pour le piégeage des eaux de ruissellement ont été installés tout autour de l'ouvrage.

Toujours en termes de conception de la retenue, les exigences de qualité de l'eau pour l'alimentation en eau potable ont conduit à la pose d'une géomembrane d'étanchéité particulière au fond de la retenue, de « qualité alimentaire » (photo 7.13)⁷.

Par ailleurs, pour exploiter les eaux du torrent de la Rosière, une station de traitement des eaux a dû être réalisée par la commune de Saint-Bon-Tarentaise (photo 7.14). La valeur limite de concentration en sulfates pour l'eau potable est effectivement fixée à 250 mg/l et les eaux du torrent de la Rosière dépassent largement cette norme : « *La qualité physicochimique apparaît constante dans le temps et conforme aux normes AEP des eaux brutes, à l'exception de la concentration en sulfates, proche de 800 mg/l, due à la présence de gypses et de cargneules dans le bassin versant* » (Michal, 2009, p. 4).

Située à proximité de l'Altiport de Courchevel 1850 (à environ 1 930 m d'altitude), la station de traitement d'eau potable de Pralong consiste donc principalement à désulfater les eaux de la Rosière avant de la distribuer sur le réseau d'eau potable de la commune.

⁷ Photographie transmise par C. Petit, chargé de mission études et développement à la Société des 3 Vallées, lors de notre entretien du 24/02/2009, dans les locaux de la S3V à Courchevel 1850.

A l'hiver 2008, un dispositif de filtration (et une autorisation de la DDASS de la Savoie pour un débit maximum de 10 l/s) permettait de produire, depuis l'Ariondaz, 18 000 m³ en l'espace de 3 mois pour soutenir le réseau d'eau potable communal.



Photo 7.13 : La goémembrane « alimentaire » de la retenue de l'Ariondaz (cliché : C. Petit, S3V, le 24/06/2008). Déchirée par le frottement de pierres entraînées par la reptation de la glace lorsque celle-ci se forme puis casse sur les bords de la retenue, des réparations régulières doivent être faites pour assurer l'imperméabilité de l'ouvrage. Des sortes de « rustines » sont alors collées pour réparer les trous.



Photo 7.14 : Affichage pour la construction de la station d'eau potable de Pralong (cliché : P. Paccard, le 08/09/2009)

Protéger les captages d'eau potable vis-à-vis de la production de neige.

D'après les informations transmises par la DDASS de la Savoie⁸, sur 22 captages d'eau potable recensés sur le domaine skiable de Courchevel - La Tania, 19 se trouvent à proximité de pistes enneigées artificiellement (tableau 7.1). Sur cet ensemble, 4 sont qualifiés comme très exposés à la production de neige par la DDASS (c'est-à-dire vulnérables à une éventuelle pollution induite par les installations d'enneigement) et 3 comme moyennement exposés (le degré d'exposition des 15 restants est inconnu).

Commune	Station	Captages (CAP) présents sur le domaine skiable	Production de neige à proximité	Exposition du captage
La Perrière	La Tania	Le rocher	oui	***
		Praz-Juget	oui	***
		Le Bouc Blanc	oui	**
		Nant de La Caille	oui	**
		Plan des Fontaines	?	?
		Plan du Saz	?	?
		La Tania	?	?
Saint-Bon-Tarentaise	Courchevel	Les Suisses (prise d'eau)	oui	***
		Les Suisses (CAP)	oui	**
		Catina	oui	?
		Pramérue (prise d'eau)	oui	?
		Pramérue (CAP)	oui	?
		L'Ariondaz	oui	?
		Pégaz	oui	?
		Roméo	oui	?
		Les Creux	oui	?
		Le Téléphérique	oui	?
		Le Barrage	oui	?
		Les Verdons	oui	?
		Bajulaz	oui	?
		Le Biolley	oui	?
		La Douna	oui	***

Tableau 7.1 : Exposition des captages de Courchevel - La Tania à la production de neige (d'après les données transmises par la DDASS 73, 2008). *Il s'agit d'une appréciation qualitative de la DDASS. * = captage faiblement exposé ; ** = captage moyennement exposé ; *** = captage fortement exposé.*

Dans le cadre du projet de l'Ariondaz impliquant le transfert des eaux sulfatées de la Rosière sur les différents bassins versant supports de la station (carte 7.5), notamment sur le bassin de Praz-Juget (domaine de La Tania, commune de la Perrière), la Société des 3 Vallées a commandé à la DDASS en 2007 un rapport d'expertise sur la question.

P. Michal, hydrogéologue agréé, chargé de cette mission, établit ainsi un « *rapport géologique sur l'impact de la neige de culture sur le bassin versant des ressources en eau destinées à la consommation humaine, présentes sur la commune de la Perrière* » (2009). Les captages situés sur le bassin des Gravelles et sur le bassin des Verdons ne semblent pas, en l'état de nos connaissances, avoir fait l'objet d'une attention particulière de ce type⁹.

⁸ Entretien du 24/10/2008 avec F. Kerrien et J.-F. Francony, Service Santé-Environnement - Qualité des Eaux, dans les locaux de la DDASS à Chambéry.

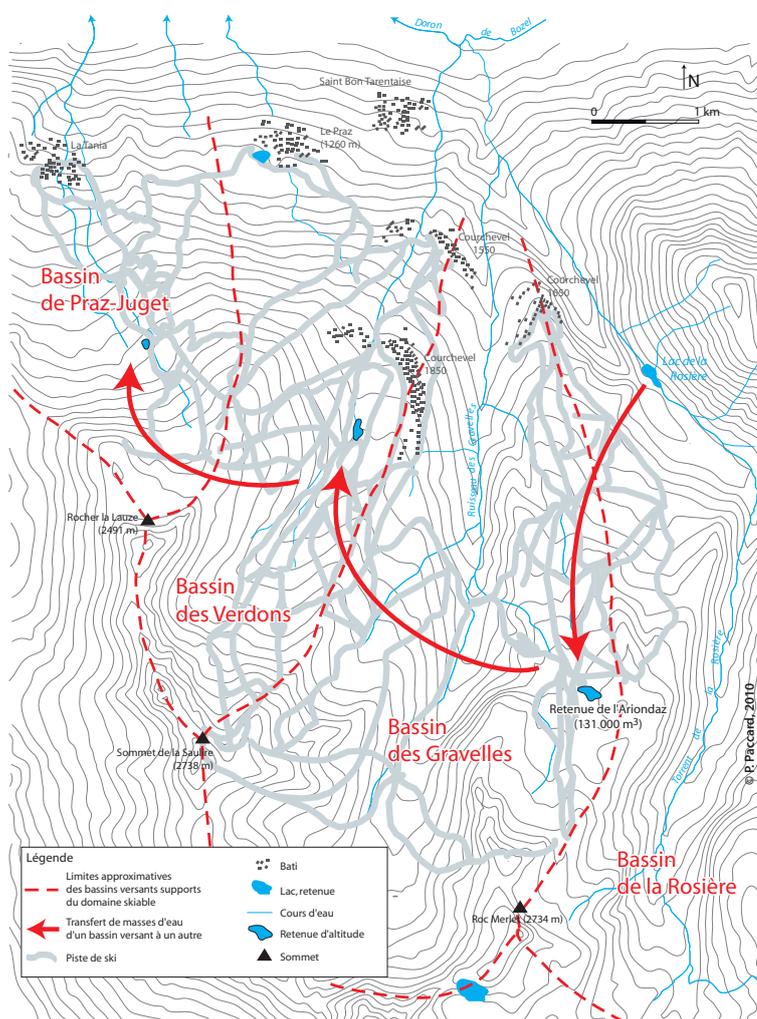
⁹ La Société des 3 Vallées est néanmoins engagée, au côté d'autres exploitants, dans une démarche d'étude de la qualité de l'eau utilisée pour l'enneigement des pistes de ski.

En conclusion de son travail, portant sur les captages de La Perrière (bassin de Praz-Juget), P. Michal explique :

« Les trois pistes (Bouc Blanc, Les Arolles et Les Folyères), concernées par la production de la neige de culture, sont totalement ou partiellement présentes dans les périmètres de protection de deux sites captés pour l'alimentation en eau potable du Syndicat Moutiers - Salin et de la Commune de La Perrière, soit respectivement le captage de Praz-Juget et les trois ouvrages du Plan du Saz (ou du Praz). [...] »

Dans le contexte d'un déficit sévère d'enneigement, équivalent à la situation de la saison 1971-1972 (saison la plus déficitaire sur 36 années d'observation), la mise en service d'une production de neige de culture devrait induire, lors de la fonte nivale, une augmentation de la concentration en sulfates entre 50 et 100 mg/l des eaux captées de Praz-Juget et une augmentation de 60 à 110 mg/l pour celles du Plan du Saz. [...]

Ces estimations permettent de proposer d'émettre un avis favorable¹⁰ pour la réalisation de neige de culture pour les trois pistes de ski précitées... » (Michal, 2009, p. 14 et 15).



Carte 7.5 : Les transferts d'eau depuis le torrent de la Rosière vers les autres bassins supports du domaine skiable

L'impact potentiel de la production de neige sur les captages considérés est ici démontré ; il reste acceptable au regard des normes de potabilité de l'eau. L'avis favorable de l'hydrogéologue agréé s'accompagne néanmoins de quelques prescriptions, parmi lesquelles on retrouve la non-utilisation d'adjuvants et de produits destinés au durcissement de la neige, l'utilisation de déshuileurs dans le procédé de fabrication de neige et la réalisation d'analyses de contrôle sur les eaux des captages étudiés.

¹⁰

On rappelle que la norme de potabilité pour les sulfates est de 250 mg/l.

2.3. Trois saisons d'exploitation de la retenue de l'Ariondaz

2.3.1. Retour d'expériences : le point de vue de l'opérateur du domaine de Courchevel - La Tania

S'il ne s'agit pas d'accepter le point de vue de la Société des 3 Vallées, acquis à l'intérêt de l'outil, sans regard critique de notre part, le retour d'expériences de l'exploitant compte pour nos recherches : il nous permet de comprendre les raisons du choix de cet aménagement et, au-delà, des retenues similaires déployées sur d'autres domaines skiables. Nous retranscrivons ainsi, ci-dessous, la synthèse des éléments récoltés lors de nos entretiens et rencontres¹¹ avec le personnel de la Société des 3 Vallées à ce sujet.

Une ressource disponible instantanément

S'ils sont permanents et peuvent suffire en cumulé sur une saison, les débits autorisés en prélèvement dans les eaux superficielles sont inférieurs aux débits théoriques des installations de production de neige : débit de prélèvement maximum autorisé de 900 m³/h (250 l/s) dans le torrent de La Rosière pour un débit de production de 1800 m³/heure en considérant l'ensemble de l'installation de Courchevel.

Par ailleurs, une diminution des plages de froid nécessaires à la production de neige est aujourd'hui constatée par les exploitants. Il s'agit donc de pouvoir disposer d'une importante capacité de production instantanée, dès que les conditions de froid permettent la production de neige¹². Le froid étant arrivé plus tardivement certaines saisons (décembre plutôt que novembre), il est arrivé que la période de production de neige coïncide avec la période de consommation de pointe d'eau potable (Noël et jour de l'an), voire même avec la période d'étiage des eaux superficielles.

Pour ces deux raisons, sans retenue d'altitude, véritable bassin tampon, il se révélait donc parfois impossible de satisfaire pleinement les besoins en eau nécessaires à la production de neige.

Un ouvrage d'altitude : profiter du froid et de la gravité

De plus, de par son altitude d'implantation (2 200 m) et le système de bullage mis en place pour le brassage de l'eau, la retenue de l'Ariondaz permet de disposer d'une eau plus froide et d'optimiser ainsi les dépenses énergétiques associées. La tour de refroidissement de la salle des machines de Pramérue est ainsi devenue inutile suite à la construction de la retenue, l'eau disponible étant dorénavant suffisamment froide pour la production de neige.

La retenue de l'Ariondaz permet également d'alimenter en eau de façon gravitaire une plus grande partie du réseau de production de neige. Compte tenu du relevage de l'eau depuis la Rosière sur 600 mètres de dénivelée, le bilan énergétique est-il néanmoins réellement positif ?

Dans tous les cas, le secteur initialement moyenne-pression de Courchevel 1850 est désormais alimenté de façon gravitaire tandis que la surpression nécessaire à l'alimentation du secteur en amont de la retenue du Biolley a diminué significativement. Seule l'alimentation gravitaire, depuis le lac du Biolley, du réseau d'enneigeurs situé en aval de Courchevel 1850 est restée dans sa configuration d'origine.

¹¹ Auxquels il convient d'ajouter, en sus de ceux déjà mentionnés, le rendez-vous obtenu auprès de C. Faure, Président du Directoire de la Société des 3 Vallées, le 08 janvier 2009.

¹² Ce qui est l'intérêt commun à tous les ouvrages similaires, comme nous le montrerons par la suite (cf. chapitre 8, p. 356).

Ce gain de pression gravitaire a ainsi permis d'optimiser l'utilisation des pompes disponibles : les pompes initialement affectées au secteur moyenne-pression de Courchevel 1850 ont été réaffectées au secteur haute-pression tandis que les pompes haute-pression servent aujourd'hui à remonter l'eau depuis le torrent de la Rosière vers la retenue de l'Ariondaz.

Il en est de même pour l'ensemble du réseau de Courchevel 1650, alimenté à l'origine par des pompes depuis la salle des machines de Pramérue (aujourd'hui désuètes) et qui est désormais alimenté par gravité depuis l'adduction réalisée entre la retenue de l'Ariondaz et celle du Biolley.

De nouvelles extensions de réseaux...

Enfin, le renforcement de la ressource en eau disponible a permis d'effectuer des extensions du réseau d'enneigement depuis le domaine de Courchevel 1850 vers les pistes de liaison depuis Méribel (piste de la Combe Saulire sur la totalité de sa longueur) et vers La Tania (pistes des Crêtes, des Arolles et du Bouc Blanc).

En fait, la disponibilité en eau depuis le pompage de la Rosière, avec stockage dans la retenue de l'Ariondaz, a permis de s'affranchir de la construction d'une deuxième retenue sur le secteur de La Tania pour alimenter ces extensions de réseaux. C'est une adduction réalisée en 2008 entre la salle des machines du Biolley (alimentée par la retenue de l'Ariondaz) et le sommet de la Loze (crête permettant de basculer vers le secteur du Bouc Blanc) qui permet de remonter l'eau nécessaire à la production de neige sur ce secteur. Les fonds non-investis dans la construction de cette nouvelle retenue ont permis l'équipement de la piste de la Combe Saulire, jusqu'au sommet du domaine skiable (2738 mètres d'altitude).

2.3.2. Trois retenues pour l'enneigement de 40% du domaine

Depuis 2007 donc, trois retenues d'altitude (Biolley, Praz-Juget et Ariondaz) et environ 520 enneigeurs permettent désormais de couvrir un peu moins de 40% de la surface des pistes, du sommet du domaine skiable jusqu'au pied des pistes. Ces secteurs correspondent principalement :

- aux retours-station garantissant un retour « ski au pied » à la clientèle (exemple du hameau du Praz à 1260 mètres d'altitude, photo 7.15) ;



Photo 7.15 : La piste de retour vers le Praz (1260 m), enneigable artificiellement (cliché : P. Paccard, le 17/01/2009)

- aux liaisons inter-stations (exemple de la liaison Courchevel - La Tania, ou du sommet de la Saulire qui permet de basculer vers la station de Méribel, photo 7.16) ;
- à un certain nombre de pistes dites « commerciales », pistes d'une faible difficulté (vertes ou bleues) prisées et très fréquentées par la clientèle, dont il convient de soigner le travail de la neige ;
- aux stades de compétition pour garantir la tenue des événements sportifs.



Photo 7.16 : Un des enneigeurs les plus hauts du domaine de Courchevel - La Tania (2700 m environ) (cliché : P. Paccard, le 05/07/2009). *Vue sur l'arrivée au sommet de la Viselle, depuis les pentes du sommet de la Saulire (2738 m). En arrière plan, dans les nuages à droite, le sommet de La Grande Casse, point culminant du massif de la Vanoise et plus haut sommet du département de la Savoie (3855 m).*

Si la majeure partie de l'équipement semble aujourd'hui réalisée, des extensions de réseau et la rénovation de certaines portions de réseaux sont encore en projet à moyen terme, notamment sur certaines pistes situées en amont du secteur de Courchevel 1650 et sur la piste des Creux, très fréquentée depuis le sommet du domaine.

Nous l'évoquions très rapidement au tout début de notre propos consacré à la retenue de l'Ariondaz, l'hydroélectricité est partie prenante du dispositif d'alimentation en eau des enneigeurs de Courchevel - La Tania. En plus de l'eau potable, un autre usage de l'eau pour un autre acteur (Electricité de France¹³) se mêle donc à la production de neige sur le domaine de Courchevel. C'est l'une des particularités intéressantes de l'installation d'enneigement du domaine skiable qui justifie d'ailleurs le titre de notre présent chapitre. Elle fait de Courchevel - La Tania un terrain propice à l'analyse des interactions entre la production de neige et les autres usages de l'eau de montagne.

¹³ ... qui est également le fournisseur d'électricité de Courchevel - La Tania. La Société des 3 Vallées a d'ailleurs souscrit un contrat spécifique avec EDF pour n'être alimentée qu'en électricité produite à partir d'énergie hydroélectrique.

3. LA CHUTE HYDROÉLECTRIQUE DE BOZEL : ÉLÉMENT CLEF DE LA PRODUCTION DE NEIGE À COURCHEVEL

3.1. La retenue de la Rosière

3.1.1. Produire de l'hydroélectricité...

La centrale hydroélectrique de Bozel turbine les eaux du torrent de la Rosière qu'elle capte par une prise d'eau à l'altitude 1526 m, située en aval de la retenue communale de la Rosière (photo 7.17), formant le lac du même nom (photo 7.18). Elle fait partie « *du chapelet de 11 centrales de faible puissance installées successivement sur l'Isère, le Doron de Bozel et ses affluents, entre la fin du XIXe et le milieu du XXe siècle* » (EDF, 2010, p. 2).



Photo 7.17 : Le barrage communal de La Rosière (cliché : P. Paccard, le 03/04/2009). *Juste à l'aval du barrage, le bâtiment prise d'eau d'EDF ; c'est de là que partent les eaux de La Rosière pour être turbinées à la centrale hydroélectrique de Bozel, en médaillon (en haut à gauche ; cliché : P. Paccard, le 07/05/2009).*



Photo 7.18 : Le lac de La Rosière. Vue sur l'amont depuis le barrage de la Rosière (clichés : P. Paccard, le 03/04/2009). *L'été, le lac de La Rosière est un site très fréquenté : buvette, pêche, randonnées... En médaillon, le panneau d'accueil situé sur le sentier d'accès au lac.*

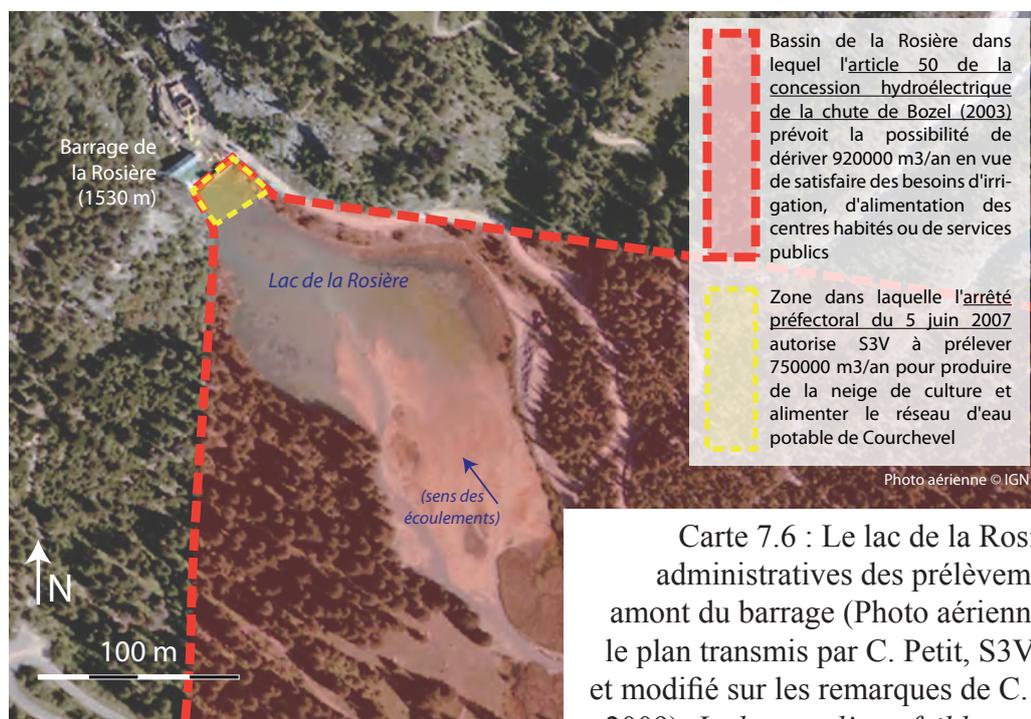
Le module interannuel du torrent de la Rosière est de $1,21 \text{ m}^3/\text{s}$; son débit est relativement stable toute l'année. Le débit réservé, qui correspond dans ce cas précis au $1/10$ du module interannuel, est ainsi de 121 l/s . Ces débits permettent à la centrale de Bozel (ou des Moulins, du nom du hameau où elle se situe) de turbiner annuellement 35 à 36 millions de m^3 en moyenne (le débit instantané maximum turbiné est de $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$). La turbine (de type Pelton à axe horizontal) installée à l'usine des Moulins permet de dégager une puissance de 9,5 mégawatts grâce à une hauteur de chute de 681 m, permise par une conduite forcée enterrée depuis Courchevel 1550.

3.1.2. ... et de la neige

Le prélèvement en vertu du cahier des charges de la concession hydroélectrique...

L'article 50 de la concession hydroélectrique de la chute d'eau de Bozel, renouvelée en 2003 par arrêté préfectoral (jusqu'en 2051), laisse la possibilité de dériver $920\,000 \text{ m}^3/\text{an}$ des eaux du lac de la Rosière et de son bassin versant en vue de satisfaire des besoins de services publics sans que le concessionnaire puisse relever aucune réclamation (ni donc indemnité).

C'est en vertu de cette possibilité - qui assimile de fait la production de neige à un besoin de service public¹⁴ - que l'arrêté préfectoral du 5 juin 2007 autorise la Société des 3 Vallées à prélever $750\,000 \text{ m}^3/\text{an}$ (soit 82% du volume prévu par l'article 50 de la concession) en amont du barrage de la Rosière pour les stocker dans la retenue de l'Ariondaz (carte 7.6). Nous rappelons qu'il s'agit d'un prélèvement maximum autorisé de $700\,000 \text{ m}^3$ pour la production de neige et de $50\,000 \text{ m}^3$ pour l'alimentation du réseau d'eau potable de Saint-Bon-Tarentaise.



Carte 7.6 : Le lac de la Rosière et les limites administratives des prélèvements possibles en amont du barrage (Photo aérienne : IGN ; d'après le plan transmis par C. Petit, S3V, 2009, redessiné et modifié sur les remarques de C. Traversier, EDF, 2009). *Le lac est d'une faible profondeur. Il est en partie comblé de sédiments.*

¹⁴ Cet élément peut paraître surprenant... Mais rappelons à ce sujet, dans le même registre, que la loi montagne de 1985 (modifiée depuis) assimilait l'exploitation des remontées mécaniques en station de sports d'hiver à un **service public** industriel et commercial, dont l'exécution pouvait être assurée en régie directe, en régie par une personne publique ou par une entreprise ayant passé à cet effet une convention à durée déterminée avec l'autorité compétente (article 47 de la Loi n°85-30 du 9 janvier 1985 relative au développement et à la protection de la montagne).

La disponibilité de la ressource depuis le torrent de la Rosière (bassin versant de 26 km²) explique le volume relativement restreint de la retenue de l'Ariondaz (131 000 m³), au regard des besoins en eau annuels pour la production de neige sur le domaine skiable de Courchevel. La retenue fut en effet dimensionnée en tenant compte de la possibilité de plusieurs remplissages pendant la saison, sur la base des volumes autorisés par arrêté préfectoral. L'installation d'enneigement globale a été prévue en tenant compte des extensions envisageables à long terme, qui portaient les besoins en eau à 660 000 m³ par saison.

Les hypothèses de prélèvements émises dans le dossier de projet de la retenue de l'Ariondaz montrent bien la répartition des usages (hydroélectricité et prélèvements vers la retenue de l'Ariondaz) sur les débits du torrent de la Rosière, de 1,21 m³/s en moyenne annuelle (figure 7.4).

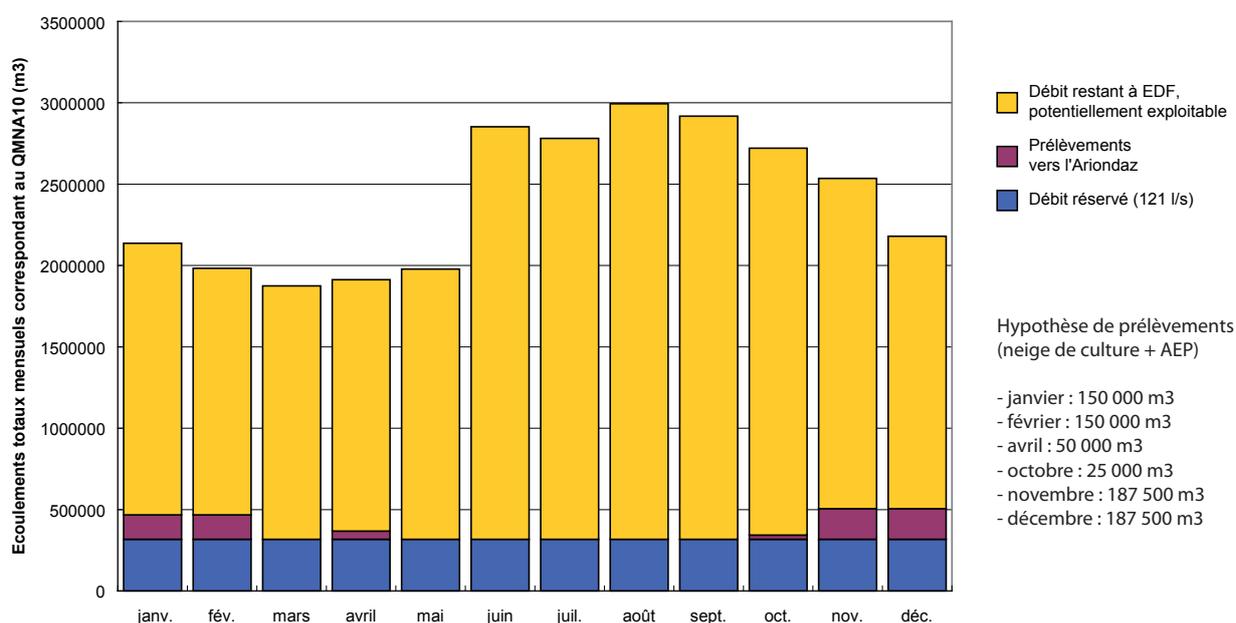


Figure 7.4 : Répartition des prélèvements sur les débits mensuels minimaux de retour 10 ans (QMNA10) du torrent de La Rosière (d'après Oxalis et Abest, 2006, p. 71). *Le QMNA10 (débit mensuel minimal de période de retour 10 ans) est le débit mensuel minimal ayant la probabilité 1/10 d'être atteint une année donnée, c'est à dire la valeur mensuelle minimale qui est statistiquement atteinte une année sur dix. Ce graphique (redessiné) a initialement été réalisé par le cabinet d'étude en charge de l'étude d'impacts du dossier de demande d'autorisation de la retenue de l'Ariondaz, au titre de la loi sur l'eau. Il prévoyait un prélèvement total de 750 000 m³ par saison pour le remplissage de la retenue de l'Ariondaz, reparti entre les mois de novembre et avril, exceptant le mois d'étiage du cours d'eau (mars) ; c'est exactement ce que retient l'arrêté préfectoral autorisant la retenue de l'Ariondaz. Sur ce graphique, on mesure bien le débit réservé à laisser au cours d'eau (1/10 du module interannuel). Il en résulte un tronçon court-circuité entre les prises d'eau de la Rosière (EDF et S3V) et la restitution des eaux, in fine, au Doron de Bozel.*

... n'est pour l'instant techniquement pas possible !

Mais jusqu'à présent, la réalisation de ce prélèvement immédiatement en amont du barrage est impossible : le lac de la Rosière est en grande partie comblé par des dépôts de sédiments qui ne permettent pas l'installation d'un dispositif de pompage (risque de colmatage des installations).

Ne pouvant ainsi prélever l'eau depuis le lac de la Rosière tant que celui-ci n'est pas curé, une convention signée entre la Société des 3 Vallées, EDF et la DRIRE Rhône-Alpes autorise un prélèvement maximum pour la production de neige de 360 000 m³/an à l'aval du barrage de la Rosière, sur les volumes normalement destinés à la production d'hydroélectricité (figure 7.5).

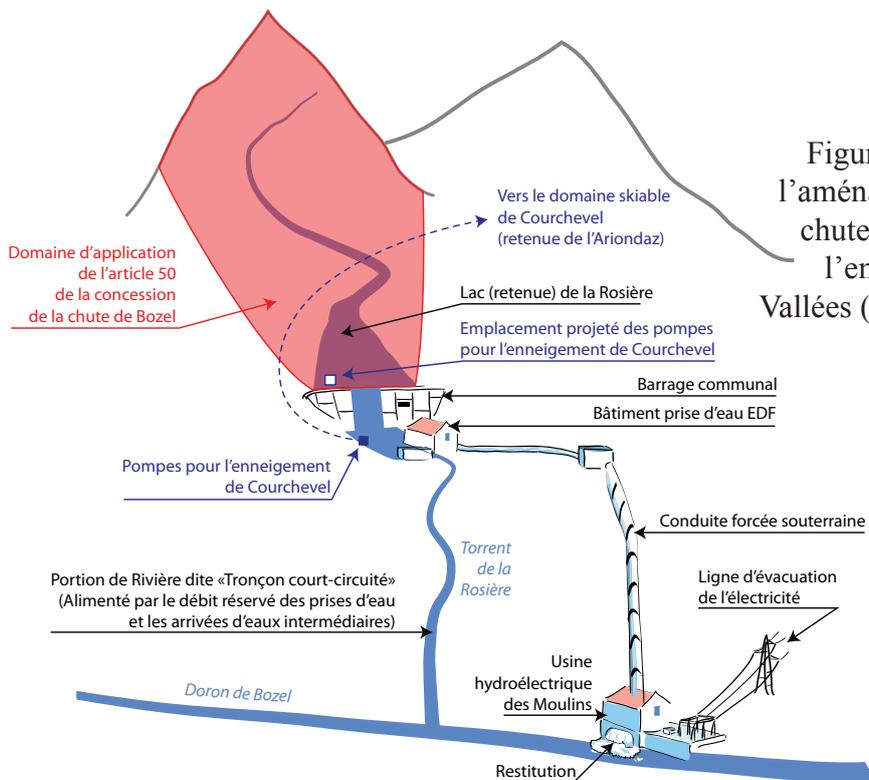


Figure 7.5 : Schéma de principe de l'aménagement hydroélectrique de la chute de Bozel et du pompage pour l'enneigement de la Société des 3 Vallées (d'après DRIRE Rhône-Alpes, 2002, p. 6)

Un ouvrage de prélèvements de la Société des 3 Vallées est ainsi installé provisoirement dans l'ouvrage de la concession hydroélectrique de la chute de Bozel (figure 7.6 et photo 7.19). Il s'agit d'une solution de dépannage pour répondre à une problématique ponctuelle, en attendant que les travaux de curage du lac soient réalisés.

EDF est indemnisée de l'eau prélevée par la Société des 3 Vallées, celle-ci étant pompée depuis la concession concédée pour la production d'hydroélectricité. Cette indemnisation correspond au préjudice de l'énergie non produite par la chute hydroélectrique (indemnité de perte d'usage). Le volume prélevé dans les conditions définies précédemment représente approximativement 1% des volumes d'eau annuels turbinés à l'usine hydroélectrique de Bozel (à titre de comparaison, les 920 000 m³ prévus à l'article 50 de la concession hydroélectrique de la chute de Bozel représentent une perte d'actif potentiel de 2,5% pour EDF).

Le prélèvement maximum convenu avec EDF et la DRIRE reste cependant inférieur de moitié au prélèvement autorisé par arrêté préfectoral en amont du barrage. En outre, à quelques mètres en amont (une dizaine tout au plus), les prélèvements de la S3V n'auraient pas été sujets à indemnité de perte d'usage.

Faute d'avoir pu réaliser une prise d'eau immédiatement en amont du barrage de la Rosière, la Société des 3 Vallées ne peut pour l'instant prélever l'entièreté du volume qui lui a été accordée en 2007. Cette situation ne saurait cependant perdurer : une réflexion est en cours avec la commune de Saint-Bon-Tarentaise pour le curage des sédiments du lac de La Rosière...

Photo 7.19 : Les pompes pour l'enneigement de Courchevel installées dans l'ouvrage de la concession hydroélectrique de la chute de Bozel (cliché : P. Paccard, le 03/04/2009)

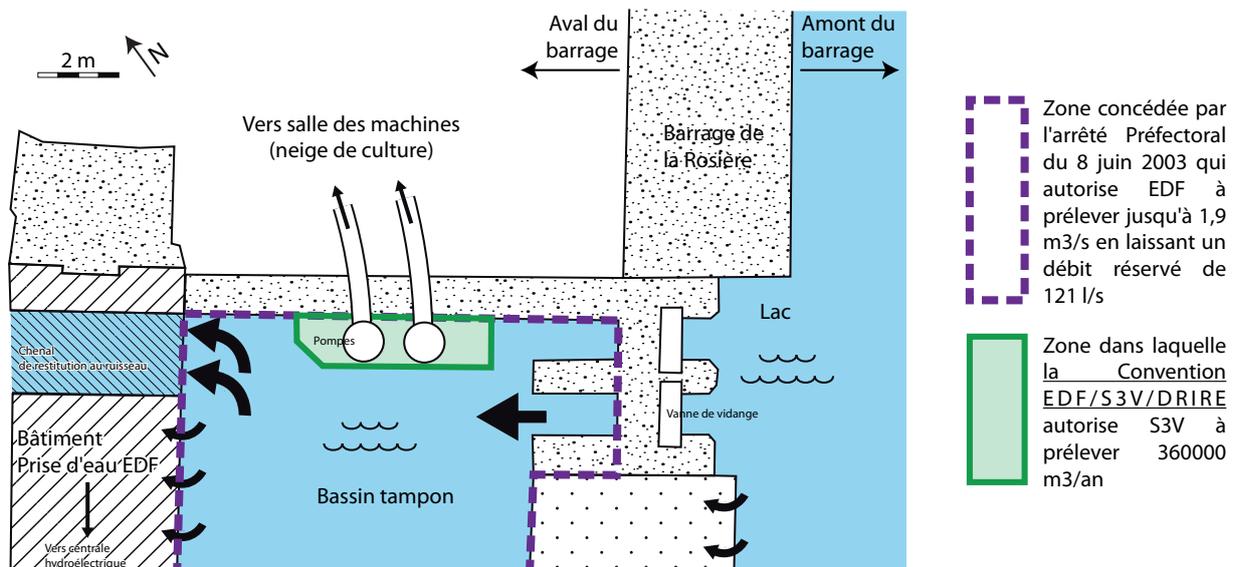
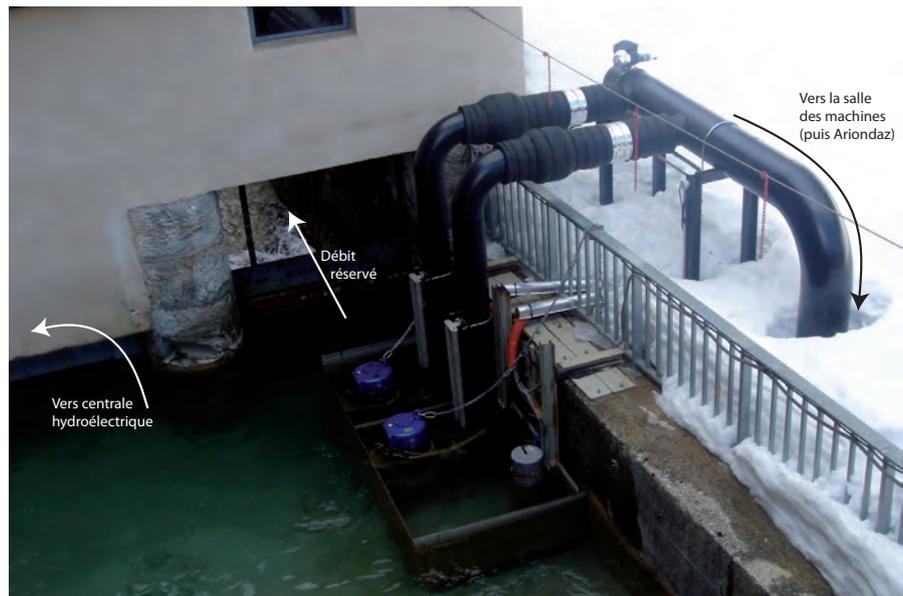


Figure 7.6 : En plan, détail des prises d'eau d'EDF et de la Société des 3 Vallées en aval du barrage communal de la Rosière (d'après le plan transmis par C. Petit, S3V, 2009, redessiné).

Finalement, dans le dispositif d'alimentation de plusieurs usages de l'eau sur la commune de Saint-Bon-Tarentaise, le lac de la Rosière se révèle être un élément clef. Il est le point de départ de la production d'hydroélectricité. Il permet également de garantir l'approvisionnement de la retenue de l'Ariondaz, et, ainsi, les besoins en eau pour la production de neige de la Société des 3 Vallées et une partie de ceux en eau potable de la commune.

Par rapport à notre lecture de la dynamique du site de la Rosière et du projet de l'Ariondaz, force est de constater le processus de résilience des différents usages de l'eau entre eux. Pour faire face à des besoins toujours croissants, les acteurs (représentant leur propre usage de l'eau) se parlent et s'organisent localement. Peu ou prou, le système s'auto-adapte, s'auto-organise ; une certaine régulation administrative accompagne cette évolution.

Mais au regard du montage technico-administratif – d’une complexité certaine pour qui cherche à l’appréhender dans toutes ses dimensions – mis en œuvre pour aménager le partage de l’eau autour du lac de La Rosière, **la question de la vulnérabilité organisationnelle du système existant se pose.**

Un seul site semble désormais concentrer nombre d’enjeux ; de surcroît, nous sommes conscients de la très probable non-exhaustivité de ceux que nous nous sommes attachés à présenter. Poursuivant cette idée, l’entremêlement des intérêts et besoins construits autour d’une même ressource, ayant ses propres limites, pourrait-il fragiliser le fonctionnement du système en place ? Plus généralement, quels seront les besoins demain ? La disponibilité de l’eau restera-t-elle constante et suffisante ? Quels facteurs, internes ou externes, seraient à même de déstabiliser cet équilibre ? Dans le cadre de ce questionnement, nous proposons quelques éléments d’appréciation sur le changement climatique à Courchevel - La Tania, facteur d’influence potentiel sur le système que nous venons de décrire. Dans cette méthodologie, nous nous focalisons principalement sur l’aléa et le degré de vulnérabilité structurelle de la station.

4. LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE À COURCHEVEL - LA TANIA

4.1. L’évolution du couvert neigeux : éléments rétrospectifs et prospectifs

Malheureusement, à l’inverse des stations de Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors et d’Orcières-Merlette, nous ne disposons pas de données climatologiques propres pour Courchevel - La Tania. Il existait bien un poste de relevé Météo France à Courchevel, en situation de versant à 1550 mètres d’altitude, et dont les données sont disponibles en ligne sur le site de la Climathèque, mais celui-ci a fermé en 1967.

Néanmoins, deux éléments vont tout de même nous permettre de suivre les évolutions climatiques de Courchevel. Il s’agit d’une part des données de précipitations dont nous disposons pour le poste Météo France de Bozel, situé au pied du versant du domaine skiable de Courchevel, à 865 mètres d’altitude. D’autre part, la récente étude de Météo France sur « *L’évolution du manteau neigeux en Savoie* » nous donne également de précieux renseignements sur les tendances enregistrées, en termes de précipitations et de cumuls de neige, à un poste situé à Courchevel (1780 mètres) dont les données avaient été communiquées par le service des pistes de la station. Sur la base de ces deux éléments, nous proposons une rapide analyse des évolutions climatiques de notre terrain d’étude. Celles-ci se révèlent être finalement conformes aux tendances observées à l’échelle du département de la Savoie.

4.1.1. Evolution des précipitations hivernales à Bozel et Courchevel

Au poste météorologique de Bozel (865 mètres), depuis 1978, la moyenne des précipitations totales (pluie et neige confondues) en période hivernale, c’est-à-dire du mois de novembre au mois d’avril, est de 466 mm (contre 924 mm sur l’ensemble de l’année). Sur les 29 périodes considérées, une baisse moyenne linéaire de 141 mm de précipitations est constatée (figure 7.7). Cette baisse est très régulière si l’on excepte la saison 1994/1995, dont les précipitations sont plus importantes que la moyenne.

Plus en détail, cette baisse se retrouve si l’on ne s’intéresse qu’aux mois de janvier et de février de chaque année étudiée : -44 mm de précipitations en moyenne linéaire et en l’espace de 29 ans (figure 7.8).

Figure 7.7 : Evolution des précipitations totales en saison hivernale à Bozel (865 m) entre 1978 et 2008 (d'après les données de Météo France)

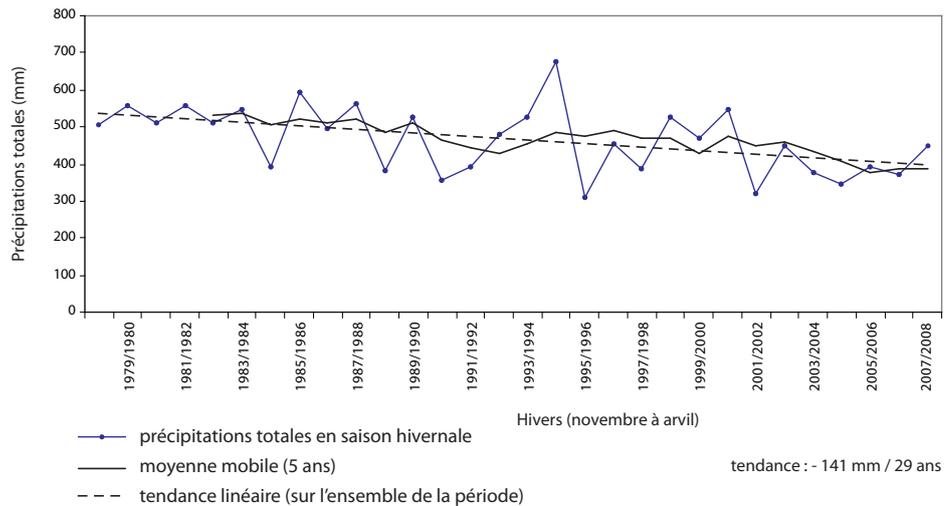
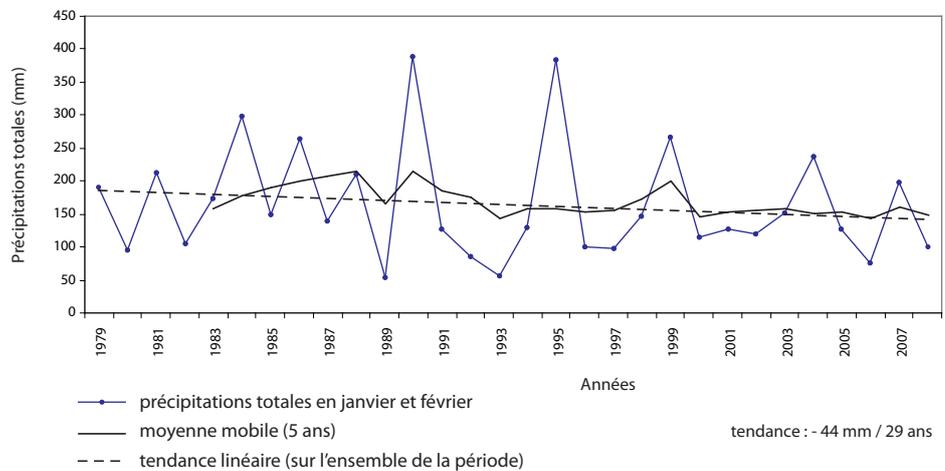
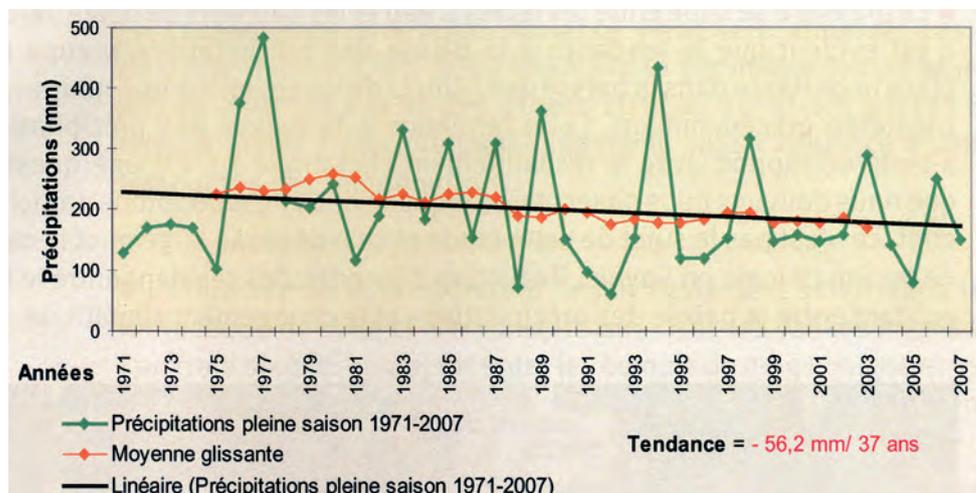


Figure 7.8 : Evolution des précipitations totales des mois de janvier et février à Bozel (865 m) entre 1979 et 2008 (d'après les données de Météo France)



En altitude, au poste météorologique de Courchevel (1780 mètres), cette diminution des précipitations se confirme. La courbe proposée par Météo France (Yvrande *et al.*, 2008, p. 31 ; figure 7.9) se superpose bien avec celle obtenue grâce aux données de Bozel. On ne peut d'ailleurs pas remarquer de gradient altitudinal des précipitations particulier à la lecture de ces deux courbes, issues pourtant de postes météorologiques espacés de plus de 900 mètres de dénivelée.

Figure 7.9 : Evolution des précipitations totales en pleine saison hivernale (janvier et février) à Courchevel (1780 m) entre 1971 et 2007 (extrait de Yvrande *et al.*, 2008, p. 31).



Entre cette figure et son homologue que nous proposons pour Bozel, un décalage d'un an dans les données est constaté. Le profil des deux courbes reste néanmoins similaire et confirme ainsi les tendances remarquées.

Yvrande *et al.* (2008) expliquent à propos de la courbe de précipitations de Courchevel (1780 m) :

*« Nous pouvons noter une tendance à la baisse des quantités de précipitations (lame d'eau pluie et neige) à Courchevel de 56 mm. Le total moyen des précipitations sur ces deux mois qui est un peu supérieur aux 200 mm au début des années 70 passe en dessous de 200 mm au début des années 2000 » (Yvrande *et al.*, 2008, p. 30).*

En termes d'évolution du couvert neigeux, l'étude de Météo France ne propose pas d'illustrations sous la forme de courbe. Cependant, l'analyse qu'elle livre à partir des données étudiées explique une diminution conséquente de l'enneigement au poste de Courchevel depuis les années 1970 :

« Les cumuls de neige fraîche présentent également une tendance à la baisse avec une perte de 82 cm à Courchevel sur ces 37 dernières saisons. Au début des années 70, le cumul de neige fraîche sur la pleine saison y était en moyenne de 3 m. [...] »

Les cumuls de neige fraîche ont connu des baisses plus rapides que celles des précipitations ce qui induit par conséquent une baisse du rapport entre ces deux paramètres. [...]

*Cette baisse sur l'enneigement se ressent également sur l'évolution du maximum d'enneigement au cours de la pleine saison. Sur le poste de Courchevel à 1780 m d'altitude, ce maximum d'enneigement qui était en moyenne de 175 cm au début des années 70, se situe à 135 cm à la fin de la période étudiée » (Yvrande *et al.*, 2008, p. 30 et 31).*

4.1.2. Des tendances locales confirmées au niveau départemental

Ce constat d'une diminution de l'enneigement au poste de Courchevel doit être mis en perspective des tendances observées à d'autres endroits. C'est ce que s'attache à faire la conclusion de l'étude de Météo France, au regard des 11 postes savoyards analysés sur 50 ans de mesures fiables :

« Comme on pouvait s'y attendre, la grande tendance se résume par une diminution des apports de neige fraîche en Savoie (d'environ -30%). [...] »

Sur les versants exposés, [l'augmentation hivernale des températures] durant la période étudiée est de l'ordre de 1,9°C alors que les moyennes annuelles n'ont augmenté que de 1,8°C. [...]

Le manteau neigeux par lui-même a subi toutes ces contraintes et s'est réduit en nombre de jours de présence (de -10 à -37 jours) et en hauteurs maximales (de -36 à -50%) sur les postes étudiés en versant » (idem, p. 34).

Le récent « *Livre Blanc du climat en Savoie* » (Delannoy *et al.*, 2010) reprend et valide l'ensemble de ces observations, tant sur le plan de l'évolution du couvert neigeux que sur celui des températures hivernales. Les conséquences de ces évolutions pourraient conduire à une remontée de l'isotherme 0°C en altitude :

« Depuis 1950, c'est pendant la pleine saison hivernale (janvier-février) que les températures ont le plus augmenté et ce sur l'ensemble des stations météo. Cette augmentation est de l'ordre de 2,4°C. [...] »

En Savoie, l'isotherme 0°C se situe en moyenne entre 800 et 1200m. Si l'élévation observée des températures se poursuit, l'isotherme 0°C pourrait à l'horizon 2050 remonter de 300 à 400 m et ce dans le cas d'un réchauffement moyen (+ 1,8°C en hiver). Cette remontée serait de l'ordre de 150 à 200 m pour un faible réchauffement (+ 0,9°C) et de 650 à 700 m pour un fort réchauffement (+ 3,4°C). [...]

Les mesures mettent également en évidence une diminution des cumuls de neige fraîche et du nombre de jours de présence du manteau neigeux entre 1959 et 2007. [...]

*Les cumuls de neige fraîche connaissent une baisse quasi-généralisée de l'ordre de 30 % depuis 1959 (soit environ 1 m de neige cumulée) » (Delannoy *et al.*, 2010, p. 19, 20 et 23).*

4.1.3. Quelles perspectives pour l'enneigement à Courchevel – La Tania ?

Finalement, l'ensemble de ces éléments ci-dessus semble aller dans le sens des projections établies par l'OCDE en 2007. Elle fixe la limite de fiabilité de l'enneigement en Savoie à 1200 mètres (ce dont nous discuterons ultérieurement) pour une exploitation économiquement viable d'un domaine de ski alpin (p. 32). Nous rappelons que pour un réchauffement respectif des températures de +1°C, +2°C ou +4°C, cette limite pourrait remonter de 150 mètres, 300 mètres ou 600 mètres.

La répartition altitudinale du linéaire des pistes du domaine skiable de Courchevel - La Tania, telle que nous l'avons cartographié¹⁵, se fait de la façon suivante (figure 7.10) :

- 74% au dessus de 1800 m ;
- 20% entre 1500 m et 1800 m ;
- 4% entre 1350 m et 1500 m ;
- 2% entre 1200 m et 1350 m.

Ainsi, si l'on poursuit le scénario envisagé par l'OCDE, seul le pied des pistes de la Tania (1360 m) et du Praz (1260 m) pourrait connaître des difficultés d'exploitation à moyen terme (2050) du fait d'une diminution de l'enneigement ; toujours dans cette perspective, la majeure partie du domaine skiable, au-dessus de 1800 m, resterait protégée.

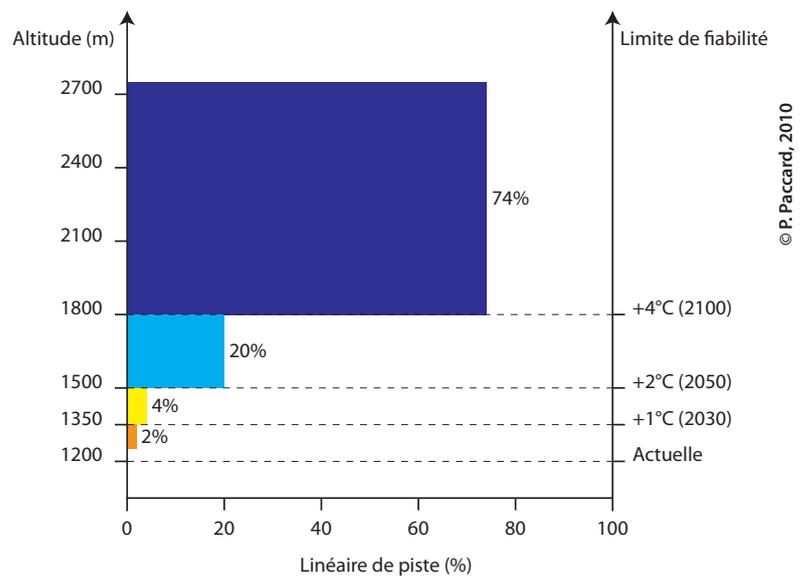


Figure 7.10 : Répartition altitudinale du linéaire des pistes du domaine skiable de Courchevel - La Tania

Nous venons de le voir, le réchauffement des températures impacte les volumes de neige naturelle disponibles pour l'exploitation du domaine skiable. Mais dans quelle mesure celui-ci peut-il également contraindre l'enneigement artificiel ?

4.2. Des effets d'une hausse des températures sur la production de neige

Selon un communiqué de Météo France, « Avec une température moyenne supérieure de 2,1°C à la normale saisonnière, l'hiver 2006/2007 (décembre 2006 à février 2007) est le plus chaud observé en France depuis 1950 » (Météo France, 2007).

Cette douceur hivernale a fortement impacté certains secteurs touristiques hivernaux de la Savoie. Du fait d'un enneigement déficitaire dans les stations du Beaufortain, du Val d'Arly et de Maurienne, nombre de touristes se sont reportés sur les stations de haute altitude, notamment de Tarentaise (Delannoy et al, 2010, p. 89), dont Courchevel fait partie.

¹⁵ Entretien avec J.-M. Aparicio, nivoculteur responsable de l'installation d'enneigement de Courchevel - La Tania, le 18 novembre 2009 à Briançon, à l'occasion de la journée « Neige de culture » organisée par le SNTF, l'ADSP, ATOU France et DSF.

Les températures clémentes de l'hiver 2006-2007, exceptionnelles, ont été enregistrées par l'installation d'enneigement artificiel de Courchevel. La comparaison de la répartition des températures humides, moyennées sur l'ensemble des sondes dont dispose le réseau d'enneigement artificiel, entre la saison 2006-2007 et 2008-2009 est sans équivoque : pour une température inférieure à -4°C de température humide (seuil de démarrage optimal des installations), 845 heures sont mentionnées pour la saison 2006/2007 (figure 7.11) contre 1723 heures pour la saison 2008-2009 (figure 7.12).

Figure 7.11 : Répartition horaire des températures humides enregistrées par l'installation d'enneigement de Courchevel sur la saison 2006/2007 (d'après les données transmises par la S3V, 2009)

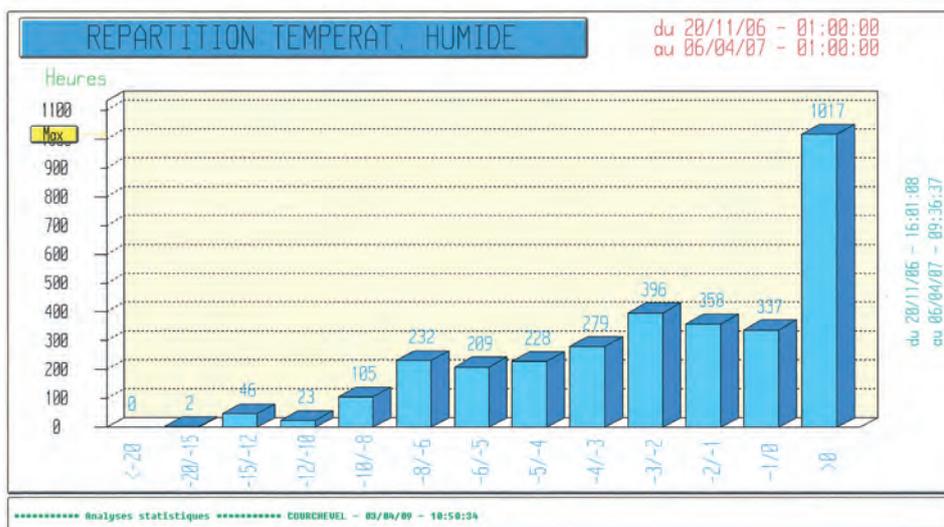
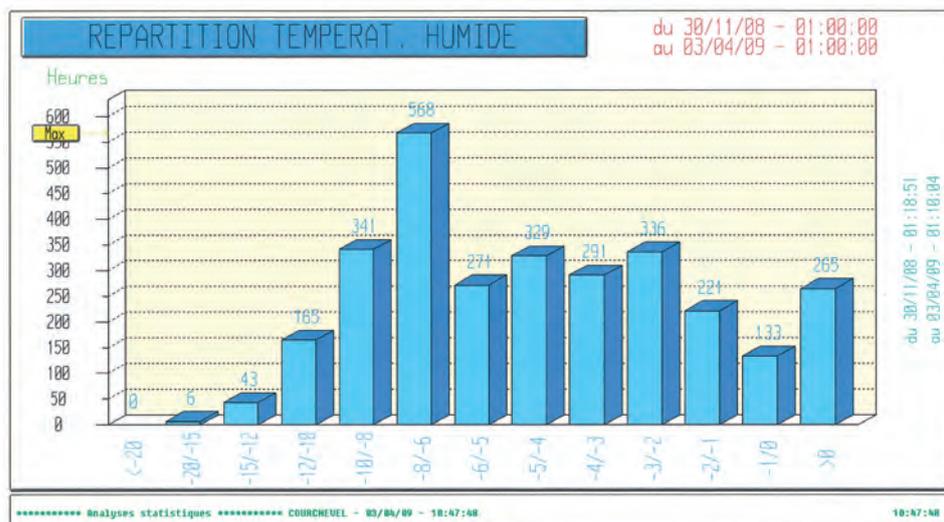


Figure 7.12 : Répartition horaire des températures humides enregistrées par l'installation d'enneigement de Courchevel sur la saison 2008/2009 (d'après les données transmises par la S3V, 2009).



Ces deux figures successives sont une capture d'écran de l'ordinateur gestionnaire de l'ensemble de l'installation d'enneigement de Courchevel - La Tania. Le logiciel dédié à cet effet enregistre de très nombreux paramètres climatiques (issus du réseau de sonde) et d'exploitation (volumes de neige produits, nombre d'heures de fonctionnement, etc.). Un module spécial permet d'extraire des éléments statistiques de cet ensemble de données, archivées au fil des saisons.

De fait, en 2006-2007, la production de neige de début de saison a connu des difficultés – ce que confirment les nivoculteurs de la station –, ne pouvant pas bénéficier des températures adéquates. A Courchevel (figure 7.13) comme à La Tania (figure 7.14), la production de neige a donc commencé plus tardivement, c'est-à-dire en semaine 49, soit 15 jours avant l'ouverture de la station ; d'ordinaire, la première production commence plus tôt.

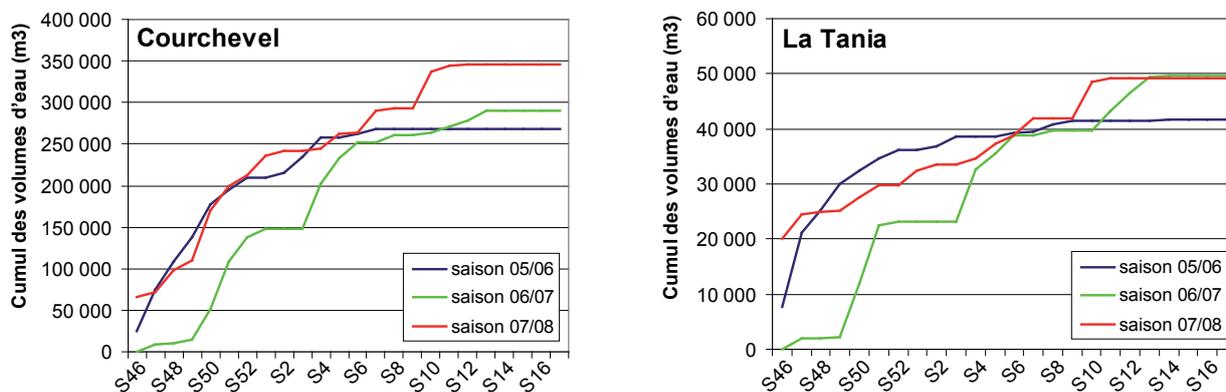


Figure 7.13 et 7.14: Evolution des cumuls d'eau transformée en neige à Courchevel et La Tania pour les saisons 2005/06, 2006/07 et 2007/2008 (d'après les données transmises par la S3V, 2009). Sur ces deux graphiques, le « démarrage tardif » de la production de neige au début de la saison 2006-2007 est bien visible ; il est dû aux températures trop douces de ce début de saison, ne permettant pas de produire de la neige.

Ces difficultés de production sont d'ailleurs relevées par un constructeur d'installations d'enneigement au mois de janvier 2010, en guise d'argument commercial pour ses enneigeurs, présentés comme plus performants à des « températures marginales » :

« Cette année, la saison démarre dans des conditions incroyables. Les températures constatées début décembre à 1500 m d'altitude en Espagne sont proches de 10°C, elles varient en France et en Italie autour de 5°C. Dans ces conditions, il s'avère impossible pour la plupart des stations de mettre en route leurs installations de neige de culture pour garantir un enneigement suffisant en début de saison » (Montagne Leaders, 2007, p. 102).

Depuis 1995, les installations d'enneigement de Courchevel ont fonctionné en moyenne 1500 heures par saison (données transmises par ODIT France, 2009). En pratique, jusqu'à aujourd'hui, même si d'autres incertitudes de production de neige ont été connues du fait de la douceur des températures (par exemple au début de la saison 2009-2010¹), le quota d'heures de froid nécessaire à la réalisation de l'ensemble des campagnes d'enneigement a toujours été atteint à la fin de chaque saison. Qu'en sera-t-il demain ?

CONCLUSION DU CHAPITRE 7

En 27 ans de développement, l'installation d'enneigement de Courchevel - La Tania couvre désormais une large part du domaine skiable : du sommet au pied des pistes, **un réseau de plus de 520 enneigeurs, relié à 3 retenues d'altitude**, mobilisera vraisemblablement à terme un volume de plus de 700 000 m³ d'eau. Le savoir-faire de l'opérateur du domaine skiable en matière de production de neige est sans conteste.

La dernière réalisation de la station, la retenue de l'Ariondaz (2007), est un ouvrage majeur à plusieurs niveaux. D'abord, du point de vue de l'opérateur, il se révèle être un outil important pour la gestion de l'enneigement sur les différentes pistes du domaine. Le développement régulier du réseau de production de neige a généré le besoin de cet ouvrage. En retour, il permet à nouveau à l'exploitant d'étendre son réseau.

Ensuite, il s'agit d'une infrastructure dont le chantier fut, en valeur absolue, colossal ; le nombre et la dimension des engins de chantier qui se sont afférés à cette réalisation en témoignent. Si le projet n'a pas fait l'unanimité pour des problématiques environnementales avant sa réalisation, l'intégration paysagère de cet ouvrage est aujourd'hui soignée. Néanmoins, il participe à la poursuite de l'artificialisation de l'espace compris dans les limites du domaine skiable.

Enfin, c'est un ouvrage multi-usage. Il alimente en effet, dans une petite proportion, le réseau d'eau potable de la commune de Saint-Bon-Tarentaise. Cette caractéristique a certainement dû servir l'obtention de l'autorisation du projet, l'alimentation en eau potable des populations étant une priorité publique.

Au sujet de l'eau potable, il faut noter le bilan « besoins / ressource » déficitaire de la commune dans la perspective du développement de la station. Ce développement a conduit à de nouveaux besoins qui, pour être satisfaits, ont motivé le projet de l'Ariondaz.

Au regard de notre analyse de la situation de Courchevel, **les impacts hydrologiques de la production de neige sont de deux ordres. Qualitativement d'une part**, le transfert des eaux sulfatées de la Rosière vers d'autres bassins versant peut influencer, en situation défavorable, sur la qualité des eaux de captages situés à proximité des pistes enneigeables. Identifié par l'opérateur, cet impact est relatif et acceptable sur les captages étudiés au regard des normes à respecter. **Quantitativement d'autre part**, les prélèvements d'eau modifient localement le régime des écoulements des torrents sollicités : l'eau est prélevée, déplacée d'un bassin élémentaire à un autre, puis restituée à la fonte. Les prélèvements pour la production de neige représentent environ 3% des écoulements totaux du torrent de la Rosière correspondant aux débits mensuels minimaux de période de retour 10 ans. Les écoulements restants, dans la limite du débit réservé du torrent (121 l/s), sont disponibles pour la production d'hydroélectricité ; ceux-ci sont en effet sollicités par EDF.

En s'appuyant sur les possibilités de dérivations d'eau pour d'autres usages que permet le cahier des charges de la concession hydroélectrique de la chute de Bozel, le remplissage de la retenue de l'Ariondaz se fera, à terme, depuis la retenue de La Rosière. Cela reste néanmoins aujourd'hui impossible du fait des sédiments qui combrent le lac. En attendant, un accord passé entre la Société des 3 Vallées et EDF autorise des prélèvements depuis les volumes normalement destinés à la production d'hydroélectricité.

Ces réalités locales des enjeux liés au partage de la ressource montrent bien la résilience du système d'arbitrage entre les différentes utilisations anthropiques de l'eau sur une commune de montagne, support d'une station de sports d'hiver et d'une usine de production d'hydroélectricité. **Au fil du temps, une sorte de concertation empirique a permis la satisfaction des usages de chaque utilisateur de l'eau.** On peut d'ailleurs noter que l'arrêté préfectoral pris pour l'autorisation de la retenue de l'Ariondaz intègre tous les usages de l'eau dans le corps de son texte : production de neige bien sûr mais également eau potable et hydroélectricité. Finalement, la globalité de ces besoins en eau, toujours croissante, ne semble jusqu'à présent pas avoir conduit à de réelles situations de pénurie, compte tenu de la disponibilité actuelle de la ressource et des moyens techniques importants mis en œuvre par les uns et les autres. Quels éléments pourraient déséquilibrer le fonctionnement de ce système ?

Notre analyse des évolutions climatiques à Courchevel - La Tania montre une petite baisse des précipitations totales et une diminution du couvert neigeux. En l'état des méthodologies prospectives disponibles, le domaine skiable de Courchevel - La Tania se trouverait suffisamment haut en altitude pour que son exploitation ne soit pas affectée par cette raréfaction de la ressource neige. Enfin, du point de vue des potentialités thermiques pour la production de neige, malgré quelques débuts de saison délicats, les campagnes d'enneigement de la station ont *in fine* toujours pu être menées à bien.

A la lecture de l'ensemble de ces éléments, une question demeure : quelle échelle de temps considérer pour questionner la durabilité du système en place ? Nous ne sommes évidemment pas les premiers à interroger cette complexité. En 1978 et en conclusion de son livre « *Saint-Bon-Courchevel - De la cellule rurale à la station-phare* », L. Chavoutier (*op. cit.*) écrivait ces lignes, finalement intemporelles :

« Notre regard embrasse ces terres saint-bonnaises qui procurent tant de joies. [...] Regard satisfait sur le travail bien léché des glaciers de l'ère quaternaire. Regard inquiet sur les profonds chenaux d'écoulement creusés par les ruisseaux du Verdon et des Gravelles et, de l'autre côté de Moriond, par la torrentueuse Rosière, trois ravins dont les flancs abrupts donnent le frisson des pistes noires. Nature immuable et vivante, où toutes les mutations se sont réalisées à l'échelle intemporelle de l'univers minéral, sur des millions d'années. [...]

Précautionneuse pendant des siècles, l'emprise humaine se fait brutale et audacieuse, rapide et dévorante. Le paysage porte les cicatrices de cette humanisation accélérée qui aboutit, en un quart de siècle, à changer un décor planté il y a 150 millions d'années... » (Chavoutier, 1978, p. 119 et 120).

CONCLUSION DE LA TROISIÈME PARTIE

De l'analyse détaillée des trois terrains d'étude, on peut en retenir des enseignements importants, nécessaires à une démarche comparative. Ces enseignements sont d'ailleurs à lire considérant les points de vue des parties prenantes que nous développons dans notre quatrième chapitre. Des points de convergence et de divergence peuvent être mis en évidence. Nous les avons réunis en quatre points : l'évolution des équipements, les impacts hydrologiques, les acteurs et les évolutions climatiques.

• **En termes d'évolution des équipements**, tous les domaines skiables étudiés ont connu un développement régulier et important de leurs installations. Sur chaque domaine, les installations d'enneigement ont fait leur apparition au pied des pistes, pour garantir le retour aux stations (ski au pied), il y a près de 30 ans pour Orcières-Merlette, 31 ans pour Villard-de-Lans et 37 ans pour Courchevel. Depuis, les installations d'enneigement se sont étendues en altitude, vers l'amont des domaines, jusqu'à en toucher parfois leur sommet (figure III.1).

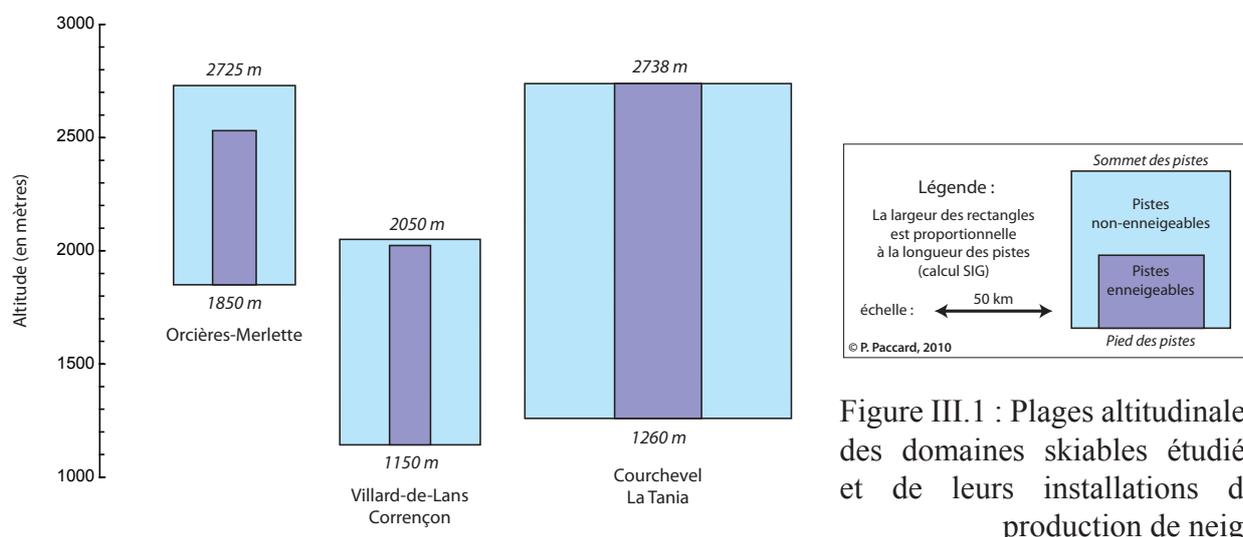


Figure III.1 : Plages altitudinales des domaines skiables étudiés et de leurs installations de production de neige

Pour Orcières-Merlette et Courchevel, le « temps » de la neige de production représente désormais les 2/5 de l'histoire de la station. A Villard-de-Lans, où elle a fait son apparition le plus tôt, la production de neige représente la moitié de l'existence de la station (1^{er} téléski en 1951). Si l'on excepte le secteur de Corrençon (non équipé pour des raisons d'échéance de la délégation de service public établie entre la commune et l'exploitant), c'est également à Villard-de-Lans que la proportion des pistes équipées est la plus grande : d'après nos calculs, 44% du linéaire des pistes équipées sur le secteur de Villard (contre 29% sur l'ensemble du domaine, secteur Corrençon compris), 36% à Orcières-Merlette et 33% à Courchevel - La Tania. Toutes les stations étudiées ont encore des projets de développement de leurs installations : extensions de réseaux mineures à Orcières-Merlette et Courchevel, importantes à Corrençon si le projet se confirme (retenues supplémentaires ?) et rehausse du lac des Estaris à Orcières-Merlette. En fait, par rapport à des contextes territoriaux différents, la similitude des stratégies employées interpelle.

A Villard-de-Lans comme à Courchevel - La Tania, les retenues d'altitude représentent un outil important dans le fonctionnement de l'installation d'enneigement. Elles permettent de constituer des stocks qui seront disponibles instantanément pour la production de neige. Dans le même

temps, ce sont des ouvrages nécessitant des travaux de génie civil très importants, en particulier de terrassement. Orcières-Merlette ne possède pas de retenue mais exploite le lac des Estaris comme telle. Ce lac a permis à la station de se passer de ce type d'investissement.

• **Sur nos trois terrains d'étude, les impacts hydrologiques de la production de neige sont locaux, identifiables sur les petits cours d'eau sollicités.** Ils résultent de prélèvements transformés en neige, puis restitués au réseau hydrographique à la fonte, parfois sur un autre bassin versant élémentaire. Entre le point de prélèvements et la réception (diffuse) des eaux de fonte, un tronçon de ces petits cours d'eau est court-circuité. Il en est de même pour Villard-de-Lans où l'eau est restituée au karst *via* les infiltrations.

En valeur absolue, les volumes prélevés sont importants : environ 400 000 m³ à Courchevel - La Tania, 300 000 m³ à Orcières-Merlette et 200 000 m³ à Villard-de-Lans. En valeur relative, ces résultats diffèrent selon l'échelle d'analyse retenue. En effet, à l'échelle des petits bassins concernés (moins de 10 km²), ces prélèvements représentent une part importante des écoulements à l'étiage hivernal. A une échelle plus régionale, dès lors que l'on compare les volumes en jeu sur un bassin versant plus grand (plus de 50 km²), les prélèvements (et restitutions) ne sont plus significatifs dans le régime des écoulements. Pour appréhender les impacts des prélèvements sur le régime des écoulements, **l'échelle d'analyse pertinente reste celle des petits bassins versant élémentaires**, qu'ils soient superficiels ou souterrains.

Les retenues d'altitude, si elles permettent d'étaler dans le temps les prélèvements réalisés (effet tampon), déplacent pour leur part la question des impacts sur un autre plan, celui du terrassement des sols à leur emplacement.

Enfin, nos recherches confirment avec certitude la non-utilisation d'adjuvants mélangés à l'eau pour la production de neige. Il n'en reste pas moins que la question de la qualité de l'eau utilisée reste posée, celle-ci pouvant avoir des incidences sur les captages situés à proximité des pistes enneigées. Les trois terrains d'étude traitent de ce sujet et sont engagés dans une réflexion visant à protéger la qualité de la ressource.

