

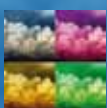
SAVOIE
→2020

→ LE CONSEIL GÉNÉRAL
ENGAGE LA RÉFLEXION
POUR LA SAVOIE DE DEMAIN



L I V R E B L A N C D U C L I M A T E N S A V O I E

MAI 2010



Membres du groupe de travail :

Frédéric BERLIOZ, Jean-Luc BESOMBES, Guillaume BRULFERT, Christophe CHAIX, Xavier CHANTRE, Didier CHA-
PUIS, Jean-Jacques DELANNOY, Michael DELORME, Henri DUPASSIEUX, Guy FAURE, Bruno FOUQUET, Anne-Cécile
FOUVET, Xavier GAYTE, Jocelyne GERARD, Pierre-Yves GRILLET, Gilles IMBERT, Vincent JACQUES LE SEIGNEUR,
Anne-Marie LAGOUTTE, Karine LEDIOURON, Christian MOUREMBLES, Robert MUGNIER, Claire SERES, Antoine
STOZICKY, Lise WLERICK, Philippe YVRANDE

Structures impliquées dans le groupe de travail :

L'Air de l'Ain et des Pays de Savoie, Association Savoyarde pour le Développement des Energies Renouvelables,
Chambéry Métropole, Chambre d'Agriculture de la Savoie, Conseil Général de la Savoie (Direction de l'environnement
et des paysages), Conservatoire du Patrimoine Naturel de la Savoie, Direction Départementale de l'Équipement et
de l'Agriculture, Groupement d'Intérêt Scientifique Alpes-Jura, Institut National de l'Énergie Solaire, Météo France,
Métropole Savoie, Mission Développement Prospective, ODIT-France, Office National des Forêts, Parc National de
la Vanoise, Université de Savoie.

Que tous les membres du groupe de travail et des experts soient ici vivement remerciés pour leur implication,
la qualité du travail réalisé et de dialogue et le temps pris pour mener à bien ce Livre Blanc.

Président du groupe de travail «Climat Savoie»

Jean-Jacques DELANNOY, Laboratoire EDYTEM, Université de Savoie

Equipe d'animation

Christophe CHAIX, Mission Développement Prospective
Robert MUGNIER, Mission Développement Prospective
Vincent JACQUES-LE-SEIGNEUR, Institut National de L'énergie Solaire

Conception, réalisation :

Bernard THOMAS, Mission Développement Prospective
Imprimé par Imprimerie Nouvelle Gonet (01)

AVANT-PROPOS

Territoire alpin, la Savoie fonde une grande part de ses activités et de son dynamisme sur la qualité de ses ressources naturelles. Depuis plusieurs décennies, le respect de l'environnement est au cœur des politiques conduites en Savoie. Plus récemment, la démarche prospective "Savoie 2020", conduite à l'initiative du Conseil général, a réaffirmé le caractère fondamental que constituent pour notre département, et pour les Alpes en général, la préservation du cadre naturel et le maintien des équilibres écologiques.



Les modifications annoncées du climat sont sources d'interrogations quant au devenir de ces ressources. L'évolution de la pluviométrie et de la température produisent des impacts sur les milieux et peuvent influencer de manière substantielle sur la disponibilité, ou la qualité, de certaines ressources. La question de l'enneigement est bien sûr au cœur de nos préoccupations, mais les variations climatiques interfèrent avec bien d'autres domaines comme l'agriculture, la gestion forestière, l'habitat, les déplacements, ..., autant de secteurs qui peuvent contribuer à ces modifications ou qui devront s'engager ou poursuivre leur adaptation.

Pour agir, il faut d'abord disposer d'un état des lieux, d'un diagnostic aussi précis et fiable que possible. Cependant, pour modifier nos politiques, entreprendre des actions d'adaptation, des données générales et globales ne suffisent pas. Ce qui importe pour nous, ce sont les réalités de notre territoire et les effets, déjà constatés ou prévisibles, que les variations climatiques vont produire localement.

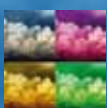
C'est l'objet même de ce Livre blanc dont la réalisation a été décidée par l'Assemblée départementale le 7 février 2008 et qui propose une présentation et une analyse aussi documentées que possible du changement climatique en Savoie.

Ce rapport est le résultat du travail d'un groupe présidé et piloté par le professeur Jean-Jacques DELANNOY, de l'Université de Savoie, qui a associé des spécialistes des différents domaines concernés. Ce groupe a bien sûr travaillé en toute indépendance et les conclusions de ce livre traduisent leur point de vue. Il s'agit cela dit d'un "dire d'expert" de grande qualité que le Conseil général met à disposition des acteurs politiques, économiques et sociaux, mais aussi de l'ensemble des savoyards.

Ce Livre blanc constitue un point de départ. La mission du groupe de travail se poursuit pour enrichir le document initial des connaissances nouvelles issues de la recherche et des études conduites sur ces domaines.

Je souhaite que ce document devienne un support à la réflexion et à l'action, avec l'ambition que la Savoie, comme elle l'a été dans les décennies précédentes en matière de sports d'hiver, puis dans le domaine de l'environnement, devienne un territoire innovant et exemplaire dans la recherche d'adaptations aux changements que les variations climatiques vont rendre inéluctables.

Hervé GAYMARD
Président du Conseil général



SOMMAIRE

1 - LA QUESTION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	p 7
1 - L'évolution du climat actuel	p 9
2 - Le changement climatique dans les Alpes et en Savoie	p 14
3 - Evolution à venir du climat : scénarios et perspectives	p 27
4 - Le changement climatique et l'effet de serre : qui est qui ?	p 34
2 - GAZ A EFFET DE SERRE ET STRATEGIES DE REDUCTION PAR SECTEUR EN SAVOIE	p 43
1 - Les émissions de gaz à effet de serre en Savoie	p 45
2 - Les transports	p 48
3 - L'habitat-tertiaire	p 57
4 - L'agriculture	p 65
5 - L'industrie en savoie	p 68
3 - LE CHANGEMENT CLIMATIQUE : SES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT ET L'ECONOMIE SAVOYARDS	p 73
> LA RESSOURCE EN EAU	p 75
1 - Ressource et usages en Savoie	p 76
2 - Changement climatique et régimes hydrologiques	p 79
3 - Projections à venir des effets du changement climatique sur les ressources en eau	p 85
4 - Anticiper les changements	p 86
> LE TOURISME	p 88
1 - L'importance du tourisme de montagne en Savoie	p 88
2 - Changement climatique et tourisme	p 91
3 - Stratégies d'adaptation	p 95
> L'AGRICULTURE	p 101
1 - Agriculture et changement climatique	p 101
2 - Les spécificités savoyardes	
3 - Impacts du changement climatique sur les systèmes de production savoyards	p 103
4 - Adaptation observée des systèmes de productions	p 105
5 - Les stratégies d'adaptation	p 107
> LES FORETS	p 108
1 - Changement climatique, forêts et sylviculture	p 108
2 - Impacts sur les forêts savoyardes	p 112
3 - Stratégies d'adaptation de la forêt	p 113
> LA BIODIVERSITE	p 114
1 - Etat des lieux	p 114
2 - Les impacts sur la biodiversité	p 115
3 - Stratégies d'adaptation	p 123
4 - CONCLUSION	p 127
Pour en savoir plus ...	p 135
Glossaire	p 137

INTRODUCTION

Le Livre blanc du climat en Savoie est le résultat d'un travail qui a été conduit sur plusieurs années. Il a été entrepris dans le cadre de la prospective «Savoie 2020» voulue par le Conseil général. Huit chantiers avaient été ouverts, dont un dédié au "Plan Climat Savoie". Pour mener à bien ce chantier, un groupe de travail a été constitué début 2007 réunissant des experts du climat, des spécialistes des ressources naturelles et des activités socio-économiques impactées par le climat, des acteurs de terrain, et des responsables de services départementaux et nationaux.

Dès son installation, le groupe de travail s'est donné l'ambition d'aborder de manière globale la question du climat en Savoie. Si la problématique de la réduction des gaz à effet de serre à l'échelle territoriale était initialement centrale, il est rapidement apparu tout aussi important d'appréhender au mieux la réalité du changement climatique en Savoie et ses impacts sur les ressources et les activités socio-économiques. C'est avec cet objectif que le groupe de travail s'est réuni régulièrement (en moyenne une fois par mois) et s'est entouré, pour certaines questions, d'experts afin d'aller le plus loin possible dans la connaissance et l'analyse des différents thèmes traités. Il importe de préciser que le groupe a travaillé en totale autonomie de pensée. Il s'est attaché à rassembler et traiter des données objectives, non contestables, pouvant constituer une base solide de dialogues constructifs. Sur cette période de trois ans, le groupe de travail a ainsi produit, grâce à l'implication de chacun, des connaissances nouvelles sur cette vaste et complexe question du changement climatique.

Il est rapidement apparu que cette question était transversale aux autres chantiers de «Savoie 2020» et qu'il était important de diffuser le plus largement possible les connaissances acquises au sein du groupe de travail. C'est ainsi qu'a germé l'idée d'un «Livre blanc Climat» avec la volonté de présenter des données objectives sur le changement climatique actuel et ses incidences sur les ressources et les activités socio-économiques. Notre souhait est que, au-delà de cette diffusion de nouvelles connaissances, le Livre blanc soit une base sur laquelle s'appuieront les acteurs socio-économiques et les décideurs territoriaux pour définir des modes de réponses innovants aux changements engendrés par les modifications actuelles et à venir du climat.

Le Livre blanc est structuré en quatre parties. La première part de la question générale du changement climatique pour rapidement aborder sa traduction dans les Alpes et en Savoie, notamment en termes de températures de précipitations et d'enneigement. La deuxième partie est consacrée aux gaz à effet de serre émis en Savoie et aux stratégies de réduction d'émission de ces gaz. La troisième partie analyse les impacts du changement climatique actuel sur les ressources naturelles, les risques, les activités socio-économiques et les mesures d'adaptation envisageables. Une attention particulière a été portée dans cette partie au tourisme, à l'agriculture et aux ressources en eau. La quatrième partie, conclusive, présente des pistes d'actions concrètes pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et pour répondre aux modifications induites par le climat.

Le Livre blanc constitue une avancée importante pour la Savoie. Peu de territoires disposent d'un tel diagnostic d'ensemble sur le climat mettant en avant les tendances à venir, tout en soulignant les spécificités locales liées à la diversité géographique de leur espace. Les réponses à apporter doivent tenir compte de ces spécificités et aussi de leurs effets à l'échelle de l'ensemble du territoire. C'est face à cette complexité que le Livre blanc souhaite contribuer à l'émergence des solutions les mieux adaptées aux défis du changement climatique.

PARTIE

1

LA QUESTION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Cette première partie pose la question de l'évolution du climat. Longtemps discuté, le changement climatique est aujourd'hui un fait avéré même si les causes et mécanismes sont encore au centre des recherches et de certaines controverses.

Quel est l'importance de ce changement ? Quels sont les incidences à l'échelle de notre pays et de notre région ? Quelle réalité à l'échelle de la Savoie et des ressources majeures que sont l'eau et la neige ? Quelles sont les tendances à venir ? Quel est le rôle des gaz à effet de serre ? Quelles sont les actions à mener ? C'est autour de ces questions qu'est structurée cette première partie du Livre blanc.

Quatre sections structurent cette première partie :

- 1 - L'évolution actuelle du climat à l'échelle planétaire et de la France
- 2 - Le changement climatique dans les Alpes et en Savoie
- 3 - Les scénarios et perspectives dans les années à venir
- 4 - L'effet de serre et le changement climatique

LA QUESTION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

1 • L'EVOLUTION DU CLIMAT ACTUEL

1 - Une tendance observée à l'échelle planétaire

Depuis le milieu du 19^{ème} siècle, on dispose de données climatiques issues des stations de mesure et de leur généralisation sur l'ensemble de la planète durant le 20^{ème} siècle.

A partir de ces données, on peut dégager des tendances climatiques à l'échelle planétaire, notamment en ce qui concerne les températures. Depuis la moitié du 19^{ème} siècle, on relève une évolution générale d'élévation de la température moyenne annuelle. Au niveau mondial, celle-ci a augmenté de 0,7°C depuis 1900. On relève également un emballement de cette évolution depuis les années 1980 (Fig.1).

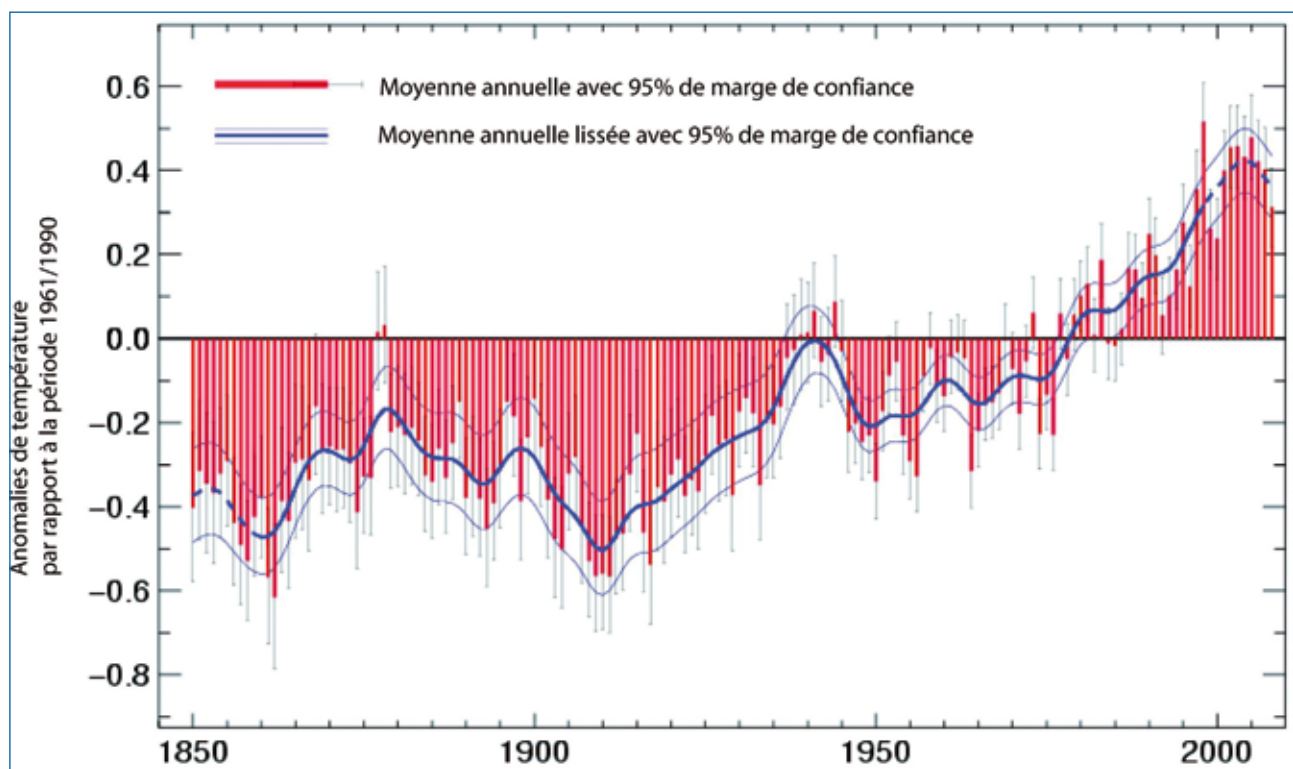


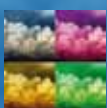
Fig. 1 - Evolution de la température moyenne annuelle planétaire de 1850 à 2009.

Met Office Hadley Centre, d'après Brohan et al, 2006.

> Les principales caractéristiques du changement climatique actuel

• **Son importance** : l'analyse de croissance des arbres et des coraux, l'étude des carottes glaciaires, des archives naturelles (dépôts lacustres, concrétions des grottes) et des données historiques indiquent que le **20^{ème} siècle est le plus chaud du dernier millénaire.**

Au niveau mondial, 1998 est l'année la plus chaude jamais mesurée, et parmi les dix années les plus chaudes, huit appartiennent à la décennie 2000/2009 (Met Office Hadley Center). Ces quelques données soulignent l'importance du changement climatique et sa rapidité depuis le début du 20^{ème} siècle (Fig.2).



• **Sa rapidité** : 4°C suffisent pour passer d'une période glaciaire (comme celle qu'a connu notre hémisphère durant les épisodes froids quaternaires) à une période tempérée (comme celle que nous connaissons depuis 15 000 ans). Le passage de l'ancienne période glaciaire à la période tempérée «actuelle» s'est réalisé sur des milliers d'années, ce qui est sans commune mesure avec ce qui se passe aujourd'hui. Si on considère la tendance actuelle, il faudrait moins d'un siècle pour ce seuil de 4°C !

• **Son caractère global**, au niveau planétaire. Quelle que soit l'origine du réchauffement climatique actuel, son effet se fait ressentir sur toutes les parties du globe. Si on parle souvent des effets sur les calottes glaciaires du fait de leur caractère spectaculaire (vêlage glaciaire, réduction de l'épaisseur de la banquise...), les incidences du changement climatique se produisent également sous nos latitudes. Ce livre blanc a pour objet de relever ces incidences sur nos territoires.

• **Son inertie** : si comme le soulignent de nombreux modèles climatiques, les émissions de gaz à effet de serre sont un des moteurs du réchauffement actuel, leur arrêt ne stopperait pas instantanément le phénomène. Le climat continuerait à changer en raison de l'accumulation de molécules comme celles de dioxyde de carbone (CO₂) dont la durée moyenne de vie est de 1 à 3 siècles, ou encore du méthane (CH₄).

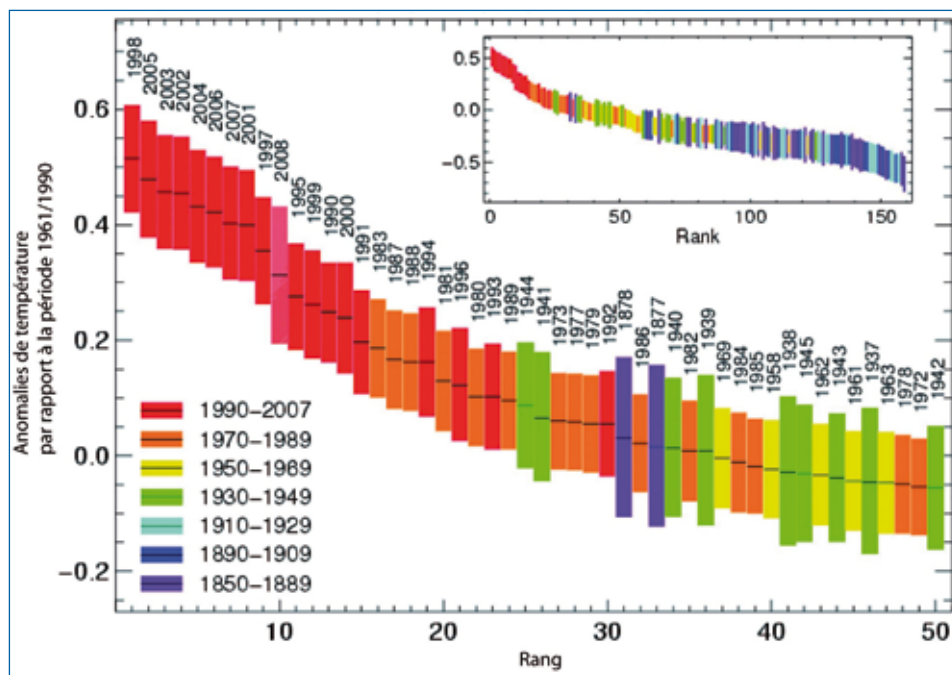
• **Un point de non-retour ?** Une des craintes exprimées par les chercheurs est d'atteindre un point de non-retour malgré les efforts réalisés pour réduire la production des gaz à effet de serre.

Ce point de non-retour est estimé à un réchauffement légèrement supérieur à 2°C. Au-delà de ce seuil, les océans et le permafrost libéreraient une masse importante de dioxyde de carbone et de méthane actuellement stockée en leur sein.

Fig. 2 - Classement des années les plus chaudes de 1850 à 2008.

Met Office Hadley Centre,
HadCRUT3

L'année 2009 est la cinquième année la plus chaude depuis 1850 (OMM).



A l'échelle des continents et des bassins océaniques, des effets du changement climatique ont été observés en dehors de cette forte augmentation des températures :

- Un accroissement des précipitations à l'est des Amériques du Nord et du Sud, au nord de l'Europe et de l'Asie et en Asie centrale.
- Une accentuation de la sécheresse : assèchement au Sahel, en Méditerranée, au sud de l'Afrique, en Océanie (Australie) et dans certaines parties du sud de l'Asie. Des changements de températures de surface des océans, de structures des vents, et de décroissance du pack neigeux et de la couverture neigeuse sont évoqués pour expliquer ces sécheresses.
- Une plus forte fréquence d'évènements de fortes précipitations sur la plupart des continents, due à une plus forte évaporation et à l'accroissement de la vapeur d'eau atmosphérique.
- Des changements largement répandus des températures extrêmes ont été obser-

vés pendant les cinquante dernières années. Les jours froids, les nuits froides et le gel sont devenus moins fréquents, tandis que les jours chauds, les nuits chaudes et les vagues de chaleur sont devenus plus fréquents.

- Les vents d'ouest de moyenne latitude se sont renforcés dans les deux hémisphères depuis 1960 (GIEC, 2007).

> Des impacts visibles sur certains systèmes naturels

- Les glaciers de montagne et la couverture neigeuse ont décliné dans les deux hémisphères. Depuis plusieurs années, la calotte polaire de l'hémisphère Nord fond. L'épaisseur de la glace de l'océan Arctique est passée de 4,88m en moyenne dans les années 1980, à 2,75 m en 2000, soit une réduction de 2,13 m en 20 ans (Fig.3). Depuis 1980, tous les dix ans, l'Arctique perd environ 10% de sa couche de glace permanente.

En septembre 2007, la superficie de la banquise était de seulement 4,14 millions de km², soit 1,2 million de km² de moins (environ deux fois la surface de la France) que lors du précédent «record» de septembre 2005. En l'espace de 2 ans, la banquise a perdu 22 % de sa surface.

L'océan Arctique pourrait être alors dépourvu de glace d'ici 50 à 100 ans, ce qui aurait des répercussions sur le système climatique mondial et le niveau des océans.



- Le niveau moyen de la mer s'est élevé à une vitesse de 3,3 mm/an depuis 1994 d'après les relevés des satellites Topex et Jason (Fig. 5). Lors du siècle dernier, le niveau de la mer a monté de 20 cm environ, ce qui en moyenne correspond à 2 mm/an (Church and White, 2006).

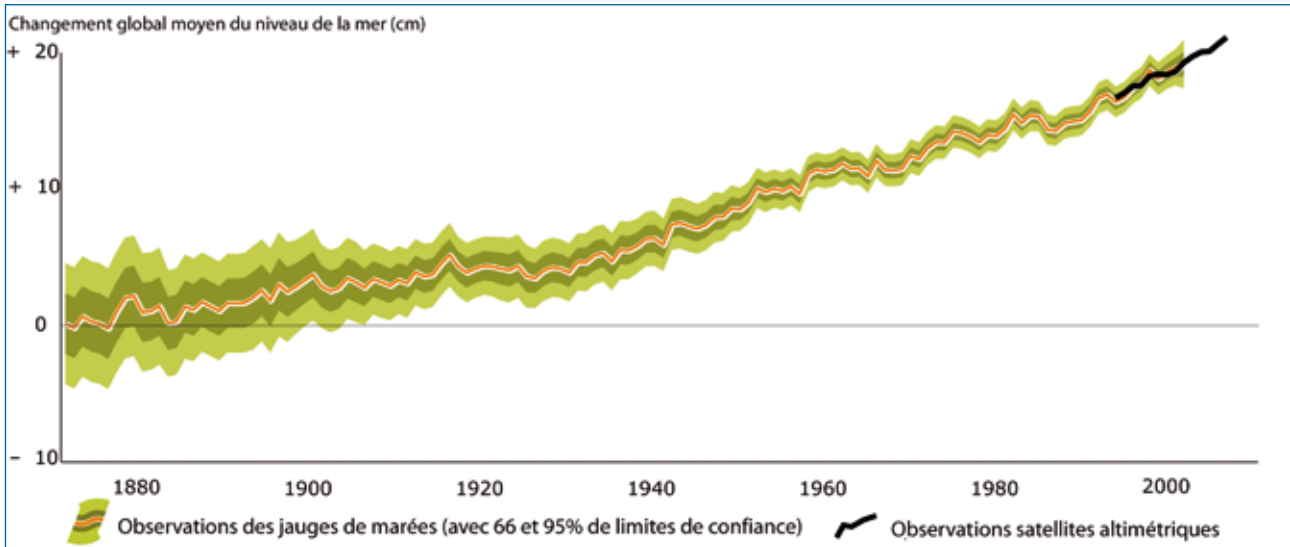
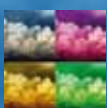


Fig. 5 - Changement du niveau moyen de la mer entre 1870 et 2008
Church and White, 2006

Il importe ici de vérifier si ces observations réalisées à l'échelle planétaire se traduisent avec une même intensité à l'échelle de la France et de nos territoires.