• **En termes d'acteurs**, dans chacune des situations étudiées, les opérateurs du domaine skiable discutent avec le gestionnaire de l'eau potable (qu'il soit une régie communale ou un privé délégataire du service) car leurs usages de l'eau sont en interaction. Aucun conflit d'usage n'a été constaté, même à Villard-de-Lans où 100% de l'eau utilisée pour l'enneigement provient du réseau d'eau potable communal. Par ailleurs, si toutes les communes soutiennent les projets d'enneigement, l'implication communale dans la gestion du domaine skiable semble être plus forte à Orcières-Merlette (celle-ci est certainement liée à l'historique et au mode de gestion de la station).

Dans ce jeu d'acteur, EDF est très présent, à Villard-de-Lans comme à Courchevel, des volumes d'eau étant dérivés depuis le réseau hydroélectrique.

Pour faire face à des besoins globaux toujours croissants, les acteurs de l'eau potable et de la production de neige se sont associés, à Orcières-Merlette comme à Courchevel, pour la mise en œuvre d'un projet commun de renforcement de la disponibilité en eau. Celui-ci impliquerait probablement à Orcières-Merlette le déclassement d'une partie de la réserve naturelle des Estaris, acte fort allant à l'encontre d'une politique de préservation des milieux naturels¹.

¹ Ce déclassement d'un site naturel au regard d'un projet d'enneigement n'est pas le seul envisagé dans les Alpes : M. Badré *et al.* rapportent un exemple similaire en page 71 de leur rapport (2008).

Il faut noter à ce sujet que tous les SDAEP consultés (Corrençon, Saint-Bon et Orcières) révèlent des situations déficitaires en eau potable à l'étiage, à court ou moyen terme, du fait de nouveaux projets d'urbanisme. Ces documents sont d'excellents outils de gestion de l'eau puisqu'ils permettent d'avoir une vision d'ensemble et prospective des besoins et des ressources disponibles. Il n'existe pas aujourd'hui d'équivalent pour la production de neige (les projets se font petit à petit et il reste difficile d'avoir une vision d'ensemble sur le long terme).

Globalement, sous une forme de concertation empirique, la résilience des systèmes existants a permis la mise en place de solutions techniques élaborées pour accroître la disponibilité de l'eau chaque fois que des besoins se sont fait sentir. De ce fait, jusqu'à présent, il n'y a jamais eu de réelle situation de pénurie et de crise. La ressource ayant des limites finies, la question de la durabilité de ce mode de fonctionnement se pose.

• **Pour ce qui est des évolutions climatiques**, les trois terrains confirment les tendances constatées à des échelles plus larges. Les températures moyennes hivernales se réchauffent et les cumuls annuels de neige fraîche diminuent. Une diminution de la pluviométrie hivernale (pluie et neige confondues) est également constatée à Courchevel comme à Orcières. A Villard-de-Lans, les précipitations hivernales totales apparaissent « stables » de manière cumulée.

Si l'on se réfère aux projections aujourd'hui proposées en termes de fiabilité de l'enneigement pour l'exploitation d'un domaine skiable, les situations des trois terrains d'étude sont différentes de par leur différence d'altitude. Le domaine skiable de Courchevel - La Tania se développe à une altitude suffisante pour être protégé d'un déficit de neige d'après les scénarii envisagés.

A Orcières-Merlette, l'enneigement du pied des pistes pourrait être incertain à l'horizon 2100. Mais à l'échéance de 90 ans, quelles sont les incertitudes des scénarii aujourd'hui envisagés ? De plus, quelle sera l'offre touristique proposée ? La demande de la clientèle ?

C'est à Villard-de-Lans que l'enneigement, tant du point de vue des hivers passés que de celui des projections climatiques, semble être le plus contraint. Paradoxalement, c'est également à Villard-de-Lans que la production de neige « s'affiche » le plus. Le nombre d'enneigeurs du domaine est l'un des éléments centraux du plan des pistes de la station. Villard-de-Lans est également la première des trois stations à s'être équipée d'installations d'enneigement ; sans tenir compte du versant de Corrençon, elle est la plus équipée proportionnellement à son linéaire de pistes. Stratégie de l'opérateur initialement et légitimement dédiée à sécuriser un produit touristique vis-à-vis de la variabilité interannuelle des précipitations neigeuses, qu'en est-il désormais, compte tenu de l'évolution du climat ?

Enfin, le cumul annuel des potentialités de froid nécessaires à la production de neige a jusqu'à présent toujours été suffisant pour conduire les différentes campagnes d'enneigement sur chacun des terrains d'étude. Des difficultés de production de neige en début de saison se sont cependant fait sentir, du fait de températures trop clémentes. Ce constat invite à l'étude rigoureuse du « potentiel froid » actuel et futur de chaque nouveau site en projet, afin de ne pas se tromper dans les choix d'investissement.

Focalisant l'attention sur ces trois terrains d'étude, aurions-nous oublié des éléments importants à considérer pour répondre à notre problématique ? La contextualisation de ces situations particulières est justement l'objet du chapitre suivant.

Quatrième partie

**PRODUIRE DE LA NEIGE,
GÉRER L'EAU ET LES TERRITOIRES DE MONTAGNE :**

**MISE EN PERSPECTIVE,
ESSAI DE PROPOSITIONS CONSTRUCTIVES**

QUATRIÈME PARTIE - PRODUIRE DE LA NEIGE, GÉRER L'EAU ET LES TERRITOIRES DE MONTAGNE :

MISE EN PERSPECTIVE, ESSAI DE PROPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Cette dernière partie de notre travail poursuit deux objectifs.

Le premier est de **pouvoir replacer les études de cas dans un contexte régional, voire national**. Il s'agit par là d'embrasser un territoire plus vaste pour s'assurer de la représentativité des situations que nous venons de détailler. De prime abord, rien en effet ne nous garantit que les trois situations étudiées et, surtout, que les éléments de conclusion que nous venons d'en tirer ne soient pas des cas particuliers à partir desquels aucune généralisation n'est possible. Ainsi, c'est à un nouveau changement d'échelle que nous invitons le lecteur, passant du niveau micro de la partie précédente à un niveau macro dans cette partie, ceci dans le souci d'articuler le local et le global et d'éprouver l'« universalité » des conclusions de nos études de cas.

Le second objectif est de **vérifier les questions et hypothèses posées en entrée de notre travail**. C'est pourquoi, nous reviendrons sur la problématique formulée au début de notre étude : **la production de neige en stations de sports d'hiver peut-elle s'insérer dans un modèle de gestion durable de la ressource en eau ?** Telle que nous définissions la gestion durable de l'eau pour la production de neige, nous apporterons des éléments de réponse à la question conciliation des usages et des milieux puis à celle de la durabilité du modèle de développement touristique des sports d'hiver dans le contexte de réchauffement climatique.

Nous le verrons, pour continuer à cheminer vers une gestion durable de l'eau, passant par celle de l'aménagement des territoires, un certain nombre de démarches nous semble pouvoir être mis en œuvre. En s'appuyant sur des initiatives novatrices, voire pilotes, nous formulerons un essai de propositions constructives. Celles-ci sont destinées à contribuer à l'amélioration des modes de gestion de l'eau et des territoires de montagne.

CHAPITRE 8 - MISE EN PERSPECTIVE : UN ÉCLAIRAGE PAR LA SITUATION DES DEUX SAVOIE

La situation des stations des deux départements savoyards est retenue pour la mise en perspective des résultats obtenus à partir de l'étude de contextes locaux. Ce choix tient à deux raisons particulières.

La première est **le poids très important que représente la centaine de stations de ces deux départements au regard de l'offre française et de son économie**. En 2008-2009, sur les 100 premiers chiffres d'affaires des opérateurs de domaines skiables français, la moitié sont savoyards et haut-savoyards. Sur cet ensemble des 100 premiers opérateurs (dont font partie les opérateurs des études de cas), les stations des deux Savoie représentent 68% du chiffre d'affaires total, 54% du nombre de pistes, 55% du nombre de remontées mécaniques et 62% du nombre de journées skieurs (données *in* Montagne Leaders, 2009, p. 55). Les départements de Savoie et de Haute-Savoie représentent sans conteste la première offre touristique hivernale de France. Ils concentrent ainsi tous les enjeux relatifs aux sports d'hiver, justifiant notre choix.

De façon beaucoup plus pragmatique, **c'est également sur ce territoire que nous possédons le plus d'informations relatives au sujet proposé**. Les informations que nous rapporterons sont issues de deux démarches différentes : l'une relève d'investigations conduites en toute autonomie, l'autre d'une participation (sur une durée d'un an) à un groupe de travail interservices de l'Etat sur la « question » de la production de neige¹. Rassembleur de l'ensemble des éléments de connaissances et d'analyses sur le sujet, puis rédacteur du rapport final issu de la réflexion de ce groupe de travail, c'est en partie grâce à cette expérience que nous pouvons proposer cet éclairage.

Néanmoins, et cela est un point important, nous ne nous limiterons pas exclusivement à ce périmètre d'étude : **nous replacerons notre réflexion dans un contexte régional voire national les résultats de nos investigations à l'échelle des deux Savoie**, selon la disponibilité des données.

La réflexion que nous proposons s'articulera en deux temps: un premier est consacré à la dimension de la production de neige et de l'eau, un deuxième à la dimension de la neige et du réchauffement climatique. Nous retrouvons ici les deux volets de notre problématique générale : concilier la production de neige, les autres usages de l'eau et les milieux d'un côté, penser la durabilité du modèle de développement touristique dans le cadre des évolutions climatiques de l'autre.

¹ Le rapport publié à cette occasion (DDEA 73 et EDYTEM., 2009), en particulier les chapitres consacrés à l'eau et au changement climatique, a servi de trame pour guider la rédaction de la partie présentée ici. Il faut préciser que ce rapport, intitulé « *Gestion durable des territoires de montagne - La neige de culture en Savoie et Haute-Savoie* », comporte de nombreux autres éléments, en particulier relatifs aux enjeux socio-économiques de la production de neige.

1. LA PRODUCTION DE NEIGE ET L'EAU : BESOINS, MODES D'ALIMENTATION ET IMPACTS

Nous l'avons vu, *via* la production scientifique et les rapports disponibles, les enjeux environnementaux de la production de neige dans le périmètre des domaines skiables ne relèvent pas que de l'eau ; elle interfère aussi avec la gestion et la protection de la faune, de la flore, du paysage, la consommation énergétique, etc. Ne pouvant traiter l'ensemble de ces items, nous concentrons nos propos sur les interactions entre cette pratique et l'eau.

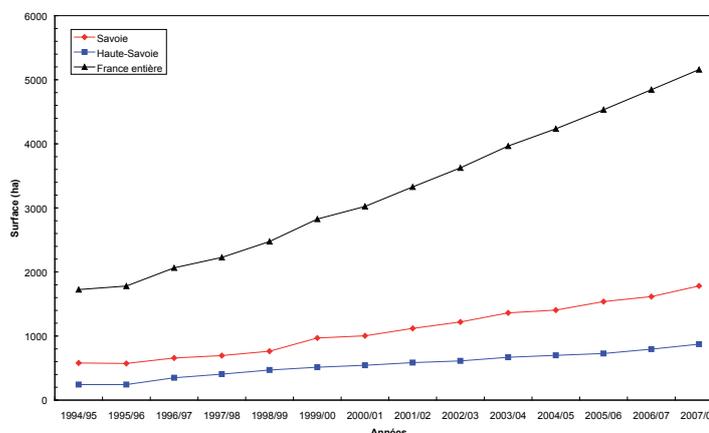
Le code de l'environnement régit l'ensemble des prélèvements d'eau dans les milieux naturels, dont les prélèvements pour la production de neige. Ces prélèvements doivent également respecter les dispositions prises dans le cadre des documents de planification de la gestion de l'eau (SDAGE et SAGE ; cf. chapitre 3). Malgré cette législation, **la capacité naturelle des sites reste difficile à évaluer dans leur ensemble** : quel niveau de pression est acceptable sur l'hydrosystème d'un grand bassin versant de montagne ou sur un aquifère souterrain sur lesquels on dispose de peu de données hydrologiques ? De cette incertitude découlent des difficultés à apprécier les incidences tant qualitatives que quantitatives des projets sur la ressource en eau, et cela sur le long terme. Les paragraphes suivants proposent des éléments d'appréciation, d'ordre quantitatif et qualitatif, pour essayer de répondre à cette problématique.

1.1. Des besoins en eau toujours croissants

1.1.1. Evolution des surfaces équipées

Les surfaces de pistes équipées d'installations d'enneigement sont en constante progression depuis la saison 1994-1995 (figure 8.1)². Elles sont plus importantes en Savoie qu'en Haute-Savoie : 1 783 ha en Savoie et 874 ha en Haute-Savoie contre 5 160 ha à l'échelle de la France entière (saison 2007-2008). La croissance des surfaces équipées, moins rapide à l'échelle des deux Savoie qu'à l'échelle nationale, sous-tend que les autres massifs investissent plus vite dans ces infrastructures.

Figure 8.1 : Evolution des surfaces équipées (en ha) d'installations d'enneigement en Savoie et Haute-Savoie depuis la saison 1994-1995 (d'après les données transmises par Atout France, 2009)



²

Nous rappelons qu'Atout France est une nouvelle structure, regroupant depuis 2009 les anciennes activités d'ODIT France (ODIT France n'existe plus aujourd'hui). Atout France ou ODIT France, ce sont bien les mêmes personnes que nous avons sollicitées pour obtenir des informations intéressant notre recherche. Bien qu'issues des mêmes bases, nous mentionnerons « ODIT France » pour des données antérieures à 2008, « Atout France » dans le cas contraire.

1.1.2. Evolution des volumes d'eau mobilisés

Nous rappelons qu'en moyenne **1 m³ d'eau est nécessaire à la production de 2 m³ de neige**. Cette quantité d'eau peut varier, dans une petite proportion, en fonction de la qualité de la neige recherchée : « neige mouillée » dont la teneur en eau sera supérieure à une « neige sèche ». Il est possible de régler cette qualité de neige sur les installations d'enneigement mais en dépit de ces possibilités, le ratio d'1 m³ d'eau pour 2 m³ de neige reste toujours communément admis (50% d'air serait donc « emprisonné » dans un volume de neige de production).

Fort de cette donnée, la quantité d'eau théorique³ nécessaire à la production de 70 cm de neige sur 1 hectare est exactement de 3500 mètres cube.

Cette donnée théorique se vérifie sur terrain. Les nivoculteurs confirment en effet la réalisation, en moyenne, de deux campagnes d'enneigement d'environ 30 à 40 cm chacune par saison. Ils recourent les retours au questionnaire envoyé par ODIT France à l'ensemble des opérateurs de domaines skiables chaque saison. Sur l'ensemble des domaines skiables, le ratio « volume d'eau transformée en neige / surface enneigée » donne un résultat compris entre 3000 et 4000 m³ d'eau par hectare (figure 8.2).

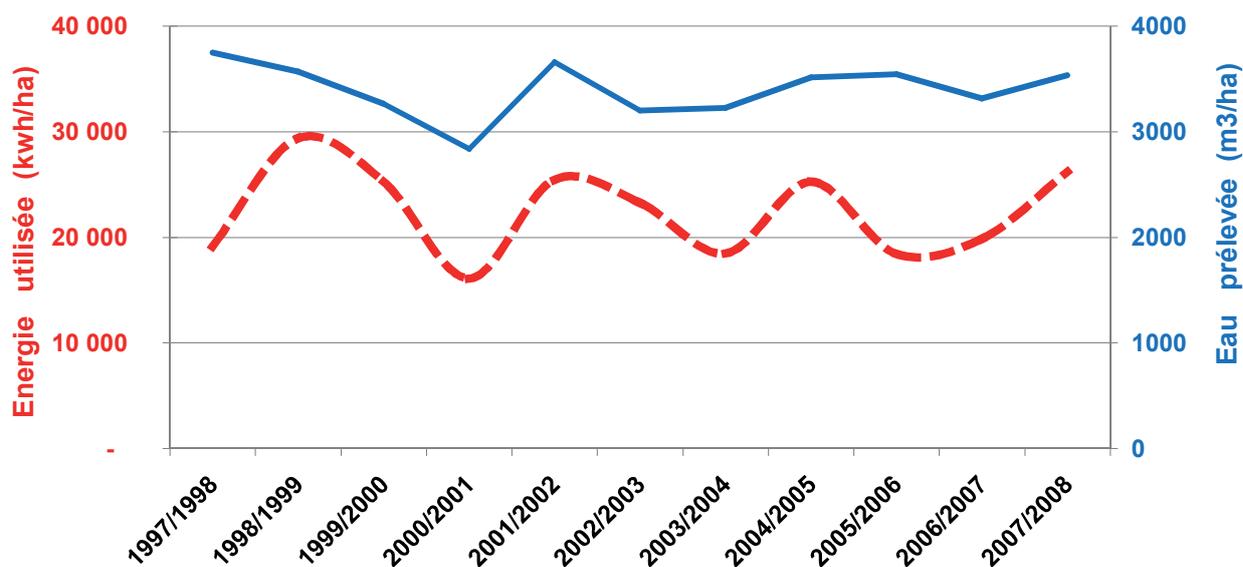


Figure 8.2 : Evolution des volumes d'eau, rapportés à l'hectare, prélevés puis transformés en neige chaque saison sur l'ensemble des stations françaises (extrait de Michou, 2009). *Figure également sur ce graphique la quantité d'énergie moyenne, rapportée à l'hectare, que nécessite la production de neige chaque saison. Elle suit globalement la courbe des volumes d'eau prélevés, correspondant en fait à l'épaisseur de neige produite chaque saison.*

³ 1 ha = 10 000 m²
 10 000 m² x 0,70 m de neige = 7 000 m³ de neige
 1 m³ d'eau = 2 m³ de neige donc 7 000 m³ de neige = 3500 m³ d'eau

Un hectare à enneiger nécessitant 3500 m³ d'eau, la croissance des surfaces équipées conduit évidemment à **l'augmentation des volumes prélevés** (figure 8.3). En 2007, 4 821 milliers de m³ 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 m³ pour le département de la Haute-Savoie (10 774 m³ pour l'ensemble du bassin Rhône Méditerrané et Corse⁴).

Les résultats de l'enquête annuelle d'ODIT France indiquent que 9 millions de m³ ont été mobilisés pour la production de neige pour la saison 2006-2007 à l'échelle des Alpes contre 16 millions de m³ à l'échelle nationale.

Si l'on s'en tient aux données d'ODIT France, le rythme de croissance des prélèvements en eau à l'échelle nationale est de 990 000 m³ supplémentaires chaque année.

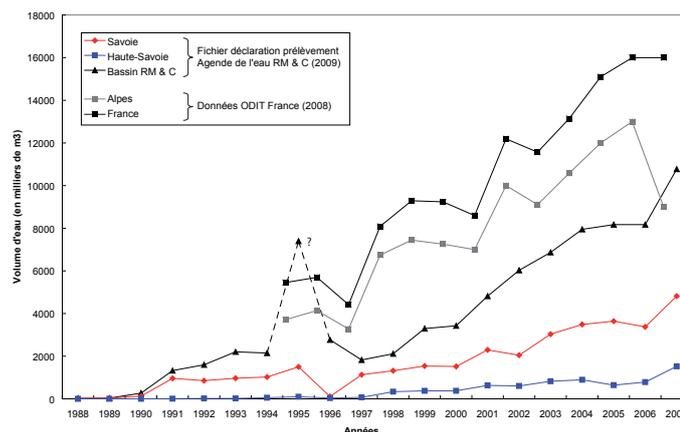


Figure 8.3 : Evolution des volumes d'eau mobilisés (en milliers de m³) pour la production de neige en Savoie et Haute-Savoie depuis 1988 (D'après les données du fichier « déclaration des prélèvements » de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, 2009, et les données transmises par ODIT France, 2008).

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 un point d'interrogation est relevée en 1995 pour la donnée « Bassin RM & C ».

La confrontation de ces différentes sources de données et la lecture des tendances rendent bien compte de la réalité des comptages des prélèvements en eau pour la production de neige. **Si l'ordre de grandeur est connu, il n'existe cependant pas de données d'une précision sans faille** sur ces prélèvements. Badré et al. (2009) relèvent cet élément en expliquant que « les agences de l'eau ne cernent que partiellement les prélèvements » (p. 28).

Pour prendre un exemple concret, 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 : celui-ci comprend les stations de ski des Alpes, de Corse et certaines des Pyrénées. Ce n'est globalement pas le cas, sauf pour l'année 2006-2007. Les seuils de perception de la redevance « prélèvement » des agences de l'eau (10 000 m³), sur la base desquelles les volumes prélevés sont comptabilisés, ne peuvent pas expliquer l'entière de cette différence. S'agit-il d'un déficit de déclaration des volumes effectivement prélevés ?

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

1.2. Typologie des modes 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 (figure 8.4). Ces différents modes peuvent être classés du moins au plus impactant pour les régimes hydrologiques et les milieux naturels :

- 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** (réseau ou trop-plein) ;
- **prélèvement direct dans les eaux de surface** (ou souterraines).

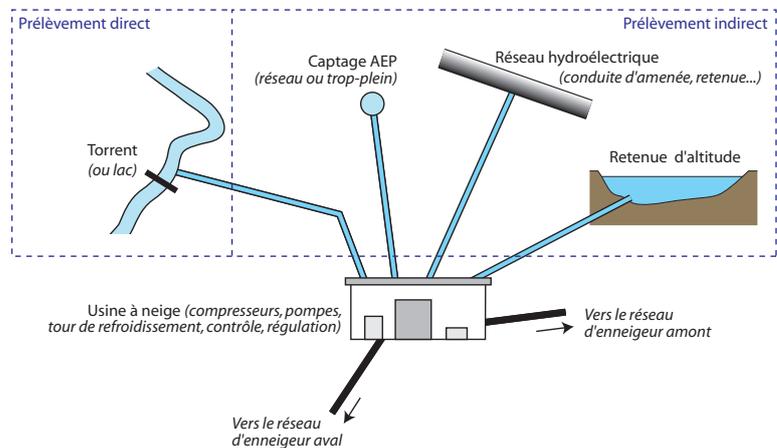


Figure 8.4 : Les principaux modes d'alimentation en eau d'une installation d'enneigement artificiel (d'après Marnézy et Rampnoux, 2006, modifié). *La distinction est faite entre les prélèvements directs dans les eaux de surface (à notre connaissance, il n'existe pas de prélèvement direct dans des eaux souterraines pour l'alimentation d'une usine à neige) et les prélèvements indirects depuis un autre aménagement.*

Il ne faut pas oublier que, quel que soit le mode d'alimentation indirect, il y a évidemment toujours un prélèvement sur le milieu naturel en amont du réseau (prélèvement des eaux d'un torrent pour alimenter, par exemple, une retenue d'altitude).

L'enquête annuelle d'Atout France propose une répartition des surfaces enneigées selon le mode d'alimentation en eau des installations d'enneigement (figure 8.5). Les données utilisées pour conduire au résultat présenté nous ont été communiquées et sont à notre connaissance les seules qui existent en la matière. Elle précisent le type d'alimentation en eau de chaque installation d'enneigement française.

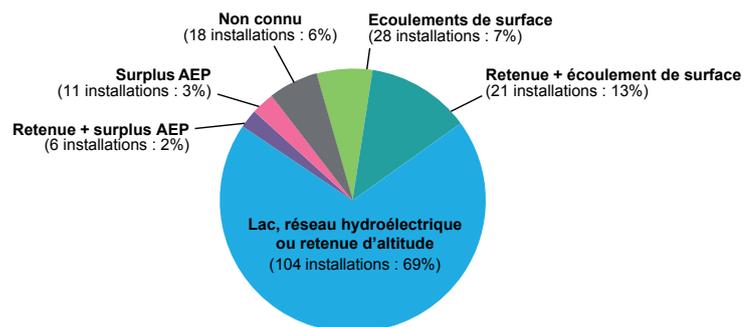


Figure 8.5 : Répartition des surfaces enneigées en France selon leur mode d'alimentation en eau (d'après les données transmises par Atout France, 2009). *Il faut noter que la proportion des surfaces enneigées en Savoie et Haute-Savoie selon leur mode d'alimentation en eau suit exactement la répartition ci-dessus, présentée à l'échelle nationale.*

Cette répartition montre le **poids important que représentent les retenues d'eau dans les dispositifs d'alimentation.**

Néanmoins, la typologie d'Atout France ne permet pas de distinguer :

- dans la catégorie « surplus AEP » ce qui relève de trop-pleins d'alimentation en eau potable ou de réels abonnements au service de distribution d'eau potable ;
- dans la catégorie « lac, réseau hydroélectrique ou retenue d'altitude » ce qui relève respectivement de ces trois types de prélèvement différents.

De même, la typologie proposée ne permet pas de faire la distinction des différentes provenances possibles de l'eau pour le remplissage des retenues d'altitude (réseau hydroélectrique, réseau AEP, écoulements de surface...). Globalement, des données plus précises permettraient d'améliorer la connaissance des différentes provenances de l'eau, préalable à une gestion efficace de l'eau et de ses usages. Certaines ont été recueillies dans le cadre de cette recherche et seront présentées dans les paragraphes suivants.

1.2.1. Produire de la neige depuis un réseau d'alimentation en eau potable

Il s'agit principalement en Savoie et Haute-Savoie de capter des trop-pleins de réservoirs (figure 8.6). **Le risque de conflit d'usage entre l'eau potable et la production de neige à la défaveur de l'alimentation des populations est de ce fait fortement atténué, voire nul, dans l'état actuel des ressources disponibles.**

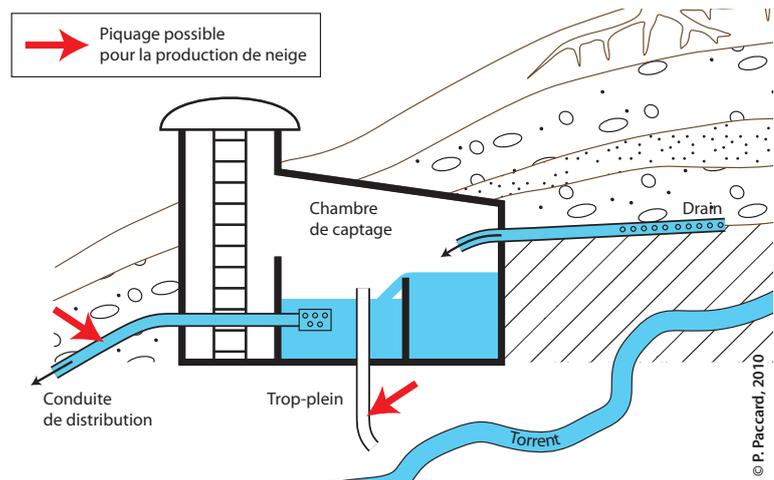
Néanmoins, l'eau issue des trop-pleins de réseaux d'eau potable et mobilisée pour la production de neige représente des volumes qui ne retourneront pas au milieu naturel dans l'immédiat. Par ailleurs, **les réseaux d'eau potable et de production de neige ne sont pas systématiquement séparés** : les installations de production de neige peuvent être directement branchées sur les conduites de distribution. L'opérateur du domaine skiable est alors abonné au service de distribution, au titre d'utilisateur « industriel » de la ressource. Toutes les parties doivent dans ce cas rester vigilantes par rapport à la répartition des ressources en eau : la priorité doit évidemment toujours être donnée à l'alimentation en eau des populations.

Trois remarques peuvent être formulées pour poursuivre cette réflexion. **Tout d'abord, les volumes d'eau potable utilisés pour la production de neige (trop-pleins ou conduites de distribution) ne sont pas connus des services de l'Etat, en Savoie et Haute-Savoie comme à l'échelle nationale.** Seuls les opérateurs de domaines skiables et les services de distribution (régies ou délégataires) les connaissent. Il n'existe pas de service centralisant ces données, ce qui est à regretter du point de vue de la connaissance. M. Badré *et al.* (2009) formulent la même remarque dans leur rapport (p. 29).

Ensuite, il convient de rappeler que **les opérateurs de domaines skiables, par l'intermédiaire de leur représentation syndicale, ont réaffirmé l'évidence de la priorité qui doit être donnée à l'alimentation en eau potable.** La « *Charte nationale en faveur du développement durable dans les stations de montagne* » signée en 2007 par l'Association Nationale des Maires des Stations de Montagne (ANMSM) et le Syndicat National des Téléphériques de France stipule, en effet qu'il s'agit de « *Donner la priorité à la consommation d'eau potable avant toute utilisation pour la production de neige* » (ANMSM, 2007, p. 18).

Enfin, en Savoie ou Haute-Savoie, dans la limite des connaissances acquises, **un seul véritable conflit avéré semble avoir opposé la production de neige à l'alimentation en eau potable sur une commune de montagne**. Il s'agit de la commune des Gets (Chablais, Haute-Savoie), dont la situation de pénurie en eau au début de l'hiver 2007 a conduit la municipalité à devoir arbitrer entre ces deux usages, issus d'une même source d'alimentation. La production de neige a été stoppée, entraînant la démission du Directeur de la société exploitant le domaine skiable (figure 8.7).

Figure 8.6 : Schéma de principe des prélèvements d'eau pour la production de neige depuis un réseau d'alimentation en eau potable. Deux cas doivent être distingués. Lorsque les prélèvements se font depuis un trop-plein (premier cas de figure), il n'y a aucun risque de conflit d'usage entre l'AEP et la production de neige ; les trop-pleins ne sont « actifs » que lorsque le réseau d'eau potable est en « surproduction », correspondant



en station aux périodes de faible affluence touristique. Les écoulements prélevés représentent néanmoins un volume d'eau qui ne retournera pas immédiatement aux écoulements des torrents puisque transformé en neige. Lorsque l'installation de production de neige est « branchée » directement sur le réseau de distribution d'eau potable (deuxième cas de figure), l'opérateur du domaine skiable doit être abonné au service de distribution. Le risque de conflit d'usage est théoriquement plus important. Les modalités de prélèvement doivent être précisément définies entre le gestionnaire du service de distribution de l'eau et le producteur de neige pour éviter tout risque de production de neige au détriment de l'alimentation en eau potable des populations.

Figure 8.7 : Un exemple d'arbitrage entre l'eau potable et la production de neige, à la faveur de l'alimentation en eau potable, rapporté par la presse locale (Le Messager du Chablais, 1^{er} février 2007 ; cité in Gauchon, 2009, p. 203). Les difficultés de la commune des Gets du point de vue de l'eau sont connues. Pour faire face à des situations de pénurie en eau, la municipalité d'A. Boulogne (maire des Gets de 2001 à 2008) avait contraint le développement urbanistique de la commune en gelant les autorisations de permis de construire. Edité par la commune, un dépliant de 7 pages argumentait cette décision : « L'eau aux Gets, faire face à une situation de crise » (Mairie des Gets, 2005). La municipalité a changé suite aux élections de mars 2008 ; les autorisations de permis de construire ont repris.

LES GETS

Démission du président-directeur de la Sagets

L'eau, encore et toujours, semble être au cœur du problème.

Le 22 décembre, le maire des Gets recevait la démission de Jean-Michel Baud. La question a ressurgi lors du dernier conseil municipal de janvier : « On est les derniers informés », avouaient les conseillers qui auraient apprécié que le démissionnaire leur expose ses motifs lors du conseil du 21 décembre puisque cette fameuse lettre était déjà postée et qu'il était présent...

Qu'en dit l'intéressé ? Interrogé, il n'a pas jugé bon de s'exprimer dans les colonnes de notre journal.

Quoi qu'il en soit, signalons que lors du dernier conseil municipal, il était fait allusion au « manque d'ouverture de la part de certains responsables, ce qui n'aurait pas permis de produire toute la neige de culture nécessaire dans le contexte de manque de neige du début de saison. Selon M. Baud, ce fut le cas le 21 décembre quand les services de l'eau ont fait stopper la production, prétextant que la réserve du lac était à moitié vide, des réserves pourtant importantes, se-

lon M. Baud, qui se vit alors contraint de démissionner. »

« Le 21 décembre au matin, les conditions n'étaient plus remplies pour faire de la neige de culture », explique, plus loquace, le maire Alain Boulagne : « C'est un arbitrage terrible d'avoir à choisir entre neige de culture et eau potable. Mais pour celui qui a subi la situation de Noël 2005, la décision s'impose d'elle-même. On vient à peine de refaire le déficit de l'été 2003 et, pour ma part, la priorité restera toujours à l'eau potable... »

Notons, enfin, que c'est finalement le maire, faute de candidat, qui a dû endosser la présidence de la SAGETS.

Ch.B.

Considérant l'ensemble de ces éléments, il reste difficile de conclure sur la nécessité d'obliger la stricte séparation des réseaux d'eau potable et de production de neige. La réponse à cette question se doit d'être pragmatique, non dogmatique, et fonction des sites en question.

Evidemment, produire de la neige depuis un réseau d'eau potable peut interroger et susciter la crainte. **Lorsqu'il est possible de le faire, la séparation des réseaux est à privilégier, dans l'intérêt des deux usages.** Dans le cas contraire, la gestion de l'eau doit être organisée et planifiée avec soin, détaillant les obligations de chaque partie pour anticiper tout risque de dysfonctionnement.

1.2.2. Les retenues d'altitude, mode aujourd'hui privilégié

Les retenues d'altitude sont aujourd'hui une solution largement employée dans les deux Savoie comme ailleurs, pour l'alimentation des réseaux de production de neige. **Elles permettent de stocker l'eau depuis la fusion printanière jusqu'au début de l'hiver en prévision des besoins de production de neige.** Il s'agit principalement de pouvoir bénéficier d'un débit instantané important pour l'alimentation des enneigeurs, débit qu'un prélèvement direct dans le milieu naturel sans bassin tampon ne peut garantir et qui serait préjudiciable au milieu aquatique.

D'importants besoins durant l'étiage hivernal : la nécessité de stocker

Effectivement, la production de neige est maximale aux mois de novembre et décembre (préparation de la saison ; figure 8.8) **qui correspondent à la période d'étiage hivernal des cours d'eau de montagne** (carte 8.1).

Dès lors, on comprend l'intérêt de **prélever l'eau lorsqu'elle est abondante dans l'espace montagnard, afin de l'utiliser l'hiver suivant au moment même où celle-ci est peu disponible** (figure 8.9).

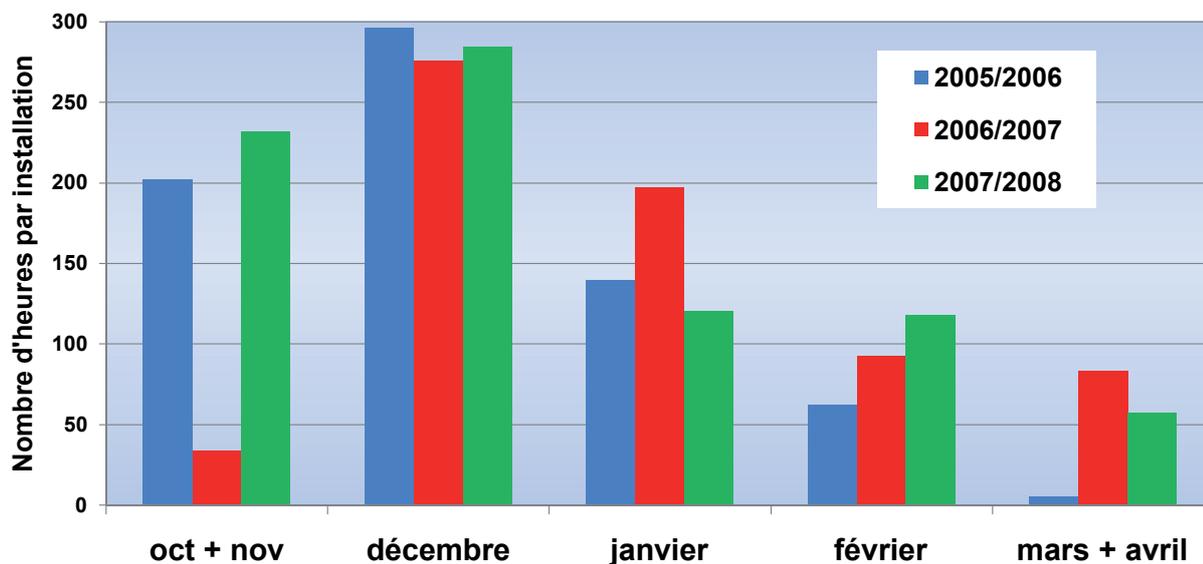
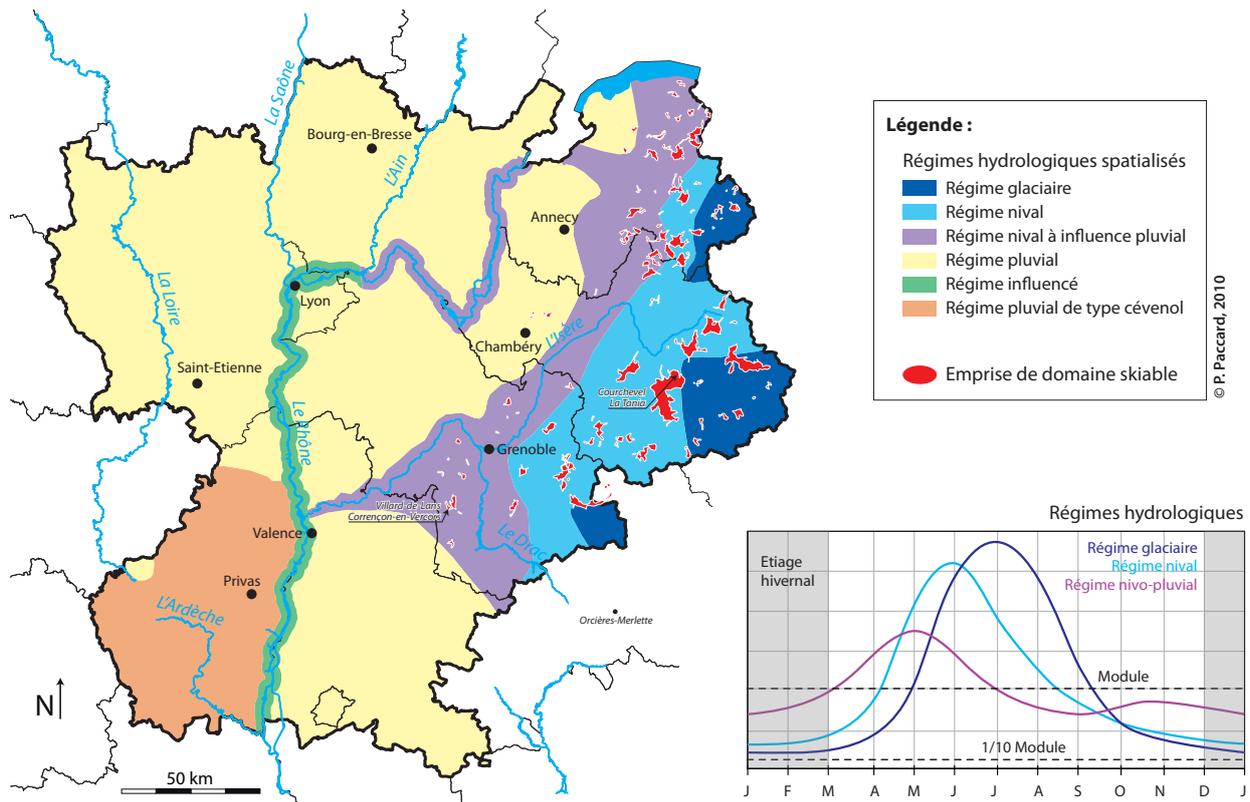
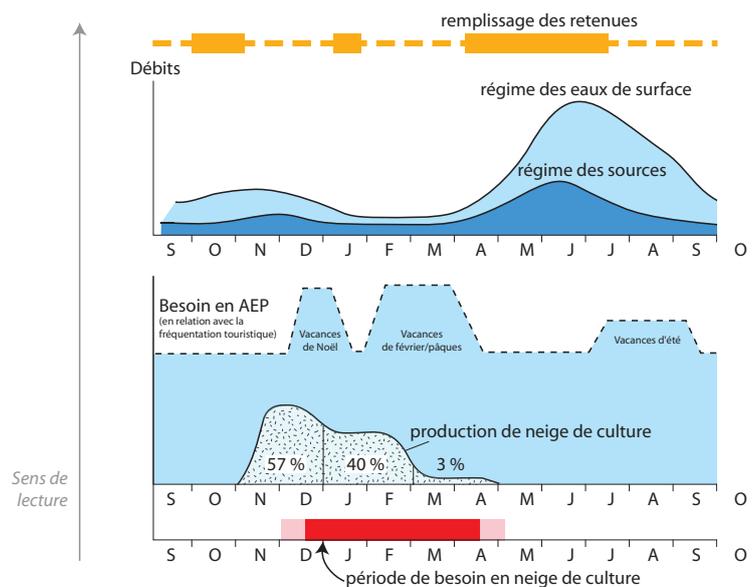


Figure 8.8 : Répartition moyenne mensuelle des heures de fonctionnement des installations d'enneigement artificiel françaises (extrait de Michou, 2009). *Ce graphique montre bien le fonctionnement majoritaire des installations d'enneigement en décembre (de l'ordre de 35% à 40% sur l'ensemble de l'année), en préparation de l'ouverture des stations. On remarque le peu d'heures de fonctionnement au mois d'octobre et de novembre de la saison 2006-2007 : les températures trop douces de cette période avaient rendu la production de neige particulièrement délicate.*



Carte 8.1 : Emprise spatiale des régimes hydrologiques et domaines skiabiles rhône-alpins (d'après les données de la DIREN Rhône-Alpes, 2009, pour les régimes hydrologiques, et les données de la DRE Rhône-Alpes, 2009, pour l'emprise des domaines skiabiles). *Pratiquement tous les domaines skiabiles rhône-alpins se situent en zone hydrologique de régime glaciaire à nivo-pluvial, caractérisé par un étiage hivernal marqué (graphique en bas à droite).*

Figure 8.9 : Disponibilité en eau et production de neige (d'après Marnézy et Rampoux, 2006, modifié). *Les besoins de production de neige correspondent à la durée saisonnière de l'exploitation d'un domaine skiable. La production de neige est maximale en préparation de cette saison, aux mois de novembre et décembre. A partir du mois de décembre, les besoins pour l'alimentation en eau potable sont également importants du fait de la forte fréquentation touristique hivernale. Dans le même temps, le régime des sources et des eaux de surface est à l'étiage (de décembre à mars). Pour répondre à cette inadéquation temporelle des besoins et des ressources disponibles, l'idée est de remplir les retenues d'altitude au printemps, lorsque les écoulements sont importants, pour utiliser les stocks d'eau ainsi constitués au début de l'hiver suivant. Il est à noter la possibilité d'un autre remplissage des ouvrages au cours de la saison hivernale.*



Principe de conception d'une retenue d'altitude

Les retenues d'altitude sont des ouvrages entièrement artificiels. Ils correspondent à « 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, 2009, p. VII).

Les ouvrages sont tous réalisés selon le même principe (figure 8.10) : surcreusement par terrassement d'un site puis pose d'une membrane d'étanchéité (et d'un géotextile destiné à la protéger d'éventuelles perforations). Différents éléments de l'ouvrage en garantissent la sécurité : évacuateur de crue, dispositif de vidange rapide, réseau de piézomètres pour la surveillance des fuites et barrière de protection des abords.

Un dispositif de bullage (photo 8.1) empêche par ailleurs la surface du lac de geler en brassant l'eau de façon à homogénéiser sa température. Celle-ci doit être suffisamment froide pour la production de neige. Un tuyau muni d'une crépine permet enfin d'extraire l'eau vers l'usine à neige qui l'enverra alors sous pression vers les réseaux d'enneigeurs.

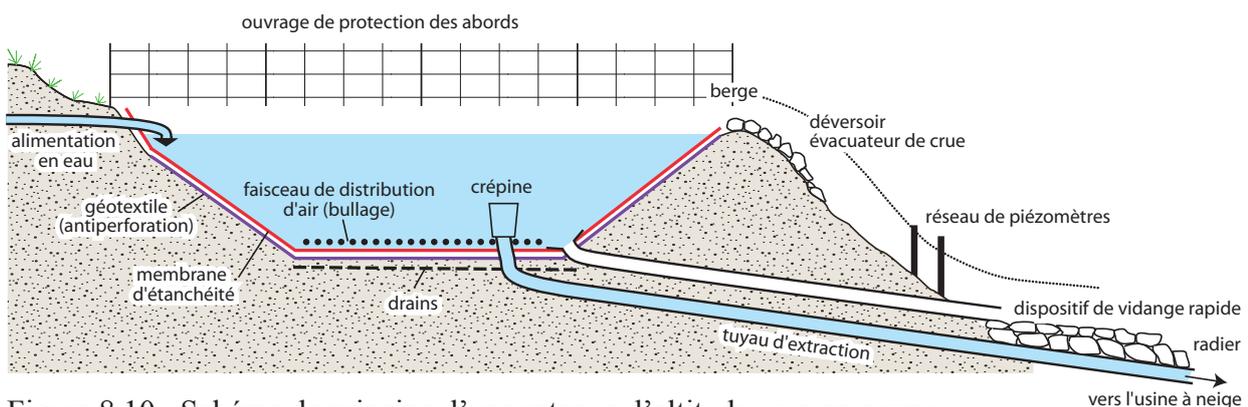


Figure 8.10 : Schéma de principe d'une retenue d'altitude, vue en coupe (extrait de Marnézy et Rampnoux, 2006)



Photo 8.1 : Dispositif de bullage en fond de retenue à Méribel, Savoie (cliché : P. Paccard, le 28/09/2009)

Les ouvrages existants (et en projet) en Savoie et Haute-Savoie

En Savoie et Haute-Savoie, il existe **73 ouvrages** (été 2009) ayant une capacité utile entre 400 m³ à 404 000 m³. Leur altitude d'implantation moyenne est de 1 750 m. **Le nombre d'ouvrages a rapidement augmenté depuis les années 1990** (figure 8.11). On compte 32 ouvrages existants en Savoie et 41 ouvrages en Haute-Savoie.

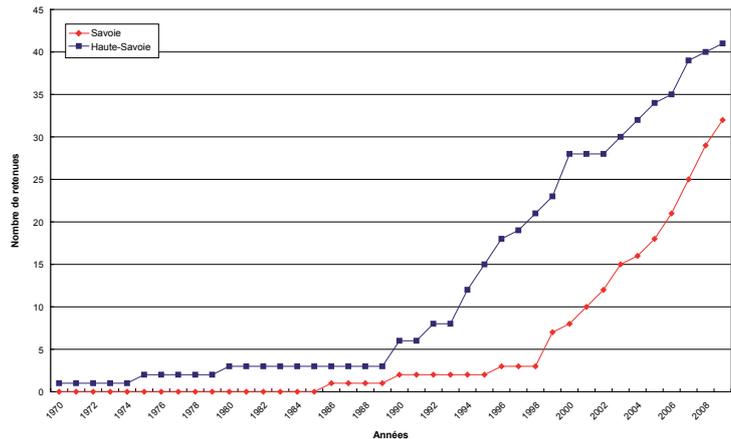


Figure 8.11 : Evolution du nombre de retenues d'altitude en Savoie et Haute-Savoie depuis 1970 (d'après les données transmises par la DDEA 73 et la DDEA 74, 2009)

Sauf volonté contraire, le nombre de ces ouvrages devrait rapidement augmenter. En effet, pour reprendre l'exemple de la Haute-Savoie, l'audit réalisé en 2008 par la Direction Départementale de l'Équipement de la Haute-Savoie (DDE 74) pour connaître les besoins des exploitants en matière de production de neige (DDE74/SISTER/BE/CETAM, *op. cit.*, 2008 ; cf. chapitre 3, p. 138), montre que les projets sont très nombreux :

« Les 3 sites non équipés [d'installations d'enneigement] doivent négocier des prélèvements dans le milieu naturel et réaliser une retenue collinaire.
 Les 3 sites qui n'auront pas assez de ressources pour leurs projets de développement à moyen terme ont tous des projets de création de retenues collinaires, donc de prélèvements nouveaux.
 Pour les 12 autres sites, 11 d'entre eux ont des projets de réalisation de retenues collinaires et de prélèvements nouveaux tandis que 2 d'entre eux souhaitent uniquement se voir autoriser de nouveaux prélèvements pour remplir leurs bassins tampon existants.
 Ceci porte donc à 18 le nombre de retenues collinaires en projet sur le département qui permettront le stockage de 760 000 m³ d'eau » (p. 6).

Sans considérer ces projets, **l'ensemble des ouvrages existants à l'été 2009 permet un stockage de 3 667 764 m³ d'eau sur les deux départements** (2 086 564 m³ d'eau en Savoie et 1 581 200 m³ en Haute-Savoie ; moyenne de 50 000 m³ par ouvrage). Cette capacité de stockage a considérablement augmenté dans les années 2000 (figure 8.12), en particulier du fait de l'accroissement de la capacité des ouvrages. Ce stockage est à comparer au 6 344 100 m³ 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).

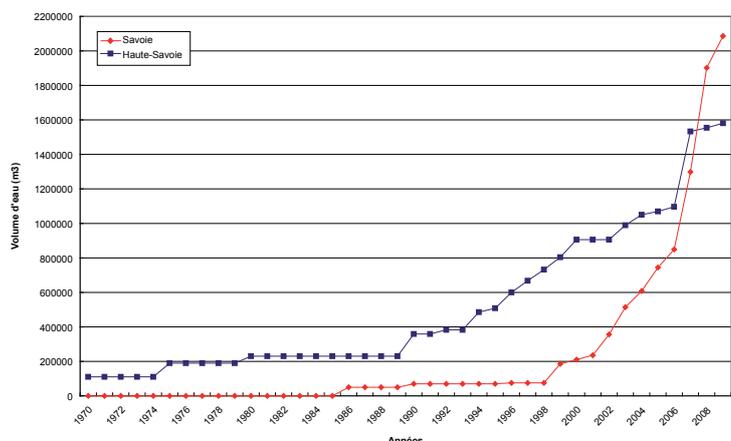


Figure 8.12 : Evolution des volumes d'eau stockés (en m³) dans les retenues d'altitude de Savoie et de Haute-Savoie depuis 1970 (d'après les données transmises par la DDEA 73 et la DDEA 74, 2009)

Des retenues aux dimensions records

La Savoie et la Haute-Savoie comptent les deux plus grands ouvrages actuels de France. Il s'agit de la retenue de l'Adret des Tuffes, sur le domaine des Arcs, en Savoie (404 000 m³ de capacité utile ; photo 8.2) et de la retenue du Maroly, sur le domaine du Grand-Bornand, en Haute-Savoie (300 000 m³ ; photo 8.3). Une fois remplis, ils ont pour objet de subvenir aux besoins d'enneigement de l'ensemble de la saison. Ils affranchissent théoriquement les nivoculteurs de prélèvements supplémentaires dans les milieux naturels au moment des étiages hivernaux.



Photo 8.2 : La retenue de l'Adret des Tuffes en construction, Arc 2000, Savoie (cliché : P. Paccard, le 22/07/2008). *Les engins de chantier donnent l'échelle de l'ouvrage : des dimensions colossales. A l'heure actuelle, c'est le plus grand ouvrage français destiné à la production de neige : 404 000 m³ de capacité utile.*



Photo 8.3 : La retenue du Maroly, Le Grand Bornand, Haute-Savoie (cliché : DDEA 74, 2008). *Il s'agit de la deuxième plus grande retenue d'altitude française : 300 000 m³ de capacité utile.*

Si ces grands ouvrages permettent de constituer d'importants stocks, en contrepartie, **la taille de ces équipements génère des effets de site importants.** Ils impactent d'autant plus les milieux sur lesquels ils sont installés que leur emprise est grande (photo 8.4). La problématique des risques est également exacerbée pour ces ouvrages de grande capacité.

A l'inverse, les ouvrages de petite taille, de par leur faible emprise spatiale, présentent l'avantage d'être moins impactant pour les milieux naturels sur lesquels ils sont implantés. La contrepartie est qu'ils doivent être remplis plusieurs fois au cours d'une même saison pour garantir les volumes nécessaires à la fabrication de neige ; la confrontation des besoins en eau de chaque domaine skiable et de leur capacité de stockage le soulignera par la suite. Les « petits » ouvrages sont, de ce point de vue, plus contraignants pour les milieux aquatiques au moment des étiages hivernaux.



Photo 8.4 : La retenue de l'Arenouillaz en construction, Valmorel, Savoie (cliché : P. Paccard, le 10/07/2008). D'une capacité utile de 35 000 m³, cette retenue se situe à 2000 mètres d'altitude. La réalisation d'un ouvrage de ce type implique d'importants travaux de terrassement.

Typologie des modes d'alimentation en eau des retenues d'altitude

La typologie proposée par A. Marnézy et J.-P. Rampnoux (2006 ; figure 8.13) montre que les modes d'alimentation des retenues d'altitude sont variés⁵. Si l'on retrouve les principes d'alimentation des installations d'enneigement précédemment présentés, cette typologie est néanmoins plus riche. Cette différence s'explique par la possibilité d'étaler dans le temps le remplissage des ouvrages, avec des débits de prélèvement relativement plus faibles. Pour établir cette typologie, A. Marnézy et J.-P. Rampnoux avaient recensé 70 ouvrages sur les départements de Haute-Savoie, Savoie, Isère et Hautes-Alpes.

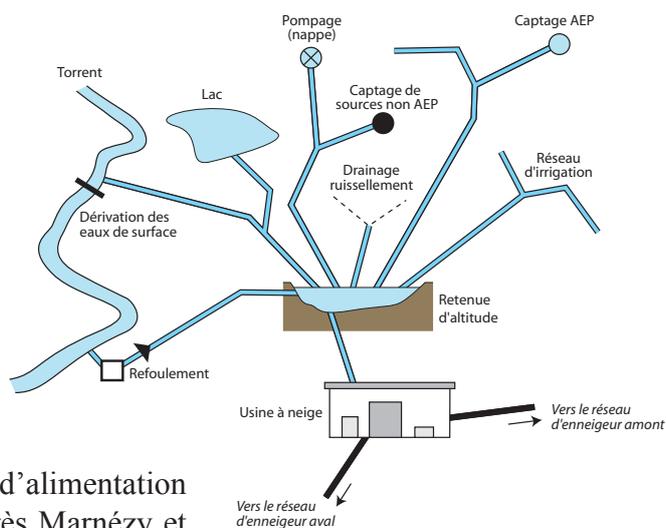


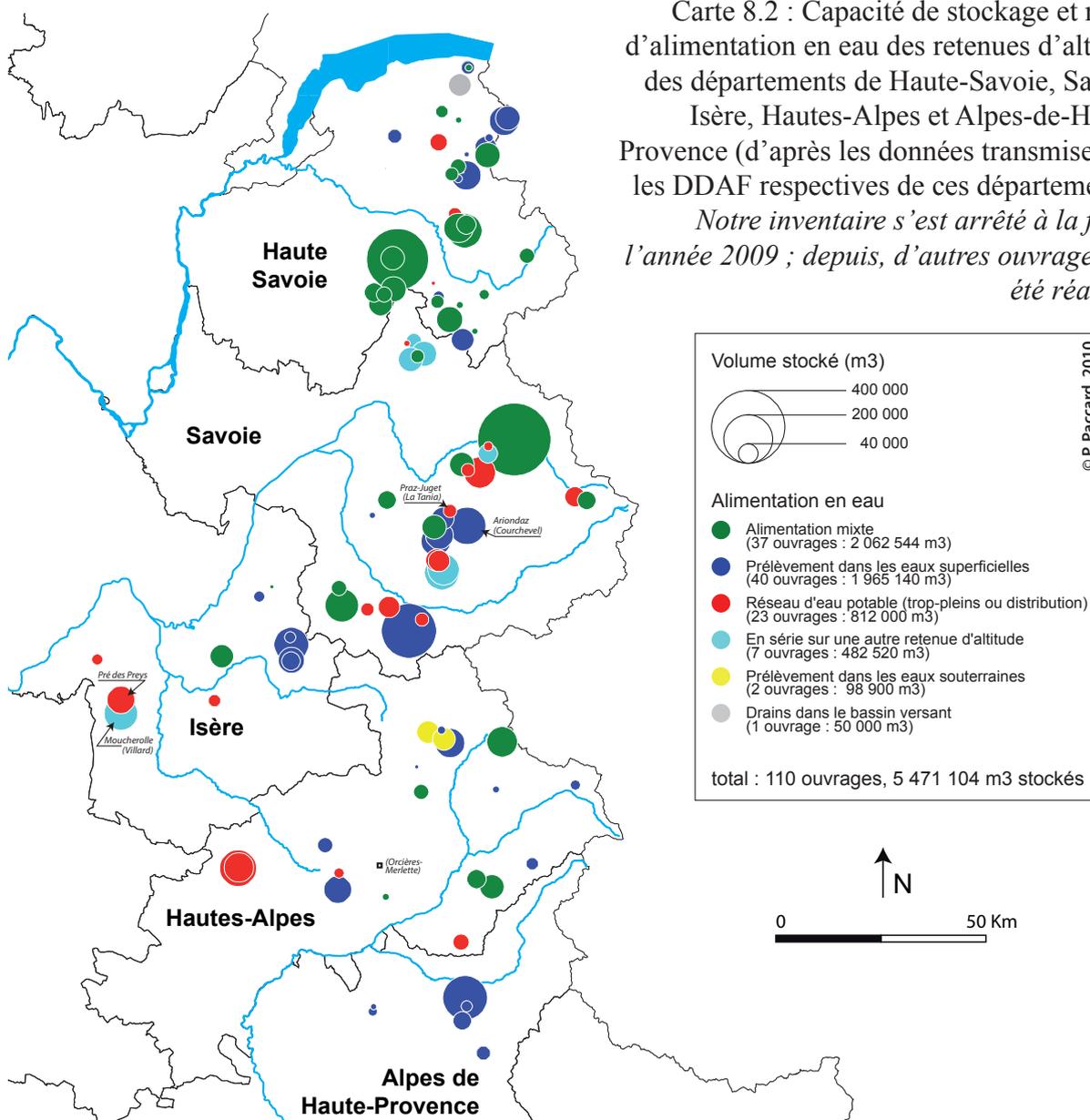
Figure 8.13 : Les principaux modes d'alimentation en eau d'une retenue d'altitude (d'après Marnézy et Rampnoux, 2006, modifié)

⁵

Cette typologie a été établie sur la base des travaux de recensement des ouvrages existants en Haute-Savoie, Savoie, Isère et Hautes-Alpes, réalisés sous leur direction par M. Cazenave, A. Valetton, G. Chauvin et P. Mayade.

En ajoutant le département des Alpes-de-Haute-Provence (comptant 6 retenues d'altitude), **110 ouvrages ont pu être recensés** par nos soins jusqu'en 2009 (carte 8.2). **Ceux-ci sont principalement alimentés en eau par un prélèvement direct dans les eaux superficielles ou depuis un prélèvement mixte** (réseau d'eau potable et prélèvement dans les eaux superficielles par exemple). D'autres retenues sont remplies depuis un réseau d'alimentation en eau potable seul, ou en série depuis un autre ouvrage. Les prélèvements depuis les eaux souterraines (nappe d'accompagnement d'un cours d'eau) ou le drainage des écoulements d'un bassin versant restent aujourd'hui marginaux (3 ouvrages en tout).

Carte 8.2 : Capacité de stockage et mode d'alimentation en eau des retenues d'altitude des départements de Haute-Savoie, Savoie, Isère, Hautes-Alpes et Alpes-de-Haute-Provence (d'après les données transmises par les DDAF respectives de ces départements).
 Notre inventaire s'est arrêté à la fin de l'année 2009 ; depuis, d'autres ouvrages ont été réalisés.



L'ensemble des retenues recensées, issues des données des DDAF, **représente une capacité de stockage totale d'environ 5,5 millions de m³**. Sur ces mêmes départements, ODIT France comptabilise 3 646 hectares enneigeables, correspondant à un besoin théorique de 13 millions de m³ d'eau (moyenne de 3500 m³ d'eau par hectare). La différence résultant de ces deux derniers chiffres (5,5 millions de m³ stockés pour un besoin de 13 millions de m³) tient à deux éléments : d'une part, certaines installations, comme vu précédemment, ne sont pas alimentées par une retenue d'altitude ; d'autre part, de nombreuses retenues sont remplies plusieurs fois par saison.

Des retenues remplies plusieurs fois par saison

Toujours en utilisant le ratio de 3500 m³ d'eau par hectare enneigé au cours d'une saison, il est possible de calculer le besoin en eau théorique saisonnier de chacune des stations, à la condition de connaître la superficie enneigeable de chacune d'entre elles. En l'occurrence, ces superficies sont disponibles auprès d'ODIT France. Sur la base de ces informations, nous avons reconstitué les besoins en eau saisonniers théoriques de chacune des stations des deux Savoie.

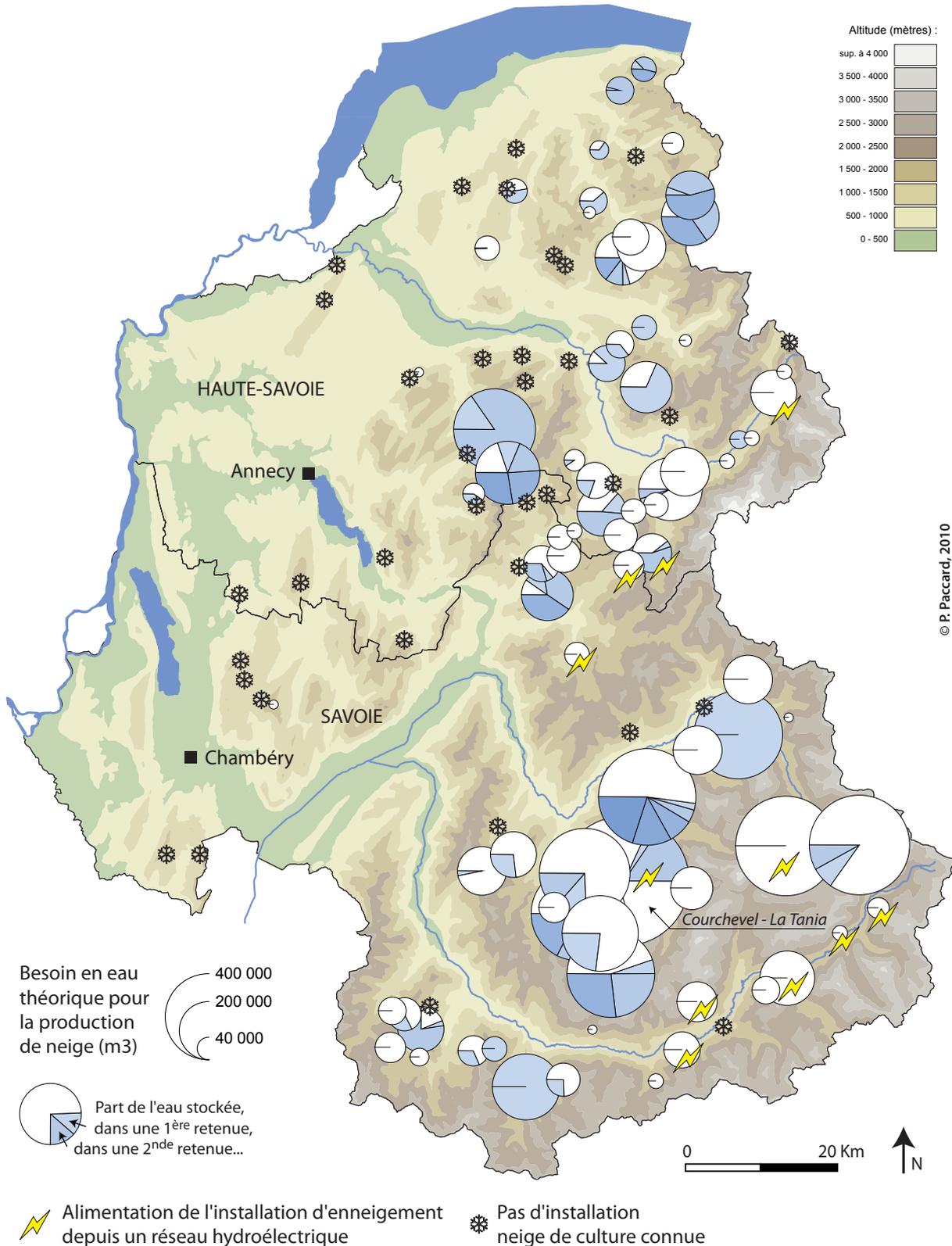
Par ailleurs, les retenues d'altitude de ces deux départements sont connues. Pour chaque station, il a été possible de confronter les besoins en eau saisonniers théoriques au volume stocké dans une ou plusieurs retenues d'altitude. Les résultats de cette comparaison sont présentés par la carte 8.3 (page 364, *infra*). Celle-ci permet de retenir les éléments suivants.

Certains ouvrages de retenue, par leur dimension importante (photo 8.5), permettent de couvrir l'ensemble des besoins d'enneigement d'une saison (cas de figure d'un cercle entièrement bleu sur la carte 8.3). **D'autres, d'une capacité insuffisante, ne permettent pas de couvrir la totalité de ces besoins** (cas de figure d'un cercle dont seule une partie est bleue sur la carte 8.3). Au cours d'une même saison, ces derniers doivent ainsi être **remplis plusieurs fois pour subvenir aux différentes campagnes d'enneigement**. Dans cette mesure, les arrêtés préfectoraux pris pour autorisation d'exploiter ces ouvrages définissent des prescriptions particulières quant aux dates de remplissage (et de vidange) à respecter.

On remarque enfin que certaines stations ont des besoins en eau importants mais ne possèdent aucune retenue d'altitude. En fait, il s'agit des stations bénéficiant de la proximité d'un équipement hydroélectrique, à partir duquel les prélèvements peuvent être réalisés. Cette pratique, qui reste aujourd'hui marginale par rapport aux autres dispositifs déployés, est intéressante tant elle implique un dialogue entre les différents usages de l'eau pour le partage de la ressource.



Photo 8.5 : Un ouvrage de grande capacité sur le domaine skiable de la Plagne, Savoie
(cliché : P. Paccard, le 14/04/2010)



Carte 8.3 : Besoin en eau théorique saisonnier pour la production de neige et part des volumes d'eau stockés dans les retenues d'altitude des stations de Savoie et de Haute-Savoie (d'après les données transmises par les DDEA 73 et 74, 2009 ; pour les retenues d'altitude, et Atout France, 2009, pour les surfaces des pistes enneigeables). *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 les volumes sont ici représentés en bleu.*

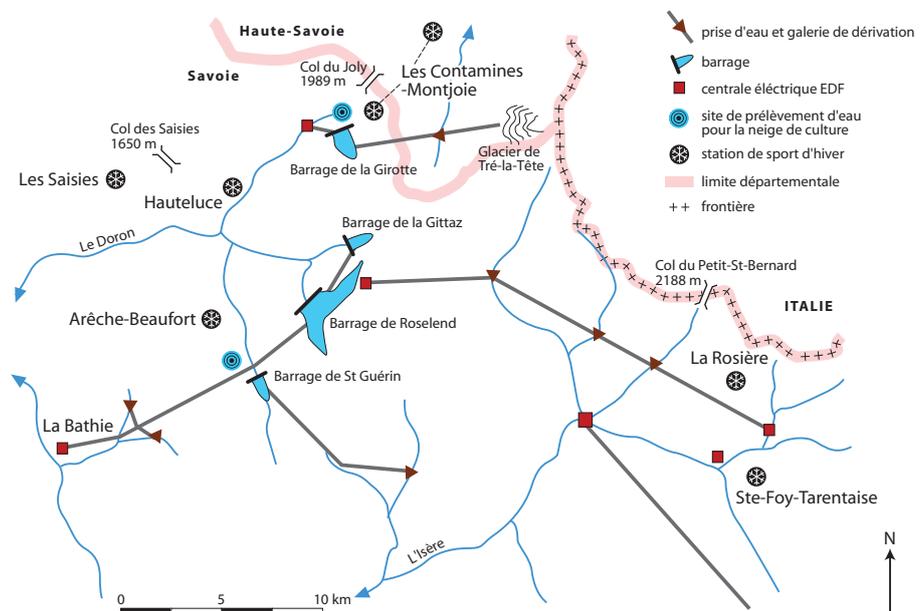
1.2.3. Une alternative : les réseaux hydroélectriques préexistants

En Savoie comme en Haute-Savoie, **certaines installations d'enneigement bénéficient de la proximité d'équipements hydroélectriques** (Marnézy, 2008). Elles peuvent ainsi s'affranchir d'une retenue d'altitude (ou d'un autre dispositif) en prélevant de l'eau soit depuis une conduite d'amenée, soit directement depuis la retenue hydroélectrique proprement dite.

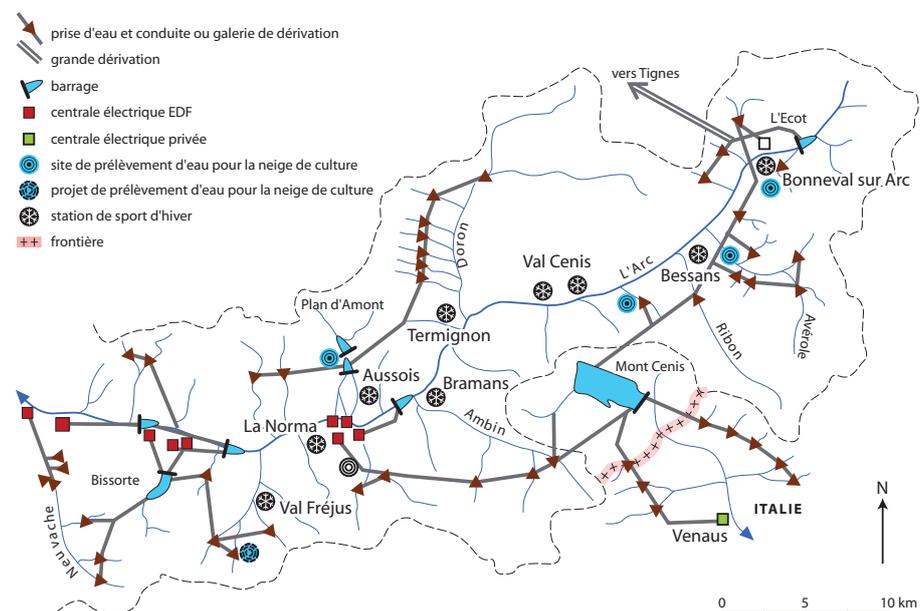
L'exemple du Beaufortain et de la Haute-Maurienne

En pays de Savoie, les stations concernées par cette alternative sont principalement celles du massif du **Beaufortain** (carte 8.4), de la vallée de la **Haute-Maurienne** (carte 8.5) ou du secteur de la **vallée de Chamonix**. Des situations similaires existent dans les Pyrénées (exemple des stations de Saint-Lary ou du Tourmalet). D'autres secteurs pourraient certainement suivre cette alternative, dans la mesure d'une coïncidence spatiale entre complexes hydroélectriques et stations de sports d'hiver (Massif Central ?).

Carte 8.4 :
Aménagements hydroélectriques et stations de sports d'hiver : le massif du Beaufortain (d'après Marnézy, 2008, p. 102, complété)



Carte 8.5 :
Aménagements hydroélectriques et stations de sports d'hiver en Haute Maurienne (d'après Marnézy, 2008, p. 102, complété)



Les avantages du procédé

Il est vrai que cette formule présente des avantages non négligeables pour les gestionnaires de réseaux de production de neige (Paccard et Marnézy, 2009). En premier lieu, **l'eau est disponible au bon moment**. Elle est stockée dans les réservoirs de montagne pour la fourniture d'énergie de pointe, donc essentiellement en hiver et coïncidant avec la période de production de neige.

D'autre part, les quantités d'eau théoriquement disponibles représentent **des volumes considérables, sans comparaison avec les besoins en eau pour la neige**. Ainsi, si la production actuelle de neige en France représente environ un total de 15 à 20 millions de m³ d'eau par an, par exemple, le seul barrage du Mont Cenis a une capacité utile de 320 millions de m³ et un volume d'exploitation double, soit environ de 600 millions de m³ par an.

Ces barrages se situent également à des altitudes élevées, fréquemment autour de 1800 m d'altitude, ce qui représente des **gains d'énergie significatifs pour une distribution par gravité** des enneigeurs. De même, l'eau relativement froide en hiver de ces barrages (de l'ordre de 4 à 5° C) représente autant de degrés gagnés pour la transformer en neige.

Enfin, des **économies d'investissement** sont réalisées : on évite effectivement la réalisation d'équipements lourds, la réalisation d'une retenue d'altitude notamment, et les impacts sur l'environnement de ces aménagements. Certes, ces impacts ont déjà été provoqués par la construction (et la présence) de ces barrages hydroélectriques...

On peut rajouter – à l'avantage d'EDF – que l'eau prélevée pour la production de neige retourne globalement aux réseaux hydrographiques au printemps, et que, selon la configuration géographique, elle peut retourner au circuit énergétique.

Les possibilités techniques du « piquage » de l'eau

D'un point de vue technique, le piquage pour l'alimentation en eau peut se faire de plusieurs façons (figure 8.14) : **en amont de la retenue, directement dans la retenue elle-même, ou à l'aval des barrages** (adduction aval ou conduite forcée). Cependant, les barrages ayant pour vocation première la production d'hydroélectricité, ces prélèvements ne peuvent être réalisés que sous certaines conditions.

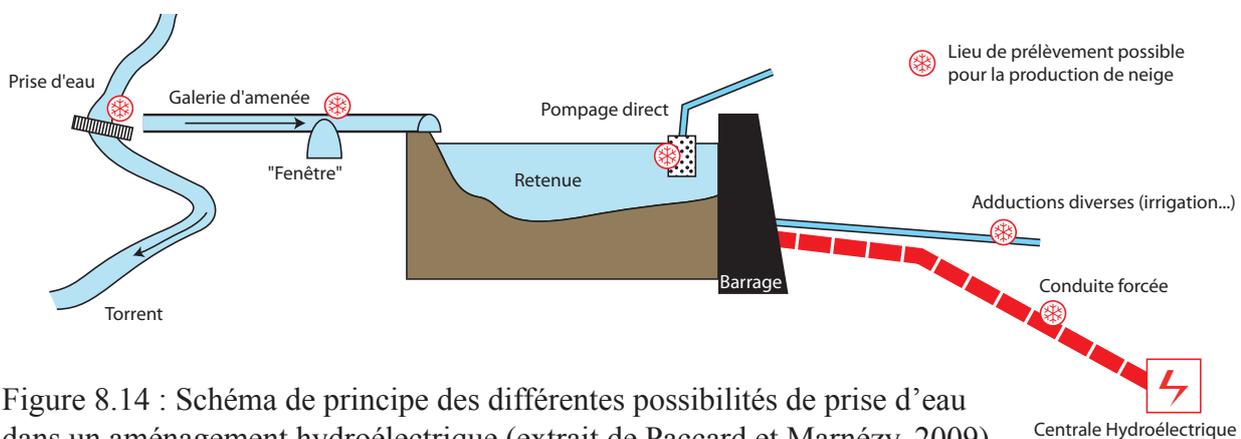


Figure 8.14 : Schéma de principe des différentes possibilités de prise d'eau dans un aménagement hydroélectrique (extrait de Paccard et Marnézy, 2009)

Des implications administratives particulières

Si un prélèvement s'effectue pour alimenter un réseau de production de neige à l'amont d'une retenue hydroélectrique (c'est-à-dire dans le bassin d'alimentation de la retenue) au titre de l'article 49 (ou 50) du cahier des charges des concessions⁶, la question de la **concurrence avec l'alimentation en eau potable, comme avec les autres usages de l'eau définis comme de services publics**, peut se poser. Plusieurs usages peuvent prétendre au bénéfice de ce volume ; il convient d'anticiper sur les besoins à venir pour organiser le partage de l'eau.

Al'inverse, **si les prélèvements s'effectuent sur le réseau hydroélectrique du concessionnaire, il s'agit alors d'un problème de droit privé**. Sous couvert administratif, une négociation s'engage entre les deux parties : le concessionnaire de la chute d'eau et la station de sports d'hiver. Cette négociation concerne les volumes pouvant être dérivés ainsi que des indemnités à verser au concessionnaire, producteur d'hydroélectricité.

Lors du renouvellement du cahier des charges des concessions des chutes hydroélectriques, une redéfinition des destinations de l'ouvrage est possible⁷. Le volume annuel réservé aux autres usages est et pourra être rediscuté à cette occasion. C'est exactement ce qui s'est passé en 2003 lors du renouvellement de la concession hydroélectrique de la chute de Bozel, située à proximité du domaine skiable de Courchevel.

L'ensemble des dispositifs de prélèvements que nous venons de décrire a des incidences sur l'eau. Nous nous attachons *infra* à préciser ces incidences.

⁶ Nous rappelons que l'article 49 (ou 50) 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 relever 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 peuvent rentrer dans ce cadre.

⁷ Beaucoup d'entre elles ont été établies pour 75 ans à partir des années 1930.

1.3. Les impacts de la production de neige sur l'eau

Les impacts de la production de neige peuvent être abordés de deux manières différentes : d'un point de vue quantitatif (disponibilité de l'eau pour l'ensemble des usages anthropiques et les milieux naturels...) ou qualitatif (qualité physico-chimique de l'eau, qualité de vie des milieux aquatiques...).

1.3.1. Approche quantitative

A la fonte nivale, l'eau prélevée pour la production de neige est globalement restituée à la fraction régionale du cycle hydrologique (figure 8.15). Seule la proportion d'eau évaporée lors de la production de neige (et sublimée lorsque la neige repose au sol) n'alimente plus le cycle de l'eau continental puisqu'elle retourne à l'atmosphère sous forme de vapeur. Pour la seule partie continentale du cycle, c'est le transfert dans le temps et dans l'espace des volumes d'eau mobilisés pour la production de neige qui interfère avec les régimes hydrologiques : dans le temps, immobilisation des volumes transformés en neige jusqu'à la fonte des neiges et dans l'espace, acheminement de l'eau du point de prélèvement jusqu'aux pistes à enneiger.

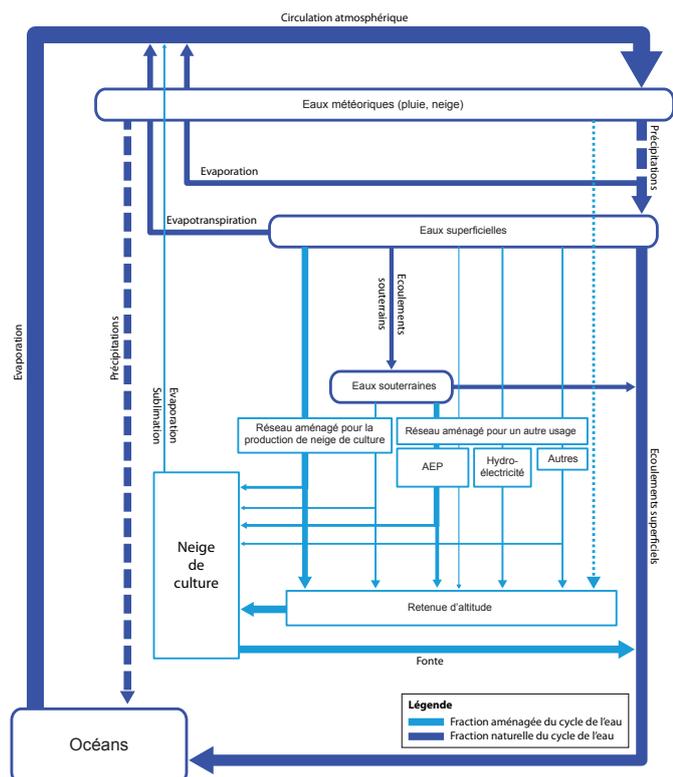


Figure 8.15 : Cycle de l'eau et production de neige (d'après Hassid, 2010, modifié)

Les volumes prélevés exercent donc une pression sur les hydrosystèmes. Ils interagissent avec les débits des cours d'eau et les autres usages de l'eau. **L'enjeu réside dans l'appréciation relative de ces impacts.** Les éléments suivants sont justement destinés à permettre la caractérisation et l'appréciation relative des incidences de la production de neige sur l'eau, d'un point de vue quantitatif.

L'exemple du bilan quantitatif du bassin versant de l'Isère

Les prélèvements d'eau pour la production de neige sont globalement compatibles avec les besoins en eau nécessaires aux milieux naturels et aux autres usages ; et ce **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 potentiels sur les ruisseaux et les petits torrents durant les périodes d'étiage.** En effet, si une attention est portée au cours d'eau de montagne, le suivi est moindre en ce qui concerne les torrents et les têtes de bassin.

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).

L'un des résultats de ce travail montre que pour le mois de février et sur l'hypothèse d'un remplissage complet de l'ensemble des retenues d'altitude du bassin versant du Doron de Bozel⁸, la production de neige ne représenterait qu'un faible volume d'eau par rapport aux autres usages (eau potable et surtout hydroélectricité). L'ensemble des besoins cumulés, tous usages de l'eau confondus, resterait d'après cette étude inférieur à la ressource théorique disponible sur ce bassin versant (figure 8.16).

Des biais à cette représentation existent et ne doivent pas être négligés pour une bonne appréciation des résultats : 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. Ce ne sont donc pas des valeurs mesurées (ce qui est impossible vu que les données n'existent pas toujours ou qu'elles ne sont pas forcément disponibles) mais bien des valeurs calculées.

En se plaçant à l'échelle temporelle d'un jour d'étiage (figure 8.17) 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 existant sur le bassin versant), la production de neige représenterait une part importante au regard des volumes d'eau mobilisés pour la production d'eau potable. Ce volume serait comparable aux besoins hydroélectriques.

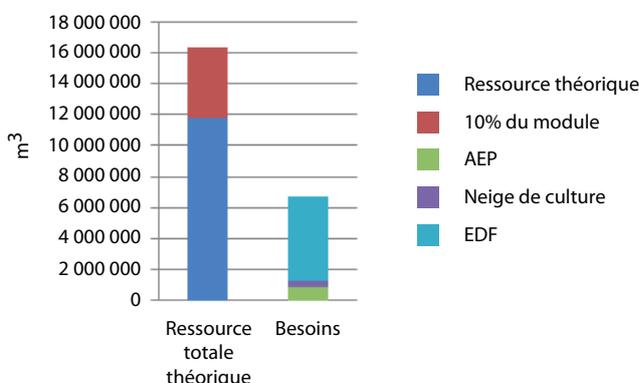


Figure 8.16 : Comparaison au mois de février, en m³, de la ressource totale théorique et des besoins pour l'alimentation en eau potable (AEP), la production de neige et l'hydroélectricité sur le bassin versant du Doron de Bozel, Savoie (extrait de Assemblée du Pays Tarentaise-Vanoise, 2008, p. 68)

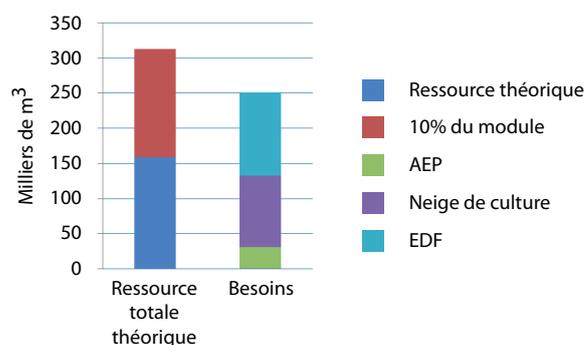


Figure 8.17 : Comparaison de la ressource théorique un jour d'étiage et des besoins pour l'AEP, la production de neige et l'hydroélectricité sur le bassin versant du Doron de Bozel à sa confluence avec l'Isère (extrait de Assemblée du Pays Tarentaise-Vanoise, 2008, p. 71)

⁸

Le bassin versant du Doron de Bozel a une superficie d'environ 660 km². Il est situé dans la vallée de la Tarentaise, en Savoie. Il comprend notamment les stations de sports d'hiver de Val-Thorens, Méribel, La Tania, Courchevel, Champagny et Pralognan-la-Vanoise.

D'un point de vue méthodologique, il faut noter que 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. 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 pas de temps (un jour d'étiage) et de ces 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.**

De malheureux exemples passés...

Les deux échelles d'analyse précédentes soulignent qu'il importe d'être attentif quant aux débits réservés réglementaires qui garantissent la continuité hydraulique des cours d'eau lors des étiages. Cela pose le niveau d'échelle pour traiter des impacts des prélèvements pour la production de neige. Elle est pertinente à échelle locale, pour les petits bassins élémentaires d'altitude, et non à une échelle régionale.

Pour les petits cours d'eau **des exemples passés montrent que les débits réservés n'ont pas toujours été respectés** en matière de prélèvements d'eau pour la production de neige. C'est ainsi qu'en Haute-Savoie, entre 2006 et 2009 et pour non-respect de la loi sur l'eau, l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) a dressé 6 procès-verbaux et établi 2 rapports correspondant à des prélèvements ou aménagement d'installations pour la production de neige⁹. Les motifs principaux relèvent de l'exploitation d'ouvrage sans autorisation, du non-respect des périodes de remplissage des retenues ou du non-respect de débits réservés à maintenir dans les cours d'eau :

« Impacts sur l'environnement : Assèchement du ruisseau sur 50 mètres linéaires [...] Au niveau de l'ouvrage la totalité du débit est dérivée et s'écoule dans le lac. Aucun écoulement ne se fait par l'échancrure du seuil. En aval de celui-ci le ruisseau est complètement asséché et pris dans la neige et la glace. La vie piscicole est impossible » (extrait d'un procès verbal de constatation dressé au mois de janvier 2006).

« Nature des faits : Non respect du débit réservé à maintenir dans le ruisseau du Rosay [...] tout le débit du ruisseau alimente la retenue collinaire. Celle ci est en phase de remplissage. Aucun débit réservé n'est restitué au ruisseau par le trou calibré prévu à cet effet » (extrait d'un procès verbal de constatation dressé au mois de décembre 2008).

Les impacts des volumes prélevés sur l'eau et les milieux aquatiques sont faciles à comprendre à la lecture de ces quelques lignes... L'idée est de montrer par l'exemple des erreurs de jugement passées qu'il convient de ne pas reproduire. Par ailleurs, nous ne connaissons pas les circonstances qui ont conduit à ces infractions. **La généralisation de ces évènements particuliers à l'ensemble des situations ne nous paraît pas opportune.**

Pour la Savoie et l'Isère, consultées également, aucun constat n'a, semble t'il, été dressé durant cette même période. L'ONEMA précise néanmoins que les sites sont d'accès difficile en hiver ce qui limite les constatations possibles. L'action des services se situe alors plutôt dans l'instruction administrative des dossiers de projet, pour laquelle ils sont sollicités pour avis technique.

⁹ Information transmises par l'ONEMA, délégation régionale Rhône-Alpes, service coordination de la police de l'eau, le 25/02/2009.

1.3.2. Volet qualitatif des impacts de la production de neige sur la ressource en eau et les milieux aquatiques

La qualité des milieux aquatiques est évidemment liée au volet précédent : les prélèvements pour la production de neige interfèrent avec le régime hydrologique des cours d'eau de montagne et, en ce sens (toute proportion gardée), avec la biodiversité des écosystèmes aquatiques. Les niveaux de prélèvements règlementaires doivent intégrer cette composante. La difficulté réside cependant dans l'appréciation des optima et minima biologiques, pourtant nécessaire à la définition des débits devant toujours rester disponibles dans les cours d'eau. C'est bien là toute la **différence entre les notions de débits réservés et de débits minimums biologiques**¹⁰ introduits par les SDAGE à la suite de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992.

Aujourd'hui, ce sont bien au niveau des débits réservés qu'il convient d'agir pour garantir la continuité hydraulique des cours d'eau. Dans le cas contraire, 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 aquatique qui se trouve menacé.

Au-delà de ces interactions entre quantité et qualité de l'eau, deux éléments méritent une attention particulière : il s'agit de la qualité de l'eau utilisée pour l'enneigement des pistes de ski et des impacts potentiels des retenues d'altitude sur les zones humides de montagne.

A propos de la qualité de l'eau : en Savoie, un exemple de pollution d'un captage d'eau potable par un réseau de production de neige ?

Bien que l'ensemble des exploitants de domaines skiables français n'utilise plus d'adjuvants pour la production de neige, les autorités dédiées à la sécurité sanitaire de l'eau ont récemment recommandé l'utilisation d'une eau de bonne qualité physico-chimique pour la production de neige (AFSSET, 2008, p. 60, repris par CSP, 2008, p. 6 et Badré *et al.*, 2009, p. 48). L'objectif est de préserver la qualité de la ressource en eau, en particulier celle destinée à la consommation humaine.

A notre connaissance, **une seule situation de pollution d'un captage destiné à l'eau potable, probablement par un réseau de production de neige, a eu lieu**. Il s'agit de la contamination de la source du Parchet en février 2006 (commune de Peisey Nancroix, Savoie) par des eaux parasites circulant :

- « soit à partir du réseau d'eau utilisée pour la fabrication de neige de culture et provenant d'une retenue contaminée par des germes pathogènes d'origine fécale,
- soit à partir de circulations souterraines en provenance du périmètre de protection éloignée » (Fournier *et al.*, 2007, p. 17).

Cette pollution a entraîné une épidémie de gastro-entérites importante sur les stations des Arcs 1800, Vallandry et Plan-Peisey en Savoie. L'évènement a fait l'objet d'un rapport (Fournier *et al.*, 2007), rédigé par la Cellule InterRégionale d'Epidémiologie (CIRE) Rhône-Alpes et la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) de la Savoie, services santé publique et santé environnement.

¹⁰

Nous renvoyons à la définition du débit biologique que nous donnions au chapitre 3 (cf. p. 179).

D'une manière générale, il est vrai que de **nombreuses pistes de ski enneigables artificiellement se trouvent en périmètre de protection de captages** destinés à l'alimentation en eau potable. De ce point de vue, une attention particulière doit être apportée à la protection de ces captages, en veillant à la qualité de l'eau utilisée pour la production de neige. Les opérateurs de domaines skiables français se sont récemment saisis de cette question.

A propos de milieux aquatiques : retenues d'altitude et zones humides d'altitude

L'attention doit être portée sur la dégradation voire la destruction des milieux aquatiques. Il s'agit en particulier des zones humides (tourbières, « mouilles »...) lors de la construction de retenues d'altitude (photo 8.6). En la matière, et dans un objectif de préservation des milieux naturels, le principe de préservation doit prévaloir.

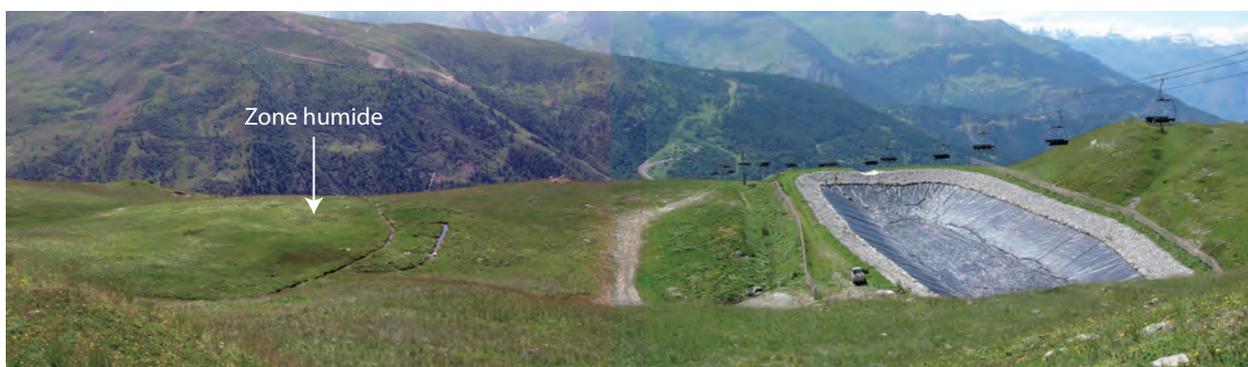


Photo 8.6 : Une retenue d'altitude et une zone humide sur le domaine skiable de Valmeinier, en Savoie (cliché : P. Paccard, le 08/07/2008). Cette zone humide figure parmi les 3300 autres inventoriées sous la coordination du Conservatoire du Patrimoine Naturel de la Savoie (CPNS) entre 2004 et 2009.

Les zones humides sont internationalement reconnues depuis 1975¹¹ comme des **zones d'intérêt écologique, économique, culturel, scientifique et récréatif**. Outre les espèces protégées qu'ils peuvent héberger et leur rôle de filtration des écoulements, ces écosystèmes sont un maillon important du fonctionnement hydrologique des bassins versant (Barnaud, 2008) : ils ralentissent et stockent des eaux à plus ou moins long terme (contrôle des crues) puis les restituent de façon étalée dans le temps (recharge des nappes et soutien des étiages ; figure 8.18).

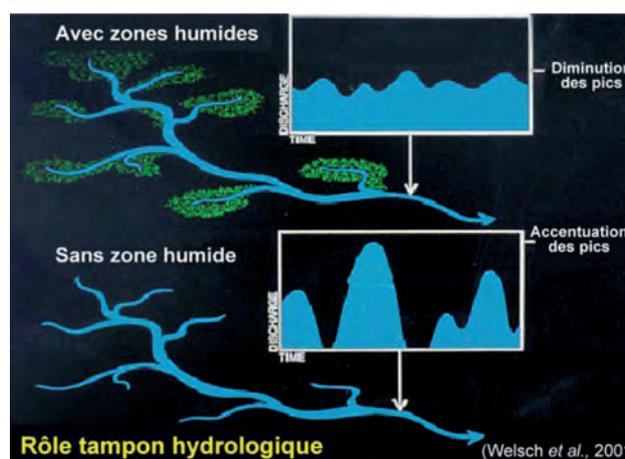


Figure 8.18 : Le rôle de « tampon hydrologique » des zones humides (extrait de Barnaud, 2008)

¹¹ 1975 est la date d'entrée en vigueur de la convention de Ramsar, ratifiée par la France.

En pays de Savoie, les inventaires des zones humides coordonnés par le Conservatoire du Patrimoine Naturel de la Savoie (CPNS) et par le Conservatoire des espaces naturels de Haute-Savoie (ASTERS) sont une référence. Ils répertorient l'ensemble des zones humides d'une surface supérieure à 1000 m² sur les deux départements.

D'après ces inventaires, et les emprises des domaines skiables tels qu'ils nous ont été communiqués (carte 8.6, *infra*, p. 374), **4,4% de la surface des zones humides de Haute-Savoie se situent dans le périmètre d'un domaine skiable, contre 5,9% en Savoie**. En Savoie, 12 retenues (sur 32 au total) se trouvent dans l'espace de fonctionnalité d'une zone humide (ces espaces de fonctionnalité n'ont pas été inventoriés en Haute-Savoie).

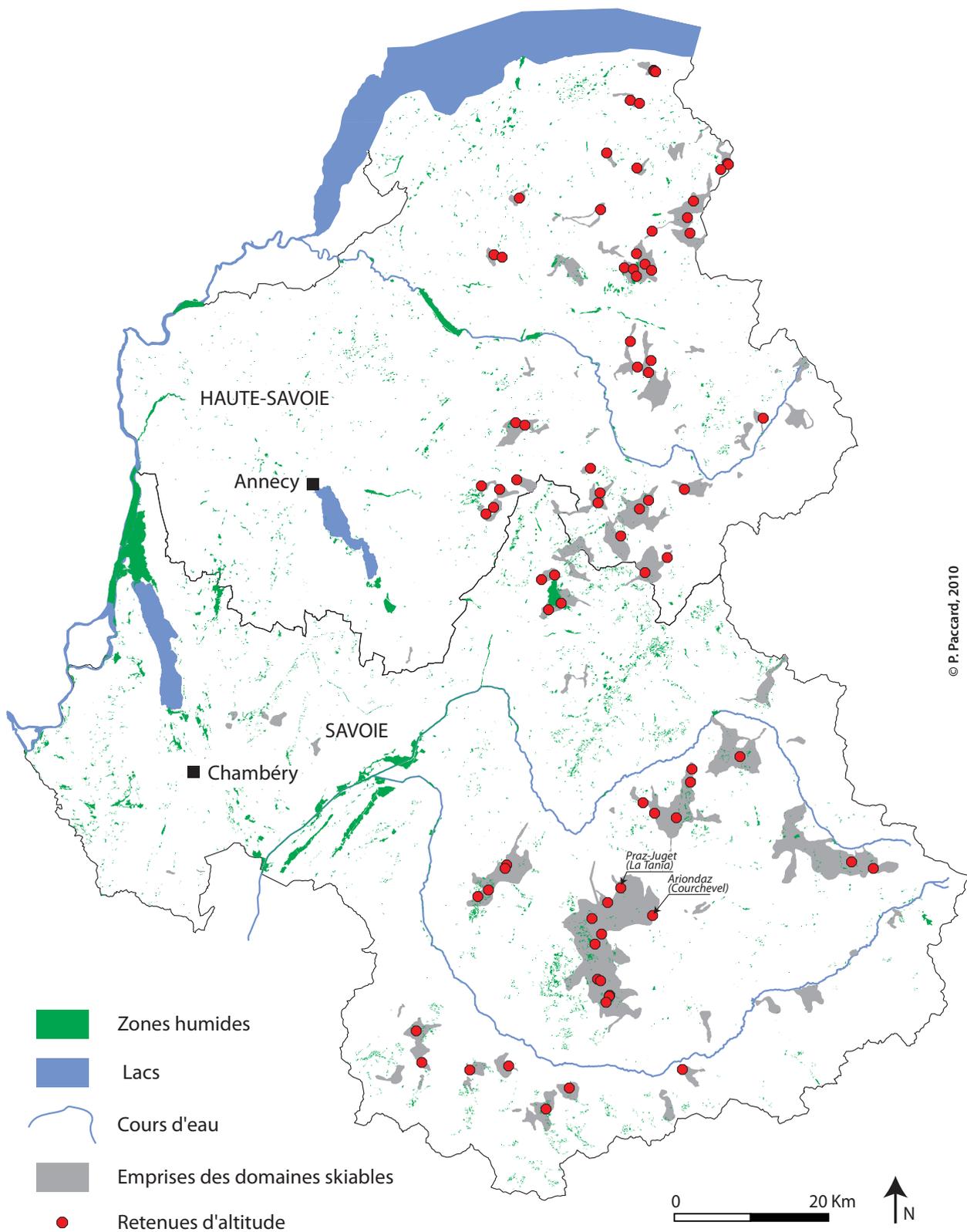
Une zone humide peut être potentiellement impactée par un ouvrage de retenue de deux façons différentes (Paccard, 2008). **La première tient à leur emplacement**. Pour des facilités de réalisation, les retenues d'altitude sont souvent implantées sur des sites ayant déjà une forme de cuvette ou présentant une contrepente (replat) ; sites qui correspondent le plus souvent à l'emplacement des zones humides de montagne. En 2007, sur un échantillon de 27 ouvrages présentés par L. Peyras *et al.*, 9 étaient construites sur une zone humide ; l'information étant inconnue pour les 4 restants (Peyras *et al.*, 2007).

En Haute-Savoie, un exemple datant de 2003 montre la disparition d'une zone humide (figure 8.19). Cet exemple particulier ne doit pas pour autant être érigé en un principe général.



Figure 8.19 : Construction d'une retenue d'altitude sur une zone humide en Haute-Savoie (d'après les données transmises par ASTERS, 2008, pour l'inventaire des zones humides ; Photo Aérienne : IGN). *L'évaluation patrimoniale de cette zone humide relevait un intérêt floristique fort, faunistique moyen et hydraulique limité (ASTER, 2008). D'après la DDAF 74, interrogée sur ce point (échange par courrier électronique le 21/10/2008), l'arrêté préfectoral pris pour autorisation de cet ouvrage ne prévoit aucune mesure compensatoire pour cette destruction.*

Certaines, comme sur le domaine skiable des Saisies (Savoie), ont même été spécialement conçues pour ne pas impacter de zones humides (emplacement choisi et orientation particulière de l'évacuateur de crue). A La Plagne (Savoie), un projet de retenue a fait l'objet d'une démarche partenariale entre aménageurs, services de l'état et scientifiques pour protéger l'existant et tenter (en vain...) de reconstituer une portion de zone humide détruite (Lenfant *et al.*, 2008). Si cela n'a pas toujours été le cas par le passé, des mesures compensatoires sont désormais imposées pour toute destruction d'un milieu de ce type.



Carte 8.6 : Zones humides, emprises des domaines skiables et retenues d'altitude existant en Savoie et Haute-Savoie (d'après les données transmises par le CPNS et ASTERS, 2008, pour les zones humides et la DRE Rhône-Alpes, 2008, pour l'emprise des domaines skiables)

Le second type d'impact potentiel d'une retenue sur un cortège de zones humides relève de la dérivation des écoulements (figure 8.20). En effet, une retenue située à proximité d'une zone humide peut en perturber le fonctionnement hydrologique soit en l'asséchant (le cortège faunistique et floristique s'en trouvera alors fragilisé), soit au contraire en l'engorgeant (par un évacuateur de crue par exemple). Ces interférences restent à ce jour théoriques ; nous ne les avons pas relevées sur le terrain.

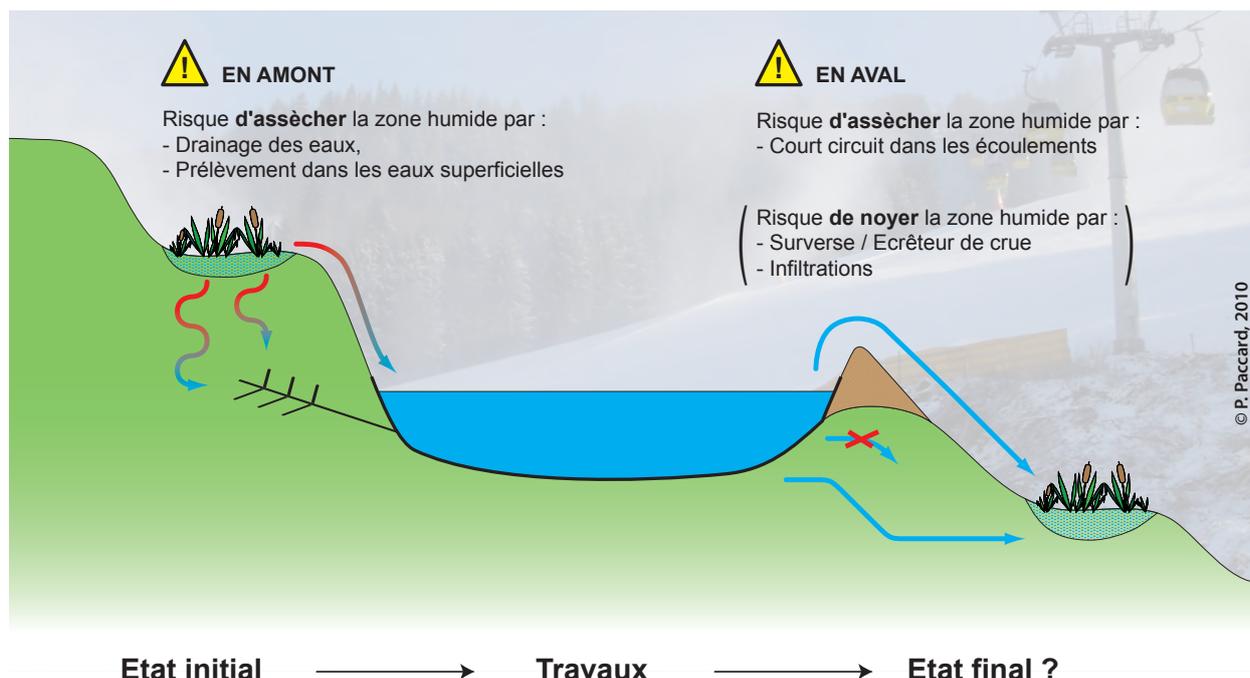


Figure 8.20 : Retenue d'altitude et zone humide : les interférences hydrologiques possibles (extrait de Paccard, 2008, repris in Chollet et Magnon, 2010, p. 160)

La production de neige est l'expression de l'usage du territoire. Elle participe au fonctionnement d'un modèle de développement économique, centré sur les sports d'hiver. La neige y est la « matière première » et la principale ressource. Se pose de ce fait avec acuité la question de la pérennité de cette ressource. Celle-ci n'est pas d'une évidence absolue et ce au regard des évolutions climatiques actuelles. Il convient donc d'essayer d'apprécier l'« avenir » de la ressource neige dans les stations des départements de Savoie et de Haute-Savoie au regard des évolutions climatiques actuelles. *In fine*, cela nous permettra de qualifier l'opportunité d'une stratégie d'adaptation au changement climatique reposant sur la production de neige, objet de notre étude.

2. RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE ET RESSOURCE NEIGE EN STATIONS DE SPORTS D'HIVER : ESSAI D'APPLICATION AUX DOMAINES SKIABLES DE SAVOIE ET DE HAUTE-SAVOIE.

Si la variabilité climatique interannuelle est certaine, celle-ci ne doit cependant pas être confondue avec la variation du climat sur le long terme. Les différents travaux sur la question ont montré que cette variation est amplifiée en région de montagne. Nous proposons d'aborder une réflexion sur les interactions possibles entre le changement climatique actuel, en particulier le réchauffement des températures, et la ressource neige en stations de sports d'hiver¹². Dans une démarche prospective et constructive, après avoir fait un point sur l'état de l'art, nous essaierons d'appliquer ce raisonnement aux domaines skiabiles des départements français alpins de Savoie et de Haute-Savoie.

Nous ne prétendons pas être dans une démarche d'affirmation de tel ou tel scénario, tant les incertitudes sont grandes. Nous questionnerons plutôt les différentes analyses actuelles, tant en termes de données à exploiter que de méthodologies à conduire¹³.

2.1. Etat de l'art : de multiples méthodologies

Les séries météorologiques alpines tendent à montrer une diminution du nombre de jours de neige au sol par an (Etchevers et Martin, 2002 ; Laternser et Schneebeli, 2003). Ces diminutions sont expliquées par une fonte plus précoce du manteau neigeux, du fait de températures plus douces, ainsi que par l'élévation altitudinale de la limite pluie/neige (Etchevers et Martin, 2002, p. 5 ; Aspen Global Change Institute, 2006, p. 31 ; Prudent-Richard *et al.*, 2008, p. 39). 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.

2.1.1. L'analyse de la variation des chiffres d'affaires

Les différentes sensibilités des stations aux « mauvais » hivers passés sont généralement abordées par l'étude de la variation de leurs chiffres d'affaires. 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*

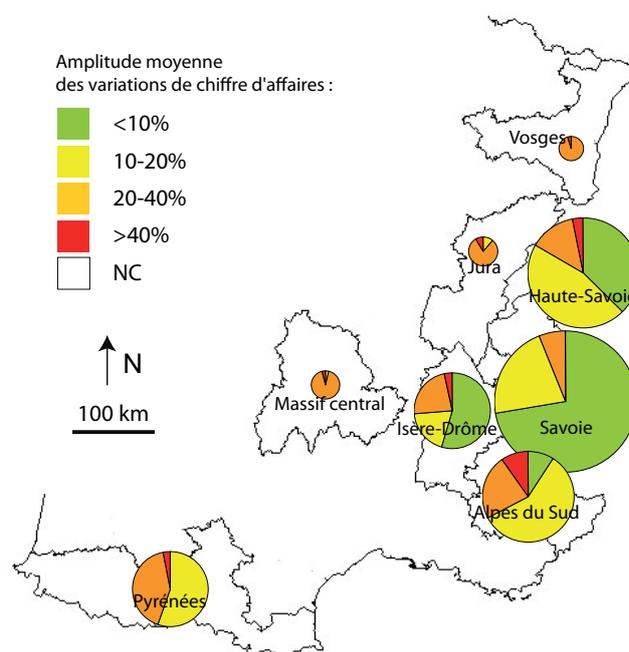
¹² Nous définissons le changement climatique global dans notre chapitre 2 (cf. p. 104). Il s'agit bien maintenant des conséquences possibles du réchauffement climatique à une échelle plus locale.

¹³ Dans le présent chapitre, nous rappelons que cette seconde section est la reprise de la partie du rapport « *Gestion durable des territoires de montagne - La neige de culture en Savoie et Haute-Savoie* » consacré à ce sujet (DDEA 73 et EDYTEM., 2009, p. 43). Une version préliminaire de ce travail avait déjà été publiée 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).

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 pas *a priori* que l'on peut faire face à des fluctuations d'un climat plus chaud.

Ce type d'approche est proposé par ODIT France (2008, p. 4) qui évalue la sensibilité des exploitations de remontées mécaniques aux aléas conjoncturels à partir de l'amplitude moyenne des variations saisonnières des chiffres d'affaires sur la période 1990-2007 (carte 8.7). 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* » (*idem*). A titre d'exemple, la majeure partie des exploitations de remontées mécaniques du département de la Savoie connaît des amplitudes de variations 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. L'un des éléments d'explication est la différence des plages d'altitude de ces domaines.

Carte 8.7 : Amplitude moyenne des variations saisonnières de chiffre d'affaires des exploitations de remontées mécaniques sur la période 1990-2007 (d'après ODIT France, 2008, p. 4, modifié). *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 C. Hélicon (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* » (Hélicon, 2006, p. 111).

2.1.2. Les modèles prospectifs

En réponse à ces premières méthodes, 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, M. Tabeaud et B. Delaporte (2005) identifient quatre groupes de stations pour lesquels « *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 de domaines 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). A notre sens, cette typologie est intéressante mais bien trop restrictive et déterministe.

J.-C. 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* » (p. 2), 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 tomberaient à Aspen davantage sous la forme de pluie que de neige et que, « *en considération d'un scénario d'émission de gaz à effet de serre élevé, la pratique du ski serait 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, p. xvii).

Au Canada, les travaux de J. 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. Nous nous sommes déjà appuyés dans nos études de cas sur cette approche qui fait l'objet d'une présentation plus détaillée dans le paragraphe suivant.

2.2. 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, p. 30). 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 (données in Montagne Leader, 2008, p. 50).

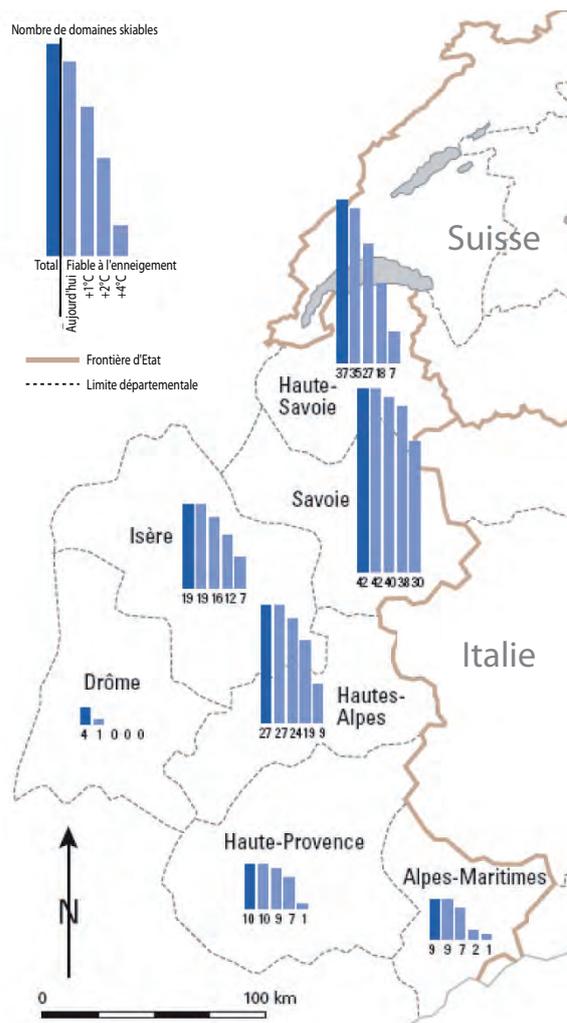
A partir de cette première hypothèse, en extrapolant des résultats de travaux réalisés pour la Suisse (Föhn, 1990 ; Laternser et Schneebeli, 2003), une limite de fiabilité de l'enneigement naturel est définie par l'OCDE pour chacune des zones alpines prises en compte dans l'analyse. Cette altitude – 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 8.1). **En outre, cette limite altitudinale remonterait de 150 mètres par degré de réchauffement moyen dans l'hypothèse de l'élévation des températures moyennes hivernales.** Ainsi, dans l'hypothèse d'un réchauffement de 1°C, 2°C ou 4°C des températures moyennes (scénarii 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.

Tableau 8.1 : 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 (extrait de OCDE, 2007, p. 32). *Encadrée en rouge, la limite de fiabilité pour les départements de Savoie et Haute-Savoie : 1200 mètres.*

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

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, p. 33). 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 skiables alpins (carte 8.8). 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 (*idem*). 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 8.8 : Nombre de domaines skiables offrant un enneigement naturel fiable dans les Alpes françaises, aujourd'hui et dans les conditions climatiques de demain (d'après OCDE, 2007, p. 118, 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 domaine skiable 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 **trois 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 précipitation (solide ou liquide), 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, p. 38).

• 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-station qu'une analyse globale, sur l'ensemble d'un parc de domaines skiables, tend au contraire à lisser. Ce « lissage » accentue une vision catastrophiste des événements à venir.

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 on se propose de le faire.

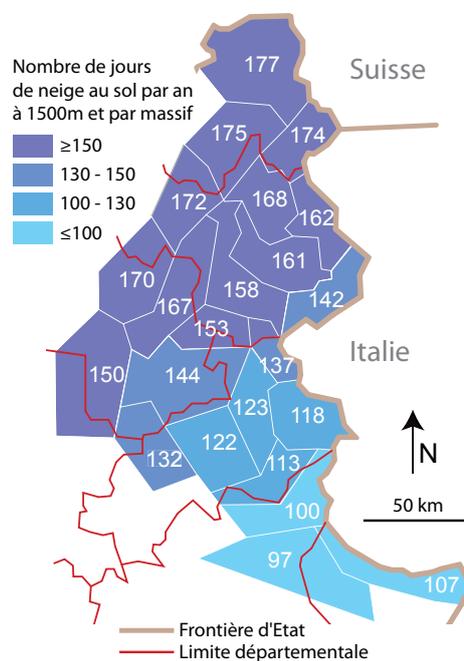
Quoi qu'il en soit, l'ensemble des approches décrites précédemment semble complémentaire : prospection sur des paramètres physiques, rétrospection sur des paramètres socio-économiques. Le croisement des résultats issu de ces différentes méthodologies diminuerait certainement les marges d'incertitude possibles.

En reprenant les bases des travaux de l'OCDE, notre propos va désormais s'attacher à essayer de pallier les trois principales limites que nous explicitions en tentant d'affiner l'approche puis de l'appliquer aux départements alpins français de Savoie et de Haute-Savoie.

2.3. Reprise des travaux de l'OCDE : application aux départements de Savoie et Haute-Savoie

2.3.1. 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 8.9). 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 8.9 : Durée moyenne de l'enneigement à 1500 m (en jours par an), simulée par SAFRAN et CROCUS dans les Alpes en 2002 (d'après ODIT France, 2006, p. 41, modifié, repris de Etchevers et Martin, 2002).

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 8.2.

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

Tableau 8.2 : Limite de fiabilité de l'enneigement naturel pondérée par massif. Les résultats de calcul figurent en italique dans ce tableau.

^[1] Donnée du modèle SAFRAN et CROCUS de Météo France ;

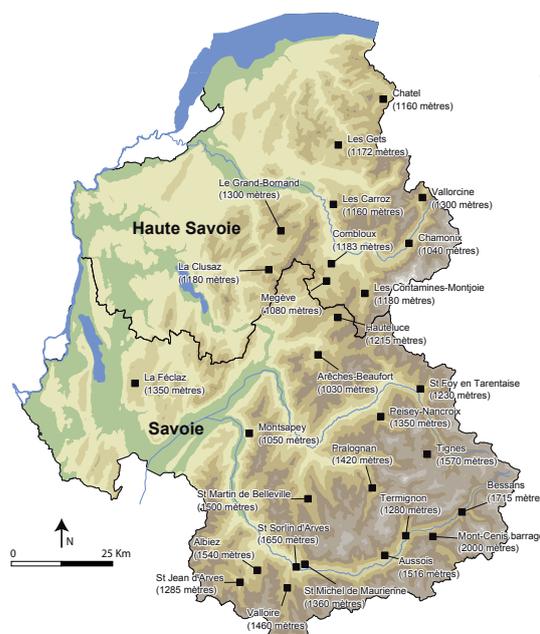
^[2] $Alti_{\text{fiab massif}} = 1200 \times (365 - N_{j \text{ neige } 1500}) / (365 - \text{Moyenne de } N_{j \text{ neige } 1500})$;

^[3] Donnée OCDE, 2007.

Dans un second temps, ces résultats obtenus en première approximation doivent être confrontés aux relevés Météo France des hauteurs de neige quotidiennes 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 8.10). 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 connues avant cette date pour aucune des stations météorologiques étudiées. Les résultats sont présentés dans le tableau 8.3 en considérant ou non l'hiver 2006-2007 particulièrement peu enneigé et illustrés en figure 8.21 sans considérer ce même hiver.



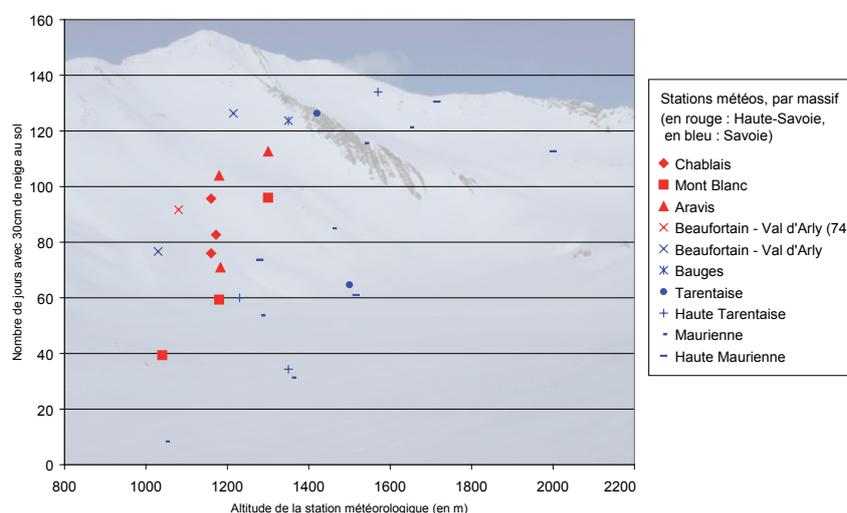
© P. Paccard, 2010

Carte 8.10 : 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	Massif	Altitude	Nombre moyen de jours par hiver avec 30 cm 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 ^[*]	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 ^[*]	Haute Tarentaise	1230	60 (41)
Tignes ^[*]	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 ^[*]	Haute Maurienne	1715	131 (108)
Mont-Cenis barrage	Haute Maurienne	2000	113 (92)
Termignon	Haute Maurienne	1280	74 (56)

Tableau 8.3 : 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 (d'après les données transmises par Météo France, 2009). ^[*] *Séries de données incomplètes ; moyennes 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 8.21 : 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 (d'après les données transmises par 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 8.21 (*supra*) 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 haut-savoymardes, toutes situées en dessous de 1400 mètres, n'atteignent pas les 100 jours de neige, excepté deux stations du massif des Aravis.**

Ce premier niveau d'analyse permet de mettre à nouveau en évidence **les différences d'enneigement entre les massifs savoyards**. Nous retiendrons les altitudes obtenues par pondération des 1200m de l'OCDE (tableau 8.1 *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 été modulées selon les scénarii 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.

2.3.2. 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-savoymardes 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 de l'emploi de cette troisième méthode 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.

2.3.3. Résultats et analyse critique

Les altitudes des différents domaines skiables, calculées *via* ces trois méthodes, ont 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 8.11 (*infra*, page 386).

Résultats : une grande diversité des situations intra et inter départementales

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 soulignent **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.

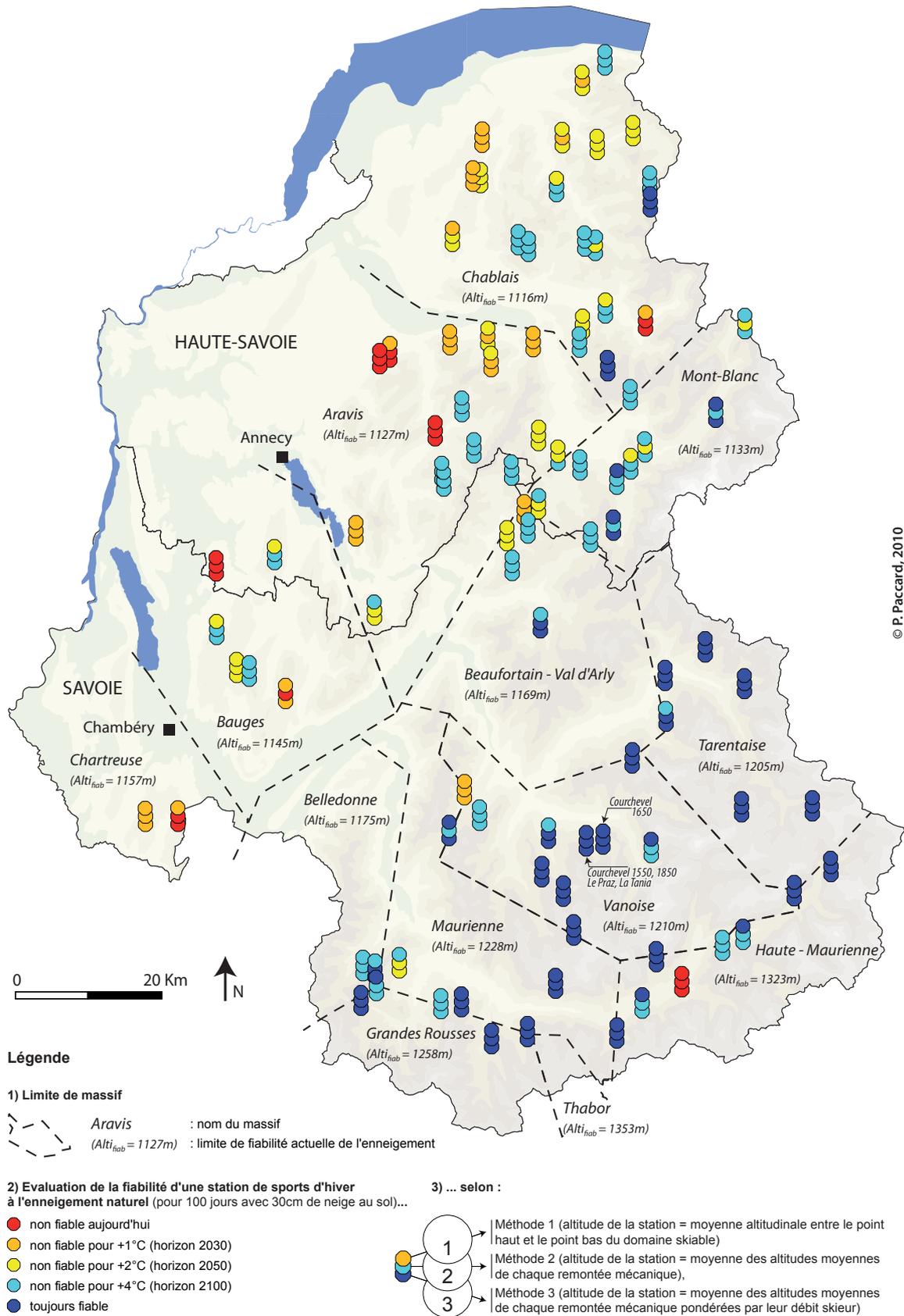
La synthèse des résultats, présentée à l'échelle départementale dans le tableau 8.4, montre les variabilités des calculs de fiabilité selon les différentes approches et les compare aux résultats de l'OCDE. **Si les méthodes proposées donnent des résultats globalement homogènes**, ceux-ci présentent une 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 massif [sur 48 sites analysés]	méthode 1	1	6	9	23	25
				2%	12,5%	19%	48%	52%
			méthode 2	3	6	9	24	24
				6%	12,5%	19%	50%	50%
		méthode 3	2	6	9	23	25	
	4%	12,5%	19%	48%	52%			
Haute Savoie	d'après OCDE (2007) [sur 37 sites analysés]	2	10	19	30	7		
		5%	27%	51%	81%	19%		
	d'après les altitudes de fiabilité définies par massif [sur 47 sites analysés]	méthode 1	3	11	25	42	5	
			6%	23%	52%	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 8.4 : Variabilité des calculs de fiabilité selon les différentes méthodes

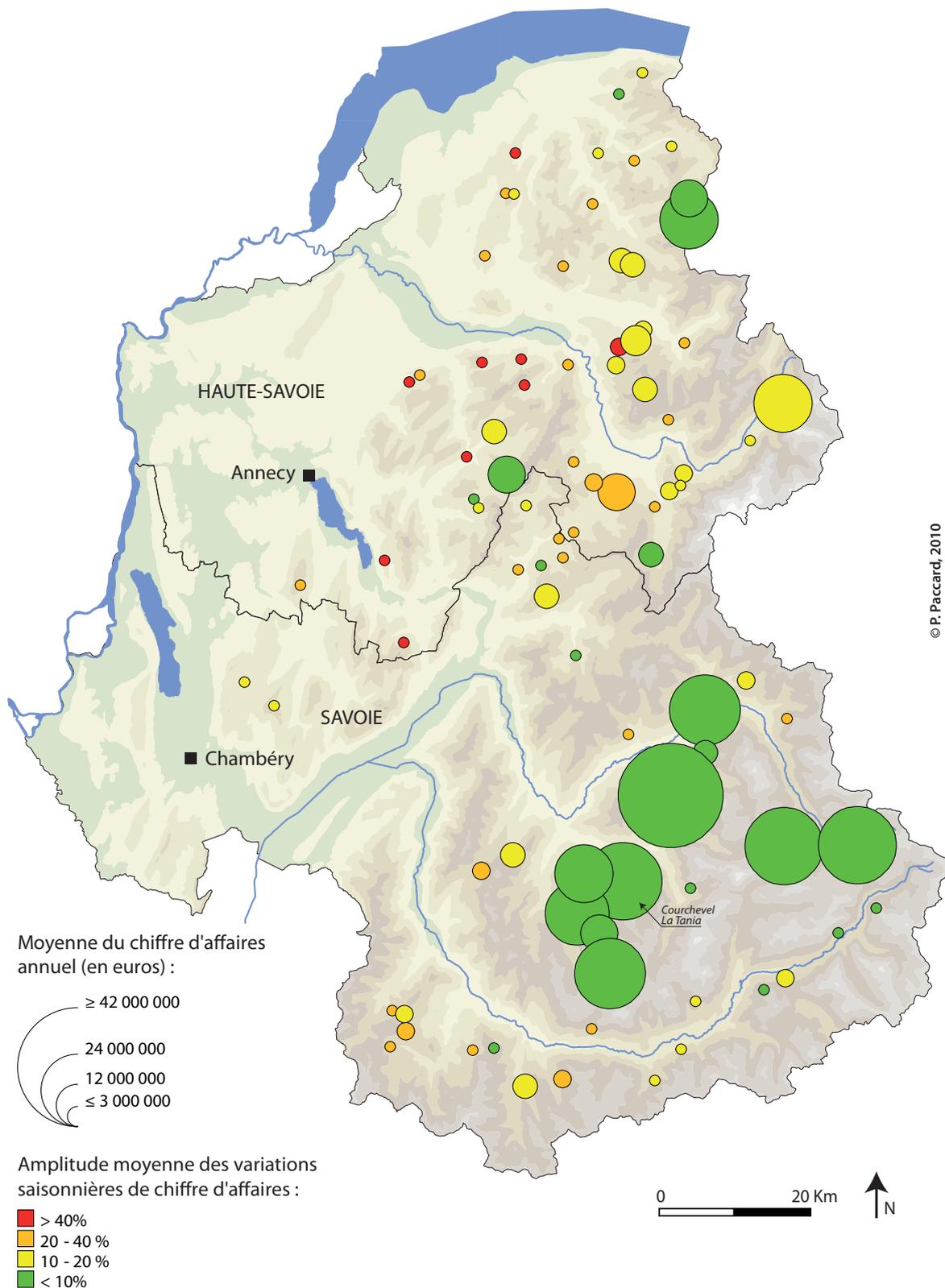
Enfin, ces résultats peuvent être comparés avec l'analyse de la variation des chiffres d'affaires des stations de ski savoyardes¹⁴ (carte 8.12, *infra*, page 387).

¹⁴ cf. titre 2.1.1. *supra*, p. 377, « L'analyse de la variation des chiffres d'affaires ».



© P. Paccard, 2010

Carte 8.11 : Evaluation de la fiabilité de l'enneigement des domaines skiables de Savoie et Haute-Savoie. 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.



Carte 8.12 : Variations saisonnières de chiffres d'affaires des stations de ski savoyardes et haut-savoyardes depuis 1986 (d'après les données transmises par Atout France, 2009)

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. A l'inverse, les plus fiables sont celles soumises aux moins grandes variations. Elles sont également les stations aux chiffres d'affaires les plus importants.

Ceci est d'autant plus intéressant que les méthodologies employées sont différentes. Elles se croisent et sont complémentaires : l'une étant fondée sur des paramètres physiques (vulnérabilité structurelle) et dans une démarche prospective, l'autre sur des paramètres socio-économiques (vulnérabilité organisationnelle) dans une démarche rétrospective.

Discussion : une lecture déterministe du risque

Si les différentes méthodes utilisées ne remettent pas en cause les résultats de l'OCDE, celles-ci permettent de proposer une cartographie plus précise et argumentée de la fiabilité de l'enneigement des stations étudiées. En réalité, trois lacunes 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 justifier a posteriori la limite globale des 1200 mètres de l'OCDE. Cette altitude devrait donc être retravaillée par l'analyse d'un nombre plus important de stations météorologiques, *via* des sites instrumentés¹⁵, 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.

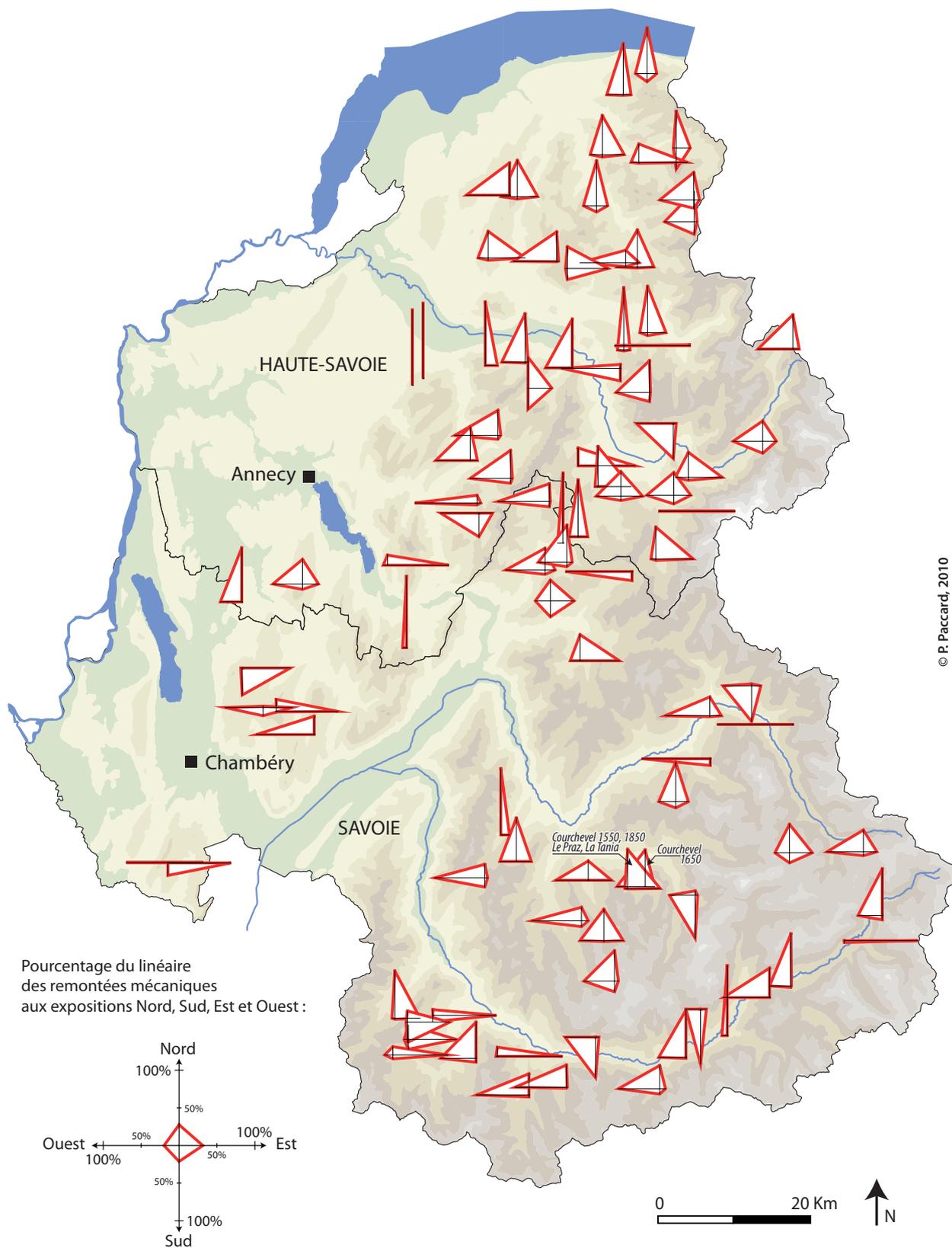
En matière d'exposition des domaines skiabiles de Savoie et de Haute-Savoie, la carte 8.13 présente les résultats d'un premier calcul en croisant un modèle numérique de terrain des deux départements et les remontées mécaniques numérisées de chaque domaine skiable (base de données FIRM). Ces résultats 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 mécaniques¹⁶. 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 le calcul proposé de fiabilité de l'enneigement des domaines skiabiles. Cela n'a pu être réalisé dans le cadre de ce travail.

¹⁵ Par exemple par des laboratoires de recherche.

¹⁶ 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) et devrait être réalisée prochainement pour le département de la Savoie.

Enfin, tant dans la méthodologie conduite – centrée sur l'aléa et la vulnérabilité structurelle des stations – 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 nécessaire de compléter cette prospection du risque d'un déficit de neige par une approche centrée sur la vulnérabilité organisationnelle de ces terrains d'étude, ce que nous n'avons pas réellement fait. 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.

En cela, si nous avons montré, dans le cadre de notre étude, la place importante de la production de neige dans les différentes stratégies des opérateurs pour fiabiliser et améliorer la qualité de leur produit, nous ne connaissons pas bien la part accordée aux autres alternatives ; des perspectives de recherche en vue...



Carte 8.13 : Exposition des remontées mécaniques des domaines skiables savoyards et haut-savoyards au Nord, Sud, Est et Ouest (d'après les données de la base FIRM, transmises par les DDE 73 et 74, 2009). 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.

CONCLUSION DU CHAPITRE 8

L'objectif de ce chapitre était de **contextualiser nos études de cas**. Deux points particuliers ont focalisé notre attention : l'un sur les implications de la pratique de l'enneigement artificiel sur l'eau, l'autre sur le changement climatique et l'« avenir » de la ressource neige de ces domaines skiabiles.

Du point de vue de l'eau, les données confirment la **croissance des prélèvements en eau réalisés pour la production de neige**. Sur l'ensemble des situations analysées, nous retrouvons les différents modes d'alimentation en eau mis en œuvre sur nos trois terrains d'étude : **prélèvement direct dans les eaux superficielles ou indirect depuis un réseau d'alimentation en eau potable, un réseau hydroélectrique ou une retenue d'altitude**.

Cette dernière solution est aujourd'hui largement privilégiée par les opérateurs de domaines skiabiles. Entre petits ouvrages et grands ouvrages, les problématiques sont différentes : effet de site limité mais **remplissage multiple** pour les premiers, remplissage unique mais **effet de site important**, voire très important, pour les seconds.

En Savoie et Haute-Savoie, des alternatives à ces ouvrages sont parfois mises en œuvre : il s'agit des **prélèvements réalisés depuis les aménagements hydroélectriques**, dont bénéficient d'ores et déjà nombre de stations de Haute-Maurienne, du Beaufortain ou de la vallée de Chamonix.

En termes de concurrence entre l'alimentation en eau potable et la production de neige, **un conflit d'usage en défaveur de l'AEP est peu probable**. Nous n'avons jamais relevé d'incident de ce type. Néanmoins, nous pensons que **la séparation des réseaux est à privilégier**.

La question des **impacts hydrologiques** constituait le deuxième point de l'éclairage proposé. Ceux-ci sont **locaux, sur les petits cours d'eau de montagne**. Si les prélèvements pour la production de neige ne semblent pas remettre en question les bilans hydrologiques régionaux, ils peuvent être très impactants à l'échelle des petits bassins versant de montagne en période d'étiage. L'enjeu réside dans la **définition des débits minimums** (réservés ou biologiques) **de ces cours d'eau** qui n'ont, malheureusement, pas toujours été respectés. Sur ce point, l'exploitation des installations se doit d'être rigoureuse pour garantir la continuité hydraulique des écoulements. **Une attention particulière doit également être portée aux zones humides**, écosystèmes aux intérêts multiples, potentiellement vulnérables à la réalisation des retenues d'altitude. **La qualité de l'eau utilisée pour l'enneigement ne doit enfin pas être négligée** ; un hypothétique cas de pollution de captage AEP en Savoie par un réseau de production de neige invite fortement à poursuivre des efforts dans ce sens.

Du point de vue climatique, **les prospections établies montrent des situations diverses : fiabilité de l'enneigement pour les stations d'altitude, fortes incertitudes pour les stations de moyenne montagne**. Cependant, évaluer la fiabilité des domaines skiabiles du point de vue de leur enneigement naturel dans un contexte de réchauffement climatique reste un objectif difficile à réaliser dans le cadre d'une recherche doctorale. Cette démarche reste à entreprendre à différents niveaux d'échelle, en privilégiant l'échelle territoriale. Reprenant les grands principes des travaux réalisés sur le sujet par l'OCDE, notre analyse souligne qu'il importe de prendre en compte l'exposition des versants, la topographie des sites, etc. qui peuvent localement avoir des effets importants. En ce sens, c'est à une échelle encore plus fine qu'il faudrait travailler, celle de chaque

station de sports d'hiver et de son bassin versant. En termes d'évolution climatique et de ses potentielles conséquences, les résultats obtenus sur nos trois terrains d'étude restent insuffisants et doivent être complétés.

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 véritablement 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** 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 stations.

Au sujet de cette dernière alternative, si la diversification des activités touristiques est effectivement souvent exposée, voire envisagée, la difficulté réside toujours du point de vue des acteurs à mettre en œuvre, à périmètre constant, une alternative aux retombées économiques aussi importantes que le produit ski. Dans le cadre de nos travaux centrés sur la production de neige, nous n'avons que guère travaillé sur le poids que représentent les autres alternatives.

Nous avons montré, tout au long de notre recherche, **le poids très important que la production de neige représente aujourd'hui dans le modèle de développement touristique proposé. Historiquement, elle est une solution employée pour atténuer les effets de la variabilité interannuelle des précipitations neigeuses.** 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.

Aujourd'hui, **nous n'avons pas de certitude quant à savoir si le dessein de cette pratique est effectivement pour les opérateurs de lutter contre les effets du changement climatique et la raréfaction de la ressource neige qui en découle.** Il s'agirait dans ce cas d'une tentative d'adaptation aux effets probables du changement climatique (atténuation des effets). Quoi qu'il en soit, **si tel était le cas, nous pensons cette stratégie non durable à terme.** Mais dans cette problématique générale, il nous semble possible de pouvoir faire une **distinction entre les stations d'altitude**, où le produit ski ne semble pas aujourd'hui être remis en cause par les évolutions climatiques **et les stations de moyenne montagne**, plus contraintes, qui ont certainement d'autres pistes à explorer, d'autres atouts à valoriser. Cette distinction reste néanmoins à relativiser selon les massifs considérés, comme nous l'avons montré (différence d'enneigement entre les massifs externes et internes).

Dans l'appréciation des situations liées à la production de neige, l'essentiel est de faire la part des choses entre **deux destinations possibles de l'outil : pratique légitime d'un côté**, visant à améliorer la qualité d'un produit touristique et réalisée dans le respect de l'eau, de ses usages et des milieux aquatiques ; **pratique inopportune de l'autre**, destinée à porter un système fragilisé par les évolutions climatiques et pouvant, de surcroît, être très contraignante pour toutes les dimensions de l'eau. **Encore une fois, nous revendiquons de la mesure pour juger de ces complexes et différentes situations.**

Dans tous les cas, pour revenir à la seconde partie de ce chapitre, la fiabilité de l'enneigement naturel, au regard des capacités d'adaptation des stations de sports d'hiver, n'est qu'un des éléments à prendre en considération dans un objectif de définition des vulnérabilités des stations de sports d'hiver et, plus largement, des territoires touristiques de montagne. Cela est d'autant plus vrai que les trajectoires d'évolution de la demande touristique à long, voire à moyen terme, c'est-à-dire aux horizons 2030 à 2100 envisagés dans notre démarche, restent une inconnue.

CHAPITRE 9 - PROPOSITIONS POUR UNE GESTION DURABLE DE L'EAU : APPLICATION AU CAS DE LA PRODUCTION DE NEIGE

La gestion efficace de l'eau est un enjeu majeur qui est au cœur des préoccupations, tant à l'échelle nationale (Grenelle de l'Environnement) qu'à l'échelle des territoires de montagne. En outre, les impératifs économiques ne peuvent évidemment pas gouverner à eux seuls les politiques territoriales et touristiques. Ils ne peuvent et ne doivent néanmoins pas être déconsidérés. On retrouve bien là l'idée de l'intégration nécessaire de toutes les dimensions de l'eau et des territoires que nous défendions sur le plan des concepts au début de notre mémoire. Dans celle-ci, la question des évolutions climatiques tient une place importante.

Les hypothèses et questionnements proposés comme point de départ de notre travail sont ici confrontés aux résultats de notre recherche. Certains de ces points vont être infirmés, d'autres confirmés. Quelques-uns ne pourront pas trouver de réponse formelle en l'état de nos connaissances. Ils laissent ainsi des interrogations en suspens, laissant la porte ouverte à de nouvelles recherches, dans la continuité de celles que nous avons menées.

Cet ensemble permettra de reposer puis de répondre à la problématique générale de notre travail : **la production de neige en stations de sports d'hiver peut-elle s'insérer dans un modèle de gestion durable de la ressource en eau ?** Anticipant quelque peu sur le déroulement logique de notre démonstration, nous répondons d'ores et déjà par l'affirmative à cette question.

Réponse optimiste de prime abord, les conditions théoriques à respecter pour permettre cette insertion se révèlent être nombreuses et, pour être objectif, allant même parfois à l'encontre de certains aspects de la pratique telle que nous l'avons comprise. Mais d'autres fois, des initiatives pilotes, mises en œuvre par différents acteurs (opérateurs de domaines skiables, gestionnaires de l'eau, pouvoirs publics...), semblent d'ores et déjà aller dans le sens d'une conciliation de la production de neige avec les autres usages de l'eau et le maintien des milieux aquatiques dans un bon état écologique. Nous relèverons en conclusion l'ensemble des points, soit positifs à encourager, soit négatifs à éviter, pour contribuer de façon constructive à une gestion plus efficiente de l'eau et des territoires de montagne.

1. HYPOTHÈSES DE TRAVAIL ET QUESTIONNEMENTS À L'ORIGINE DE NOTRE TRAVAIL

Rappelons que les hypothèses de travail et questionnements (cf. *supra*, chapitre 1, p. 50) ont permis de fixer le cadre de notre travail et sa problématique. Ils se voulaient volontairement maximalistes et furent partiellement rédigés dans l'objectif de répondre au questionnement sociétal suscité par la production de neige en stations de sports d'hiver.

Quatre champs principaux ont pu être abordés : l'évolution des équipements, la ressource en eau, le changement climatique et l'aménagement des territoires. Ces hypothèses vont être reprises une par une (reproduites *en italique*), telles qu'elles furent rédigées, puis éprouvées dans les paragraphes suivants, grâce à l'ensemble des éléments résultant de nos recherches.

1.1. Evolution des équipements

1. Le nombre des installations de production de neige ne cesse de croître depuis plusieurs années. S'agissant d'une pratique relativement récente, il importe de souligner que la plupart des stations de sports d'hiver sont aujourd'hui équipées. Le développement de ces infrastructures passe désormais par des extensions régulières des réseaux existants. En corollaire, les volumes d'eau mobilisés pour la satisfaction de cet usage sont de plus en plus importants.

Cette affirmation est globalement confirmée. Mise au point dans les années 1950 aux Etats-Unis, la production de neige est expérimentée dès l'année 1963 en France. Une succession d'hivers difficiles conduisit à la généralisation de l'enneigement artificiel sur les domaines skiables français à la fin des années 1980. Approximativement, l'ère de la production de neige couvre aujourd'hui plus du tiers de l'histoire des sports d'hiver. En ce sens, il ne s'agit plus vraiment d'une pratique tout à fait récente. Les stations ont désormais une réelle expérience en la matière.

Aujourd'hui, sur les 300 stations de sports d'hiver du parc français, plus de 200 sont équipées. Toutes les « grandes » stations le sont. Les domaines d'étude (Orcières-Merlette, Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors et Courchevel - La Tania) sont également équipés, respectivement depuis les années 1992, 1982 et 1983. Leurs pistes enneigeables s'étendent depuis le pied des pistes (c'est systématiquement là qu'ont été installés les premiers enneigeurs) jusqu'à l'amont du domaine : le sommet du domaine pour Courchevel (situé à 2738 m d'altitude), quelques dizaines de mètres sous le sommet du domaine de Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors (situé à 2050 m) et 250 mètres sous le sommet du domaine d'Orcières-Merlette (situé à 2725 m).

A l'échelle nationale, les surfaces enneigées continuent de croître de façon « linéaire », sans véritable fléchissement (alors que la croissance du nombre de stations équipées tend à s'infléchir) : 5300 hectares équipés pour la saison 2008-2009. Les réseaux s'étendent progressivement. En moyenne et à l'échelle nationale, 23% de la surface des pistes balisées sont enneigeables artificiellement (la Suisse, l'Autriche et l'Italie le sont davantage, respectivement 33%, 59% et 70% de la surface de leurs pistes). Des projets d'extension de réseaux comme de retenues d'altitude laissent à penser que le développement de ces infrastructures n'est pas terminé. Les trois études de

cas confortent ces tendances nationales. D'après nos calculs, le pourcentage du linéaire de pistes équipées est de 44% sur le secteur de Villard (contre 29% sur l'ensemble du domaine, secteur Corrençon compris), 36% à Orcières-Merlette et 33% à Courchevel - La Tania. Sur chacun de ces domaines skiables, des projets existent, mineurs ou majeurs, soit pour étendre les réseaux, soit pour renforcer la disponibilité de l'eau pour la production de neige.

En 2008-2009, plus de 18 millions de m³ d'eau auraient été mobilisés pour produire de la neige sur l'ensemble des stations françaises. Chaque année, ces besoins croissent de façon relativement linéaire. Néanmoins, nous insistons sur le fait que, si le chiffre avancé (18 millions) est, dans l'absolu, colossal, il n'apporte rien quant à l'appréciation des besoins et des ressources disponibles qui doivent être appréhendés à une échelle locale. Ainsi, sur les trois terrains d'étude, si les besoins sont également croissants (cela est également vrai pour l'alimentation en eau potable des populations touristiques), la ressource semble être aujourd'hui encore suffisamment disponible pour satisfaire l'ensemble des usages.

Par contre, des signes avant-coureurs des limites finies de la ressource se font sentir : bilans besoins / ressource déficitaires à l'étiage, à moyen terme, d'après les SDAEP consultés, solutions techniques et institutionnelles de plus en plus complexes pour organiser le partage de la ressource en eau, etc.

1.2. La question de la ressource en eau

- 2. Les hydrosystèmes de montagne sont fortement impactés par la production de neige au moment des étiages hivernaux : baisse significative des débits en tête de bassins versant, voire assec des cours d'eau sollicités.*

Cette hypothèse est à nuancer. Il est, dans tous les cas, nécessaire de préciser un cadre d'analyse spatio-temporelle pour y répondre. Sur les trois stations étudiées à une résolution fine, les incidences de la production de neige sur les hydrosystèmes ont été appréciées qualitativement, approchées quantitativement. Sans conteste et dans l'absolu, les cours d'eau sollicités sont influencés par la production de neige. Nous rappelons que les prélèvements mensuels pour la production de neige à Orcières-Merlette représentent plus de 25% des écoulements théoriques des mois de novembre à mars à l'exutoire du bassin versant sollicité (6,4 km²), tels que nous les avons reconstitués (en réalité, le lac des Estaris tamponne ces prélèvements). A Villard-de-Lans, les prélèvements sont peu significatifs dans le régime des écoulements de la Goule Blanche (bassin versant de 74 km²). A Courchevel les prélèvements dans le torrent de la Rosière (bassin versant de 26 km²) représenteraient au maximum 9% des écoulements mensuels correspondant aux débits d'étiage de retour 10 ans (cas des prélèvements du mois de décembre).

A la fonte des neiges, après avoir été potentiellement transférés sur d'autres bassins versant élémentaires et immobilisés pendant la durée de la saison, l'eau prélevée est globalement rendue au cycle hydrologique. De manière générale, plus les points de prélèvements sont hauts sur les bassins versant, plus les impacts potentiels sur les cours d'eau sollicités peuvent être importants (les débits décroissent avec l'altitude). En contexte alpin, on peut penser que les prélèvements d'une station de sports d'hiver ne sont plus significatifs dans le régime des écoulements lorsqu'ils sont réalisés

à l'exutoire d'un bassin versant de plus de 50 km² ; cette appréciation dépend évidemment du volume prélevé et doit être confirmée par l'étude d'un plus grand nombre de données quantitatives que celles que nous avons fournies. A un niveau plus régional donc, la production de neige ne remettrait pas en question l'intégrité des régimes hydrologiques.

Ainsi, c'est aux **petits cours d'eau d'altitude en période d'étiage** qu'il convient de porter attention, ce que prévoient d'ailleurs les arrêtés préfectoraux pris pour autorisation de prélèvements au titre de la loi sur l'eau. Ils définissent des débits réservés à respecter, ce qui n'a pas été fait deux fois entre 2006 et 2009 en Haute-Savoie. Ces incidents sont évidemment à proscrire intégralement ; nous les espérons ponctuels dans le temps et dans l'espace. Ils ne doivent pas être érigés en généralité.