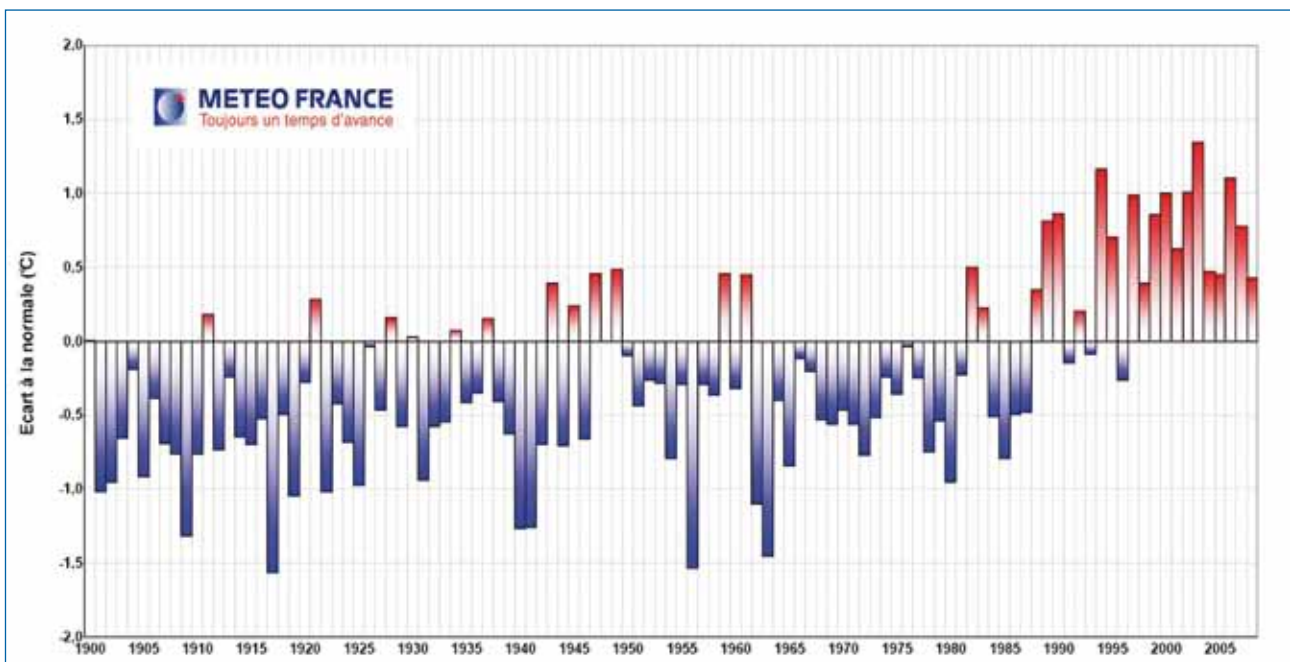
2 - Et en France, qu'en est-il du changement climatique ?

> Les températures

Depuis 1860, la température moyenne a augmenté de près de 1°C. Durant le 20^{ème} siècle, les données de Météo France permettent de souligner (Fig. 6) :

- Un réchauffement de 0,8° à 1,6°C pour les températures du matin (plus marqué à l'Ouest qu'à l'Est).
- Une tendance de 0° à +1,2°C pour les températures de l'après-midi (réchauffement plus marqué au Sud qu'au Nord).
- Une diminution du contraste thermique, entre les maximales et les minimales diurnes.

Fig. 6 - Ecart moyen annuel de la température en France de 1900 à 2009 par rapport à la normale 1971-2000
Météo-France.
Sur cette figure, on relève également l'emballement du réchauffement à partir des années 1980.





> Les précipitations

Si on n'observe pas de changement significatif des précipitations moyennes en France au cours du siècle dernier, on relève néanmoins les tendances saisonnières suivantes :

- en hiver : une hausse significative sur un tiers des postes de mesures ;
- en été : tendance généralisée à la baisse sans que cela soit considéré pour le moment significatif.

Ces évolutions conduisent à une accentuation des contrastes saisonniers du point de vue pluviométrique (Moisselin et al, 2002).

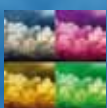
D'un point de vue géographique, on note une augmentation des précipitations en Europe du nord, et une diminution en Europe du sud. En France, on retrouve la même distinction nord-sud avec, en particulier, une baisse assez importante de la pluviométrie près de la Méditerranée et des Pyrénées, à l'origine de noyaux de sécheresse récurrents.

> Précipitations extrêmes et tempêtes

On ne relève pas de changement de tendance significative depuis la moitié du siècle dernier pour les pluies diluviennes en France. Ce n'est pas le cas en Suisse et en Bavière où les fortes précipitations ont augmenté en automne et en hiver (Schmidli and Frei, 2005).

Au sujet de la fréquence des tempêtes, il n'existe pas de tendance significative sur leur augmentation, tout comme sur leur intensité qui reste inchangée par rapport au début du 20^{ème} siècle. En France, une quinzaine de tempêtes surviennent chaque année (variabilité interannuelle très forte : 26 évènements en 1962 contre 7 en 1968). Une sur dix en moyenne est considérée comme «forte» (tempêtes de 1999 et 2009).

Ces différentes observations soulignent la «réalité» du changement climatique actuel tant à l'échelle planétaire qu'à celle du pays. On ne peut à ce jour contester l'augmentation des températures, une modification du régime des précipitations, la fonte des glaciers, des calottes et de la banquise, une remontée du niveau marin, etc. Ces modifications ont de fait des répercussions sur l'environnement, les ressources naturelles (eau, végétation, sol...), les activités socio-économiques et la gestion des territoires. Ces répercussions ne sont pas homogènes d'un point à un autre de la planète, d'un continent et d'un pays. Il importe, à l'échelle d'un territoire comme celui de la Savoie, d'appréhender les effets du changement climatique : c'est l'objet de ce Livre blanc.



2• LE CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES ALPES ET EN SAVOIE

Un des objectifs du Livre blanc est de traiter les effets du changement climatique actuel sur les activités socio-économiques, les ressources et les territoires de Savoie. Avant d'en appréhender l'intensité, il faut **définir des référents**. Ceux-ci diffèrent du reste du pays du fait du caractère montagnard de notre région et de sa position géographique au carrefour de plusieurs influences climatiques. C'est pourquoi les caractéristiques climatiques des Alpes sont ici rappelées brièvement.

1 -Caractéristiques du climat des Alpes

Les Alpes sont soumises à quatre grandes influences climatiques dont l'emprise est plus ou moins importante selon la situation géographique et les saisons.

Ces influences sont : les flux d'ouest qui transportent douceur et humidité (influence atlantique) ; les flux méditerranéens qui amènent chaleur et pluies sur les versants méridionaux (effet de foehn sur les versants nord) ; les flux de nord issus des hautes latitudes (froid et sec) ; la masse d'air continental à l'Est (froid et sec en hiver et chaud en été).

Les Alpes, par leur effet de barrière, la puissance des reliefs et leur disposition en arc de cercle, ont pour effet d'accentuer ou d'atténuer ces différentes influences climatiques (position de front par rapport aux flux, sites d'abri, etc.). Ceci explique pourquoi les Alpes se caractérisent par **d'importantes variations spatiales des températures et des précipitations**.

L'altitude (gradient altitudinal et climatique), la présence d'une couverture nivo-glaciaire, la physiographie du relief jouent un rôle important sur les températures et les précipitations (neige, pluie...). Cela se traduit, en hiver, par des précipitations essentiellement nivales au-dessus de 1 500 m d'altitude. A partir de 2 000 m environ, le manteau neigeux se maintient en moyenne de la mi-novembre à la fin mai. En termes de saisonnalité, les températures culminent pendant les mois d'été dans toutes les Alpes. En revanche, la saisonnalité des pluies est beaucoup plus variable spatialement et elle est fonction de la situation et de l'orographie (Frei et Schär, 1998).

Cette courte introduction a pour objet de mettre en avant **la relative complexité des conditions et données climatiques dans les Alpes**. Si de grandes tendances peuvent être dégagées pour l'ensemble de la chaîne alpine, **la déclinaison par massif et par vallée des effets du changement climatique nécessite un plus grand discernement**, notamment dans l'application de modes d'adaptation aux modifications environnementales et de certaines activités économiques (tourisme hivernal, aménagements hydrauliques...). **Cela suppose de disposer de données et d'un suivi suffisamment long** pour dégager les tendances à l'échelle locale des effets du changement global. **L'indigence des données locales rend parfois délicate l'interprétation aux échelles de nos territoires de montagne**.

Toutefois, les données existantes et les recherches en cours ont permis d'établir un diagnostic sur l'évolution du climat savoyard et c'est bien l'objet de la première partie du Livre blanc.

> Tendances observées pour le climat des Alpes

Les reconstitutions du climat des Alpes à partir des enregistrements contenus dans les archives naturelles (lacustres, glaciaires, karstiques...) et des archives historiques mettent en avant, durant le dernier millénaire, l'existence de plusieurs variations marquées du climat.

Ainsi, après **l'optimum climatique médiéval** (Moyen Age), les Alpes ont connu un net refroidissement appelé «**Petit Age Glaciaire**» (PAG) qui a duré plusieurs siècles (16^{ème} - 19^{ème} siècles). Durant cette période, les glaciers ont envahi de nouveau certaines vallées alpines et les conditions de vie ont été particulièrement difficiles.

La fin du PAG (fin 19^{ème} siècle) coïncide avec le début de **la révolution industrielle**. Cette coïncidence a été, et est encore, un des éléments forts de discussion entre les scientifiques, notamment autour du questionnement suivant : comment faire la part entre le réchauffement naturel faisant suite à une période froide (cause astronomique) et le rôle de l'homme notamment du rejet des gaz à effet de serre émis par les industries et les nouveaux modes de transport ? Cette discussion est aujourd'hui en grande partie tranchée. Si on ne peut nier la part naturelle du réchauffement actuel, l'importance de celui-ci est telle qu'elle ne peut être que liée aux seules activités humaines. L'étude des informations contenues dans les archives naturelles (glace, lacs, grottes, arbres...) met clairement en avant que **l'ampleur du réchauffement actuel sur une si courte durée est exceptionnelle** (OCDE, 2007).

Dans les Alpes, les températures ont connu une augmentation pouvant aller jusqu'à 2°C au cours du 20^{ème} siècle et du début du 21^{ème} siècle. Le réchauffement, depuis le milieu des années 1980, bien qu'en phase avec le réchauffement planétaire, est à peu près trois fois plus sensible que la moyenne mondiale (Beniston, 2005), et deux fois plus que pour l'hémisphère nord. Les années 2007 et 2008 font partie des années les plus chaudes jamais enregistrées malgré leur météorologie maussade, ainsi que 2009.

En revanche, sur cette même période, on ne constate pas de tendance similaire pour **les précipitations moyennes**, bien qu'une légère diminution des précipitations régionales ait été observée depuis 1970 sur les Alpes (Casty et al., 2005) et plus localement depuis 2000. Cette tendance annuelle des précipitations peut néanmoins être affinée : les précipitations hivernales dans les Alpes tendent à augmenter, ce qui n'est pas le cas des précipitations estivales qui diminuent parfois de manière significative selon les massifs et leur situation vis-à-vis des flux atmosphériques. Nous verrons que la situation en Savoie est aussi particulière.

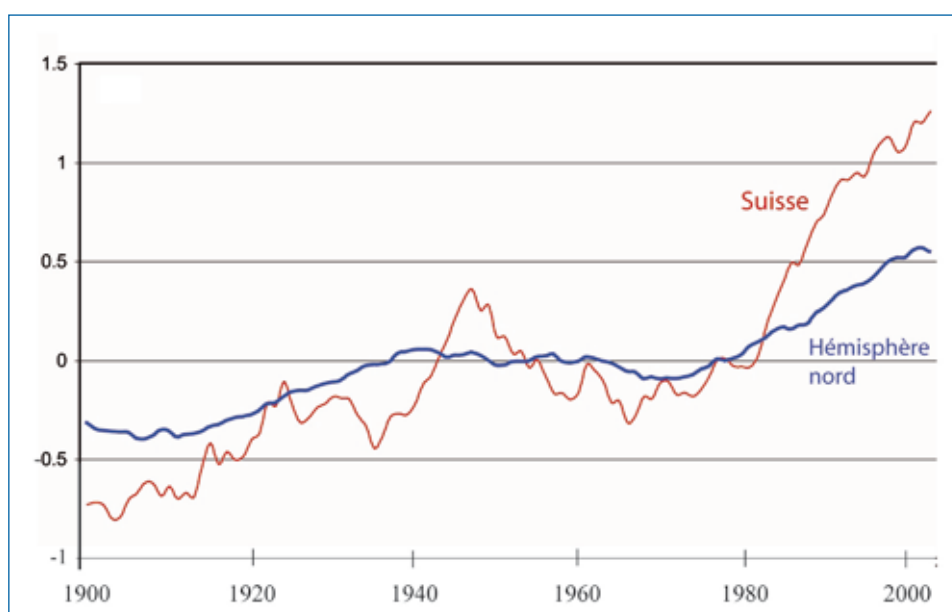
> Disposer d'un référent : la Suisse

La Suisse, pays quasi exclusivement de montagne, dispose de nombreuses données permettant de suivre avec acuité les effets du changement climatique, notamment pour les températures.

Météo-Suisse considère que les températures moyennes en Suisse ont augmenté de 1,47°C sur la période 1900-2006 (Fig. 7). Le réchauffement y est plus marqué qu'en France : est-ce lié à sa topographie montagnarde ? A proximité de la Savoie, il existe des postes de **mesures disposant de séries météorologiques datant de 1864**. A titre d'exemple, au Château d'Oex (985 m, dans le canton de Vaud), la hausse a été de **+ 2°C de 1900 à 2009**.

La station météo du Säntis (au sud de St Gallen), située à 2 502 m, dispose d'une **série exceptionnelle de mesures remontant à 1864**. C'est actuellement la plus haute

*Fig. 7 - Anomalies annuelles de température en Suisse comparées à l'hémisphère nord de 1901 à 2004
Rebetez and Reinhard, 2007*



station d'Europe à bénéficier d'une série aussi longue. La température a augmenté de + 1,81°C entre 1864 et 2009 (Fig.8).

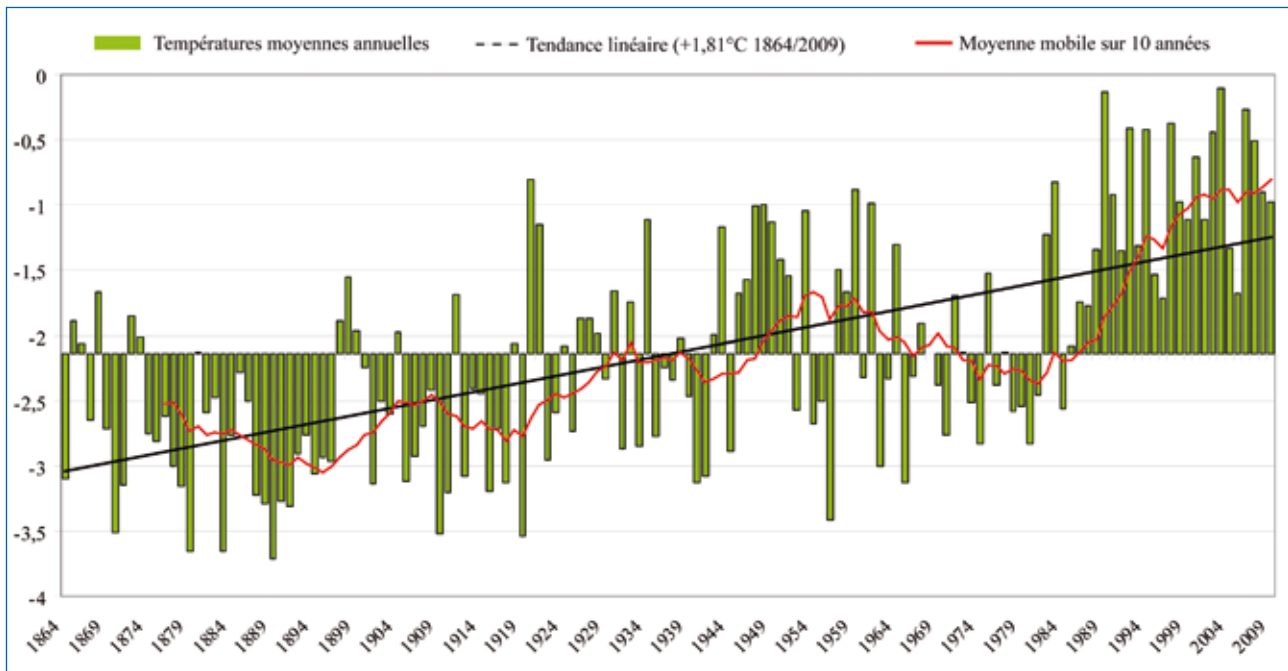


Fig. 8 - Températures moyennes annuelles mesurées au Sântis (2 502m) de 1864 à 2009. Météo-Suisse, C. Chaix

L'Europe est plus fortement touchée par le réchauffement des températures que d'autres continents, et les températures augmentent plus rapidement en montagne qu'en plaine (la hausse est en moyenne comprise entre 1,5 et 2°C depuis presque 150 ans).

2 -L'évolution des températures en Savoie

La Savoie dispose de 50 stations météorologiques Météo-France ouvertes actuellement et mesurant à la fois les températures et les précipitations. Les séries de températures ne sont, cependant, pas toujours homogènes et continues. En effet, certaines stations météorologiques ont été déplacées, d'autres ont été fermées après des années de fonctionnement et d'autres encore sont localisées à des emplacements très particuliers (sur un sommet ou dans une cuvette par exemple), ce qui a pour effet de «bruiter» les séries de données. **C'est pourquoi il est toujours difficile d'utiliser les relevés météorologiques à des fins climatologiques.**

En Savoie, Météo-France dispose de plusieurs séries qui ont été «homogénéisée » afin de suivre l'évolution des températures de 1950 jusqu'en 2009. Ces séries correspondent aux stations de Bourg-Saint-Maurice, Avrieux, Pralognan-la-Vanoise, Termignon et Peisey-Nancroix. Quant à l'évolution des températures de l'Avant-Pays Savoyard, on peut se référer à la série homogène de températures d'Annecy (Haute-Savoie) qui offre un recul de 131 ans, depuis 1876 ! La série de Challes-les-Eaux, actuellement indisponible car en cours d'homogénéisation, est similaire à celle d'Annecy sur les cinquante dernières années.

> L'évolution des températures dans l'Avant Pays à partir du référent annécien

La longue série de mesure sur Annecy permet d'appréhender l'évolution des températures sur l'Avant-Pays Savoyard (Fig.9).

Depuis 1876, les dix années les plus chaudes à Annecy (températures moyennes annuelles) ont été enregistrées lors des deux dernières décennies, dont huit depuis l'an 2000 ! Sur le 20^{ème} siècle, la température moyenne a augmenté de + 1°C, ce qui correspond à la normale française. Si on ajoute à cette série, les

années 2000 à 2009, on passe à + **1,47°C**, ce qui souligne l'importance du réchauffement de ce début de siècle sur nos territoires.

Cette croissance n'est pas continue : en effet on relève que la température a d'abord augmenté de + 0,72°C (1876 à 1947), puis a stagné voire légèrement chuté (1947 à 1985) et a ensuite de nouveau augmenté de + 1°C (à partir de 1986). **Il importe de souligner qu'à partir de 1986 aucune moyenne annuelle n'est en dessous de la moyenne générale 1876/2009 !** Ces résultats sont cohérents avec ce qui est observé à Lyon ou à Genève.

L'analyse des maxima et des minima saisonniers indique que depuis 1876 **les températures hivernales se sont le plus réchauffées** (+ 1,65°C, min et max confondus), suivies de près par les températures estivales minimales. En automne et au printemps, le réchauffement est plus sensible pour les maximales (+ 1,54°C), que pour les minimales (+ 0,80°C).

Si on tient compte du réchauffement depuis les années 1980, on relève un changement de tendance avec une forte hausse des maximales annuelles de + 1,9°C (+ 0,7°C pour les minimales). **En printemps et en été, l'augmentation est exceptionnelle : + 3°C !** Cette différence avec la tendance s'explique par la récente multiplication des étés et des printemps chauds alors que les hivers sont assez doux depuis 30 ans.

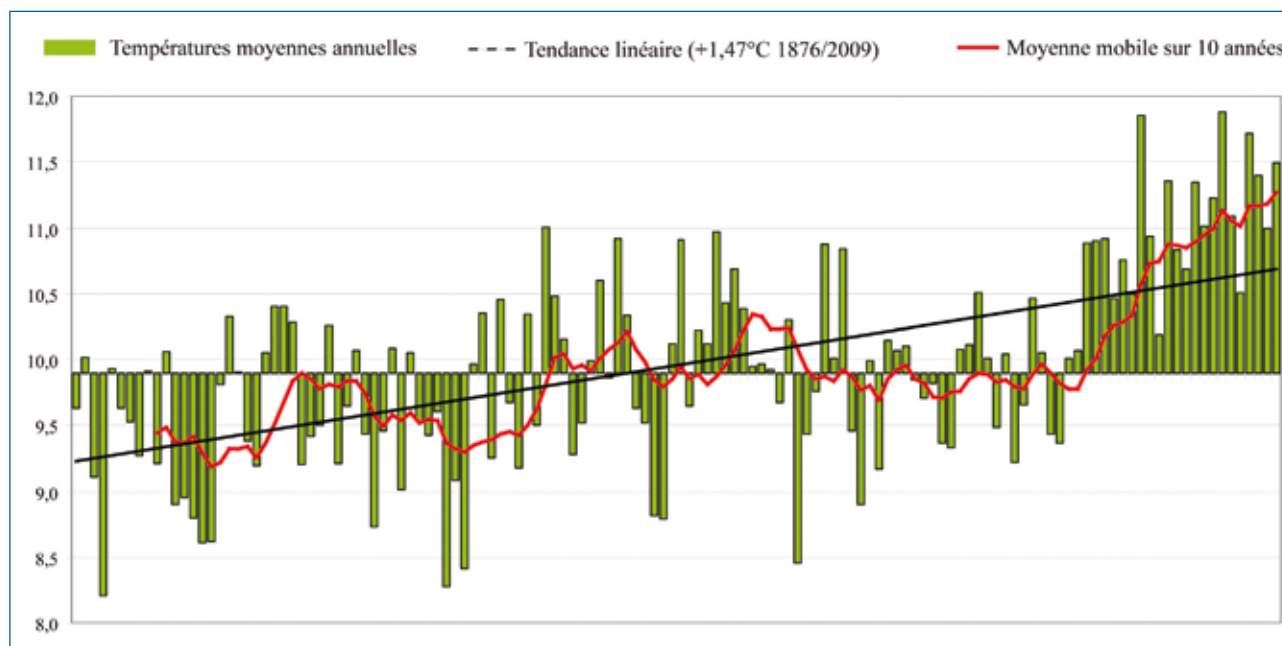


Fig. 9 - Températures moyennes annuelles mesurées à Annecy de 1876 à 2009.
Météo-France, C. Chaix

Ces données soulignent que l'Avant-Pays Savoyard est particulièrement touché par le réchauffement des températures, et ce surtout depuis 25 ans.

> L'évolution des températures en montagne depuis 1950

L'analyse de l'évolution des températures repose sur les séries météorologiques de Bourg-Saint-Maurice (865m), Avrieux (1 102 m), Termignon (1 350 m), Peisey-Nancroix (1 350 m) et Pralognan-la-Vanoise (1 420 m) (Météo France, 2008).