3. *La production de neige n'est pas suffisamment encadrée par la législation. Nouvel usage de l'eau, il n'est pas encore pris en compte par les outils de gestion institutionnels de la ressource en eau.*

Nous infirmons cette hypothèse telle qu'elle est ici formulée. S'il n'existe pas de réglementation particulière aux installations d'enneigement, le droit commun s'applique. Les prélèvements pour la production de neige rentrent dans les cadres, relativement complexes, prévus par la loi sur l'eau française et que nous avons détaillés.

Par ailleurs, sur nos trois terrains d'étude, des outils de gestion de l'eau prennent en compte la production de neige. C'est le cas du contrat de bassin de l'Isère en Tarentaise qui, dans le cadre de son élaboration, a conduit un bilan quantitatif de la ressource en eau incluant l'ensemble des usages, dont la production de neige ; Courchevel faisait partie du périmètre de cette étude. Le « *schéma de conciliation de la neige de culture avec les autres usages de l'eau et les milieux aquatiques* », initialement déployé sur le périmètre exclusif du SAGE du Drac et de la Romanche a finalement été étendu à toutes les stations du département de l'Isère, dont Villard-de-Lans - Corrençon-Vercors. Enfin, le SAGE du Drac-Amont, dont le périmètre d'action inclut la station d'Orcières-Merlette, identifie trois enjeux particuliers en matière d'enneigement artificiel : amélioration des connaissances concernant les prélèvements réalisés, conciliation des usages d'eau potable et de production de neige et protection des zones humides.

En outre, les SDAGE respectifs des bassins Rhône Méditerranée et Adour Garonne, récemment actés, formulent des dispositions spécifiques aux installations d'enneigement, quasiment dans les mêmes termes : opportunité des équipements au regard de l'évolution climatique, bilan des ressources sollicitées et volumes d'eau utilisés, simulation du fonctionnement en périodes de pénurie hivernale avec établissement d'un zonage de priorité d'enneigement, préservation des zones humides et maintien d'un débit minimum hivernal.

Néanmoins, pour contrebalancer ces éléments, deux limites au système existant peuvent être ici relevées. D'une part, nous pensons que des points de la législation existante pourraient être aménagés dans l'intérêt de l'eau. Ces besoins d'aménagement mineur ont été relevés par Badré *et al.* (2009). Nous partageons leur analyse et reprendrons leur conclusion dans nos propositions à venir. D'autre part, sur l'ensemble des départements alpins du Nord, principal champ de nos investigations, seuls deux SAGE sont actuellement mis en œuvre : le SAGE du Drac et de la Romanche et celui du Drac amont. En Savoie et Haute-Savoie, où se concentrent d'importants

besoins en eau pour l'enneigement, il n'existe pas encore d'outils de planification de la gestion de l'eau de ce type (le SAGE de l'Arve est en cours d'élaboration en Haute-Savoie). Nous pensons ainsi que ces outils sont insuffisamment déployés et qu'il serait intéressant d'envisager leur application à d'autres territoires. Cette idée sera au cœur des préconisations que nous proposerons en conclusion.

4. *La planification des besoins en eau pour la production de neige est insuffisante et ne répond qu'à une logique de court terme. Les volumes mobilisés sont peu connus des acteurs de la gestion de l'eau. Dès lors, il n'est pas possible d'avoir une vision prospective sur les besoins futurs et de planifier la gestion de l'eau sur le long terme.*

Cette hypothèse rejoint quelque peu la précédente ; **nous la confirmons et la nuançons**. En effet, si les volumes prélevés sont connus dans leurs grandes lignes, il est vrai qu'il existe trop peu de données précises pour les apprécier dans le détail, à la bonne échelle spatio-temporelle. Au niveau local, les gestionnaires de l'eau potable savent théoriquement combien d'eau transite depuis leur réseau vers les installations d'enneigement ; ils facturent normalement ces volumes aux gestionnaires de l'enneigement.

A un niveau scalaire supérieur, les administrations ne connaissent pas ces volumes. Pour obtenir les informations que nous rapportons dans le cadre de notre travail, il nous a fallu interroger chaque acteur, l'un après l'autre, sans pouvoir véritablement solliciter de service centralisant toutes ces informations.

De la même façon, il semble paradoxal (même si l'on en comprend bien les raisons) que les agences de l'eau soient *a priori* moins renseignées qu'un organisme comme Atout France (anciennement ODIT France) en termes, par exemple, de répartition des différents modes de prélèvement. En outre (et cela nous a été rapporté plusieurs fois), les dossiers de projet parviennent entre les mains des services instructeurs de façon tout à fait fractionnée dans le temps, les uns après les autres, ne permettant que difficilement d'avoir une vision globale des besoins à long terme. Il faut noter que la responsabilité de ce dernier problème n'incombe pas forcément uniquement aux opérateurs de domaines skiables qui, de leur côté, se plient aux exigences de la réglementation. Dans l'espace, ce problème dépasse la seule dimension de la production de neige : sur un bassin versant de montagne, les bilans besoins / ressource sont difficiles à établir, d'une part parce que la globalité des besoins, tout usage confondu, est difficile à apprécier et, d'autre part, parce qu'il n'existe que trop peu de réseaux de mesure pour quantifier la ressource disponible. Nous suggérons la construction de partenariats plus nombreux entre les collectivités concernées et les laboratoires de recherche, dont le savoir-faire en matière de sites instrumentés pourrait pallier ce manque de données.

Il nous semble tout à fait possible de remédier à ces différents éléments. Nous l'avons souligné, les SDAEP sont un excellent outil de planification à long terme des besoins en eau potable. Ne serait-il pas possible d'appliquer la même formule aux besoins en eau pour l'enneigement ? De façon similaire, les SAGE permettent d'avoir cette vision d'ensemble, globale, intégrant d'ailleurs tous les usages de l'eau. Ces différentes formules pourraient être profitables à toutes les parties prenantes de la question de l'eau (utilisateurs, gestionnaires, milieux aquatiques...).

5. *Les additifs utilisés pour la production de neige représentent un danger certain pour la santé publique et les équilibres environnementaux. Ils menacent la qualité de la ressource en eau.*

En France, cette question n'a plus de raison d'être : plus aucun opérateur de domaine skiable n'utilise d'adjuvants pour faciliter la production de neige. Aussi, nous ne nous attarderons pas plus longtemps sur ce point (nous renvoyons à AFSSET, 2008 ou Dinger, 2004 pour tout complément sur les impacts de ces adjuvants). Nous encourageons toutefois cette décision qui devrait, nous semble-t-il, non seulement être traduite par la réglementation mais également appliquée par l'ensemble des stations de l'arc alpin.

Du point de vue de la qualité de l'eau, nous encourageons également les démarches en cours des opérateurs visant à s'assurer de la **protection des captages d'eau potable** situés dans le périmètre de leur domaine skiable. L'eau doit être appréhendée dans toutes ses dimensions, quantitative comme qualitative.

6. *Des conflits d'usage pour le partage de la ressource en eau se manifestent entre l'alimentation en eau potable et la production de neige en raison de déficits quantitatifs de la ressource. Certains territoires ont d'ores et déjà été amenés à arbitrer entre ces deux usages de l'eau. La priorité n'est pas toujours donnée à l'alimentation en eau potable ; des coupures sur les réseaux d'alimentation se sont déjà produites en raison d'une production de neige.*

La première partie de cette hypothèse est confirmée pour une seule situation portée à notre connaissance (Les Gets), ne relevant pas de nos études de cas ; **la seconde partie est infirmée dans tous les cas**. Si l'on considère les conflits d'usage comme « *la superposition d'usages autour d'une même ressource, qui implique que certains usages ne sont pas pleinement alimentés* » (APTV, 2008, *op. cit.*, p. 90), alors la situation des Gets à l'hiver 2007, telle que nous la connaissons, est un véritable conflit entre les usages d'alimentation en eau potable et la production de neige. Un arbitrage avait alors été rendu en faveur de l'alimentation en eau potable des populations de cette commune.

En l'état de nos recherches, nous n'avons jamais trouvé d'exemple, dans lequel la production de neige aurait été privilégiée au détriment de l'alimentation en eau potable. Sur les trois terrains d'étude, l'ensemble des parties nous a affirmé l'inexistence de tension entre ces deux usages de l'eau. Nous n'avons pas trouvé d'éléments visant à remettre en question ces propos. Néanmoins, dans la mesure du possible (et cela n'est pas toujours le cas comme à Villard-de-Lans où 100% de l'eau utilisée pour l'enneigement provient du réseau de distribution d'eau potable communale, faute d'une autre ressource disponible), la séparation des réseaux reste à privilégier, dans l'intérêt des deux usages.

7. *Les conflits d'usage impliquant la production de neige résultent également d'un déficit de communication entre les acteurs de l'eau en présence : les multiples utilisations de la ressource ne répondent qu'à des logiques purement sectorielles, sans aucune intégration des diverses parties prenantes.*

Globalement, cette hypothèse est infirmée. Appréhendée de loin, c'est-à-dire en étant éloignée du terrain, la réponse à cette question n'est de prime abord pas évidente. De cette façon,

le fonctionnement des systèmes locaux est effectivement souvent perçu comme non intégré et sectoriel. Les éléments de dialogue entre plusieurs usages de l'eau que nous rapportons depuis les trois études de cas, interconnectés avec la production de neige d'où nous sommes partis, semblent démontrer en partie le contraire. Plusieurs fois, nous avons employé les termes de « gestion empirique » de l'eau que nous différencions de la gestion institutionnalisée de cette même ressource.

Par gestion empirique, ou gestion pragmatique, nous souhaitons introduire l'idée des arrangements locaux entre les différentes parties prenantes de l'eau qui, à chaque fois et jusqu'à présent, ont toujours su trouver une réponse à leurs besoins. Ces réponses sont à la fois techniques, destinées à augmenter la disponibilité en eau (barrage d'altitude, nouveaux captages, usine de traitement de l'eau...), et administratives (droit d'eau depuis un aménagement hydroélectrique...). En cela, force est de constater la résilience des systèmes locaux de gestion de l'eau.

Nous rappelons qu'à Orcières-Merlette, Villard-de-Lans et Courchevel, les opérateurs de domaines skiables discutent avec les gestionnaires de l'eau potable et trouvent ainsi des compromis locaux pour satisfaire leurs besoins respectifs. A Orcières-Merlette et Courchevel, cette idée va plus loin puisque les usages d'eau potable et de production de neige portent ou ont porté un projet commun de renforcement de la disponibilité de la ressource. On peut ainsi parler de stratégie d'alliance, et non de concurrence, pour concilier des intérêts.

Néanmoins, cette gestion empirique de la ressource, jusqu'à présent suffisamment efficace dans le sens où elle a permis à chacun de satisfaire ses propres besoins, pose une fois encore la question de la limite des ressources disponibles. Cette limite, qui est d'une complexité certaine à établir, doit être qualifiée et considérée dans les projets à venir, pour la production de neige et pour les autres usages de l'eau. L'eau est effectivement une ressource renouvelable mais épuisable, dans la mesure où la vitesse des prélèvements peut être supérieure à la vitesse de reconstitution des stocks. Les documents et outils d'aménagement (DTA, SCoT, SDAEP) et de gestion de l'eau (SDAGE, SAGE, Contrat de milieux) interconnectés les uns aux autres (chaîne de compatibilité à respecter) devraient permettre d'envisager cette question en définissant des cadres généraux à respecter, dans la limite du capital « eau » existant.

8. *L'eau stockée dans les retenues d'altitude, et destinée à la production de neige, manquera pour les territoires aval. Les logiques de solidarité amont-aval sont ainsi mises à mal. De plus, ces ouvrages sont implantés sur des zones humides. Ils détruisent donc ces écosystèmes d'intérêt majeur qu'il conviendrait de protéger. Enfin, ces ouvrages présentent des risques sérieux pour la sécurité publique. Ils ne sont aujourd'hui pas suffisamment encadrés et surveillés. En cas de rupture d'un barrage, les dégâts seraient considérables.*

Cette hypothèse est pour partie infirmée, pour partie confirmée. En termes de retenues d'altitude, le premier remplissage à une année n retiendra effectivement les écoulements jusqu'à la fonte de la neige artificielle produite à la fin de la saison suivante. De façon schématique, dès les années $n+1$, $n+2$, etc. les remplissages sont réalisés alors que, sur la même année hydrologique, les volumes d'eau transformés en neige sont globalement rendus aux écoulements des versants. Dans une logique amont-aval, dans tous les cas cela est vrai partout.

Néanmoins, dans le cas où des captages d'eau potable se trouveraient à l'aval de ces ouvrages, des expertises hydrogéologiques pourraient être menées pour lever d'éventuels doutes sur les interactions possibles entre des prélèvements en amont et leurs conséquences en piémont. Ce cas d'école s'est notamment produit à Chamrousse (massif de Belledonne, Isère) : le projet de

retenue de la Grenouillère semblait pouvoir entraîner des conséquences sur les captages d'eau potable de la commune de Vaulnavey-le-Haut, située en contrebas (Mansouri, 2009¹). Un premier avis défavorable du commissaire enquêteur chargé de l'enquête publique, pour partie sur ce motif, a conduit à la réalisation d'une expertise : les conclusions de celle-ci ont montré que les prélèvements ne porteraient pas préjudice aux captages d'eau potable en question. Ce type d'étude complémentaire est à reproduire, dès que nécessaire.

Par ailleurs, nos recherches montrent qu'effectivement, des retenues d'altitude ont bel et bien été construites sur des zones humides. Nous sommes néanmoins dans l'incapacité de quantifier ce résultat. En outre, il faut préciser que :

- Toutes les retenues n'ont pas été construites sur des zones humides. C'est par exemple le cas de la retenue de l'Ariondaz à Courchevel et des retenues de Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors sur lesquelles nous nous sommes attardés. Certains projets ont même été conçus en considération de ces milieux (exemple de la station des Saisies, en Savoie).
- Les services de l'Etat portent désormais une attention particulière à ces écosystèmes. Des démarches partenariales avec les aménageurs ont été mises en place pour la prise en considération de ces espaces (exemple de la station de La Plagne, en Savoie).
- Les inventaires de ces milieux ne sont que récents sur les départements de Savoie, de Haute-Savoie (et de l'Isère). Ils constituent désormais des outils de référence sur lesquels s'appuyer.
- Lorsque, au terme d'une analyse objective des enjeux du milieu, un projet est autorisé sur un tel espace, des mesures compensatoires sont désormais imposées par l'arrêté préfectoral portant autorisation du projet.

Enfin, il faut noter l'action pilote mise en œuvre à Val Thorens (massif de la Vanoise, Savoie) qui, en accompagnement à la réalisation d'une retenue d'altitude, a consisté à mettre en place un plan de gestion des zones humides du domaine skiable (Gaucherand, 2010). Cette démarche, impliquant le Cemagref de Grenoble, le Parc de la Vanoise et l'opérateur du domaine de Val Thorens, nous semble être particulièrement intéressante pour la gestion et la protection de ces milieux. Nous y reviendrons plus en détail dans les propositions à venir.

Sur la question de la sécurité, il est certain que les ouvrages de retenues présentent des risques pour les populations aval. Cependant, ces risques sont maîtrisés. Le législateur s'est récemment saisi de cette problématique (décret relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques du 11 décembre 2007). La sûreté des ouvrages est une des préoccupations premières des services de l'Etat. Le savoir-faire des maîtres d'œuvre est aujourd'hui conséquent ; ils peuvent d'ailleurs désormais s'appuyer sur un guide de référence en la matière, spécialement dédié à l'évaluation des risques et des impacts, et à la conception / réalisation / surveillance / réhabilitation des ces ouvrages : il s'agit du guide « Retenues d'altitude », dirigé par L. Peyras et P. Mériaux du Cemagref d'Aix-en-Provence (2009).

¹ Travaux de Master 1, conduits à l'Université de Savoie, en partie sous notre direction dans le cadre de notre recherche doctorale, aux côtés d'A. Marnézy (Professeur).

9. *En définitive, la production de neige ne peut trouver sa place dans un système de gestion intégrée des ressources en eau, notamment du fait : des importants volumes d'eau mobilisés, des impacts hydrologiques majeurs engendrés par la modification des débits, de son arrivée tardive dans les systèmes de gestion de l'eau préexistants, de l'opacité des modes de production et des conflits pour le partage de la ressource occasionnés.*

Cette hypothèse est à nuancer fortement. En l'état actuel, il nous paraît nécessaire d'améliorer l'existant pour que la pratique de l'enneigement artificiel puisse effectivement trouver sa place dans un modèle de gestion intégrée de l'eau. Dernière née des usages de l'eau en montagne, la pratique a, d'une certaine façon, mis en œuvre sa propre expérimentation. Dans celle-ci des erreurs certaines, difficilement quantifiables mais qualifiables, ont été commises par différentes parties, dont les opérateurs de domaines skiables et les gestionnaires de l'enneigement.

La perspective d'un enneigement rationnel et maîtrisé, respectueux des principes d'une gestion intégrée de l'eau, définie comme **la conciliation de l'ensemble des usages et le respect des milieux naturels**, nous paraît tout à fait plausible si un ensemble de conditions, réaliste, est respecté. Il s'agit précisément : de ne pas reproduire les erreurs passées, de valoriser et de poursuivre les bonnes pratiques, de mesurer à leur juste valeur l'ensemble des enjeux (dont la dimension eau-territoire), d'encourager les initiatives pilotes et de déployer plus largement les plus concluantes d'entre elles. Ces éléments constituent la trame de nos propositions à venir.

Les volumes d'eau mobilisés, importants dans l'absolu, doivent être appréhendés de façon relative pour apprécier justement les impacts hydrologiques de la production de neige. Cette appréciation des impacts ne peut se faire qu'à une échelle locale.

Si pendant un temps, la pratique de l'enneigement artificiel est restée discrète, voire secrète, pouvant ainsi être qualifiée d'« opaque » (ce qui a d'ailleurs favorisé les polémiques), nous sommes certains des ouvertures en cours. La meilleure preuve de celles-ci est la collaboration des opérateurs d'Orcières-Merlette, de Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors et de Courchevel - La Tania à nos travaux. Les récentes actions mises en œuvre par la profession traduisent bien cette volonté d'ouverture, consistant à montrer et expliquer la production de neige, sans tabous. Elles doivent être encouragées et se faire **sans minimisation ni des impacts, ni des enjeux**, ce qui n'a pas toujours été fait. Par ailleurs, les autres parties doivent également comprendre les impératifs de l'exploitation et de la gestion d'un domaine skiable. Sereinement, un dialogue doit être possible, basé sur l'écoute et le respect.

Enfin, la notion de « conflit d'usage » doit être prudemment utilisée. Elle nous semble en effet avoir été galvaudée. Les conflits liés à la production de neige, opposant les détracteurs de l'enneigement artificiel et les partisans de la neige de culture, sont en réalité souvent des conflits d'aménagement ou d'environnement (Daugas-Marzouk, 2009, *op. cit.*, p. 60) mais pas de véritables conflits d'usage. Par ailleurs, dans le cas d'un conflit d'usage au sens strict, il semble être admis par l'ensemble des décideurs que la priorité doit évidemment toujours être donnée à l'eau potable. Les situations de pénurie d'eau en stations de sports d'hiver, déjà connues et invitant à réfléchir à nouveau sur les limites de la ressource, ne sont pas imputables à la seule question de la production de neige.

A ce sujet d'ailleurs, la question de l'évolution des ressources disponibles se pose également dans le cadre du changement climatique.

1.3. La question du changement climatique

10. *La neige de culture est employée en stations de sports d'hiver comme un moyen de lutte contre les effets du réchauffement climatique (raréfaction de la ressource neige).*

Nous ne sommes pas en mesure d'infirmier ou de confirmer cette hypothèse. Il n'est en effet pas certain que la production de neige soit délibérément employée par les opérateurs de domaines skiables pour lutter contre les effets du changement climatique, c'est-à-dire la variation du climat et la raréfaction de la ressource neige. Par contre, nous sommes certains que celle-ci est employée pour **garantir le produit ski au regard de la variabilité interannuelle des précipitations neigeuses** (nous parlons bien ici de variabilité climatique, aléa conjoncturel, et non de variation du climat, aléa structurel). L'approche historique souligne que l'enneigement artificiel s'est déployé en France bien avant que le changement climatique ne soit réellement perçu à un échelon territorial local.

Le recours à la neige de culture pour répondre à la question du changement climatique serait une erreur stratégique. Elle ne doit pas être destinée à lutter contre la raréfaction de la neige mais doit être (ou continuer à être ?) employée pour améliorer la qualité de l'offre touristique proposée en stations de sports d'hiver.

11. *Stratégie de court terme, elle est une mesure d'adaptation non pertinente au changement climatique puisqu'elle ne permettra pas de pérenniser le modèle touristique des sports d'hiver. La production de neige est en réalité un amplificateur de la vulnérabilité des stations de sports d'hiver dans la perspective du réchauffement climatique. Il s'agit d'une « fuite en avant » destinée à porter un système économique, d'ores et déjà affaibli, et menacé de disparaître.*

Cette hypothèse est à nuancer fortement car, sauf à nous méprendre fondamentalement, il ne semble pas raisonnable d'envisager que le ski s'arrêtera demain à Courchevel, du seul fait des évolutions climatiques... C'était bien là l'objectif de notre recherche exploratoire sur le changement climatique et la ressource neige, appliqué aux domaines skiables de Savoie et de Haute-Savoie : faire la part des choses entre les domaines skiables d'ores et déjà, ou potentiellement voués à être, contraints par la raréfaction de la ressource neige et ceux, semble-t-il, relativement protégés. De cette distinction, qui nuance un peu la typologie stations d'altitude et stations de moyenne montagne selon les massifs considérés, doivent logiquement découler des trajectoires touristiques différentes.

Il fut un temps où les installations d'enneigement étaient un avantage concurrentiel sur le marché des sports d'hiver. Dans une logique économique d'offre et de demande, elles représentaient en ce sens une stratégie offensive de prise de parts de marché. Elles ne le sont plus : pratiquement toutes les stations sont aujourd'hui équipées. Désormais, il peut s'agir d'une stratégie légitime d'amélioration de la qualité d'un produit ou d'atténuation des effets de la variabilité interannuelle des précipitations neigeuses, sorte de stratégie marketing défensive.

A notre sens, il ne faudrait pas que celle-ci devienne une stratégie d'atténuation systématisée de l'effet des évolutions climatiques. Elle serait dans ce cas utilisée et perçue comme une adaptation possible au changement climatique, ou plutôt, en anglais, une « maladaptation to climate change » (« maladaptation » est un terme utilisé en biologie évolutive mais également en géographie pour désigner une mauvaise adaptation au changement climatique ; voir à ce sujet Barnet, 2009).

Si elles devaient essayer d'atténuer coûte que coûte les effets du changement climatique par un enneigement artificiel systématique, les destinations les plus contraintes par l'enneigement deviendraient dans le même temps les plus vulnérables à ces évolutions. Aussi, le risque de dysfonctionnement du système serait important si l'aléa « hiver sans neige » venait à se répéter. Dans la complexité et la diversité des situations existantes, la systématisation des installations d'enneigement porte donc à réflexion. En corollaire, et en termes de perspective de recherche, il s'agirait pour nous de questionner les stratégies d'adaptation pertinentes des stations de sports d'hiver ; stratégies pertinentes qu'il nous faudrait d'ailleurs déjà définir. Ne passerait-on pas ainsi de l'univers des stations de sports d'hiver à celui des stations de montagne ?

12. La production de neige dépend de deux facteurs limitants, la température et l'eau, dont les évolutions dans la perspective du changement climatique ne permettront plus de répondre aux exigences de production. D'une part, les potentialités thermiques nécessaires tendent à diminuer. L'augmentation des températures est en effet telle que la production de neige, nécessitant des températures négatives, ne pourra ainsi plus se réaliser. D'autre part, la raréfaction de la ressource en eau en montagne, du fait des évolutions climatiques, ne permettra plus de répondre aux besoins en eau de la production de neige.

Nous ne sommes pas en mesure de répondre à cette hypothèse. Une fois encore, tout dépend évidemment de l'espace considéré et de son contexte hydroclimatologique.

Il est clair que, de façon somme toute assez paradoxale, les deux principaux facteurs nécessaires à la production de neige, la température et l'eau, sont eux-mêmes au cœur des problématiques du changement climatique. Ils constituent de fait des limites sérieuses à une logique adaptative uniquement basée sur l'enneigement artificiel, là où ces deux facteurs deviendront limitants. Mais seront-ils limitants partout ? Et à quelle échéance ?

A une échelle locale, les stations météorologiques situées sur et/ou à proximité des trois terrains d'étude montrent que les températures hivernales se réchauffent et que les cumuls annuels de neige fraîche décroissent. Dans le même temps, les précipitations totales hivernales (pluie et neige) diminuent aux postes de Courchevel et d'Orcières tandis qu'elles restent plutôt stables à Villard-de-Lans, avec un ratio précipitations humides croissant.

Néanmoins, peu ou prou et même si des difficultés ont été connues², notamment en début de saison et au cours de hiver 2006-2007, les campagnes d'enneigement ont toujours été menées à terme sur les trois terrains d'étude. A l'échelle nationale, les installations d'enneigement fonctionnent en moyenne 800 heures par saison (données *in* ODIT France, 2008, p. 4) ; renversant le problème, ce serait donc 30 jours de froid sur une pleine saison qui seraient nécessaires pour mener à bien l'ensemble des campagnes d'enneigement sur un domaine skiable. De sérieuses études des potentialités thermiques (ou hydrothermiques) des sites considérés doivent donc être réalisées en amont de tout projet d'enneigement artificiel. Il s'agit de ne pas se tromper dans les choix d'investissement en la matière.

² La constatation d'une diminution des « plages de froid » nécessaires à la production de neige est rapportée par C. Reverbel (directeur adjoint attaché au service des pistes de la station de l'Alpe d'Huez) lors d'une présentation faite à l'occasion de la « Journée neige de culture - Une ressource tombée du ciel ». Il explique qu'avant l'année 2000, 6 à 7 campagnes d'enneigement de 5 jours avant le 31/12 étaient possibles compte tenu du « froid disponible ». A partir de l'année 2000, le « froid disponible » ne permet de réaliser chaque début de saison plus que 4 à 5 campagnes d'enneigement de 2 à 3 jours avant le 31/12 (Reverbel, 2009).

1.4. L'aménagement des territoires

13. *La production de neige n'est pas compatible avec les enjeux du développement durable au regard des trois piliers communément admis de ce paradigme (environnement, économie et social). Si la production de neige peut se justifier, dans une certaine mesure, dans un objectif de développement socio-économique, cette pratique est incompatible avec le pilier environnemental du développement durable.*

Il est délicat de répondre à ce questionnement. Nous ne nous sommes intéressés qu'au seul volet environnemental de la question et en particulier à celui de l'eau. De surcroît, tout dépend de la définition du développement durable choisie. Il n'est par ailleurs pas certain que la question du développement durable puisse se poser à l'échelle restrictive de cette seule entrée. Néanmoins, pour essayer de répondre à celle-ci, nous avançons les éléments suivants.

D'un point de vue environnemental, il est clair que la production de neige est une pratique portant à conséquences sur les milieux naturels, aquatiques en particulier, et hydrologique. Ces conséquences sont différentes selon les contextes et les modes d'exploitation des installations ; dans tous les cas, il n'y a pas d'objectifs environnementaux à la production de neige. Malgré cela, il reste possible de limiter au maximum cette « empreinte écologique » : maîtrise de l'exploitation, conception d'ouvrages dans les règles de l'intégration environnementale, prélèvements rationnels et raisonnés, etc.

En termes économiques de l'autre côté, en 1977 déjà, la revue *Aménagement et Montagne* consacrait un dossier spécial à cette question :

« Investir dans une installation de neige de culture, est-ce rentable ? Il y a rentabilité à partir du moment où, compte tenu de l'amortissement et des charges, l'investissement permet de dégager un bénéfice. [...] pour évaluer la rentabilité d'une installation de neige de culture, nous avons procédé de la façon suivante : [...] nous avons cherché le nombre de jours pendant lesquels la station devra ouvrir en sus pour couvrir les frais engagés. [...] Si grâce à la neige de culture, la station ouvre ses remontées mécaniques plus de jours qu'il ne faudrait pour couvrir les dépenses (amortissements et charges dues aux canons à neige) alors investir dans une installation de neige de culture est une opération rentable » (Rocher-Revol et Fourrat, 1977, p. 57).

Vu sous cet angle, le calcul paraît fort simple. La réalité contemporaine est un petit peu plus complexe... C. Gonseth s'est intéressé à cette question dans sa thèse de doctorat (2008) en essayant de calculer les bénéfices financiers des installations d'enneigement sur les comptes de sociétés de remontées mécaniques suisses. Son modèle statistique économique, construit sur un échantillon de 87 compagnies (dont les comptes ont été examinés) a permis d'obtenir les éléments suivants : *« les résultats de l'analyse économétrique ont montré que l'effet partiel sur l'EBITDA [EBITBA = EBE, excédent brut d'exploitation, soit le bénéfice brut d'exploitation d'une entreprise] des installations d'enneigement artificiel est positif mais que cet effet tend à décroître lorsque le niveau d'investissement dans ces installations augmente » (Gonseth, 2008, p. 16).*

Les bénéfices seraient donc réels jusqu'à un certain niveau plancher d'équipement. De façon plus pragmatique, on pourrait également penser que si les opérateurs investissent en la matière, massivement d'ailleurs, c'est que ce calcul de rentabilité conduit à un résultat positif... Mais est-ce si évident que cela ? Est-ce vrai dans toutes les situations ? Même pour les stations connaissant des difficultés financières ? *« Le problème est de savoir si ces techniques sont suffisantes pour pallier le manque de neige et garantir une fréquentation satisfaisante afin de rembourser les emprunts. L'exemple de Chambon-des-Neiges [massif central, Puy de Dôme, 1200 m] montre que ce n'est pas toujours le cas: les canons à neige installés entre 1150 et 1250 m d'altitude ont*

rarement fonctionné et l'avenir de la station est aujourd'hui très incertain en raison des difficultés financières » (Serre, 2001, p. 184). La petite station de Chambon-des-neiges a fermé ses portes en 2002 ; ses remontées mécaniques furent démontées en 2008.

D'autres exemples montrent que les coûts d'investissement et d'exploitation importants d'infrastructures peuvent contraindre à la fermeture de certaines exploitations. C'est la situation connue de la station d'Abondance (Chablais, Haute-Savoie), à nouveau ouverte, accompagnée d'un plan d'investissement en installations de production de neige important. C'est du moins ce qu'a annoncé le groupement d'investisseurs américains (Colorado) désormais en charge de l'exploitation du domaine skiable pour les 12 années à venir. Abondance culmine à 1500 mètres d'altitude.

En fait, tant en termes environnementaux qu'économiques, les projets d'enneigement artificiel doivent être soigneusement étudiés au regard d'un contexte territorial local (atouts et contraintes) pour en vérifier la compatibilité avec les enjeux du développement durable.

14. De manière plus générale, la production de neige est un outil au service d'un modèle de développement touristique antinomique aux principes environnementaux du développement durable. Les parties prenantes des territoires touristiques de montagne, s'ils veulent répondre aux exigences d'une gestion durable de leurs territoires, doivent se tourner vers un autre modèle, vers des formes de tourisme plus douces, plus respectueuses de leur environnement : tourisme quatre-saisons, diversification des activités, etc. Il s'agit de sortir d'un modèle « tout ski » qui a aujourd'hui atteint ses limites.

Si ne **nous sommes pas en mesure de répondre à cette hypothèse**, car en réalité la présente retranscription de nos recherches ne traite pas de cette question - dans la question de la durabilité, c'est le changement climatique qui a focalisé notre attention-, celle-ci nous semble finalement, si ce n'est caricaturale, du moins à nuancer fortement. Les situations à considérer sont effectivement tout aussi différentes les unes des autres que complexes. Au-delà, trois remarques peuvent être formulées à ce sujet.

Tout d'abord, quelle que soit la définition choisie pour qualifier le développement durable – nous avons vu qu'elle n'est pas unique –, la seule dimension environnementale ne suffit pas pour approcher ce concept, bien que celui-ci y soit souvent restreint « *dans les faits ou dans les pratiques* » (Marcelpoil *et al.*, 2010, p. 20) ; il convient effectivement d'y associer un volet socio-économique dont on ne pourrait se passer. Les impacts environnementaux de ce tourisme de masse restent cependant sans conteste et l'environnement n'est pas au cœur du modèle de développement proposé (approche « technico-économiste »). L'exemple de la production de neige nous l'a montré à propos de l'eau.

Par ailleurs, il nous semble que les sports d'hiver peuvent être **selon les cas** une entreprise socio-économique encore performante. Certes mature, imparfaite et inégalement efficace, l'économie des sports d'hiver participe indubitablement à la vie des territoires de montagne, dont ceux que nous avons étudiés. Cela n'est néanmoins pas un motif suffisant, en particulier pour les situations *a priori* les plus contraintes, pour s'affranchir d'anticiper sur les défis auxquels le système est confronté.

Enfin, il faut également relever les initiatives récentes des stations et de leurs partenaires qui, à leur façon et selon leur définition du paradigme, se sont approprié la question : certification ISO 14001, « Eco Guide des Stations de Montagne », « Charte en faveur du développement durable des domaines skiables » ou encore, « Charte nationale en faveur du développement durable dans les stations de montagne ». Quoi qu'il en soit, cette problématique du « discours et de la pratique », puisque non suffisamment explorée dans le cadre des présents travaux, laisse la porte ouverte à de prochaines recherches...

2. VERS DES PROPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Nous avons mis en évidence que la « question » de la production de neige est un sujet complexe, au moins autant que l'est l'univers des stations de sports d'hiver. Sur l'ensemble des hypothèses et questionnements posées en entrée de notre mémoire, la plupart d'entre eux a pu être vérifiée. Les autres n'ont pas pu trouver de réponse formelle pour deux raisons principales.

La première tient au fait qu'elles dépassent le cadre de nos recherches. Sans investiguer pleinement une question, il est effectivement difficile d'y répondre... La seconde raison tient à la complexité du système en jeu. Ce système implique de nombreux acteurs sur des terrains variés, pour le pilotage de dimensions relatives à l'eau et au territoire, le tout dans un contexte incertain relatif au changement climatique. Aussi, nous pensons que les réponses à une problématique complexe ne peuvent être ni simplistes, ni unilatérales.

Par là même, il ne s'agit pas de se cacher derrière des éléments de consensus « mous ». Ainsi, nous nous engageons sur des propositions concrètes et constructives, destinées à permettre l'insertion de la production de neige dans un modèle de gestion durable de l'eau.

2.1. La production de neige en stations de sports d'hiver peut-elle s'insérer dans un modèle de gestion durable de l'eau en montagne ?

Nous avons défini le concept de « gestion durable de l'eau », au regard des recherches existant sur le sujet, pour partie comme la conciliation de l'ensemble des usages et le respect des milieux naturels ; on retrouve ici la notion de gestion intégrée de l'eau. Nous insistons également sur la dimension évolutive de la gestion de l'eau : la gestion intégrée de l'eau est-elle l'état stationnaire (au sens systémique) d'un système en perpétuelle évolution.

Nous avons défini comme autre versant de la gestion durable de l'eau, **l'impératif de durabilité du mode de développement territorial qui conditionne l'usage. Dans cet ensemble, nous avons choisi le réchauffement climatique comme vecteur de réflexion sur la pérennité du modèle de développement touristique des sports d'hiver.**

Dans la mesure de ces éléments, nous pensons tout d'abord que **la production de neige en stations de sports d'hiver peut s'inscrire dans une perspective de gestion intégrée de l'eau.** Pour tendre vers cet idéal et contribuer à l'amélioration continue de cette production, des conditions doivent être respectées. Celles-ci ne l'ont pas toutes été par le passé mais des initiatives prometteuses sont à relever et à encourager. Les propositions que nous allons détailler (certaines d'entre elles ont été d'ores et déjà évoquées) constituent le socle de ces exigences.

Ensuite, au-delà du strict cadre de la gestion intégrée, nous ré-insistons sur le nécessaire décloisonnement des problématiques relatives à la gestion de l'eau d'un côté et à l'aménagement des territoires de l'autre. Ces deux entrées choisies pour aborder notre objet d'étude sont

interdépendantes l'une de l'autre : le modèle de développement touristique des sports d'hiver (forme d'aménagement du territoire) génère une dépendance à la ressource en neige, et donc en eau par le biais des installations d'enneigement ; cette dépendance peut alors devenir un facteur limitant de la pérennité de l'état du système dans le cadre du réchauffement climatique. Une réflexion est donc nécessaire par rapport à la systématisation de la production de neige.

Des stratégies cohérentes de gestion devraient être effectivement adaptées à des stations dont les degrés de vulnérabilité sont différents. A notre sens, c'est à cette condition que les modes de développement territoriaux pourraient trouver une forme de durabilité dans le contexte de changement climatique actuel.

Pour cette raison, l'insertion de la production de neige dans un modèle de gestion durable de l'eau est finalement bien plus complexe à mettre en œuvre que sa conciliation avec les autres usages et les milieux ; elle n'en reste pas moins possible et un but à atteindre.

2.2. Des réponses multifactorielles et multi-acteurs

La problématique de la production de neige est systémique et multi-enjeux. Les réponses ne peuvent ainsi être que multifactorielles et "multi-acteurs" (figure 9.1). Dans les champs d'intervention possibles, il s'agit d'actionner les bons leviers grâce aux outils disponibles (ou à créer) pour améliorer la cohérence du complexe « eau et territoires » d'une part, et concilier la production de neige avec les autres usages et les milieux d'autre part. La démarche proposée implique nécessairement de nombreux d'acteurs.

Entrées	Champs d'intervention possibles	Leviers	Outils	Acteurs
Changement climatique Aménagement du territoire	Modèle de développement touristique 4 saisons ↔ Sports d'hiver	Soutenir le / accompagner la mutation du modèle... Amélioration des connaissances ...	Politiques publiques DTA, SCoT, Chartes de pays ...	Collectivités territoriales Administrations Chercheurs, scientifiques Observateurs
	Neige de culture	Maîtrise et rationalisation des équipements Optimisation des process ...	Schéma Directeur Neige de Culture Formation des personnels Progrès technologiques	Opérateurs de domaines skiables Constructeurs Chercheurs, scientifiques Gestionnaires de l'eau
Gestion de l'eau	Autres usages de l'eau & milieux aquatiques Gouvernance de l'eau	Planification et partage de la ressource Conciliation des usages et des milieux Amélioration des connaissances ...	Arrêtés préfectoraux SAGE Contrats de rivière Plan de gestion des zones humides Recherche	Collectivités territoriales Administrations Opérateurs de domaines skiables Chercheurs, scientifiques Observateurs Associations de protection de l'environnement

Figure 9.1: Leviers possibles et outils disponibles pour une gestion durable de l'eau et des territoires de montagne, et la conciliation des usages de l'eau avec les milieux naturels

L'essai de propositions ci-dessous est organisé de l'amont vers l'aval, c'est-à-dire partant du modèle de développement qui génère la pratique de l'enneigement, pour arriver à la gouvernance de l'eau qui la coordonne avec les autres usages et les milieux. Entre ces deux extrêmes se trouve la pratique en elle-même qu'il nous semble pouvoir possible de rationaliser et d'optimiser pour en limiter les incidences sur l'environnement. L'ensemble de ces propositions reste ouvert au débat et n'engage personne d'autre que nous.

2.2.1. En amont de la pratique : orienter judicieusement les développements territoriaux

Coordonner les politiques publiques, adapter les réponses à chaque massif et chaque station

Nous l'avons vu par l'étude des aides accordées ou non aux financements des installations de production de neige, les interventions possibles des collectivités à un même échelon territorial peuvent être disparates. Cela est également vrai considérant les différents échelons territoriaux entre eux, qui soutiennent ou ne soutiennent pas ce type d'infrastructure.

Une meilleure intégration de ces politiques publiques entre elles permettrait certainement d'être plus efficace dans les orientations territoriales proposées. Quel que soit le modèle d'aménagement touristique privilégié, orienté sur les sports d'hiver ou non (tourisme 4 saisons, etc.), cette cohérence devrait permettre d'impulser des projets de territoire adaptés à chaque massif, en fonction des atouts touristiques dont il dispose (offre de sports d'hiver performante, valeur ajoutée des parcs naturels nationaux, régionaux...).

Si la production de neige peut être un bon outil pour les stations et les territoires dont l'offre de ski est performante, elle ne l'est pas forcément (voire pas du tout) dans le cas contraire. La richesse du patrimoine naturel et les atouts économiques de chaque massif doivent être bien considérés et mesurés pour réaliser des choix judicieux. Dans cet ensemble, il convient également de **ne pas déconsidérer les petites et moyennes stations de sports d'hiver** dont les capacités d'investissements peuvent être limitées mais sont d'importance d'un point de vue social, puisque proposant une offre de ski économiquement accessible au plus grand nombre. Ce n'est pas forcément le cas des grandes stations d'altitude, dont les investissements en installations d'enneigement participent au renchérissement des coûts.

De la même façon, dans le cadre du changement climatique, les perspectives d'évolution de la ressource neige de chaque entité territoriale doivent être envisagées à court, moyen et long terme pour ne pas se tromper de projet de territoire. Cela implique bien entendu de **poursuivre les efforts de recherche sur les impacts locaux du changement climatique**, dont les marges d'incertitude doivent être réduites.

Enfin, **les documents d'urbanisme et d'orientation des dynamiques territoriales** (contrat de pays, Schéma de Cohérence Territoriale...), dont nous avons vu qu'ils devaient être compatibles avec les documents de gestion de l'eau, **doivent également influencer sur les choix de territoire**. Ils peuvent soutenir le modèle des sports d'hiver et les infrastructures associées (dont les installations d'enneigement) ou pas, en accompagnant la mutation de celui-ci lorsque les impératifs environnementaux, climatiques et économiques le nécessitent. A une échelle supérieure, les Directives Territoriales d'Aménagement rentrent également dans ce cadre. Le projet de DTA des Alpes du Nord est intéressant du point de vue de l'eau puisqu'il préconise : « *En montagne, le développement des installations de neige de culture est à dimensionner également au regard de la ressource disponible* » (p. 54). Telle que nous l'avons étudiée, la ressource en eau n'est effectivement pas illimitée ; ses dimensions finies doivent être considérées pour les projets d'enneigement, comme d'urbanisme.

Renforcer le cadre de la pratique

Le code de l'environnement régleme la pratique de l'enneigement artificiel. Il n'est ainsi évidemment pas nécessaire de concevoir une nouvelle réglementation... Néanmoins, quelques ajustements pourraient permettre de lever des suspicions inutiles, d'améliorer l'efficacité de l'instruction des dossiers et la prise en compte des débits des cours d'eau à l'étiage hivernal. **Il s'agit d'interdire l'utilisation d'adjuvants au niveau national, de faire instruire les dossiers de projets à un échelon départemental par un service unique et d'envisager la possibilité de substituer les débits réservés par des débits minimums biologiques.**

• A propos des adjuvants

Badré *et al.* (2009) recommandent « à la direction générale de la prévention des risques (DGPR) d'interdire l'ajout d'additifs cryogènes dans l'eau de production de neige » (p. 11). **Nous partageons cette recommandation.** Un texte en la matière devrait faire cesser les débats inutiles sur ce sujet puisque ces produits ne sont plus utilisés en France. Pour aller plus loin, dans un marché des sports d'hiver concurrentiel au niveau européen, ne serait-ce pas à cette échelle qu'il conviendrait de légiférer sur ce point ? Cette question se pose puisque ces produits ne sont pas interdits partout et qu'ils sont utilisés dans d'autres pays de l'arc alpin.

• A propos de l'instruction des dossiers

Déjà, en 1995, la problématique de l'instruction des dossiers par des services administratifs multiples était soulevée par F. Dinger et S. Dubost :

« Auparavant, il apparaît important de souligner encore une fois l'absence de réglementation propre pour la prise en compte de l'environnement dans le cadre de la réalisation de ce type d'aménagement. Il nous semblerait judicieux de simplifier la procédure en définissant plus précisément les études à réaliser en fonction de l'importance de l'aménagement (permis de construire, étude d'impact, déclaration ou autorisation d'installation classée, prise d'eau...) et en centralisant le traitement d'un dossier unique au sein d'une même administration » (Dinger et Dubost, 1995, p. 61).

Jusqu'à il y a peu de temps encore, les dossiers concernant les compresseurs des installations d'enneigement étaient traités par un service administratif régional (DRIRE) tandis que les dossiers de demande d'autorisation au titre de la loi sur l'eau (prélèvements en eau et sécurité des retenues d'altitude) étaient traités par un service administratif départemental (DDAF).

L'instruction de toutes les composantes d'un projet d'installations d'enneigement par le même service à une échelle départementale (locale donc) serait effectivement favorable à l'ensemble des parties. D'un côté ; un interlocuteur unique, avisé du terrain, serait profitable au pétitionnaire du projet (demandeur du projet). De l'autre côté, un service instructeur unique permettrait d'appréhender la globalité du projet.

L'importance de l'échelon départemental a pu être mesurée lors de notre travail avec le service instructeur de la DDEA de la Savoie qui, de par sa proximité avec le terrain et son application, a su construire une relation de confiance durable avec les demandeurs de projets.

Dans le cadre de la réorganisation des services déconcentrés du MEEDDAT, les dossiers de projets seront désormais étudiés à un niveau régional pour les questions relatives à la sécurité des retenues d'altitude et aux compresseurs des installations d'enneigement (deux services différents des DREAL) tandis que l'instruction des éléments relatifs aux prélèvements en eau continuera d'être supervisée par un service administratif départemental (DDEA). Il n'y a donc ni service instructeur unique, ni un seul échelon départemental. L'appréhension des projets et de leurs incidences sur les milieux en souffrira-t-elle ? Cela n'est pas certain car les compétences des services administratifs concernés sont grandes. Néanmoins, la lecture globale des projets n'en sera pas facilitée.

• A propos de débits biologiques

Quelle quantité d'eau minimale faut-il garantir pour assurer la pérennité des milieux de vie aquatique ? La question est complexe et ne semble pas encore avoir trouvé de réponse formelle. Néanmoins, sur les petits cours d'eau de montagne, à l'étiage hivernal marqué, il semble inopportun que le débit minimum à respecter soit défini comme constant tout au long d'une année hydrologique. Ne pourrait-il pas être **variable en fonction du régime des écoulements et des besoins des espèces** ? Si les arrêtés préfectoraux prévoient bien des dates de prélèvement et de vidange autorisées, nous n'avons jamais rencontré d'application d'un réel débit réservé au cours de nos recherches. Des travaux et applications doivent être poursuivis en ce sens ; diverses parties y travaillent d'ores et déjà (service administratif, ONEMA, gestionnaires de l'eau, laboratoires de recherche pour la définition des optimums biologiques...).

2.2.2. Pour la pratique en elle-même : limiter les impacts

Produire la « juste neige »

En l'état de la connaissance, il n'est pas facile de prévoir quel sera l'enneigement d'une saison... De ce fait, d'importantes quantités de neige sont parfois produites en préparation de la saison, alors même que l'enneigement naturel se révélera peut-être suffisant. Des stocks de neige perdureront dans ce cas inutilement sur certains secteurs du domaine skiable pendant toute la durée de la saison.

Depuis la saison 2006-2007, la station de Verbier (Suisse) a équipé une des dameuses de son parc d'un géoradar. En parcourant le domaine skiable, cet appareil permet de collecter les différentes hauteurs de neige des pistes. Ces informations, retranscrites sous forme cartographique, permettent aux opérateurs de la station d'adapter leur plan de damage en conséquence mais également aux nivoculteurs de produire suffisamment de neige, ni trop, ni trop peu (figure 9.2). En croire E. Balet, directeur de la station, cette avancée technologique a permis de rationaliser la production de neige : «*Au niveau de l'enneigement mécanique, nous avons utilisé cet hiver 170000 m³ d'eau, contre 220000 m³ l'an dernier.*» (propos in Carron, 2008, p. 25). Il conviendrait néanmoins de mettre en relation cette donnée avec l'enneigement naturel des saisons considérées...

Les progrès technologiques de ce type sont à développer. En ne produisant que la « juste neige », c'est autant d'impacts sur l'eau qui pourraient alors être évités (la « juste neige » est un concept marketing déposé par un constructeur d'installation d'enneigement, Johnson Controls Neige, permettant le dimensionnement et la gestion adéquate des installations, pour une optimisation des dépenses en énergie et en eau associées).

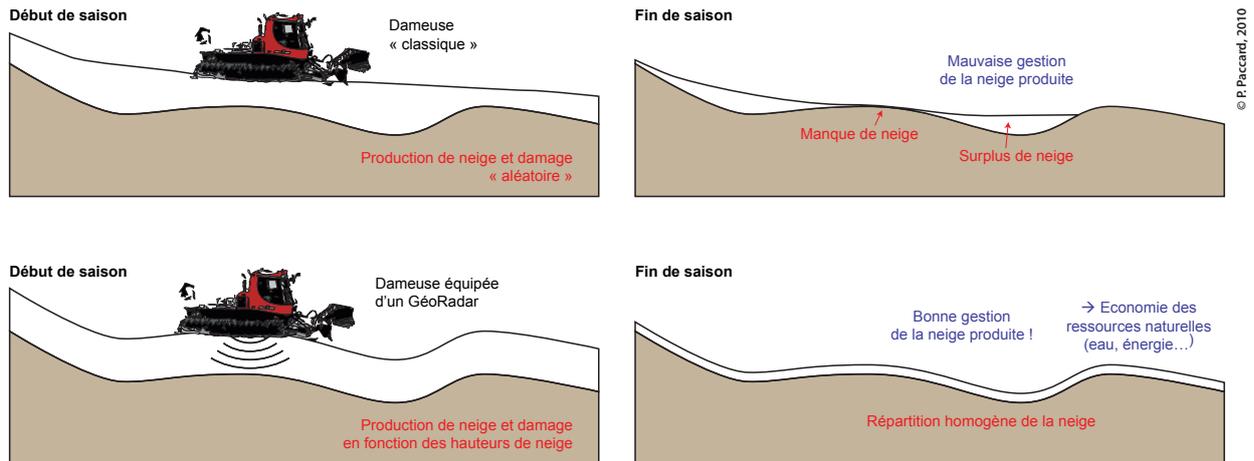


Figure 9.2 : De l'utilité d'un géoradar pour une gestion optimale des ressources nécessaires à l'entretien du manteau neigeux

Ne pas systématiser l'outil

En 2008-2009, le domaine skiable français fut le plus fréquenté au monde en termes de journées-skieurs, devant les Etats-Unis et l'Autriche (58,5 millions de journées-skieurs contre 57,4 pour les Etats-Unis et 56,9 pour l'Autriche ; données *in* Le Figaro, 2009). Dans le même temps, les domaines skiables français sont les moins équipés (ou les plus raisonnablement équipés selon les perceptions) en installations de production de neige. **Cette donnée porte à réfléchir sur la nécessité, ou plutôt la non nécessité, d'une systématisation de l'outil sur l'ensemble des domaines et sur l'ensemble d'un domaine**³. Les atouts des domaines skiables français tiennent peut-être à d'autres éléments, qu'il convient de valoriser. Il existe dans tous les cas des limites économiques à ce type d'infrastructure (investissement et exploitation) mais également environnementales, en particulier du point de vue de l'eau.

Toujours communiquer et maîtriser la pratique

Nous rappelons que depuis quelques temps, des initiatives ont été prises pour démystifier la pratique de l'enneigement en stations de sport d'hiver (visites des usines à neige, campagnes d'information auprès du grand public...). Ces initiatives sont à encourager dans la mesure où elles permettent d'améliorer les connaissances sur le sujet. Néanmoins, ces éléments de communication doivent se faire **sans minimisation des impacts de la production de neige, en particulier sur l'eau**.

Quoi qu'il en soit, **les nivoculteurs doivent assurer la parfaite maîtrise de leur installation d'enneigement dans le respect des prélèvements d'eau autorisés**. Ceux-ci garantissent, en effet, les écoulements minimums des cours d'eau afin de préserver la vie aquatique. De la même façon, il est une **obligation de s'astreindre à déclarer les volumes prélevés** aux agences de l'eau. Enfin, l'attention doit être portée sur la question de la qualité de l'eau utilisée pour l'enneigement, de façon à ne pas porter préjudice aux eaux d'alimentation publiques.

³ Cela rejoint quelque peu notre réflexion *supra* à propos de l'incohérence d'une stratégie unique pour des vulnérabilités multiples.

2.2.3. En aval de la pratique : coordonner l'ensemble des besoins dans les limites de la ressource

Mettre en place des Schémas Directeurs des Installations d'enneigement

L'idée d'un Schéma Directeur des Installations d'enneigement ne nous revient pas : C. Excoffon, directeur du cabinet d'étude ABEST, spécialisé dans l'aménagement de la montagne et des stations de sports d'hiver, l'a présentée lors de la « Journée neige de culture » (*op. cit.*) organisée en novembre 2009 à Briançon (Hautes-Alpes). Il l'introduit comme un « Document permettant à l'exploitant et à son concédant d'avoir une vision à moyen terme (5-10 ans) des installations de neige de culture et de ses alimentations sur son domaine skiable » (Excoffon, 2009). Il s'agit là d'un document de planification des opérations d'équipements envisagées et des besoins en eau qu'ils généreront. Il est envisagé (dans cette présentation) comme un document destiné uniquement aux opérateurs de domaines skiables et de préférence pas au public. Aujourd'hui, peu d'opérateurs semblent dotés d'un tel outil ; nous n'en avons dans tous les cas pas eu connaissance sur nos trois terrains d'étude.

Le parallèle peut être fait avec les Schémas Directeur d'Alimentation en Eau Potable, dont nous avons bien cerné l'utilité. Il s'agit de pouvoir établir des bilans « besoins en eau actuels et futurs / ressource disponible (en particulier à l'étiage) ». Ces documents, encouragés en Savoie par la collectivité départementale, sont d'excellents outils de planification dans le temps des besoins en eau. Ils restent disponibles pour les administrations en charge des questions liées à l'eau et permettent d'envisager la globalité des situations, dans le temps et dans l'espace.

Nous avons vu que, en matière de projets d'enneigement artificiel, les services instructeurs des projets ont parfois du mal à cerner l'ensemble des aménagements envisagés et donc de leurs incidences cumulées (cela est d'ailleurs vrai pour tous les types de projets liés à l'eau) sur les hydrosystèmes. Concrètement, les dossiers de retenues d'altitude arrivent un par un entre les mains des services instructeurs, sans pouvoir envisager s'il y en aura de prochains.

Nous pensons ainsi qu'un Schéma Directeur des Installations d'enneigement pourrait être non seulement profitable aux porteurs de projet mais également aux services instructeurs et, d'une façon plus large, aux gestionnaires de l'eau, s'il leur était communiqué. De cette façon, les opérateurs pourraient être conseillés sur le dimensionnement de leur projet au regard des capacités « naturelles » des sites, anticipant ainsi un refus administratif possible de leur projet pour ces motifs. Ce document permettrait également aux gestionnaires de l'eau de pouvoir envisager dans un premier temps les besoins des installations d'enneigement à terme, pour les mettre en perspective, dans un second temps, avec les besoins des autres usages. Une vision d'ensemble des besoins sur les bassins de montagne, tous usages de l'eau confondus, serait alors possible.

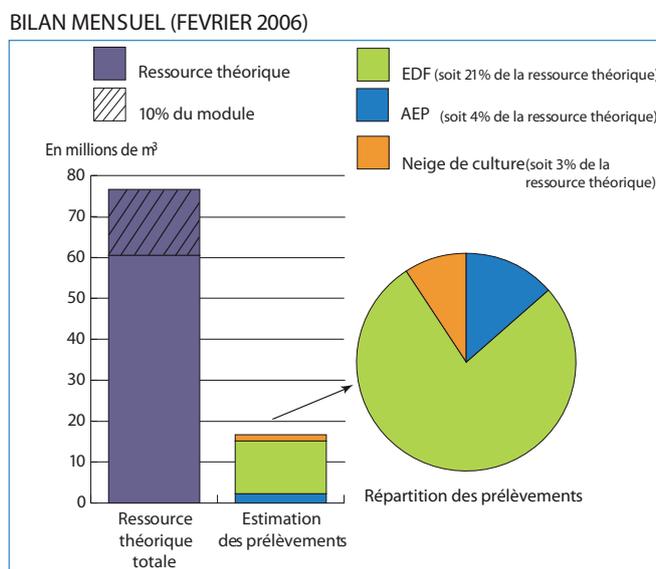
Concilier les usages de l'eau et les besoins des milieux en s'appuyant sur les outils disponibles

• L'exemple du « Bilan Quantitatif de la Ressource en Eau sur le Bassin Versant de l'Isère en Amont d'Albertville »

Nous avons déjà pris le « Bilan Quantitatif de la Ressource en Eau sur le Bassin Versant de l'Isère en Amont d'Albertville » comme exemple. Etabli dans le cadre de la préparation du contrat de

bassin versant de l'Isère en Tarentaise par l'Assemblée du Pays Tarentaise Vanoise (Syndicat mixte de 43 communes), maîtres d'ouvrage, et différents bureaux d'étude mandatés pour la réalisation de ce travail, ce document est une référence reconnue par de nombreux acteurs. Les informations qu'il contient sont d'ailleurs souvent reprises par diverses parties, dont les opérateurs de domaines skiables, ODIT France ou encore l'Observatoire Savoyard de l'Environnement (figure 9.3), service du Conseil Général de la Savoie.

Figure 9.3 : Bilan quantitatif de la ressource en eau en Tarentaise en amont d'Albertville au mois de février 2006 (extrait de Observatoire Savoyard de l'Environnement, 2008, p. 28, d'après les données de l'APT).



Pour apprécier correctement les résultats de la figure 9.3, qui montre qu'à cette échelle (mensuelle et sur un bassin 1 900 km²) la ressource reste excédentaire par rapport aux besoins, la méthodologie du calcul doit être précisée :

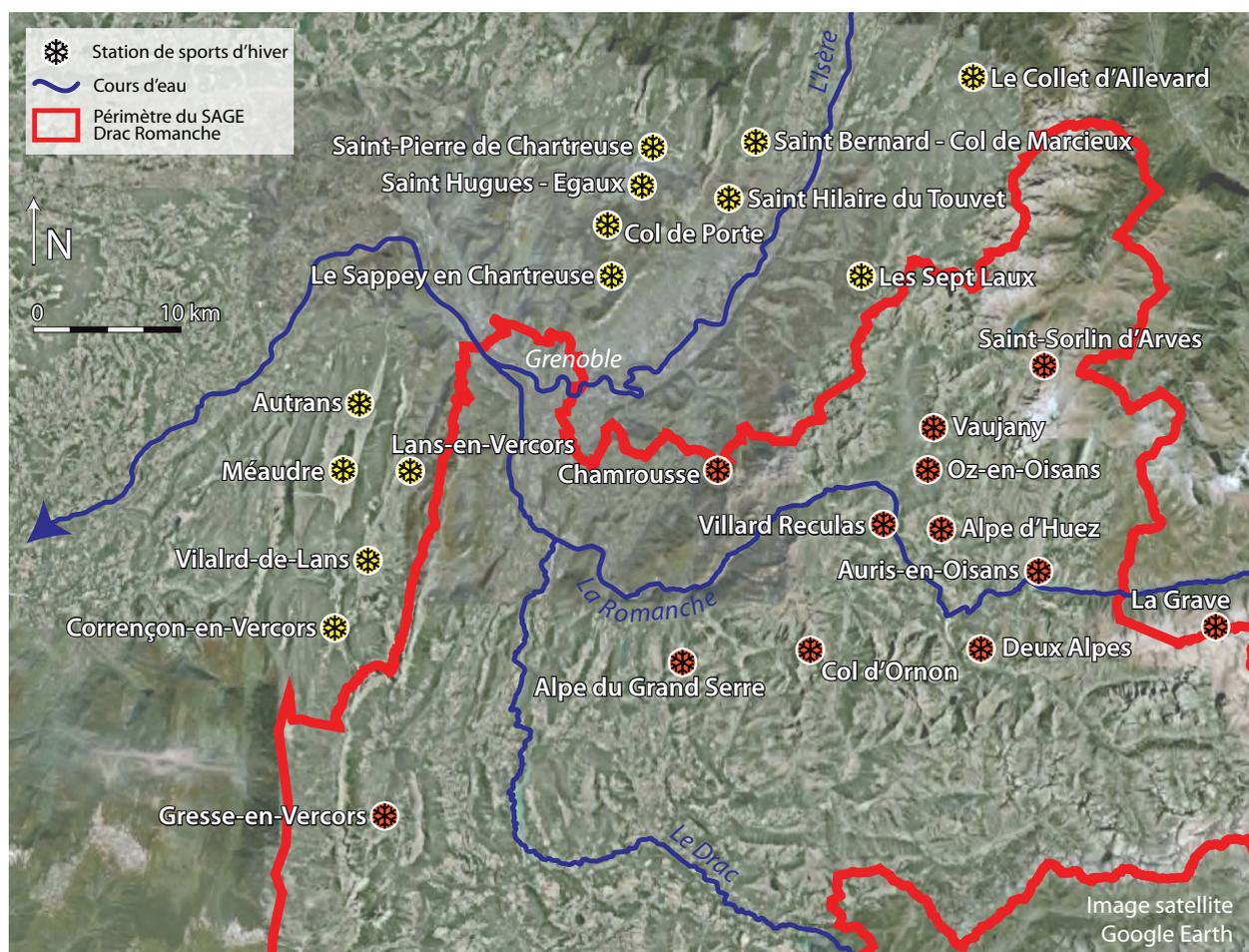
« Ce bilan au mois de février s'appuie donc sur l'identification :

- pour la ressource, des neuf hydrogrammes types mensuels attribués aux neufs zones hydrologiques homogènes identifiées préalablement dans le cadre de l'étude,
- pour l'AEP, la consommation mensuelle d'eau potable a été calculée à partir des données complètes transmises par 12 communes. Afin de pouvoir estimer la consommation mensuelle des communes n'ayant pas cette donnée, des analogies de fréquentation entre les communes et en fonction de leur positionnement dans la vallée ont été faites. Sur la base de ces profils type, les consommations mensuelles de chaque commune ont été évaluées proportionnellement à la consommation annuelle déclarée par les communes et les syndicats à l'Agence de l'eau en 2006,
- pour la neige de culture, c'est le volume total des retenues collinaires qui a été pris en compte, en considérant que celles-ci ont été vidées au cours des mois précédents et qu'un nouveau remplissage est nécessaire au cours du mois (ce qui n'est pas toujours le cas),
- les prélèvements au niveau des prises d'eau EDF sont définis par les débits réservés, les débits d'équipement et la superficie du bassin versant à l'amont, les débits prélevés par les prises d'eau n'étant pas mesurés sur le terrain » (Observatoire Savoyard de l'Environnement, 2008, p. 29).

Certes, un certain nombre de projections et d'hypothèses de travail a ainsi dû être pris pour arriver à quantifier les usages et la ressource. Compte tenu de cette marge d'incertitude, les résultats de ces travaux doivent être appréciés en conséquence, c'est-à-dire prudemment. Néanmoins, la démarche reste tout à fait intéressante. Elle permet d'apprécier d'un côté les besoins, de l'autre la ressource à des échelles de temps et d'espace différentes (nous avons pris l'exemple du bassin versant du Doron de Bozel, dont les résultats étaient issus du même travail, dans le chapitre précédent). **Les initiatives de cet ordre devraient ainsi être développées sur d'autres territoires.** A titre d'exemple, le bassin versant de l'Arly (Savoie, Haute-Savoie) s'est lancé dans une démarche similaire.

• L'exemple du « Schéma de conciliation de la neige de culture avec les milieux et les autres usages de l'eau » du SAGE du Drac et de la Romanche

Le Schéma d'aménagement et de gestion des eaux du Drac et de la Romanche prévoit une coordination des acteurs impliqués dans la problématique de l'enneigement artificiel et la définition de règles encadrant la réalisation et la gestion des retenues d'altitude. Le bassin versant couvert par cet outil de gestion de l'eau est vaste, couvre une large partie du département de l'Isère et de nombreuses stations de sports d'hiver, dont certaines d'envergure majeure (Les Deux Alpes, l'Alpes d'Huez... ; carte 9.1).



Carte 9.1 : Les stations impliquées par le Schéma de conciliation de la neige de culture avec les milieux et les autres usages de l'eau (d'après Sépia Conseils, 2009). *N'étaient initialement concernées par ces travaux que les stations du périmètre du SAGE du Drac et de la Romanche (en rouge). Le dispositif a finalement été étendu aux autres stations du département de l'Isère (en jaune).*

Dans le cadre de cet objectif de concertation autour de notre objet d'étude, certes quelque peu forcée, la Commission Locale de l'Eau a décidé de mettre en œuvre un « Schéma de conciliation de la neige de culture avec les milieux et les autres usages de l'eau ». Concrètement, il s'agit d'étudier chaque situation, c'est-à-dire chaque station de sports d'hiver au cas par cas, pour définir

des conditions de production de neige respectueuses des autres usages de l'eau et des milieux naturels. Les objectifs de ce travail ont été détaillés avec soin :

- « 1. ne pas créer de déséquilibres dans la gestion de la ressource en eau entre l'amont où se situent les prélèvements destinés à la production de neige de culture d'une part et l'aval où d'autres usages importants (eau potable) ou industriels avec notamment l'hydroélectricité, ont besoin de cette ressource d'autre part
 2. déterminer les modes de gestion de ces prélèvements les plus respectueux des milieux naturels pour garantir le bon état des milieux (en quantités mais également en diversité)
 3. définir les autres usages susceptibles de bénéficier des retenues d'altitude nécessaires à l'équilibre économique des stations de ski
 4. préciser le contenu des dossiers et notamment celui du document d'incidence sur l'environnement naturel »
- (Commission Locale de l'Eau du Drac et de la Romanche, 2008, p. 2).

A notre connaissance, il s'agit du premier outil de planification de la gestion de l'eau aussi volontariste en la matière. Cette expérience, tout à fait novatrice, mériterait d'être appliquée à d'autres territoires aux enjeux similaires. Lors des différentes réunions du comité de pilotage supervisant cette opération, les échanges, s'ils furent parfois vifs, ont permis à l'ensemble des parties de faire connaître leur expertise et avis sur la question. Il faut rappeler que les documents qui résulteront de cette étude conditionneront les futurs projets.

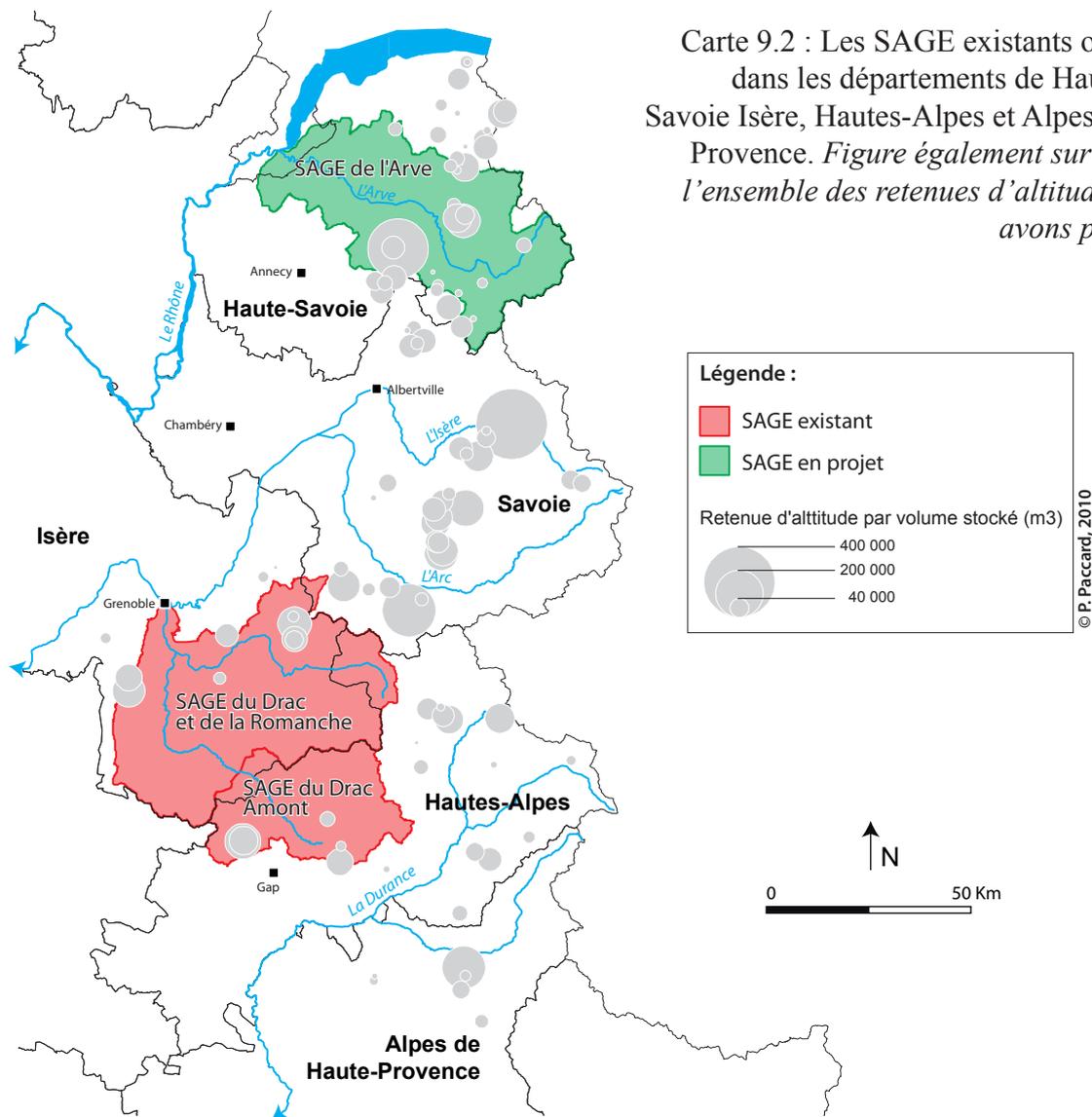
A l'heure actuelle, les bureaux d'étude mandatés (Sépia Conseil et Antéa) ont quasi-terminé leur mission de terrain nécessaire à la conduite de ce travail. Pour chaque domaine skiable, un document d'analyse de la possible conciliation des usages doit être prochainement remis à la Commission Locale de l'Eau du Drac et de la Romanche. Conçu en partie au format cartographique, il présentera pour chaque situation un zonage des prélèvements possibles, depuis les secteurs où ceux-ci seront interdits (motifs environnementaux, sanitaires, hydrologiques...) jusqu'à ceux où ils seront autorisés puisqu'aucun enjeu particulier n'aura été identifié.

En sus de ce document d'analyse propre à chaque domaine skiable (auquel sera d'ailleurs attachée une note des enjeux économiques de chaque site), un document général présentant les conditions à respecter pour la préparation d'un projet de retenue d'altitude dans le bassin versant du Drac et de la Romanche doit également être réalisé. L'ensemble de ces outils de gestion (document site par site et « cahier des charges retenue d'altitude ») est en passe d'être remis à la Commission Locale de l'Eau.

Il est vrai que certains projets de retenue d'altitude avaient justement posé la question des impacts cumulés sur l'ensemble d'un bassin versant élémentaire. Ce fut notamment le cas du projet de retenue de l'Herpie et de ses prélèvements dans la Sarenne (domaine skiable de l'Alpe d'Huez, Isère), suspecté de pouvoir porter atteinte à des captages d'eau potable situés en contrebas. Faute d'éléments suffisants, le secrétariat de la CLE n'avait pas pu se prononcer sur le projet :

- « **La recommandation du Secrétariat de la CLE : avoir une vision d'ensemble avant de rendre un avis.** [...] le projet pourrait toutefois justifier un avis de la CLE favorable sous réserve de certaines conditions. [...] Il semble que la Sarenne participe à l'alimentation en eau de la source de la Gillarde située sur la commune d'Auris-en-Oisans.
- Une étude sur les relations hydrauliques entre la Sarenne et le captage devra être réalisée pour conclure définitivement la participation des eaux de la Sarenne à l'alimentation du captage et lever cette incertitude »*
- (CLE Drac Romanche, 2008, p. 8 et 9).

Au-delà du seul cas du Drac et de la Romanche, les SAGE ne couvrent aujourd'hui qu'une petite partie des Alpes françaises. Dans tous les cas, aucun n'est actuellement mis en œuvre en Savoie et Haute-Savoie (carte 9.2). Celui de l'Arve (Haute-Savoie) est en cours d'élaboration. Le territoire qu'il couvre comporte de nombreuses stations de sports d'hiver. S'inspirera-t-il de l'expérience concluante du SAGE du Drac et de la Romanche ?

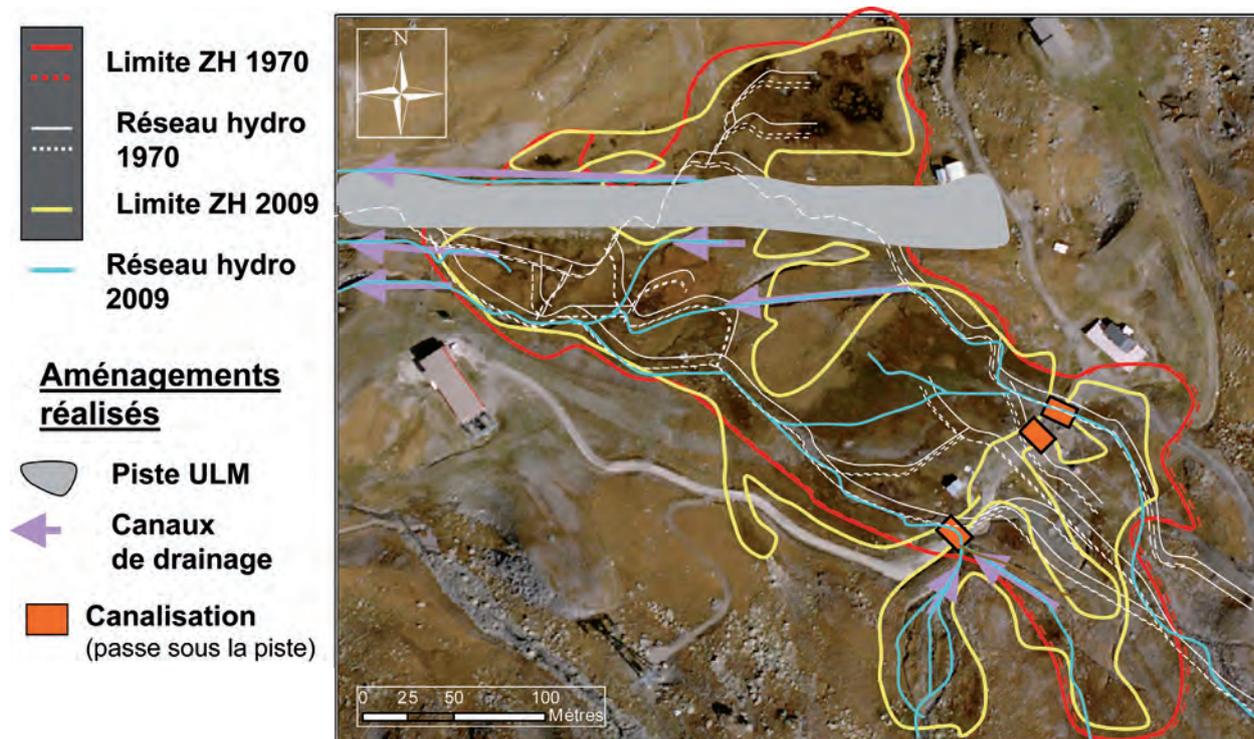


Carte 9.2 : Les SAGE existants ou en projet dans les départements de Haute-Savoie, Savoie Isère, Hautes-Alpes et Alpes-de-Haute-Provence. Figure également sur cette carte l'ensemble des retenues d'altitude que nous avons pu recenser.