L'analyse du climat en Suisse met en avant un comportement différencié entre l'Avant Pays et le domaine montagnard. Retrouve-t-on en Savoie une évolution similaire ? Afin de répondre à cette question, l'évolution des températures moyennes, minimales et maximales, entre 1950 et 2009, sera traitée. Nous nous focaliserons ensuite sur les températures hivernales.

• Evolution des températures moyennes en montagne entre 1950 et 2009

Dans l'ensemble des postes de montagne, on relève depuis 1950 **une augmentation des températures moyennes. Cette augmentation se situe entre + 1,69°C à Avrieux à + 1,81°C à Bourg st Maurice (+ 1,74°C en moyenne)** (Fig.10). Ces moyennes sont cohérentes avec celles relevées en Suisse.

Au niveau saisonnier, les étés et les hivers se sont réchauffés de manière similaire en Savoie (+ 2°C) avec des pics mensuels pour janvier (+ 2,5°C) et août (+ 2,46°C), suivis du printemps (+ 1,78°C) et de l'automne (+ 1,17°C) (Fig. 10 et 11).

Depuis 1985, début de l'important réchauffement actuel, **c'est la saison printanière** qui s'est le plus réchauffée avec + 2°C (Fig.12).

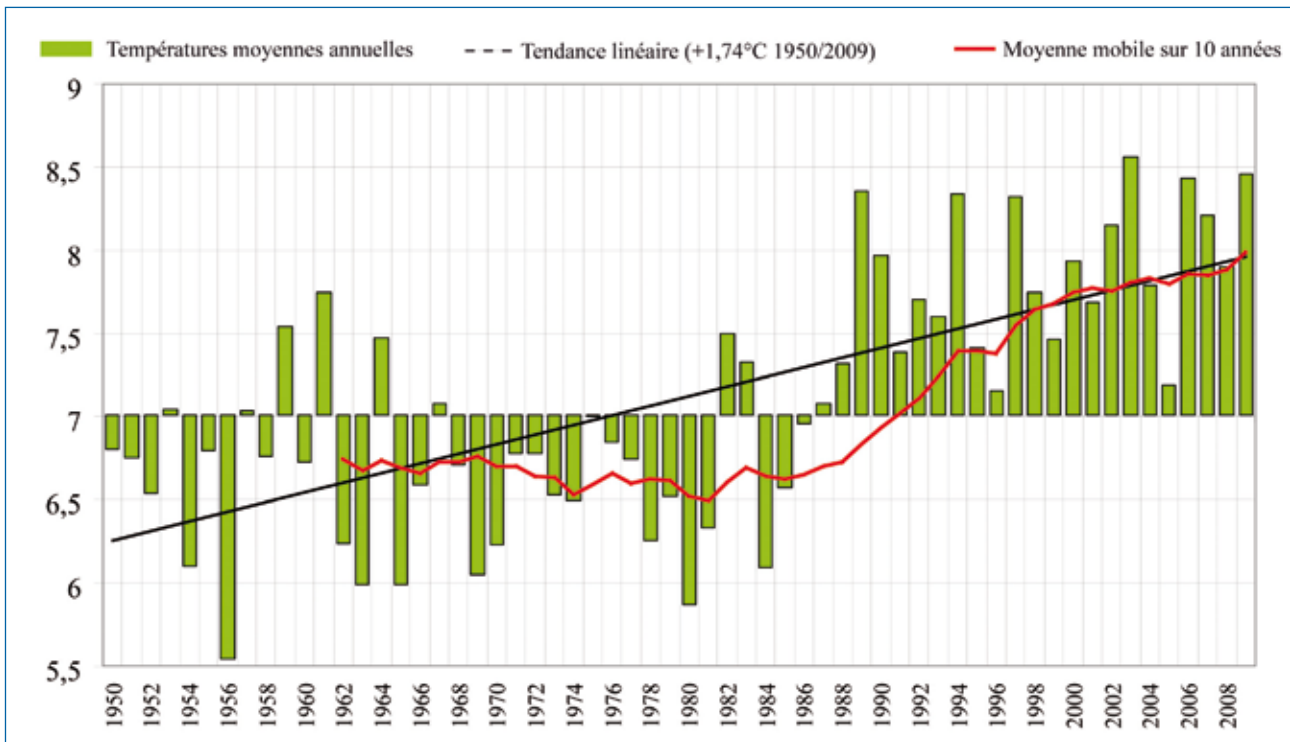


Fig. 10 - Ecart moyen annuel de la température de la montagne savoyarde de 1950 à 2009 par rapport à la normale 1971/2000.

Météo-France, C. Chaix
Postes de mesure : Bourg-Saint-Maurice (865m), Avrieux (1 102 m), Termignon (1 350 m), Peisey-Nancroix (1 350 m) et Pralognan-la-Vanoise (1 420 m).

• Les températures minimales

Elles sont du même ordre de grandeur que les températures moyennes : le réchauffement moyen est de l'ordre de +1,76°C sur l'ensemble des postes. **Toutefois, certains sites ont connu un réchauffement important des minimales mensuelles en janvier (+ 2,92°C à Termignon) ou en août (+ 2,88°C à Peisey-Nancroix), contrastant avec le mois de septembre (+ 0,81°C) à Bourg st Maurice.**

• Les températures maximales

Elles ont augmenté en moyenne de + 1,64°C à Avrieux à + 1,80°C à Pralognan (+ 1,73°C en moyenne sur l'ensemble des postes). **L'été est la saison la plus touchée, et c'est le mois de juin qui présente le plus fort réchauffement (+ 2,5°C) suivi des mois de janvier, février et août.**

C'est au niveau des températures maximales mensuelles qu'on relève une plus grande disparité spatiale : par exemple, pour le mois de janvier l'augmentation est de + 1,64°C à Avrieux et de + 2,84°C à Pralognan, qui sont deux sites de fond de vallée.

Notons aussi qu'à Chamonix, le nombre de jours où la température a été supérieure à 25°C a doublé depuis 1950 (de 20 à 40 par an).

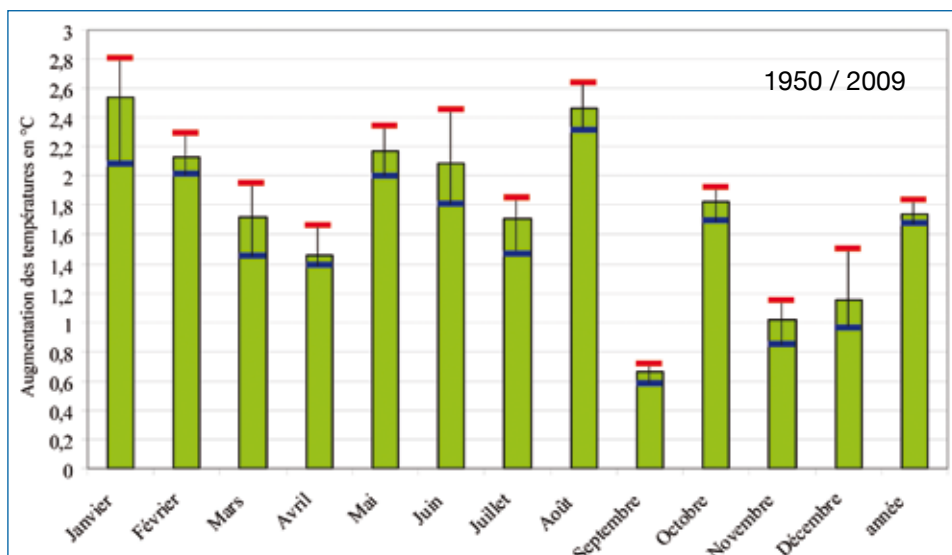


Fig. 11 - Augmentation des températures moyennes mensuelles sur la période 1950/2009 pour cinq postes de mesures savoyards de montagne (Bourg-Saint-Maurice 865 m, Avrieux 1 102 m, Termignon 1 350 m, Peisey-Nancroix 1 350 m, Pralognan-la-Vanoise 1 420 m). Météo-France, C. Chaix
Barre rouge : valeur maximale parmi les cinq postes ; barre bleue : valeur minimale.

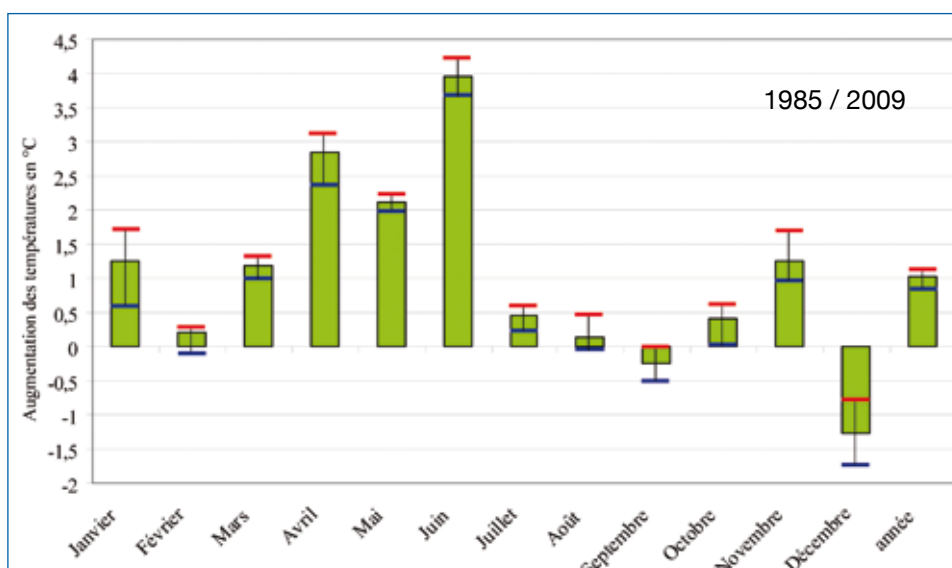


Fig. 12 - Augmentations des températures moyennes mensuelles sur la période 1985/2009 pour cinq postes de mesures savoyards de montagne (Bourg-Saint-Maurice 865 m, Avrieux 1 102 m, Termignon 1 350 m, Peisey-Nancroix 1 350 m, Pralognan-la-Vanoise 1 420 m). Météo-France, C. Chaix
Barre rouge : valeur maximale parmi les cinq postes ; barre bleue : valeur minimale.
On observe que la température a augmenté très fortement pendant la saison printanière (tendance similaire en Suisse, voir Rebetez et Reinhard, 2007).

Massif	Tendance température	
	1960/1980	1980/2000
Belledonne (à 1800m)	+ 0°C	+2°C
Mercantour (à 1800m)	+ 0°C	+1°C
Mont Blanc (à 1800m)	+ 0°C	+1,5°C

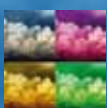
Fig. 13 - Augmentation des températures dans trois massifs de haute-montagne des Alpes françaises
Météo-France

• Evolution des températures hivernales en montagne

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.

Néanmoins, depuis les années 80, on constate l'évolution suivante :

- un tassement de l'augmentation durant la **pleine saison** (+ 0,7°C),
- peu de changement durant l'**avant saison** (novembre-décembre) (- 0,1°C),
- **et une nette augmentation des températures pendant l'arrière saison** (mars-avril), + 1,77°C pour la période 1985/2008. Si cette évolution se poursuit, cette arrière saison peut-elle encore être qualifiée d'hivernale ? La faible variabilité des moyennes interannuelles et la douceur des températures de cette période en font une période "quasi-printanière".



• **L'isotherme zéro degré en hiver**

L'élévation générale de la température entraîne de fait celle de l'isotherme zéro en hiver. De 1958 à 2003, l'altitude de l'isotherme 0°C est passée en Suisse pour les mois d'hiver de 600 m dans les années 1960 à près de 900 m dans les années 1990 (OCCC, 2007).

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).

En moyenne, sur l'ensemble des postes météorologiques étudiés (Alpes du Nord et Suisse), le réchauffement des températures atteint + 1,7°C depuis 1900 et voire + 2°C sur les hauts versants bien exposés.

Depuis 1950, la hausse des températures est généralisée sur l'ensemble de l'année (surtout en hiver et en été).

Depuis 1985, on relève que la fin de l'hiver et le printemps se traduisent par un plus fort réchauffement.

Enfin, les températures minimales ont plus augmenté que les maximales durant la seconde moitié du siècle dernier. Depuis 25 ans, on constate que les maximales sont à leur tour en fortes hausses.

> **La montagne, facteur de différenciation climatique**

Une des caractéristiques du climat de montagne est l'existence de fortes différences d'un site à l'autre compte tenu des effets de sites, des influences topographiques, d'exposition, etc. Cette diversité spatiale est encore difficilement mesurable car on ne dispose pas suffisamment de recul sur les enregistrements effectués notamment en haute-montagne (Mont-Cenis, Méribel, Val d'Isère, Tignes, La Masse, etc.). Cependant, certaines séries de mesures permettent de distinguer des secteurs plus vulnérables à l'augmentation des températures et d'autres pour l'instant mieux protégés.

On relève que **les versants de montagne, les grandes vallées alpines et l'Avant-Pays Savoyard** ont connu **une forte augmentation** des températures depuis plus d'un siècle avec une même accélération depuis les années 1980. Les massifs des Préalpes apparaissent plus sensibles à cette augmentation que les massifs des Alpes internes et plus sujets aux redoux hivernaux et étés caniculaires.

Les fonds des hautes vallées alpines apparaissent **moins affectés par le réchauffement**, du fait des phénomènes d'**inversion thermique** (fosse à froid). Les sites protégés du soleil, où l'air froid s'accumule, connaissent des évolutions moins marquées de leur température moyenne que les sites bien exposés. Cela conditionne de fait le maintien du manteau neigeux. La Haute-Maurienne constitue un cas particulier au sein des hautes vallées alpines : elle connaît depuis plusieurs décennies un réchauffement et un assèchement plus prononcés.

Ces résultats doivent être nuancés en fonction de l'**exposition**. En effet, les versants exposés au sud et à l'ouest subissent un plus fort réchauffement que ceux exposés au nord et à l'est.

Ces nuances soulignent la difficulté de généraliser «le» climat de montagne en Savoie et à plus forte raison d'appréhender avec précision le changement climatique actuel. On mesure ici l'importance de disposer de données climatiques sur des séries temporelles suffisamment longues pour dégager des tendances solides et non contestables. Toutefois, les données existantes sur les Savoies et la Suisse mettent en avant la réalité du changement climatique en montagne dont les effets sont plus ou moins marqués d'une vallée à l'autre, d'un massif à l'autre. C'est à l'échelle locale que l'étude des incidences du changement climatique doit être menée ; malheureusement c'est souvent à cette échelle qu'on est confronté à l'indigence de données ou de stations climatiques. Le suivi de ce changement nécessite une réelle mobilisation de moyens.

3 - Evolution des précipitations en Savoie

L'évolution des précipitations et de leur régime est moins nette que celle des températures. La distribution temporelle et géographique des champs de précipitations est, en effet, particulièrement influencée par l'orographie (relief, effet-barrière, exposition aux flux...). **En Savoie**, les séries de Bourg-Saint-Maurice et de Challes-les-Eaux se recoupent avec la longue série de Genève : **elles mettent en avant une très faible et non significative augmentation des précipitations annuelles depuis 1947** (Fig. 14). Toutefois **la station de Bessans a enregistré une baisse annuelle de 17 % des précipitations annuelles**, tendance très localisée qui ne se retrouve pas à l'échelle des Alpes françaises (Fig. 15). Au niveau mensuel (Bourg-Saint-Maurice) on relève (i) une augmentation plus significative de la pluviométrie pour les mois de mars, mai et octobre, et (ii) une diminution significative pour les mois d'août et novembre.

Pour la période hivernale (novembre-avril), de récentes analyses mettent en avant **une diminution des cumuls de quantité de précipitations. La baisse avoisine les 10 % sur la période 1959/2008**, avec de grandes disparités géographiques : de 6 % à Montsapey (idem pour le Beaufortain), 15 % en Vanoise, **jusqu'à 36 % à Bessans** (Météo-France, 2008).

Ces fortes disparités, aussi bien aux échelles annuelles que saisonnières, invitent à la prudence quant à la généralisation de toutes tendances pluviométriques, quelles qu'elles soient. Il importe ici également de raisonner aux échelles locales afin de suivre les évolutions actuelles et à venir.

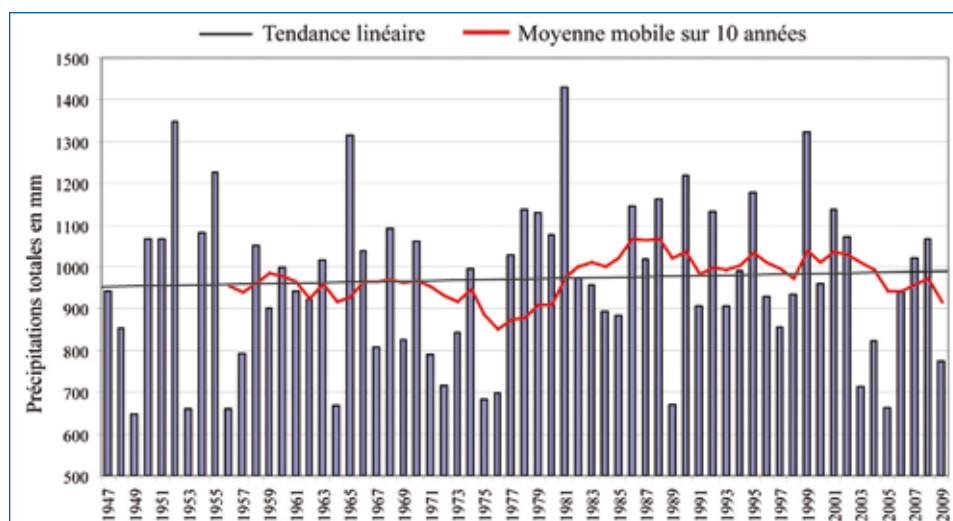


Fig. 14 - Evolution des totaux de précipitations annuelles à Bourg-Saint-Maurice de 1947 à 2009
Météo-France

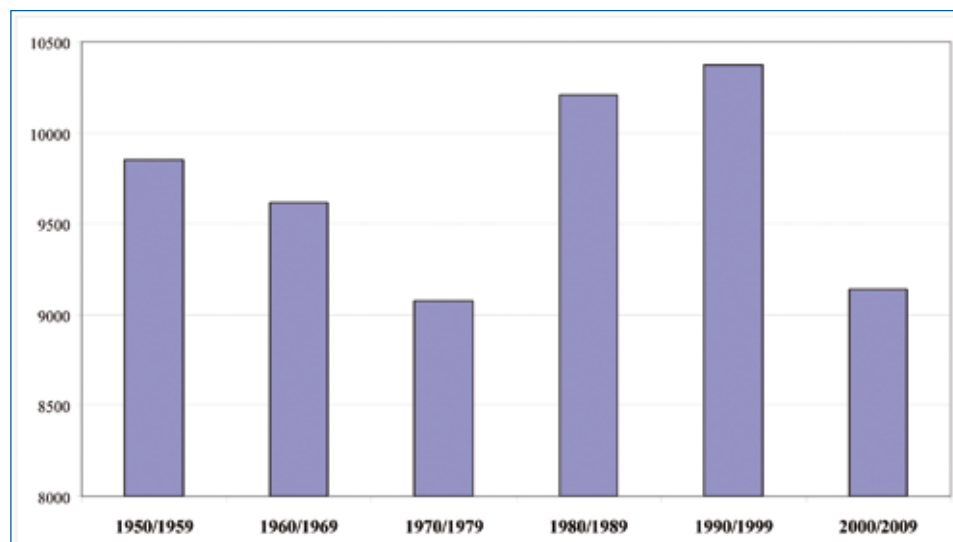


Fig. 14 bis - Cumuls décennaux de précipitations en mm à Bourg st Maurice depuis 1950
Météo-France, C. Chaix

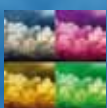
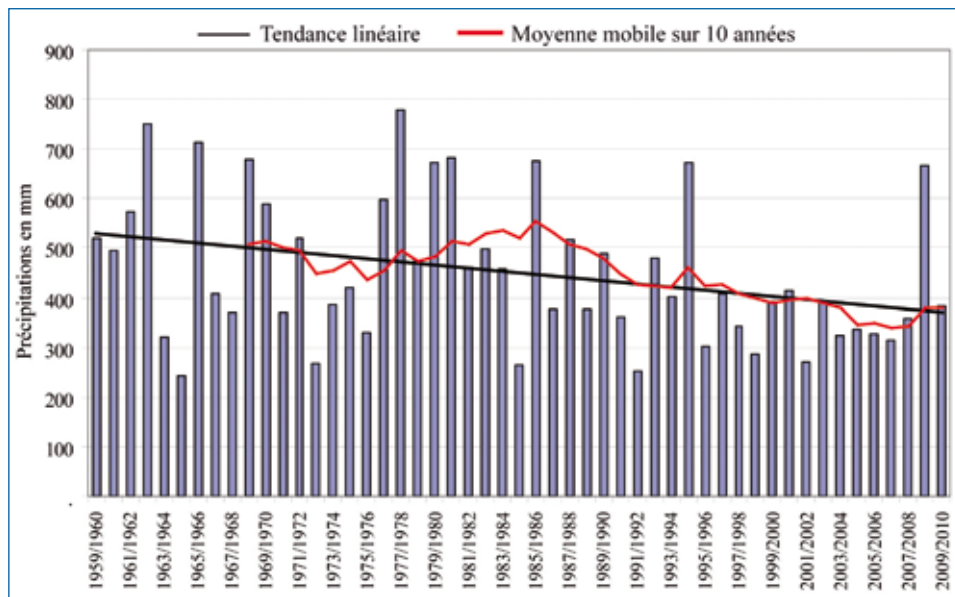


Fig. 15 - Evolution des précipitations hivernales (novembre-avril) à Bessans de 1959/1960 à 2009/2010
Météo-France



4 - Evolution de l'enneigement dans les Alpes et en Savoie

La couverture neigeuse joue **un rôle important dans l'environnement et l'économie des Alpes**. Elle est une des principales sources d'alimentation et de soutien hydrologique des cours d'eau de montagne. Elle constitue «la» matière première pour le tourisme hivernal. La neige joue également un rôle de protection thermique pour le substrat rocheux et l'évolution du permafrost (sol gelé en profondeur).

La couverture neigeuse est fortement liée aux températures et aux précipitations, ne serait-ce qu'à travers le ratio entre précipitations solides et liquides. Mais de nombreux autres facteurs influencent le manteau neigeux, parmi lesquels, les effets d'exposition (ombre) de la végétation, de la pente, des vents... De plus, les conditions météorologiques aux échelles continentales, plutôt que des variations locales ou régionales, jouent un rôle dominant dans le contrôle de la quantité et de la durée de la neige dans les Alpes (ONERC, 2008).

Qu'en est-il de l'évolution de la couverture nivale en hiver ? Un certain nombre d'années ont connu de faibles enneigements comme les années 1990 / 1991, 1996 / 1997, 1997 / 1998... mais d'autres ont connu d'importantes chutes de neige, comme au début 2006. Cette variabilité d'une année sur l'autre tend à brouiller les regards.

L'élévation de la limite du zéro degré de 67 m par décennie, observée en Suisse ces 50 dernières années au cours des mois d'hiver, est une conséquence de l'augmentation des températures (OFEV, 2007). Il neige de moins en moins dans les basses altitudes, la limite pluie-neige remonte. Cela est indéniable malgré les deux derniers hivers plus neigeux.

La plus longue série sur l'enneigement dans les Alpes se situe en Suisse, à Engelberg (1060m d'altitude) : elle remonte à 1891. On observe que **le nombre de jours de neige** (hauteur > 30cm) est passé en moyenne de **60 jours par an** jusqu'aux années 1980 à **30-35 jours aujourd'hui !** (Fig. 16).

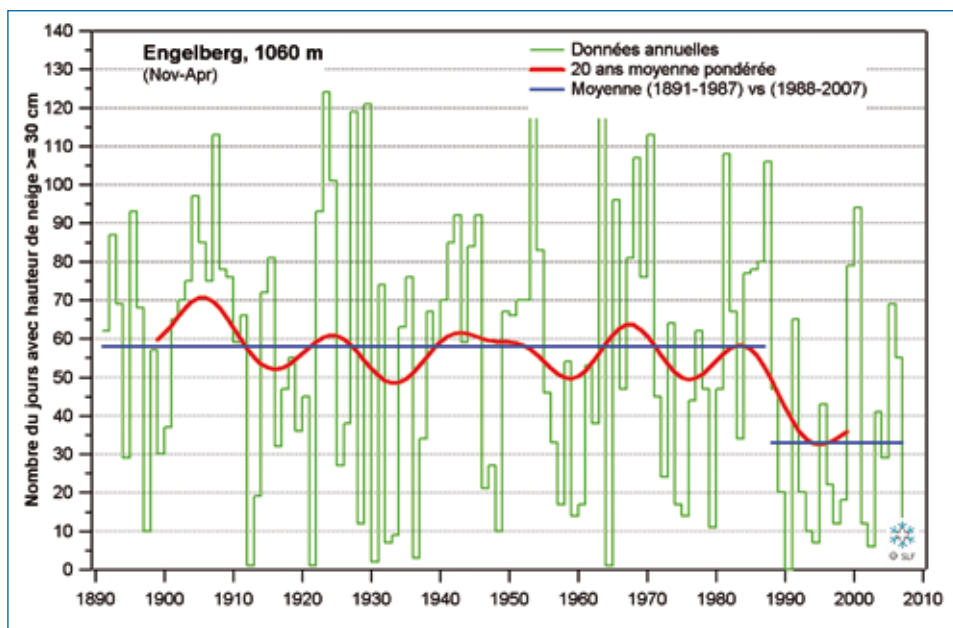


Fig. 16 - Evolution du nombre de jours avec une hauteur de neige supérieure à 30 cm à Engelberg (Suisse) de 1891 à 2007.

Courtesy of SLF. Seiz, G., Foppa, N., 2007. *Système national d'observation du climat* (GCOS Suisse), Publication de Météo-Suisse et de ProClim, 92p.

En Savoie :

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. Le rôle des effets de sites (fonds de vallée, cuvette, versant...) et des différences climatiques entre les massifs (le nord et l'ouest étant plus arrosés que le sud et l'est, dont la Haute-Maurienne) font que des nuances apparaissent au sein de chaque territoire.

- Les **cumuls de neige fraîche connaissent une baisse quasi-généralisée de l'ordre de 30 % depuis 1959** (soit environ 1 m de neige cumulée). Seul le site de Pralognan, en situation de «piège à froid», n'enregistre pas de diminution conséquente. Cette situation particulière de Pralognan ne peut être généralisée car pour Bessans, également situé dans une cuvette, les cumuls ont fortement chuté, en relation avec la baisse de la pluviométrie en Haute-Maurienne (Fig. 17 et 18).

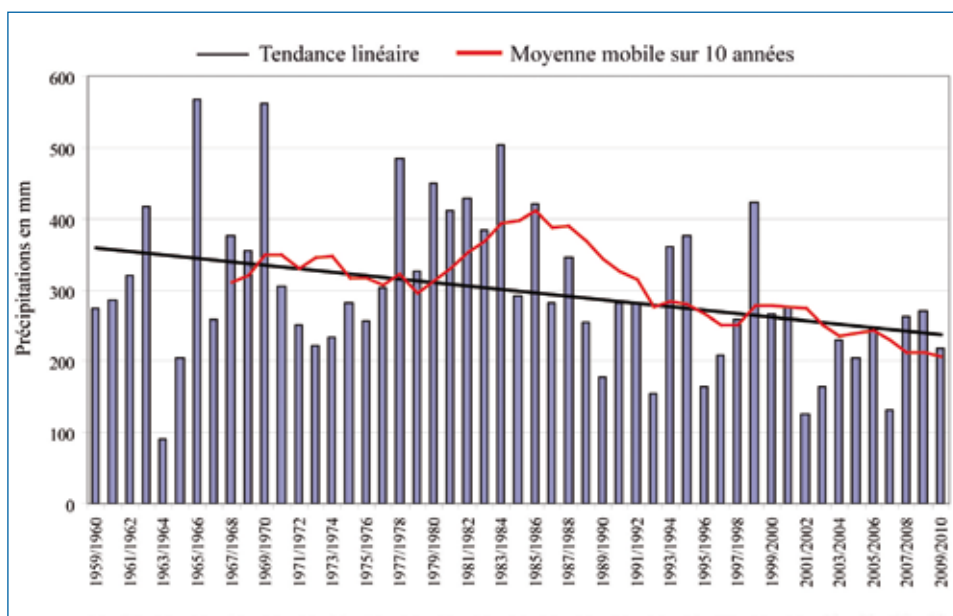


Fig. 17 - Evolution des cumuls de neige fraîche à Peisey-Nancroix de 1959 à 2009 / 2010.

Météo-France

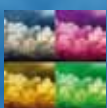
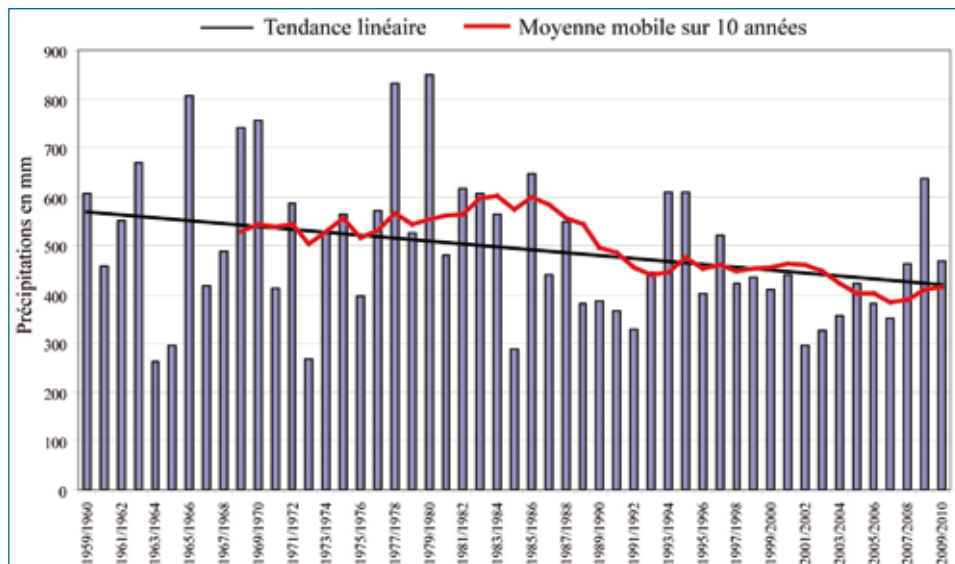


Fig. 18 - Evolution des cumuls de neige fraîche à Bessans de 1959 / 1960 à 2009 / 2010.

Météo-France



- Le rapport neige fraîche / précipitations est également en baisse en Savoie.

La part des précipitations sous forme de pluie augmente et ce au détriment des quantités de neige, surtout pour les sites en situation d'adret.

Les variations de températures ont bien entendu une influence sur la différence entre pluie et neige et sur la **conservation du manteau neigeux**. Sur les sites au voisinage des 1 000 m (versant ou vallée), les moyennes saisonnières sont positives ou le deviennent avec le réchauffement (jusqu'à 1 500 m comme à Saint-Martin-de-Belleville). Dans les vallées encaissées vers 1 500 m, les températures moyennes sont à peine négatives. Enfin sur les hauts versants vers 2 000 m (Courchevel, La Plagne ...), les températures ont aussi augmenté mais la température moyenne reste largement en-dessous de 0°C (vers - 4°C pour janvier et février).

- Le nombre de jours de présence du manteau neigeux (1 cm de neige au sol au matin, toujours pour la période 1959/2007) est aussi **en diminution mais de manière hétérogène sur le département** : une diminution de 5 jours à Bessans (160 jours/an), de 10 jours à Saint-Martin-de-Belleville (120 jours/an), de 29 jours à Arêches et de 37 jours à Peisey Nancroix (90 jours/an au lieu de 130 jours) !

Les sites où la baisse a été moins forte correspondent aux fonds de vallée ou aux cuvettes (piège à froid, Pralognan, Bessans).

- Enfin, **en décomposant l'hiver en avant saison** (nov-déc), **pleine saison** (janv-fev) et **arrière saison** (mars-avril), on observe d'autres particularités. A Peisey Nancroix, **les précipitations et les cumuls de neige fraîche ont diminué lors de l'avant saison** (Fig. 19). Les températures ayant parallèlement augmenté durant l'arrière saison (cf. précédemment), **on saisit mieux la précarisation du manteau neigeux sur l'ensemble de l'hiver** (Météo-France, 2008).

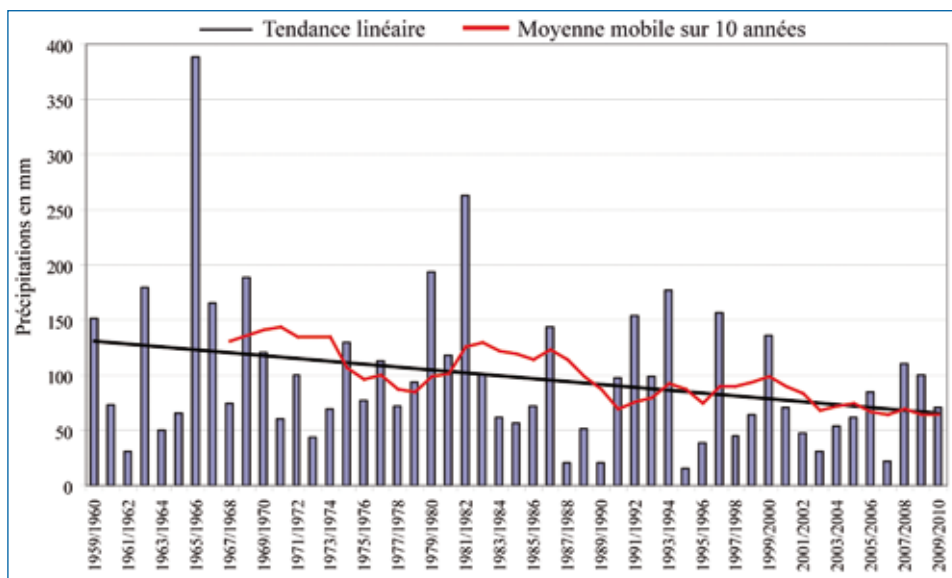


Fig. 19 - Evolution des cumuls de neige fraîche à Peisey-Nancroix sur l'avant saison hivernale (novembre-décembre) de 1959 / 1960 à 2009 / 2010.
Météo-France

Malgré la diversité des situations, on peut relever depuis 50 ans une nette diminution de l'enneigement, notamment sur les versants bien exposés, et pour les secteurs situés en deçà de 1 500 m. Cette tendance est particulièrement nette en début et fin de saison hivernale.

5 - D'autres indicateurs du changement climatique en montagne

> Le recul des glaciers

Les glaciers de montagne sont sensibles non seulement aux températures mais également aux précipitations, aux radiations solaires et au ratio de précipitations solides/liquides. Du fait de leur caractère intégrateur, **les glaciers sont des indicateurs pertinents du changement climatique**. D'ailleurs, c'est leur recul qui a soulevé la question du réchauffement climatique bien avant que celui-ci ne soit une priorité scientifique et sociétale (Fig. 20).

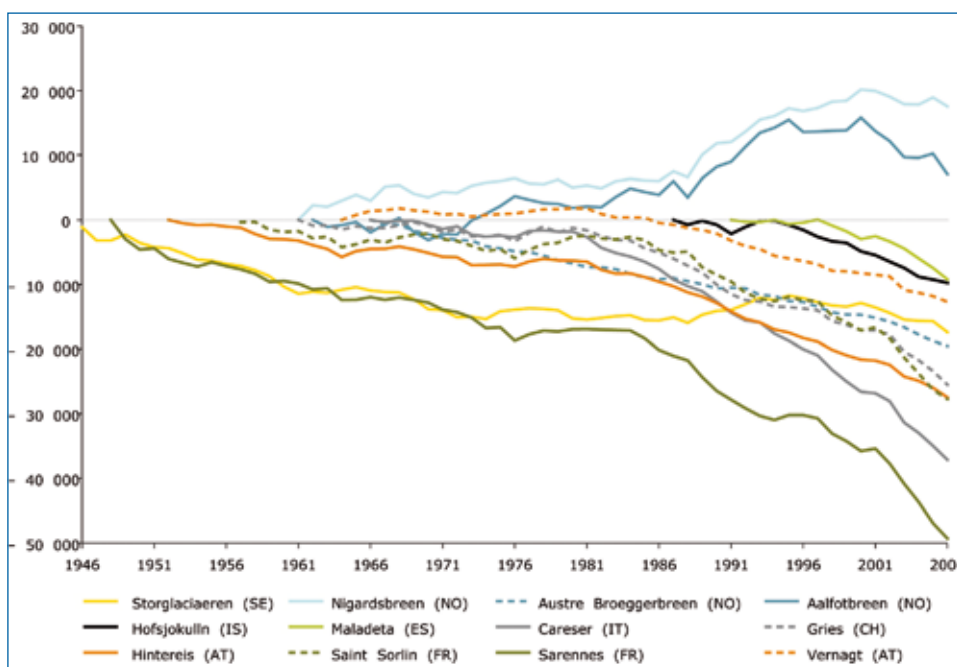
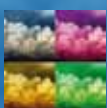


Fig. 20 - Evolution des bilans de masse de différents glaciers européens en mm équ. eau.
Fluctuation of Glaciers Database, World Glacier Monitoring Service



Les glaciers des Alpes européennes ont perdu environ 30 % à 40 % de leur surface entre la fin du Petit Âge Glaciaire (à partir du milieu du 19^{ème} siècle) et 1975. Cela correspond à **une perte d'environ la moitié de leur volume total** (soit - 0,5 % par an).

Entre 1975 et 2000, environ 25% du volume restant a disparu (soit - 1 % par an). **Cette tendance s'est accélérée au début du 21^{ème} siècle** puisqu'on estime les pertes de glace de l'ordre de 10 % à 15 % (soit - 2% à - 3% par an), (ONERC, 2008).

Pendant l'été, la glace alpine est proche de son point de fusion, ainsi un changement minime de température, même sur une courte période, peut entraîner une évolution marquée des glaciers. Par exemple, au cours de l'**été 2003**, la vague de chaleur a causé des records de fonte des glaciers avec une perte de masse moyenne d'environ - 2,5 m d'équivalent eau. **Cette valeur est huit fois plus importante que la valeur moyenne sur la période 1960-2000.**

Si les observations en haute montagne, notamment celles réalisées sur le Mont Blanc (4 808 m) et le Dôme du Goûter (4 300 m) indiquent une relative stabilité d'épaisseur sur la période 1905-2005, l'étude des températures de la glace au Col du Dôme du Goûter (4 250 m) nuance cette apparente stabilité. En effet, une augmentation de 1°C à 2°C (jusqu'à 80 m de profondeur) a été relevée entre 1994 et 2005. Si cette évolution se poursuivait, elle entraînerait **la transformation des glaciers « froids » actuels de haute altitude en des glaciers « tempérés »**, avec des conséquences sur leur maintien à long terme (ONERC, 2008).

Photos illustrant le retrait du glacier des Bossons (Haute-Savoie) entre 1984, 1998 et 2006

Crédit : R. Vivian, L. Moreau, S. Couterand



> Les variations de température du permafrost

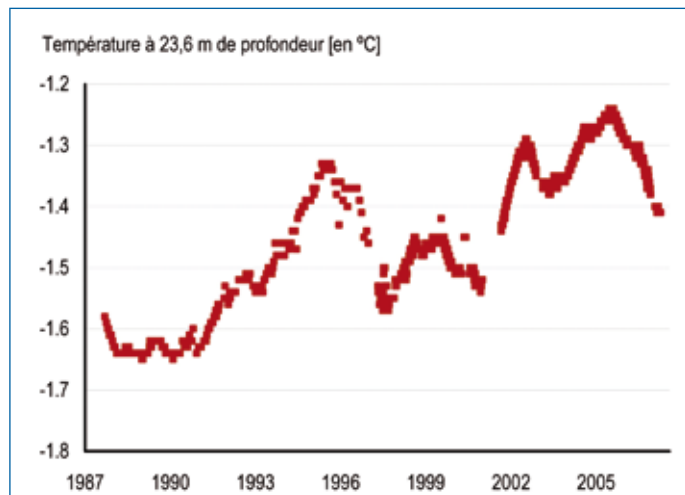
Fig. 21 - Evolution de la température du permafrost entre 1987 et 2007, mesurée à 23,6 m de profondeur dans les glaciers rocheux de Murtèl-Corvatsch (forage).

Permafrost Monitoring Switzerland (2007) ; OFEV (2007)

Les travaux menés sur le permafrost alpin ont mis en évidence un réchauffement rapide au 20^{ème} siècle, de l'ordre de 0,5°C à 0,8°C dans les premières dizaines de mètres du sol. Le programme PACE (Permafrost and Climate in Europe) a relevé des augmentations de + 0,5°C à + 2°C au cours des 60-80 dernières années dans le permafrost des montagnes européennes (depuis la Sierra Nevada en Espagne jusqu'à l'archipel arctique du Svalbard).

Le réchauffement climatique au cours des prochaines décennies affectera considérablement le permafrost : **d'ici 2100, 70 % du permafrost pourraient disparaître**. Plusieurs écroulements récents de parois de haute altitude sont concomitants avec des périodes de fort réchauffement et de diminution du permafrost. Les écroulements récents de pans de parois et de piliers des Drus sont en relation étroite avec les épisodes climatiques chauds (Ravanel et Deline, 2008) (Fig. 21 et 22).

En Savoie, l'altitude actuelle du permafrost se situe vers 2 600 - 2700 m sur une face nord, et 3 000 - 3 200 m sur une face sud.



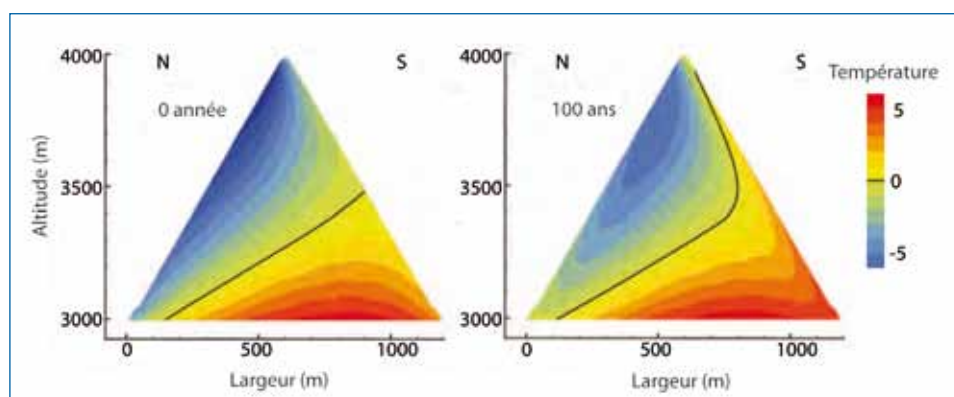


Fig. 22 - Réchauffement du permafrost dans une montagne idéalisée.

Noetzli et al, 2007

Le permafrost subsiste longtemps dans le sous-sol et reste présent même si la surface n'est plus soumise aux conditions climatiques habituelles. Mais, au sommet et le long des arêtes, la chaleur pénètre par plusieurs côtés, et vu que celle-ci se propage très lentement dans le sous-sol, ce processus durera plusieurs siècles.

> Les indicateurs végétaux

Les modifications climatiques ont une incidence directe sur la répartition de la couverture végétale ; c'est pourquoi la végétation constitue un indicateur pertinent des changements en cours. Nous y reviendrons en détail dans la dernière partie de ce rapport, mais notons déjà qu'on observe des modifications des aires de diffusion ou de densité des espèces en montagne, ainsi qu'une migration des espèces vers les sommets. Les dates de débourrement (développement des bourgeons), de floraison et de véraison (début de la maturation des fruits) de certains arbres fruitiers sont aujourd'hui avancées, tout comme les dates de vendanges en Savoie.

3• EVOLUTION A VENIR DU CLIMAT : SCENARIOS ET PERSPECTIVES

Les précédents développements reposaient sur des données climatiques (température, précipitation...) et des indicateurs. Ces observations ont permis de mettre en avant la réalité du changement climatique aux échelles planétaire, continentale et régionale. C'est à partir de ces observations et des moteurs atmosphériques que les chercheurs ont mis en place des modèles de compréhension et d'évolution du climat.

Les **modèles** ont montré que les **seuls facteurs «naturels»** ne suffisaient pas à expliquer le changement climatique actuel et qu'il était impératif de prendre en compte les **émissions des gaz à effet de serre d'origine anthropique** (cf. section 4 de cette première partie) ; ceux-ci apparaissent comme un des moteurs majeurs du réchauffement climatique actuel.

Dans certains secteurs notamment de montagne, la topographie complexe et l'indigence des données rendent plus délicates les projections à partir des modèles climatiques, qui constituent pourtant les seuls outils actuels pour construire des scénarios d'évolution. Pour que ceux-ci deviennent un outil incontournable d'aide à la décision (arbitrage socio-économiques, de gestion des ressources, etc.), il est important de favoriser l'observation : le développement des mesures de l'évolution du climat en montagne constitue donc une priorité.

1 -Les modèles climatiques

Les simulations du climat à venir sont réalisées à partir des scénarios d'émissions (SRES) du GIEC. La description précise des scénarios est disponible sur le site de l'IPCC (www.ipcc.ch).

Ces scénarios sont des extrapolations intégrant les évolutions démographiques, le développement social et économique et l'évolution technologique générale, à partir des tendances constatées au cours des décennies précédentes, en supposant qu'il n'y ait pas de changement climatique, ni aucun autre problème d'environnement, et

que les buts actuellement poursuivis par les sociétés humaines restent inchangés. Pour modéliser les changements du climat, les émissions de gaz à effet de serre et les autres facteurs naturels ont été paramétrés dans les modèles.

Les modélisations climatiques basées sur les scénarios du GIEC permettent de simuler les changements de températures et de précipitations d'ici à la fin du 21^{ème} siècle.

Ces modèles estiment (avec une part d'incertitude) que le **réchauffement sera compris**, selon les scénarios retenus, entre **+ 1,1 et + 6,4°C** (valeurs post-industrielles et au niveau des mers).

Dans le rapport du GIEC, certains experts estiment que **le réchauffement pourrait rester en dessous de 2,5°C en 2050 si entre temps les pays développés réduisent leurs émissions de 50 à 85 % (par rapport à 1990)**. A 90 %, la stabilisation de la concentration du CO₂ à 450ppm serait possible pour 2050.

Les températures et les précipitations en Europe pour la fin du siècle : Les cartes ci-dessous (Fig. 23 et 24) sont modélisées à partir du scénario A1B, dit de «mixte énergétique», basé sur la recherche d'un équilibre entre les diverses sources énergétiques et la promotion de l'efficacité énergétique.