• L'exemple du Plan de gestion des zones humides de Val Thorens

Nous avons vu que les zones humides sont des écosystèmes d'intérêt particulier. Dans le même temps, ce sont également des espaces vulnérables aux projets d'aménagement en montagne et en domaines skiables, en particulier lorsqu'il s'agit de construire une retenue d'altitude. Aujourd'hui, grâce aux inventaires d'ores et déjà réalisés, il est possible de planifier les projets d'aménagement en considération de ces espaces. Sur la base de ces inventaires, qu'il a précisés, « le Cemagref a lancé en 2009 une étude prospective sur 2 ans sur le domaine skiable de Val Thorens en partenariat avec le Parc National de la Vanoise (PNV) et le Conservatoire du Patrimoine Naturel de Savoie (CPNS), en vue de construire un outil de gestion qui facilite la préservation des zones humides sur l'ensemble du domaine skiable, sans empêcher son développement » (Gaucherand, 2010, p. 13).

C'est effectivement en mesure compensatoire à la réalisation d'une retenue d'altitude qu'une étude prospective d'une durée de 2 ans est actuellement mise en œuvre sur le domaine skiable de Val Thorens. Celle-ci vise à améliorer la gestion de ces écosystèmes, nombreux dans l'emprise du domaine. S. Content et P. Georges (2009) précisèrent tout d'abord les contours de chaque zone avec soin. Une étude diachronique, permise par l'analyse de photos aériennes anciennes et récentes, a également montré l'évolution de certaines d'entre elles (carte 9.3).



Carte 9.3 : Étude diachronique de l'évolution d'une zone humide (extrait de Gaucherand, 2010, d'après Content et Georges, 2009, p. 30 et 31)

Sur la base de ces éléments, trois propositions concrètes ont été formulées pour permettre de concilier la gestion du domaine skiable et la protection de ces zones humides (Gaucherand, 2010) :

- des fiches d'identité précisant la localisation, l'intérêt plus ou moins marqué de chaque zone et son fonctionnement hydrologique, pour une gestion de celle-ci au cas par cas ;
- une hiérarchisation de l'ensemble des zones humides considérant leurs intérêts divers en termes écologique, patrimonial et socio-économique ;
- un plan de circulation des engins nécessaires à l'aménagement du domaine et une signalisation des zones humides à protéger.

Ce travail, qui n'est actuellement pas terminé, pourrait être appliqué à d'autres domaines skiables où les enjeux liés à la gestion et à la protection des zones humides qu'ils comportent sont forts.

De la même façon que les Schémas Directeurs des Installations d'Enneigement, les bilans quantitatifs ou les Schémas d'Aménagement et de Gestion de l'Eau, la démarche mise en œuvre à Val Thorens est un exemple de plus permettant de concilier la production de neige, les autres usages de l'eau et les milieux aquatiques. L'ensemble de ces initiatives est force de motivation pour envisager, avec confiance, les progrès à venir.

CONCLUSION DU CHAPITRE 9

Éprouver nos hypothèses de travail et questionnements d'un côté, et avancer des propositions pour une gestion durable de l'eau de l'autre, étaient au cœur de ce chapitre. Les pistes de progrès proposées sont à verser dans une démarche d'amélioration. Nous sommes convaincus que **la production de neige peut s'insérer dans un modèle de gestion durable de l'eau en montagne.**

Néanmoins, nous ne prétendons pas que cette possibilité soit une entreprise facile. Bien au contraire, elle exige des efforts coordonnés, une écoute, une compréhension des enjeux, des attentes, des contraintes des différents acteurs, de repenser certaines politiques d'aménagement du territoire et de renforcer la gouvernance actuelle de l'eau en montagne ; un vaste chantier... Les perceptions de l'eau en montagne sont également à questionner ; l'idée des montagnes château d'eau est à nuancer :

« A l'évidence, notre héritage culturel comporte, sur le sujet de l'eau, trois idées reçues et fortement ancrées en nous. Tout d'abord, l'eau serait une ressource illimitée, donc inépuisable. Cette illusion provient vraisemblablement du concept de renouvellement perpétuel au travers du cycle de l'eau. Ensuite, l'eau serait exclusivement purificatrice. La symbolique religieuse renforce la perception d'une pureté fondamentale et intrinsèque de l'eau. En définitif, l'eau est considérée comme un cadeau du ciel, dans le sens littéral et métaphorique, et est donc nécessairement libre » (Margat, 2000, p. 124).

Nos propositions s'appuient sur des exemples concrets d'initiatives locales, d'ores et déjà prises pour améliorer les systèmes de gestion existants. Elles ont en ce sens déjà fait leurs preuves et nous ne prétendons pas les inventer mais bien de les faire connaître et reconnaître. Trois grands axes portent ces modes raisonnés de gestion de l'eau :

- **orienter judicieusement les développements territoriaux** (coordonner les politiques publiques et renforcer le cadre de la pratique) ;
- **limiter les impacts de la pratique** (produire la « juste neige », ne pas systématiser l'outil, toujours communiquer et améliorer la maîtrise de la pratique) ;
- **coordonner l'ensemble des besoins dans les limites de la ressource** (mettre en place des Schémas Directeurs des Installations d'enneigement, concilier les usages de l'eau et les besoins des milieux en s'appuyant sur les contrats de rivière, SAGE et plan de gestion des zones humides).

L'ensemble de ces considérations invite à décroiser les problématiques relatives au modèle de développement touristique d'un côté et à la gouvernance de l'eau de l'autre. Dans tous les cas, il nous semble nécessaire de sortir d'un débat « pour ou contre » la production de neige qui n'a pas de sens. Cette infrastructure n'est pas un problème en soi ; c'est son utilisation qui, dans certaines conditions, peut devenir problématique. Elle est un outil à utiliser (ou pas), rationnellement, dans le respect des équilibres socio-économiques, environnementaux et climatiques propres à chaque territoire et massif de montagne.

Pour conclure, deux actions récentes méritent d'être relevées. En termes de conciliation des usages et des milieux, la publication à venir de la Société d'Economie Alpestre de la Haute-Savoie, le « *Cahier de bonnes pratiques pour la "culture de la neige"* », nous semble être une démarche une fois de plus novatrice et tout à fait intéressante. Elle dépasse et intègre la seule problématique de la production de neige, la « culture de la neige » étant définie comme « *l'ensemble des pratiques*

mises en œuvre pour assurer la bonne adaptation et la conservation du manteau neigeux pour les pratiques sportives alpines comme nordiques » (Société d'Economie Alpestre de la Haute-Savoie, 2010, p. 1). L'idée est ici de permettre la pratique touristique dans le respect de l'eau et des milieux aquatiques. Les trois journées de travail qui ont initié la réalisation de ce document ont parfaitement montré combien l'ensemble des acteurs (gestionnaires de l'eau, de domaines skiabiles, services de l'Etat et collectivités territoriales, scientifiques, bureaux d'études et associations) adhère à cet objectif et souhaite donc œuvrer, en concertation, pour le remplir.

Enfin, incluant les problématiques touristiques, hydrologiques et bien plus encore, l'observatoire du changement climatique certainement à venir en Pays de Savoie (Savoie et Haute-Savoie) est également un élément marquant de cette volonté d'approcher de façon intégrée les dynamiques territoriales. Ce projet fait suite au « *Livre Blanc du Plan Climat* » de la Savoie (Delannoy *et al.*, 2010) remis au Conseil Général à l'été 2010. Le positionnement par rapport à notre objet d'étude de l'ensemble des acteurs impliqués ne pourra qu'en être objectivé.

CONCLUSION DE LA QUATRIÈME PARTIE

Trois études de cas locales ont permis d'appréhender les enjeux de la pratique étudiée à l'échelle d'une station de sports d'hiver et de la (ou des) commune(s) support(s), en particulier du point de vue de l'eau. L'appréciation de la production de neige et de ses implications sur l'ensemble des départements de Savoie et de Haute-Savoie a permis de **contextualiser ces différentes situations**, liées à trois terrains différents.

A cette échelle, les **besoins en eau croissants** liés au développement des infrastructures ont pu être vérifiés. Pour faire face à ces besoins, **les retenues d'altitude sont aujourd'hui la solution privilégiée** par l'ensemble des opérateurs même si, sur certains secteurs, des **prélèvements sont réalisés depuis des aménagements hydroélectriques**. Ces alternatives permettent justement aux gestionnaires d'installations d'enneigement de s'affranchir de ce type d'infrastructure, aux importantes implications environnementales (effet de site et remplissage multiple). De la même façon, les **prélèvements depuis les réseaux de distribution publique** ont été explicités : la part des choses doit être faite entre les prélèvements depuis un trop-plein, où les risques de conflits d'usage sont impossibles, et ceux réalisés directement sur les conduites de distribution, où des précautions particulières doivent être prises pour ne pas compromettre l'usage « eau potable » vis-à-vis de l'usage « production de neige ». Même si nous n'avons jamais constaté, d'un point de vue quantitatif, un conflit d'usage à la défaveur de l'eau potable, la séparation des réseaux et des sources d'alimentation reste à privilégier lorsque cela est possible.

En termes d'impacts des prélèvements, ceux-ci restent locaux, sur les petits cours d'eau de montagne. Si la parfaite maîtrise des installations n'est pas assurée, les débits de prélèvements peuvent être supérieurs aux débits de ces cours d'eau, en particulier en période d'étiage. Pour ce qui est des retenues d'altitude, **les sites de construction doivent être judicieusement choisis et les travaux soigneusement réalisés pour ne pas porter atteintes aux zones humides**, écosystèmes d'intérêt à préserver.

Du point de vue climatique, la méthodologie prospective mise en œuvre montre que les situations vis-à-vis du risque d'« hiver sans neige » pourraient être diverses, **depuis certains domaines potentiellement vulnérables à l'aléa (essentiellement les domaines préalpins) jusqu'aux domaines semble-t-il relativement protégés (domaines d'altitude des massifs internes)**. Ces éléments doivent être considérés, avec mesure, dans les choix d'investissement ou non en matière d'enneigement artificiel. Quoi qu'il en soit, le croisement d'approches (retro-observation et modèles prospectifs) est à privilégier pour réduire les marges d'incertitude liées aux évolutions climatiques. Nous n'avons fait qu'approcher ce croisement dans notre recherche.

L'ensemble des travaux réalisés, multiscalaires, a permis de vérifier les hypothèses proposées en entrée de notre mémoire et, ainsi, de répondre à la problématique générale de celle-ci : **la production de neige en stations de sports d'hiver peut s'insérer dans un modèle de gestion durable de la ressource en eau mais à la nécessaire condition de respecter plusieurs orientations fondamentales**. Ces orientations ont été hiérarchisées en trois points, concernant respectivement le modèle d'aménagement touristique, la pratique de l'enneigement artificiel en elle-même et la gouvernance de l'eau en montagne. La « thématique » du changement climatique reste en filigrane de l'ensemble de ces éléments.

En réalité, ce sont bien souvent des initiatives déjà expérimentées sur certains territoires de montagne qui ont guidé la formulation de ces propositions. Elles constituent à notre sens des démarches pilotes innovantes, se révélant être tout à fait concluantes. En termes de conciliation de

l'ensemble des usages de l'eau, dont la production de neige, et des milieux naturels, il s'agit par exemple du **plan de gestion des zones humides** mis en œuvre à Val Thorens ou encore du **schéma de conciliation** déployé sur l'ensemble des stations de l'Isère dans le cadre du SAGE du Drac et de la Romanche. **Les bilans quantitatifs de la ressource en eau, rendus possibles par les contrats de rivière**, sont également de très bons outils pour apprécier objectivement l'état de la ressource et des besoins en eau. S'ils restent à être éprouvés concrètement, les **Schémas Directeurs des Installations d'Enneigement** pourraient contribuer, à leur mesure, au nécessaire regard global qu'il convient de porter aux hydrosystèmes de montagne, intégrant les légitimes préoccupations de l'amont et de l'aval. Dans cette même logique, les **progrès technologiques** permettraient certainement de limiter les impacts de la pratique sur l'eau en optimisant et rationalisant son utilisation.

En définitive, c'est tout un ensemble de **démarches réalistes et constructives** qu'il nous semble pouvoir être possible d'employer dès demain pour continuer à progresser vers une gestion durable de l'eau, et par là même, de l'aménagement des territoires de montagne.

Conclusion générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE), adoptée le 23 Octobre 2000 par la Communauté Européenne, formule comme préalable que « *l'eau n'est pas un bien marchand comme les autres mais un patrimoine qu'il faut protéger, défendre et traiter comme tel* ».

D'emblée, on associe cette déclaration de principe aux régions ayant des déficits en eau ou soumises à de fortes pressions voire à des conflits d'usage. Notre travail relève qu'elle s'applique tout autant, et peut être plus particulièrement, aux régions qui, comme les Alpes, présentent une relative abondance en eau. En effet dans les régions où existe un déficit en eau, les communautés ont depuis longtemps intégré la nécessité d'une gestion de l'eau permettant de couvrir les besoins domestiques, agricoles, etc. (cf. police de l'eau dès l'Antiquité dans les pays méditerranéens). Qu'en est-il des régions où l'eau ne manque pas et qui du fait de modifications climatiques, de l'accroissement démographique, ou de nouvelles pratiques, se trouvent devant des choix auxquels elles n'étaient pas préparées ou qu'elles n'avaient pas anticipés ?

Les régions de montagne constituent un cas particulier. Il y règne une relative abondance de l'eau (paysages de lacs, de torrents, de neige) et la gestion de l'eau dans tous ses états est l'expression d'une adaptation à des pratiques qui se sont succédées dans le temps (agriculture, ouvrages d'art, hydroélectricité, tourisme hivernal...). Il est intéressant de relever que cette adaptation s'est traduite par un compartimentage tant spatial que fonctionnel des usages de l'eau qui a pour effet de réduire l'accès à cette relative abondance de l'eau. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail ; contexte auquel il faut adjoindre des questionnements sur les effets du changement climatique sur les ressources en eau (notamment régime des écoulements), des prises de conscience sur la vulnérabilité des ressources et l'arrivée de nouvelles pratiques comme la production de neige. Notre travail s'est focalisé sur cette dernière car elle est au cœur de questionnements actuels issus de différents pans de la société mais aussi et surtout car elle est un excellent vecteur pour interroger plus globalement la gestion de l'eau en montagne autour des concepts de durabilité et d'adaptation. Il importe ici de préciser le cadre de notre recherche.

La production de neige, ou la construction d'une nécessité

Nous avons souligné dans notre mémoire que la production de neige en stations de sports d'hiver est un outil de plus en plus utilisé pour la gestion et l'exploitation des domaines skiables. Bien que nous ne nous soyons pas attardés dans notre travail sur cette problématique (qui répond à un autre champ de recherche : économie territoriale), il ne fait pas de doute que **les stations sont impliquées**, à un degré plus ou moins fort selon les territoires, **dans l'organisation spatiale, dans les choix économiques**, avec les implications que l'on sait en termes de structuration territoriale, de gestion des ressources, etc. En ce sens, la mise en place de la pratique de la production de neige vise à répondre à des **exigences économiques** : obligations commerciales, amélioration de la qualité de l'offre proposée, rentabilité des infrastructures, stratégie d'assurance des prestations, etc.

Il importe de rappeler que le tourisme des sports d'hiver occupe une place importante dans l'économie et l'aménagement des territoires sur lesquels nous avons travaillé. A titre d'exemple, la station d'Orcières-Merlette est née de la volonté d'acteurs locaux, résolument décidés à **sortir d'une économie agro-pastorale en perte de vitesse**. La **trajectoire** prise à l'époque a conduit au développement d'un outil, la station, qu'il convient aujourd'hui de gérer et d'organiser au mieux. C'est un choix pris par les acteurs de terrain. Dans ce **système**, la production de neige est devenue progressivement un **rouage sinon central, tout au moins incontournable** dans le fonctionnement de cette station. Sur les deux autres sites d'étude (Villard-de-Lans & Courchevel), l'enneigement des pistes de ski a pris une même importance, voire plus. Ces trois terrains confortent les tendances observées à l'échelle nationale, voire internationale : les surfaces équipées d'installations de production de neige n'ont, jusqu'à présent, pas cessé de croître ; c'est dire l'intérêt que portent les gestionnaires de station, et la plupart des élus communaux, à l'outil. Aujourd'hui, **le quart de la surface des pistes balisées est équipé en France**. Cette proportion est de trois-quarts en Italie ; certains domaines skiables sont équipés sur la **totalité de la longueur de leurs pistes**.

Des besoins toujours croissants pour une ressource finie

Le « *bon état écologique des eaux à l'horizon 2015* » est l'objectif fixé par l'article 4 de la DCE. Cette directive est transcrite dans le droit Français depuis 2004 et reprise en 2006 dans la dernière loi sur l'eau : « **Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques** » (LEMA).

Dans ce cadre, notre travail sur **l'appréciation des impacts des prélèvements d'eau** pour la production de neige prend toute sa dimension. Nous avons montré que ceux-ci devaient être abordés à l'échelle locale du fait des prélèvements ou de la construction de retenues sur les têtes de bassin. Notre travail a souligné que les prélèvements ne remettent pas en cause les **bilans hydrologiques régionaux** et que ce n'est pas à cette échelle là qu'il importe de travailler si on veut mesurer à bon escient les impacts sur le milieu et appréhender les fondements d'une gestion durable de l'eau. C'est pourquoi à Courchevel, comme sur les autres terrains, nous avons travaillé à une **échelle plus locale**.

A Courchevel, c'est autour du lac de la Rosière que nous nous sommes attardés : il est au cœur de l'enjeu du **partage de la ressource** entre alimentation en eau potable, hydroélectricité et production de neige. A Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors, les prélèvements résultent de l'exploitation d'une **ressource en eau karstique**. Celle-ci est également sollicitée pour l'alimentation en eau potable et l'hydroélectricité. Enfin, un **lac situé dans une réserve naturelle** est l'enjeu de la production de neige à Orcières ; ce lac pourrait être à nouveau sollicité pour l'alimentation en eau potable de la station.

Dans ces différentes situations, il n'y a jusqu'à présent **pas eu de conflits d'usages** sur la ressource en eau. Pour satisfaire leurs besoins, les acteurs dialoguent et concilient leurs intérêts localement. Nous tempérons ainsi les discours catastrophistes sur les conflits « d'usages » qui laissent parfois à penser que la priorité n'est pas toujours donnée à l'alimentation en eau potable lorsqu'il s'agit de produire de la neige... Nous ne sommes pas, dans les exemples traités, dans cette urgence là.

Cela ne doit pas pour autant gommer le fait que les **prélèvements en eau, tant pour la production de neige que pour l'alimentation en eau potable, sont toujours croissants**. En termes d'alimentation en eau potable, dans la perspective de projet d'urbanisme, tous les SDAEP consultés sont déficitaires à l'étiage, à moyen terme. Ces nouveaux besoins conduisent à la **recherche de solutions techniques ou institutionnelles toujours plus élaborées** pour augmenter la disponibilité en l'eau. En termes de production de neige, l'augmentation de cette disponibilité

passé très souvent par la réalisation d'une retenue d'altitude, ouvrage d'art aux implications environnementales importantes. Il convient d'en soigner les études d'avant-projet pour permettre leur meilleure **intégration environnementale** possible.

Parfois, la recherche de nouvelles ressources ne va **pas dans le sens d'une réelle politique de préservation des milieux naturels**. C'est le cas à Orcières, où le déclassement de la réserve naturelle des Estaris est envisagé pour répondre aux nouveaux besoins conjoints de l'enneigement et de l'eau potable. Quoi qu'il en soit, la croissance des besoins pose la question de leur satisfaction à terme, considérant les **limites « finies »** de la ressource. Cette question se pose d'autant plus que **les projets d'installations d'enneigement sont nombreux**. C'est notamment le cas en Haute-Savoie, où ils sont d'ailleurs soutenus par la collectivité départementale.

Réconcilier des positions crispées

Le chantier est donc vaste. Il vise à **répondre conjointement aux utilisations de l'eau** en stations de sports d'hiver, au service des exigences socio-économiques des territoires de montagne, et à **la nécessité de maintenir les écosystèmes**, aquatiques en particulier, dans un « *bon état écologique* ».

Il est d'autant plus vaste que **les positions sont souvent tranchées**, trop à notre avis, sur le sujet de la production de neige. En s'intéressant aux logiques d'acteurs, nous avons pu mettre en évidence des **divergences fortes de points de vue**. Les discours tenus par des groupes d'acteurs différents s'entrechoquent. Ils conduisent parfois au **conflit**. En fait, dans les extrêmes, deux thèses s'affrontent.

La première voudrait que la production de neige n'ait pas d'impact sur la ressource en eau au prétexte qu'à la fonte, toute l'eau transformée en neige retourne à la nature. Cela souligne une méconnaissance de la complexité des écoulements de montagne qu'ils soient superficiels ou souterrains. Quant à la question du changement climatique, s'il n'est pas nié, elle ne se poserait pas : les échéances futures sont trop lointaines et on a le temps de voir venir.

Pour la seconde, bien au contraire, produire de la neige serait un désastre pour les hydrosystèmes : assèchement des cours d'eau, des territoires aval, mise en péril de l'alimentation en eau potable... La gabegie serait d'autant plus large que le réchauffement climatique « sonne le glas » du tourisme des sports d'hiver.

Cela est plus porté comme postulat que le fruit d'une recherche cherchant à quantifier les impacts réels de la production de neige et à démêler la complexité des hydrosystèmes de montagne qui répondent avec plus ou moins de rapidité aux modifications environnementales et aux aménagements anthropiques.

Il importe de souligner l'indigence des données et des recherches sur la ressource en eau aux échelles qui nous intéressent ici : celles des têtes de bassin. En cette absence, tout peut être dit, le tout et son contraire. Il y a là une urgence soulignée autant par le Grenelle de l'Environnement (développer l'observation) que plus localement (Livre Blanc sur le climat en Savoie, Comité d'orientation de l'Institut de la Montagne...).

Ces **discours caricaturaux**, parfois relevés au cours de notre recherche, ne sont pas raisonnables au regard des résultats acquis par notre travail. Les impacts de la production de neige sont réels mais **encadrés et maîtrisables**. Sous certaines conditions, **les prélèvements réalisés sont compatibles** avec la préservation des milieux et les besoins des autres usages.

En termes de changement climatique par ailleurs, en l'état des connaissances, les projections révèlent des **situations contrastées entre les massifs et les stations**. Les degrés de vulnérabilité sont différents, de faible à fort, en passant par l'incertain. Les marges d'incertitude doivent être réduites ; la recherche doit être plus mobilisée pour répondre à ces problématiques.

Derrière les fonctions de la ressource en eau, qu'elle soit d'usage ou de support de vie, il y a les acteurs qui les portent et les défendent. **La conciliation des usages et des milieux passe donc également par la concertation des acteurs**, qu'il convient d'animer. En réalité, si des éléments de discours semblent de prime abord parfaitement incompatibles, nous avons au moins deux principales raisons d'espérer. La première est que derrière ces discours de « façade », **des nuances pointent**. Derrière la caricature se trouve la **compréhension des enjeux, attentes, intérêts et obligations de chacun**.

La seconde est que des **plateformes de dialogue** se créent, parfois même à l'initiative des acteurs eux-mêmes. Notre recherche nous a menés dans plusieurs « parlements de l'eau », voire « parlements de l'environnement ». Ils regroupent des acteurs aux logiques *a priori* contradictoires. Si les échanges sont parfois soutenus, des **éléments constructifs** sont toujours versés au débat. Certaines de ces initiatives se sont d'ailleurs révélées être tout à fait concluantes, dans l'intérêt des acteurs et de leurs usages. Elles sont à encourager et pourraient inspirer d'autres territoires.

Nous avons montré combien la « question de la production » de neige est **systémique et complexe**. Les réponses ne peuvent donc être que multifactorielles et multi-acteurs. Dans tous les cas, elles ne doivent **pas être hâtives et en aucun cas dogmatiques**.

Vers une gestion durable de l'eau

Pour expliquer les premières étapes de la mise en œuvre de la DCE au Parlement européen et au Conseil, la Commission intitulait sa communication du 22 février 2007 « *Vers une gestion durable de l'eau dans l'Union européenne* ».

C'est bien dans cette perspective que notre travail s'inscrit. Appliquée à notre objet d'étude, la gestion durable de l'eau passe par la **conciliation de la production de neige avec les milieux et les autres usages de l'eau**. Elle passe également par une réflexion sur la **durabilité du modèle de développement touristique qui la génère**. Ce sont les évolutions climatiques que nous avons choisies pour questionner cette durabilité.

A notre sens, **l'insertion de la production de neige dans un modèle de gestion durable de l'eau est plausible**. Notre travail de terrain confirme ce champ de possibilité. Incontestablement, des efforts restent à produire pour approcher au plus près cette durabilité et, pour être franc, **les marges de progrès possibles sont conséquentes**. Bien entendu, ambitionner d'atteindre un système parfait reste du domaine de l'utopie. N'oublions pas que c'est cette utopie qui a bousculé bien des certitudes et fait avancer nos sociétés. C'est dans cet esprit que nous nous sommes engagés dans notre thèse sur un ensemble de propositions, organisées depuis l'amont vers l'aval, c'est-à-dire partant du modèle de développement touristique en direction des usages qu'il génère.

Dans le cadre de ces propositions, la perspective d'une **gestion intégrée de l'eau incluant la production de neige est clairement dans le domaine du possible et du réalisable** ; des initiatives locales montrent que l'on s'en approche. En fait, c'est la question d'une autre forme

de développement territorial qui reste plus complexe. **L'héritage culturel « stations de sports d'hiver » des territoires de montagne pèse sur les orientations à insuffler.** Pourtant, dans certaines situations, l'enjeu du changement climatique les nécessite. Il s'agit bien de penser le territoire sur lequel repose l'usage.

Sur l'ensemble des terrains d'étude de notre thèse, le réchauffement du climat se traduit par une réduction des cumuls de neige fraîche et, ainsi, de la couverture nivale. **Les situations sont néanmoins différentes d'un point de vue « structurel »** : situation de moyenne montagne préalpine pour Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors, situation d'altitude plus méridionale pour Orcières-Merlette et enfin, domaine d'altitude en massif interne pour Courchevel - La Tania. **D'un point de vue « organisationnel », les situations restent quasi-similaires** : les installations d'enneigements occupent une place importante dans le modèle de gestion du domaine. A Villard, excepté le secteur de Corrençon, la place accordée aux installations d'enneigement est centrale. Elle dépasse même le seul périmètre du domaine skiable de la Moucherolle : parc de glisse à proximité du bourg et stade de ski de fond.

A notre sens, cette situation dans laquelle les installations d'enneigement occupent une place inversement proportionnelle à la contrainte de l'enneigement est paradoxale. En fait, nous pensons qu'elle est **amplificatrice du degré de vulnérabilité organisationnelle des stations concernées.** Le risque de fragiliser le système par l'emploi d'une stratégie inappropriée est donc grand. La **production de neige dépasse de ce fait la seule problématique de l'eau** ; elle est également **l'expression de l'usage des territoires qu'il convient de questionner.** Cela ne peut se faire qu'en considérant leurs atouts, contraintes, forces et faiblesses. A diversité de situations ne peut en effet correspondre un modèle d'organisation unique.

Dans certaines situations de moyenne montagne, « *la diversification des activités se pose avec acuité et constitue une des priorités pour répondre au caractère de plus en plus aléatoire des sports d'hiver* » (Delannoy *et al.*, 2010, p. 130). Reste bien entendu à inventer des solutions d'avenir, performantes et partagées par tous.

Dans cette perspective, **notre travail n'est pas une fin.** En nous focalisant sur la seule question de la production de neige, nous ne nous sommes que trop peu intéressés au reste ; une sorte de « focale » qui rend plus lisible ce que l'on regarde mais moins ce qui l'entoure. C'est un besoin d'ouverture certain au terme de notre travail. Il tient à deux raisons principales. La première est que sur l'autre versant des stations de sports d'hiver étudiées se trouve sûrement une « station de montagne » ; **le poids des autres formes de tourisme**, quatre saisons par exemple, devrait y être questionné.

La seconde est que les territoires de montagne dans lesquels s'inscrivent ces stations **ne se limitent évidemment pas au seul périmètre d'un domaine skiable.** H. François (2007) intitulait sa thèse « *De la station ressource pour le territoire au territoire ressource pour la station* ». C'est à propos de cette notion de « territoire ressource pour la station » que nous pourrions mobiliser nos compétences de géographe. Dans le cadre du changement climatique et du développement durable, où toutes les sphères n'ont pas été investiguées dans notre recherche, cette échelle d'analyse nous semble être pertinente. Il s'agit par là même de penser la montagne de demain...



Photo C.1 : Le Vallon de la Fauge à Villard-de-Lans, Isère (cliché : P. Paccard, le 30/06/2009).
A l'envers du domaine skiable de Villard-de-Lans...

Table des illustrations

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLE DES FIGURES

Figure Î.1 : Disponibilité en eau par habitant en 2050 dans certains pays industrialisés.	p. 20
Figure Î.2 : La production de neige et les différentes composantes du géosystème montagnard.....	p. 20
Figure Î.3 : Représentation synoptique de la thèse.	p. 23
Figure 1.1 : Niveau de puissance acoustique (LWA) à 4 mètres des différents canons étudiés par F. Dinger et S. Dubost en 1995.	p. 31
Figure 1.2 : Evaluation de la contribution des acteurs du bassin versant du Giffre à un système de gestion intégrée des ressources en eau.	p. 35
Figure 1.3 : Radar d'évaluation du système de gestion des exploitants privés de domaine skiable pour atteindre une gestion intégrée des ressources en eau.....	p. 36
Figure 1.4 : Racines et rhizomes : stabilisateurs des sols de montagne.....	p. 40
Figure 1.5 : Place des attentes des partenaires financiers de la présente recherche au regard de la problématique générale de nos travaux.	p. 47
Figure 1.6 : Pêle-mêle d'articles de presse à propos de la production de neige.	p. 57
Figure 1.7 : Reproduction d'une série d'autocollants d'information sur la neige de culture édités par la station de Méribel Alpina.....	p. 60
Figure 1.8 : Essai de représentation systémique simplifiée des relations entre la production de neige et les différentes composantes « eau », « climat » et « socio-économie ».....	p. 66
Figure 1.9 : La méthodologie de terrain employée.....	p. 70
Figure 2.1 : Structure simplifiée d'un système de gestion.....	p. 74
Figure 2.2 : Les trois piliers communément admis du développement durable.	p. 74
Figure 2.3 : Typologie des principales approches du développement durable.	p. 75
Figure 2.4 : Articulation des principaux documents et outils d'aménagements et de gestion de l'eau en France.	p. 77
Figure 2.5 : Représentation de l'évolution de la perception des problèmes liés à l'eau (par exemple, pénuries, pollutions, érosion, inondations) dite représentation « d'utopie stratégique ».	p. 78

Figure 2.6 : typologie de territoires en fonction des degrés d'aménagement et des prises en considération de la dimension eau.	p. 79
Figure 2.7 : Les différentes étapes pour aller de l'absence de gestion de l'eau à une gestion de développement durable.....	p. 80
Figure 2.8 : Evolution des modes de gestion de l'eau et des territoires.....	p. 81
Figure 2.9 : L'eau comme élément central du géosystème montagnard.....	p. 86
Figure 2.10 : Exemple d'évolution d'un haut bassin versant support de multiples utilisations de l'eau.....	p. 88
Figure 2.11 : De l'eau « ressource » à l'eau « milieu ».....	p. 91
Figure 2.12 : « Double processus d'intégration « verticale » et « horizontale » de la gestion des ressources en eau ».....	p. 93
Figure 2.13 : Application de la « roue de Deming » à la gestion de l'eau.....	p. 97
Figure 2.14 : La station de sports d'hiver, une forme de station touristique.....	p. 101
Figure 2.15 : Estimations et fourchettes probables pour le réchauffement global moyen de l'air en surface pour les six scénarios d'émissions à l'horizon 2100.....	p. 104
Figure 2.16 : Modélisation des changements relatifs des précipitations (en pourcentages) pour la période 2090-2099 par rapport à 1980-1999.....	p. 105
Figure 2.17 : Changement du ruissellement dans les Alpes dans la perspective du changement Climatique.....	p. 106
Figure 2.18 : Impact sur l'enneigement d'un réchauffement de 1,8°C sur les Alpes et les Pyrénées.....	p. 107
Figure 2.19 : Évolution schématique du ratio hivernal précipitations liquides/ solides pour un bassin versant de type alpin ou de type préalpin/plateau.....	p. 108
Figure 3.1 : Le manque de neige à la Clusaz (Haute-Savoie), au mois de novembre 1964. ...	p. 119
Figure 3.2 : « Hiver sans neige » 1963-1964 à Megève (Haute-Savoie).....	p. 120
Figure 3.3 : « Hiver sans neige » 2006-2007 à La Clusaz (Haute-Savoie).....	p. 120
Figure 3.4 et 3.5 : Solutions mises en œuvre pour pallier le manque de neige sur les pistes de la station des Gets (Haute-Savoie) pendant l'hiver 1963-1964.....	p. 121
Figure 3.6 : Illustration du brevet déposé le 27 avril 1954 aux Etats-Unis par M. Wayne Pierce Jr.....	p. 122
Figure 3.7 : Quelques illustrations des brevets déposés entre 1954 et 1977 aux Etats-Unis..	p. 125
Figure 3.8 : Production de neige à Megève en 1964.....	p. 126
Figure 3.9 : Evolution du nombre de stations équipées.....	p. 128
Figure 3.10 : Evolution de la surface enneigée et de la puissance installée.....	p. 128
Figure 3.11 : Proportion des surfaces de pistes équipées en neige de production selon l'altitude des domaines skiables.....	p. 129

Figure 3.12 : Plages d'altitude des domaines skiabiles de l'arc alpin.....	p. 135
Figure 3.13 : Projection de l'évolution de la surface enneigée.....	p. 139
Figure 3.14 : Ruptures de pente subissant des usures prématurées dues aux passages des skieurs.	p. 143
Figure 3.15 : Schéma de principe de l'enneigreur multigicleurs de section fixe montés sur couronnes.	p. 149
Figure 3.16 : Schéma de principe de l'enneigreur monobuse de section variable.....	p. 149
Figure 3.17 : Schéma de principe de l'enneigreur bi-fluide à mélange interne.	p. 151
Figure 3.18 : Schéma de principe de l'enneigreur bi-fluide à mélange externe.....	p. 151
Figure 3.19 : Schéma d'une installation complète d'enneigement artificiel.....	p. 151
Figure 3.20 : Les différentes phases du processus de transformation de l'eau en neige.	p. 153
Figure 3.21 : Place de la neige naturelle et de culture dans les différents changements d'état de l'eau.....	p. 157
Figure 3.22 : Comparaison de la formation de la neige de production et de la neige naturelle.....	p. 157
Figure 3.23 : Densité de la neige de production, de la neige fraîche naturelle et de la neige damée.	p. 158
Figure 3.24 : Dureté de la neige de production, de la neige fraîche naturelle et de la neige damée.	p. 158
Figure 3.25 : Détail de la procédure de déclaration au titre de la loi sur l'eau.....	p. 168
Figure 3.26 : Détail de la procédure d'autorisation au titre de la loi sur l'eau.	p. 168
Figure 3.27 : Le glissement de la retenue de Baudin (Valmorel, Savoie).....	p. 174
Figure 3.28 : Evolution des exigences dans l'instruction des dossiers de retenues d'altitude au titre de la loi sur l'eau.....	p. 175
Figure 3.29 : Logigramme des projets soumis à étude d'impact ou à notice d'impact.	p. 178
Figure 4.1 : Une des affiches de la campagne d'information du SNTF.....	p. 189
Figure 4.2 : Prélèvements des français (en millions de m ³ par an) selon les différents usages de l'eau.....	p. 189
Figure 4.3 : A. Henry, Ministre du Temps Libre, et la production de neige en 1982.....	p. 199
Figure 4.4 : N. Kosciusko-Morizet, secrétaire d'État chargée de l'Écologie en 2007.....	p. 199
Figure 4.5 : Perception de la production de neige par les différents acteurs impliqués.....	p. 215
Figure 4.6 : Le dialogue des documents de communication émanant du SNTF et des associations de protection de l'environnement.	p. 216
Figure 4.7 : Le conflit environnemental appliqué à la question de la production de neige. ...	p. 218
Figure 4.8 : Les composantes des 19 conflits environnementaux liés à la production de neige recensés.....	p. 219

Figure II.1 : La production de neige au regard de l’histoire des stations de sports d’hiver et de l’évolution des préoccupations environnementales.....	p. 226
Figure 5.1 : Evolution du front de neige de la station d’Orcières- Merlette de 1961 à 2009.	p. 236
Figure 5.2 : Evolution du nombre d’enneigeurs et du chiffre d’affaires de la station de 1992 à aujourd’hui.	p. 242
Figure 5.3 : Coupe schématique du cheminement de l’eau pour la production de neige depuis le lac des Estaris vers le réseau d’enneigeurs de la station.....	p. 243
Figure 5.4 : Comparaison des coûts de production, par poste de dépense, d’un m ³ de neige de production à Orcières-Merlette et à La Bresse (Vosges).....	p. 244
Figure 5.6 : Les écoulements moyens du Drac Noir mesurés à la station hydrologique d’Orcières d’octobre 1974 à septembre 1977.	p. 248
Figure 5.7 : Les écoulements moyens du Drac Noir, influencés par la production de neige..	p. 248
Figure 5.8 : Les écoulements moyens reconstitués, influencés par la production de neige, du bassin source des prélèvements (Torrent du Lac du Col) et des deux bassins récepteurs (Torrent de la Combe et Torrent de Galleron).....	p. 250
Figure 5.9 : Coupe Est-Ouest et caractéristiques du Lac des Estaris à ses différentes cotes de niveau d’eau.	p. 254
Figure 5.10 : Simulation de l’évolution du Lac des Estaris au cours d’un cycle annuel.....	p. 255
Figure 5.11 : Schéma des écoulements du Torrent du Lac du Col : comparaison entre l’état initial et l’état actuel.....	p. 255
Figure 5.12 : Comparaison des volumes d’eau potable distribués à Orcières (saison 2007/2008 et 2008/2009) et des volumes mobilisés pour la production de neige (saison 2008/2009).	p. 257
Figure 5.13 : Vue en plan de la chambre de répartition de Roche-Rousse.	p. 258
Figure 5.14 : Evolution diachronique des usages du Grand Lac des Estaris.....	p. 261
Figure 5.15 : Evolution des températures moyennes en saison hivernale à Orcières (1415 m) entre 1976 et 2006.	p. 264
Figure 5.16 : Evolution des précipitations totales en saison hivernale à Orcières (1415 m) entre 1976 et 2006.....	p. 265
Figure 5.17 : Evolution des cumuls de neige enregistrés à Orcières (1415 m), du chiffre d’affaires des remontées mécaniques et du nombre d’enneigeurs installés sur le domaine skiable.	p. 266
Figure 6.1 : Evolution des températures moyennes en saison hivernale à Villard-de-Lans (1025 m) entre 1978 et 2008.....	p. 276
Figure 6.2 : Evolution des précipitations totales en saison hivernale à Villard-de-Lans (1025 m) entre 1978 et 2008.	p. 277

Figure 6.3 : Evolution des cumuls de neige enregistrés à Villard-de-Lans, du chiffre d'affaires des remontées mécaniques et du nombre d'enneigeurs installés sur le domaine skiable.	p. 277
Figure 6.4 : Les 4 sites de production de neige à Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors...	p. 279
Figure 6.5 : Coupe schématique du cheminement de l'eau pour la production de neige depuis la Goule Blanche vers les retenues d'altitude de Villard-de-Lans.....	p. 287
Figure 6.6 : Extrait du schéma altimétrique du réseau d'eau potable de Villard.	p. 289
Figure 6.7 : Comparaison des volumes d'eau distribués pour l'alimentation en eau potable de la commune de Villard-de-Lans et des volumes d'eau mobilisés pour le remplissage des retenues d'altitude en 2007.	p. 291
Figure 6.8 : Bilan ressources / besoins pour la production de neige et la distribution d'eau domestique à Villard-de-Lans pour les mois de remplissage des retenues d'altitude.....	p. 291
Figure 6.9 : Ecoulements mensuels moyens de Goule Blanche en 1934, 1935 et 1936 et volumes prélevés pour le remplissage des retenues de Villard-de-Lans en 2007.	p. 294
Figure 7.1 : Comparaison des volumes d'eau potable distribués sur la commune de Saint-Bon-Tarentaise et des volumes d'eau mobilisés pour la production de neige en saison d'hiver à Courchevel.	p. 315
Figure 7.2 : Evolution interannuelle des volumes d'eau distribués sur les secteurs de Bellecôte et Courchevel 1850 Centre.....	p. 316
Figure 7.3 : Extrait du schéma altimétrique des réseaux d'eau potable de la commune de Saint-Bon-Tarentaise.....	p. 317
Figure 7.4 : Répartition des prélèvements sur les débits minimaux de retour 10 ans (QMNA10) du torrent de La Rosière.	p. 329
Figure 7.5 : Schéma de principe de l'aménagement hydroélectrique de la chute de Bozel et du pompage pour l'enneigement de la Société des 3 Vallées.....	p. 330
Figure 7.6 : En plan, détail des prises d'eau d'EDF et de la Société des 3 Vallées en aval du barrage communal de la Rosière.	p. 331
Figure 7.7 : Evolution des précipitations totales en saison hivernale à Bozel (865 m) entre 1978 et 2008.	p. 333
Figure 7.8 : Evolution des précipitations totales des mois de janvier et février à Bozel (865 m) entre 1979 et 2008.	p. 333
Figure 7.9 : Evolution des précipitations totales en pleine saison hivernale (janvier et février) à Courchevel (1780 m) entre 1971 et 2007.	p. 333
Figure 7.10 : Répartition altitudinale du linéaire des pistes du domaine skiable de Courchevel - La Tania.....	p. 335
Figure 7.11 : Répartition horaire des températures humides enregistrées par l'installation d'enneigement de Courchevel sur la saison 2006/2007.....	p. 336
Figure 7.12 : Répartition horaire des températures humides enregistrées par l'installation d'enneigement de Courchevel sur la saison 2008/2009.....	p. 336

Figure 7.13 et 7.14 : Evolution des cumuls d'eau transformée en neige à Courchevel et La Tania pour les saisons 2005/06, 2006/07 et 2007/2008.	p. 337
Figure III.1 : Plages altitudinales des domaines skiables étudiés et de leurs installations de production de neige.	p. 341
Figure 8.1 : Evolution des surfaces équipées (en ha) d'installations d'enneigement en Savoie et Haute-Savoie depuis la saison 1994-1995.....	p. 350
Figure 8.2 : Evolution des volumes d'eau, rapportés à l'hectare, prélevés puis transformés en neige chaque saison sur l'ensemble des stations françaises.	p. 351
Figure 8.3 : Evolution des volumes d'eau mobilisés (en milliers de m ³) pour la production de neige en Savoie et Haute-Savoie depuis 1988.....	p. 352
Figure 8.4 : Les principaux modes d'alimentation en eau d'une installation d'enneigement artificiel.	p. 353
Figure 8.5 : Répartition des surfaces enneigées en France selon leur mode d'alimentation en eau.	p. 353
Figure 8.6 : Schéma de principe des prélèvements d'eau pour la production de neige depuis un réseau d'alimentation en eau potable.	p. 355
Figure 8.7 : Un exemple d'arbitrage entre l'eau potable et la production de neige, à la faveur de l'alimentation en eau potable, rapporté par la presse locale.....	p. 355
Figure 8.8 : Répartition moyenne mensuelle des heures de fonctionnement des installations d'enneigement artificiel françaises.....	p. 356
Figure 8.9 : Disponibilité en eau et production de neige.	p. 357
Figure 8.10 : Schéma de principe d'une retenue d'altitude, vue en coupe.	p. 358
Figure 8.11 : Evolution du nombre de retenues d'altitude en Savoie et Haute-Savoie depuis 1970.....	p. 359
Figure 8.12 : Evolution des volumes d'eau stockés (en m ³) dans les retenues d'altitude de Savoie et de Haute-Savoie depuis 1970.	p. 359
Figure 8.13 : Les principaux modes d'alimentation en eau d'une retenue d'altitude.....	p. 361
Figure 8.14 : Schéma de principe des différentes possibilités de prise d'eau dans un aménagement hydroélectrique.	p. 366
Figure 8.15 : Cycle de l'eau et production de neige.	p. 368
Figure 8.16 : Comparaison au mois de février, en m ³ , de la ressource totale théorique et des besoins pour l'alimentation en eau potable (AEP), la production de neige et l'hydroélectricité sur le bassin versant du Doron de Bozel, Savoie.....	p. 369
Figure 8.17 : Comparaison de la ressource théorique un jour d'étiage et des besoins pour l'AEP, la production de neige et l'hydroélectricité sur le bassin versant du Doron de Bozel à sa confluence avec l'Isère.....	p. 369
Figure 8.18 : Le rôle de « tampon hydrologique » des zones humides.	p. 372
Figure 8.19 : Construction d'une retenue d'altitude sur une zone humide en Haute-Savoie.	p. 373

Figure 8.20 : Retenue d'altitude et zone humide : les interférences hydrologiques possibles.	p. 375
Figure 8.21 : 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.	p. 383
Figure 9.1 : Leviers possibles et outils disponibles pour une gestion durable de l'eau et des territoires de montagne, et la conciliation des usages de l'eau avec les milieux naturels..	p. 409
Figure 9.2 : De l'utilité d'un géoradar pour une gestion optimale des ressources nécessaires à l'entretien du manteau neigeux.	p. 413
Figure 9.3 : Bilan quantitatif de la ressource en eau en Tarentaise en amont d'Albertville au mois de février 2006.....	p. 415

TABLE DES CARTES

Carte 1.1 : Résultat du calcul « P / R » (Prélèvement / Ressource disponible à l'étiage) pour l'ensemble des stations du bassin Rhône Méditerranée.....	p. 32
Carte 1.2 : Les principaux terrains investigués.....	p. 69
Carte 2.1 : Les massifs français et la zone montagne.....	p. 83
Cartes 2.2 et 2.3 : Précipitations totales et précipitations efficaces en France métropolitaine et Corse.....	p. 84
Carte 3.1 : Les Surfaces de pistes équipées d'installation d'enneigement en France.....	p. 130
Carte 3.2 : Part des surfaces de pistes équipées d'installation d'enneigement des stations de Savoie et Haute- Savoie.	p. 131
Carte 3.3 : Part des surfaces de pistes équipées d'installations d'enneigement des pays de l'arc alpin.	p. 133
Carte 3.4 : Les projets d'extension des installations d'enneigement sur le domaine skiable relié de l' « Espace Diamant »	
Carte 3.5 : Organisation du réseau d'enneigement artificiel actuel et en projet sur le domaine skiable des 2 Alpes.....	p. 137
Carte III.1 : Localisation des terrains d'étude à l'échelle nationale et départementale, dans leur contexte pluviométrique.....	p. 231

Carte 5.1 : Les stations de ski de la vallée du Champsaur.....	p. 233
Carte 5.2 : Les projets de développement du domaine skiable d'Orcières-Merlette en 1963.....	p. 237
Carte 5.3 : Les pistes équipées d'installation d'enneigement à Orcières en 1992.....	p. 240
Carte 5.4 : Les pistes équipées d'installations d'enneigement à Orcières en 2009.....	p. 241
Carte 5.5 : Le bassin versant topographique du Drac Noir à l'amont de la station hydrologique d'Orcières (57,3 km ²).....	p. 246
Carte 5.6 : Les quatre bassins versants élémentaires supports de la station d'Orcières-Merlette.....	p. 251
Carte 5.7 : Le cortège de zones humides et les nombreux lacs situés sur le domaine skiable d'Orcières.....	p. 252
Carte 5.8 : La réserve naturelle du cirque du Grand Lac des Estaris.....	p. 260
Carte 5.9 : Hypothèse de fiabilité des différents secteurs du domaine skiable d'Orcières selon les projections établies par l'OCDE (2007).....	p. 267
Carte 6.1 : Localisation de la station de Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors.....	p. 271
Carte 6.2 : Les pistes équipées d'installations d'enneigement à Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors en 1982, 1997, 2004 et 2009.....	p. 282
Carte 6.3 : Les projets d'installations d'enneigement à Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors.....	p. 283
Carte 6.4 : Les traçages réalisés autour de l'emprise du domaine skiable de Villard - Corrençon dans le bassin d'alimentation karstique de Goule Blanche (74 km ²).....	p. 284
Carte 6.5 : Le branchement de la SEVLC pour le remplissage des retenues d'altitude depuis le réservoir des Pouteils.....	p. 289
Carte 6.6 : Carte lithologique et hydrogéologique du bassin d'alimentation karstique de Goule Blanche.....	p. 295
Carte 7.1 : Localisation du domaine skiable de Courchevel - La Tania.....	p. 301
Carte 7.2 : Relief et cours d'eau de Courchevel La Tania.....	p. 302
Carte 7.3 : Les pistes équipées d'installations d'enneigement à Courchevel en 1983.....	p. 306
Carte 7.4 : Les pistes équipées d'installations d'enneigement à Courchevel - La Tania en 2009, les projets d'équipement et le dispositif d'alimentation en eau du réseau d'enneigement.....	p. 307
Carte 7.5 : Les transferts d'eau depuis le torrent de la Rosière vers les autres bassins supports du domaine Skiable.....	p. 323
Carte 7.6 : Le lac de la Rosière et les limites administratives des prélèvements possibles en amont du barrage.....	p. 328
Carte 8.1 : Emprise spatiale des régimes hydrologiques et domaines skiabiles rhône-alpins.....	p. 357

Carte 8.2 : Capacité de stockage et mode d'alimentation en eau des retenues d'altitude des départements de Haute-Savoie, Savoie, Isère, Hautes-Alpes et Alpes-de-Haute-Provence.....	p. 362
Carte 8.3 : Besoin en eau théorique saisonnier pour la production de neige et part des volumes d'eau stockés dans les retenues d'altitude des stations de Savoie et de Haute-Savoie.....	p. 364
Carte 8.4 : Aménagements hydroélectriques et stations de sports d'hiver : le massif du Beaufortain.....	p. 365
Carte 8.5 : Aménagements hydroélectriques et stations de sports d'hiver en Haute Maurienne.....	p. 365
Carte 8.6 : Zones humides, emprises des domaines skiables et retenues d'altitude existantes en Savoie et Haute-Savoie.....	p. 374
Carte 8.7 : Amplitude moyenne des variations saisonnières de chiffre d'affaires des exploitations de remontées mécaniques sur la période 1990-2007.....	p. 377
Carte 8.8 : Nombre de domaines skiables offrant un enneigement naturel fiable dans les Alpes françaises, aujourd'hui et dans les conditions climatiques de demain.....	p. 380
Carte 8.9 : Durée moyenne de l'enneigement à 1500 m (en jours par an), simulée par SAFRAN et CROCUS dans les Alpes en 2002.....	p. 381
Carte 8.10 : Localisation des stations météorologiques Météo France dont les données de hauteur de neige ont été étudiées.....	p. 382
Carte 8.11 : Evaluation de la fiabilité de l'enneigement des domaines skiables de Savoie et Haute- Savoie.....	p. 386
Carte 8.12 : Variations saisonnières de chiffres d'affaires des stations de ski savoyardes et haut-savoyardes depuis 1986.....	p. 387
Carte 8.13 : Expositions des remontées mécaniques des domaines skiables savoyards et haut-savoyards au Nord, Sud, Est et Ouest.....	p. 390
Carte 9.1 : Les stations impliquées par le Schéma de conciliation de la neige de culture avec les milieux et les autres usages de l'eau.....	p. 416
Carte 9.2 : Les SAGE existants ou en projet dans les départements de Haute-Savoie, Savoie Isère, Hautes-Alpes et Alpes-de-Haute- Provence.....	p. 418
Carte 9.3 : Étude diachronique de l'évolution d'une zone humide.....	p. 419

TABLE DES PHOTOS

Photo 1.1 : Usage de l'eau pour les sports d'hiver : enneigement artificiel à Tortin (Nendaz, Valais, Suisse) en novembre 1998.....	p. 37
Photo 1.2 : Vue sur l'Étang aux Cerises (Parc du Mont Orford, Estrie, Québec).....	p. 43

Photo 1.3 : Premier enneigeurs au « champ de neige » du Chalet-à-Gobet, à proximité de Lausanne, Suisse.	p. 61
Photo 1.4 : Panneau à l'entrée de l' « usine à neige » de Méribel-Mottaret.	p. 62
Photo 1.5 : Promotion pour les « neiges de culture » de Serre-Chevalier.	p. 63
Photos 2.1 et 2.2 : Le Mont Aiguille (vue depuis le sommet du Grand Veymont, réserve naturelle des Hauts Plateaux du Vercors, Isère) et l'agglomération grenobloise (Isère).....	p. 83
Photo 2.3 : Les différentes utilisations de l'eau d'une haute vallée de montagne : l'exemple de la vallée d'Hauteluze (Savoie).....	p. 88
Photo 2.4 : Une publicité pour l'eau d'Evian dans une gare de télécabine en station de sports d'hiver.	p. 90
Photo 2.5 : Le Port de la Grande Motte, Hérault, France.	p. 100
Photo 2.6 : Le « Paquebot des neiges » d'Aime la Plagne, Savoie, France.....	p. 100
Photo 3.1 : Enneigeur de la société AMF en action.	p. 123
Photo 3.2 : Réglage de l'installation d'enneigement du Champ du Feu en 1963.	p. 124
Photo 3.3 : Un enneigeur de l'installation du Champ du Feu.	p. 124
Photo 3.4 : Piste équipée d'installations de production de neige sur le domaine skiable d'Hauser- Kaibling, Styrie, Autriche.....	p. 134
Photo 3.5 : Production de neige d'avant saison à Veysonnaz, Valais, Suisse.	p. 140
Photo 3.6 : Zone skiable minimale au Ballon d'Alsace.	p. 141
Photo 3.7 : Un enneigeur situé à la liaison des secteurs Agudes et Peyresourde, formant le domaine skiable de Peyragudes.	p. 142
Photo 3.8 : Enneigeurs installés dans l'axe d'une piste de ski.....	p. 143
Photo 3.9 : Une ligne d'enneigeurs (10 perches, à gauche) pour deux téléskis et un télésiège débrayable 6 places à l'Alpe d'Huez, Isère, France.....	p. 144
Photo 3.10 : L'installation de production de neige « toute température » de Pitztal, en Autriche.	p. 147
Photo 3.11 : Enneigeur mono-fluide en fonctionnement (enneigeur multigicleurs de section fixe montés sur couronnes, Saint-Pierre-de-Chartreuse, Isère).	p. 149
Photo 3.12 : Enneigeur bi-fluide en fonctionnement.	p. 150
Photo 3.13 : Tête (double) d'enneigeur bifluide à mélange interne.....	p. 151
Photo 3.14 : Tête d'enneigeur bi-fluide à mélange externe.	p. 151
Photo 3.15 : Regard d'alimentation en eau et air d'un enneigeur bi-fluide.	p. 152
Photo 3.16 : Salle des machines de Serre-Chevalier Briançon, Hautes-Alpes.	p. 152
Photo 3.17 : Poste de contrôle des installations d'enneigement de Flaine, Haute-Savoie.....	p. 152
Photo 3.18 : Une des sondes (sous abri) du réseau de production de neige de l'Alpe d'Huez, Isère.	p. 155

Photo 3.19 : Un des anémomètres du réseau de production de neige Villard-de- Lans, Isère.	p. 156
Photo 3.20 : Bouchon de glace formé sur la tête d'un enneigreur par un vent contraire au sens de production.	p. 156
Photo 3.21 : La cuve nécessaire au mélange de l'eau et du Snomax installée à Méribel au début des années 1990.	p. 161
Photo 3.22 : Test d'efficacité du Snomax.	p. 162
Photo 3.23 : Evaporation et sublimation liées à la production de neige ?	p. 163
Photo 3.24 : La retenue de la Lovatière sur le domaine skiable de La Plagne, en Savoie.	p. 175
Photo 4.1 : Affichage publicitaire pour la station d'Hauser-Kaibling, Styrie, Autriche.	p. 184
Photo 4.2 : Panneau d'information sur la fabrication de neige sur le domaine skiable de La Tania, Savoie.	p. 187
Photo 4.3 : Panneau d'information sur le principe de production de neige à proximité de l'usine à neige de Flaine, Haute-Savoie.	p. 187
Photo 4.4 : Affichage d'un des éléments de la campagne du SNTF (à droite) dans une gare de remontée mécanique.	p. 189
Photo 4.5 : Le front de neige de la station de Chamrousse (Isère), à 1750 mètres d'altitude.	p. 190
Photo 4.6 : Deux retenues d'altitude (premier plan à gauche) du versant Peyresourde de la station de Peyragudes (Hautes-Pyrénées)	p. 191
Photo 4.7 : L'Isère en amont de Moûtiers (Savoie)	p. 203
Photo 4.8 : Enneigreur dans le paysage estival de la station de Saint François Longchamp (Savoie)	p. 211
Photo 4.9 : Manifestation organisée le 29 décembre 2009 contre le projet d'aménagement et d'enneigement artificiel, dans le cadre d'un dossier UTN, de la station de Sommand (Chablais, Haute- Savoie).	p. 221
Photo 5.1 : La partie basse du domaine skiable d'Orcières-Merlette, sur le versant adret de la vallée.	p. 234
Photo 5.2 : Vue sur la station d'Orcières- Merlette et le chef-lieu d'Orcières, à l'adret de la vallée, depuis le sommet de la Petite Autane d'Orcières.	p. 235
Photo 5.3 : L'enneigement sur le domaine skiable d'Orcières au mois de janvier 2007. Vue depuis le vallon d'Archinard.	p. 242
Photo 5.4 : Enneigreur monofluide à poste fixe, monté sur tour.	p. 243
Photo 5.5 : Enneigreur monofluide mobile, installé à proximité du front de neige de la station.	p. 243
Photo 5.6 : Le cirque du Grand Lac des Estaris.	p. 245
Photo 5.7 : Vue de l'extérieur de la chambre des vannes des Estaris.	p. 245
Photo 5.8 : Vue de l'intérieur de la chambre des vannes des Estaris.	p. 245
Photo 5.9 : Le lac de Jujal (2190 mètres d'altitude).	p. 252

Photo 5.10 : Le lac des Sirènes (2380 mètres d'altitude).	p. 252
Photo 5.11 : Les lacs des Jumeaux (2460 mètres d'altitude).	p. 252
Photo 5.12 : Le Torrent du Lac du Col en aval immédiat de la surverse du lac.	p. 255
Photo 5.13 : L'arrivée d'eau du trop plein de Roche-Rousse, repris pour l'enneigement.	p. 258
Photo 5.14 et 5.15 : Le trop-plein de la chambre de répartition de Roche-Rousse en été et en hiver.	p. 259
Photo 5.16 : Vue amont de l'exutoire du lac des Estaris.....	p. 263
Photo 5.17 : Orcières, station de sports d'été... Mais encore et surtout de neige !	p. 268
Photo 6.1 : Production de neige en avant saison sur la partie basse du domaine skiable de Villard-de- Lans.....	p. 272
Photo 6.2 : Le site des Bains dans les années 1970.	p. 274
Photo 6.3 : Le site des Bains aujourd'hui, désormais équipé d'installations d'enneigement. p.	274
Photo 6.4 : Le retour vers Côte 2000, une des portes d'entrée du domaine skiable située à 1150 mètres d'altitude, à la fin de la saison 2008/2009.	p. 273
Photo 6.5 : Le départ des pistes de ski de fond de Villard-de- Lans, enneigeable artificiellement.....	p. 279
Photo 6.6 : Premier enneigement sur les pistes menant à la Côte 2000, sur le domaine skiable de Villard-de- Lans.....	p. 280
Photo 6.7 : L'émergence de Goule Blanche dans les Gorges de la Bourne.	p. 286
Photo 6.8 : Ecoulement de la Bourne en aval immédiat de Goule Blanche.	p. 284
Photo 6.9 : Le val de Villard-de-Lans. Vue depuis les arêtes du Gerbier sur la retenue d'altitude du Pré des Preys, la résidence des Glovettes et les Gorges de la Bourne.	p. 287
Photo 6.10 : La retenue du Pré des Preys en fin de saison hivernale.....	p. 287
Photo 6.11 : La retenue du Pré des Preys en période de remplissage.	p. 287
Photo 6.12 : La retenue de la Moucherolle (1915 m) sur la partie haute du domaine skiable de Villard - Corrençon, vue depuis le sommet de la Grande Moucherolle.	p. 288
Photo 6.13 : Le village de Corrençon (arrière plan) et une des pistes du domaine des Rambins, équipée d'enneigement (premier plan).....	p. 292
Photo 6.14 : Le site du Clos de la Balme (1220 m).	p. 293
Photo 6.15 : Un exemple de piste terrassée dans les lapiés du karst de Villard – Corrençon. p.	297
Photo 7.1 : Le versant du domaine skiable de Courchevel - La Tania, à l'ubac de la vallée de Bozel.....	p. 302
Photo 7.2 : La piste des Verdons, le 19 novembre 1983.	p. 305
Photo 7.3 : La piste des Verdons enneigée artificiellement en 1983.....	p. 308
Photo 7.4 : Le pupitre de commande de la première installation d'enneigement de Courchevel.	p. 308

Photo 7.5 : La retenue du Biolley et son dispositif d'alimentation en eau.	p. 309
Photo 7.6 : Les pompes de la salle des machines du Biolley.	p. 310
Photo 7.7 : L'alimentation en eau de la salle des machines de Pramérueu, en service jusqu'en 2007.	p. 311
Photo 7.8 : La retenue de Praz-Juget, à l'altitude de 1860 mètres, sur la partie haute du domaine de La Tania.	p. 312
Photo 7.9 : La piste du Bouc-Blanc équipée d'enneigeurs depuis la fin de l'année 2008. Vue depuis l'altitude de 1890 mètres.	p. 313
Photo 7.10 : La retenue de l'Ariondaz : 131 000 m ³ à 2170 m d'altitude.	p. 314
Photo 7.11 : Le chantier de l'Ariondaz : 2ème jour.	p. 318
Photo 7.12 : Les travaux de terrassement de la retenue de l'Ariondaz.	p. 318
Photo 7.13 : La goémembrane « alimentaire » de la retenue de l'Ariondaz.	p. 321
Photo 7.14 : Affichage pour la construction de la station d'eau potable de Pralong.	p. 321
Photo 7.15 : La piste de retour vers le Praz (1260 m), enneigeable artificiellement.	p. 325
Photo 7.16 : Un des enneigeurs les plus hauts du domaine de Courchevel - La Tania (2700 m environ).	p. 326
Photo 7.17 : Le barrage communal de La Rosière.	p. 327
Photo 7.18 : Le lac de La Rosière. Vue sur l'amont depuis le barrage de la Rosière.	p. 327
Photo 7.19 : Les pompes pour l'enneigement de Courchevel installées dans l'ouvrage de la concession hydroélectrique de la chute de Bozel.	p. 331
Photo 8.1 : Dispositif de bullage en fond de retenue à Méribel, Savoie.	p. 358
Photo 8.2 : La retenue de l'Adret des Tuffes en construction, Arc 2000, Savoie.	p. 360
Photo 8.3 : La retenue du Maroly, Le Grand Bornand, Haute-Savoie.	p. 360
Photo 8.4 : La retenue de l'Arenouillaz en construction, Valmorel, Savoie.	p. 361
Photo 8.5 : Un ouvrage de grande capacité sur le domaine skiable de la Plagne, Savoie.	p. 363
Photo 8.6 : Une retenue d'altitude et une zone humide sur le domaine skiable de Valmeinier, en Savoie.	p. 372
Photo C.1 : Le Vallon de la Fauge à Villard-de-Lans, Isère.	p. 432

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Les 15 recommandations de la mission d'expertise « neige de culture » du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable.	p. 34
Tableau 1.2 : Conséquences potentielles négatives de l'enneigement artificiel sur les écosystèmes et les paysages.	p. 42

Tableau 1.3 : Caractéristiques des recherches réalisées à propos de l’enneigement artificiel en France et à l’étranger.	p. 47
Tableau 1.4 : Les principaux termes employés en France et à l’étranger pour qualifier la production de neige en station de sports d’hiver.	p. 59
Tableau 2.1 : Critères généraux de durabilité relatifs aux usages et aménagements hydriques.	p. 94
Tableau 2.2 : Les sept objectifs des recommandations pour une meilleure gestion de l’eau entre les régions de têtes de bassin et d’aval.	p. 95
Tableau 2.3 : Mots clefs des différentes acceptions de la gestion intégrée de l’eau.	p. 96
Tableau 3.1 : Répartition par massif des superficies enneigées en 2008-2009.	p. 129
Tableau 3.2 : Répartition par bassin des superficies enneigées en 2008-2009.	p. 130
Tableau 3.3 : Part des pistes équipées d’installations d’enneigement dans les pays de l’arc alpin.	p. 132
Tableau 3.4 : Tableau de conversion de la température sèche et du taux d’hygrométrie de l’air en température humide (TH en °C).	p. 155
Tableau 3.5 : Liste des opérations se rapportant à l’eau et soumises à la réglementation IOTA.	p. 167
Tableau 3.6 : Les classes de barrages de retenue selon le décret du 11 décembre 2007 et leurs règles de sécurité respectives.	p. 177
Tableau 4.1 : Les aides possibles aux installations d’enneigement et les politiques de diversifications de quatre départements alpins.	p. 195
Tableau III.1 : Caractéristiques principales des trois terrains d’étude, selon des facteurs présumés « clés » pour la résolution de notre problématique.	p. 232
Tableau 5.1 : Evolution de la population municipale d’Orcières de 1830 à 2007.	p. 238
Tableau 5.2 : Répartition mensuelle des volumes d’eau prélevés et transformés en neige sur le bassin source (Torrent du Lac du Col) et les deux bassins récepteurs (Torrent de la Combe et Torrent de Galleron).	p. 251
Tableau 6.1 : Evolution de la population municipale de Corrençon-en-Vercors et de Villard-de-Lans de 1936 à 2007.	p. 275
Tableau 6.2 : Nombre d’enneigeurs et fonction des sites de production de neige sur l’ensemble des domaines skiables de Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors.	p. 279
Tableau 7.1 : Exposition des captages de Courchevel - La Tania à la production de neige. ..	p. 322

Tableau 8.1 : Limite de fiabilité actuelle de l'enneigement naturel dans les zones alpines pour 100 jours de neige par an avec 30cm de neige au sol.	p. 379
Tableau 8.2 : Limite de fiabilité de l'enneigement naturel pondérée par massif.	p. 382
Tableau 8.3 : 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.....	p. 383
Tableau 8.4 : Variabilités des calculs de fiabilité selon les différentes méthodes.	p. 385

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements.....	p. 7
Résumé.....	p. 11
Sommaire.....	p. 13
Introduction.....	p. 17
Une pratique au service d'un modèle de développement touristique.....	p. 17
Gestion durable de l'eau et production de neige ?.....	p. 17
Un sujet d'actualité.....	p. 18
L'eau, entre abondance et rareté.....	p. 18
Une ressource abondante en montagne ?.....	p. 19
La production de neige : un objet vecteur de multiples questions.....	p. 21
Une approche interdisciplinaire.....	p. 21
Organisation du propos.....	p. 22
Première partie - Cadre méthodologique et conceptuel.....	p. 25
Chapitre 1 - Etat des connaissances et choix de la méthode de travail.....	p. 29
1. Des manques de connaissance actuelle aux besoins de recherche.....	p. 29
1.1. Enneigement artificiel et environnement : état des connaissances.....	p. 29
1.1.1. Les recherches conduites en France.....	p. 30
Les travaux du CEMAGREF (1995) : premières recherches.....	p. 30
Les prospections de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse (2002) : l'indicateur « Prélèvement / Ressource disponible à l'étiage ».....	p. 31
La mission d'inspection du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (2009) : approche environnementale et socio-économique.....	p. 33
La gestion intégrée des ressources en eau par B. Charnay (2010) : la faible contribution des opérateurs de domaine skiable.....	p. 35
1.1.2. Les recherches conduites à l'étranger.....	p. 37
La gestion intégrée des ressources en eau par E. Reynard (1999) : l'opacité des modes de production de neige ?.....	p. 37
L'impact de la production de neige sur les sols et la végétation par C. Rixen et al (2002 ; 2003 ; 2004).....	p. 38
Production de neige et contexte environnemental, socio-économique et climatique : l'approche intégrée de M. Teich et al. (2007).....	p. 39

Les impacts de la production de neige sur l'environnement : l'approche écologique d'U. Pröbstl (2006).....	p. 41
Production de neige : altérations du réseau hydrographique, réactions du sol, répercussions sur le couvert végétal et réactions de la faune par A.-S. Demers (2006).	p. 43
1.1.3. En France et à l'étranger : production de neige et changement climatique.	p. 44
1.2. Les freins actuels à une connaissance objective des enjeux de la production de neige.	p. 45
1.2.1. Une difficulté à collecter de l'information.	p. 45
1.2.2. Une absence de travaux sur l'eau et la production de neige à l'échelle du bassin versant.	p. 46
2. Objectifs de notre recherche doctorale.	p. 46
2.1. Les attentes des partenaires.	p. 48
2.1.1. Intérêts et attentes de l'Assemblée des Pays de Savoie.	p. 48
2.1.2. Intérêt et attentes de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée & Corse.	p. 48
2.2. Problématique générale : la gestion durable de l'eau en montagne.	p. 50
2.3. Questionnements et hypothèses de travail : eau - climat – territoire.	p. 50
3. Le contexte socio-médiatique de la recherche et la méthodologie associée.	p. 53
3.1. Une lecture du débat sur la pratique de l'enneigement via l'analyse de la presse écrite. ...	p. 53
3.1.1. Dans les Alpes, un sujet récurrent à chaque début de saison.	p. 53
3.1.2. Médias nationaux de tous horizons : dualisme des propos, simplification de la question ?	p. 54
Dans les journaux d'information généralistes.	p. 54
Dans les magazines spécialisés sur la montagne... Ou la chasse !	p. 54
Pour ou contre la production de neige : le manichéisme des débats.	p. 55
Une propension à la désinformation ?	p. 55
3.2. « Neige de culture » contre « neige artificielle » : la sémantique prise à partie.	p. 58
3.2.1. Un des choix des mots révélateurs des conceptions et des positions.	p. 58
3.2.2. Des mots révélateurs des représentations ?	p. 60
3.2.3. D'artificiel à culture, quelques dates des mots.	p. 61
3.2.4. Les contrepieds au débat sémantique.	p. 62
3.2. Orientations méthodologiques.	p. 64
3.2.1. Approche objective et dépassionnée.	p. 64
3.2.2. Approche systémique.	p. 64
3.2.3. Approche de terrain.	p. 67
A grande échelle : trois stations de sports d'hiver.	p. 67
A petite échelle : implications dans des instances de travail sur la question de la production de neige en montagne.	p. 67
Conclusion du chapitre 1.	p. 71
Chapitre 2 - De la gestion intégrée à la gestion durable : les dimensions de l'eau et du territoire.	p. 73
1. La gestion durable de l'eau en montagne : penser le développement territorial.	p. 73

1.1. La gestion durable.....	p. 73
1.1.1. Gérer : administrer des affaires individuelles ou collectives.....	p. 73
1.1.2. Gestion durable : l'approche consensuelle.....	p. 74
1.1.3. Durabilité faible ou durabilité forte ?.....	p. 75
1.2. La gestion durable de l'eau : impliquer les territoires.....	p. 76
1.2.1. Administrer l'eau et les territoires : approche pratique par les outils de gestion disponibles.....	p. 76
1.2.2. Administrer l'eau et les territoires : approche conceptuelle.....	p. 77
De l'eau dans les territoires.....	p. 78
Et des territoires dans l'eau ?.....	p. 79
Gérer durablement le duo « eau et territoire » : des étapes nécessaires pour se projeter dans le temps.....	p. 80
1.3. Les montagnes : terrains de recherches «châteaux d'eau» de la planète.....	p. 82
1.3.1. Au-delà de la montagne administrative, une somme de montagnes géographiques.....	p. 82
1.3.2. L'eau, façonnée par la montagne ?.....	p. 84
Le relief.....	p. 84
Les sous-sols, les sols et la végétation.....	p. 85
L'eau, élément central du géosystème montagnard.....	p. 86
2. La gestion intégrée des ressources en eau : un concept à transposer concrètement sur le terrain.....	p. 87
2.1. L'eau ressource, ou les limites d'une approche anthropocentrée de l'eau.....	p. 87
2.1.1. Entre ressource renouvelable et ressource épuisable.....	p. 87
2.2.2. De l'eau « ressource » à l'eau « milieu ».....	p. 89
2.2. La gestion intégrée des ressources en eau : un objectif de conciliation des usages et des milieux.....	p. 91
2.2.1. De l'idée à la formulation du concept : quelques dates-clés.....	p. 91
2.2.2. Un relatif consensus terminologique.....	p. 92
2.2.3. ... et une certaine polysémie des approches.....	p. 92
Double intégration : verticale et horizontale.....	p. 93
Durabilité et équité.....	p. 94
Gestion intégrée par l'OIEau.....	p. 94
La gestion intégrée de l'eau en manuel.....	p. 95
2.2.4. La gestion intégrée de l'eau : état donné d'un processus dynamique ?.....	p. 96
3. La vulnérabilité des stations de sports d'hiver.....	p. 99
3.1. Les stations de sports d'hiver au regard des stations touristiques.....	p. 99
3.1.1. La station touristique : « le lieu ou l'on s'arrête ».....	p. 99
3.1.2. Les stations de ski / de sports d'hiver / de montagne : une forme de station touristique.....	p. 100
3.1.3. De la génération de la station à la problématique de l'eau et de la neige.....	p. 101
3.2. De la vulnérabilité des stations au changement climatique.....	p. 103
3.2.1. Aléa et vulnérabilité : facteurs de définition du risque.....	p. 103

3.2.2. L'aléa : le réchauffement climatique, ses impacts sur la couverture neigeuse et le régime des précipitations.....	p. 104
Evolution des températures : observations et modélisations.....	p. 104
Evolution des précipitations : observations et modélisations.	p. 105
Evolution de la couverture de neige au sol.	p. 107
3.2.3. La production de neige : un prisme de lecture de la vulnérabilité des stations de sports d'hiver.	p. 109
Conclusion du chapitre 2.....	p. 111
Conclusion de la première partie.....	p. 113

Deuxième partie - La production de neige : entre pratique et perceptions. p. 115

Chapitre 3 - La pratique de l'enneigement..... p. 119

1. Un outil au service du modèle de développement touristique des sports d'hiver.	p. 119
1.1. Historique et développement des installations d'enneigement en stations de sports d'hiver.	p. 119
1.1.1. Pallier le manque de neige : des premières solutions artisanales aux procédés industriels de production de neige.....	p. 119
D'hier à aujourd'hui, la variabilité de l'enneigement.	p. 119
Garantir le ski avec « les moyens du bord ».	p. 121
« 1950-60 : Les pionniers » de la production de neige.	p. 122
Les premières stations françaises équipées.	p. 124
1.1.2. Aujourd'hui, un équipement quasi généralisé.....	p. 127
En France : une lecture multiscale de l'importance des équipements.	p. 127
A l'échelle nationale.....	p. 127
A l'échelle des massifs.	p. 128
A l'échelle des grands bassins hydrographiques et du bassin Rhône Méditerranée.	p. 130
A l'échelle de la Savoie et de la Haute-Savoie.....	p. 131
Dans les pays de l'arc alpin.....	p. 132
1.1.3. Perspectives d'évolution des équipements.....	p. 135
L'exemple du Val-d'Arly : +40% du linéaire des pistes équipées d'ici 5 ans.....	p. 136
L'exemple des 2 Alpes : de 14% du domaine équipé aujourd'hui à 34% envisagé demain.	p. 136
En Haute-Savoie, de 23% des surfaces de pistes équipées à plus de 30% en 2012 : effet JO ?.....	p. 138
1.2. Intérêts de la production de neige.	p. 139
1.2.1. Garantir ou améliorer, par la préparation d'une sous-couche, l'enneigement de début de saison afin de tenir les engagements d'ouverture (et de fermeture) de la station.....	p. 140
1.2.2. Assurer en cas d'aléas climatiques l'ouverture d'une zone skiable minimale.....	p. 141
1.2.3. Assurer l'ouverture des secteurs stratégiques (liaison inter-stations, front de neige, retour station « skis aux pieds »).....	p. 142

1.2.4. Maintenir une couverture neigeuse sur les pistes qui subissent des usures prématurées.	p. 143
1.2.5. Rationaliser l'exploitation de certains équipements.	p. 144
1.2.6. Garantir l'organisation des manifestations sportives.	p. 145
2. Introduction aux principes de l'enneigement.	p. 146
2.1. Les différentes technologies existantes.	p. 147
2.1.1. Le système mono-fluide.	p. 148
2.1.2. Le système bi-fluide.	p. 150
2.2. Les autres éléments constituant une installation d'enneigement artificiel.	p. 151
2.3. Les différentes phases du processus de transformation de l'eau en neige.	p. 153
2.3.1. Atomisation (ou fragmentation).	p. 153
2.3.2. Nucléation.	p. 153
2.3.3. Insémination.	p. 154
2.3.4. Evaporation.	p. 154
2.3.5. Convection.	p. 154
2.4. Les conditions climatiques nécessaires au fonctionnement des installations.	p. 154
2.4.1. Température sèche et humidité relative de l'air : la température humide.	p. 154
2.4.2. Pression atmosphérique et vent.	p. 156
2.5. Les propriétés physiques de la neige de production.	p. 157
2.5.1. La neige de production : une congélation de l'eau.	p. 157
2.5.2. Densité et dureté de la neige de production.	p. 158
2.6. Deux enjeux liés aux processus de production de neige : les adjuvants et les pertes potentielles en eau.	p. 159
2.6.1. La question des adjuvants.	p. 159
Les adjuvants, facilitateurs de la nucléation.	p. 159
Les impacts environnementaux et sanitaires.	p. 159
Les recherches du CEMAGREF et de l'université de Turin.	p. 160
L'expertise de l'AFSSET.	p. 160
Une pratique abandonnée en France depuis 2005.	p. 161
2.6.2. La question des « pertes » d'eau associées à la production de neige.	p. 163
3. Le cadre juridique de la production de neige en France.	p. 166
3.1. La réglementation nationale relative aux prélèvements en eau.	p. 166
3.1.1. La procédure IOTA.	p. 166
3.1.2. Le débit réservé.	p. 169
3.1.3. Le registre des prélèvements.	p. 169
3.1.4. La déclaration à l'Agence de l'Eau.	p. 169
3.2. Les préconisations territoriales des SAGE et SDAGE relatives aux prélèvements en eau pour la production de neige.	p. 170
3.2.1. Les préconisations des SDAGE Rhône-Méditerranée et Adour-Garonne.	p. 170
3.2.2. Les préconisations des SAGE Drac-Amont et Drac-Romanche.	p. 172

3.3. La réglementation relative aux installations de compression d'air et aux autres éléments d'une Installation d'Enneigement Artificiel (IEA).....	p. 173
3.3.1. Les installations de compression : installations classées pour la protection de la nature et de l'environnement.....	p. 173
3.3.2. Les bâtiments et terrassement du sol : soumis au code de l'urbanisme.....	p. 173
3.4. La prise en compte des risques liés aux retenues d'altitude.	p. 174
3.4.1. Les risques liés aux retenues d'altitude : un exemple de glissement de terrain.....	p. 174
3.4.2. Un tournant dans l'instruction des dossiers loi sur l'eau : la retenue de la Lovatière. .	p. 175
3.4.3. Le projet BARALTISUR et l'adaptation de la réglementation.....	p. 176
3.5. Bilan et limites de la réglementation relative aux installations d'enneigement.....	p. 177
3.5.1. Une réglementation globalement complète.	p. 177
3.5.2. Quelques améliorations possibles.	p. 178
Retenues d'altitude et étude d'impact.	p. 178
Un débit minimum biologique modulable ?.....	p. 179
Quel outil pour une « vision d'ensemble » des prélèvements ?.....	p. 179
Conclusion du chapitre 3.....	p. 181

Chapitre 4 - Les perceptions de la production de neige. p. 183

1. Les discours et les actions des acteurs impliqués : du soutien à la contestation.....	p. 183
1.1. Les opérateurs de domaines skiables.	p. 184
1.1.1. Un discours collectif de soutien à la pratique.....	p. 184
L'importance de l'outil pour l'exploitation des domaines skiables.	p. 184
Un débat injustifié : une pratique impactant peu les milieux naturels et très encadrée par la réglementation.	p. 185
Une volonté de communiquer : des usines à neige à visiter.....	p. 186
1.1.2. ... relayé par le Syndicat National des Téléphériques de France.	p. 188
Informé sur la production de neige.	p. 188
« Comment l'eau devient cristal le temps d'un hiver ? » - Acte 1.	p. 188
Le déploiement d'un important dispositif de communication.	p. 188
« Comment l'eau devient cristal le temps d'un hiver ? » - Acte 2.	p. 189
1.2. Les pouvoirs publics et les collectivités territoriales.	p. 190
1.2.1. Les collectivités territoriales : des discours contradictoires ?.....	p. 190
A l'échelle communale : l'affirmation de la nécessité des installations d'enneigement....	p. 190
A l'échelle départementale : de l'interventionnisme à la diversification.	p. 193
A l'échelle régionale : des logiques contraires selon les territoires.	p. 194
1.2.2. L'administration d'Etat.	p. 197
Au niveau territorial, quelques positions prudentes de services déconcentrés de l'Etat....	p. 197
Au niveau national : pas de faveur pour les installations d'enneigement.	p. 199
1.3. Les acteurs de l'eau.....	p. 201
1.3.1. Les institutions en charge des politiques de gestion de l'eau.	p. 201

1.3.2. Un utilisateur particulier de l'eau : Electricité De France et l'enjeu économique de la production de neige.	p. 204
1.3.3. Le contrôle sur le terrain : l'ONEMA veille aux impacts hydrologiques de la production de neige.	p. 205
1.4. Les associations d'usagers de la montagne et de protection de l'environnement : un ton critique sur la pratique.	p. 205
1.4.1. Les associations d'usagers de la montagne.	p. 206
Mountain Riders : un positionnement particulier.	p. 206
La FFCAM (Club Alpin Français) : fédération sportive hostile à la production de neige.	p. 206
1.4.2. Les associations de protection de l'environnement, individuellement : une pratique clairement inopportune.	p. 207
La FRAPNA.	p. 207
La CIPRA : un discours critique d'envergure internationale.	p. 209
Mountain Wilderness : « Enneigement artificiel – Eau secours ! ».	p. 210
1.4.3. Les associations de protection de l'environnement, collectivement.	p. 212
2. La dimension du conflit.	p. 213
2.1. De franches divergences de points de vue.	p. 213
2.1.1. Sur la question des impacts environnementaux.	p. 213
2.1.2. Sur la question de la réglementation.	p. 213
2.1.3. Sur la question du modèle de développement touristique.	p. 214
2.2. De ces divergences de points de vue naissent des conflits.	p. 216
2.2.1. Une manifestation du conflit : les armes de la communication.	p. 216
2.2.2. Une multitude de micro-conflits.	p. 217
La définition du conflit environnemental lié à la production de neige.	p. 218
Des conflits nombreux mais modestes.	p. 219
Une prédominance des conflits d'aménagement.	p. 219
Les conflits d'usage : pertes d'alpage et craintes quant aux prélèvements en eau.	p. 220
Conclusion du chapitre 4.	p. 222
Conclusion de la seconde partie.	p. 225

Troisième partie - Trois études de cas des Alpes Françaises : Orcières-Merlette (Hautes-Alpes), Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors (Isère) et Courchevel - La Tania (Savoie).	p. 229
Chapitre 5 - Orcières-Merlette : l'enjeu du lac des Estaris.	p. 233
1. La place de la production de neige dans l'histoire de l'aménagement et de la gestion de la station.	p. 234
1.1. D'Orcières à Orcières-Merlette : un rapide historique du développement de la station au fil du temps.	p. 234
1.1.1. Une économie agro-pastorale en perte de vitesse (début XXème).	p. 234
1.1.2. L'alternative des sports d'hiver (1950).	p. 235
1.1.3. La gestion d'Orcières-Merlette de 1962 à aujourd'hui.	p. 238

1.2. Le développement de la production de neige dans l'aménagement du domaine skiable.	p. 239
1.2.1. Historique des installations d'enneigement.	p. 239
1.2.2. Les caractéristiques techniques de l'installation d'enneigement.	p. 243
Une installation atypique, exclusivement monofluide.	p. 243
L'alimentation gravitaire du réseau d'enneigement.	p. 243
Le Grand Lac des Estaris : source principale d'alimentation en eau.	p. 244
2. Les implications de la production de neige pour l'eau.	p. 247
2.1. Les impacts hydrologiques.	p. 247
2.1.1. La question des régimes hydrologiques et des transferts de masse d'eau : éléments d'appréciation.	p. 247
Les volumes en jeu à l'échelle du bassin versant du Drac Noir (57 km ²).	p. 247
Les volumes en jeu à l'échelle des bassins élémentaires supports du domaine skiable.	p. 249
Quels impacts de la modification du régime des eaux sur le cortège de zones humides ?	p. 253
2.1.2. Le marnage du Grand Lac des Estaris.	p. 254
2.2 Alimentation en eau potable et production de neige : le dialogue des usages de l'eau autour du Lac des Estaris.	p. 256
2.2.1. Comparaison des volumes d'eau mobilisés.	p. 256
2.2.2. Le trop-plein de la chambre de répartition de Roche-Rousse.	p. 257
Pas de risque de conflit d'usage.	p. 257
... mais un trop-plein en moins pour le torrent de Galleron.	p. 258
2.2.3. L'utilisation de l'eau du Grand Lac des Estaris : historique et perspectives.	p. 259
La réserve du cirque du Grand Lac des Estaris (1974).	p. 259
Le lac des Estaris comme source d'alimentation en eau potable (1976-1997).	p. 260
... puis de production de neige (1994).	p. 261
Bilan et perspectives.	p. 261
3. Les impacts du changement climatique.	p. 264
3.1. L'évolution des températures et des précipitations.	p. 264
3.1.1. Les températures hivernales depuis 1976.	p. 264
3.1.2. Les précipitations hivernales depuis 1976.	p. 265
3.2. Les effets du réchauffement sur le couvert neigeux.	p. 266
3.2.1. Evolution rétrospective de l'enneigement.	p. 266
3.2.2. Quelles perspectives ?	p. 266
Conclusion du chapitre 5.	p. 269

Chapitre 6 - Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors : produire de la neige en moyenne montagne karstique.

1. Le poids de la production de neige dans l'aménagement et l'exploitation du domaine skiable.	p. 273
1.1. Brève chronique de l'évolution du domaine skiable et de son enneigement.	p. 273
1.1.1. Un développement vers l'amont.	p. 273

1.1.2. Les incertitudes de l'enneigement.	p. 275
La moyenne montagne contrainte par les aléas d'enneigement.	p. 275
Evolution des températures, des précipitations et de la neige dans un contexte de changement climatique.	p. 276
1.2. Le développement de la production de neige dans l'aménagement du domaine skiable.	p. 278
1.2.1. Quatre sites de production de neige.	p. 278
1.2.2. Le domaine de la Moucherolle, 1982 : « l'équipement d'enneigement automatique le plus important d'Europe ».	p. 280
2. Le bassin versant karstique de Goule Blanche et le dispositif d'alimentation en eau pour la production de neige.	p. 285
2.1. L'émergence de Goule Blanche.	p. 285
2.1.1. Le bassin d'alimentation et les débits de l'émergence.	p. 285
2.1.2. Une ressource exploitée par de multiples usages.	p. 285
2.2. Sur la provenance de l'eau pour la production de neige.	p. 286
2.2.1. Deux retenues d'altitude pour le stockage de l'eau.	p. 286
2.2.2. ... alimentées par le réseau d'eau potable communal.	p. 289
3. Quels impacts possibles de la production de neige sur la ressource en eau ?	p. 290
3.1. Impact quantitatif : bilan besoins / ressources disponibles.	p. 290
3.1.1. Première approximation : quelques éléments de comparaison.	p. 290
3.1.2. Production de neige et eau potable à Villard-de-Lans.	p. 291
3.1.3. Production de neige et eau potable à Corrençon-en-Vercors.	p. 292
3.2. Impact quantitatif : des régimes hydrologiques influencés ?	p. 293
3.3. Impact qualitatif : des risques de pollution ?	p. 293
3.3.1. Un aquifère karstique vulnérable.	p. 293
3.3.2. ... mais quels aléas polluants ?	p. 296
3.4. Un impact indirect : l'aménagement du karst.	p. 296
Conclusion du chapitre 6.	p. 298

Chapitre 7 - Courchevel - La Tania : la « houille blanche » en appui de l' « or blanc ». p. 301

1. Historique de l'enneigement artificiel sur le domaine skiable de Courchevel - La Tania. .	p. 304
1.1. Du Service Public des Trois Vallées à la Société des 3 Vallées (1946 –2000).	p. 304
1.1.1. Le regroupement des différents exploitants du domaine par la SEM des 3 Vallées.	p. 304
1.1.2. Un maillage progressif des réseaux de production de neige.	p. 304
1.2 - Le premier réseau de Courchevel 1850 et la retenue du Biolley (1983).	p. 305
1.2.1. La piste des Verdons : premières productions.	p. 305
1.2.2. La retenue du Biolley : première alimentation du réseau d'enneigement.	p. 309
1.2.3. Les installations de pompage du Biolley.	p. 310
1.3. La salle des machines de Pramérueu ou le maillage des réseaux de production de neige de Courchevel 1850 et 1650 (1991).	p. 310
1.3.1. Des pompes dans le ruisseau de Pramérueu.	p. 310

1.3.2. ... pour des échanges d'eau avec la retenue du Biolley.....	p. 311
1.4. Enneigement artificiel à La Tania (2000).....	p. 312
1.4.1. La retenue de Praz-Juget.....	p. 312
1.4.2. Les pistes enneigées sur le domaine de La Tania.....	p. 312
2. La retenue de l'Ariondaz (2007).....	p. 314
2.1. La genèse du projet : renforcer les disponibilités en eau pour la production de neige... et d'eau potable.	p. 314
2.1.1. Des besoins en eau croissants pour la production de neige.	p. 314
Extensions de réseaux, nouveaux besoins en eau.	p. 314
Production de neige et eau potable, comparaison des volumes en jeu.....	p. 315
2.1.2. Un bilan « besoins / ressources » déficitaire pour l'AEP de Saint-Bon-Tarentaise.....	p. 316
2.2. Du projet à l'utilisation effective de l'eau : enjeux quantitatifs et qualitatifs du partage de l'eau.	p. 317
2.2.1. Enquête publique, avis des services de l'état, expertises : les voix d'un dossier « loi sur l'eau ».	p. 317
2.2.2. Stocker (traiter) et utiliser les eaux de la Rosière.	p. 320
Le chantier de l'Ariondaz : 131 000 m ³ de stockage d'eau.	p. 320
Une retenue pour l'eau potable : des contraintes particulières.	p. 320
Protéger les captages d'eau potable vis-à-vis de la production de neige.....	p. 322
2.3. Trois saisons d'exploitation de la retenue de l'Ariondaz.....	p. 324
2.3.1. Retour d'expérience : le point de vue de l'opérateur du domaine de Courchevel - La Tania.	p. 324
Une ressource disponible instantanément.	p. 324
Un ouvrage d'altitude : profiter du froid et de la gravité.	p. 324
De nouvelles extensions de réseau.....	p. 325
2.3.2. Trois retenues pour l'enneigement de 40% du domaine.....	p. 325
3. La chute hydroélectrique de Bozel : élément clef de la production de neige à Courchevel.	p. 327
3.1. La retenue de la Rosière.....	p. 327
3.1.1. Produire de l'hydroélectricité.....	p. 327
3.1.2. ... et de la neige.	p. 328
Le prélèvement en vertu du cahier des charges de la concession hydroélectrique.....	p. 328
... n'est pour l'instant techniquement pas possible !	p. 329
4. Les impacts du changement climatique à Courchevel - La Tania.....	p. 332
4.1. L'évolution du couvert neigeux : éléments rétrospectifs et prospectifs.....	p. 332
4.1.1. Evolution des précipitations hivernales à Bozel et Courchevel.....	p. 332
4.1.2. Des tendances locales confirmées au niveau départemental.....	p. 334
4.1.3. Quelles perspectives pour l'enneigement à Courchevel – La Tania ?	p. 335
4.2. Des effets d'une hausse des températures sur la production de neige.	p. 335
Conclusion du chapitre 7.....	p. 338
Conclusion de la troisième partie.	p. 341

Quatrième partie - Produire de la neige, gérer l'eau et les territoires de montagne : mise en perspective, essai de propositions constructives.	p. 345
Chapitre 8 - Mise en perspective : un éclairage par la situation des deux Savoie.	p. 349
1. La production de neige et l'eau : besoins, modes d'alimentation et impacts.	p. 350
1.1. Des besoins en eau toujours croissants.	p. 350
1.1.1. Evolution des surfaces équipées.	p. 350
1.1.2. Evolution des volumes d'eau mobilisés.	p. 351
1.2. Typologie des modes d'alimentation en eau des installations d'enneigement.	p. 353
1.2.1. Produire de la neige depuis un réseau d'alimentation en eau potable.	p. 354
1.2.2. Les retenues d'altitude, mode aujourd'hui privilégié.	p. 356
Principe de conception d'une retenue d'altitude.	p. 358
Les ouvrages existants (et en projet) en Savoie et Haute-Savoie.	p. 359
Des retenues aux dimensions records.	p. 360
Typologie des modes d'alimentation en eau des retenues d'altitude.	p. 361
Des retenues remplies plusieurs fois par saison.	p. 363
1.2.3. Une alternative : les réseaux hydroélectriques préexistants.	p. 365
L'exemple du Beaufortain et de la Haute-Maurienne.	p. 365
Les avantages du procédé.	p. 366
Les possibilités techniques du « piquage » de l'eau.	p. 366
Des implications administratives particulières.	p. 367
1.3. Les impacts de la production de neige sur l'eau.	p. 368
1.3.1. Approche quantitative.	p. 368
L'exemple du bilan quantitatif du bassin versant de l'Isère.	p. 368
De malheureux exemples passés.	p. 370
1.3.2. Volet qualitatif des impacts de la production de neige sur la ressource en eau et les milieux aquatiques.	p. 371
A propos de la qualité de l'eau : en Savoie, un exemple de pollution d'un captage d'eau potable par un réseau de production de neige ?	p. 371
A propos de milieux aquatiques : retenues d'altitude et zones humides d'altitude.	p. 372
2. Réchauffement climatique et ressource neige en stations de sports d'hiver : essai d'application aux domaines skiables de Savoie et de Haute-Savoie.	p. 376
2.1. Etat de l'art : de multiples méthodologies.	p. 376
2.1.1. L'analyse de la variation des chiffres d'affaires.	p. 376
2.1.2. Les modèles prospectifs.	p. 378
2.2. L'approche prospective proposée par l'OCDE (2007) : le concept de limite de fiabilité de l'enneigement naturel.	p. 379
2.3. Reprise des travaux de l'OCDE : application aux départements de Savoie et Haute- Savoie.	p. 381
2.3.1. Quelles altitudes de fiabilité de l'enneigement naturel pour les départements de Savoie et Haute-Savoie ?	p. 381
2.3.2. Quelles altitudes pour les domaines skiables de Savoie et Haute-Savoie ?	p. 384

2.3.3. Résultats et analyse critique.....	p. 384
Résultats : une grande diversité des situations intra et inter départementales.	p. 385
Discussion : une lecture déterministe du risque.....	p. 388
Conclusion du chapitre 8.....	p. 391
Chapitre 9 - Propositions pour une gestion durable de l'eau : application au cas de la production de neige.	p. 395
1. Hypothèses de travail et questionnements à l'origine de notre travail.	p. 396
1.1. Evolution des équipements.	p. 396
1.2. La question de la ressource en eau.....	p. 397
1.3. La question du changement climatique.....	p. 404
1.4. L'aménagement des territoires.	p. 406
2. Vers des propositions constructives.	p. 408
2.1. La production de neige en stations de sports d'hiver peut-elle s'insérer dans un modèle de gestion durable de l'eau en montagne ?	p. 408
2.2. Des réponses multifactorielles et multi-acteurs.	p. 409
2.2.1. En amont de la pratique : orienter judicieusement les développements territoriaux.	p. 410
Coordonner les politiques publiques, adapter les réponses à chaque massif et chaque station.	p. 410
Renforcer le cadre de la pratique.....	p. 411
A propos des adjuvants.....	p. 411
A propos de l'instruction des dossiers.....	p. 411
A propos de débits biologiques.	p. 412
2.2.2. Pour la pratique en elle-même : limiter les impacts.....	p. 412
Produire la « juste neige ».	p. 412
Ne pas systématiser l'outil.	p. 413
Toujours communiquer et maîtriser la pratique.	p. 413
2.2.3. En aval de la pratique : coordonner l'ensemble des besoins dans les limites de la ressource.....	p. 414
Mettre en place des Schémas Directeurs des Installations d'enneigement.	p. 414
Concilier les usages de l'eau et les besoins des milieux en s'appuyant sur les outils disponibles.....	p. 414
L'exemple du « Bilan Quantitatif de la Ressource en Eau sur le Bassin Versant de l'Isère en Amont d'Albertville ».	p. 414
L'exemple du « Schéma de conciliation de la neige de culture avec les milieux et les autres usages de l'eau » du SAGE du Drac et de la Romanche.....	p. 416
L'exemple du Plan de gestion des zones humides de Val Thorens.	p. 418
Conclusion du chapitre 9.	p. 420
Conclusion de la quatrième partie.....	p. 422

Conclusion générale.....	p. 425
La production de neige, ou la construction d'une nécessité.....	p. 427
Des besoins toujours croissants pour une ressource finie.....	p. 428
Réconcilier des positions crispées.....	p. 429
Vers une gestion durable de l'eau.....	p. 430
Tables des illustrations.....	p. 435
Table des figures.....	p. 437
Table des cartes.....	p. 443
Table des photos.....	p. 445
Table des tableaux.....	p. 449
Tables des matières.....	p. 453
Liste des abréviations.....	p. 469
Bibliographie.....	p. 473
Nouveau chapitre de la thèse.....	p. 509

Liste des abréviations

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AEP :	Alimentation en Eau Potable
AE RMC :	Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse
ADSP :	Association des Directeurs des pistes et de la sécurité de stations de Sports d'hiver
ANEM :	Association Nationale des Elus de la Montagne
ANMSM :	Association Nationale des Maires des Stations de Montagne
ANR :	Agence Nationale de la Recherche
APB :	Arrêté préfectoral de Protection de Biotope
APS :	Assemblée des Pays de Savoie
ASTERS :	Conservatoire départemental des espaces naturels de Haute-Savoie
CEMAGREF :	Centre d'Etudes du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et Forêts
CG :	Conseil Général
CIPRA :	Commission Internationale pour la Protection des Alpes
CLE :	Comission Locale de l'Eau
CNRS :	Centre National de la Recherche Scientifi que
CODERST :	Conseil Départemental de l'Environnement, des Risques Sanitaires et Technologiques
DCE :	Directive Cadre sur l'Eau
DDAF :	Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt
DDASS :	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
DDEA :	Direction Départementale de l'Equipement et de l'Agriculture
DDT :	Direction Départementale des Territoires
DIREN :	Direction Régionale de l'Environnement
DRASS :	Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales
DRE :	Direction Régionale de l'Equipement
DREAL :	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DRIRE :	Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
DSE :	Domaine Skiable Elémentaire
DSP :	Délégation de Service Public
DTA :	Directive Territoriale d'Aménagement
EDF :	Electricité de France
EDYTEM :	Environnement Dynamique et Territoire de Montagne
FFCAM :	Fédération des Clubs Alpains de Montagne
FNADT :	Fonds National d'Aménagement et Développement du Territoire
FNE :	France Nature Environnement
FRAPNA :	Fédération Rhône-Alpes de Protection de la Nature
GIRE :	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
GWP :	Global Water Partnership
ICPE :	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
IEA :	Installation d'Enneigement Artificiel

INSEE :	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
LEMA :	Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques
MEEDDAT :	Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire
MISE :	Mission Inter Services de l'Eau
OCDE :	Organisation de coopération et de développement économiques
ODIT :	Observation, Développement et Ingénierie Touristique
OIEau :	Office International de l'Eau
ONEMA :	Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
ONG :	Organisations Non Gouvernementales
PLU :	Plan Local d'Urbanisme
PN :	Parc National
PNR :	Parc Naturel Régional
QMNA5 :	Débit Moyen Mensuel Sec de récurrence 5 ans
SAGE :	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SCOT :	Schéma de Cohérence Territoriale
SDAGE :	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SDAEP :	Schéma Directeur d'Alimentation en Eau Potable
SDM :	Salle Des Machines
SEA 74 :	Société d'Economie Alpestre de la Haute-Savoie
SED 74 :	Société d'Equipement Départementale de la Haute-Savoie
SEM :	Société d'Economie Mixte
SIG :	Système d'Information Géographique
SNTF :	Syndicat National des Téléphériques de France
S3V :	Société des 3 Vallées

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- ACADÉMIE DE L'EAU (2008)** - *Rapport du groupe de travail sur la Méthodologie de Développement Intégré Eau-Territoire « MEDIET »*, 92 pp.
- ACADÉMIE DE L'EAU et ACADÉMIE D'AGRICULTURE DE FRANCE (2003)** - *Guide pour la gestion intégrée de l'eau et des territoires ruraux*, 6 pp.
- AGENCE D'URBANISME DE LA RÉGION GRENOBLOISE (2008)** - *Noël au balcon...* Les dossiers de demain, Vol. 6, 74 pages.
- AGENCE DE L'EAU LOIRE BRETAGNE (2008)** - *Face au changement climatique, adaptons notre gestion de l'eau*, 2 pp.
- AGENCE DE L'EAU RHÔNE - MÉDITERRANÉE - CORSE et DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT RHÔNE ALPES (2003)** - *Bassin Rhône Méditerranée Corse - Guide technique n°8 : Eau et aménagement du territoire en RMC*, 84 pp.
- AGENCE DE L'EAU RHÔNE MÉDITERRANÉE ET CORSE (2008)** - *Convention d'aide financière (n°2008 0499) - Thèse sur la neige de culture et la gestion de la ressource*, Lyon, 2 pp.
- 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 pp.
- AGENCE FRANCE PRESSE (2008)** - *Ski: débrayages aux remontées mécaniques, les vacanciers compréhensifs*. Agence France Presse, accès au 29/02/2008, <http://afp.google.com/>
- AGENCE FRANCE PRESSE (2009)** - *Haute-Savoie: une station fermée depuis 2007 reprise par des Américains*.
- AGENCE FRANCE PRESSE (2009)** - *L'été 2009, au 5è rang des étés les plus chauds depuis 1950*, p 1.
- AGNÈS G. (2008)** - *Le projet qui fait glou-glou...* Grenews, accès au 13/03/08, <http://www.grenews.com/actu/environnement/>
- AGNESE J. (2009)** - *L'eau, une ressource précieuse en Haute-Maurienne - Villarodin-Bourget*. Licence Professionnelle « PEAÉPA », Ecole de Poisy - Université Jean Moulin Lyon 3, 62 pp.
- AGNESE J., DAVIOT F., JULIEN T., et al. (2009)** - *Valorisation d'effluents de STEP en neige de culture*. Licence Professionnelle « PEAÉPA », Ecole de Poisy - Université Jean Moulin Lyon 3, 50 pp.
- AMÉNAGEMENT ET MONTAGNE (1976)** - *Approche économique de la neige de culture n°5*.
- AMÉNAGEMENT ET MONTAGNE (1982)** - *Dossier. André Henry : «Les communes de montagne vont pouvoir décider...» n°33*, p 32.
- AMÉNAGEMENT ET MONTAGNE (1983)** - *Enneigement automatique : Villard-de-Lans à la loupe*. Aménagement et Montagne n°40, pp. 45-49.
- AMÉNAGEMENT ET MONTAGNE (1991)** - *Snomax by Rustifrance*. Aménagement et Montagne.

- AMÉNAGEMENT ET MONTAGNE (1995)** - *L'impact de la neige de culture*. Aménagement et Montagne n°131, pp. 34-42.
- AMÉNAGEMENT ET MONTAGNE (1999)** - *Les rubis d'Aussois*, pp. 40-42.
- AMIGUES J. P. (1995)** - *De quelques spécificités de la valorisation des ressources naturelles semi-renouvelables*.
- AMNESTY INTERNATIONAL (2009)** - *Les palestiniens ont soif de justice: Les restrictions de l'accès à l'eau dans les territoires palestiniens occupés*, 12 pp.
- AMOUDRY J.-P. (2002)** - *Rapport d'information fait au nom de la mission commune d'information chargée de dresser un bilan de la politique de la montagne et en particulier de l'application de la loi du 9 janvier 1985, de son avenir, et de ses nécessaires adaptations. L'Avenir de la montagne : un développement équilibré dans un environnement préservé - Tome 1 : Rapport*, 408 pp.
- AMOUDRY J.-P. (2002)** - *Rapport d'information fait au nom de la mission commune d'information chargée de dresser un bilan de la politique de la montagne et en particulier de l'application de la loi du 9 janvier 1985, de son avenir, et de ses nécessaires adaptations. L'Avenir de la montagne : un développement équilibré dans un environnement préservé - Tome 2 : Auditions*, 408 pp.
- AMOUREOUS C. (2000)** - *L'implantation du ski alpin dans les Alpes françaises : la tradition étayage de la modernité*. Revue de Géographie Alpine 88 n°4, pp. 9-20.
- ANDREANI J.-L. (2006)** - *Des canons à neige précieux mais dangereux*. Le Monde.
- ANEM (2007)** - *Motion adoptée par les élus du massif des Pyrénées - Déficit d'enneigement dans les stations de montagne : La solidarité nationale doit s'exprimer à l'égard de toutes les stations*, Villeneuve de Rivière, 2 pp.
- ANGELINI P. et CETARA L. (2005)** - *Data and Elaboration on the Italian Alpine and Pre-Alpine Ski Stations, Ski Facilities and Artificial Snowmaking*, Italian Ministry for Environment, Land and Sea / Accademia Europea di Bolzano-EURAC / ANEF, 12 pp.
- ANPNC (2005)** - *Association Nationale des Professionnels de la Neige de Culture*, 2 pp.
- ARABAS S., PACCARD P., HAGA L., et al. (2008)** - *Signatures of Evaporation of Artificial Snow in the Alpine Lower Troposphere (SEASALT)*. In: EGU General Assembly, 13-18/04/08, Vienna (Austria), Geophysical Research Abstracts, 10.
- ARBOUET C. (2008)** - *Sans neige de culture, quel avenir pour les stations de ski pyrénéennes ?* Pyrénées Magazine, accès au 29/07/2010, <http://www.pyreneesmagazine.com/news/economie/sans-neige-de-culture-quel-avenir-pour-les-stations-de-ski-pyreneennes>
- ARINO D., BOURIAT T. et BOSSE J.-P. (2008)** - *Schéma Régional de Développement du Tourisme et des Loisirs : livre blanc*. Protourisme et Région Rhône-Alpes, 120 pp.
- ARNAUD D. (1975)** - *La Neige Empoisonnée Par L'argent L'immobilier La Politique*, éd.A. Maureau, 319 p.
- ARNAUD P. (1991)** - *Olympisme et sports d'hiver : Les retombées des Jeux Olympiques d'hiver de Chamonix 1924*. Revue de Géographie Alpine 79 n°3, pp. 15-36.

-
- ASPEN GLOBAL CHANGE INSTITUTE (2006)** - *Climate Change and Aspen : an assessment of impacts and potential responses*. Aspen Global Change Institute, Center of the American West, The Rural Planning Institute, Stratus Consulting Inc., & Wildlife & Wetland Solutions, LLC, Aspen, 178 pp.
- 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 pp.
- ASSOCIATION LES CANONS DU SILENCE** - *Communiqué de presse : Autrans : des canons à tout prix ?*
- ASSOCIATION NATIONALE DES ELUS DE LA MONTAGNE (2008)** - *Le tourisme durable en montagne, 365 jours par an*. In: Salon de l'Aménagement en Montagne, 24/04/2008, Grenoble, p 50.
- ASSOCIATION NATIONALE DES MAIRES DES STATIONS DE MONTAGNE (2006)** - *Premières rencontres de l'eau et de l'énergie dans les stations de montagne*. Paris, 33 pages.
- ASSOCIATION NATIONALE DES MAIRES DES STATIONS DE MONTAGNE (2007)** - *Charte nationale en faveur du développement durable dans les stations de montagne*. Association Nationale des Maires des Stations de Montagne, Paris, 24 pp.
- ASSOCIATION NATIONALE DES MAIRES DES STATIONS DE MONTAGNE (2009)** - *Projet de Directive Territoriale d'Aménagement des Alpes du Nord - Motion de l'Association Nationale des Maires des stations de Montagne*, Paris, 1 pp.
- ASSOCIATION TERRE PATRIMOINE (2007)** - *Historique général des projets concernant le funiculaire et la liaison du bourg aux Charpennes. 2001-2007*, 5 pp.
- ASSOCIATION VALLOIRE NATURE ET AVENIR (2006)** - *Retenue collinaire sur le Crey du Quart : ce que nous en pensons*, Valloire, 4 pp.
- ASTERS (2008)** - *Inventaire des zones humides de la Haute Savoie, Morzine. Fiche descriptive de Nyon Guérin Est / Nyon du Crot Nord*, 1 pp.
- AVIGNON C.** - *La production de neige artificielle détériorerait l'eau des Alpes*.
- 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 pp.
- BAILLAT-BALLABRIGA A. (2007)** - *Utilisation et Gestion des Ressources en Eau dans le Canton du Valais*, 84 pp.
- BAILLY et DOBREMEZ (1993)** - *Avant propos*. Revue de Géographie Alpine 81 n°3, pp. 7-12.
- BALALOWICZ M. (1999)** - *Guide technique n°3 - Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques*. SDAGE Rhône Méditerranée Corse, 44 pp.
- BALAY D. (2008)** - *L'eau en montagne*. Montagne et Alpinisme n°3, sept. oct. nov. 2008, pp. 41-51.
- BARBACCIA A. (2007)** - *La moyenne montagne ne renonce pas au ski*. Le Figaro, 1 pp., accès au 27/11/2007, <http://www.lefigaro.fr/>
- BARBACCIA A. et LITZLER J.-B. (2009)** - *Il est temps d'emprunter la piste verte*. Le Figaro, 3 pp., accès au 26/01/2009, <http://www.lefigaro.fr/vert/2009/01/26/01023-20090126ARTFIG00516-il-est-temps-d-emprunter-la-piste-verte-.php>
- BARNAUD G. (2008)** - *Les zones humides : carte d'identité et enjeux autour de leur préservation*. In: Colloque Sports d'hiver et zones humides, Cemagref Grenoble, p 08/10/2008.

- BARRAQUÉ B. (1995)** - *Les politiques de l'eau en Europe*. Revue française de science politique 45e année n°3, pp. 420-453.
- BARTH T. (2007)** - *Etude de l'impact du transfert d'eau du bassin versant d'Arc 2000 au bassin versant des Arcs 1600-1800, dans le cadre de l'enneigement de culture*. Master, Université de Savoie, Chambéry, 288 pp.
- BARTH T. (2008)** - *Modélisation hydrologique des bassins versants de montagne (Application aux bassins versants des Arcs 2000 et de l'Isère)*. Master 2, Université de Marne la Vallée, Marne la Vallée, 89 pp.
- BATARD M.-F. et TICHET M.-P. (2010)** - *Pourquoi la neige naturelle ne semble pas suffire*. Le Dauphiné Libéré.
- BAUDOING M. (2008)** - *Autrans, les canons de la discorde*. Montagnes Magazine n°325, p 11.
- BAUDOING M. (2008)** - *Stations de ski, la nouvelle donne*. Alpes magazine n°110, pp. 18-26.
- BAUDOIN L. (2006)** - *Compte-rendu de la réunion au sujet de Goule Blanche*, 2 pp., accès au 27/11/2009, http://cde38.free.fr/docs/reu4-4-6_goule_blanche.pdf
- BEAUSSIER S. et BURAY A. (2000)** - *Dossier de prise en considération, politique espaces naturels sensibles du département de l'Isère, Lacs et zones humides des Petites Rousses et du Plan des Calaves*. AVENIR 38, 46 pp.
- BELAÏDI N. et EUZEN A. (2009)** - *De la chose commune au patrimoine commun. Regards croisés sur les valeurs sociales de l'accès à l'eau*. Monde en développement 2009/01 n°145, pp. 55-72.
- BELAÏDI N. et EUZEN A.** - *Le statut de la « ressource » à travers la réglementation de l'accès à l'eau*.
- BELLIS M. (2006)** - *Who Invented the Snowmaking Machine ?*, accès au 16/02/2009, <http://inventors.about.com/library/inventors/blsnow.htm>
- BENISTON M. (2009)** - *Changements climatiques et impacts*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 246 pages.
- BERLIOZ F. (2004)** - *Neige de culture et ressource en eau dans les Alpes : Eléments d'analyse et d'argumentaire*. Service d'Études et d'Aménagement touristique de la montagne, 10 pp.
- BERLIOZ F. (2007)** - *Neige de culture et évolution de l'offre et de la demande de ski*. In: CoDERST Savoie «neige de culture», 10 décembre 2007, Chambéry.
- BERLIOZ F. (2008)** - *Savoie 2020 : Plan climat et tourisme*. In: Réunion plan climat tourisme, 18/11/2008, le Bourget du Lac.
- BERNARD V. (2009)** - *Comment favoriser l'accès pour tous en station ? Evolution des politiques régionales*. In: Colloque Développement durable des stations de montagne, 05/03/2009, CEMAGREF, Saint Martin d'Hères.
- BIAIS J.-M. (2008)** - *Interdire les canons à neige ? POUR : Jacques Guillot, Maire de Chamrousse, Président de Ski-France «C'est la seule façon d'assurer la rentabilité des stations» CONTRE : Jean-Yves Vallat, Vice-président de la Fédération de la Savoie pour la pêche et la protection du milieu aquatique «Les montagnes ne sont pas des châteaux d'eau !», 3 pp., accès au, http://www.lexpress.fr/informations/interdire-les-canons-a-neige_655575.html*
- BIANCHI C. (2007)** - *Travail d'étude et de recherche : Gestion de la ressource en eau sur la commune du Grand Bornand*. Master 1, Université de Savoie, Chambéry, 73 pp.

-
- BIAU A., DUCROS A. et PULOU J. (2006)** - *Neige artificielle - Raisons et deraisons*. la Lettre eau - France Nature Environnement n°37, pp. 14-15.
- BIELSER A. (2003)** - *Techniques modernes d'enneigement : la Sierra Nevada*. Technoalpin snow experts : The international snowmagazine 1, pp. 7-8.
- BILLET J. (1990)** - *Hydrologie : La recherche, la gestion de l'eau et le développement*. Revue de Géographie Alpine 78 n°4, pp. 14-21.
- BLONDIN F. et MARTIN H. (2010)** - *L'empreinte « Aqua » Préconisations pour améliorer la prise en compte de l'eau dans les ACV*. Mastère ENSAM, Arts et Métiers Paristech de Chambéry, Chambéry, 62 pp.
- BOBILLON G. et EISENLOHR L. (2007)** - *Localisation des zones humides et identifications de leurs fonctionnalités : applications aux projets routiers*. In: Les plénières 2007 du LCPC - Sciences et techniques du génie civil - Journée Eau et Environnement, 27-28/11/2007, Nantes, p 16.
- BOE J. (2007)** - *Changement global et cycle hydrologique : Une étude de régionalisation sur la France*. doctorat de physique du climat, Université Toulouse III - Paul Sabatier, Toulouse, 278 pp.
- BOIS A. (2004)** - *La réalisation de réserves d'eau en milieu montagnard "les retenues collinaires"*. Paris, 67 pp.
- BONNE B. (2010)** - *Hiver 2009-2010 à Chalmazel : La troisième meilleure saison depuis 10 ans*. Conseil général de la Loire, 5 pp.
- BORDÉ T. (2009)** - *Hébergements touristiques et domaines skiables en Tarentaise : Le cas de la Grande Plagne*. Master 2, Université de Savoie, Chambéry, 118 pp.
- BOUBA-OLGA O., CHAUCHEFOIN P. et MATHÉ J. (2004)** - *Innovation et territoire : une analyse des conflits autour de la ressource en eau, Le cas du bassin versant de la Charente*. In: Colloque « Les territoires de l'innovation, espaces de conflits », Bordeaux, 18 et 19 novembre 2004, p 26.
- BOUDIERES V. et MARCELPOIL E. (2005)** - *Les remontées mécaniques, quelle place dans la genèse et l'évolution des stations de montagne ?* In: Colloque « Objectifs, méthodes, résultats et enjeux des observatoires socio-économique et environnementaux des infrastructures linéaires », 17 et 18/03/2005, Paris, p 19.
- BOURDEAU P. (2007)** - *Les sports d'hiver en mutation : crise ou révolution géoculturelle ?* Coll finance gestion management, Ed. Lavoisier, 250 pages.
- BOURGIN A. (1941)** - *La Bourne et ses affluents souterrains*. Revue de Géographie Alpine 29 n°1, pp. 39-89.
- BOURQUARD G. (2008)** - *La neige artificielle sans artifices*. Le Dauphiné Libéré, 2 pp., accès au 10/10/08, <http://www.ledauphine.com/montagne-le-sntf-lance-une-campagne-d-explication-la-neige-artificielle-sans-artifices-@/index.jspz?chaine=14&article=62140>
- BOUTAN M.-A. (2005)** - *Gestion intégrée et patrimoniale des ressources en eau : le cas de Saint-Gervais-les-Bains en Haute-Savoie*. Travail d'Etude et de Recherche de Master 1, Université de Savoie, 85 pp.
- BOUTAUD A. (2004)** - *Le développement durable : penser le changement ou changer le pansement ?*
- BRILLAUD M.-A., LUEZ A. et RODICK M. (2005)** - *Neige de culture et snowmax : quels impacts sur la santé ?*, Ecole Nationale de la Santé Publique, Rennes, 42 pp.

- BROWN R. (1997)** - *Working knowledge - man made snow*. Scientific American 276 n°1, p 119.
- BRUN A. (2009)** - *Concilier la «culture de la neige» avec les milieux et les autres usages de l'eau en montagne - Elaboration d'un protocole de recueil d'information et d'une base de données sur le bassin versant de l'Arly*. Mémoire de Master 2, Université de Savoie, Le Bourget du Lac, 80 pp.
- BRUN E. (2007)** - *Données actuelles et modèles prédictifs du changement climatique en montagne*. In: L'évolution du climat et les stations de montagne : comment réagir ? Compte rendu du colloque, Paris, pp 19-23.
- BRUN R. (2002)** - «*La Neige artificielle, c'est une question de survie pour les stations*» : Christian Reverbel / propos recueillis par Raphaël Brun. Objectifs Rhône-Alpes février 2002 n°31, pp. 62-63.
- BRUNTLAND (1987)** - *Notre Avenir à Tous*.
- BURAY A. et BEAUSSIER S. (2000)** - *Dossier de prise en considération, politique espaces naturels sensibles du département de l'Isère, Lac du Plan et lac du Grand Plan du Sautet*. AVENIR 38, 16 pp.
- BUREAU D'INFORMATION ET DE COMMUNICATION DE L'ÉTAT DE VAUD (2000)** - *Communiqué de presse : l'Etat édicte des directives pour la construction et l'exploitation d'installations d'enneigement artificiel*, Lausanne, 1 pp.
- BÜRO DES ÖSTERREICHISCHEN VORSITZES DER ALPENKONVENTION, LEBENSMINISTERIUM ABT. V/9 et DI IRENE BRENDT ASS. JUR. ANNA-LUISE STILLE (2006)** - *Changement du climat dans l'espace alpin - Effets et défis*, Wien, 48 pp.
- BURTON J. (2001)** - *La gestion intégrée des ressources en eau par bassin, manuel de formation*, 261 pp.
- CABRET N. (2002)** - *L'économie du Vercors est fragilisée*. Le Monde, p 13.
- CABRET N. (2004)** - *Les additifs ajoutés à l'eau des canons à neige artificielle favorisent la pollution des sols*. Le Monde 24 avril 2004.
- CABRET N. (2010)** - *Un Livre Blanc du changement climatique en Savoie*. Alpes Loisirs n°66, p 8.
- CADOUX M. (2008)** - *Les têtes de bassin versant, Approche systémique*. Master 2, Université de Savoie, Chambéry, 42 pp.
- CADOUX M. (2008)** - *Optimisation de la gestion de l'eau en tête de bassin versant*. Travail d'étude et de recherche, Master 2, Université de Savoie, Chambéry, 72 pp.
- CADOUX M. (2009)** - «*Concilier "la culture de la neige" avec les milieux et les autres usages de l'eau en montagne* » - *Nature du projet, terrains d'application et état d'avancement*. In: Réunion de cadrage de la fiche action «*Concilier "la culture de la neige" avec les milieux et les autres usages de l'eau en montagne* », 30/04/2009, Bonneville (Haute-Savoie).
- CALVO J. P., DESANDRE A., HERNANDEZ G., et al.** - *Changement Climatique et Tourisme de Montagne*. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 33 pp.
- CAMIER G. (2007)** - *Plaidoyer pour la neige de culture*. La dépêche.
- CAMPBELL M. et LEAKE J. (2009)** - *Snow cannon heretic Carmen de Jong pelted by ski resort*. The Sunday Times.

-
- CAMPION T. (2002)** - *Etude de l'impact de la production de neige de culture sur la ressource en eau, en hiver, en montagne*. Mastère Spécialisé «Eau Potable et Assainissement», Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, 66 pp.
- CAMPOY A. (2009)** - *Schéma de conciliation de la neige de culture avec la ressource en eau, les milieux et les autres usages*. In: Réunion de cadrage de la fiche action « Concilier "la culture de la neige" avec les milieux et les autres usages de l'eau en montagne », 30/04/2009, Bonneville (Haute-Savoie).
- CANELLE (2009)** - *Quelle est la différence entre la neige naturelle et la neige de culture ?*, 2 pp.
- CANTON DE VAUD (2000)** - *Directives relatives à la construction et à l'exploitation d'installations d'enneigement artificiel, Principes et critères de planification de l'enneigement artificiel dans les Alpes et Préalpes vaudoises*. Département des infrastructures, 19 pages.
- CANTON DU VALAIS (2001)** - *Plan directeur cantonal - Fiche de coordination : Installations d'enneigement*. Service de l'aménagement du territoire, D10, 6 pages.
- CAP'EAU ADOUR-GARONNE (2009)** - *Neige Artificielle*, 4 pp.
- CAPIAU O. (2006)** - *Orcières, le rêve devient réalité... Dossier de presse hiver 2005-2006*. Office de tourisme d'Orcières, Orcières, 22 pp.
- CARRON C. (2008)** - *GPS et radar au service des dameuses*. Le Nouvelliste, p 25.
- CASANOVA J. F. (2007)** - *Agriculture contre neige de culture*. Le Dauphiné Libéré 06/11/2007, p 4.
- CAZENAVE M. (2006)** - *Inventaire des retenues d'altitude des stations de ski savoyardes*. Master 2, Université de Savoie, Chambéry, 82 pp.
- CCI MONTAUBAN ET DE TARN ET GARONNE (2007)** - *CODERST : mode d'emploi Comment réussir votre passage devant le CODERST ?*, 8 pp.
- CEDRAT DEVELOPPEMENT (1998)** - *Réalisation d'une retenue d'eau au lieu dit «Pré de Preys» pour l'enneigement artificiel des pistes de ski - Dossier d'incidences*, 41 pp.
- CEDRAT DEVELOPPEMENT (2001)** - *Création d'une retenue d'eau et d'une usine à neige au «Collet de la Moucherolle» pour l'enneigement artificiel des pistes de ski - Dossier de demande d'autorisation d'une installation classée pour la protection de l'environnement*, 124 pp.
- CEMAGREF et UNIVERSITÉ DE TURIN (2004)** - *Neige de culture et snowmax, quels impacts pour l'environnement ?*, Bilan et synthèse des résultats de l'étude Cemagref/Université de Turin, 4 pp.
- CERCLE FRANÇAIS DE L'EAU (2008)** - *Adaptation au changement climatique - Quelle stratégie pour les acteurs de l'eau?* In: Colloque du Cercle Français de l'Eau et d'Expo-Zaragoza 2008, 19/10/2008, Palais du Luxembourg - Paris - 19 octobre 2008, p 43.
- CÉSAR N., FAURE O., HACHE C., et al. (2009)** - *Autoroutes, aéroports, barrages : le test écologique*. La Croix.
- CHAFFARD P. (1985)** - *Couvert neigeux et conditions d'enneigement en Vercors*. Ophrys, Gap, 207 pages.
- CHAFFOTTE T. (2010)** - *La fréquentation des stations de ski reste bonne, mais les pratiques changent*. Le Monde.

- CHAIX C. (2007)** - *Climatologie hivernale des versants alpins (Savoie) : types de temps, températures et vents. Analyse des données météorologiques des domaines skiables*. Doctorat de géographie, Université de Savoie, Chambéry, 303 pp.
- CHAIX C. (2010)** - *Présentation des travaux du groupe de travail Climat Savoie*. In: Groupe de Réflexion et d'Actions sur l'Adaptation au Changement Climatique, 09/02/2010, Rhônalpénergie-Environnement (RAEE), Lyon.
- CHAPPATTE (2007)** - Global Warming In The Alps. *CHAPPATTE_2007.PNG*.
- CHARNAY B. (2009)** - *Méthodologie d'une gestion intégrée des ressources en eau. Application au bassin versant du Giffre - Le changement climatique et l'enneigement*. In: Journée société Société d'Équipement du Département de la Haute-Savoie, p 17.
- CHARNAY B. (2010)** - *Pour une gestion intégrée des ressources en eau sur un territoire de montagne. Le cas du bassin versant du Giffre (Haute-Savoie)*. Doctorat de Géographie, Université de Savoie, Chambéry, 475 pp.
- CHAUVIN G. (2006)** - *Inventaire sur les retenues d'altitude des stations de ski iséroises*. Master 2, Université de Savoie, Chambéry, 88 pp.
- CHAUVIN G. (2006)** - *Peut-on concilier neige de culture et environnement ?* Master 2, Université de Savoie, Chambéry, 52 pp.
- CHAVOUTIER L. (1978)** - *Saint-Bon / Courchevel, de la cellule rurale à la station-phare*. Saint-Alban-Leysse, 127 pages.
- CHIRON T. (2007)** - *Quelle gestion durable des ressources en eau et du risque de pénurie sur les petites îles ?* Doctorat de Géographie, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 412 pp.
- CHOCHON M. E. (2008)** - *Impact sur l'agriculture de la construction de retenues d'altitude pour l'enneigement artificiel*. 69 pp.
- CHOLLET P. (2007)** - *Une neige de culture garantie bio*. Le Dauphiné Libéré 19/12/2007.
- CIPRA (1989)** - *Enneigement artificiel et conflits d'intérêts*. Vol. 3, CIPRA, Vaduz, 48 pages.
- CIPRA (2002)** - *Le changement climatique et les Alpes.*, 12 pp.
- CIPRA (2009)** - *Divergence de points de vue sur la neige artificielle*.
- CIPRA (2009)** - *Un rapport analyse les impacts de la neige de culture*. Alpmedia, 1 pp., accès au 16/11/2009, http://www.cipra.org/fr/alpmedia/nouveautes/3717/?set_language=fr
- CIPRA FRANCE, FFCAM, FRAPNA, et al. (2006)** - *L'enneigement artificielle en question*, 2 pp.
- CIPRA FRANCE, FFCAM, FRAPNA, et al. (2009)** - *Réponse des associations à la campagne d'information du Syndicat National des Téléphériques de France (SNTF) au sujet de la neige artificielle*.
- CIPRA INTERNATIONAL (2006)** - *Des canons à neige contre le réchauffement climatique - L'enneigement artificiel et ses conséquences*. Alpmedia, accès au 27/07/2010, <http://www.cipra.org/fr/alpmedia/nouveautes/2387>
- CLE DRAC AMONT (2005)** - *Péconisations du SAGE Haut Drac*, 107 pp.
- CLE DRAC AMONT (2006)** - *Note : neige de culture et ressource en eau dans la vallée du Champsaur*, 4 pp.

-
- CLE DRAC ROMANCHE (2007)** - *Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux du Drac et de la Romanche*, 95 pp.
- CLE DRAC ROMANCHE (2008)** - (pré) *BUREAU DE LA CLE Conciliation Eau et Aménagement du territoire Dossier n°5 RETENUE D'ALTITUDE DE L'HERPIE (SIVOM de l'Oisans) Note technique préalable*, 12 pp.
- CLE 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 pp.
- CLE 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 - version 5*, 14 pp.
- CLE DRAC ROMANCHE (2009)** - (pré) *BUREAU DE LA CLE Conciliation Eau et Aménagement du territoire Dossier n°6 RETENUE D'ALTITUDE DE LA MURA (Communauté de Communes des Deux-Alpes) Note technique préalable*, 12 pp.
- CODRON M.-A. (2009)** - *La neige de culture, une «garantie» qui coûte cher aux stations*. Le Dauphiné Libéré.
- COLLET D. (2010)** - *Les ressources en eau pour l'alimentation des retenues d'altitude et des systèmes liées à la production de la neige de culture : Aspect réglementaire, état des lieux en Savoie et Haute-Savoie et optimisation sur le Domaine Skiable du Giffre (74)*. Université de Savoie.
- COLLOMB A. (2010)** - *Grand froid autour du futur aménagement de Sommand*. Le Messager du Chablais, accès au 07/01/2010, <http://collectifmieusserandevsommand.over-blog.com/>
- COMET C. (2009)** - *La neige de culture : un réel « grand écart » entre l'immédiat et le futur en matière de changement climatique*. Enviscope, accès au 05/10/2009
- COMET C. (2009)** - *SNTF, un satisfecit pour la saison 2008/2009 et un nouveau président*. Enviscope, 6 pp., accès au 16/11/2009
- COMET C. (2009)** - *Vanoise (Savoie), la gestion de l'eau exige un débat global*. Enviscope, 3 pp., accès au 16/11/2009
- COMETTO L. (2009)** - *Neige de culture : taux de couverture en % de la surface totale des pistes*. In: Journée Neige de Culture « Une Ressource tombée du ciel » SNTF/ADSP/Atout France/DSF, 18/11/2009, Briançon, p 1.
- COMITÉ DE BASSIN ADOUR-GARONNE (2009)** - *Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux 2010-2015 du bassin Adour-Garonne*, 112 pp.
- COMITÉ DE BASSIN RHÔNE MÉDITERRANÉE (2006)** - *Prise en compte des avis et remarques relatives à la question importante n°3 «les prélèvements : comment garantir la pérennité de certains usages sans remettre en cause l'atteinte du bon état ?» - DCE – Bassin Rhône et côtiers méditerranéens – Bilan détaillé de la consultation institutionnelle*, 4 pp.
- COMITÉ DE BASSIN RHÔNE MÉDITERRANÉE (2007)** - *Projet de Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux 2010-2015*. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, Lyon, 375 pp.

- COMITÉ DE BASSIN RHÔNE MÉDITERRANÉE (2009)** - *Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux 2010-2015 - Approuvé par le Préfet coordonnateur de bassin le 20 novembre 2009*, Lyon, 370 pp.
- COMMISSARIAT À L'AMÉNAGEMENT DU MASSIF DES VOSGES (2006)** - *Le Schéma Interrégional du Massif des Vosges un projet de développement durable, une ambition pour le massif à l'horizon 2020*, p 90.
- COMMISSION DE LA SÉCURITÉ DES CONSOMMATEURS (2008)** - *Avis relatif à la sécurité des pratiquants de ski sur les pistes enrichies de neige de culture*, 7 pp., accès au 02/07/2010, <http://www.securiteconso.org/article695.html>
- COMPAGNIE DES ALPES (2004)** - *Domaines skiables : lits nouveaux à Flaine*. La lettre de la compagnie des Alpes n°10, p 3.
- CONFÉRENCE INTERNATIONALE SUR L'EAU ET L'ENVIRONNEMENT (1992)** - *Déclaration de Dublin sur l'eau dans la perspective d'un développement durable*, Dublin.
- CONSEIL GÉNÉRAL DE LA LOIRE (2010)** - *Culture, sport, tourisme > Sports > Station de Chalmazel*, accès au 30/03/2010, http://www.loire.fr/display.jsp?id=c_728922
- CONSEIL GÉNÉRAL DE LA SAVOIE (2007)** - *Plan tourisme Savoie : conforter l'hiver, développer l'été*, p 8.
- CONSEIL GÉNÉRAL DE LA SAVOIE (2008)** - *Observatoire savoyard de l'environnement - bilan 2007 - n°15*, 77 pp.
- CONSEIL GÉNÉRAL DE LA SAVOIE (2009)** - *La ressource en eau*. In: Livre blanc du climat en Savoie, 67-79 pp.
- CONSEIL GÉNÉRAL TERRITOIRE DE BELFORT et SYNDICAT MIXTE INTERDÉPARTEMENTAL DU BALLON D'ALSACE (2009)** - *Ballon d'Alsace - Programme de réaménagement touristique été-hiver*, 3 pp.
- CONTENT P. et GEORGES S. (2009)** - *Gestion des zones humides sur un domaine skiable : le cas de Val Thorens*. Master 2, Université de Savoie / CEMAGREF, 122 pp.
- CONVENTION ALPINE (1991)** - *Protocole d'application de la convention alpine de 1991 dans le domaine de la protection des sols*, 18 pages.
- CONVENTION ALPINE (1991)** - *Protocole d'application de la convention alpine de 1991 dans le domaine du tourisme*, 17 pages.
- CONVENTION ALPINE (2009)** - *L'eau et la gestion des ressources en eau dans les Alpes - Rapport sur l'Etat des Alpes - Résumé*, 67 pp.
- CONVENTION ALPINE (2009)** - *Water and water management issues - Report on the State of the Alps*, 235 pp.
- CORNU M. (2009)** - *Neige artificielle, nature ou culture ?* Freepresse.com, accès au 29/04/2009, <http://www.freepresse.com/Neige-artificielle-nature-ou.html?univers=ski>
- CORTO P. (2009)** - *Ce que dit le rapport sur la neige culture*. Le Dauphiné Libéré, p 4.
- COSANDEY C., BIGOT S., DACHARRY M., et al. (2003)** - *Les eaux courantes*. Belin, Paris, 239 pages.
- COSANDEY C. et ROBINSON M. (2007)** - *Hydrologie continentale*. Armand Colin, Paris, 360 pages.

-
- COTE R., LENFANT A. et EVETTE A. (2008)** - *Aménagement d'une retenue d'altitude et impacts sur une zone humide : une démarche partenariale entre aménageurs, services de l'état et scientifiques*. In: Colloque Sports d'hiver et zones humides, 08/10/2008, Cemagref Grenoble, p 20.
- COVAN (2010)** - *Fermeture hâtive des parcours alpins de Cypress Mountain pour préserver la neige et préparer le site en vue des Jeux d'hiver de 2010*. Vancouver 2010, accès au 01/02/2010, <http://www.vancouver2010.com/fr/nouvelles-olympiques>
- CPIE HAUTE-DURANCE (2005)** - *La neige de culture*, 2 pp.
- D'HERBOMEZ-PROVOST S. et NEIRINCK V. (2007)** - *Lettre au commissaire enquêteur, dans le cadre de l'enquête publique sur le projet de retenue pour canons à neige « La Mura »*, FRAPNA et Moutain Wilderness, 4 pp.
- DALMEDICO A. D. et GUILLEMOT H. (2006)** - *Changement climatique : Dynamiques scientifiques, expertise, enjeux géopolitiques*. Sociologie du travail 2006 n°(sous presse), p 21.
- DAMBECK H. (2008)** - *Artificial Snow Harming Alpine Environment, Researchers Warn*, 2 pp., accès au 04/18/2008, <http://www.spiegel.de/international/europe/0,1518,druck-548104,00.html>
- DAWSON J. (2008)** - *Les stations d'Amérique du Nord face au changement climatique*. In: Les entretiens de la Montagne, 10ème édition : l'économie touristique pilier du développement durable, 06/11/2008, Chambéry.
- DE GUILLEBON E. (2008)** - *Note neige de culture*. DIREN Rhône Alpes, Lyon, 9 pp.
- DDEA et EDYTEM (2009)** - *Gestion durable des territoires de montagne - La neige de culture en Savoie et Haute-Savoie*. Université de Savoie, CNRS, Laboratoire EDYTEM - Direction Départementale de l'Équipement et de l'Agriculture de la Savoie (DDEA 73), 88 pp.
- DE JONG C. (2007)** - *Artificial snow drains mountain resources*. Environmental research web, accès au 08/2007, <http://environmentalresearchweb.org/cws/article/opinion/30703>
- DE JONG C. (2007)** - *2050 : + 4°C*. In: Forum innovation et tourisme, 11/2007, Lyon, p 30.
- DE JONG C. (2008)** - *Relations between artificial snow and skiing accidents in the European Alps*. In: EGU General Assembly 2008, Vienne, p 1.
- DE JONG C. (2008)** - *Resource Conflicts in Mountains : Sources and Solutions*. Mountain Forum Bulletin VIII n°1, pp. 5-7.
- DE LA SOUDIÈRE M. et TABEAUD M. (2009)** - *Chemins de neige. Texte à deux voix*. Ethnologie française 4/2009 n°39, pp. 623-630.
- DEBARBIEUX B. (2008)** - *Cultures et politiques dans les Alpes contemporaines - Enjeux de société, de spatialité et de réflexivité*. Revue de Géographie Alpine 96 n°4, pp. 37-44.
- DEBARBIEUX B. et GILLET F., DIR. (2001)** - *La montagne, objet de recherche ?* Revue de Géographie Alpine n°2.
- DELANNOY J.-J. (1997)** - *Recherches géomorphologiques sur les massifs karstiques du Vercors et de la transversale de Ronda (Andalousie). Les Apports morphogéniques du karst*. Thèse de doctorat d'état en Géographie, Université Joseph Fourier - Grenoble 1, Grenoble, 678 pp.
- DELANNOY J. J., et al. (2010)** - *Livre blanc du climat en Savoie*, 140 pp.

- DELANNOY J. J., MUGNIER R. et CHAIX C. (2007)** - *Savoie 2020 - Vers un plan Climat Savoie - Etat des lieux*. Mission Développement Prospective, Le Bourget du Lac, 36 pp.
- DELPAL G. (2007)** - *ENQUETE PUBLIQUE sur la demande d'autorisation du projet de retenue collinaire de « La Mura» Station des Deux Alpes - CONCLUSIONS du Commissaire Enquêteur*, 6 pp.
- DELPAL G. (2007)** - *ENQUETE PUBLIQUE sur la demande d'autorisation du projet de retenue collinaire de « La Mura» Station des Deux Alpes - Rapport d'enquête et pièces annexes*, 6 pp.
- DEMERS A. S. (2006)** - *Les impacts engendrés par la modification du régime hydrique, découlant de l'enneigement artificiel*. Maitrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 82 pp.
- DEPROST M. (2008)** - *Le schéma d'aménagement et de gestion Drac-Romanche veut restaurer le Drac*. Enviscope.
- D'ERCOLE R., THOURET J.-C., DOLLFUS O., et al. (1994)** - *Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse*. Revue de Géographie Alpine T 82 n°4, pp. 87-96.
- DESCAMP P. (2008)** - *La montagne victime des sports d'hiver*. Le Monde diplomatique février 2008, pp. 20-21.
- DESHAIES M. (2009)** - *Comptes rendus : BENISTON, M. (2009) Changements climatiques et impacts. De l'échelle globale à l'échelle locale*. Geographica Helvetica 64 n°3, pp. 194-195.
- DI SIMINE D. (2006)** - *Quel avenir pour les stations de sports d'hiver dans les Alpes ? - Stratégies et alternatives pour le tourisme d'hiver*. Alpmedia, accès au 27/07/2010, <http://www.cipra.org/fr/alpmedia/nouveautes/2392>
- DIDILLON J. (2009)** - *What form of tourism is possible when the glaciers retreat ?* In: Conférence internationale "Nos montagnes perdent leurs glaciers - Que faire ?", 24/09/2009, Crans-Montana, Suisse.
- DIE ÖSTERREICHISCHEN SEILBAHNEN [LES TÉLÉPHÉRIQUES AUTRICHIENS] (2008)** - *Factsheet: Die Österreichischen Seilbahnen in Zahlen [Fiche de données: Les téléphériques autrichiens en chiffres]*, 1 pp., accès au 05/12/2008, <http://www.seilbahnen.at/presse/aktuell/factsheet0908>
- DINGER F. (2006)** - *L'impact de la neige de culture sur les domaines skiables*, 19 pp.
- DINGER F. et DUBOST S. (1995)** - *L'impact des installations de neige de culture sur l'environnement*. CEMAGREF, 76 pp.
- DIRECTION DÉPARTEMENTALE DE L'AGRICULTURE ET DE LA FORÊT 73 (2008)** - *Capacité des retenues d'altitude de la Savoie*, Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt 73, 1 pp.
- DIRECTION DÉPARTEMENTALE DE L'AGRICULTURE ET DE LA FORÊT 73 (2008)** - *Carte des retenues d'altitude de la Savoie*, Chambéry.
- DIRECTION DÉPARTEMENTALE DE L'AGRICULTURE ET DE LA FORÊT 77 (2007)** - *Schéma du déroulement de la procédure de protection des captages AEP*.
- DIRECTION DÉPARTEMENTALE DE L'ÉQUIPEMENT 74 (2008)** - *Projet de S.I.G. Domaines skiables*, Annecy, 8 pp.
- DIRECTION DÉPARTEMENTALE DE L'ÉQUIPEMENT 74 (2008)** - *Un exemple d'utilisation de la base de données Domaines Skiables 74 : L'analyse du risque d'impossibilité de pratique du ski dans les conditions climatiques actuelles et sous un scénario de réchauffement*, Annecy, 4 pp.

-
- 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 pp.
- DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT PAYS DE LA LOIRE (2007)** - *Guide méthodologique pour l'évaluation environnementale d'un SCOT*, 20 pp.
- DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT RHÔNE ALPES** - *Principes ayant trait à la réalisation des études d'impact - Réalisation fractionnée, et programme général de travaux*, 3 pp.
- DIRECTION RÉGIONALE DE L'ÉQUIPEMENT RHÔNE-ALPES (2009)** - *Directive Territoriale d'Aménagement des Alpes du Nord. Projet*, 94 pp.
- DONNADIEU G., DURAND D., NEEL D., et al. (2003)** - *L'Approche systémique : de quoi s'agit-il ?*, 11 pp., accès au 24/07/2009, <http://www.afscet.asso.fr/>
- DONZIER J.-F. (2009)** - *Les zones de montagne sont les châteaux d'eau de la planète.*
- DREAL PACA et AGENCE DE L'EAU RM&C (2008)** - *Diagnostic de la gestion quantitative de la ressource en eau de la région PACA*, 143 pp.
- DREAL RHÔNE-ALPES (2010)** - *L'étude d'impact en montagne*, 16 pp.
- DRIRE RHÔNE-ALPES (2002)** - *Les Concessions Hydroélectriques*, 6 pp.
- DUBOIS G. et CERON J.-P. (2006)** - *Adaptation au changement climatique et développement durable du tourisme - Etude exploratoire en vue d'un programme de recherche*. Bureau TEC, Marseille, 131 pp.
- DUGLEUX E. (2002)** - *Impact de la production de neige de culture sur la ressource en eau*. In: *Compte rendu du colloque « L'eau en montagne : gestion intégrée des hauts bassins versants »*, 2002, Megève, p 7.
- DUPREZ C. et BURGET L. (2007)** - *Bilan gaz à effet de serre en station, Saint Martin de Belleville (Les Menuires, Val Thorens)*. Moutain Riders, 11 pp.
- DUVAL M. (2007)** - *Dynamiques spatiales et enjeux territoriaux des processus de patrimonialisation et de développement touristique*. Doctorat de géographie, Université de Savoie, Chambéry, 516 pp.
- ELECTRICITÉ DE FRANCE (2007)** - *Cahier des charges des entreprises hydrauliques concédées - Concession de la chute de la Goule Blanche - Départements de l'Isère et de la Drôme (aménagement existant)*. Unité de production Alpes, Grenoble, 26 pp.
- ELSASSER H. et BÜRKI R. (2002)** - *Climate change as a threat to tourism in the Alps*. *Climate Research* n°20, pp. 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*. In: *Colloque international : L'eau en Montagne - Gestion intégrée des Hauts Bassins Versants*, 05/09/2002, Megève, p 8.
- EUROPE ECOLOGIE (2010)** - *Le projet : économie, emploi, formation : changer de modèle*, 2 pp.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2009)** - *Regional climate change and adaptation - The Alps facing the challenge of changing water resources*, Copenhagen, 148 pp.
- EVETTE A. (2008)** - *Montagne et production de neige, quels milieux pour quels impacts ?*, CEMAGREF, 26 pp.

- EVETTE A., PEYRAS L. et LAIGLE D. (2009)** - *Risques et impacts des retenues d'altitude*. Matière à décider EDITIONS QUAE, (ed), Versailles, 31 pages.
- FABRE C. (2008)** - *Le développement durable en station : utopie ou réalité ?*, 166 pp.
- FAURE C. (2008)** - *L'eau et la montagne : quelques données et réflexions*. DurAlpes, 6 pp., accès au 26/10/2008, <http://www.duralpes.com/l'eau-et-la-montagne-quelques-donnees-et-reflexions/>
- FAURE C. (2009)** - *Réponse au questionnaire pour les acteurs de l'eau - Projet européen Alp-Water-Scarce*. Société des 3 Vallées, 16 pp.
- FAUVE M., RHYNER H. et SCHNEEBELI M. (2002)** - *Préparation et entretien des pistes. Manuel pour le praticien*. Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches, Davos, 133 pages.
- FAUVE M. et RHYNER H. U. (2004)** - *Physical description of the snowmaking process using the jet technique and properties of the produced snow*. In: Snow Engineering V: Proceedings of the Fifth International Conference on Snow Engineering, Davos, Switzerland, BARTELT P., ADAMS E., CHRISTEN M., *et al.* (eds), Taylor & Francis, pp 215 - 221.
- FÉDÉRATION FRANÇAISE DE SKI (2009)** - *Circuit FIS*, 9 pp.
- FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE SKI (2009)** - *Règlement de la coupe du monde FIS de ski alpin*, 85 pp.
- FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE SKI (2009)** - *Règlement pour les coupes continentales FIS de ski alpin*, 85 pp.
- FÉRAILLE E.** - *Note concernant l'utilisation de lysats bactériens (Snowmax) en tant qu'adjuvant pour la génération de neige artificielle*.
- FÉRAILLE E. (2010)** - *Courrier au député, Loi Grenelle II - DTA / DTADD*, 2 pp.
- FERRERO C. et ESTRANGIN M. (2009)** - *Neige artificielle : un rapport officiel relance le débat*. Le Dauphiné Libéré.
- FFCAM (2010)** - *Charte montagne - Pour un développement respectueux de l'environnement*, 8 pp.
- FINGAL V. (2007)** - *Les canons à neige dessèchent-ils les Alpes ?*
- FÖHN P. (1990)** - *Schnee und Lawinen*. In : *Schnee, Eis und Wasser der Alpen in einer wärmeren Atmosphäre*. Internationale Fachtagung, Mitteilungen VAW ETH Zürich n°108, pp. 33-48.
- FOURNIER E., SCHMITT M. et KERRIEN F. (2007)** - *Epidémie de gastro-entérites et pollution du réseau d'eau sur les stations des Arcs 1800, Vallandry et Plan-Peisey en Savoie (Février 2006)*. CIRE Rhône Alpes, DRASS Rhône Alpes, DDASS Savoie, Institut de veille sanitaire, 24 pp.
- FRANÇOIS H. (2007)** - *De la station ressource pour le territoire au territoire ressource pour la station, le cas des stations de moyenne montagne périurbaines de Grenoble*. Doctorat d'Aménagement de l'espace, Université Joseph Fourier, Institut de Géographie Alpine, Grenoble, 361 pp.
- FRANÇOIS H. (2009)** - *Classification des différents labels, Le développement d'outils à l'usage exclusif des stations de montagne ?*
- FRANÇOIS H. (2009)** - *La diversification en station de moyenne montagne : entre impératif et déclaratif*, accès au 24/06/2010, <http://www.duralpes.com/la-diversification-en-station-de-moyenne-montagne-entre-imperatif-et-declaratif/>

-
- FRANÇOIS H. (2009)** - *Le devenir des stations de sports d'hiver dans le contexte du tourisme durable. Entre renouvellement des politiques publiques et arrangements locaux.* In: Colloque Sports d'hiver et zones humides, 08/10/2008, Cemagref Grenoble.
- FRANÇOIS M. (2009)** - *Eau et développement en Espagne, politique et discours.* 525 pp.
- FRAPNA (2007)** - *La biodiversité en Rhône-Alpes,* 276 pp.
- FRAPNA (2007)** - *Position de la FRAPNA - Retenues collinaires.*
- FREDON (2008)** - *Céüse : des pistes de réflexion....* La marseillaise, accès au 04/01/2008
- FRICHE F., ROCHES A. et ROCHES S. (2007)** - *Impacts du réchauffement climatique sur les stations de sport d'hiver de basse et moyenne altitude.* Master 1, Ecole polytechnique fédérale, Lausanne, 81 pp.
- FRISON M. (2009)** - *Stations Iséroires, cap sur la nature.* Isère Magazine, pp. 12-15.
- FROCHOT I. (2005)** - *Pourrons-nous toujours skier en 2050 ?* In: Séminaire Evaluer les risques climatiques – enjeux pour la décision, enjeux pour la recherche, Institut du Développement Durable et des Relations Internationales de Sciences Po, 8 juin 2005, p 7.
- GALVIN M. (2007)** - *La grande épopée de la neige de culture.* Montagne Leaders n°200, pp. 113-122.
- GALVIN M. (2009)** - *Introduction à l'enneigement : comment cela fonctionne ?*
- GAUCHERAND S., EVETTE A., FRANÇOIS H., et al. (2009)** - *Wetlands and ski resorts in the French Alps: main issues and innovative ideas for the preservation of wetlands in ski areas.* In: EGU General Assembly 2009, 19-24/04/09, Vienna (Austria), Geophysical Research Abstracts, 11.
- GAUCHON C. (2003)** - *Note de lecture : Direction du Tourisme, les dossiers du SEATM : Les chiffres clés du tourisme de montagne en France. 3e édition.* Revue de Géographie Alpine 91 n°1, p 104.
- GAUCHON C. (2009)** - *Les hivers sans neige et l'économie des sports d'hiver : un phénomène récurrent, une problématique toujours renouvelée.* Cahiers de Géographie - Collection EDYTEM 2009 n°8, pp. 193-204.
- GAUCHON C. (2009)** - *Problématique environnementale en station de montagne : bilan et perspectives.* In: Colloque Développement durable des stations de montagne, 05/03/2009, CEMAGREF, Saint Martin d'Hères.
- GAVOILLE Y. (2009)** - *Serre-Chevalier. Se cultiver en skiant.* Le Dauphiné Libéré, p 1.
- GAYMARD H., FONDATION POUR L'ACTION CULTURELLE INTERNATIONALE EN MONTAGNE et INSTITUT DE LA MONTAGNE (2004)** - *Stations de montagne, vers quelle gouvernance ? Actes de la conférence-débat du 30 avril 2004 à l'université de Savoie.* Ed. Comp'act, Chambéry, 230 pages.
- GERBAUX F. (1995)** - *La voie étroite de la Convention Alpine.* Revue de Géographie Alpine 2, pp. 101-112.
- GERBAUX F. et MARCELPOIL E. (2004)** - *L'univers complexe des stations, in Stations de montagne, vers quelle gouvernance ? Actes de la conférence-débat du 30 avril 2004 à l'université de Savoie.* Ed. Comp'act, Chambéry, 230 pages.