Fig. 23 - Changement des températures moyennes en Europe entre 1980-1999 et 2080-2099.
GIEC, Christensen et al, 2007

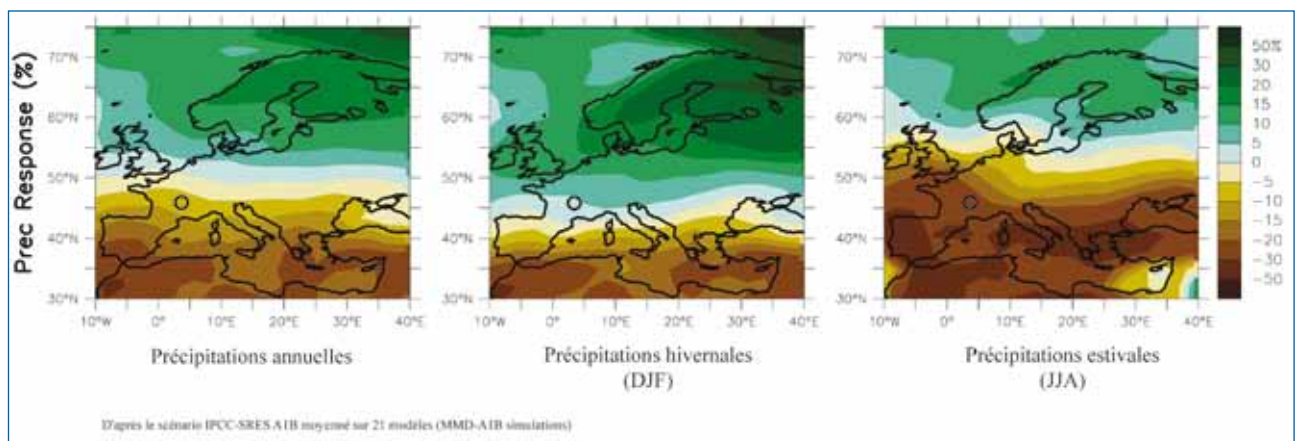
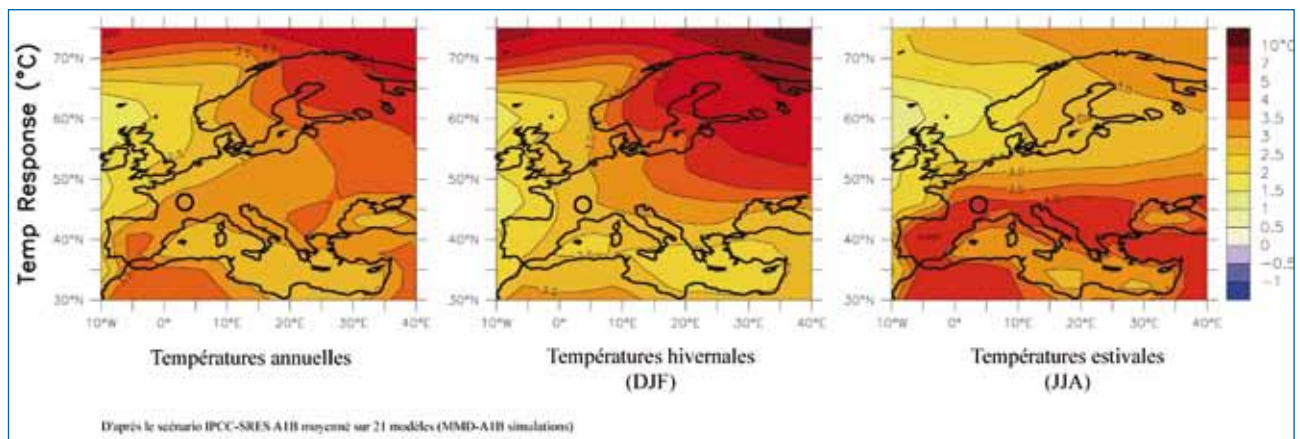


Fig. 24 - Changement des précipitations moyennes en Europe entre 1980-1999 et 2080-2099.
GIEC, Christensen et al, 2007

2 - Les projections climatiques pour la France

Quel que soit le scénario considéré, on relève que l'évolution climatique se marquera par :

- des **vagues de chaleur estivale** plus fréquentes, plus longues et plus intenses,
- une **diminution significative du nombre de jours de gel**,
- une **augmentation des précipitations hivernales**, et par des périodes de sécheresse estivale plus longues et plus marquées,
- des changements peu significatifs en ce qui concerne les tempêtes.

Suivant le **scénario B2**, la température moyenne en France augmenterait de 2 à 2,5°C entre la fin du 20^{ème} et la fin du 21^{ème} siècle. Les précipitations augmenteraient faiblement en hiver et diminueraient plus fortement en été (de 5 à 25%). C'est le **scénario le plus optimiste**.

Suivant le **scénario A2**, le changement climatique serait beaucoup plus marqué avec un réchauffement plus important (3°C à 3,5°C), un assèchement estival marqué (de 20 à 35%) et surtout une accentuation des événements extrêmes. En particulier, **un été sur deux, à la fin du siècle (2070-99), serait au moins aussi chaud que l'été 2003, l'été de la canicule** (Fig. 25).

Au sein de ce même scénario, les températures maximales estivales augmenteraient de 6 à 8°C, et les minimales hivernales de 4 à 5°C. (Météo-France).

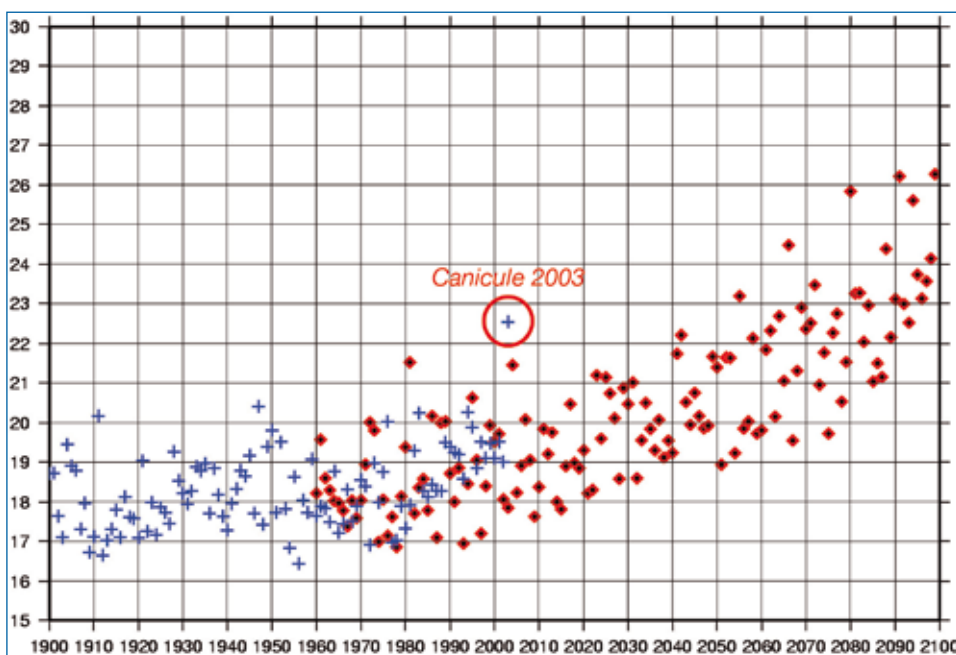


Fig. 25 - Températures estivales observées et simulées pour la France
Météo-France
Croix bleues : températures observées.
Points rouges et noirs : températures simulées.

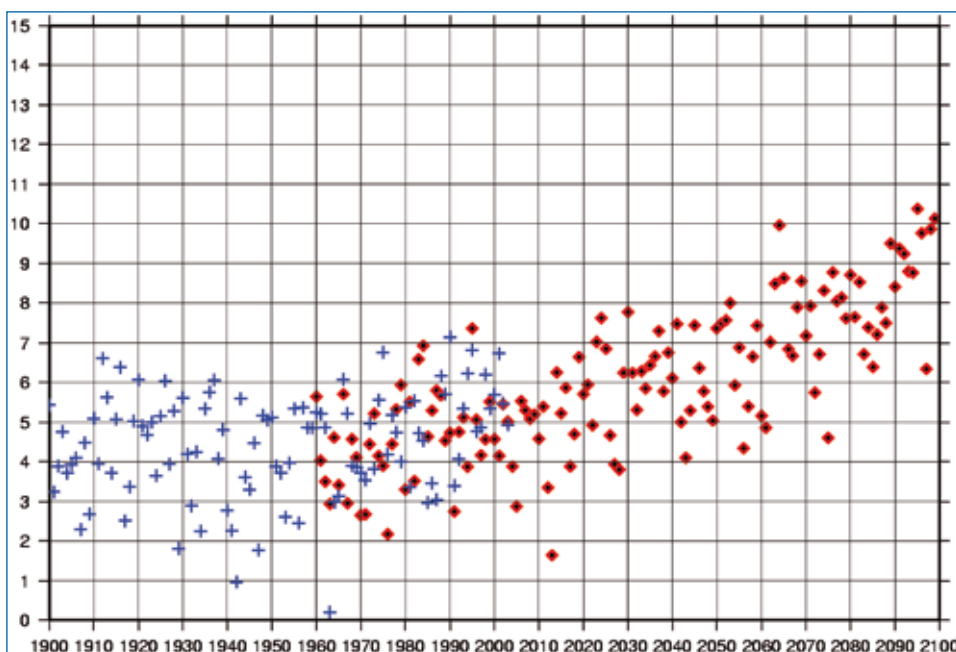


Fig. 26 - Températures hivernales observées et simulées pour la France
Météo-France
Croix bleues : températures observées.
Points rouges et noirs : températures simulées.

3 - Quelles perspectives pour les Alpes et la Savoie ?

> Pour les températures.

Les hivers 2008/2009 et 2009/2010, assez exceptionnels pour leurs conditions météorologiques très froides, peuvent à juste titre nous interpeller. D'ailleurs, nombreux se demandent «où est passé le changement climatique».

Raisonner sur des situations météorologiques particulières est dangereux en climatologie. L'analyse du climat se fait sur le long terme (au minimum sur une trentaine d'années pour l'Organisation Mondiale de la Météorologie).

Si l'on replace l'hiver 2008-2009 à Bourg-Saint-Maurice dans une série longue de mesure, on constate que la moyenne des températures hivernales n'est que très légèrement inférieure à la moyenne des températures hivernales depuis 1950 (0,2°C d'écart). A ce niveau d'analyse, on peut dire que 2008 est dans la «norme». Mais c'est aussi négliger que la "rigueur" de l'hiver 2008-2009 est liée à une situation climatique assez particulière : très faible activité solaire, présence de la Nina dans le Pacifique Sud, perturbations très actives dans l'Atlantique nord (neige abondante)... En l'absence de ces conditions exceptionnelles, **qu'en serait-il exactement de l'hiver 2008-2009 ?**

L'analyse du climat et de son évolution ne peut s'arrêter à des situations particulières qui peuvent donner l'illusion de minimiser l'importance du changement climatique actuel. Rappelons de la température hivernale a augmenté de + 2°C depuis 1950 en Savoie.

A l'heure actuelle, les modèles ne permettent pas encore de simuler l'évolution des températures sur le court terme (jusqu'à 20 ans). C'est pourquoi, nous allons nous intéresser aux projections à plus long terme.

Projection à long terme :

Les modélisations du projet «Prudence» de l'Union Européenne ont servi de base à une étude s'appuyant sur un scénario régional de température et de précipitations calculé pour la Suisse.

Deux scénarios moyens d'émissions du GIEC (SRES A2 et B2), quatre modèles climatiques globaux et huit modèles climatiques régionaux ont été combinés de différentes manières afin de définir des scénarios pertinents à l'échelle de ce pays (OCCC-Proclim).

Alors que les études portent en général sur de plus larges échelles, celle-ci s'attache à définir **des scénarios crédibles pour un environnement de montagne.** Celui-ci peut être adapté à la Savoie, en considérant que la Suisse est plus au nord et que le réchauffement sera plus marqué dans le sud des Alpes.

Tableau récapitulatif de la figure 27

2030	
Hiver :	+1°C (entre 0,4 à 1,8°C)
Été :	+1,5°C (entre 0,7 et 2,6°C)
2050	
Hiver :	+1,8°C (entre 1 et 3,4°C)
Été :	+2,8°C (entre 1,4 et 4,9°C)
2070	
Hiver :	+2,5°C (entre 1,2 et 4,7°C)
Été :	+4°C (entre 1,9 et 7,1°C)

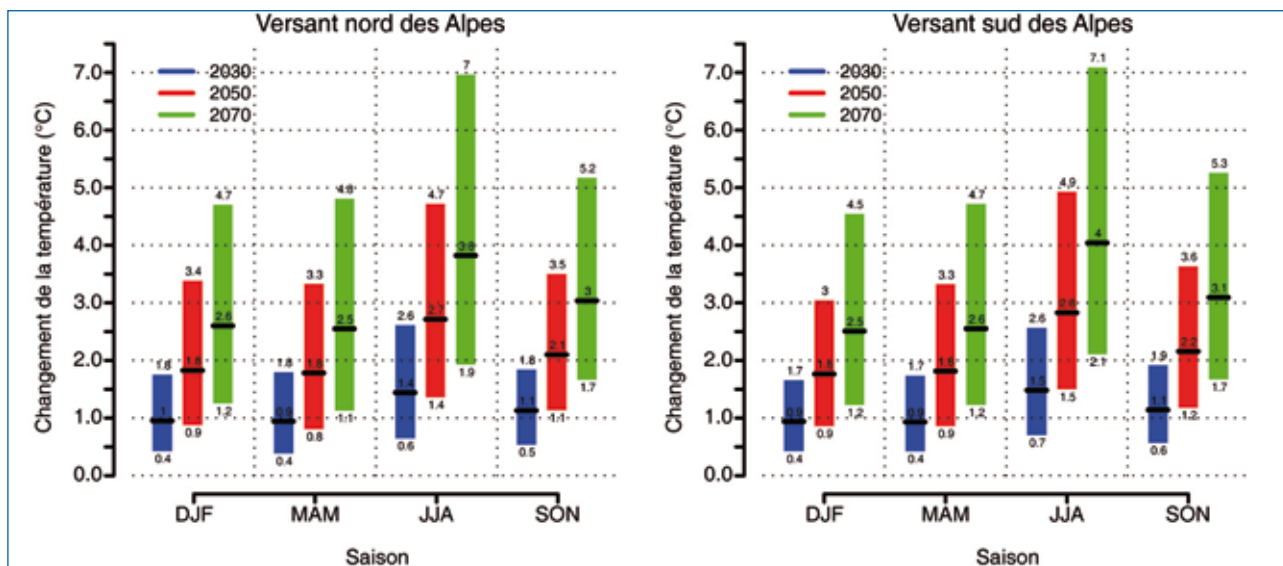


Fig. 27 - Changement de la température moyenne en hiver (DJF: décembre à février), au printemps, en été et en automne sur les versants nord et sud des Alpes en 2030, 2050 et 2070 par rapport à 1990. OCCC, Proclim

> Pour la pluviométrie

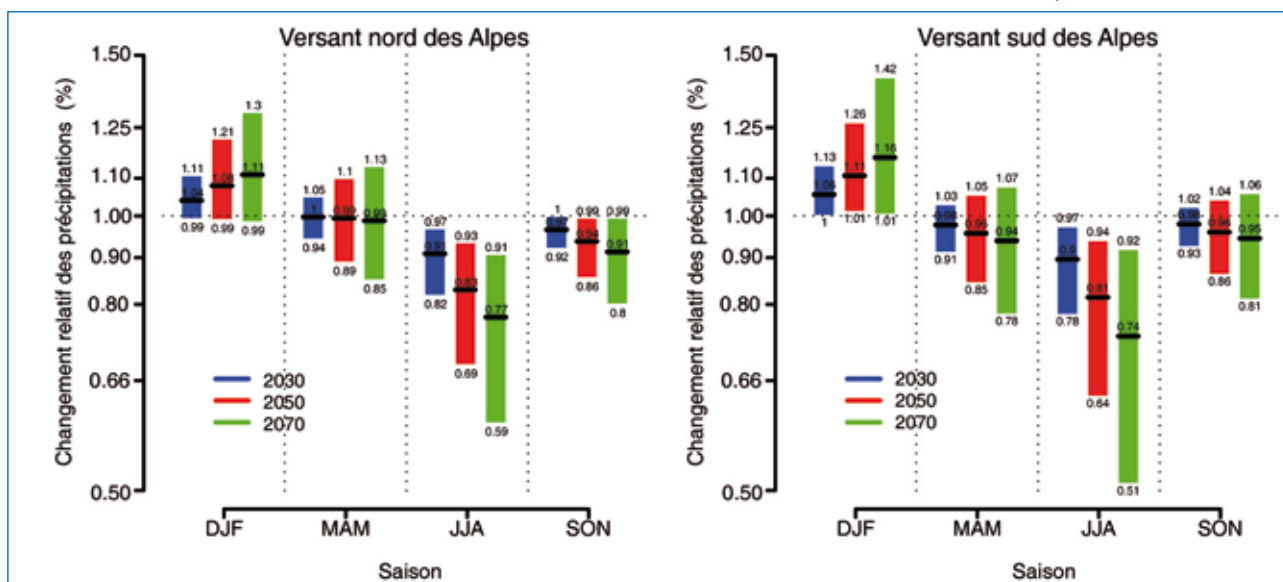
A l'échelle globale, les modèles climatiques calculent généralement des projections futures avec une diminution des précipitations estivales et une augmentation des précipitations hivernales pour les régions de moyenne latitude et des changements moindres pour les régions de haute latitude (ONERC, 2008).

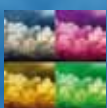
Les projections de changement des régimes de précipitation pour les zones de montagnes sont fragiles dans la plupart des modèles de circulation globale, notamment à cause de la faible résolution de la topographie montagneuse. De fait, l'effet de la topographie sur les précipitations n'est pas représenté de manière adéquate par les modèles actuels. De plus, des phénomènes climatiques de large échelle comme El Nino/El Nina... se surimposent et perturbent les régimes de précipitation à des échelles temporelles allant de la saison à la décennie. De tels mécanismes ne sont pas bien prédits par les modèles, l'exemple de l'hiver 2008-2009 est symptomatique (cf. supra).

Tableau récapitulatif de la figure (Fig. 28) :

Hiver :	+ 10 % pour 2050
Été :	- 20 % pour 2050 (- 30 % pour 2070)
Automne :	baisse pour 2070

Fig. 28 - Changement de la pluviométrie moyenne en hiver (DJF: décembre à février), au printemps, en été et en automne sur les versants nord et sud des Alpes en 2030, 2050 et 2070 par rapport à 1990. OCCC, Proclim





La diminution des précipitations moyennes estivales est due à une réduction substantielle de la fréquence des journées humides, ayant pour incidence une importante augmentation de la durée maximale des épisodes de sécheresse (de 50 à 100 %) (ONERC, 2008).

En ce qui concerne les précipitations extrêmes, leur modélisation est un problème encore non résolu à l'heure actuelle (ONERC, 2008). Mais les tendances climatiques simulées par «Arpege» pour le Massif des Ecrins mettent en avant **une augmentation de l'intensité des précipitations en automne et en hiver**.

> L'avenir de l'enneigement : une question majeure

Dans l'hypothèse d'un réchauffement de 2°C (scénario Prudence pour 2050), il fera suffisamment froid à haute altitude (plus de 2 500 m) pour que l'enneigement ne soit que peu touché avec un **début d'enneigement légèrement retardé et une fonte avancée d'une douzaine de jours environ**.

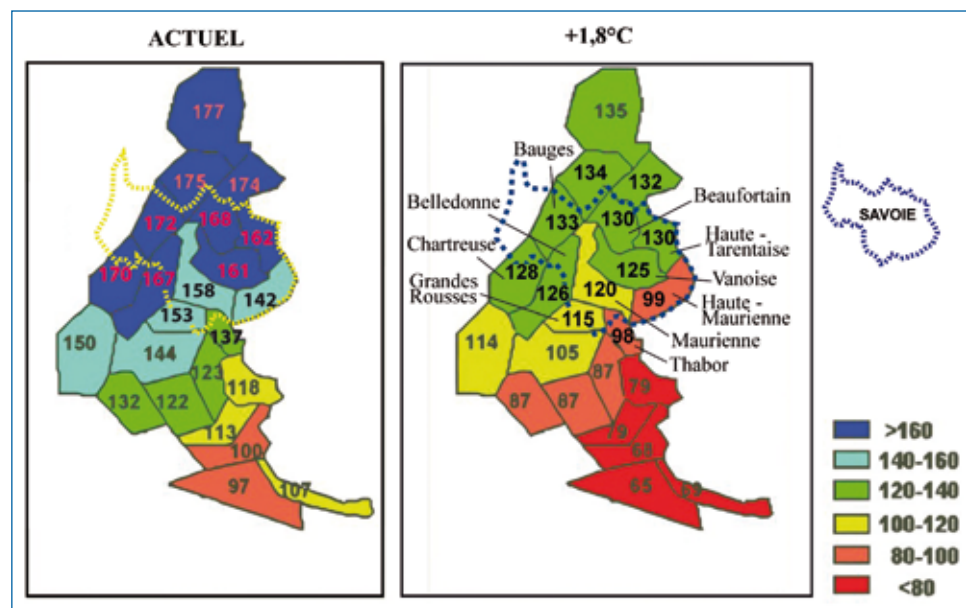
Le froid qui permet au manteau neigeux en haute montagne de bien résister, devient insuffisant aux alentours de 1 800 m d'altitude.

L'impact du réchauffement devient important à partir de 1 500 m où on assistera à une diminution du nombre de jours avec de la neige au sol de l'ordre d'un mois (de 5 à 4 mois de neige au sol, cf Fig. 29).

En Savoie, à 1 500 m en situation d'adret, le manteau neigeux atteindra 20 cm une année sur deux entre début janvier et début mars. **Sur les ubacs**, la situation serait meilleure : **l'enneigement atteindrait 20 cm sept années sur dix en 2050**, et 40 cm entre fin janvier et février. La neige actuellement toujours présente en février sur les ubacs manquerait en 2050 une année sur trois.

Globalement l'épaisseur de neige diminuerait d'environ 40 cm dans les Alpes du Nord d'ici 2050.

Fig. 29 - Durée moyenne de l'enneigement à 1500 m (en jours par an) actuellement (à gauche) et simulé dans le cadre d'un scénario climatique (+ 1,8°C, à droite) Centre d'Etude de la Neige, Météo-France
Le modèle Arpege a été couplé au modèle Safran-Crocus



Aucune modélisation n'a été effectuée en France pour un réchauffement supérieur (3°C et plus). Avec un tel réchauffement, on peut estimer qu'aux basses altitudes (1 200 m et au-dessous), l'enneigement deviendrait très faible et qu'une augmentation encore supérieure ne modifierait pas sensiblement ce résultat. Plus haut, entre 1 500 et 1 800 m, un réchauffement supérieur à 2 degrés entraînerait une forte baisse du manteau neigeux. A très haute altitude, la baisse de l'enneigement s'accroîtrait progressivement : une douzaine de jours d'enneigement en moins pour une augmentation supplémentaire de 2°C (soit 4°C au total). On doit noter que les scénarios de changement climatique prévoient, avec la hausse des températures un accroissement des précipitations qui devrait se produire sous forme de neige à très haute altitude, **d'où un faible impact en haute montagne** (TEC, 2006).

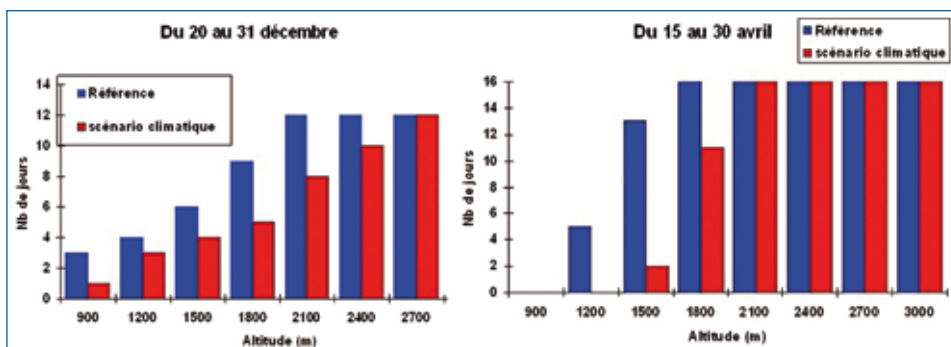


Fig. 30 - Nombre de jours où la hauteur de neige est supérieure à 20cm dans le Massif de Belledonne pour la fin décembre et la fin avril en fonction de l'altitude, et simulation dans le cadre du scénario climatique (+ 1,8°). Centre d'Etude de la Neige, Météo-France

> La remontée de la limite pluie-neige

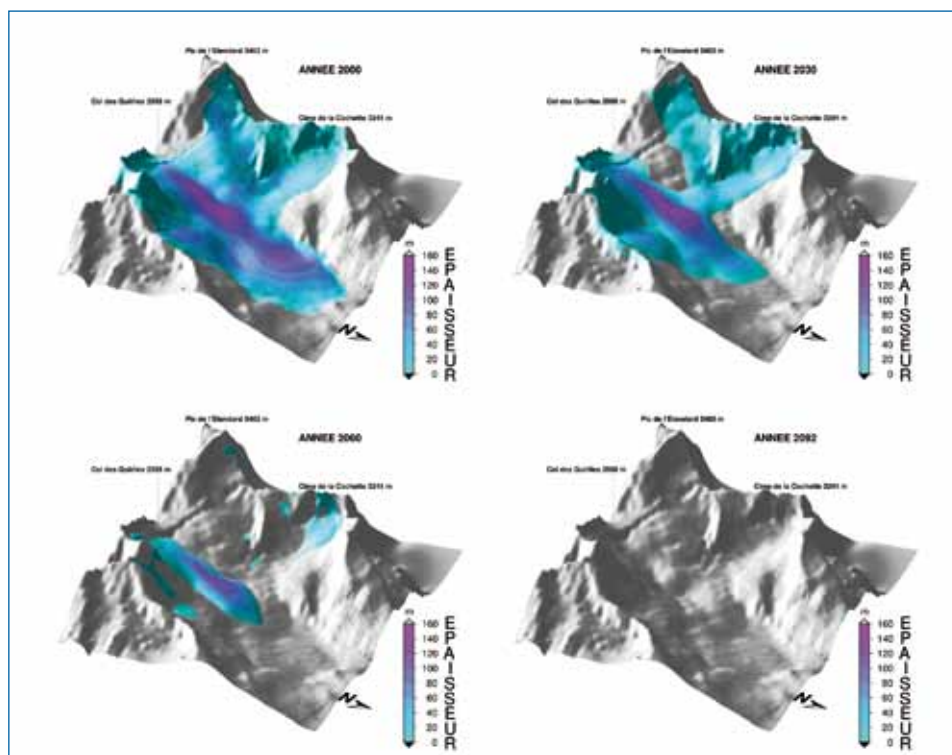
L'isotherme zéro degré ne correspond pas forcément à la limite pluie-neige, qui est particulièrement difficile à mesurer de manière globale, mais il peut servir de repère. Une étude Suisse (OCCC, 2007) a montré que l'isotherme de zéro degré est passé pendant les mois d'hiver d'environ 600 m dans les années soixante à quelques 900 m d'altitude dans les années quatre-vingt-dix, soit un peu moins de 200 m par degré de réchauffement. **Avec un réchauffement de 2°C pour 2050, il faut s'attendre à voir l'isotherme zéro degré remonter de 300 à 400 m environ en hiver en Savoie, ce qui ferait remonter la limite pluie-neige.** La variation de cette limite dépend toutefois de nombreux facteurs météorologiques et topographiques, ce qui signifie que certains secteurs seront plus vulnérables que d'autres (expositions aux flux, situation de fosse à froid ou de versant...) ; il faut donc considérer ces valeurs avec beaucoup de précaution. A titre indicatif, l'isotherme zéro degré hivernal se situe actuellement vers 1 000 m en Savoie, et vers 1 300 m sur les versants bien exposés. **Cela confirme le possible déficit d'enneigement envisagé en dessous de 1 800 m sur les versants adrets avec un réchauffement supérieur ou égal à 2°C** (1 500 m ailleurs et moins dans les fosses à froid).