- GHIOTTI S. (2001)** - *La place du bassin versant dans les dynamiques contemporaines du développement territorial. Les limites d'une évidence. Approches comparées en Ardèche et dans les Hautes-Alpes*. Doctorat de géographie, Grenoble 1, Grenoble, 475 pp.
- GHIOTTI S. (2007)** - *Les territoires de l'eau - gestion et développement en France*. Espaces Et Milieux, CNRS, 246 pages.
- GHIOTTI S. (2009)** - *La patrimonialisation des fleuves et des rivières. Une comparaison France-Liban*. Monde en développement 2009/01 n°145, pp. 73-91.
- GIEC (2001)** - *Changements climatiques 2001 : Rapport de synthèse, Annexe B Glossaire*, 173-197 pp.
- GIEC (2001)** - *Changements climatiques 2001 : Rapport de synthèse, Résumé à l'intention des décideurs*, 37 pp.
- GIEC (2007)** - *Contribution du groupe de travail II au quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat - Bilan 2007 des changements climatiques : Impacts, adaptation et vulnérabilité. Résumé à l'intention des décideurs.*, 20 pp.
- GIEC (2007)** - *Rapport du Groupe de travail I du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Résumé à l'intention des décideurs*, 18 pp.
- GLEICK P. H., LOH P., GOMEZ S. V., et al. (1995)** - *California water 2020 : a sustainable vision*. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, Oakland, California, 132 pp.
- GLOBAL WATER PARTNERSHIP (2004)** - *Catalyzing Change: A handbook for developing integrated water resources management (IWRM) and water efficiency strategies*, 56 pp.
- GONSETH C. (2008)** - *Adapting Ski Area Operations to a Warmer Climate in the Swiss Alps through Snowmaking Investments and Efficiency Improvements*. Doctorat de Sciences, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 205 pp.
- GOSSEAUME Y. (2009)** - *Flaine : une station en plein développement aux portes d'un grand domaine karstique - Gestion et arbitrages autour de différentes thématiques d'un espace de montagne*. Master 1, Université de Savoie, Le Bourget du Lac, 80 pp.
- GOTTARDI F. (2009)** - *Estimation statistique et réanalyse des précipitations en montagne, Utilisation d'ébauches par types de temps et assimilation de données d'enneigement, Application aux grands massifs montagneux français*. Docteur de l'Institut Polytechnique de Grenoble, Institut polytechnique de Grenoble, Grenoble, 284 pp.
- GOUAZÉ E. (2009)** - *Station de La Bresse-Hohneck, son installation d'enneigement.... Exemple d'un équipement indispensable, à qui la station doit tout, ou presque...* In: Journée Neige de Culture « Une Ressource tombée du ciel » SNTF/ADSP/Atout France/DSF, 18/11/2009, Briançon, p 1.
- GRANDGIRARD A. (2007)** - *De la gestion intégrée comme doctrine à l'intégration comme défi de gestion*. Doctorat de sciences de gestion, Paris IX Dauphine, 287 pp.
- GRIVOT M. (2009)** - *La neige de culture sous surveillance*. 20 minutes 25/11/2009, p 2.
- GROUPE INTERMINISTÉRIEL IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ADAPTATION ET COÛTS ASSOCIÉS EN FRANCE (2008)** - *Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France - Document d'étape*. Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique, Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale, Paris, 247 pp.

-
- GROUPE LOCAL DD (2010)** - *Le cout exorbitant de la fausse neige...* accès au 28/01/2010, <http://blog.verts-faucigny-mont-blanc.info/>
- GROUPE SPÉLÉOLOGIQUE DES COULMES ST-MARCELLIN (1997)** - *Apocalypse-snow-en-Vercors*. Spéléo n°27, p 9.
- GRYNSPAN N. (2007)** - *Et si la neige manquait ?* Le Monde.
- GRYNSPAN N. (2007)** - *La Savoie asséchée réfléchit à un juste partage de l'eau*. Le Monde.
- GUILPART E. (2005)** - *Pourrons-nous toujours skier en 2050 ?* In: Séminaire Evaluer les risques climatiques – enjeux pour la décision, enjeux pour la recherche, Institut du Développement Durable et des Relations Internationales de Sciences Po, 8 juin 2005.
- GUILPART E. (2006)** - *L'expérience d'un exploitant de domaine skiable*.
- GUMUCHIAN, H. (1983)** - *La Neige Dans Les Alpes Françaises Du Nord: Une Saison Oubliée, L'hiver*, Grenoble: Editions des Cahiers de l'Alpe, 620 p.
- HAHN F. (2004)** - *L'enneigement artificiel dans l'arc alpin. Rapport de synthèse*. CIPRA, 18 pp.
- HALAIS G. (2010)** - *Jeux d'hiver : Vancouver sous la neige... artificielle*. Radio France 10/02/2010, accès au 11/02/2010, <http://www.france-info.com/sport-vancouver-2010-2010-02-10-jeux-d-hiver-vancouver-sous-la-neige-artificielle-402959-27-454.html>
- HASSID M.-J. (2003)** - *Gestion de la ressource en eau et contrainte touristique en montagne : alimenter et entretenir le manteau neigeux*. Géoconfluence 2003 n°4 (brève), accès au 01/09/2008, <http://geoconfluences.ens-lsh.fr/doc/breves/2003/03-4.htm>
- HASSID M.-J. (2006)** - *Alpage, boue et eau en montagne - Les enjeux de la végétalisation des pistes de ski dans les stations alpines*. Doctorat de Géographie, Ecole Normale Supérieure Lettre et Sciences Humaines, Lyon, 348 pp.
- HASSID M.-J. (2010)** - *Aptitude de l'eau à la production de neige de culture*. AlternImpact, Lyon, 79 pp.
- HAUSER KAIBLING (2009)** - *Wie erzeugt man Kompaktschnee ?*, 1 pp., accès au 15/05/2009
- HELION C. (2006)** - *Transports par câbles et sports d'hiver : approche géographique de la dynamique territoriale du tourisme et des loisirs en espace montagnard*. Cahiers de Géographie - Collection EDYTEM n°4, pp. 105-114.
- HELLIER E., CARRÉ C., DUPONT N., et al. (2009)** - *Enneigement artificiel et retenue d'altitude*. In: *La France, la ressource en eau*, Armand Collin, Paris, 175-179 pp.
- HÉRITIER S. (2003)** - *Tourisme et activités récréatives dans les parcs nationaux des montagnes de l'Ouest canadien: impacts et enjeux spatiaux (Parcs nationaux Banff, Jasper, Yoho, Kootenay, Lacs Waterton, Mount Revelstoke et des Glaciers)*. Annales de Géographie 112 n°629, pp. 23-46.
- HONEGGER A. et BRAVARD J.-P. (eds) (2005)** - Géocarrefour. *La pénurie de la ressource en eau (1)*, Vol. 80 n°4.
- HONEGGER A. et BRAVARD J.-P. (eds) (2006)** - Géocarrefour. *La pénurie de la ressource en eau (2)*, Vol. 81 n°1.
- HURAUULT E. (2008)** - *La neige à tout prix*. Terre sauvage n°74, pp. 73-78.
- HYDROKARST (2009)** - *Rapport : trou du garde*, Sassenage, 13 pp.

- IDE TECHNOLOGIES (2010)** - *All Weather Snowmaker - Secure early start of your ski season - When Snow Guns Can't Deliver*, 4 pp.
- IFEN (2003)** - *Les Français et l'environnement : opinions et attitudes au début 2002*, 95 pp.
- IFEN (2005)** - *Les prélèvements d'eau en France et en Europe*, 4 pp.
- IHADDADENE L. (2007)** - *Au fait, c'était quoi le ski ?* Le Monde, p 3.
- INA et RÉGION PACA (2010)** - *La station de ski d'Orcières Merlette*. Repères Méditerranéens, accès au 27/03/2010, <http://www.ina.fr/fresques/reperes-mediterraneens/video/Repmed00329/la-station-de-ski-d-orcieres-merlette>
- INSTITUT FRANÇAIS DE L'ENVIRONNEMENT (2009)** - *Zones humides*, accès au 01/08/2009, <http://www.ifen.fr/donnees-essentielles/territoire/zones-humides.html?p>
- JABBOUR O. (2001)** - *Etude expérimentale et modélisation de la cristallisation d'une goutte d'eau : application aux canons à neige*. Doctorat de Energétique, Transfert, Systèmes dispersés, Université de Pau, Pau, 251 pp.
- JEANDREAUX A. (1963)** - *Le Haut-Folin, centre de neige artificielle*. Paris-Chamonix (revue du Club Alpin Français), pp. 9-10.
- JIMÉNEZ TORRECILLA N. et MARTÍNEZ-GIL J. (2005)** - *The new culture of water in Spain : a philisophy towards a sustainable development*. E-WATER, p 20.
- JOHNSON CONTROLS NEIGE** - *Environment et Innovation*, 4 pp.
- JOSE-MARIA F. (2008)** - *Gestion intégrée des ressources en eau et de la demande dans la zone touristique de Saint-Tropez dans un contexte de sécheresse*. Options Méditerranéennes n°80, pp. 185-189.
- JOURDAN A. (2006)** - *Les canons à neige terrassés par le coup de chaud*. La Tribune de Genève, p 1.
- JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE (1964)** - *Loi n° du 1964 sur l'eau*.
- JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE (1999)** - *Cahier des charges type des entreprises hydrauliques concédées - Annexe au décret n° 99-872 du 11 octobre 1999 (Journal officiel du 14 octobre 1999)*, 19 pages.
- JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE (2006)** - *Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques*, 53 pages.
- JOUE C. (2009)** - *Changement climatique dans les Pyrénées : du côté des stations de montagne*. DurAlpes, 6 pp., accès au 16/11/2009, <http://www.duralpes.com/changement-climatique-dans-les-pyrenees-du-cote-des-stations-de-montagne/>
- JURY DE DÉONTOLOGIE PUBLICITAIRE (2009)** - *Décision du Jury de Déontologie Publicitaire suite à une plainte émanant de la Fédération Rhône-Alpes de Protection de la Nature portant sur la non conformité aux règles déontologiques en vigueur d'une campagne de publicité du Syndicat National des Téléphériques de France*, Paris, 4 pp.
- KAMMER P. M. (2002)** - *Floristic changes in subalpine grasslands after 22 years of artificial snowing*. Journal for Nature Conservation 10 n°2, pp. 109-123.
- KELLER T., PIELMEIER C., RIXEN C., et al. (2004)** - *Impact of artificial snow and ski-slope grooming on snowpack properties and soil thermal regime in a sub-alpine ski area*. Annals of Glaciology n°38, pp. 314-318.

-
- KEMPF H. (2009)** - *Mobilisation pour des Jeux olympiques « verts »*. Le Monde 21/01/09, p 1.
- KERVORKIAN A., GRENET T., HUYGHE-MUGNIER P., et al. (2009)** - *Perspectives de l'activité ski de piste du Sappey en Chartreuse*. Association du Centenaire du ski, 46 pp.
- KNAFOU R. (1978)** - *Les stations intégrées de sports d'hiver des Alpes Françaises. L'aménagement de la montagne à la «française»*. Masson, Paris, 319 pages.
- KNAFOU R. (1987)** - *L'évolution récente de l'économie des sports d'hiver et de l'aménagement touristique de la montagne en France*. Revue de Géographie Alpine 75 n°2, p 15.
- KNAFOU R. (2003)** - *Les risque liés à la neige : trop ou pas assez*. La documentation française n°8034 de «La Documentation photographique», pp. 50-51.
- KOSCIELNY M. (2006)** - *Impacts des aménagements en montagne sur l'évolution géodynamique des versants. Application au site des Arcs (Savoie, France)*. Doctorat spécialité Géomatériaux, Université de Marne-la-Vallée, Marne-la-Vallée, 413 pp.
- KOSCIELNY M. (2008)** - *Impacts des aménagements en montagne sur les processus hydrologiques et l'évolution géodynamique des versants (Les Arcs, Savoie, France)*. Bull Eng Geol Environ 67, pp. 585–595.
- KUKAWKA P. (1999)** - *Les Jeux Olympiques d'hiver : enjeux et perspectives. Grenoble 1968 - Nagano 1998*. Revue de Géographie Alpine 87 n°1, pp. 99-104.
- LA DÉPÊCHE (2010)** - *François Calvet, tête de liste Europe Ecologie*. La dépêche 31/01/2010, accès au 01/02/2010, <http://www.ladepeche.fr/article/2010/01/31/766695-Francois-Calvet-tete-de-liste-Europe-Ecologie.html>
- LABELLEMONTAGNE REMY LOISIR (2005)** - *Dossier de presse, LabelleMontagne, La montagne de vos vacances !*, 8 pp.
- LACROIX P. (2009)** - *Relation entre prélèvements et disponibilités des ressources en eau dans les Alpes - 3 cas de stations en Savoie et Haute Savoie : l'impacte du tourisme de masse*. ENTPE, 94 pp.
- LAGARDE L., MAIRE J. et PAYSAN S. (2008)** - *Projet de Fin d'Etudes : Neige de culture, Comment inscrire cette pratique dans une démarche de développement durable ?* Domaine d'Approfondissement Environnement Risques Territoire, Ecole Nationale des Techniciens Supérieurs de l'Equipement, 62 pp.
- LAGRIFFOULA., BOUDENNE J.L., ABSI R., et al. (2010)** - *Bacterial-based additives for the production of artificial snow: What are the risks to human health?* Science of the Total Environment n°408, pp. 1659–1666.
- LAMBERT R. (1996)** - *Géographie du cycle de l'eau*.
- LANG T. (2009)** - *Energetische Bedeutung der technischen Pistenbeschneigung und Potentiale für Energieoptimierungen*. OFEN, 33 pp.
- LANGEVIN P., MUGNIER R. et MARCELPOIL E. (2008)** - *Changement climatique dans le massif alpin français : état des lieux et propositions*. Commissariat à l'Aménagement au Développement et à la Protection du massif Alpin, 85 pp.
- LARDREAU F. (2003)** - *Neige éternelle ? La neige artificielle en question*. La Montagne et alpinisme 2003 n°211-1, pp. 32-41.

- LASLAZ L. (2005)** - *Les zones centrales des Parcs Nationaux alpins français (Vanoise, Ecrins, Mercantour) : des conflits au consensus social ? Contribution critique à l'analyse des processus territoriaux d'admission des espaces protégés et des rapports entre sociétés et politiques d'aménagement en milieux montagnards*. Doctorat de Géographie, Université de Savoie, Chambéry, 644 pp.
- LASLAZ L. (2007)** - *Autour de la nouvelle loi sur les Parcs nationaux français : enjeux et conflits*. Géoconfluences, 10 pp., accès au 16/10/2008, <http://geoconfluences.ens-lsh.fr/doc/territ/FranceMut/FranceMutScient6.htm>
- LASLAZ L. (2008)** - *Montagne : les échos des modes passagères...*
- LATERNER M. et SCHNEEBELI M. (2003)** - *Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931-99)*. International journal of climatology n°23, pp. 730-750.
- LAVORE J. P. (2008)** - *Dans les Alpes, la gestion de l'eau est un enjeu majeur*. Le Dauphiné Libéré, 1 pp., accès au 20/10/08, <http://www.ledauphine.com/environnement-lancement-du-projet-europeen-alp-water-scarce-au-sila-dans-les-alpes-la-gestion-de-l-eau-est-un-enjeu-majeur-@/index.jspz?article=64881&chaîne=19>
- LE DAUPHINÉ LIBÉRÉ (2007)** - *Prudence sur la neige de culture*, p 1.
- LE DAUPHINÉ LIBÉRÉ (2009)** - *Gros plan sur la fabrication de la neige de culture*. Le Dauphiné Libéré.
- LE DAUPHINÉ LIBÉRÉ (2009)** - *MIEUSSY/SOMMAND Un vote serré en faveur de la neige de culture*. Dauphiné Libéré, p 2.
- LE DAUPHINÉ LIBÉRÉ (2010)** - *Neige artificielle : ce que pensent les associations de protection de la nature*. Le Dauphiné Libéré.
- LE DAUPHINÉ LIBÉRÉ (2010)** - *Savoie / tourisme : 32,6 millions de nuitées par an et 500 millions d'euros de recettes pour les remontées*.
- LE FIGARO (2010)** - *Collision mortelle avec un canon à neige*. Le Figaro, accès au 01/02/2010, <http://www.lefigaro.fr/flash-actu/2010/01/21/01011-20100121FILWWW00755-collision-mortelle-avec-un-canon-a-neige.php>
- LE HIR P. (2008)** - *La neige de culture pèse sur l'eau et la biodiversité*. Le monde.
- LE LAY Y.-F. (2007)** - « *Stéphane Ghiotti, Les territoires de l'eau* ». Géocarrefour n°82/4, 3 pp., accès au 25/06/2009, <http://geocarrefour.revues.org/index2258.html>
- LE NOUVELLISTE (2010)** - *La juste couche*. Le Nouvelliste, accès au 28/05/2010, http://www.lenouvelliste.ch/fr/news/economie/la-juste-couche_15-204728
- LE PROGRÈS (2010)** - *Neige artificielle : nos voisins du Doubs restent très prudents*. Le Progrès 17/01/2010, accès au 01/02/2010, <http://www.leprogres.fr/fr/permalien/article/2586070/Neige-artificielle-nos-voisins-du-Doubs-restent-tres-prudents.html>
- LE SKI (1962)** - *Jeux Olympiques d'hiver 1968 Grenoble Candidate* n°177, p 367.
- LECOURT A. (2003)** - *Les conflits d'aménagement : analyse théorique et pratique à partir du cas Breton*. Doctorat de Géographie, Université de Rennes 2, Rennes, 363 pp.
- LÉGER M. (2009)** - *Abondance va rouvrir son domaine skiable*. Actumontagne.com, 2 pp., accès au 31/08/2009, <http://www.actumontagne.com/>

-
- LÉGER M. (2010)** - *Neige de culture : Et on continue de nous prendre pour des 'floCONS'*, accès au 31/05/2010, http://www.alambik.info/index.php?page=affiche_public.php&id=1468&type_msg=1
- LELEU J. (2007)** - *L'eau au coeur du débat*. Le Dauphiné Libéré.
- LELEU J. (2009)** - *CRISE À l'Institut de la montagne : Carmen de Jong dénonce «des pressions pour la faire quitter l'université»*. Le Dauphiné Libéré, 1 pp., accès au 29/05/2009, http://ledauphine.com/ledauphine.com/imprim_article.jspz?article_id=139187
- LELEU J. (2009)** - *Neige de culture : l'enquête qui dérange*. Le Dauphiné Libéré, p 3.
- LENFANT A. (2007)** - *La ressource en eau et les besoins pour la production de neige*. In: Journées Aménagement et environnement des domaines skiables, 24/10/2007, Val d'Isère.
- LENFANT A. (2010)** - *Instruction d'un dossier de barrage d'altitude*, 4 pp.
- LESUR S. (2010)** - *Le nouveau Slalom en piste*. Vosges Matin 16/01/2010, accès au 01/02/2010, <http://www.vosgesmatin.fr/fr/sports/sport-national/article/2580177,224/Le-nouveau-Slalom-en-piste.html>
- LEVIN J. J. et OROZCO J. (2009)** - *Vanishing Bolivian Glacier Ends Highest Ski Run (Update1)*. Bloombergcom, 3 pp., accès au, <http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=20670001&sid=a5uefC1>
- LA LIBERTÉ (2007)** - *Nature : les canons à neige menaceraient les Alpes*. La Liberté, p 3.
- L'INTERNAUTE.FR (2006)** - *Votre avis : Neige de culture*, 1 pp., accès au 13/11/2006, <http://www.linternaute.com/questionnaire/fiche/2964/d/f/>
- LLADO J. (2008)** - *Neige de culture*. Megève magazine Hiver 2007-2008, p 38.
- LÓPEZ-MORENO J. I., GOYETTE S. et BENISTON M. (2009)** - *Impact of climate change on snowpack in the Pyrenees: Horizontal spatial variability and vertical gradients*. Journal of Hydrology 2009 n°374, pp. 384–396.
- LOUBIER J. C. (2007)** - *Changement climatique et domaines skiables : simulation en Savoie et Haute Savoie à l'horizon 2015*. Mappemonde n°85, 9 pp., accès au 30/01/2008, <http://mappemonde.mgm.fr/num13/articles/art07103.html>
- LOUBIER J. C. (2007)** - *Perception et simulation des effets du réchauffement climatique sur l'économie du ski et la biodiversité (Savoie et Haute Savoie)*. Doctorat de géographie, Université Joseph Fourier - Grenoble 1, Grenoble, 298 pp.
- MABIT C. (2009)** - *Analyse de Cycle de Vie et actions d'éco-conception à Johnson Controls Neige*. Mastère spécialisé Eco-conception et Management Environnemental, ENSAM Chambéry, Chambéry, 52 pp.
- MABIT C. (2009)** - *Analyse de Cycle de Vie et actions d'éco-conception à Johnson Controls Neige - Annexes*. Mastère spécialisé Eco-conception et Management Environnemental, ENSAM Chambéry, Chambéry, 45 pp.
- MAENDLY V. (2007)** - *Les futurs canons à neige français font frémir le bassin de l'Orbe*. 24 heures.
- MAGNAN P. (2009)** - *Réchauffement: le manteau neigeux recule*. France 2fr, 3 pp., accès au 10/12/2009, <http://info.france2.fr/environnement/R%C3%A9chauffement:-le-manteau-neigeux-recule-59335419.html>

- MAILLET M. (2008)** - « *A propos de la neige artificielle* » - Note pour la Mission d'Inspection du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire. France Nature Environnement, Paris, 7 pp.
- MAINGUY J. (1990)** - *Climatologie : Potentialités thermiques de l'enneigement artificiel*. Revue de Géographie Alpine 78 n°4, pp. 22-29.
- MAIRIE DE VILLARD DE LANS (2001)** - *Rapport annuel d'activité du Conseil Municipal*, 15 pp.
- MAIRIE DE VILLARD DE LANS (2006)** - *Rapport annuel d'activité du Conseil Municipal*, 16 pp.
- MAIRIE DES GETS (2003)** - *Projet Village 2003/2013*.
- MAIRIE DES GETS (2005)** - *L'eau aux Gets, faire face à une situation de crise*, Les Gets, 7 pp.
- MAIRIE D'ORCIÈRES (2008)** - *Au fil de l'eau*. Drac Noir, bulletin municipal de la commune d'Orcières n°39, p 8.
- MANSOURI C. (2009)** - *Les logiques de solidarité amont/aval dans le bassin versant du Vernon - Etude du projet conflictuel de la retenue collinaire de la Grenouillère à Chamrousse*. Master 1, Université de Savoie, Le Bourget du Lac, 109 pp.
- MARCELPOIL E. et BOUDIERES V. (2008)** - *Climate change and mountain touristic territories vulnerability : an endogenous reading*. In: Conference Managing Alpin Futur, 01/04/2008, Innsbruck, Autriche, p 9.
- MARCELPOIL E., BOUDIÈRES V. et FRANÇOIS H. (2008)** - *Changement climatique et territoires touristiques de montagne....* DurAlpes, 8 pp., accès au 24/04/2008, <http://www.duralpes.com/changement-climatique-et-territoires-touristiques-de-montagne/>
- MARCELPOIL E. et LANGLOIS L. (2006)** - *Protection de l'environnement et développement touristique en station : du conflit à l'organisation des proximités*, 14 pp., accès au 10/12/2008, <http://developpementdurable.revues.org/document2660.html>
- MARCELPOIL E., BENSACHEL-PERRIN L. et FRANÇOIS H. (2010)** - *Les stations de sports d'hiver face au développement durable*, Etat des lieux et perspectives, éd. L'Harmattan, 176 p.
- MARGAT J. (2000)** - *Vers une nouvelle culture de l'eau ?* In: Les Clés du XXIe siècle, 124-126 pp.
- MARGAT J. (2002)** - *Des pénuries d'eau sont-elles en perspective à long terme en Europe méditerranéenne ?* Plan Bleu, 19 pp.
- MARNEZY A. (1979)** - *Les stations de ski de la Haute-Maurienne : un exemple original d'aménagement touristique*. Revue de Géographie Alpine 67 n°3, pp. 281-307.
- MARNEZY A. (1980)** - *Le Vercors méridional : étude de géomorphologie glaciaire et karstique*. Thèse de Géographie, Grenoble 1, Grenoble, 179 pp.
- MARNEZY A. (1990)** - *Un exemple d'impact anthropique : l'aménagement de la piste de ski de la Fournache (Aussois, Savoie)*. Revue de Géographie Alpine 78 n°1, pp. 215-225.
- MARNEZY A. (2000)** - *L'eau, entre abondance et rareté. Thème du programme d'enseignement de la Classe de Seconde, Histoire-Géographie, à compter de l'année scolaire 2001-2002*. CRDP, 12 pp.
- 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.
- MARNEZY A. et GAUCHON C. (2006)** - *Les domaines skiables reliés dans les Alpes françaises*. Cahiers de Géographie - Collection EDYTEM n°4, pp. 115-124.

-
- MARNEZY A. et PACCARD P. (2009)** - *La neige de culture : une nouvelle fonction pour les barrages de montagne*. In: Colloque Au fil de l'eau, 11-14/03/09, Clermont Ferrand.
- MARNEZY A. et RAMPNOUX J.-P. (2006)** - *Retenues d'altitude et neige de culture dans les Alpes françaises du Nord : caractéristiques, répartition, alimentation en eau, impacts sur les milieux*. In: 2ème congrès international «L'Eau en Montagne», Gestion intégrée des Hauts Bassins Versants, 20-21-22-23 septembre 2006, Megève, p 11.
- MARZOUK A. D. (2009)** - *Neige de culture et conflits environnementaux*. Master 1, Université de Savoie, Chambéry, 74 pp.
- MARZOUK A. D., BERRY A., FERNANDEZ B., et al. (2009)** - *Les politiques environnementales des stations de sports d'hiver françaises*. Master 1, Université de Savoie, Chambéry, 38 pp.
- MASSOT F. (1999)** - *La dynamique PDCA dans une entreprise*. In: Association Française Edwards Deming - Une philosophie de l'action pour le XXIème siècle, 08/06/1999, Paris.
- MATHYS H. W. (2009)** - *Enneigement technique / technische beschneigung / innevamento artificiale*, Oron-la-Ville, 7 pp.
- MAYADE P. (2006)** - *Inventaire des retenues d'altitude des stations de ski haut alpines*. Master 2, Université de Savoie, Chambéry, 81 pp.
- MEIER S. (2010)** - *La pirouette de Jacques Rogge à Vancouver* 09/02/2010, accès au 11/02/2010, http://m.letemps.ch/Page/Uuid/a7a8725a-1547-11df-9023-b3b3f25b66ea/La_pirouette_de_Jacques_Rogge_%C3%A0_Vancouver
- MEISSNER S. et RELLER A. (2005)** - *Pour une gestion durable des ressources en eau dans les Alpes*. Revue de Géographie Alpine 93 n°3, pp. 5-16.
- MERCER D. (1992)** - *Un terrain contesté. Conservation et tourisme dans les Alpes australiennes / Contested terrain. Conservation and recreation in the Australian Alps*. Revue de Géographie Alpine 80 n°2, pp. 279-305.
- MERIAUX P. (2008)** - *Surveillance, exploitation et entretien des retenues d'altitude pour l'alimentation des installations de neige de culture*. In: Colloque 2008 de l'ANPNC 22 avril 2008, La Motte d'Aveillans (38), p 32.
- MÉRIBEL ALPINA** - *Floc le flocon de neige de culture*, 1 p.
- MÉTÉO FRANCE (2009)** - *Point sur l'enneigement dans les massifs français au 5 février 2009*, 1 pp., accès au 05/02/2009, http://france.meteofrance.com/france/actu/actu?document_id=20350&portlet_id=42259
- MICHAL P. (2009)** - *Rapport géologique sur l'impact de la neige de culture sur le bassin versant des ressources en eau destinées à la consommation humaine, présentes sur la commune de la Perrière* 15 pp.
- MICHOU P. (2009)** - *Journée neige de culture, les aspects économiques*. In: Journée Neige de Culture « Une Ressource tombée du ciel » SNTF/ADSP/Atout France/DSF, 18/11/2009, Briançon, p 12.
- MIGNOTTE A. (2009)** - *Tourisme durable à l'échelle des Alpes : quelle place pour les stations de montagne ?* In: Colloque Développement durable des stations de montagne, 05/03/2009, CEMAGREF, Saint Martin d'Hères.
- MILHAUD O. (2002)** - *L'eau en Montagne*, 13 pp.

- MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE DE L'ÉNERGIE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER (2009)** - *Énergie et climat, Hydroélectricité.*
- MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE (2003)** - *La Directive Cadre, une directive pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau*, 2 pp.
- MIQUEL G. (2003)** - *La qualité de l'eau et de l'assainissement en France*, 195 pp.
- MIQUEL G. (2003)** - *La qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Tome 2 - annexes*, 293 pp.
- MISE HAUTES-PYRÉNÉES (2008)** - *La production de neige de culture dans les Hautes-Pyrénées*, 4 pp.
- MISSION DÉVELOPPEMENT PROSPECTIVE DE LA SAVOIE (2009)** - *Savoie 2020 : La démarche d'anticipation des mutations en Savoie*, 4 pp.
- MISSION INGÉNIEURIE TOURISTIQUE RHÔNE-ALPES (2009)** - *Fréquentation Touristique Hiver 2008/2009 Etude Flux – Périmètre à neige*, 27 pp.
- MONTAGNE LEADERS (2007)** - *Retenues collinaires*. Montagne Leaders n°204, pp. 54-66.
- MONTAGNE LEADERS (2008)** - *Enquête exclusive 2008 : top 100 des opérateurs français de domaines skiables*. Montagne Leaders n°209, pp. 44-56.
- MOUNTAIN RIDERS (2009)** - *News - Neige de culture : état des lieux*, accès au 27/07/2010, http://www.mountain-riders.org/_news/news.php?id=269
- MOUNTAIN WILDERNESS (2005)** - *Enneigement artificiel, Eau secours !*, 6 pp.
- MOUVEMENT REGION SAVOIE (2009)** - *Projet d'aménagement de la station de Sommand*. MRS Mouvent Région Savoie, accès au 30/12/2009, <http://www.mouvement-region-savoie.fr/2009/12/30/projet-damenagement-de-la-station-de-sommand/>
- MÜLLER H., WEBER F. et THALMANN E. (2007)** - *Tourisme*. In: Les changements climatiques et la Suisse en 2050, Bern, 79-94 pp.
- NAYROU H. (2008)** - *Discours de clôture de Henri Nayrou*. In: 24e congrès de l'Association nationale des élus de la montagne, 22-24/10/2008, Saint-Flour - Cantal, p 11.
- NÈGRE E. (1991)** - *Toponymie générale de la France*. Librairie Droz, Genève, 1871 pages.
- NEU U. (2003)** - *Tourisme d'hiver : les conséquences du réchauffement climatique peuvent-elles être compensées par des investissements ?* Climate-press n°15, p 6.
- NEWS PRESS (2008)** - *L'Afsset attire l'attention sur la qualité des eaux utilisées pour l'enneigement artificiel*, 2 pp., accès au 30/09/2008, http://www.newspress.fr/communiqu_207410_2571.aspx
- OBERTI P. (2002)** - *Externalités négatives d'environnement liées au tourisme sauvage : internalisation par taxation et allocation illustrées en région Corse*.
- OBSERVATOIRE DU TOURISME SAVOIE MONT-BLANC (2008)** - *Chiffres-cles Savoie Mont-Blanc, édition 2008*. Savoie Mont-Blanc Tourisme, Chambéry, 4 pp.
- OBSERVATOIRE NATIONAL SUR LES EFFETS DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE (2007)** - *Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique*. La Documentation Française, Paris, 97 pages.

-
- OBSERVATOIRE NATIONAL SUR LES EFFETS DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE (2009)** - *changement climatique Coûts des impacts et pistes d'adaptation*. La Documentation Française, Paris, 195 pages.
- OBSERVATOIRE SAVOYARD DE L'ENVIRONNEMENT (2008)** - *Bilan quantitatif de la ressource en eau en Tarentaise*, 28-29 pp.
- 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*, Paris, 136 pp.
- OCDE (2007)** - *Changements climatiques dans les alpes européennes - Adapter le tourisme d'hiver et la gestion des risques naturels. Synthèses par pays : France*, 2 pp., accès au 01/11/2008, <http://www.oecd.org/dataoecd/17/39/37833648.pdf>
- OCHSENBEIN G. (2010)** - *Profession, faiseur de neige à Adelboden*. SwissInfo 02/01/2010, accès au 01/02/2010, http://www.swissinfo.ch/fre/societe/Profession,_faiseur_de_neige_a_Adelboden.html?cid=7992478&rss=true
- ODIT FRANCE (2006)** - *Les chiffres clés du tourisme de montagne en France - 5ème édition*. Odit France, Paris, 58 pp.
- ODIT FRANCE (2007)** - *Les chiffres clés du tourisme de montagne en France*, accès au 04/12/2008, http://www.odit-france.fr/Sports_d_hiver.439.0.html
- ODIT FRANCE (2008)** - *Bilan de fonctionnement des installations de neige de culture - Saison 2007/2008*, 7 pp.
- ODIT FRANCE (2008)** - *L'expertise technique et économique des domaines skiables alpins*, Paris, 96 pp.
- ODIT FRANCE (2008)** - *Les domaines skiables face aux aléas d'enneigement et le développement de la neige de culture*, Paris, 13 pp.
- ODIT FRANCE (2009)** - *Les chiffres clés du tourisme de montagne en France - 7ème édition*. Odit France, Paris, 63 pp.
- ODIT FRANCE et FÉDÉRATION NATIONALE DES COMITÉS DÉPARTEMENTAUX DU TOURISME (2006)** - *Glossaire des Hébergements touristiques (actualisation mai 2006)*, 51 pp.
- OFFICE DE TOURISME DE SERRE CHEVALIER (2010)** - *Le ski à Serre-Che, présentation*, accès au 01/02/2010, <http://www.serre-chevalier.com/Presentation>
- OFFICE DE TOURISME LES MENUIRES / SAINT MARTIN DE BELLEVILLE (2009)** - *C'est tout naturel ! Des actions éco-logiques. La SEVABEL, première société de remontées mécaniques certifiée ISO 14 001*. In: Les Ménuires Saint Martin de Belleville, Dossier de Presse Hiver 2009-2010, 7 pp.
- OFFICE DU TOURISME DE VILLARD DE LANS (2008)** - *Villard de Lans, Correçon en Vercors : dossier de presse*, Villard de Lans, 28 pp.
- OFFICE DU TOURISME DE VILLARD DE LANS et OFFICE DU TOURISME DE CORRENÇON EN VERCORS (2009)** - *Plan des pistes*. 1,2,3 Soleil ! le magazine de Villard de Lans et Corrençon en Vercors Hiver 2009 - 2010 n°4, p 3.
- OFFICE FÉDÉRAL DE L'ÉNERGIE SUISSE (2010)** - *De l'air, de l'eau et beaucoup d'énergie*. Energia n°2, pp. 4-5.

- OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU (2001)** - *Guide de recommandations pour une meilleure gestion de l'eau entre les régions de têtes de bassin et d'aval*, 64 pp.
- OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU (2010)** - *Gestion intégrée de l'eau (GIRE)*.
- OFFICE NATIONAL DE L'EAU ET DES MILIEUX AQUATIQUES DÉLÉGATION RÉGIONALE RHÔNE-ALPES (2008)** - *Note d'information : Compte-rendu de la réunion du 30 octobre 2008 sur le thème de la neige de culture.*, Bron, 4 pp.
- OPELZ M.** - *Pratiques de développement durable, Saint Martin de Belleville (73)*, In: Colloque Développement durable des stations de montagne, 05/03/2009, CEMAGREF, Saint Martin d'Hères.
- PACCARD P. (2008)** - *Inventaire SIG des zones humides et des retenues d'altitude pour la fabrication de neige : un outil d'aide à la décision ?* In: Colloque Sports d'hiver et zones humides, 08/10/2008, Cemagref Grenoble.
- PACCARD P. (2008)** - *La neige de culture : un exemple d'objet de recherche doctorale en géographie.* Géo Savoie Sphère - Bulletin du Département de Géographie de l'Université de Savoie n°4, p 2.
- PACCARD P. (2008)** - *Water and tourism in mountains: the case of artificial snow in countries of the alpine arc.* In: EGU General Assembly 2008, 13-18/04/08, Vienna (Austria), Geophysical Research Abstracts, 10.
- PACCARD P. (2009)** - *Gestion de l'eau pour la production de neige de culture le cas d'une station de moyenne montagne en domaine karstique : Villard-de-lans - corrençon-en-vercors.* In: Journée des doctorants de l'Ecole Doctorale SISEO, 05/11/2009, Université de Savoie, Le Bourget du Lac, Campus Scientifique.
- PACCARD P. (2009)** - *Gestion de la ressource en eau pour la production de neige en stations de sports d'hiver.* In: Colloque Au fil de l'eau, 11-14/03/09, Clermont Ferrand.
- PACCARD P. (2009)** - *Neige de culture et gestion durable de la ressource en eau ?* In: Réunion de cadrage de la fiche action « Concilier "la culture de la neige" avec les milieux et les autres usages de l'eau en montagne », 30/04/2009, Bonneville (Haute-Savoie).
- PACCARD P. (2009)** - *Réchauffement climatique et ressource neige en stations de sports d'hiver.* Cahiers de Géographie - Collection EDYTEM, pp. 181-192.
- PACCARD P. (2009)** - *Un exemple d'exploitation des ressources en eau du karst : la production de neige à Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors (Isère, France).* Karstologia n°53, pp. 7-16.
- PACCARD P. (2010)** - *Dossier de candidature à une bourse doctorale de l'Assemblée des Pays de Savoie - Fiche synthèse de projet.* Université de Savoie, 6 pp.
- PACCARD P. et MARNEZY A. (2007)** - *Utilisation et gestion des ressources en eau. Bassin hydrographique français du Haut Rhône. Rapport de synthèse programme Interreg IIIA France-Suisse : Le Haut Rhône et son bassin versant montagneux.* Université de Savoie, 148 pp.
- PACCARD P. et MARNEZY A. (2009)** - *Les barrages hydroélectriques : au secours de la neige de culture ? Le cas de Courchevel (Savoie, France).* In: Colloque «Au fil de l'eau», 11-14/03/09, Maison des Sciences de l'Homme de Clermont Ferrand, p 23.
- PARC NATUREL RÉGIONAL DU VERCORS (2009)** - *Arrivée de l'électricité : déconnexion de l'utilisation de l'énergie des lieux de production.* Parc Vercors Energie, 2 pp., accès au 02/11/2009, <http://www.parc-vercors-energie.org/histoire/pdf/electricite.pdf>

-
- PARDÉ M. (1945)** - *Le rôle de la neige dans les débits du Drac au Sautet*. Revue de Géographie Alpine 20 n°3, pp. 1-13.
- PARLEMENT ET CONSEIL EUROPÉEN (2000)** - *Directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau*, 78 pages.
- PASCHINI L., TESSEYRE D., CHEVILLARD E., et al. (2004)** - *Inventaires des zones humides, Tronc commun national - Version 1*. Agence de l'Eau Adour-Garonne, Agence de l'Eau Artois – Picardie, Agence de l'Eau Loire –Bretagne, Agence de l'Eau Loire -Bretagne - équipe Loire, Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Agence de l'Eau Rhône -Méditerranée-Corse, Agence de l'Eau Seine –Normandie, DIREN - délégation de bassin Artois –Picardie, DIREN - délégation de bassin Loire –Bretagne, DIREN - délégation de bassin Rhône -Méditerranée-Corse, DIREN - délégation de bassin Seine –Normandie, DIREN Centre, DIREN Midi-Pyrénées,
- PELLETIER H. (1983)** - *Rencontre avec... Victor Huillier*. Aménagement et Montagne n°39, pp. 33-35.
- PELLETIER H. (1984)** - *Neige. Production de neige : Courchevel s'équipe*. Aménagement et Montagne.
- PÉRINET F. (1982)** - *Stations de sports d'hiver. Réflexions à propos d'un accident*. Revue Forestière Française XXXIV n°5, pp. 99-110.
- PERRETIER C. (2008)** - *La prise en compte des enjeux environnementaux dans les aménagements de domaine skiable, le cas de la retenue d'altitude de l'Adret des Tuffes à Arc 2000*. In: Colloque Sports d'hiver et zones humides, 08/10/2008, Cemagref Grenoble, p 26.
- PETIT O. (2004)** - *La nouvelle économie des ressources et les marchés de l'eau : une perspective idéologique ?* VertigO.
- PETIT O. (2009)** - *Introduction. La "mise en patrimoine" de l'eau : quelques liens utiles*. Monde en développement 2009/01 n°145, pp. 7-16.
- PETIT O. et ROMAGNY B. (2009)** - *La reconnaissance de l'eau comme patrimoine commun : quels enjeux pour l'analyse économique ?* Monde en développement 2009/01 n°145, pp. 29-54.
- PEYRAS L. (2006)** - *Guide pour l'instruction des dossiers d'autorisation ou de déclaration des barrages d'altitude*, 35 pp.
- PEYRAS L. et MÉRIAUX P. (2009)** - *Retenues d'altitude*. Savoir-faire, Édition Quæ, 352 pages.
- PEYRAS L., MERIAUX P. et RICHARD D. (2008)** - *Sécurité et pathologie des petits barrages de montagne : vers un guide technique pour la conception, la réalisation, le suivi et la réhabilitation des retenues d'altitude*. Risques Infos Juin 2008 n°20, pp. 23-24.
- PEYRAS L., MERIAUX P. et RICHARD D. (2008)** - *Sûreté des barrages d'altitude pour la production de la neige de culture*. In: Colloque du Programme de Recherche RDT « Risque, Décision, Territoire », 16/01/2008, Lyon, p 25.
- PHOTOS-DAUPHINÉ (2009)** - *Août 2007 - Autrans, les canons du silence*.
- PICOUËT M. (2010)** - *Dix stations de montagne présentent leur premier bilan carbone*. Le Monde 16/01/2010, accès au 01/02/2010, http://www.lemonde.fr/aujourd-hui/article/2010/01/16/dix-stations-de-montagne-presentent-leur-premier-bilan-carbone_1292688_3238.html

- PIGEON P. et DUPONT C. (2008)** - *Le Haut Rhône et son bassin versant montagneux : pour une gestion intégrée de territoires transfrontaliers - Rapport de synthèse*. Interreg IIIA France/Suisse, Chambéry, 117 pp.
- PILICHOWSKI H. (2008)** - *Nathalie Kosciusko-Morizet aujourd'hui en Haute-savoie. «Les stations doivent investir dans la multi-activité»*. Le Dauphiné Libéré, p 1.
- PILICHOWSKI H. (2010)** - *Les stations surfent sur l'environnement*. Le Dauphiné Libéré, p 36.
- PNR VERCORS (2007)** - *Vercors eau pure, le bilan d'un septennat*. Le journal du Parc (Journal d'information du Parc naturel régional du Vercors).
- PÔLE RELAI TOURBIÈRE (2009)** - *Zones humides et sports d'hiver - Bibliographie*, 20 pp.
- PORTERET J. (2008)** - *Fonctionnement hydrologique des têtes de bassin versant tourbeuses du Nord-Est du Massif Central*. Doctorat de Interface Nature Société, Université de Saint-Etienne, Saint-Etienne, 430 pp.
- POUR LA MONTAGNE (2006)** - *Renouveau sur GOURETTE au terme de deux ans d'investissements*. Pour La Montagne n°146, p 2.
- POUR LA MONTAGNE (2008)** - *Neige de culture - Elus et professionnels s'expriment d'une même voix*. Pour La Montagne n°187, p 10.
- PRÉFECTURE DE LA HAUTE SAVOIE (2004)** - *Note de doctrine sur la neige de culture*. Mission Inter Services de l'Eau, 9 pp.
- PRÉFECTURE DE LA HAUTE SAVOIE (2004)** - *Projet d'action stratégique de l'État PASED. 1 – Préserver l'espace : gérer les conflits d'usage*, Annecy, 25-34 pp.
- PRÉFECTURE DE LA HAUTE SAVOIE (2007)** - *Arrêté préfectoral portant prescriptions spécifiques à déclaration en application de l'article L 214-3 du Code de l'Environnement relative à la construction de la retenue d'altitude de l'Etale, Commune de la Clusaz*, Annecy, 13 pp.
- PRÉFECTURE DE LA HAUTE SAVOIE (2007)** - *Autorisation de création d'une retenue d'altitude sous le lac de la Mouille. Milieu récepteur : Torrent de la Fiolaz, Commune de Chatel.*, Annecy, 9 pp.
- PRÉFECTURE DE L'ISÈRE (2007)** - *Arrêté n°2007-09340 Concédant à EDF-UP Alpes l'exploitation de la chute de la GOULE BLANCHE sur la Bourne dans les départements de l'ISERE et de la DROME*, Grenoble, 4 pp.
- PRÉFECTURE DES HAUTES ALPES** - *Arrêté préfectoral - Autorisation de prélèvement d'eau dans le Grand Lac des Estaris*, Gap, 1 pp.
- PRÉFECTURE RÉGION RHÔNE ALPES (2005)** - *Livre blanc des Alpes du Nord*.
- PRÖBSTL U. (2006)** - *Kunstschnee und Umwelt*, 232 pp.
- PROFESSEUR CANARDEAU (2010)** - *La fausse neige nous prend pour des flocons*. Le Canard Enchaîné, p 5.
- PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO (1990)** - *Innevamento artificiale tra sviluppo turistico e ambiente naturale*. Provincia autonoma di Trento, Trento, 377 pages.
- PRUDENT-RICHARD G. (2006)** - *Recensement des études concernant les effets du climat et du réchauffement climatique sur les espaces de montagne en France métropolitaine*. Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique, 52 pp.

-
- PRUDENT-RICHARD G., GILLET M., VENGEON J.-M., et al. (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 pp.
- PUTZ C. (2003)** - *La gestion de l'eau potable sur le Haut Plateau. Conception, élaboration et mise en oeuvre d'un SIG prototype pour atteindre une gestion durable de la ressource*. Licence, Université de Lausanne, Lausanne, 180 pp.
- RAVIOL P. (2007)** - *Construction d'une piste - Principes environnementaux*. In: Journées Aménagement et environnement des domaines skiables, 24/10/2007, Val d'Isère.
- RÉDACTION DE «TERRA-ECONOMICA» (2008)** - *Piste verte pour la neige artificielle*. Libération, accès au 02/01/2008, www.liberation.fr
- RÉDACTION DE LYONCAPITALE.FR (2009)** - *Palmarès : La plus nature*. LyonCapitalefr, 1 pp., accès au 09/12/2009
- RÉGION MIDI PYRÉNÉES (2010)** - *Guide des Interventions*.
- RÉGION RHÔNE-ALPES (2008)** - *Fiches thématiques du Schéma régional de développement du tourisme et des loisirs*, 16 pp.
- RÉGION RHÔNE-ALPES (2008)** - *Schéma régional de développement du tourisme et des loisirs [pour un tourisme innovant et durable]*, 11 pp.
- REMONTÉES MÉCANIQUES SUISSES (2003)** - *Les remontées mécaniques en Suisse, quel avenir ?*, Berne, 40 pp.
- REMONTÉES MÉCANIQUES SUISSES (2006)** - *Faits et chiffres*, Berne, 13 pp.
- REMONTÉES MÉCANIQUES SUISSES (2008)** - *Faits et chiffres*, Berne, 17 pp.
- REMONTÉES MÉCANIQUES SUISSES (2009)** - *30 ans d'enneigement technique en Europe*, Bern, 3 pp.
- RÉSEAU INTERNATIONAL DES ORGANISMES DE BASSIN et PARTENARIAT MONDIAL DE L'EAU (2009)** - *Manuel de Gestion Intégrée des Ressources en Eau par Bassin*, 112 pp.
- REVERBEL C. (2009)** - *Installations de production de neige de culture : La maintenance : une phase indispensable pour démarrer et passer une campagne d'enneigement sans problème*. In: Journée Neige de Culture « Une Ressource tombée du ciel » SNTF/ADSP/Atout France/DSF, 18/11/2009, Briançon, p 13.
- RÉVIL P. (2002)** - *«L'or blanc» des Alpes sous la menace du changement climatique*. Le Monde, p 13.
- REYNARD E. (1999)** - *Gestion patrimoniale et intégrée des ressources en eau dans les stations touristiques de montagne, Les cas de Crans-Montana-Aminona et Nendaz (Valais)*. Doctorat de Géographie, Université de Lausanne, Lausanne, 512 pp.
- REYNARD E. (2000)** - *Cadre institutionnel et gestion des ressources en eau dans les Alpes: deux études de cas dans des stations touristiques valaisannes*. Swiss Political Science Review 6 n°1, pp. 53-85.
- REYNAUD L. (2008)** - *Indemnisation Nivalliance 07-08 Mode d'Emploi*. SNTF, 1 pp.
- REYNAUD L. (2008)** - *Informations sur la neige de culture*. Domaines skiables de France n°19, p 6.

- REYNAUD L. (2008)** - *Le "tout ski" est peut-être fini, mais sans le ski, tout est fini !* DurAlpes, 6 pp., accès au 21/04/2008, <http://www.duralpes.com/le-tout-skiest-peut-etre-fini-mais-sans-le-ski-tout-est-fini/>
- REYNAUD L. (2008)** - *Le changement climatique et le futur du tourisme de montagne*. In: Salon mondial du tourisme de neige 2008, Andorre, p 16.
- REYNAUD L. et FAURE C. (2007)** - *Neige de culture - Réduire l'aléa climatique - Préserver nos ressources* In: CoDERST Savoie «neige de culture», 10 décembre 2007, Chambéry.
- RICOU C. (1963)** - *Orcières Merlette*. Le Ski n°184, pp. 107-112.
- RIETHMULLER T. (2007)** - *Etudes et notices d'impact : analyse des dossiers reçus en DDAF*. In: Journées Aménagement et environnement des domaines skiables, 24/10/2007, Val d'Isère.
- RIXEN C., CASTELLER A., SCHWEINGRUBER F. H., et al. (2004)** - *Age analysis helps to estimate plant performance on ski pistes*. Botanica Helvetica 114 n°2, pp. 127-138.
- RIXEN C., HAEBERLI W. et STOECKLI V. (2004)** - *Ground Temperatures under Ski Pistes with Artificial and Natural Snow*. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 36 n°4, pp. 419-427.
- RIXEN C., STÖCKLI V. et WIPF S. (2002)** - *Kunstschnee und Schneezusätze: Eigenschaften und Wirkungen auf Vegetation und Boden in alpinen Skigebieten*, SLF Davos, 11 pp.
- RIXEN C., STOECKLI V. et AMMANN W. (2003)** - *Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes ? A review*. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics n°5, pp. 219-230.
- ROCHER-REVOL M. et FOURRAT J. M. (1976)** - *Approche d'une étude économique sur la neige de culture*. Aménagement et Montagne n°6, pp. 54-56.
- ROCHER-REVOL M. et FOURRAT J. M. (1976)** - *La neige de culture*. Aménagement et Montagne n°5, pp. 52-56.
- ROLLAND V. (2006)** - *Rapport au Premier Ministre Dominique DE VILLEPIN - Attractivité des stations de sports d'hiver : reconquête des clientèles et compétitivité internationale*, 124 pp.
- ROSENZWEIG L. (2010)** - *Oui aux marchands de canons ! Les verts polluent l'or blanc*. Causeur, accès au 01/02/2010, <http://www.causeur.fr/oui-aux-marchands-de-canons,3639>
- ROTH-PUYO C. (2009)** - *L'avenir des Pyrénées, c'est chaud...* LaDepeche.fr, 2 pp., accès au 16/11/2009, <http://www.ladepeche.fr>
- ROUSSET N. (2006)** - *Économie du changement climatique : quelles stratégies pour les systèmes alpins ?* In: Le changement climatique dans le sillon alpin – impacts et enjeux, St Hilaire du Touvet, p 36.
- SACAREAU (2003)** - *La montagne, une approche géographique*.
- SADDIER M. (2008)** - *Allocution de Martial SADDIER, député de la Haute-Savoie, Président de l'ANEM*. In: 24e congrès de l'Association nationale des élus de la montagne, 22-24/10/2008, Saint-Flour - Cantal, p 16.
- SALLÉ H. (2008)** - *DEPARTEMENT DE L'ISERE Mairie de Chamrousse Agrandissement de la retenue collinéaire de la Grenouillère Enquête publique (du 12 Novembre au 30 Novembre 2007) Rapport d'Enquête*, 4 pp.
- SARGENTI M. (2007)** - *De la neige même s'il fait 20 degrés !*

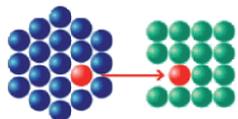
-
- SAULNIER G.-M. (1996)** - *Information pédologique spatialisée et traitements topographiques améliorés dans la modélisation hydrologique par TopModel*. Doctorat de Mécanique des Milieux Géophysiques et Environnement, Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble, 275 pp.
- SAVOIE MONT BLANC TOURISME (2008)** - *Dossier de presse - Développement durable - Hiver 2008*, 4 pp.
- SCHÄDLER B. (2009)** - *Climate Change – will we have still enough water for (hydropower) use ?*
In: Conférence internationale “Nos montagnes perdent leurs glaciers - Que faire ?”, 24/09/2009, Crans-Montana, Suisse.
- SCHOENEICH P. et DE JONG C. (2008)** - *Evolution de l’environnement alpin, quel environnement alpin demain ? pour quelles activités ?* Revue de Géographie Alpine 96 n°4, pp. 53-64.
- SEATM (1996)** - *Neige de culture - Guide d’aide à la décision*. Les dossiers du SEATM, 118 pages.
- SEATM (2003)** - *Bilan des investissements dans les domaines skiables français en 2003*.
- SEATM et CEMAGREEF (1995)** - *L’impact des installations de neige de culture sur l’environnement*. Les dossiers du SEATM, 119 pages.
- SELINGO J. (2001)** - *Machines let resorts please skiers when nature won’t*. New York Times 08/02/2001, 2 pp., accès au 16/02/2009, <http://www.nytimes.com/2001/02/08/technology/machines-let-resorts-please-skiers-when-nature-won-t.html>
- SÉNAT (2002)** - *Audition de M. Jean-Charles Faraudo, président du syndicat national des téléphériques de France (SNTF) accompagné de M. Jean-Charles Simiand, délégué général (29 mai 2002)*, accès au 14/04/2009
- SERRAZ G. (2010)** - *Les sports d’hiver font mieux que résister à la crise*. Les échos, p 6.
- SERRE F. (2001)** - *La neige dans le Massif Central : une contrainte pour l’aménagement du territoire ?* Collection «Nature et Sociétés», Presses Universitaires Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 250 pages.
- SHEA E. J. (1999)** - *Calibration of Snowmaking Equipment for Efficient Use on Virginia’s Smart Road*. Master of Science, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 116 pp.
- SHIKLOMANOV I. (2000)** - *Prospective de l’eau à l’horizon 2025*. In: Les clés du XXIe siècle, 119-123 pp.
- SKI L. (1963)** - *Le Snowmaker*.
- SNOWATHOME** - *Wet-bulb temperature chart*.
- 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 pp.
- SOCIÉTÉ D’ECONOMIE ALPESTRE 74 (2009)** - *L’eau en montagne - Rapport d’activité 2008*, 50 pp.
- SOCIÉTÉ D’ECONOMIE ALPESTRE 74 (2010)** - *Cahier de bonnes pratiques «culture de la neige» - version de travail*, Annecy, 48 pp.
- SOCIÉTÉ D’ECONOMIE ALPESTRE 74 (2010)** - *Concilier la «culture de la neige» avec les milieux et les autres usages de l’eau en montagne*, 1 pp.

- SOCIÉTÉ DES 3 VALLÉES** - *Alimentation en eau du réseau IEA de Courchevel & renforcement de la ressource en eau potable.*
- SOCIÉTÉ D'EXPLOITATION DE VILLARD DE LANS - CORRENÇON EN VERCORS (2004)** - *Bilan 2004 des activités de la Société d'Exploitation de Villard de Lans - Corrençon en Vercors*, 32 pp.
- SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE (2007)** - *Variations climatiques et hydrologie Le climat, ses variations séculaires et ses changements pronostiqués : quel impact sur l'hydrologie (les ressources en eau et les événements rares, étiages – crues)*, 5 pp.
- SOGREAH (2006)** - *Etude des ressources en eau à l'échelle du Parc du Vercors*, 146 pp.
- STUDER E. (2007)** - *Les canons à neige assécheraient les Alpes.*
- SYNDICAT NATIONAL DES TÉLÉPHÉRIQUES DE FRANCE 74 et DIRECTION DÉPARTEMENTALE DE L'ÉQUIPEMENT 74 (2007)** - *La neige de culture en Haute-Savoie, ses enjeux.* In: Présentation au Conseil Général 74, 08/06/07, Annecy, p 24.
- SYNDICAT NATIONAL DES TÉLÉPHÉRIQUES DE FRANCE 74 et DIRECTION DÉPARTEMENTALE DE L'ÉQUIPEMENT 74 (2008)** - *Domaines skiables de Haute-Savoie, gestion de la ressource en eau et neige de culture : état des lieux, problématiques et projets ; éléments d'analyse*, Annecy, 41 pp.
- SYNDICAT NATIONAL DES TÉLÉPHÉRIQUES DE FRANCE 74 et DIRECTION DÉPARTEMENTALE DE L'ÉQUIPEMENT 74 (2008)** - *La gestion de la ressource en eau et la neige de culture dans les domaines skiables de Haute-Savoie*, Annecy, 22 pp.
- SYNDICAT NATIONAL DES TÉLÉPHÉRIQUES DE FRANCE (2002)** - *Guide pour l'aménagement des domaines skiables*, 57 pp.
- SYNDICAT NATIONAL DES TÉLÉPHÉRIQUES DE FRANCE (2002)** - *Neige de culture : le savoir et la production*, Meylan, 138 pp.
- SYNDICAT NATIONAL DES TÉLÉPHÉRIQUES DE FRANCE (2006)** - *Comment l'eau devient cristal le temps d'un hiver ?*, 8 pp.
- SYNDICAT NATIONAL DES TÉLÉPHÉRIQUES DE FRANCE (2006)** - *Guide pour l'aménagement des domaines skiables - version 2*, 57 pp.
- SYNDICAT NATIONAL DES TÉLÉPHÉRIQUES DE FRANCE (2007)** - *Charte - Développement durable - Domaines skiables*, 4 pp.
- SYNDICAT NATIONAL DES TÉLÉPHÉRIQUES DE FRANCE (2007)** - *Recueil d'indicateurs et analyses 2007*, Meylan, 31 pp.
- SYNDICAT NATIONAL DES TÉLÉPHÉRIQUES DE FRANCE (2008)** - *Communiqué de presse : les talents insoupçonnés de la neige de culture*, Meylan, 2 pp.
- SYNDICAT NATIONAL DES TÉLÉPHÉRIQUES DE FRANCE (2008)** - *Dossier de presse : les talents insoupçonnés de la neige de culture*, Meylan, 12 pp.
- SYNDICAT NATIONAL DES TÉLÉPHÉRIQUES DE FRANCE (2008)** - *Dossier demain : miser sur le Service Client, comment relancer la fréquentation des domaines skiables ?* Domaines skiables de France n°20, pp. 3-9.
- SYNDICAT NATIONAL DES TÉLÉPHÉRIQUES DE FRANCE (2008)** - *Recueil d'indicateurs et analyses 2008*, Meylan, 24 pp.

-
- SYNDICAT NATIONAL DES TÉLÉPHÉRIQUES DE FRANCE (2008)** - *Saison 2007/08 : une belle saison pour les Alpes*. Domaines skiabiles de France n°19, pp. 16-17.
- SYNDICAT NATIONAL DES TÉLÉPHÉRIQUES DE FRANCE (2009)** - *Les domaines skiabiles face au changement climatique*. Domaines skiabiles de France n°21, pp. 3-5.
- SYNDICAT NATIONAL DES TÉLÉPHÉRIQUES DE FRANCE (2009)** - *Neige de culture : comment l'eau devient cristal le temps d'un hiver ?*, 9 pp.
- TABEAUD M. et DELAPORTE B. (2005)** - *Manteau et tourisme hivernal dans les alpes : Les savoyards et l'or blanc*. Perceptionclimatnet, 8 pp., accès au 28/10/2008, <http://www.perceptionclimat.net/info.php?id=3>
- TEICH M., LARDELLI C., BEBI P., et al. (2007)** - *Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneigung*. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf, 169 pp.
- TESSEL M. (2010)** - *Les conséquences économiques du réchauffement climatique commencent à se faire sentir : IDE lance la vente de canons à neige à l'industrie mondiale du ski*, accès au 19/07/2010, <http://www.prnewswire.co.uk/cgi/news/release?id=232520>
- THOMAS A. (1977)** - *La neige et son évolution en moyenne montagne*. Revue de Géographie Alpine 65 n°1, pp. 91-119.
- TIETENBERG T. et LEWIS L. (2008)** - *Environmental and natural resource economics*.
- TONKOVIC Z. et JEFFCOAT S. (2002)** - *Wastewater reclamation for use in snow-making within an alpine resort in Australia – resource rather than waste*. Water Science and Technology 46 n°6-7, pp. 297-302.
- TÖRN A., TOLVANEN A., NOROKORPI Y., et al. - Comparing the impacts of hiking, skiing and horse riding on trail and vegetation in different types of forest. Journal of Environmental Management In Press, Corrected Proof.**
- TSCHERTER C. et CANTALOUPI D. (2007)** - *Les karsts d'altitude, victimes silencieuses de la ruée vers l'or blanc*. Spelunca n°105, pp. 10-14.
- USERLEARN.CH (2006)** - *Schneekanonen zaubern den Winter herbei*, 4 pp., accès au 20/11/2008, http://www.trussardi.ch/07_spez_strom-online/7alles.pdf
- VAIJA S. et VASSIEUX L. (2009)** - *Rapport sur les impacts environnementaux Réchauffement climatique : Pourra-t-on encore faire du ski en 2050 ?* Mastère Spécialisé Eco-Conception et Management Environnemental, ENSAM Institut de Chambéry, Chambéry, 17 pp.
- VALENTIN G. (2004)** - *Un SIG pour la gestion des domaines skiabiles*. Mémoire Ingénieur, Ecole Supérieure des Géomètres et topographes, Le Mans, 90 pp.
- VALETON A. (2006)** - *Inventaire des retenues d'altitude des stations de ski haut savoyardes*. Master 2, Université de Savoie, Chambéry, 90 pp.
- VANHAM D., TOFFOLS D., FLEISCHHACKER E., et al. (2007)** - *Water demand for snowmaking under climate change conditions in an alpine environment*. In: Managing Alpine Future, Innsbruck, pp 11-18.
- VANHAM D., TOFFOL S. D., FLEISCHHACKER E., et al. (2009)** - *Water demand for snowmaking under climate change conditions in an alpine environment*. Water Science & Technology 59 n°9, pp. 1793–1801.

- VANONI F. (2005)** - *ENQUETE PUBLIQUE concernant La demande d'Autorisation, au titre de la loi sur l'eau, de l'aménagement du Lac de la Grenouillère Demande présentée par la mairie de Chamrousse (38) l'aménagement se situant sur le territoire de la commune RAPPORT DU COMMISSAIRE - ENQUETEUR*, 4 pp.
- VETTERLI W.** - *Le canon à neige est un placebo*. Pays de Rhône Alpes, pp. 17-19.
- VEYRET Y. (2001)** - *Les montagnes, discours et enjeux géographique*.
- VEYRET Y. et VIGNEAU J. P. (2002)** - *Géographie physique, Milieux et environnement dans le système terre*. Armand Colin, Paris, 368 pages.
- VIEILLARD-COFFRE S. (2001)** - *Gestion de l'eau et bassin versant : de l'évidente simplicité d'un découpage naturel à sa complexe mise en pratique*. Herodote.
- VITALI D. (2003)** - *Le bassin versant comme territoire des possibles*. Méditerranée, revue géographique des pays méditerranéens.
- VIVIAN R. (2001)** - *L'eau dans tous ses états (eau, neige, glace). Cent ans de recherches géographiques dans les Alpes françaises*. Revue de Géographie Alpine 89 n°4, pp. 199-210.
- VIVIEN F.-D. (2009)** - *Pour une économie patrimoniale des ressources naturelles et de l'environnement*. Monde en développement 2009/01 n°145, pp. 17-28.
- VIVIROLI D., DÜRR H. H., MESSERLI B., et al. (2007)** - *Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance*. Water Resource Research n°43, p 13.
- VLES V. (1996)** - *Les stations touristiques*, Editions Économica - Collection Poche Economie des services, 111 p.
- VLES V. (2008)** - *Tourisme durable en montagne - Entre expérimentations émergentes et difficultés concrètes*. In: Charte du développement durable en station de montagne - Un an après, état des lieux, 29/11/2008, Chambéry, p 25.
- VLES V. (2008)** - *Le projet de station touristique*, Editions PUB (Presses universitaires de Bordeaux), 579 p.
- WALLEZ P. (2007)** - *La riposte des stations sud alpines au réchauffement*. La Provence, accès au 30/12/2007
- WALTER C. (1980)** - *The First Artificial Snow Ever Made*, accès au, <http://archive.yankeemagazine.com/article/first-artificial-snow-ever-made>
- WIEGANDT E. (2008)** - *Mountains : sources of water, sources of knowledge*, 382 p.
- WILDERNESS M. (2006)** - *Eau secours !* 18/02/2006, accès au 11/02/2010, <http://www.mountainwilderness.fr/amenagements/actus/416-eau-secours-.html>
- WILDERNESS M. (2009)** - *Un rapport sur la neige artificielle met l'industrie du ski sur la sellette*, 3 pp., accès au 16/11/2009, <http://www.mountainwilderness.fr/amenagements/actus/2562-un-rappor>
- WIPF S., RIXEN C., FISCHER M., et al. (2005)** - *Effects of ski piste preparation on alpine vegetation*. Journal of Applied Ecology n°42, pp. 306–316.
- YVRANDE P., et al. (2008)** - *Evolution du manteau neigeux en Savoie, composantes et influences*, Météo France, 50 p.

Nouveau chapitre de la thèse



Association Bernard Gregory
www.abg.asso.fr



*Valorisation des compétences des docteurs
« un nouveau chapitre de la thèse »[®]*

Pierre PACCARD



Ecole Doctorale
SISEO



UNIVERSITE
CHAMBERY
ANNECY SAVOIE



Mentor : Jean-Philippe Arié

**Gestion de l'eau
pour la production de neige
en station de sports d'hiver**



Date probable de présentation orale du « NCT » :

septembre 2010

Sujet académique de la thèse :

Pour une gestion durable de l'eau et des territoires de montagne :
le cas de la production de neige en station de sports d'hiver

Nom des directeurs de thèse :

Alain MARNEZY et Jean-Jacques DELANNOY

Date probable de soutenance de la thèse :

novembre 2010

Photos de couverture :



Remplissage d'une retenue d'altitude destinée à l'alimentation en eau d'un réseau de production de neige sur le domaine skiable de Villard-de-Lans (Isère).

(Cliché : P. Paccard, le 30 juin 2009)



Production de neige de début de saison sur le domaine skiable de Villard-de-Lans (Isère).

(Cliché : P. Paccard, le 15 déc. 2009)

Remerciements

Je tiens à remercier ici tout particulièrement Jean-Philippe Arié, mon « mentor » dans cet exercice du Nouveau Chapitre de la Thèse (NCT), pour son accompagnement dynamique tout au long de notre parcours. C'est avec beaucoup de plaisir que j'ai ainsi pu découvrir d'autres facettes, souvent cachées, de mon travail de thèse mais également parfois de ma propre personnalité.

De la même façon, je remercie mes collègues doctorantes du laboratoire, Justine Pasquier et Rozenn Lopp, avec qui j'ai partagé l'expérience du Nouveau Chapitre de la Thèse et avec qui j'ai pu échanger au fur et à mesure de nos rendez-vous.

Magalie Rossi et Emilie Thiébaud, désormais Docteurs en Géologie, m'avaient fait part de leurs impressions positives du Nouveau Chapitre de la Thèse. Elles ont ainsi contribué au choix de m'engager dans ce parcours et je les en remercie.

Enfin, ma reconnaissance s'adresse également au Collège Doctoral de l'Université de Savoie pour m'avoir permis de suivre le parcours du NCT, en particulier Dominique Gasquet, correspondant à l'Université de Savoie de l'Association Bernard Grégory (ABG) qui m'a encouragé dans cette voie.

Sommaire

Introduction	3
1. Cadre général, enjeux et présentation du projet de recherche.....	4
1.1. Présentation succincte des enjeux et du thème de la recherche	4
1.1.1. Court résumé du thème de la recherche	4
1.1.2. Enjeux scientifiques, économiques, techniques et sociétaux de la recherche.....	4
1.2. Contexte de la recherche	5
1.2.1. Place de la recherche dans le projet global du laboratoire.....	5
1.2.2. Situation au regard de la communauté scientifique internationale	6
1.2.3. Compétences scientifiques, techniques et humaines mobilisées pour le projet.....	6
1.3. Implications personnelles dans la construction du projet de recherche	6
1.2.1. La genèse du projet.....	6
1.2.2. Le choix de préparer un doctorat.....	6
1.2.3. Les raisons du choix du sujet proposé	7
1.2.4. Mon rôle dans la définition et la programmation du projet	7
2. Déroulement, gestion et estimation du coût du projet.....	9
2.1. Préparation et cadrage du projet.....	9
2.1.1. Evaluation des facteurs de succès et de risques, stratégies de maîtrise des risques envisagées.....	9
2.1.2. Choix des terrains d'étude partenaires	10
2.1.3. Mobilisation de financements autres que l'allocation APS / Agence de l'Eau.....	11
2.1.4. Gestion des aspects éthiques et de confidentialité	11
2.2. Conduite du projet.....	12
2.2.1. Principales étapes.....	12
2.2.2. Gestion des relations avec les partenaires (scientifiques, socio-économiques...)	13
2.2.3. Problèmes rencontrés et solutions apportées	13
2.3. Estimation et prise en charge du coût du projet	14
3. Identification, hiérarchisation et illustration des compétences mises en œuvre	15
3.1. Domaines d'expertise du doctorant.....	15
3.2. Compétences scientifiques et techniques	16
3.3. Compétences méthodologiques, en conduite de projet et communication.....	16
3.4. Compétences pédagogiques et aptitudes à travailler en équipe	17
3.5. Savoir-faire administratifs, organisationnels et linguistiques	18
3.6. Auto-analyse des qualités personnelles.....	18
3.7. Construction d'un réseau professionnel personnel.....	18
4. Retombées, notamment en termes de pistes professionnelles identifiées.....	19
4.1. Résultats, impact de la thèse	19
4.1.1. Pour le laboratoire.....	19
4.1.2. Pour les partenaires financiers	19
4.1.3. Pour la recherche	19
4.1.4. Pour la société.....	20
4.1.5. Pour moi-même.....	20
4.2. Identification de pistes professionnelles	21
Conclusion	23

Introduction

Mes recherches en géographie portent sur la gestion de l'eau en territoire de montagne. L'objet est de qualifier les modes de gestion actuels de cette ressource naturelle : permettent-ils de satisfaire l'ensemble de nos utilisations de l'eau (tourisme, eau potable, hydroélectricité...) tout en préservant les milieux naturels ? Dans ce cadre, mon attention se focalise sur un usage particulier de l'eau : la production de neige artificielle en stations de sports d'hiver. Méthodologiquement, cette pratique se révèle être particulièrement intéressante à étudier puisqu'au cœur d'enjeux forts en matière de protection de l'environnement, des milieux aquatiques en particulier, mais également en termes économiques. Si la neige artificielle (ou neige de culture) a désormais fait couler beaucoup d'eau, elle a également, au titre de ces enjeux, fait couler beaucoup d'encre puisque défrayant régulièrement la chronique dans nos médias et notre société.

Désormais proche de la conclusion de mes recherches sur ce sujet, j'ai souhaité dès la fin de l'année 2009 bénéficier du dispositif du « Nouveau Chapitre de la Thèse » (NCT). Il s'agissait essentiellement pour moi de pouvoir prendre du recul sur l'ensemble du travail réalisé jusqu'alors et de préparer mon avenir professionnel. Je souhaitais effectivement acquérir dans le cadre de cet exercice une méthodologie me permettant de formaliser mes compétences et d'identifier les faiblesses / atouts de celles-ci (vœu formulé dans mon dossier de candidature au Nouveau Chapitre de la Thèse).

Dans cet objectif, la difficulté résidait jusqu'alors dans ma capacité à pouvoir mettre en "mots", de façon autonome, des compétences parfois "implicites", peut-être parfois ignorées. Identifier clairement et organiser de façon cohérente ces compétences au regard des attentes du marché de l'emploi constituaient la finalité de mon questionnement.

Selon les mots mêmes de l'Association Bernard Grégory, l'objectif du Nouveau Chapitre de la Thèse « *est d'aider les futurs docteurs à faire le point sur les compétences et savoir-faire professionnels développés au cours de la préparation de leur doctorat et à se les approprier* » (extrait d'un document de présentation du NCT). En d'autres termes, il s'agit de pouvoir valoriser la préparation du doctorat comme une première expérience professionnelle de gestion de projet.