Quels que soient les scénarios et les projections à partir des observations actuelles, une diminution importante de l'enneigement se fera vraisemblablement de plus en plus sentir aux basses et moyennes altitudes et plus particulièrement en début et fin de saison hivernale.

Fig. 31 - Évolution simulée du glacier de Saint Sorlin datant le 21^{ème} siècle avec le scénario B1 Gerbaux, 2005

4 - Le devenir des glaciers alpins

Dans l'hypothèse d'un réchauffement moyen, la diminution de la superficie des glaciers des Alpes d'ici 2050 serait de 75 %. La perte de surface resterait de l'ordre de 50 % en cas de réchauffement modeste (+ 2°C et + 20 % de précipitation), et d'environ 90 % s'il est fort. **Quels que soient les scénarios retenus, la plupart des petits glaciers alpins sont amenés à disparaître** (OCCC, 2007) avec les incidences que cela aura sur l'alimentation hydrologique des cours d'eau et des aquifères de montagne.



Une projection d'évolution du glacier de Saint Sorlin, dans le massif des Grandes Rousses (Savoie), a été réalisée en fonction des différents scénarios du GIEC (B1, A1B et A2) et des modèles climatiques alpins. La disparition du glacier est calculée pour la fin du 21^{ème} siècle dans le cadre du scénario B1 (ONERC, 2008) (Fig. 31).

4• LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET L'EFFET DE SERRE : QUI EST QUI ?

Les modèles climatiques ont mis en avant l'importance des gaz à effet de serre dans le réchauffement climatique actuel. Il est important de bien distinguer l'effet de serre naturel et les incidences des gaz émis par les activités humaines.

1 - Qu'est-ce que l'effet de serre ?

La terre reçoit toute son énergie du soleil. Après absorption par l'atmosphère mais aussi par le sol, une partie de cette énergie est réémise dans l'atmosphère. La couche atmosphérique par l'intermédiaire de certains gaz, absorbe une partie de cette énergie liée au rayonnement infrarouge.

En restituant cette énergie sous forme de chaleur, les gaz à effet de serre permettent de maintenir des conditions indispensables à la vie sur terre. Sans ce phénomène naturel de l'effet de serre, la température de notre planète serait de - 18°C, contre une moyenne actuelle de 15°C (Fig. 32)

Fig. 32 - L'effet de serre
Chaix, C.



Le changement climatique est très probablement provoqué par une intensification rapide de l'effet de serre originel au développement des activités humaines depuis le début de la révolution industrielle : on parle de gaz à effet de serre d'origine anthropique.

En effet, ces activités ont augmenté fortement la quantité de gaz à effet de serre. Tout se passe comme si la «serre» qui enveloppe la Terre devenait de plus en plus épaisse, empêchant alors la chaleur solaire réémise de s'échapper vers l'espace, ce qui conduit à une élévation de la température de la planète.

2 - D'où viennent les principaux gaz à effet de serre d'origine anthropique ?

Plusieurs composés ont été identifiés dans l'atmosphère comme pouvant jouer un rôle important dans le processus d'effet de serre. Les gaz à effet de serre (GES) na-

turellement présents dans l'atmosphère sont essentiellement le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et la vapeur d'eau. Mais les émissions supplémentaires dues aux activités humaines portent une responsabilité forte sur le changement climatique à l'échelle globale. Par leurs émissions dans l'atmosphère, le dioxyde de carbone, le méthane, certains composés fluorés et le protoxyde d'azote constituent les gaz **d'origine anthropique** les plus importants. Ces composés relativement stables dans l'atmosphère engendrent par absorption du rayonnement infrarouge et sans aucune transformation physico-chimique un accroissement de l'effet de serre. Ils sont considérés comme des **gaz à effet de serre directs**.

- Le **dioxyde de carbone (CO_2)** est le plus important des gaz à effet de serre (longue durée et fort potentiel d'absorption) engendré par la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz), par les transports, les bâtiments et à l'industrie, ainsi que par la biomasse.

La concentration atmosphérique mondiale du dioxyde de carbone a crû d'une valeur préindustrielle d'environ 280 ppm (partie par million) à 387 ppm en 2008. Cette concentration dépasse de loin les variations naturelles durant les 650 000 dernières années (180 à 300 ppm) déduites à partir de l'étude des carottes de glace polaire.

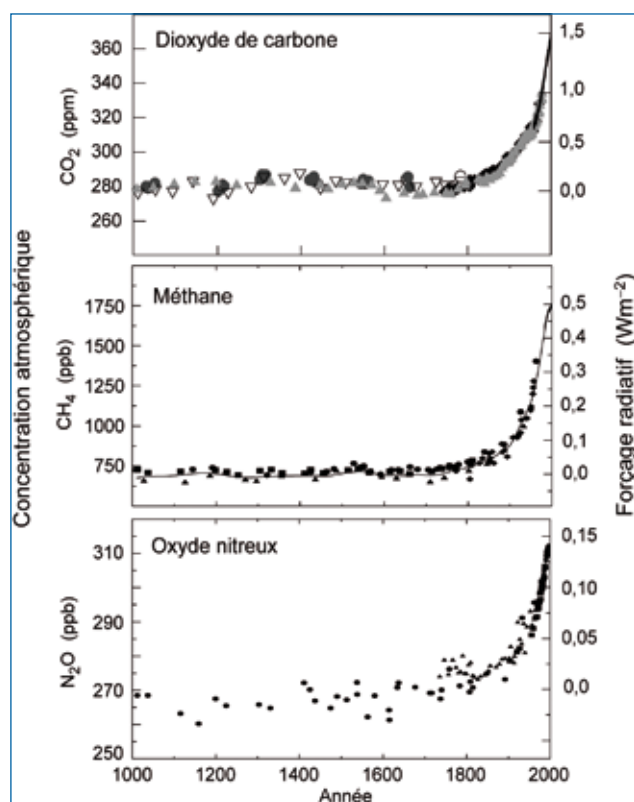


Fig. 33 - Evolutions des concentrations atmosphériques globales de trois gaz à effet de serre bien mélangés de l'an 1000 à 2000 - GIEC, 2001

Les différents symboles correspondent à différentes techniques de mesures.

Le forçage radiatif (différence entre l'énergie radiative reçue et l'énergie radiative émise par un système climatique donné) est rendu positif (il tend à réchauffer le système) avec l'augmentation des concentrations du dioxyde de carbone, du méthane, du protoxyde d'azote, de l'ozone troposphérique ou encore des dépôts noirs de carbone (suie) sur la neige.

- Le **méthane** est également un gaz à effet de serre très puissant. Sa concentration atmosphérique mondiale est passée de 715 ppb (partie par milliard) à 1732 ppb au début de la décennie 1990 et avoisine aujourd'hui les 1800 ppb, dépassant également de loin les variations naturelles qui ont pu être calculées durant les 650 000 dernières années (320 à 790 ppb) à partir de l'étude de la glace.

Il est très vraisemblable que l'accroissement observé de la concentration du méthane est lié aux activités humaines et particulièrement à l'agriculture, l'élevage (ruminants), les décharges d'ordure et l'utilisation des combustibles fossiles.

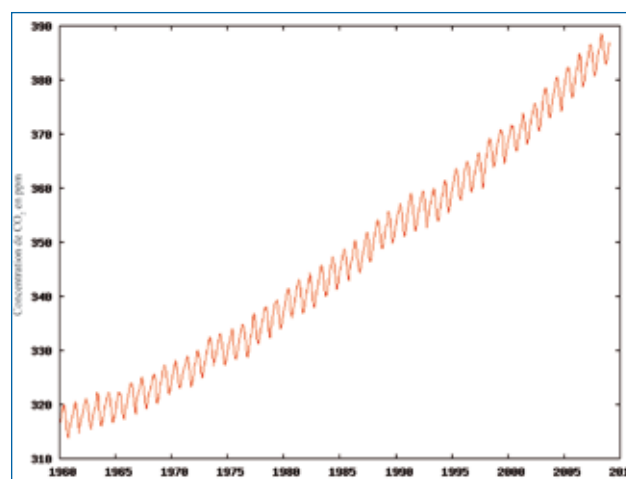
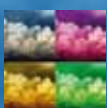


Fig. 34 - Evolution des taux de concentration de CO_2 (en ppm) de 1960 à 2009 au Mauna Loa (Hawaï)
www.woodfortrees.org



Les concentrations mondiales actuelles de dioxyde de carbone, de méthane et de protoxyde d'azote ont augmenté de façon notable depuis 1750, et dépassent largement les valeurs préindustrielles déterminées à partir des carottes de glace couvrant plusieurs milliers d'années. Cette augmentation est liée, entre autres causes, au développement des activités industrielles, des modes de transport actuel, et de l'utilisation des énergies fossiles. (GIEC, 2007). **Les activités des hommes ajoutent du dioxyde de carbone dans l'atmosphère environ 14 000 fois plus rapidement que ne le font les processus naturels** (Nature Geoscience, vol. 5, 2008).

- La concentration atmosphérique mondiale en **protoxyde d'azote** est passée de 270 ppb (valeur préindustrielle) à 319 ppb en 2005. Le taux de croissance est resté approximativement constant depuis 1980. Plus d'un tiers des émissions est anthropique et est principalement dû à l'agriculture (engrais azotés) et aux procédés chimiques.

- Les **gaz fluorés** sont essentiellement des gaz réfrigérants utilisés par les climatiseurs, pour aérosols, ou bien dégagés par les mousses isolantes et l'industrie des semi-conducteurs (GIEC, 2007).

- L'**ozone (O₃)** est également reconnu comme étant un gaz à effet de serre mais avec des implications plus régionales en raison de sa durée de vie plus courte dans l'atmosphère.

L'ozone n'est pas directement émis par les activités humaines, mais est le fruit de réactions chimiques dans l'atmosphère induites par plusieurs polluants atmosphériques. Ainsi, le monoxyde de carbone (CO), les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) et les oxydes d'azote à l'origine de ces réactions de formation de l'ozone, sont considérés comme des GES indirects.

- Enfin les **particules atmosphériques** jouent également un rôle dans l'effet de serre, mais celui-ci est plus complexe et dépend fortement de la nature et de la composition chimiques des aérosols.

Les composés présentant un effet de serre indirect par leur capacité à former de l'ozone et les particules atmosphériques sont plus souvent rattachés à la problématique de la qualité de l'air et de pollution urbaine.

C'est pourquoi la maîtrise des émissions de l'ensemble de ces composés doit permettre simultanément de limiter l'accroissement de l'effet de serre et d'améliorer la qualité de l'air*, en parallèle avec la sécurisation de l'approvisionnement en énergie.

** Attention toutefois aux effets antagonistes, voir INERIS 2009*

Le potentiel de réchauffement Global – PRG

Les différents gaz ne contribuent pas tous à la même hauteur à l'effet de serre et ont une **durée de vie plus ou moins longue**.

La contribution à l'effet de serre de chaque gaz se mesure grâce au potentiel de réchauffement global (PRG). Cet indicateur vise à regrouper sous une seule valeur l'effet additionné de toutes les substances contribuant à l'accroissement de l'effet de serre. Conventionnellement, on se limite pour l'instant aux gaz à effet de serre direct et plus particulièrement aux six gaz pris en compte dans le protocole de Kyoto, à savoir le CO₂, le CH₄, le N₂O, les HFC, les PFC et le SF₆. Cet indicateur est exprimé en "équivalent CO₂" du fait que, par définition, l'effet de serre attribué au CO₂ est fixé à 1 et celui des autres substances relativement au CO₂.

L'indicateur est calculé sur la base d'un horizon fixé à 100 ans afin de tenir compte de la durée de séjour des différentes substances dans l'atmosphère.

Si on émet 1 kg de méthane dans l'atmosphère, on produira le même effet, sur un siècle, que si on avait émis 25 kg de dioxyde de carbone.

. CO ₂ (dioxyde de carbone)	= 1
. CH ₄ (méthane)	= 25
. N ₂ O (protoxyde d'azote)	= 310
. HFC (Hydrofluorocarbure)	= variables de 140 à 11 700 selon les molécules considérées.
. PFC (Perfluorocarbure)	= variables de 6 500 à 9 200 selon les molécules considérées.
. SF ₆ (Hexafluorure de soufre)	= 23 900

3 - Les autres facteurs responsables des changements du climat

Il est important de relever ici **les paramètres naturels qui influent sur le climat de la planète**. Ces paramètres sont essentiellement d'ordre astronomique (orbite de la terre autour du soleil, activité solaire).

- On sait par exemple que le **déclenchement des glaciations et l'alternance entre phases glaciaires et interglaciaires** (comme celles qui ont marqué le quaternaire) ont été provoqués par des **variations de l'orbite terrestre autour du soleil combinées à des variations de l'axe de rotation de la terre**. Aujourd'hui, nous sommes dans une phase interglaciaire.

- Sur le court terme, **le climat est influencé par (i) l'énergie reçue du soleil** qui varie au rythme de l'**activité solaire** (cycles et tâches solaires), (ii) les **rayons cosmiques** qui peuvent influencer la couverture nuageuse, ou encore par (iii) **les rejets de particules des explosions volcaniques** qui entraînent un refroidissement planétaire (écran au rayonnement solaire).

- Enfin, les **interactions océan-atmosphère** ont leur importance sur les variations à court termes et décennales avec les phénomènes El Niño et La Niña (ENSO), l'Oscillation Nord Atlantiques (NAO), l'Oscillation Décennale du Pacifique (PDO), ou encore la variation des courants marins, la température de l'**océan**, etc.

Aujourd'hui, toute l'attention des chercheurs se concentre sur les océans dont l'influence sur la dynamique climatique semble primordiale mais encore mal modélisée.

Ces différents facteurs se conjuguent et provoquent les variations climatiques que l'on connaît. C'est pourquoi il n'existe pas d'évolution «linéaire» du climat, mais plutôt des **évolutions liées à la prédominance, à un moment donné, d'un ou plusieurs facteurs jouant sur le climat**.

Par exemple dans les années 1980, se sont combinés une NAO positive, une forte activité d'El Nino, une forte activité solaire et un accroissement des concentrations de gaz à effet de serre qui se sont traduits par une forte élévation des températures ; cette élévation est liée à la combinaison de ces facteurs. Sur le long terme, l'augmentation progressive des gaz à effet de serre - non soumis contrairement aux autres facteurs à des «cycles» - aura des conséquences importantes sur la multiplication des phénomènes extrêmes et rares et sur l'augmentation des températures.

L'augmentation des gaz à effet de serre est aujourd'hui plus forte que jamais, il est donc primordial de **les contrôler et de les réduire pour éviter un emballement du système**.

4 - Les émissions de gaz à effet de serre en France

Le suivi des gaz à effet de serre d'origine anthropique est une priorité de bien des nations. Ce suivi passe par une étude fine des différents secteurs qui émettent des GES : les transports, l'habitat, l'industrie et l'agriculture. Ces études mettent en avant les tendances récentes, actuelles et à venir et surtout elles permettent de déterminer les niveaux d'action pour réduire les émissions de GES (Fig. 35 et 36).

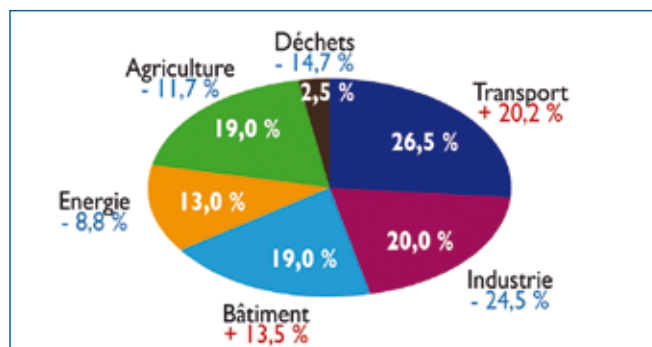


Fig. 35 - Part des émissions de gaz à effet de serre en France par secteur en 2006 et évolution 1990/2006
CITEPA

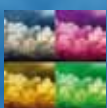
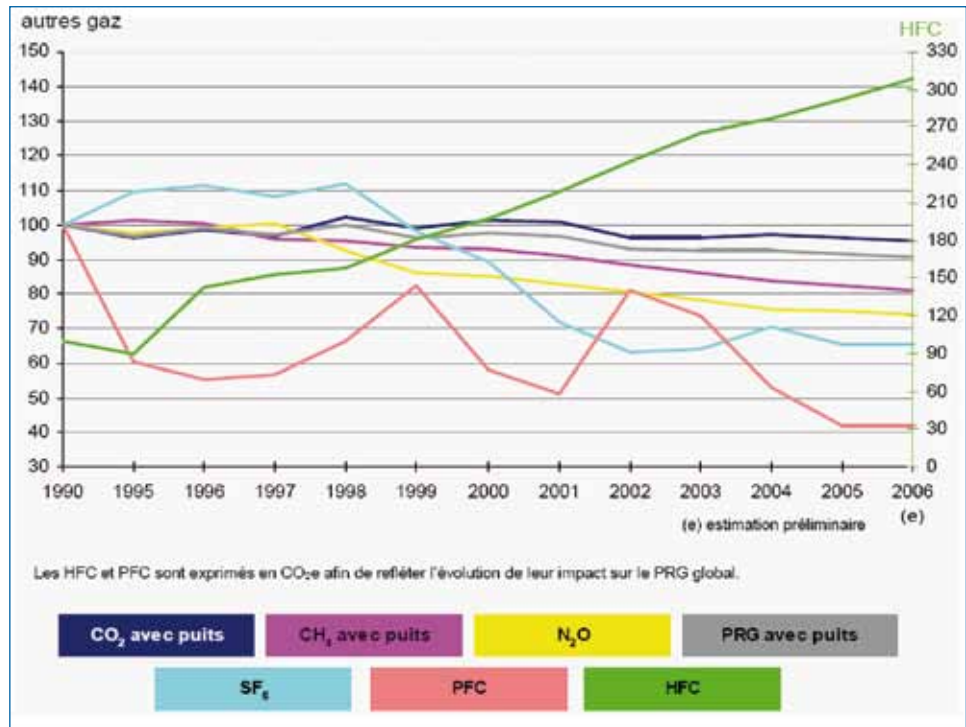


Fig. 36 - Les émissions de gaz à effet de serre en France et leurs évolutions de 1990 à 2006
CITEPA



> L'incidence des transports sur la production de GES

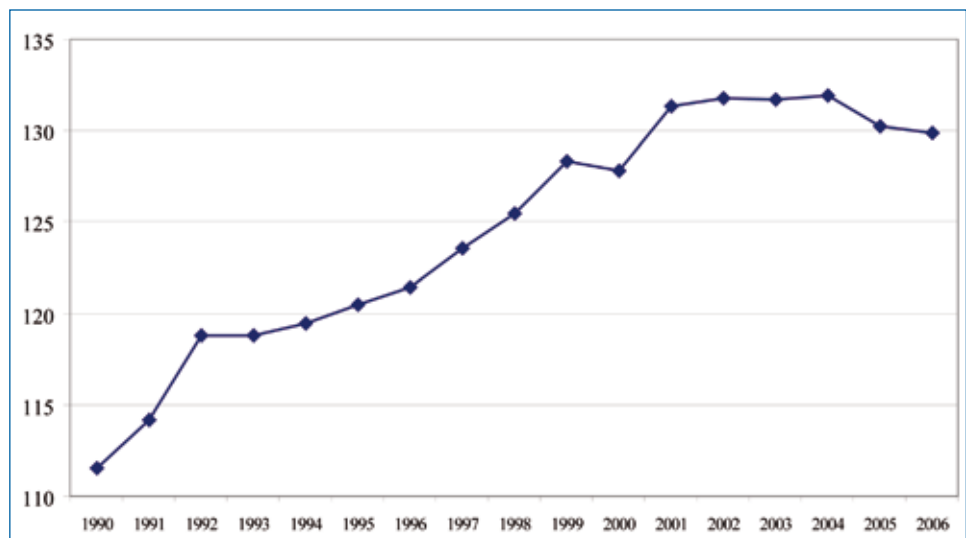
Le secteur des transports est le principal contributeur en termes d'émissions de gaz à effet de serre (GES), et celui dont la croissance a été la plus importante depuis 1990.

Ce constat à l'échelle planétaire peut être similairement décliné à l'échelle de la France et de notre région. Avec **plus du quart des GES (26,7 %) et plus du tiers du dioxyde de carbone -CO₂- (34 %), les transports représentent le secteur le plus émissif en France.**

Durant les vingt dernières années, l'évolution des émissions de CO₂ est quasiment parallèle à celle du développement du transport de voyageurs et de marchandises. Ces données mettent clairement en avant que l'évolution des transports représente un des **principaux enjeux dans le domaine de la réduction des GES**. Pour lutter efficacement contre le changement climatique, le réchauffement des températures lié à l'effet de serre et la pollution, **il convient de réduire considérablement les émissions liées aux transports** (Fig. 37 et 38).

Fig. 37 - Evolution des émissions des gaz à effet de serre par le transport routier depuis 1990 en France, en Mt eq. CO₂
CITEPA

La baisse des émissions constatées depuis quelques années est due en partie aux efforts des constructeurs pour limiter les émissions de CO₂ de leur motorisation, ainsi qu'aux différentes mesures prises pour inciter les consommateurs à acheter des véhicules plus propres.



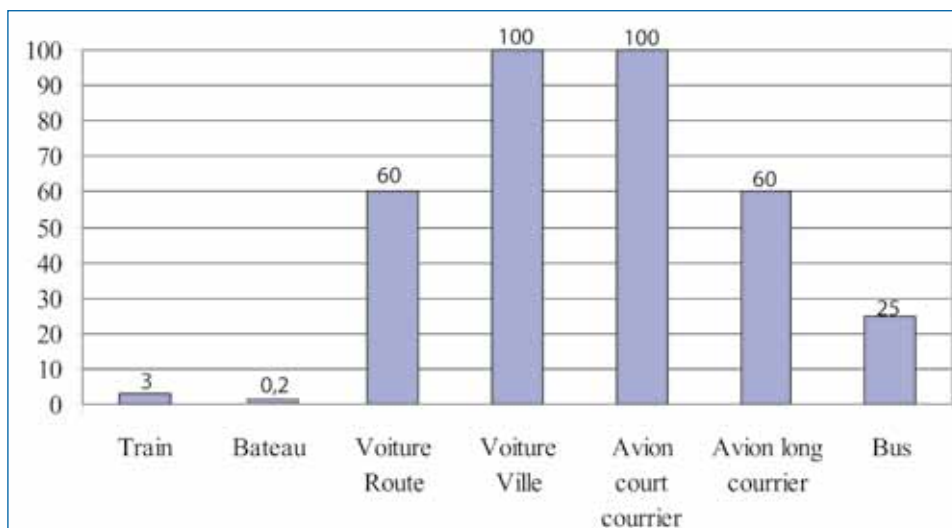


Fig. 38 - Emissions des gaz à effet de serre par mode de transports en g. équ. CO₂ par passager par km.
ADEME, INRETS
La voiture et l'avion émettent le plus de gaz à effet de serre, surtout en ville pour les voitures et sur les courtes distances en avion.

> Le rôle du secteur de l'habitat et du tertiaire

Les logements et les bâtiments de type tertiaire participent pour 18,7 % des émissions de gaz à effet de serre au niveau national (2006). Ils contribuent pour 25 % aux émissions nationales de CO₂, soit plus de 0,5 tonne de carbone et 1,2 tonne d'équivalent pétrole par an et par personne.

Les émissions de gaz à effet de serre des secteurs habitat et tertiaire sont en forte croissance: + 13,5 % entre 1990 et 2006 (pour un accroissement sur la même période de la population de 8,5% et du nombre de logements de 19 %). Le tertiaire représentant 30 % de la consommation énergétique du secteur et 50 % des émissions de gaz à effet de serre.

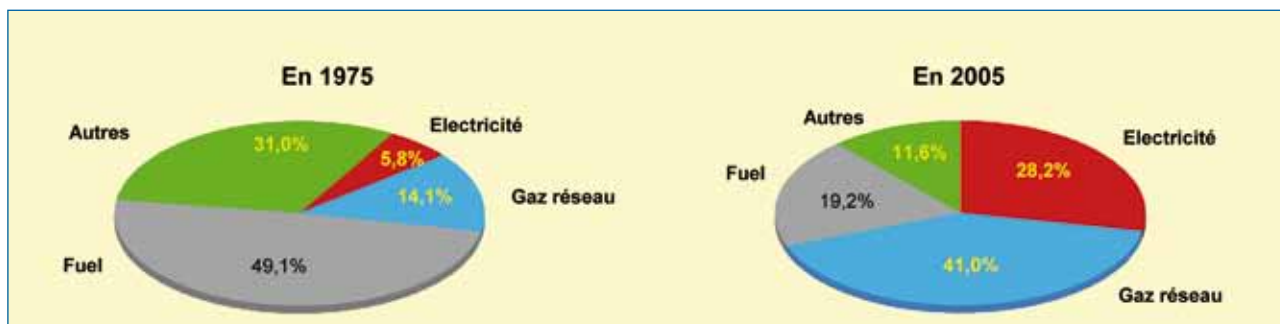
C'est, avec les transports (+ 20,2%), un secteur qui **accroît ses émissions** alors que, pour les autres secteurs, l'évolution est négative (industrie - 24,5%, agriculture - 11,7 %, ...).

Plusieurs facteurs expliquent cette évolution. Il s'agit en premier lieu de l'**accroissement du parc de logements**.

La satisfaction de nouveaux besoins a également contribué à une forte **augmentation de la consommation d'électricité** utilisée pour l'électroménager, l'éclairage, la bureautique, la climatisation, etc. Le **gaz naturel** (soit 32 % de part de marché du résidentiel-tertiaire) se place en deuxième position pour son taux de croissance de moyen terme (de 2000 à 2007) égal à 1,8 % par an ; sur le long terme, de 1990 à 2007, les places s'inversent, avec + 3,0 % par an pour le gaz et + 2,7 % pour l'électricité (Fig. 39, 40 et 41).

Dans cet ensemble, le **chauffage** représente près des **2/3 de la consommation d'énergie et la majeure partie des émissions de CO₂**, en raison du contenu élevé en carbone des combustibles fossiles et de l'électricité utilisée (parfois issue de la combustion du charbon) lors des périodes très froides.

Fig. 39 - Répartition du parc chauffé par énergie principale en 1975 et 2005 en France
CEREN



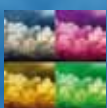


Fig. 40 - Répartition du parc chauffé tertiaire par énergie de chauffage en France
Source : CEREN

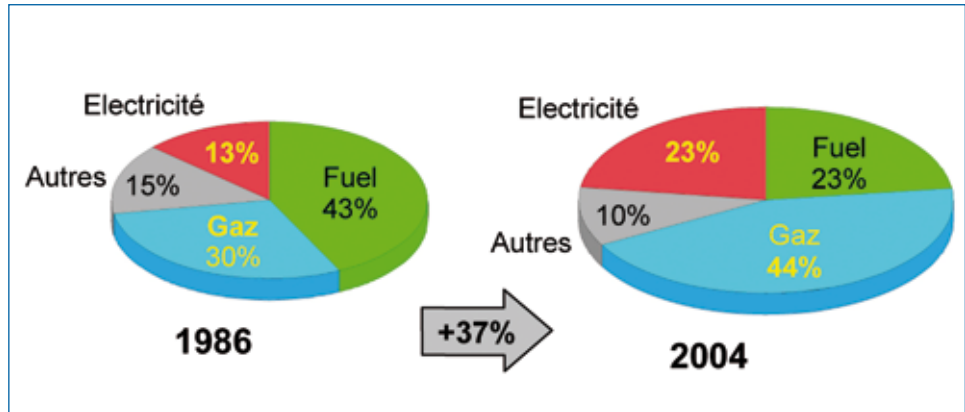


Fig. 41 - Perspective d'évolution des consommations d'énergie par usage.
Source : DGEMP

(Mtep)	Consommations 2002	Perspectives 2030	Taux de croissance (%)
Chauffage	36,1	37,9	+ 5
Cuisson	2,1	2,4	+ 14
Eau chaude	4,8	7,1	+ 48
Electricité spécifique	4,9	9,1	+ 86
Total	48,3	57,9	+ 20

> Agriculture et GES

Souvent minimisée, la contribution de l'agriculture dans les émissions des gaz à effet de serre est plus importante qu'on ne le pense souvent puisque **2/3 du méthane (CH₄) et presque la totalité du protoxyde d'azote (N₂O) proviennent des activités agricoles** (Fig. 42).

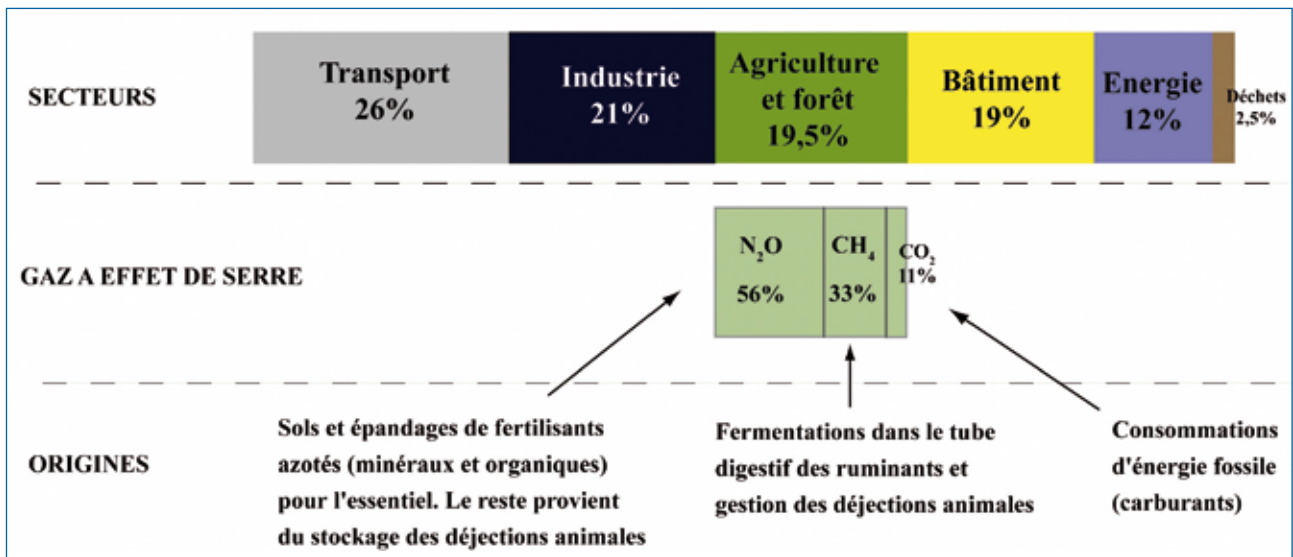
Il faut rappeler que ces deux gaz constituent un tiers des gaz à effet de serre. En PRG (pouvoir de réchauffement global), **l'agriculture et la sylviculture constituent l'un des principaux moteurs d'émission de GES !** (19 % en 2006, CITEPA, 2008).

En France, les émissions de **CH₄** dues à l'agriculture proviennent pour l'essentiel des fermentations dans le tube digestif des ruminants et des déjections animales dans les fosses de stockage.

Les émissions de **N₂O** proviennent des épandages d'engrais azotés et des processus de dégradation dans le sol.

Enfin les émissions de **CO₂** proviennent de la consommation d'énergies fossiles (carburant, chauffage des bâtiments d'élevage...).

Fig. 42 - Origine des gaz à effet de serre du secteur agriculture et forêt par rapport aux émissions des autres secteurs en France (2006).
CITEPA, Chambre d'agriculture 73, MDP



> Le secteur industriel

Les **industries manufacturières** contribuent aux émissions nationales de gaz à effet de serre à hauteur de **20 %**. Elles émettent surtout du **dioxyde de carbone (89 %) et du protoxyde d'azote (6 %)**.

Il importe de relever que les émissions industrielles ont décliné de 24,5 % entre 1990 et 2006. La difficulté d'obtenir des données significatives nous a conduit à ne pas traiter de manière exhaustive la question de la réduction des gaz à effet de serre émis par l'industrie tout en sachant que ce secteur est le principal émetteur en Savoie (voir chapitre 1 partie II). Des pistes d'actions spécifiques seront néanmoins abordées visant à réduire les émissions de ce secteur.

5 - Les mesures nationales de réduction des gaz à effet de serre

• **Les Plans Climat**, définis par les différentes nations impliquées dans le cadre du Protocole de Kyoto, ont pour **objet de réduire de manière significative les GES** émis en particulier par les transports.

À l'échelle de la France, le Plan Climat mis en place en 2004 (2004-2012) vise à stabiliser les émissions de GES à leur niveau de 1990 dès 2010. Un des objectifs de ce plan est de **réduire les émissions de CO₂ de 33 millions de tonnes par an**. La récente actualisation du Plan Climat (novembre 2006) complète le dispositif préexistant afin de permettre à la **France** de tenir ses engagements et de **réduire par 4 les émissions de GES à horizon de 2050**. Les nouvelles mesures devraient permettre une réduction supplémentaire de 6 à 8 millions de tonnes de CO₂ par an (Fig. 43).

L'essentiel des mesures concernant le **transport** portent sur la réduction de la mobilité automobile urbaine, le développement de transports alternatifs à la route, la poursuite des recherches sur de nouveaux modes de propulsion automobile ainsi que sur le développement des politiques de transport durable.

Les PDU (Plan de Déplacements Urbains) de 2^{ème} génération visent également à réduire les émissions de GES au niveau local en encourageant les recours au transport collectif et à l'auto-partage, en intégrant la formation à l'éco-conduite et en impulsant de nouveaux modes d'aménagement territorial.

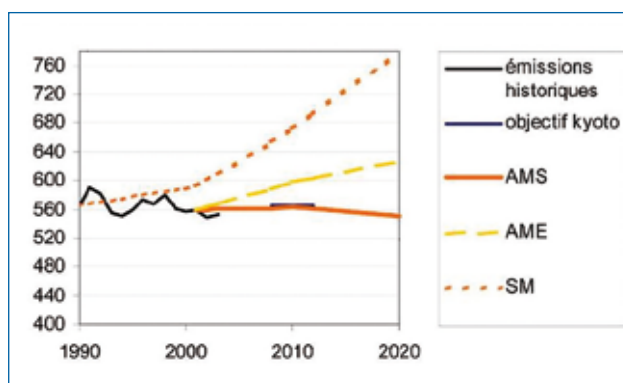


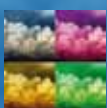
Fig. 43 - Simulation des effets des mesures du Plan Climat sur la réduction des gaz à effet de serre.

Source : Plan Climat 2004
Projections sans mesure (SM), avec mesures existantes avant le Plan Climat (AME) et avec mesures supplémentaires du Plan Climat (AMS), en MteCO₂.

• **Le Grenelle de l'Environnement** renforce le Plan Climat afin que la France s'engage bien dans l'objectif d'une réduction de 20 % des émissions européennes d'ici 2020 et d'une division par 4 de ses émissions d'ici 2050, ainsi que «d'une baisse de 20 % de la consommation d'énergie et d'une proportion de 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie pour 2020».

Plusieurs programmes sont proposés pour atteindre **au moins 20 % d'économies d'émissions de CO₂ en 2020** (soit environ 20 Mt).

• En parallèle au Plan Climat national, les pouvoirs publics encouragent l'adoption de **Plans Climat Territoriaux**, proches du terrain, et ce à tous les échelons : région, département, commune et intercommunalité.



Les **Plans Climat Territoriaux** devront dans un premier temps **repérer les sources d'émissions de gaz à effet de serre et se fixer des objectifs de réduction**. Ces plans territoriaux visent également à mettre en évidence avec les acteurs concernés les moyens de **réduire les émissions de gaz à effet de serre en mobilisant l'ensemble des leviers sectoriels de la collectivité locale**. Ils visent aussi à s'adapter aux impacts du changement climatique, s'organiser en interne comme en externe pour mettre en œuvre le plan d'action avec tous les acteurs du territoire et évaluer les résultats.

Un exemple d'un plan climat territorial ou «local» : celui de l'agglomération grenobloise

<http://www.ale-grenoble.org/28-le-plan-climat-local.htm>

Un plan climat « en marche » : celui de Chambéry métropole

En septembre 2008, «Chambéry métropole» s'est engagé dans un plan climat territorial, affichant ainsi une volonté de décliner à l'échelle de son territoire (24 communes) les engagements de l'Europe et de l'Etat pour contribuer, à son niveau, à la réduction des GES.

A partir du diagnostic des émissions actuelles, ce plan vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre dans ses champs de compétence : ceux des transports, des déchets, de l'habitat, des zones d'activités économiques, de l'agriculture, et des bâtiments communautaires... Pour atteindre ces objectifs, l'ensemble des acteurs du territoire (acteurs socio-économiques, élus, associations, habitants...) est mobilisé.

Une attention est également portée à l'activité des ménages qui sont responsables de près de 50 % des émissions de gaz à effet de serre de ce territoire du fait de leurs déplacements, de leur mode de chauffage et de la qualité énergétique de leur logement. Un dispositif spécifique à l'attention des habitants sera mis en place afin de favoriser de nouveaux comportements.

Enfin, une attention particulière sera également accordée à l'articulation de cette démarche locale avec l'initiative portée par le Conseil général dans le cadre de Savoie 2020.

<http://www.chambery-metropole.fr/3406-plan-climat.htm>

Vous trouverez l'ensemble des mesures proposées par le Grenelle de l'Environnement sur le site internet du MEEDDM : <http://www.developpement-durable.gouv.fr> ou sur celui de l'Assemblée Nationale : <http://www.assemblee-nationale.fr/13/ta/ta0200.asp>

L'ensemble des nombreuses mesures du Grenelle ne sera pas détaillé dans ce Livre Blanc, mais elles ont été prises en compte lors de la définition des pistes d'actions visant à l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre et à l'adaptation au changement climatique.

PARTIE 2

GAZ A EFFET DE SERRE ET STRATEGIES DE REDUCTION PAR SECTEUR EN SAVOIE

Dans la précédente partie a été soulignée la part des gaz à effet de serre (GES) dans l'actuel réchauffement climatique. C'est au niveau des GES que nous pouvons agir pour réduire les effets du changement climatique à venir. Cette réduction passe par des décisions d'ordre politique et législatif que nous ne développerons pas dans ce Livre blanc. Nous nous contenterons ici de définir la part des différents secteurs dans les émissions de GES en Savoie, constat essentiel pour aborder ensuite les stratégies de réduction.

GAZ A EFFET DE SERRE

ET STRATEGIES DE REDUCTION PAR SECTEUR EN SAVOIE

1• LES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN SAVOIE

Réaliser un bilan exhaustif des émissions de gaz à effet de serre suppose de cumuler les émissions d'origine anthropique (sources énergétiques comme la combustion d'énergie fossile) et celles issues des sources naturelles (sources non énergétiques issues de l'agriculture, marécage, etc...).

Un tel bilan n'a pu être à ce jour réalisé en Savoie, pas plus que dans les autres départements français, compte tenu de la difficulté d'évaluer avec précision les émissions de GES issues des sources non énergétiques. Nous avons, de ce fait, préféré axer ce bilan sur les émissions issues des sources d'origine anthropique pour lesquelles existent des données et des modes éprouvés de calcul et d'évaluation.

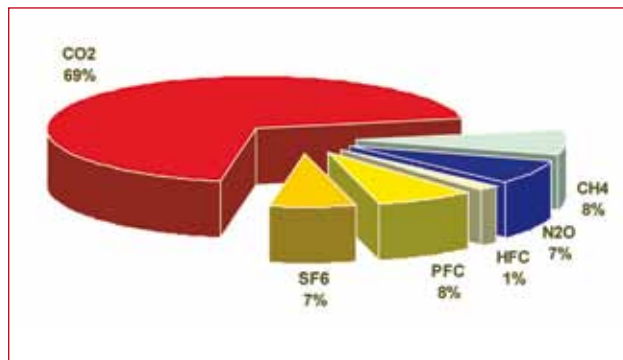


Fig. 1 - Estimations de la contribution des différents gaz à effet de serre au Potentiel de Réchauffement Global en Savoie

Air-APS

La Savoie se distingue surtout par de fortes émissions de gaz fluorés (PFC, SF₆ et HFC) provenant de l'industrie et du transport, et constitue 16 % des GES contre 3,5 % en France.

1. Les émissions de GES d'origine anthropique

En Savoie et en 2006, les émissions de gaz à effet de serre liées à la combustion d'énergies fossiles, de biomasse et des réactions chimiques industrielles ont pour origine : l'industrie (42 %), le transport routier (32 %), et le résidentiel/tertiaire (24 %). (Fig. 2)

La part de l'industrie par rapport au territoire national (20 %) peut surprendre. Elle provient essentiellement de l'importante production, dans le département, d'aluminium et de silicium. Cette spécificité savoyarde sera donc à prendre en compte dans la recherche de réduction des gaz à effet de serre, tout en sachant que ces

décisions sont principalement du seul ressort des industriels et supposent de trouver des modes de réduction qui ne pénalisent pas ces types de production. Nous verrons toutefois quelles sont les réglementations en vigueur et les perspectives de réduction (détail dans le chapitre Industrie).

Dans un même ordre d'idée, la part des émissions de l'agriculture n'est que de 1 % du total, ce qui peut également surprendre pour un territoire agricole comme la Savoie. Ce faible taux est lié au fait que seules les émissions liées à la combustion d'énergie

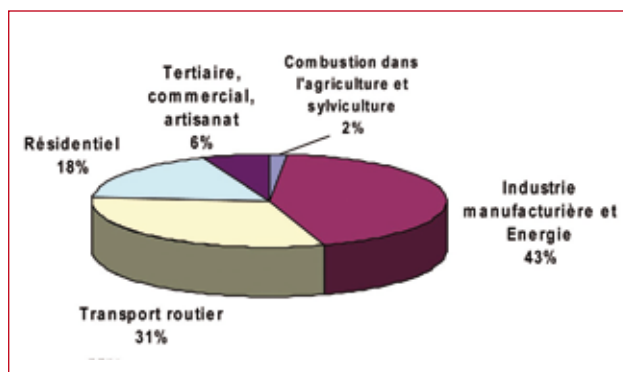


Fig. 2 - Estimation de la répartition des émissions des GES (CO₂, CH₄, N₂O) d'origine anthropique en Savoie en 2006 par secteurs (en Teq CO₂).

Air-APS

L'industrie cumule les émissions de la combustion et des réactions chimiques. Les sources non énergétiques ne sont pas prises en compte.



fossile par l'agriculture **sont comptabilisées dans le bilan actuel** (carburants, chauffage des bâtiments agricoles, serres ...). C'est pourquoi il faut être prudent avec ces chiffres qui ne représentent qu'une faible part des GES émis par cette activité. On sait, en effet, que l'agriculture est le principal émetteur de méthane (CH₄), et de protoxyde d'azote (N₂O) (Cf. partie I - chapitre 4). En Savoie, cela correspond à environ 11 % des gaz à effet de serre (source : Rhône-Alpes Energie Environnement pour 2002).

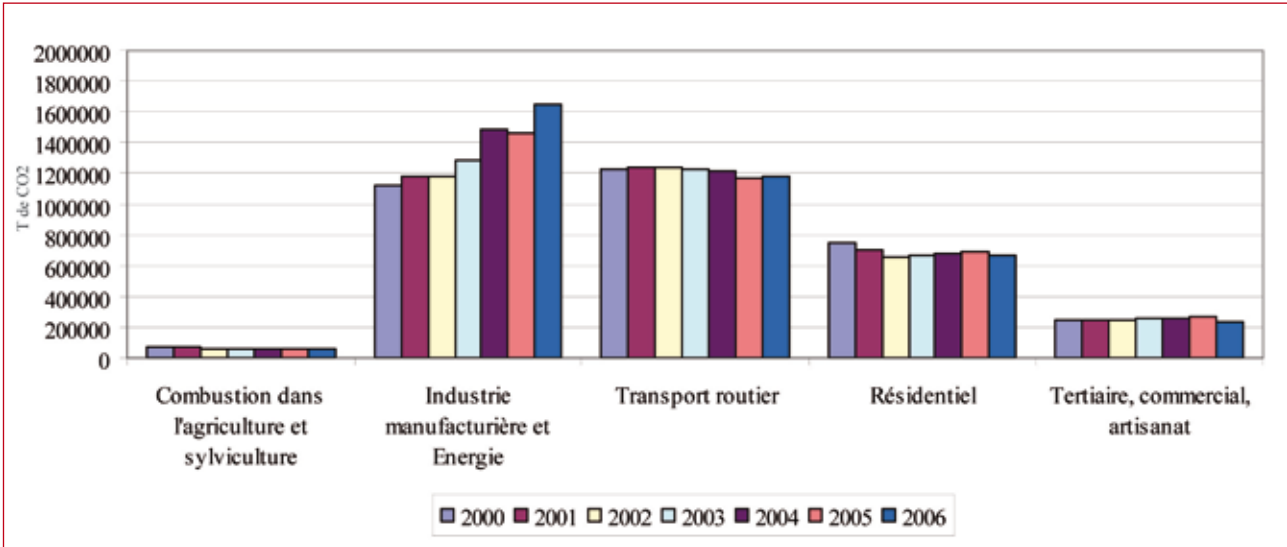


Fig. 3 - Emissions et évolution de la quantité de GES (en teq CO₂) issus de la combustion pour chaque secteur en Savoie entre 2000 et 2006.

Air-APS.

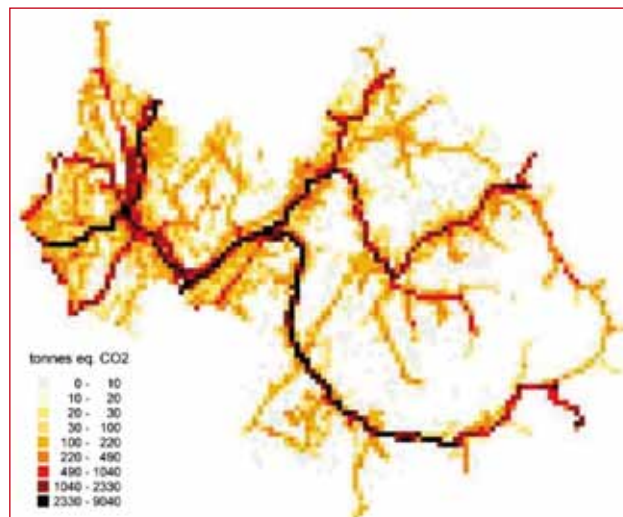
Les émissions de CO₂ sont produites par la combustion d'énergie fossile et de biomasse. Pour le secteur industriel, une partie des émissions sont issues de réactions chimiques industrielles (environ 680 000 tonnes en 2006, soit 40 % des émissions de ce secteur). Les sources non énergétiques ne sont pas prises en compte.