Cette valorisation souhaitée passe par la satisfaction de quatre points principaux : « [1] *savoir présenter sa recherche et ses compétences en langage non académique* ; [2] *identifier l'ensemble des compétences, y compris non scientifiques, mises en œuvre au cours du doctorat* ; [3] *définir les pistes professionnelles qui en découlent et se préparer à la rédaction de CV adaptés* ; [4] *aborder les futurs entretiens d'embauche avec confiance* ».

Cet exercice me permettra d'expliquer des éléments de contexte de mon projet de recherche, n'ayant pas leur place dans un document présentant une démarche et des résultats scientifiques, mais néanmoins fondamentaux quant à la compréhension de la genèse de mon parcours doctoral, les motivations et la conduite de celui-ci. Le présent document s'adresse ainsi à toutes les personnes désireuses de comprendre ma démarche, très personnelle, et les perspectives de celle-ci : employeurs potentiels, contacts professionnels, collègues, futurs doctorants, étudiants, voire pourquoi pas, parents, amis et proches.

Mon propos s'organisera en quatre parties principales, selon les prérogatives établies par l'Association Bernard Grégory. Je m'attacherai dans un premier temps à présenter mon projet de recherche dans sa globalité, en expliquant le cadre général et les enjeux de celui-ci (partie 1). Ceci me permettra, dans un second temps, de réaliser l'analyse critique du déroulement de ma thèse (partie 2) en considérant celle-ci comme une véritable expérience professionnelle de gestion de projet. J'estimerai à cette occasion le coût global de ce projet. J'identifierai ensuite les différents acquis professionnels et compétences personnelles qui ont été développés pendant la thèse (partie 3). L'affirmation et l'organisation de ces compétences seront illustrées par des exemples concrets issus de mon expérience. Enfin, les perspectives de valorisation de mes aptitudes quant aux pistes professionnelles envisagées à court ou moyen terme seront expliquées dans une ultime section (partie 4).

1. Cadre général, enjeux et présentation du projet de recherche

1.1. Présentation succincte des enjeux et du thème de la recherche

1.1.1. Court résumé du thème de la recherche

Les montagnes, et plus particulièrement les Alpes, constituent un espace où le problème de l'eau se posait jusqu'il y a peu de temps avec moins d'acuité qu'ailleurs. Si les ressources en eau ont permis et permettent de supporter plusieurs usages tout en approvisionnant les espaces situés en aval, l'accroissement de la demande, les effets possibles du changement climatique et l'apparition de nouveaux usages invitent à s'interroger sur la disponibilité future de cette ressource.

Dans le cadre de ma recherche doctorale, je m'intéresse à l'usage de l'eau pour la production de neige sur les domaines skiables. La plupart des stations de sports d'hiver sont aujourd'hui équipées d'installations permettant cette production. Dernière née de nos usages de l'eau en montagne, la neige de culture permet aux opérateurs de domaines skiables d'améliorer l'offre de ski proposée et de sécuriser la pratique du ski en cas d'aléas climatiques. Les volumes d'eau mobilisés à cet effet n'ont cessé de croître depuis les années 1980. Dès lors, la question de la gestion de la ressource en eau se pose, de manière à intégrer au mieux cet usage de l'eau au regard de nos autres utilisations de la ressource et du respect des milieux naturels. La problématique de mon sujet d'étude peut ainsi être formulée de la façon suivante : **l'usage de l'eau pour la production de neige peut-il s'insérer dans un modèle de gestion intégrée de la ressource en eau ?** En corolaire, il s'agit d'appréhender les outils et méthodes qui permettraient cette insertion.

1.1.2. Enjeux scientifiques, économiques, techniques et sociétaux de la recherche

Enjeux scientifiques

Les enjeux scientifiques de ma recherche se résument en deux points :

- d'un côté, participer à l'amélioration des connaissances sur la pratique de l'enneigement artificiel, en particulier sur les impacts de la production de neige sur l'eau en montagne ;
- de l'autre, contribuer à la réflexion sur les conséquences du changement climatique en montagne, plus précisément sur les conséquences du réchauffement climatique sur la ressource neige en station de sports d'hiver, et sur la pertinence des stratégies aujourd'hui mises en œuvre pour y faire face.

Enjeux économiques

La France détient « le premier parc mondial de stations de sports d'hiver avec un domaine skiable global représentant 28% de la surface européenne (20% pour la Suisse, 19% pour l'Autriche). L'économie montagnarde se révèle largement structurée par le tourisme, notamment hivernal. L'offre touristique représente approximativement 1,4 millions de lits marchands, pour 357 stations de ski. Les stations de ski françaises regroupent 4 000 remontées mécaniques pour un chiffre d'affaire de 0.5 milliards d'€ (ODIT, 2007). L'omniprésence du tourisme hivernal, fondée sur les stations de sport d'hiver, est encore plus marquée pour le massif des Alpes, qui concentre l'essentiel du parc de stations françaises... » (Marcelpoil et Boudières, 2008, p. 3).

Mon objet d'étude, la neige de culture, est un outil « clef » au service de cette forte économie. On comprend alors les enjeux économiques importants sous-jacents à mes recherches. La remise en cause de la pertinence de la pratique de l'enneigement artificiel, et sa traduction concrète, s'il le fallait, en termes de choix d'aménagement, auraient certainement des conséquences directes sur l'économie des sports d'hiver. Qu'il s'agisse d'une politique de soutien à ces infrastructures ou, au contraire, d'un encouragement à la mutation du modèle de développement touristique tel qu'il est aujourd'hui proposé, c'est l'économie des territoires supports de cette activité qui est en jeu (compétitivité). Indirectement, l'ensemble des professions représentées en stations est alors concerné (hôteliers, restaurateurs, loueurs... quant à leur volume d'activité, pouvoir d'achat, etc.).

Enjeux sociétaux

La pratique de l'enneigement artificiel reste relativement contestée dans notre société, en particulier pour des motifs liés à la protection de l'environnement. Cette contestation (parfois même ces conflits) est pour partie parfaitement argumentée et donc légitime. Néanmoins, une vraisemblable méconnaissance du sujet est parfois à l'origine de fausses représentations, d'idées reçues, voire de polémiques inutiles. Par là même, l'enjeu de ma recherche est d'objectiver l'ensemble des éléments constituant la base du débat sociétal par des observations factuelles de terrain. Il s'agit ainsi d'éclaircir les zones d'ombre du sujet et d'apprécier la légitimité des questionnements pour une définition, ou une redéfinition, des véritables enjeux en question.

Enjeux techniques et réglementaires

Les impacts de l'enneigement artificiel sur les milieux de montagne, en particulier aquatiques, restent relativement peu connus car difficiles à caractériser. Mes recherches participent à l'amélioration de ces connaissances.

Du point de vue de l'environnement, les installations d'enneigement sont soumises à des procédures d'autorisation réglementaires, notamment l'obligation d'une étude d'impact d'avant projet. Pour évaluer ces impacts, il est envisageable qu'une partie de ma méthodologie et de mes résultats soit reprise par les bureaux d'étude en charge de ces études. L'enjeu technique de ma recherche réside ainsi dans la proposition de points méthodologiques pour la caractérisation des impacts de la production de neige sur les milieux montagnards.

1.2. Contexte de la recherche

1.2.1. Place de la recherche dans le projet global du laboratoire

Mon projet de recherche est co-financé par l'Assemblée de Savoie (Etablissement Public de coopération interdépartementale entre les Conseils Généraux de Savoie et Haute-Savoie) et l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse (Etablissement Public Administratif de l'État, chargé d'initier une utilisation rationnelle des ressources en eau).

La structure d'accueil de cette recherche est le laboratoire Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne (EDYTEM), Unité Mixte de Recherche (UMR) du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et de l'Université de Savoie. La particularité du laboratoire EDYTEM est d'être interdisciplinaire dans les recherches portant sur les environnements de montagne. Il s'agit d'une unité croisant les apports et méthodes de la géologie, de l'hydrogéologie, de la géographie et de l'économie pour traiter les dynamiques et évolutions passées, actuelles et à venir des milieux et territoires de la montagne.

Dans ce cadre, ma recherche s'inscrit au sein de l'équipe 3 du laboratoire EDYTEM, essentiellement composée de géographes et d'économistes (sciences humaines et sociales) dont les questionnements portent sur les ressources patrimoniales, les vulnérabilités et la recomposition des territoires de montagne. Les objectifs de l'équipe 3 sont les suivants :

- définir des critères d'évaluation patrimoniale,
- évaluer les modes d'appropriation des patrimoines de montagne,
- penser des modes de gestion durable,
- évaluer les vulnérabilités et fragilités territoriales,
- étudier les recompositions des territoires.

Ma réflexion, quelque peu interdisciplinaire, sur la neige de culture et ses interrelations avec les environnements de montagne (naturels voire économiques) s'inscrit donc parfaitement dans le cadre des méthodologies et thématiques portées à la fois par le laboratoire EDYTEM et par son équipe 3.

1.2.2. Situation au regard de la communauté scientifique internationale

La communauté scientifique travaillant sur la pratique de l'enneigement artificiel reste relativement modeste. En Suisse, certains chercheurs de l'Institut pour l'étude de la neige et des avalanches de Davos (SLF) s'intéressent néanmoins à cette question depuis plusieurs années. Compte tenu de la relative discrétion des recherches conduites sur la neige de culture, il est indiscutable que ma recherche n'a pas souffert d'une concurrence exacerbée vis-à-vis de la communauté scientifique nationale ou internationale travaillant sur ce sujet. Néanmoins, les méthodes développées, propres au champ disciplinaires de la géographie (enquêtes, approche systémique, changement d'échelle... reformulés sous forme de croquis, carte, schéma...), ont été partagées et discutées avec d'autres collègues dès que l'occasion se présentait (colloques, séminaires, rencontres formelles ou informelles...).

1.2.3. Compétences scientifiques, techniques et humaines mobilisées pour le projet

Les travaux entrepris ont mobilisé une partie du temps et des compétences de deux Professeurs des Université pour la co-direction de ceux-ci : A. Marnézy, Directeur du département de Géographie de l'Université de Savoie et J.-J. Delannoy, Directeur du laboratoire EDYTEM. De façon complémentaire, un comité ouvert à des personnalités extérieures à l'Université a également accompagné le déroulement de l'étude (une réunion tenue par an). Cet ensemble m'a permis de bénéficier de relectures avisées, recadrages éventuels ou conseils le cas échéant.

Cette direction mise à part, seuls quelques besoins occasionnels en termes de production cartographique ont mobilisé, sur des temps très courts, le personnel compétent du laboratoire (en Systèmes d'Information Géographique en particulier).

De façon continue mais plutôt diffuse, l'ensemble des compétences scientifiques des membres de l'équipe 3 a été sollicité tout au long de mon projet de recherche. Cela a également été vrai, en cas de nécessité, pour les compétences développées par les autres équipes du laboratoire, en particulier celles de l'équipe 2 dont les connaissances en hydrologie de certains de ses membres ont parfois été sollicitées.

1.3. Implications personnelles dans la construction du projet de recherche

1.2.1. La genèse du projet

Après un baccalauréat scientifique préparé dans un lycée parisien, j'ai immédiatement cherché à me rapprocher du monde de l'environnement, et de la montagne en particulier. Ce parcours, à vocation professionnalisant, commence par une école forestière (BTS « Gestion Forestière », Ecole des Barres, Loiret, région Centre), se poursuit par une licence et maîtrise appliquées aux métiers de l'environnement en montagne (IUP « Métiers de la Montagne, Université Aix Marseille II, Hautes-Alpes, région PACA) et se termine par un master de sciences appliquées à la montagne (Université de Savoie, Savoie, région Rhône-Alpes) sous la direction du Professeur A. Marnézy. Ce cheminement se caractérise donc, géographiquement parlant, par la prise d'une direction Nord-Ouest / Sud-Est sur quelques centaines de kilomètres, couplée à une montée en altitude et ponctuée de trois étapes principales : ville, forêt, montagne¹.

1.2.2. Le choix de préparer un doctorat

Les principales raisons, non hiérarchisées, de mon choix de **préparer un doctorat** furent initialement les suivantes :

- satisfaire un désir de longue date ;

¹ Un Brevet d'Etat d'éducateur sportif d'Accompagnateur en Moyenne Montagne obtenu en parallèle de ma formation académique complète ce parcours. Trois raisons principales ont motivé son obtention : passion pour la montagne, volonté d'obtenir de nouvelles compétences en vue d'une future recherche d'emploi, désir de compléter une formation académique universitaire centrée sur les montagnes par une véritable approche pratique et « de terrain », au sens premier du terme.

- continuer à évoluer dans un cadre universitaire, propice au développement intellectuel ;
- obtenir un diplôme d'excellence pour garantir ma réussite professionnelle ;
- relever le défi du doctorat, expérience longue, solitaire et exigeante ;
- me prouver mes capacités à réussir cette expérience ;
- satisfaire ma curiosité, explorer toujours plus de sphères de connaissances, continuer d'apprendre ;
- mettre toutes les chances de mon côté pour une intégration professionnelle sans encombres ;
- apprendre ce qu'est « la Recherche » ;
- tester ma vocation à la recherche et à l'enseignement ;
- ne pas se confronter immédiatement à une recherche d'emploi (non pas par peur mais par désir de continuer à me former)...

Cette liste, certainement non-exhaustive, traduit somme toute un fort désir de poursuivre mes apprentissages pour aborder, dans un second temps, la vie professionnelle en toute sérénité.

1.2.3. Les raisons du choix du sujet proposé

Les raisons particulières qui m'ont poussé à **travailler sur le sujet proposé** peuvent être résumées par les points suivants :

- **travailler sur un sujet d'actualité et appliqué**, permettant de valoriser mes compétences pluridisciplinaires acquises tout au long de ma formation (en particulier dans les domaines du tourisme et de l'environnement) ;
- **poursuivre ma spécialisation sur l'étude des milieux montagnards et améliorer mes connaissances en la matière** ;
- **me permettre d'assouvir ma passion pour les montagnes** ;
- collaborer avec mes enseignants de Master 2, dont j'étais et reste admiratif ;
- saisir l'opportunité de construire un « tremplin » vers le monde professionnel ;
- rester à l'Université de Savoie, pour laquelle mon attachement est grand ;
- travailler dans une unité du CNRS, le laboratoire EDYTEM, gage d'excellence scientifique ;
- allier vie professionnelle et personnelle en territoire de montagne ;
- échanger avec les chercheurs du laboratoire EDYTEM dont j'ai côtoyé les recherches lors de mon Master 2 ;
- investiguer l'univers des stations de sports d'hiver, objet géographique passionnant...

Finalement, trois points principaux peuvent expliquer ma motivation à travailler sur le sujet proposé : les caractéristiques intrinsèques du sujet (sujet appliqué, d'actualité, traitant des stations de sports d'hiver...), ma volonté de travailler à l'Université de Savoie (au laboratoire EDYTEM en particulier) et ma passion pour les espaces montagnards.

1.2.4. Mon rôle dans la définition et la programmation du projet

Définition du sujet et premiers financements

A l'issu de mon Master 2, je sollicite un rendez-vous avec A. Marnézy, Professeur principal de cette formation, pour évoquer la possibilité (ou non) de poursuivre mes études par une thèse de doctorat (rentrée universitaire 2006). Celui-ci me propose un sujet, à propos de la gestion de l'eau pour la production de neige en stations de sports d'hiver, mais me met en garde quant aux difficultés de réaliser une thèse sans financement. Aucun support n'était effectivement prévu pour cette recherche. Malgré cette mise en garde, j'accepte volontiers cette proposition et m'inscrit en doctorat de géographie sous la direction d'A. Marnézy, reléguant (naïvement...) la question du financement au second plan.

Par chance, un programme de recherche INTERREG, portant sur la gestion de l'eau en montagne, est en cours au même moment à l'Université de Savoie. Supervisé par l'Institut de la Montagne², le laboratoire

² Plateforme de l'Université de Savoie, dont l'objectif principal est de rapprocher l'univers de la recherche et le monde socio-économique portant sur l'ensemble des thématiques « montagne ».

EDYTEM est pour partie impliqué dans ce projet. Dans le cadre de celui-ci, une succession de Contrats à Durée Déterminée (CDD) m'est alors proposée³.

Dans un premier temps, il s'agit pour moi d'une véritable opportunité de réaliser des recherches sur une thématique proche de mon sujet de thèse, tout en subvenant financièrement à mes besoins. Cependant, le temps consacré à honorer les missions prévues par mes contrats ne me permet pas d'avancer sur mes propres recherches. Il me permet tout de même d'obtenir de nouvelles techniques, un cadre général et une bibliographie spécialisée.

Obtention d'une allocation de recherche Assemblée des Pays de Savoie / Agence de l'Eau Rhône Méditerranée & Corse

Au bout d'un an passé à travailler dans le cadre de ce programme INTERREG, mes missions arrivent à leur terme, le financement de mon travail également. Malgré diverses sollicitations auprès de la Direction de l'Institut de la Montagne pour envisager la suite de mon doctorat, aucune perspective de financement possible ne se présente. Je postule alors pour une Allocation de Recherche de l'Assemblée des Pays de Savoie, dispositif que je découvre à ce moment : une demi-bourse m'est accordée, à la condition obligatoire d'obtenir le cofinancement de mes travaux par un autre (ou plusieurs) partenaire(s).

Plusieurs mois me seront alors nécessaires pour trouver un cofinancier. A cette occasion, je me confronte d'abord au fonctionnement du système administratif universitaire, qui n'est pas d'une clarté évidente pour qui n'a aucune vision de ses méandres. Puis, de nombreux courriers, curriculum vitae et résumés du projet de recherche sont envoyés à l'ensemble des entreprises, administrations, collectivités, associations, etc. susceptibles d'être intéressées par mes travaux. Dans ces échanges, une de mes difficultés est de comprendre les mécanismes de l'Allocation de Recherche de l'Assemblée de Savoie, notamment la hauteur des montants exigés pour le cofinancement de l'autre moitié de la bourse, ce point étant la question première de tous mes interlocuteurs.

Pressé légitimement par l'Assemblée des Pays de Savoie et faute de résultats immédiats dans cette recherche de partenaires, le laboratoire EDYTEM se porte alors garant des premiers mois de cofinancement. Je redouble alors d'efforts pour parvenir à mes fins, jusqu'à la réponse intéressée et intéressante de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée & Corse. Après plusieurs rendez-vous avec l'Agence de l'Eau, accompagné de J.-J. Delannoy, Directeur du laboratoire EDYTEM, pour la convaincre de ma motivation à réaliser ce travail et expliquer dans le détail les objectifs pensés de cette recherche, celle-ci donne son accord et devient cofinancier de mes recherches.

Une convention de financement est alors signée entre l'Agence de l'Eau et le laboratoire EDYTEM, en la personne de J.-J. Delannoy qui devient dès lors co-directeur de mes travaux. C'est une étape fondamentale dans la conduite de mon projet de thèse : ce financement Assemblée des Pays de Savoie / Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse me permettra désormais, pendant 3 ans, de consacrer un temps plein à mes propres recherches, en toute sérénité.

Mise en place d'un comité de suivi

La convention de partenariat financier Agence de l'Eau / EDYTEM prévoyait qu'un comité de pilotage devait être constitué par le laboratoire, comprenant l'Agence, un représentant de l'administration régionale ainsi que la Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires (DIACT). Ainsi prévu formellement, il m'a fallu mettre en place, en collaboration et sur les conseils de mes Directeurs de recherche, ce comité de pilotage.

Au-delà de cette obligation contractuelle, la perspective de bénéficier d'un tel suivi était pour moi d'importance : elle me permettrait de disposer de regards extérieurs sur l'ensemble des champs de compétences nécessaires pour mener à bien ma recherche doctorale et de renforcer la crédibilité, la portée et la légitimité de l'étude et de ses résultats.

Sur invitation, trois comités de suivi (un par an) ont ainsi été organisés au laboratoire EDYTEM. Pratiquement, chacune de ces demi-journées, réunissant en moyenne une petite dizaine de personnes⁴ dont

³ C'est ici pour moi l'occasion de remercier très sincèrement l'ensemble des personnes qui a œuvré pour me proposer ces différents contrats, sans lesquels je n'aurais très certainement pas pu poursuivre mon projet de thèse. Je pense ici tout particulièrement à P. Bouland, secrétaire administratif de l'Institut de la Montagne.

mes Directeurs de recherche, m'a permis de faire le point sur l'état d'avancement du projet à une date donnée, de discuter des perspectives de développement de celui-ci et de dénouer, si besoin, d'éventuels points de blocage (pratiques, conceptuels, politiques...). A l'issue de ces réunions, un compte-rendu d'une vingtaine de pages fut systématiquement rédigé, visé par mes Directeurs et envoyé à chacun des participants. Ces rendez-vous ont finalement participé à la structuration du projet de thèse, à la validation des différentes actions de recherche et à la formalisation écrite d'une partie des résultats.

2. Déroulement, gestion et estimation du coût du projet

2.1. Préparation et cadrage du projet

2.1.1. Evaluation des facteurs de succès et de risques, stratégies de maîtrise des risques envisagées

A posteriori, les facteurs de risques et leurs stratégies de maîtrise envisagées, ainsi que les facteurs de succès du projet de recherche entrepris ont été résumés dans le tableau 1 suivant. Ceux-ci relèvent à la fois de caractéristiques intrinsèques au sujet (par exemple, l'interdisciplinarité requise), de facteurs internes au cadre de la recherche (par exemple, bonnes conditions matérielles de travail) et de facteurs externes (par exemple, forte médiatisation du sujet portant le risque d'une exposition à la critique ou de prise à partie politique).

⁴ Un représentant de l'Assemblée des Pays de Savoie, de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, de la DIACT, de la chambre syndicale des opérateurs de domaine skiable (SNTF), deux universitaires extérieurs, un chercheur du laboratoire EDYTEM et mes co-directeurs de recherche.

Facteurs de risque	Stratégies de maîtrise des risques	Facteurs de succès
Sujet polémique	Retourner la situation: faire des débats un des objets à observer et à confronter à ma problématique, ne pas rentrer dans les polémiques, prendre du recul	Travail de recherche universitaire donc empreint de neutralité
Nécessité de compétences interdisciplinaires	Mettre en place un comité de suivi de mes travaux pour bénéficier des compétences et du recul de l'ensemble des membres de celui-ci	Compétences interdisciplinaires (principalement environnement et tourisme) acquises tout au long de mon parcours académique et au cours de stages effectués auprès de structures socio-économiques (Office National des Forêts, Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales, Comités Départementaux du Tourisme...)
Pas de financement préexistant	Rechercher activement et "tous azimuts" des partenaires financiers	Pugnacité dans la recherche de financement
Pas de terrains d'étude préétablis	Prendre de nombreux contacts, demander l'autorisation d'effectuer nos recherches auprès de différentes collectivités et stations, rechercher activement un soutien auprès des opérateurs de domaines skiables (acteurs clef)	
Pas de connaissance du monde de la recherche	Apprendre rapidement !	Désir d'apprendre, forte motivation Questionnement sociétal important sur le sujet, légitimant ma recherche
Difficulté d'obtention des données nécessaires à la résolution de ma problématique	S'engager, dans le cadre du monitorat en entreprise, auprès d'administrations détentrices d'informations intéressantes, pour mon sujet, faire force de persuasion pour l'obtention de certaines données	
Très vaste champ de recherche	Se fixer des limites, assumer la non-exhaustivité de mon regard sur la question	
		Co-encadrement de nos travaux par deux Professeurs des Universités reconnus dans le monde de la recherche et le monde socio-économique
		Conditions matérielles de travail très confortables
Sujet médiatique	Ne pas (trop) s'exposer dans les médias au risque d'être pris à partie, dans un sens ou dans l'autre	Sujet médiatique facilitant le porté à connaissance de mes travaux
Co-encadrement de nos travaux par deux Professeurs des Universités au regard de mon questionnement parfois divergeant	Assumer mes propres positions, accepter le compromis	
Un des Professeurs co-encadrant mes travaux parti pris sur la question puisque Maire d'une commune support de station	Assumer mes propres positions	Un des Professeurs co-encadrant mes travaux très averti sur la question puisque Maire d'une commune support de station

Tableau 1 : Evaluation des facteurs de succès et de risques, stratégies de maîtrise des risques envisagées

2.1.2. Choix des terrains d'étude partenaires

D'une part, l'idée était de choisir, en s'appuyant sur des facteurs-clés liés à la problématique de mes travaux, des terrains de recherche dont l'ensemble constituerait à première vue une certaine représentativité des situations existantes et/ou des cas particuliers intéressants en tant que tel.

La disponibilité des ressources en eau et leur mode de gestion, la politique environnementale de la station, l'envergure et la situation du domaine skiable (domaine relié ou non ; basse, moyenne ou haute montagne),

la vulnérabilité potentielle à un déficit d'enneigement naturel, le taux d'équipement en neige de culture, etc. constituaient tout autant de facteurs-clés à considérer dans l'objectif de réaliser ce choix.

De plus, de façon très pragmatique et compte tenu du temps imparti 3 ou 4 terrains d'étude me semblaient être un maximum. Ce choix devait également se faire en fonction des conditions implicitement ou explicitement formulées par les partenaires financiers de mon travail : au moins un site en Savoie ou Haute-Savoie dans l'intérêt de l'Assemblée des Pays de Savoie et un site proche des Alpes du Sud, de façon à couvrir différentes latitudes du bassin Rhône-Méditerranée, souhait formulé par l'Agence de l'Eau.

J'ai dans un premier temps **sollicité par courrier les Maires des communes concernées** pour leur demander l'autorisation de commencer des recherches sur leur territoire. Dans un second temps, c'est **au Directeur des stations prédéfinies que des demandes ont été adressées**. Celles-ci n'ont pas été satisfaites dans leur globalité puisque certaines sont toujours restées sans réponse. Il a donc souvent fallu relancer mes interlocuteurs, avec succès parfois. Néanmoins, au fil du temps, je suis peu ou prou arrivé à obtenir les informations indispensables pour répondre à mes questionnements sur les terrains d'étude prédéfinis.

2.1.3. Mobilisation de financements autres que l'allocation APS / Agence de l'Eau

Peu de financements autres que l'allocation de recherche ont été sollicités tout au long de mon projet. Certaines actions, comme par exemple un stage de formation SIG d'une semaine, n'ont d'ailleurs pas fait l'objet de demande de financement de ma part. Elles ont été financées « par mes propres deniers ».

Je citerai néanmoins le financement (sollicité et obtenu) par **l'Ecole Doctorale SISEO d'une journée de formation** sur la neige de culture, organisée par le Syndicat National des Téléphériques de France (SNTF), l'Association nationale des Directeurs de pistes et de la sécurité des Stations de sports d'hiver (ADSP), Atout France et Domaine Skiable Formation (DSF) le 18 novembre 2009 à Briançon (Hautes-Alpes) pour un **montant de 150 euros**.

Le laboratoire EDYTEM a quant à lui été sollicité pour le financement de différentes participations à des colloques en France et à l'étranger⁵ (inscription, hébergement et restauration pour un **montant total estimé à 1 800 euros**).

Enfin, s'il ne s'agit pas d'une demande de financement proprement dite, je mentionnerai tout de même également le travail accompli dans le cadre du monitorat en entreprise de septembre 2008 à septembre 2009. Les Directions Départementales de l'Agriculture et de l'Équipement de la Savoie ont financé le travail que j'ai réalisé, en collaboration avec un large groupe de travail, pour leur compte : **9 000 euros versés à l'Université de Savoie** pour ma mise à leur disposition (30 jours) et la réalisation de ce travail. Cette expérience, très enrichissante par ailleurs, a permis d'un point de vue financier de compléter mon allocation de recherche (**270 euros nets supplémentaires par mois pendant 1 an**).

2.1.4. Gestion des aspects éthiques et de confidentialité

Ce sujet de recherche doctorale portant sur une pratique contestée, pour laquelle certains opérateurs ne souhaitaient ou ne souhaitent pas communiquer, j'ai souvent proposé (oralement) à mes différents interlocuteurs d'établir, s'ils le voulaient, une confidentialité sur les données⁶ qu'il me fallait obtenir. Aucun accord contractuel de ce type n'a cependant été demandé et donc convenu.

Par souci d'honnêteté, l'ensemble de mes actions, activités et communications a toujours été parfaitement transparent. A l'occasion de projets de communication dont publicité avait été faite, j'ai parfois reçu des directives insistantes, me suggérant de ne pas mentionner tel ou tel fait, voire m'invitant à remplacer telle donnée par telle autre ! A cet égard, si j'ai toujours respecté l'ensemble de mes interlocuteurs et leurs préoccupations, parfois légitimes, je n'ai cependant jamais accepté de rapporter de fausses informations. Il m'est néanmoins arrivé, dans le cadre précis d'une communication et après concertation, de revoir mon

⁵ De façon explicite, l'ensemble des doctorants du laboratoire EDYTEM a un droit de financement pour un congrès en France ou à l'étranger par an.

⁶ Ces propositions de confidentialité n'ont jamais été sans me questionner... Mon travail porte sur les modes de gestion de l'eau pour la production de neige : sont-ils durables ou non ? Un des critères fondamentaux permettant d'apprécier cette durabilité est la mise à disposition de l'ensemble des données liées aux utilisations de l'eau à tous les citoyens (quelque soit l'usage, transparence sur les volumes prélevés, les volumes restitués, les modes de gestion, etc.). Un accord de confidentialité sur les données recherchées aurait ainsi été une entrave au principe même de durabilité puisque soustrayant au public des informations importantes quant à une utilisation particulière de l'eau.

propos en fonction des exigences de certains, uniquement dans la mesure où celles-ci ne remettaient pas en question l'intégrité de mes résultats. Dans tous les cas, la rédaction de ma thèse se fera sans aucune concession.

2.2. Conduite du projet

2.2.1. Principales étapes

Les principales étapes du projet de thèse sont détaillées dans la figure 1 ci-dessous. Elles se décomposent finalement, si l'on excepte les formalités administratives (néanmoins fondamentales) des inscriptions, en une succession de tâches répondant à la triple mission de recherches (qui constituent l'élément central du projet), d'enseignements et de responsabilités administratives.

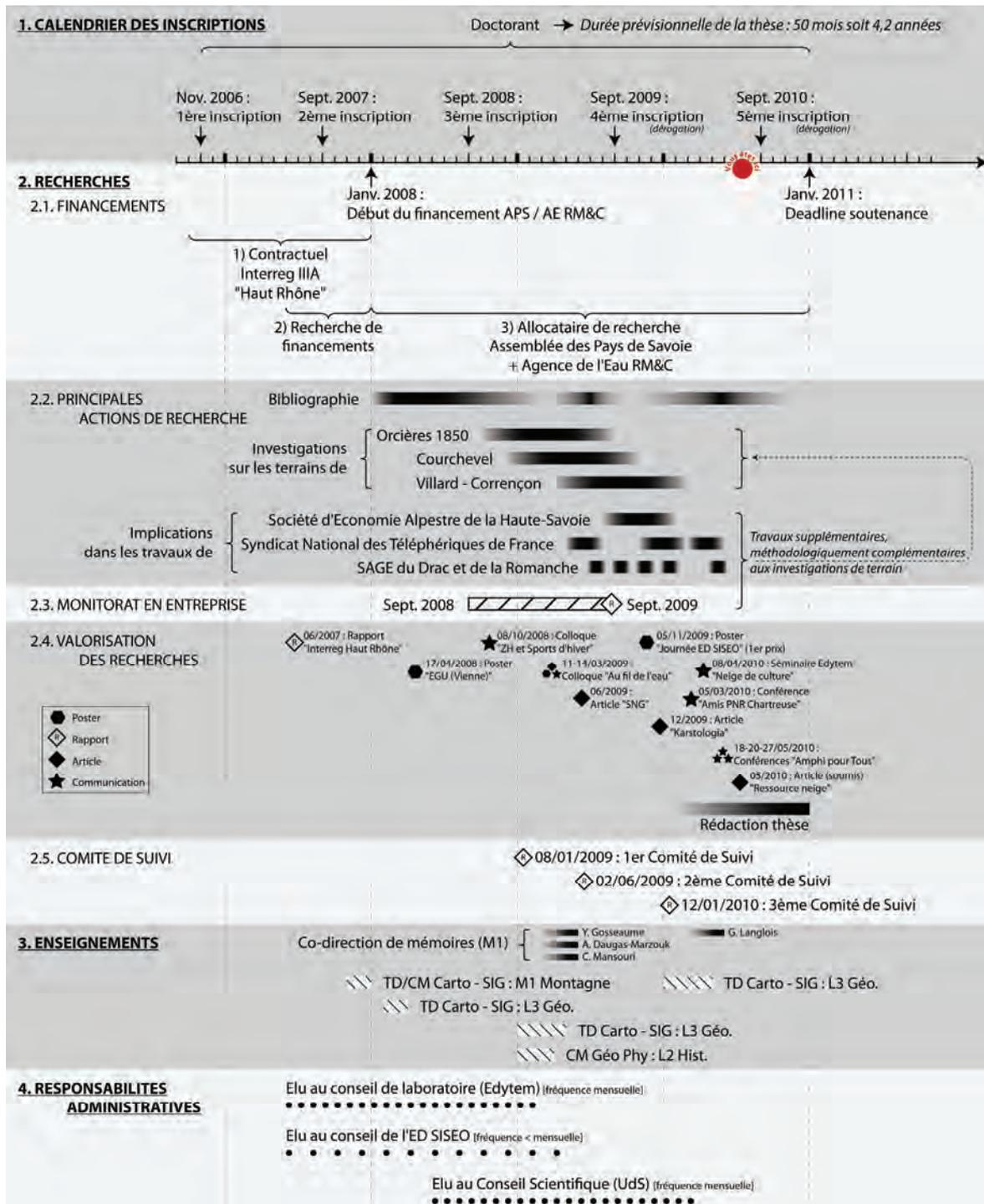


Figure 1 : Les principales étapes du projet de recherche

2.2.2. Gestion des relations avec les partenaires (scientifiques, socio-économiques...)

Globalement, l'ensemble des relations entretenues avec les partenaires de mes recherches, formels (terrains d'étude) ou informels, a toujours été constructif. J'ai cependant parfois senti de la part de certains acteurs socio-économiques, impliqués dans la question, une certaine défiance quant à la pertinence et l'intégrité de mes recherches et/ou communications.

Mes participations sur invitation à différents groupes de travail sur les questions concernant ce champ de recherche et de savoir-faire me permettent néanmoins de contrebalancer cette première idée ; mes compétences semblaient alors reconnues et la confiance qui m'était accordée à ces différentes occasions était peut-être la preuve d'une certaine reconnaissance de mon travail. Au cours de l'année 2010, j'ai d'ailleurs été sollicité par un bureau d'étude pour une courte mission rémunérée de cartographie thématique.

D'un point de vue scientifique, hormis les échanges entretenus avec mes co-directeurs, je ne peux que constater une faible synergie autour de mes recherches. Malgré mes efforts pour créer des dynamiques, je n'ai jamais vraiment senti – du moins, à la hauteur de mes espérances – d'élan volontariste quant à la construction de partenariat, échange, projet, etc. autour des recherches proposées. Suis-je trop exigeant ? Ou trop pressé ?

2.2.3. Problèmes rencontrés et solutions apportées

Les thèses ne sont-elles pas une succession de problèmes à résoudre ? Suivant cette idée, il me serait alors difficile d'être exhaustif quant à l'ensemble des problèmes rencontrés...

Je n'en mentionnerai ainsi qu'un seul. Certaines positions virulentes contre l'enneigement artificiel ont parfois été prises provoquant la crispation de beaucoup d'acteurs-clés de la pratique étudiée. Le radicalisme des arguments invoqués à ces différentes occasions, particulièrement bien relayés, ne m'a pas facilité la tâche pour recueillir des informations sur une pratique politiquement sensible et déjà contestée par certains.

En conséquence, certaines portes m'ont été difficiles à ouvrir ; j'ai parfois dû m'armer de patience pour parvenir à mes fins. Prendre de la distance, observer passivement, être diplomate dans les discours, faire des efforts de communication sur les objectifs de ma recherche, déclarer mon indépendance, etc. sont tout autant de solutions employées pour résoudre ce problème qui est aujourd'hui, je crois, une histoire passée...

2.3. Estimation et prise en charge du coût du projet

Je le mentionnais précédemment, ma recherche est cofinancée par l'Assemblée des Pays de Savoie et l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse. Ces partenaires ont pourvu au plus gros poste de dépenses de mon travail : mon allocation de recherche (figure 2). **Le coût total de ma thèse est quant à lui estimé à 230 000 euros.** Ce coût est détaillé dans le tableau 2 ci-dessous.

Figure 2 : Principe de fonctionnement des allocations de recherche doctorales APS.

Cette figure a été construite au moment de ma recherche d'un cofinancier pour expliquer le fonctionnement des « bourses APS ».

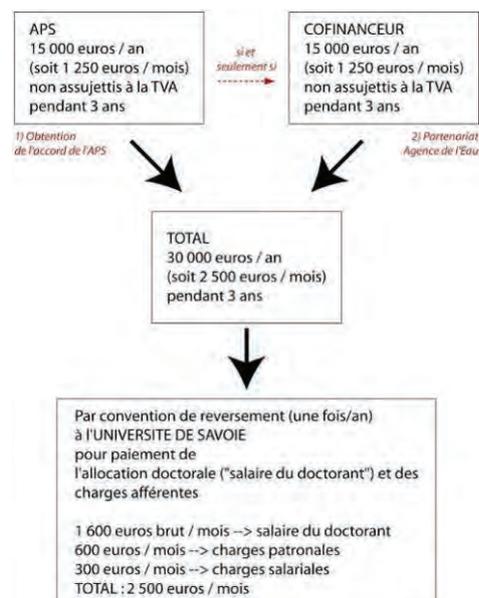


Tableau 2 : Détail du coût total consolidé de ma thèse

Nature de la dépense	Détails		Coûts totaux (euros TTC)			
			Nombre d'unités	Coût unitaire moyen	Quote-part utilisation	Total
1 Ressources Humaines	<i>Salaire</i>	<i>Charges patronales</i>				
1.1 Doctorant	1663 € / mois	499 € / mois	36 mois	2162 € / mois	100 %	77828 €
1.2 Encadrant 1 (Directeur)	5798 € / mois	1739 € / mois	48 mois	7537 € / mois	20 %	72355 €
1.3 + Prime Encadrement	6000 € / an	1800 € / an	1 an	7800 € / mois	100 %	7800 €
1.4 Encadrant 2 (Co-Directeur)	4500 € / mois	1350 € / mois	48 mois	5850 € / mois	10 %	28080 €
Sous-total Ressources Humaines						186063 €
2 Consommables						
Fournitures de bureau	500 €		1	500 €	100 %	500 €
Sous-total Consommables						500 €
3 Infrastructures						
Loyers des locaux (TTC)	150 € / m ² / an	20 m ² occupés	4 ans	3000 € / an	100 %	12000 €
Sous-total Infrastructures						12000 €
4 Matériel (amortissements)		<i>Durée d'amortissement</i>				
4.1 Ordinateur de bureau	1000 €	2 ans	2 ans (+2)	500 € / an	100 %	1000 €
4.2 Logiciels de bureau (Suite CS4 + SIG MapInfo)	4800 €	3 ans	3 ans (+1)	1600 € / an	100 %	4800 €
Sous-total Matériel						5800 €
5 Déplacements	<i>Transport [1]</i>	<i>Hébergement + repas [2]</i>		<i>[1] + [2]</i>		
5.1 Missions en France	2000 km x 0,5 € / km	30 repas x 10 € / repas	1	1300 €	100 %	1300 €
5.2 Missions à l'étranger	1 AR Autriche x 1000 € / AR	7 jours x 50 € / jour	1	1350 €	100 %	1350 €
5.3 Congrès en France	500 km x 0,5 € / km	4 jours x 50 € / jour	1	450 €	100 %	450 €
5.4 Congrès à l'étranger	1 AR Autriche x 1000 € / AR	7 jours x 50 € / jour	1	1350 €	100 %	1350 €
Sous-total Déplacements						4450 €
6 Formation						
6.1 Formation SIG ArcGis	4770 € pour 7 jours	(450 € effectivement réglés)	1 formation	4770 €	100 %	4770 €
6.2 Formation doctorale	20 jours x 6 h / jour		120 h	60 €	100 %	7200 €
6.3 Autres frais (Inscription à l'Université + Sécurité Sociale étudiante)	500 € / an		3 ans	500 € / an	100 %	1500 €
Sous-total Formation						13470 €
7 Documentation et communication						
7.1 Affranchissements, Internet, téléphone			1	200 €	100 %	100 €
7.2 Posters			4 posters	50 € / poster	100 %	200 €
7.3 Bases de données IGN (Scan 25 + MNT, Savoie et Haute-Savoie)			1	5000 €	100 %	5000 €
7.4 Livre, périodiques...			50 livres	10 € / livre	100 %	500 €
Sous-total Doc. et com.						5800 €
TOTAL						228083 €

3. Identification, hiérarchisation et illustration des compétences mises en œuvre

3.1. Domaines d'expertise du doctorant

Les domaines d'expertise développés dans le cadre du présent projet sont propres au champ disciplinaire de la géographie. Les recherches proposées se situent à l'interface entre la géographie relevant des sciences de la terre (géographie physique) et celle relevant des sciences humaines et sociales (géographie humaine). De ce point de vue, elles revêtent un caractère profondément interdisciplinaire, croisant les disciplines, les approches et les méthodologies. Ces domaines d'expertise puisent leurs racines dans les différentes compétences acquises tout au long de la formation pré-doctorale (figure 3).

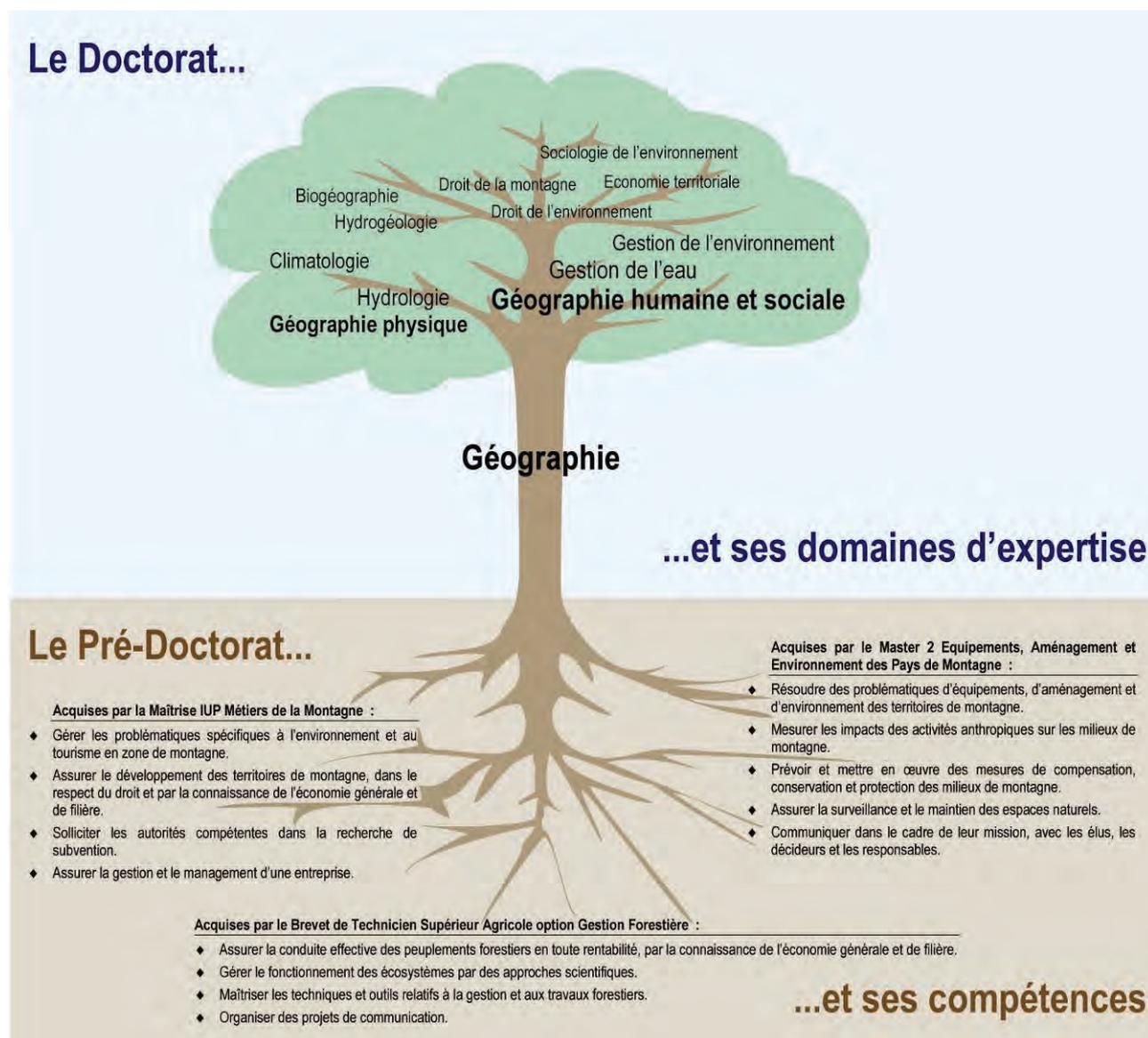


Figure 3 : Arbre des compétences acquises lors de la formation pré-doctorale et des domaines d'expertise du doctorat

Ce travail n'aurait pu être complet sans procéder à l'analyse des interrelations qu'entretient la production de neige avec le système montagne, du point de vue **hydrologique** principalement mais également **climatique**, **hydrogéologique**, ou **biogéographique**. L'objet étudié se situe en effet au cœur des hydrosystèmes et écosystèmes de montagne. Il s'agit donc bien ici de la sphère de la **géographie physique**.

Mes recherches ne se coupent cependant pas de la géographie humaine : un des objectifs fondamentaux est bien de proposer des **solutions d'aménagement et de gestion** de la ressource en eau, tout en considérant les **impératifs économiques ou sociaux** des territoires.

En d'autres termes, mon point de vue de géographe sur les problématiques d'aménagement, en l'occurrence celle de la neige de culture, offre une analyse environnementale complète, sans occulter l'homme du milieu montagnard. Il se veut ainsi être une **aide à la décision** pour les collectivités de montagne.

De façon beaucoup plus large que le strict cadre de l'étude, les connaissances acquises dans le champ de la géographie concernent également la **géographie du tourisme**, la **géomorphologie**, la **karstologie**, l'**étude des paysages**... Dans d'autres champs disciplinaires, en particulier **en sciences de la terre**, quelques notions de **géologie** ou d'étude des **archives naturelles** (destinée à reconstituer les paléoenvironnements) ont également pu être définies. Ces échanges et apprentissages, particulièrement enrichissants, ont été sans aucun doute permis par la pluridisciplinarité du laboratoire EDYTEM et la proximité des doctorants y travaillant, toutes disciplines comprises (les 16 bureaux des doctorants, tout horizon confondu, se trouvent dans la même salle, organisée en open space...).

En cohérence avec la multiplicité de ces domaines d'intervention, les compétences acquises et mises en œuvre tout au long de mon doctorat sont nombreuses et variées. Pour la plupart, celles-ci sont transférables en dehors de mon domaine de recherche : c'est une des spécificités et avantages du géographe, bien souvent spécialiste d'une question précise tout en restant généraliste compétent, capable d'aborder de nombreuses problématiques territoriales.

3.2. Compétences scientifiques et techniques

En termes de compétences scientifiques, j'ai tout d'abord dû acquérir la **maîtrise des méthodes d'acquisition de données et informations** nécessaires à la résolution d'une problématique géographique. Cet ensemble peut être regroupé sous le vocable de la **méthode d'enquête** (observations de terrain, conduite d'entretiens...), mise au service d'**analyses spatiales, de jeux d'acteurs**, etc.

Il s'agissait ensuite d'organiser, d'analyser et de synthétiser ces informations, dans le respect de la démarche scientifique, pour répondre à mon questionnement.

Toutes les informations collectées ont ainsi été triées. En particulier, les très nombreuses lectures réalisées ont été regroupées sous la forme d'une **base de données bibliographique interactive** puisqu'interrogeable grâce à l'emploi d'un logiciel dédié à cet effet (EndNote). Elle constitue certainement la base de données bibliographique sur l'enneigement artificiel la plus riche existante à l'heure actuelle.

Dans les capacités développées en ce qui concerne la **présentation des résultats**, leur restitution dans un format simple (par exemple, conférence grand public) ou élaboré (par exemple, rédaction d'un article scientifique) ainsi que leur mise en perspective sont des savoir-faire importants appris et utilisés au cours du projet.

D'un point de vue technique, l'ensemble des outils propres à la géographie a été mobilisé pour la bonne réalisation du projet. Il s'agit du **traitement d'image** (Photoshop ou équivalent), de la **cartographie et du dessin assistés par ordinateur** (logiciel Adobe Illustrator ou équivalent), de la **gestion de bases de données** sous la forme **de Systèmes d'Information Géographique** (logiciel MapInfo ou ArcGIS, incluant la manipulation de Modèle Numérique de Terrain) et de la **mise en page de documents assistée par ordinateur** (InDesign ou équivalent).

En terme de **bureautique**, je maîtrise bien entendu parfaitement le pack office (Word, Excel, PowerPoint) et l'ensemble des outils permettant une navigation rapide et efficace sur Internet.

3.3. Compétences méthodologiques, en conduite de projet et communication

Tout travail de thèse nécessite l'identification d'une problématique et d'objectifs scientifiques associés. Une fois ce cadre établi, l'étude de la bibliographie disponible sur le sujet, l'évaluation des moyens disponibles pour atteindre les objectifs fixés et la mise en place d'un programme de travail sont tout autant d'éléments méthodologiques fondamentaux permettant le démarrage opérationnel des recherches proprement dites. Cet ensemble constitue dès lors un véritable projet qu'il convient de mener à terme.

Un certain nombre de compétences est requis pour la bonne gestion et conduite d'un projet sur plusieurs années. En ce qui me concerne, il m'a tout d'abord fallu **obtenir un budget** pour réaliser celui-ci (allocation

de recherche de l'Assemblée des Pays de Savoie). Ma **capacité à convaincre** des financeurs potentiels a ainsi été mise à l'épreuve. Il m'a fallu alors **argumenter et défendre mon projet** pour le rendre crédible⁷, à la fois à l'intérieur du laboratoire (et ainsi obtenir son soutien) et à l'extérieur de celui-ci (envers les organismes à convaincre).

Une fois le projet lancé, mes **capacités d'analyse et de prise de décision (esprit d'initiative)** m'ont permis de le faire avancer dans la meilleure des directions possibles. De la **persévérance**, voire de la **pugnacité**, furent nécessaires lorsque des défis ou des difficultés se sont présentés (convaincre de nombreux détenteurs de données de collaborer à mes recherches, faire face aux attaques en tous genres, etc.). Une certaine **capacité d'adaptation** et de **bonnes qualités relationnelles** m'ont souvent permis de contourner ou de résoudre ces difficultés.

Du point de vue du **phasage du projet**, des réunions ont régulièrement eu lieu avec l'ensemble de mon dispositif d'encadrement (co-directeurs et comité de suivi) afin d'évaluer l'avancée et le bon déroulement des travaux. En ce sens, ce travail de recherche m'a appris **à gérer et à organiser mon temps** pour répondre, étape après étape, aux impératifs de ces rendez-vous, tout en honorant l'ensemble de mes axes de recherche en parallèle.

Régulièrement, la **définition de priorités d'avancement** s'est révélée être décisive pour ma progression. La confrontation des éléments du projet avec l'extérieur a également participé à l'amélioration de sa pertinence et de son bon déroulement : mes capacités d'**écoute**, d'**argumentation** et de **réponse** furent alors mises à l'épreuve.

En termes de communication, mes **aptitudes rédactionnelles** (en français essentiellement) m'ont permis de valoriser de façon cohérente mes résultats sous forme d'articles scientifiques. Les présentations orales de mes recherches, à l'occasion de colloques, ont par ailleurs consolidé mes **facultés d'expression en public**. Par ailleurs, de façon complémentaire à ces échanges entre spécialistes, la **vulgarisation des résultats** lors de conférences « grand public » m'a appris à **communiquer de façon adaptée** en expliquant à des interlocuteurs non-techniciens des notions complexes en des termes simples.

Finalement, la poursuite de ce doctorat m'a permis de **gérer un projet dans son intégralité**, depuis l'initiation de celui-ci jusqu'à sa valorisation, en passant par son phasage, sa réalisation et son suivi.

3.4. Compétences pédagogiques et aptitudes à travailler en équipe

En parallèle des recherches réalisées, l'ensemble des cours magistraux (CM) et travaux dirigés (TD) construits et proposés m'a fait découvrir le **métier d'enseignant**, jamais exercé auparavant. Au total, environ 200 heures de cours (équivalent TD) ont été dispensées en l'espace de 4 ans (principalement en cartographie informatique mais pas seulement : géographie physique, gestion de l'eau...) auprès d'étudiants, de la licence 2 au Master 2 (professionnel et recherche). Cette opportunité m'a permis d'apprendre à **dominer les savoirs à enseigner** et à **mettre en place des méthodes de transfert de connaissances** pour faire passer celles-ci aux étudiants.

Ces **compétences pédagogiques** se sont incontestablement améliorées lors de co-directions de mémoires : 4 mémoires de géographie (Master 1) accompagnés, depuis la définition des sujets jusqu'à leur soutenance. J'ai pu, à ces différentes occasions, appréhender les exigences d'une direction de recherches efficace : **disponibilité, responsabilité, réactivité, facilitation, recul, sens critique, sens de l'encouragement**, etc.

Bien que parfaitement intégrées au sein d'une équipe du laboratoire (équipe 3) et soutenues par 2 Professeurs des Universités, les recherches réalisées ne se sont pas intégralement inscrites dans une dynamique de collaboration avec d'autres chercheurs, enseignants ou doctorants. Dans un contexte de laboratoire très interdisciplinaire, certains travaux évoluent dans des « niches de recherche » spécifiques où les objets, méthodes et approches peuvent être différents ; c'est le cas de mes réflexions et recherches sur les sports d'hiver mais surtout sur la pratique de l'enneigement artificiel.

Néanmoins, je me suis toujours efforcé de **contextualiser mes travaux** au regard d'un **plan de recherche global**, d'une **dynamique d'équipe**, des **droits et devoirs à respecter** dans le cadre de la vie commune d'une unité. Je me suis ainsi **parfaitement intégré** auprès de l'ensemble de mes collègues doctorants, de

⁷ Capacité également sollicitée lorsque j'ai souhaité bénéficier du dispositif du monitorat en entreprise (constitution d'un dossier, démarchage des organismes d'accueil potentiels, etc.).

l'équipe 3 et, plus largement, du laboratoire et de l'université. Je n'ai jamais hésité à **solliciter les conseils et l'aide** de certains de mes collègues lorsque le besoin s'en faisait sentir. Au contraire, j'ai **toujours veillé à me rendre disponible** en cas de besoin (manipulation de terrain, participation et/ou organisation de réunions). Mon **optimisme** et ma **positivité** ont certainement participé, dans une certaine mesure, au bon déroulement des projets portés par mes collègues. Cette **dimension collective** reste très importante à mes yeux : elle me semble être synonyme d'**ouverture d'esprit** et de **remise en question**.

3.5. Savoir-faire administratifs, organisationnels et linguistiques

Les **recherches de financements** comme les **participations aux instances de pilotage** du laboratoire et de l'Université (Conseil de Laboratoire, Conseil de l'Ecole Doctorale et Conseil Scientifique de l'Université) ont grandement participé à l'amélioration de mes **connaissances en matière de fonctionnement administratif d'une Université** (processus décisionnel, fonctionnement budgétaire, procédures de recrutement, etc.). A ce sujet, il paraît clair que mener de front des missions de recherche, d'enseignement et administratives demande un vrai **sens de l'organisation**, voire parfois, une certaine **abnégation au travail**.

En termes de compétences linguistiques, lors de mes lectures d'articles scientifiques internationaux et présentations de posters à l'étranger, j'ai sans conteste progressé dans ma **capacité de communication en anglais**. Cela étant dit, il est certain que mes facultés d'expression dans cette langue (tout de même lue, écrite et parlée) méritent d'être encore améliorées, à plus forte raison pour d'autres langues étrangères dont je ne possède que quelques notions...

3.6. Auto-analyse des qualités personnelles

Au-delà des compétences professionnelles ci-dessus citées, l'expérience du doctorat combinée à celle du Nouveau Chapitre de la Thèse s'est montrée être un bon révélateur de qualités personnelles, parfois difficiles à identifier de prime abord. A ce sujet, faire sa propre auto-analyse n'est pas un exercice facile, ni même agréable lorsque la **discrétion** et la **retenue** sont des qualités recherchées...

En tout état de cause, la **passion** que j'éprouve pour mes recherches et pour le cadre dans lequel celles-ci évoluent m'a assurément aidé dans la conduite de ce projet. Elle m'a permis de surmonter, de façon souvent **autonome**, les difficultés auxquelles j'ai été confronté. La **rigueur** dont je fais preuve dans ma vie personnelle et professionnelle, fruit d'un **système de valeurs prégnant**, est un élément également important dans la réussite de mes diverses entreprises.

Ce très **fort désir de réussite** me pousse souvent à tout mettre en œuvre pour parvenir à mes fins (**persévérance**, **ténacité**) même si l'**équilibre entre temps de travail et temps des loisirs** est à mes yeux d'une grande importance. Cela se traduit par un **investissement parfois sans limite** dans chacune de mes actions (telles des briques...), organisée de façon cohérente pour construire les différents éléments (... constituant les murs...) qui alimentent mon projet de vie (... d'une maison). Les fondements de mes motivations et de mes **capacités à produire** s'expliquent certainement par ce désir de tendre vers une vraie réussite socioprofessionnelle.

Mature, je fais du **sens des responsabilités** une des priorités de mes faits et gestes. Je ferai ainsi toujours tout mon possible pour **respecter mes engagements**. Ma **grande tolérance** trouve néanmoins ses limites lorsque l'on interfère dans mes projets : j'aime faire ce qu'il me plaît et me sentir parfaitement **libre** de mes choix, destinations, pratiques, etc. Par ailleurs, mes **capacités d'adaptation, relationnelles** et mon **sens de l'amitié** font de moi, je l'espère, quelqu'un d'apprécié.

3.7. Construction d'un réseau professionnel personnel.

J'ai la chance de travailler sur une **problématique concrète et d'actualité**, où mes préoccupations sont souvent les mêmes que celles d'acteurs de terrain. Dans cette logique, mon réseau de connaissances est principalement composé d'**acteurs socio-économiques**, dans le domaine de l'aménagement, la gestion et la protection des territoires de montagne. Cet important réseau comprend également, bien évidemment, les chercheurs, les enseignants et les techniciens avec lesquels j'ai collaboré pour mes recherches ; il ne s'agit néanmoins pas de la fraction la plus importante de l'ensemble de mes contacts.

En définitive, le projet de thèse m'a clairement permis d'établir un **réseau professionnel important**, qui pourrait **se révéler être décisif** dans la perspective de ma toute proche recherche d'emploi...

4. Retombées, notamment en termes de pistes professionnelles identifiées

4.1. Résultats, impact de la thèse

4.1.1. Pour le laboratoire

J'espère le « retour sur investissement » de ma thèse très positif pour le laboratoire. Deux points sont peut-être à relever quant aux bénéfices de mes recherches pour celui-ci.

1. Premier doctorant du laboratoire financé par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, d'autres partenariats financiers ont suivi depuis. Les contacts que j'ai entretenus avec cet organisme et le travail que j'ai réalisé jusqu'alors ont sans doute ouvert la porte à de prochaines opportunités de financements par l'Agence ; je le souhaite.
2. Je pense avoir modestement contribué, par l'ensemble de mes rencontres à faire connaître le laboratoire EDYTEM. Ne serait-ce que par la tenue du comité de suivi ou par l'organisation d'un séminaire, des acteurs socio-économiques de la montagne se sont déplacés dans nos locaux et ont pu, un tant soit peu, apprécier l'étendue des savoir-faire du laboratoire.

4.1.2. Pour les partenaires financiers

Les retombées de ce travail pour les partenaires financiers paraissent être parfaitement claires. Il s'agit de l'amélioration de leurs connaissances de la pratique de l'enneigement artificiel, principale exigence qu'il me fallait satisfaire puisque définie par le contrat d'allocation de recherche. Il est ainsi vraisemblable que les résultats obtenus servent leur démarche de planification de la gestion de l'eau ou de l'aménagement du territoire. J'espère dans tous les cas que j'aurai ainsi répondu pleinement à cette attente.

4.1.3. Pour la recherche

Du point de vue de la connaissance, les apports fondamentaux de mes recherches sont plutôt mineurs... Ce sont plutôt les applications pratiques de mon travail qui peuvent intéresser la recherche et au-delà, les acteurs socio-économiques de la montagne. Les méthodes d'enquête déployées, la démarche globale du projet seraient facilement transférables à des territoires autres que ceux précisément étudiés, pour prolonger les travaux engagés en termes de recherche pure ou en tant qu'outil d'aide à la décision (et à l'action) pour les collectivités de montagne.

L'encadré suivant présente l'ensemble des publications et communications réalisées au cours de mon doctorat.

ACL : articles dans des revues internationales ou nationales avec comité de lecture et répertoriées par l'AERES
PACCARD P. (2009) - <i>Un exemple d'exploitation des ressources en eau du karst : la production de neige à Villard-de-Lans - Corrençon-en-Vercors (Isère, France)</i> . Karstologia n°53, pp. 7-16
INV : Conférences données à l'invitation du comité d'organisation
MARNEZY A. et PACCARD P. (2010) - <i>La neige de culture et l'eau : fantasmes et réalités</i> . Amphi pour tous. Chambéry le 18/05/10, Cran-Gevrier le 20/05/10 et Albertville le 27/05/10, France
PACCARD P. (2010) - <i>De l'eau pour la neige de culture : planche de salut ou aberration ?</i> Conférence des Amis du Parc Naturel Régional de Chartreuse, 05/03/10, Le Sappey-en-Chartreuse, France
PACCARD P. (2010) - <i>Les enjeux de l'eau pour la production de neige : le cas d'Orcières Merlette (Hautes-Alpes)</i> . 08/04/2010, Séminaire du laboratoire EDYTEM, Le Bourget-du-Lac, France

OS : ouvrages scientifiques (ou chapitres de ces ouvrages)
PACCARD P. (2009) - <i>Réchauffement climatique et ressource neige en domaine skiable</i> . Neige et glace de montagne : Reconstitution, dynamique, pratiques. Collection EDYTEM - Cahiers de Géographie, n°8, pp. 181-192
PACCARD P., PEYRACHE-GADEAU V. et CHANROND J. (2010) - <i>La ressource neige : enjeux et adaptation des stations françaises face au changement climatique</i> (Soumis)
ACTN : communications avec actes dans un congrès national
PACCARD P. et MARNEZY A. (2009) - <i>La neige de culture : une nouvelle fonction pour les barrages de montagne</i> . Colloque Au fil de l'eau, 11-14/03/09, Clermont Ferrand, France
COM : communications sans actes dans un congrès national ou international
PACCARD P. (2008) - <i>Inventaire SIG des zones humides et des retenues d'altitude pour la fabrication de neige : un outil d'aide à la décision ?</i> Colloque sports d'hiver et zones humides, 08/10/2008, Cemagref Grenoble, France
GAUCHERAND S., EVETTE A., FRANÇOIS H., PACCARD P., PERRETIER C., WLERICK L. (2009) - <i>Wetlands and ski resorts in the French Alps: main issues and innovative ideas for the preservation of wetlands in ski areas</i> . EGU General Assembly 2009, 19-24/04/09, Vienna, Austria
AFF : communication par poster dans un congrès international ou national
PACCARD P. (2008) - <i>Water and tourism in mountains: the case of artificial snow in countries of the alpine arc</i> . EGU General Assembly 2008, 13-18/04/08, Vienna, Austria
ARABAS S., PACCARD P., HAGA L., JUNKERMANN W., KULAWIK B., DE JONG C. (2008) - <i>Signatures of Evaporation of Artificial Snow in the Alpine Lower Troposphere (SEASALT)</i> . EGU General Assembly 2008, 13-18/04/08, Vienna, Austria
PACCARD P. (2009) - <i>Gestion de la ressource en eau pour la production de neige en stations de sports d'hiver</i> . Colloque Au fil de l'eau, 11-14/03/09, Clermont Ferrand, France
PACCARD P. (2009) - <i>Gestion de l'eau pour la production de neige de culture le cas d'une station de moyenne montagne en domaine karstique : Villard-de-lans - corrençon-en-vercors</i> . Journée des doctorants de l'Ecole Doctorale SISEO, 05/11/2009, Université de Savoie, Campus Scientifique, Le Bourget du Lac, France
AP : autres productions
PACCARD P. et MARNEZY A. (2007) - <i>Utilisation et gestion des ressources en eau. Bassin hydrographique français du Haut Rhône. Rapport de synthèse programme Interreg IIIA France-Suisse : Le Haut Rhône et son bassin versant montagneux</i> . Université de Savoie, 148 p.
PACCARD P., CHANTRE X., DARMEDRU G., LENFANT A., RAVIOL P., CHAPUIS R., DELILLE M., VINCENT J-P, MICHOU P., BERLIOZ F. (2009) - <i>Gestion durable des territoires de montagne - La neige de culture en Savoie et Haute-Savoie</i> . Laboratoire EDYTEM (Université de Savoie / CNRS) et Direction Départementale de l'Equipeement et de l'Agriculture de la Savoie (DDEA 73), 88 p.

Mon souhait le plus cher serait que les résultats du projet engagé, valorisés par les publications et communications précédentes, servent à répondre à quelques-unes des interrogations du monde socio-économique de la montagne.

4.1.4. Pour la société

Mes recherches avaient dès le départ comme objectif de répondre à des interrogations sociétales quant à la pertinence des installations d'enneigement en stations, du point de vue de l'environnement et dans un contexte de changement climatique. Cette attente sociétale est parfaitement lisible dans les articles des médias, nationaux ou locaux, traitant de ce sujet. J'ai pu montrer les incidences possibles de cette pratique sur les ressources en eau et affiner quelques hypothèses quant aux impacts du réchauffement climatique sur la ressource neige. Je pense de cette façon avoir répondu à certaines interrogations sociétales. Plusieurs conférences ont en outre été tenues auprès du « grand public ».

4.1.5. Pour moi-même

Bien entendu, **l'impact de cette thèse est majeur à la fois pour ma vie personnelle et professionnelle**. D'un point de vue temporel et personnel, cette expérience aura compté pour 1/7 de mon existence, 2/5 de mes années d'adulte : c'est un moment très important dans la construction de mon projet de vie. Ce moment m'aura notamment permis de m'installer en Savoie, d'évoluer dans un cadre que j'affectionne et de construire un réseau social important, fondamental pour mon équilibre.

D'un point de vue professionnel, l'impact de ma thèse est tout aussi important. Bien que toujours détenteur d'une carte d'étudiant, je considère ces 4 années passées à l'Université de Savoie comme une véritable expérience professionnelle supplémentaire. J'ai en ce sens toujours eu l'impression de conduire un projet

plutôt dans le cadre d'un métier que dans celui d'une poursuite d'études. Ce projet professionnel m'a permis d'acquérir des savoirs (connaissances), des savoir-faire (compétences) et des savoirs comportementaux (comportements) que je souhaiterais, une fois celui-ci terminé, mettre au service d'une recherche d'emploi, puis d'un emploi. Dans cette perspective, des pistes professionnelles se dessinent aujourd'hui.

4.2. Identification de pistes professionnelles

Au regard de l'ensemble de ce projet de thèse, de sa genèse et des contacts que j'entretiens d'ores et déjà avec plusieurs partenaires, je développerai ci-dessous deux souhaits professionnels particuliers, s'inscrivant dans la continuité de l'ensemble des travaux que j'ai réalisés jusqu'alors.

Le premier d'entre eux serait de pouvoir mettre au service d'une collectivité (directement ou indirectement par le biais d'une administration ou d'une entreprise) les connaissances et compétences que j'ai développées tout au long de ma réflexion. Les questionnements supports de ma recherche sont en effet des préoccupations d'actualité auxquels les territoires de montagne sont très concrètement confrontés. Mes compétences pourraient être utiles à des bureaux d'étude spécialisés dans les domaines de la gestion de l'environnement, de l'eau en particulier, ou d'une administration en charge des problématiques d'aménagement et de protection des territoires de montagne (équipement, environnement, agriculture et forêt, au niveau régional ou départemental).

Dans cette logique de mettre mes savoir-faire et expériences à disposition d'un territoire, ma motivation première reste aujourd'hui d'intégrer les services d'un Conseil Général. **Le service environnement d'un département de montagne** serait susceptible d'être intéressé par mes services, en particulier pour élaborer, de façon partenariale avec les communes et stations de sports d'hiver concernées, des schémas de conciliation de l'eau (satisfaction de l'ensemble des usages et respect des milieux naturels). En Savoie, certains hauts bassins versant sont dès à présent soumis à de multiples pressions, contraignant l'adéquation « ressource disponible / besoins à satisfaire » ; un tel projet pourrait porter en priorité sur ces terrains.

Dans cette idée, des contacts sont d'ores et déjà établis avec le service environnement et paysage du Conseil Général de la Savoie. A sa demande, nous nous sommes récemment rencontrés ; celui-ci semble être intéressé par mes services, à l'issue de mon doctorat. De très prochaines échéances devraient me permettre de rencontrer le Directeur du service en question et de poursuivre (voire de concrétiser ?) nos échanges à propos d'une éventuelle future collaboration.

Mon second souhait porte sur un ensemble de projets actuellement en développement, dans lequel l'Université de Savoie est impliquée. Il s'agit en particulier de **la restructuration de l'Institut de la Montagne et du projet de plateforme Environnement-Eau-Montagne**. Très schématiquement, une des prochaines missions de ces organismes porterait sur la mise en réseau des acteurs socio-économiques de la montagne d'un côté, et de la recherche de l'autre. Il s'agirait donc de mettre en œuvre puis de porter cette mission d'interface dans le cadre de ces structures respectives. Modestement, mes connaissances et ma vision d'ensemble des deux univers en question me permettraient, je pense, de légitimement postuler aux offres de postes en question, si celles-ci devaient être effectives.

D'un point de vue plus général, c'est ici tout le champ des transferts méthodologiques et technologiques de la recherche vers l'industrie, des partenariats et collaboration entre ces deux univers, ainsi que de la valorisation de la recherche qui focalise mes attentions et intérêts.

Dans tous les cas, ma vocation première, en cohérence avec l'ensemble du parcours plutôt « professionnalisant et pratique » que j'ai réalisé jusqu'alors, n'est **pas de poursuivre une carrière à l'Université**, dans le domaine de l'enseignement ou de la recherche. S'il ne faut à mon sens « jamais dire jamais » compte tenu des incertitudes qui pèsent sur le marché de l'emploi et des opportunités qu'il faut savoir saisir, mon principal souhait n'est pas de postuler aux offres de Maître de Conférences des Universités ou de Chargé de Recherche d'un centre de recherche. Néanmoins, je reconnais volontiers que quitter le monde de la recherche impliquera un manque, en particulier dans l'espace de liberté qu'il me procure. Les métiers liés à mes aptitudes dans le **domaine de la recherche et du développement** me permettraient à cet égard de ne pas me couper de la recherche proprement dite. Ils sont ainsi susceptibles de m'intéresser.

Enfin, sur un tout autre plan, je dois espérer que ma passion pour les montagnes ne contraigne pas (trop...) ma future recherche d'emploi. La question ne se pose pas tant en termes de métier (je conçois bien entendu l'idée d'un travail intéressant mais non spécialisé « montagne ») mais plutôt en termes de mobilité géographique : pourrais-je accepter un poste, bien qu'enrichissant, s'il me fallait perdre de vue les sommets ? D'un point de vue purement théorique et géographique, ce paramètre de l'équation « perspective professionnelle » me limiterait en France à ne répondre qu'à des postes localisés en région Rhône-Alpes, Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Midi-Pyrénées, Languedoc-Roussillon ou Aquitaine⁸ (espace représentant tout de même 35% du territoire national, 14% en ne considérant que les régions Rhône-Alpes et PACA).

Non seulement, du fait de ma formation complète et transversale aux « métiers de la montagne » (néanmoins transférable à d'autres espaces), un départ vers d'autres territoires ne me permettrait pas d'optimiser l'ensemble de mes compétences mais il contraindrait également l'ensemble de mes loisirs, nécessaires à mon équilibre. L'idéal vers lequel je souhaite ainsi me diriger est un plein épanouissement dans un métier correspondant à l'ensemble de mes compétences, tout en me permettant de jouir de la montagne lors de mes temps libres. Ma motivation est dans tous les cas sans limite pour approcher cet idéal professionnel et personnel.

⁸ Tailles de caractère volontairement différentes : elles représentent mes destinations professionnelles et personnelles privilégiées (grands caractères) ou non (petits caractères).

Conclusion

Ce document s'est attaché à présenter mon projet de recherche dans son intégralité. Partant du cadre et des enjeux de celui-ci, l'analyse critique du déroulement de ma thèse constitue un des points forts de cette présentation. Ces quatre années de doctorat représentent à mes yeux une véritable expérience professionnelle de gestion de projet, depuis l'obtention des crédits nécessaires à son démarrage jusqu'à sa valorisation, notamment en termes de compétences développées (ou révélées) à mettre au service d'une future recherche d'emploi. Le budget global de ce projet, estimé à environ 230 000 euros, m'a fait prendre conscience de l'importance du coût de mes recherches et de l'investissement public relatif à celles-ci. Enfin, l'exercice du Nouveau Chapitre de la Thèse m'a permis de « coucher sur le papier » mes souhaits professionnels et leurs pistes respectives.

Les trois mots-clés du secteur d'activités auquel je me destine pourraient être : environnement, eau et montagne. Au regard de ce champ disciplinaire, la voie publique des collectivités territoriales est une des perspectives privilégiées. Concours et réponses aux offres d'emplois existantes sont les méthodes envisagées pour réaliser ce vœu. La sphère privée des bureaux d'études est également une cible potentielle en termes de recherche d'emplois. Des candidatures spontanées pourraient être adressées à ces entreprises. Enfin, les compétences acquises dans le domaine de l'enseignement et de la recherche pourraient aussi être mises au profit d'une recherche d'emploi dans le domaine des transferts entre la recherche et le monde socioéconomique, celui de la formation ou encore de la recherche et du développement public.

La concrétisation de l'une de ces opportunités me permettrait de mettre à profit mes compétences techniques et scientifiques (cartographie, gestion quantitative et qualitative de la ressource en eau, pédagogie, connaissance du fonctionnement des collectivités territoriales, connaissance des milieux montagnards) mais également l'ensemble des compétences plus personnelles que cet exercice du NCT m'a permis de révéler.

En définitive, et à l'image d'une belle course en montagne, une recherche doctorale est un parcours particulièrement enrichissant mais tout autant exigeant. Il s'agit de s'y préparer pour en gravir les différentes étapes en toute sérénité et sécurité. Les difficultés techniques à surmonter, voire même ses propres angoisses, si elles sont parfois très éprouvantes, ne sauraient enlever la joie et la fierté d'avoir atteint son objectif, le sommet. Mais en réalité, la métaphore de la cime pour évoquer la conclusion d'une recherche doctorale ne saurait tenir ; il me faudrait plutôt parler d'antécime : derrière se cache la continuité des recherches débutées ou le début d'une carrière professionnelle épanouissante, souhaitons-le.

J'ai dans tous les cas la certitude que mon expérience du « Nouveau Chapitre de la Thèse » est une nouvelle pierre, solide, dans la construction de mon parcours professionnel et personnel.