La figure 3 souligne la relative stagnation des GES émis par l'habitat-tertiaire et les transports, et ce malgré l'augmentation, d'une part, du parc de logements et de véhicules et, d'autre part, du trafic dans le département. Cette stagnation est liée à plusieurs facteurs positifs. Pour l'habitat, les systèmes de chauffage consomment de moins en moins d'énergie fossile (urbain comme particulier), la part des modes alternatifs ou hybrides est en augmentation et n'oublions pas que ces derniers hivers ont été généralement assez doux. Pour le transport, l'amélioration des moteurs, l'augmentation du parc de petites cylindrées et la réduction de vitesse (influence «indirecte» des radars) sont les principales raisons du tassement des émissions.

Fig. 4 - Emissions spatialisées des GES (en tonnes eq. CO₂ par km²) en 2006 en Savoie

Air-APS.

Les émissions de gaz à effet de serre en Savoie se répartissent essentiellement dans les zones urbanisées et le long des axes routiers concentrés dans les vallées. Les sources non énergétiques ne sont pas prises en compte sur cette carte.



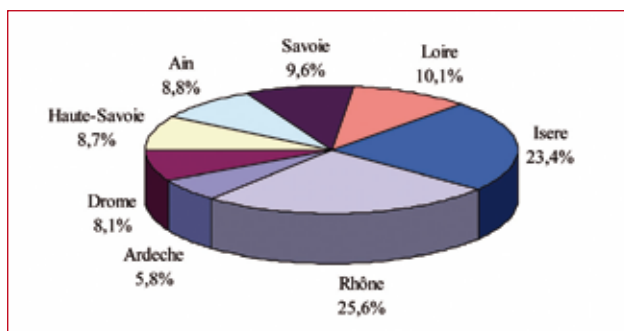


Fig. 5 - Part de chaque département dans les émissions de CO₂ de la région Rhône-Alpes en 2006 Air-APS.

La Savoie se situe au quatrième rang en quantités de CO₂ émis. Néanmoins, rapporté à la population avec 9,7 tonnes/hab, le département se situe en première position en Rhône-Alpes.

Ce premier bilan permet de mettre en évidence où se situent **les enjeux à venir pour réduire les GES** émis par la combustion des énergies fossiles et de la biomasse. Ils concernent **les transports, l'habitat-tertiaire et l'industrie.**

A ces secteurs, il faut adjoindre l'agriculture, principal émetteur de méthane (CH₄), et de protoxyde d'azote (N₂O), soit 11 % des gaz à effet de serre (source : RAEE pour 2002), ce qui est relativement important au regard, par exemple, des GES émis par le seul secteur tertiaire.

Dans cette deuxième partie du Livre Blanc, **une étude détaillée des émissions et des modes de réduction de GES** est proposée pour chacun de ces secteurs. Avant de traiter de ces secteurs, une attention est portée aux émissions de GES liées au tourisme.

2. Estimation des émissions de gaz à effet de serre liées au tourisme en Savoie

Le tourisme génère d'importants déplacements individuels qui contribuent aux émissions de gaz à effet de serre. La bonne accessibilité routière et autoroutière, la propension à la mobilité, et le développement de l'offre touristique ne sont pas étrangers à l'augmentation du trafic dans les Alpes. Outre les émissions liées aux déplacements, le chauffage et, dans une moindre mesure, la climatisation des hébergements (notamment des résidences secondaires) contribuent à l'émission des gaz à effet de serre.

Dans l'état actuel des connaissances, il est délicat d'évaluer avec précisions à l'échelle du département, la part des émissions de gaz à effet de serre liées au tourisme, tant hivernal qu'estival. Deux études permettent néanmoins d'appréhender les émissions engendrées par le tourisme hivernal : (i) celle réalisée par l'ADEME avec Mountain Riders pour les stations des Menuires et de Val Thorens (Fig. 6) ; (ii) celle effectuée par ODIT France sur un séjour d'une semaine en station de sports d'hiver (Fig. 7). Ces deux méthodes soulignent qu'environ 90 % des émissions produites par le tourisme hivernal sont dus aux **transports** (trajet domicile-station) et au **chauffage**. C'est au niveau de ces deux secteurs que devront être portés les efforts pour réduire, dans les années qui viennent, les émissions de GES liées au tourisme.

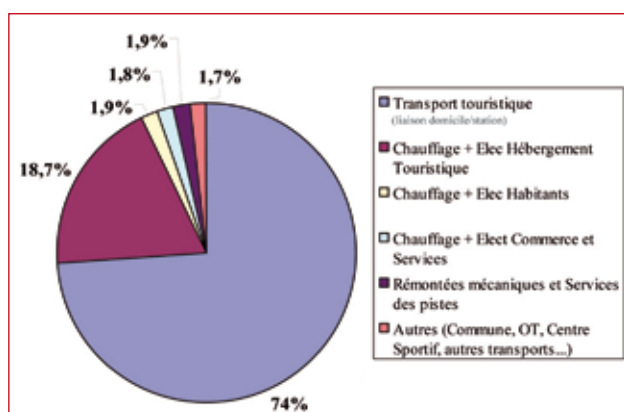


Fig. 6 - Proportion des émissions globales annuelles de gaz à effet de serre dans les stations des Menuires et de Val Thorens.

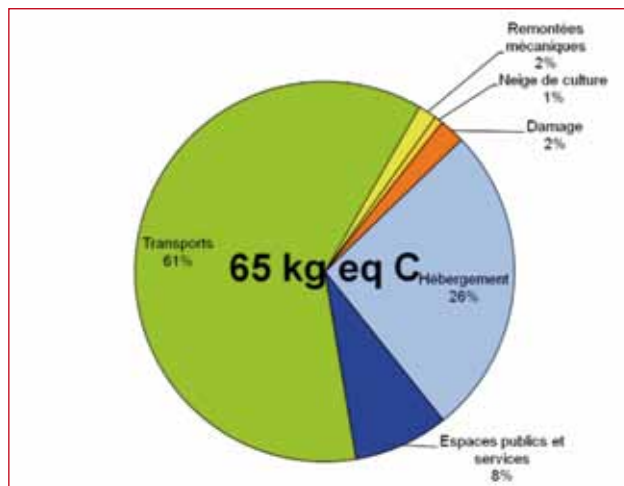
ADEME, Mountain Riders (2007)



Fig. 7 - Emissions moyennes de gaz à effet de serre pour un séjour d'une semaine aux sports d'hiver

Source : ODIT-France

Evaluation établie à partir des modes de déplacements, de la fréquentation et des performances énergétiques des hébergements et des domaines skiables.



2• LES TRANSPORTS

Les impacts des transports sur l'environnement et la qualité de l'air sont nombreux mais relativement complexes à traiter compte tenu des différentes substances émises (gaz, particules...), de leur diffusion spatiale et de leur distribution dans le temps (journaliers, week-end, vacances ...). Cette complexité est accrue du fait de l'importante disparité de durée de vie des gaz émis par ce secteur. Dans ce contexte, les choix d'aménagement, de modulation du trafic, d'infrastructures de transport ne sont pas aisés, d'autant plus qu'ils engagent le territoire sur plusieurs décennies. Ces décisions sont d'autant moins faciles à prendre que les transports constituent, dans le contexte actuel, un des moteurs de l'activité économique du territoire. Il faut, à la fois, (i) préserver durablement la capacité à se déplacer et à transporter des marchandises en réduisant au maximum leurs impacts, (ii) réduire autant que possible les distances parcourues, et (iii) penser de nouveaux modes d'aménagement et de déplacement durables et plus sobres en énergie.

Le **pooids des transports** dans la facture énergétique est de plus en plus important et cela se ressent durement, tant sur l'**économie** que sur les particuliers lors des fortes hausses des carburants. Pour valeur d'exemple, le prix du baril de pétrole a été multiplié par 7 de 2002 à 2008 ! Au niveau micro-économique, les Français consacrent désormais plus d'argent aux transports qu'à l'alimentation. En 2008, environ 17,5 % des ressources familiales sont allouées aux déplacements (14 % en 2000) ; le logement étant le premier poste de dépenses (> 30 %) (Le Breton, 2008). Les principales raisons sont l'augmentation du prix des carburants et l'allongement des trajets domicile-travail (40 km à comparer aux 20 km pour les années 1970).

Le contexte actuel fait que les enjeux d'ordre économique, environnemental et social sont très liés. Cette conjoncture doit permettre de penser et proposer de **nouveaux modes de déplacement et de transport durable**. Toute stratégie allant dans ce sens aura des effets positifs tant économiques qu'environnementaux. Le développement des moteurs propres (hybrides, électriques, gaz naturel), la politique «bonus-malus» en fonction de l'importance de l'émission de CO₂, la part croissante des transferts modaux du trafic, le développement du transport en commun urbain et péri-urbain sont autant de bonnes voies pour réduire les émissions de GES. Par contre, l'utilisation systématique de la climatisation dans les véhicules entraîne une surconsommation de l'ordre de 25 % à 35 % en ville, et de 10 % à 20 % sur route. L'impact «effet de serre» de la climatisation sur les 16 millions de véhicules européens vendus chaque année équivaut aux émissions de l'ensemble des véhicules légers immatriculés en France en 2002 (Source : INRETS) !

Les biocarburants : une fausse bonne idée ?

Le Grenelle de l'environnement préconise un audit complet des biocarburants, dès lors que leur production est en compétition avec l'alimentation.

Une expertise est en cours sur les agrocarburants de première génération qui sont produits à partir de cultures destinées à l'alimentation (betterave à sucre, blé, colza et tournesol). Leur développement pose un problème de concurrence dans l'usage des terres agricoles. Les agrocarburants de deuxième génération seraient fabriqués à partir de plantes non alimentaires (buissons de terres semi-arides, herbes de prairie, algues marines). Si le développement des carburants verts présente a priori le triple avantage pour la France - valoriser ses terroirs agricoles, réduire sa dépendance énergétique et diminuer ses émissions de gaz à effet de serre dues à la consommation de pétrole - il ne faut pas minimiser les risques pour la biodiversité (monoculture intensive ...) et d'accentuation des émissions de gaz à effet de serre liée à l'utilisation d'engrais. Dans l'attente de cet audit, l'attention est particulièrement portée sur les agrocarburants de deuxième génération ...

1. Les spécificités du transport en Savoie

La Savoie, peut être plus que dans d'autres départements, présente une **grande diversité de flux et de déplacements**. Une part importante de ceux-ci concerne le **transit des marchandises** par la route ainsi que les **flux touristiques** qui se font essentiellement en voiture particulière. Les **flux internes** sont, pour leur part, en croissance constante notamment autour de Chambéry.

La Savoie est aussi un département qui dispose d'une «**culture**» de la route, un recours aux déplacements en voiture commun à tous les territoires ruraux et montagnards. Un changement culturel peut s'opérer afin de faciliter les transitions vers des transports moins émetteurs de CO₂. Cela nécessite des accompagnements forts, notamment dans les espaces ruraux plus dépendants des déplacements individuels en voiture.

Les caractéristiques de ces différents flux sont brièvement présentées avant d'appréhender leur part respective dans les émissions de GES et les modes de réduction des émissions.

A. Le transport international

L'un des principaux enjeux pour la réduction des GES en Savoie concerne le report modal des flux internationaux de marchandise (via la future liaison ferroviaire Lyon-Turin) et le développement de services associés «autoroute ferroviaire». Dans une moindre mesure, l'application de la taxe «Eurovignette» sur les poids lourds (plus de 3,5 tonnes) et la norme «Euro 5» (septembre 2009) et «Euro 6» (2014) devraient conduire également à une réduction des émissions de polluants. Les figures 8 et 9 mettent en avant l'importance d'une politique volontariste multimodale. Celle-ci serait en mesure de diviser par 2 la part de marchandises transitant par les tunnels routiers alpins dans le trafic total, cela supposant d'ici 2020 d'augmenter par 2,5 le transit par le rail. Il y a là un enjeu de taille.

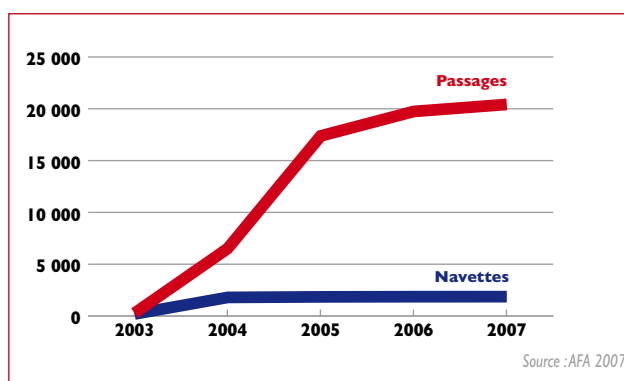


Fig. 8 - Evolution du nombre de passages* et de navettes sur le service d'Autoroute Ferroviaire Alpine (Nombre de passages annuels).

AFA 2007, Observatoire des déplacements en Savoie MDP. Plus de 23 000 passages ont été comptés en 2008, soit 15 % de mieux qu'en 2007. Le service de ferroutage, qui relie Bourgneuf/Aiton (en Savoie) à Orbassano en Italie (banlieue Ouest de Turin) a transporté près de 88 000 camions depuis son ouverture (nov 2003).

* : Passages = camions chargés

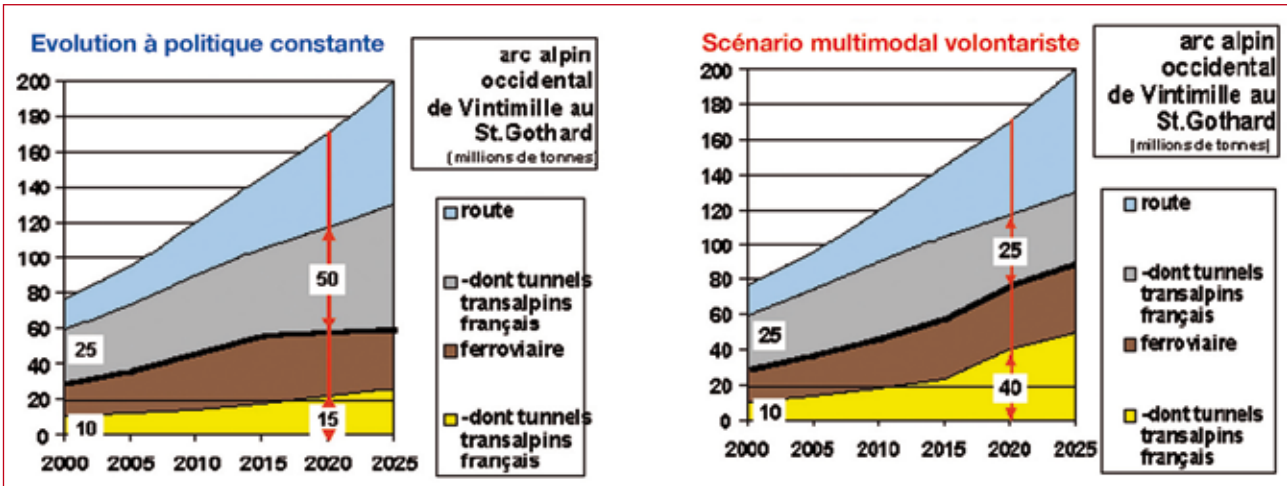


Fig. 9 - Comparaison d'un scénario à politique constante (à gauche) avec un scénario multimodal volontariste (à droite) sur le report du trafic de marchandises dans les tunnels de l'arc alpin en millions de tonnes. DDT

B. Le transport touristique et le trafic aérien

La Savoie est un des plus grands espaces de tourisme d'hiver en Europe. Si des modes de transports aériens, routiers et ferrés permettent de répondre aux flux de voyageurs sur des pas de temps très réduits (week-end), de nouvelles stratégies de transport touristique adaptées à la situation du département doivent être recherchées afin de répondre au mieux à l'exigence de réduction des GES. **Cela est nécessaire pour lutter contre le réchauffement climatique comme pour assurer la compétitivité des sites touristiques savoyards.**

L'évolution du trafic en Savoie dépend en grande partie de la fréquentation touristique. Malgré une réelle volonté de développer ces dernières années des alternatives à la voiture, force est de constater une stagnation du trafic ferroviaire qui arrive à saturation (Fig. 10) et une augmentation du trafic routier et aérien (Fig. 11). Il importe de développer des alternatives plus attractives et lisibles pour les voyageurs désireux de se rendre en Savoie autrement qu'en voiture particulière.

Il est difficile de quantifier précisément à l'échelle de la Savoie la part d'émissions de GES liée au seul flux touristique. Compte tenu de l'importance de ce secteur économique pour le département, il serait utile de mettre en place des moyens spécifiques pour l'évaluation et le suivi de ces émissions de GES. Le bilan carbone calculé à l'échelle de la commune de Saint-Martin-de-Belleville (Les Menuires, Val Thorens) montre que le transport représente 74 % des émissions de gaz à effet de serre des stations. Ce chiffre souligne, si besoin est, **l'importance de l'enjeu de réduction des GES émis par le transport et liés à l'activité touristique** (Fig. 12).

	Gares de Tarentaise	Gares de Maurienne	Total 2008	Rappel 2007	2006	2005
Paris	536 868	139 356	676 224	656 092	689 258	680 463
Lyon	49 983	29 870	79 853	69 071	67 523	62 209
Lille	22 820	10 139	32 959	33 938	35 499	36 432
Nantes/Rennes/Angers	28 844	9 675	38 519	36 159	35 444	37 037
Marseille/Montpellier	8 879	2 975	11 854	12 226	13 307	13 434
Grenoble	16 877	14 998	31 875	27 597	27 860	25 783
Total	664 271	207 013	871 284	835 083	868 891	855 358

Fig. 10 - Les origines / destinations majeures des voyageurs venant en Savoie par le rail (hors gares de Savoie, deux sens confondus) de 2005 à 2008

SNCF, données Aristote, Observatoire des déplacements en Savoie MDP

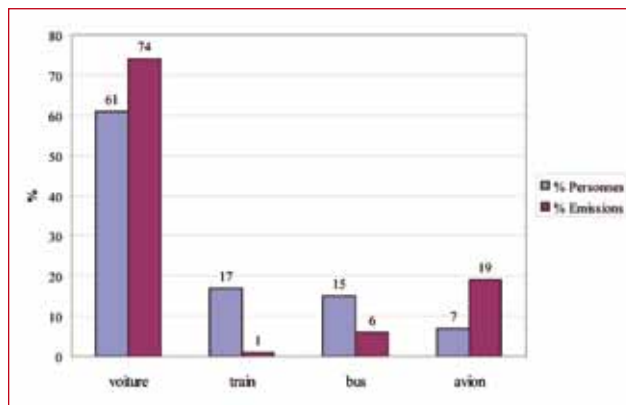
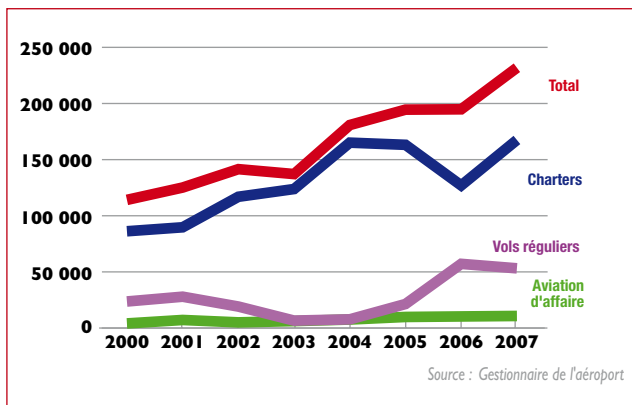


Fig. 11 - Nombre de passagers à l'aéroport de Chambéry / Savoie. Gestionnaire de l'aéroport ; Observatoire des déplacements en Savoie MDP. 2007 se traduit par une hausse de 19% par rapport à 2006, due essentiellement au développement des vols charters centrés sur la saison hivernale.

Fig. 12 - Pourcentage des émissions de gaz à effet de serre par types de transports pour les personnes venant aux Menuires et à Val Thorens. Mountain Riders, Ademe (2007)

C. Le transport métropolitain

On relève ces dernières années une **importante croissance des échanges entre l'agglomération chambérienne et les villes voisines du Sillon alpin** (Grenoble, Annecy, Genève) et **Lyon** (Fig. 13). On relève également une **très forte augmentation de la fréquentation des trains** malgré l'important maillage autoroutier régional. Cette augmentation est liée à plusieurs paramètres : l'amélioration de l'offre TER, de sa fréquence et de son couplage avec les transports en commun ainsi qu'une saturation du réseau autoroutier notamment à proximité des grandes villes. Le transport ferroviaire apparaît de loin le mieux adapté pour absorber la croissance des déplacements entre les grands centres urbains régionaux dès lors qu'il répond aux demandes des usagers (Fig. 14). Ici comme ailleurs, il s'agit de veiller au développement d'une politique raisonnée de transport durable à l'échelle régio-

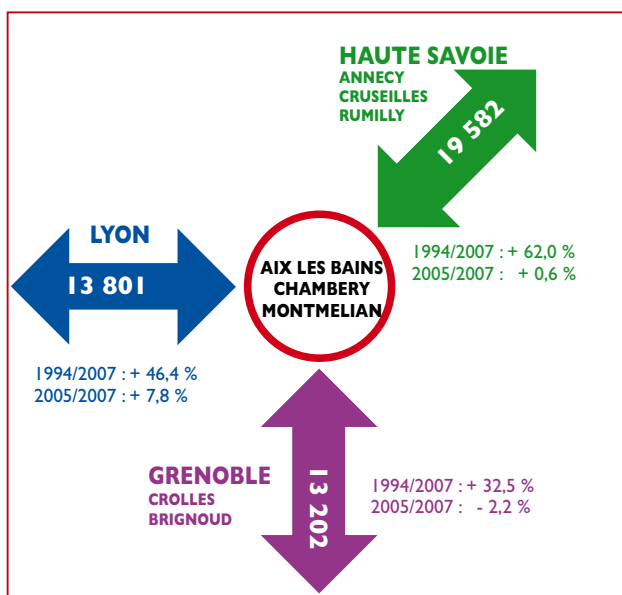


Fig. 13 - Les échanges autoroutiers entre la Savoie, les villes du Sillon alpin et Lyon. AREA, Observatoire des déplacements en Savoie MDP. La reprise du trafic entre Chambéry et Lyon provient de la fin des travaux dans le tunnel de l'Epine.

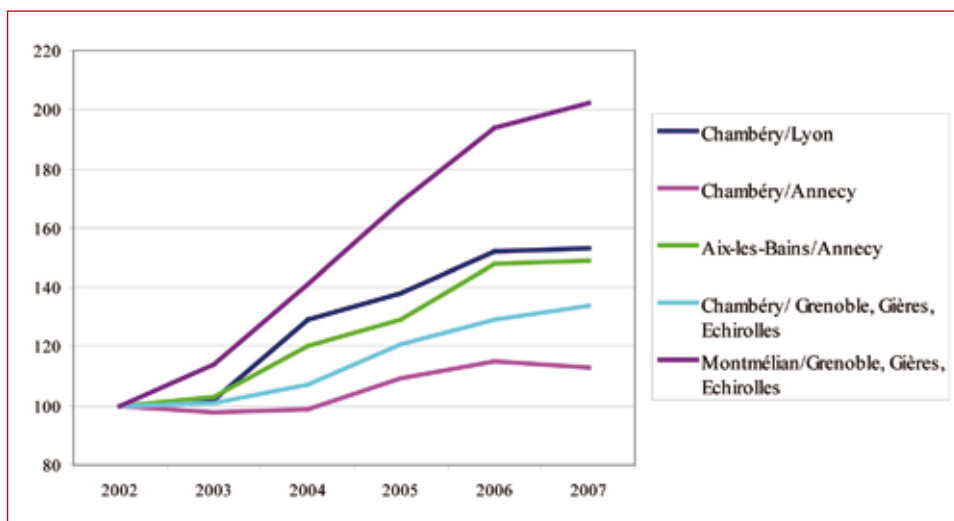


Fig. 14 - Evolution du trafic ferroviaire avec des villes Rhônalpines. SNCF, Observatoire des déplacements en Savoie MDP.

nale. Il conviendra néanmoins de veiller à ce que le réseau ferré ne soit pas à son tour saturé.

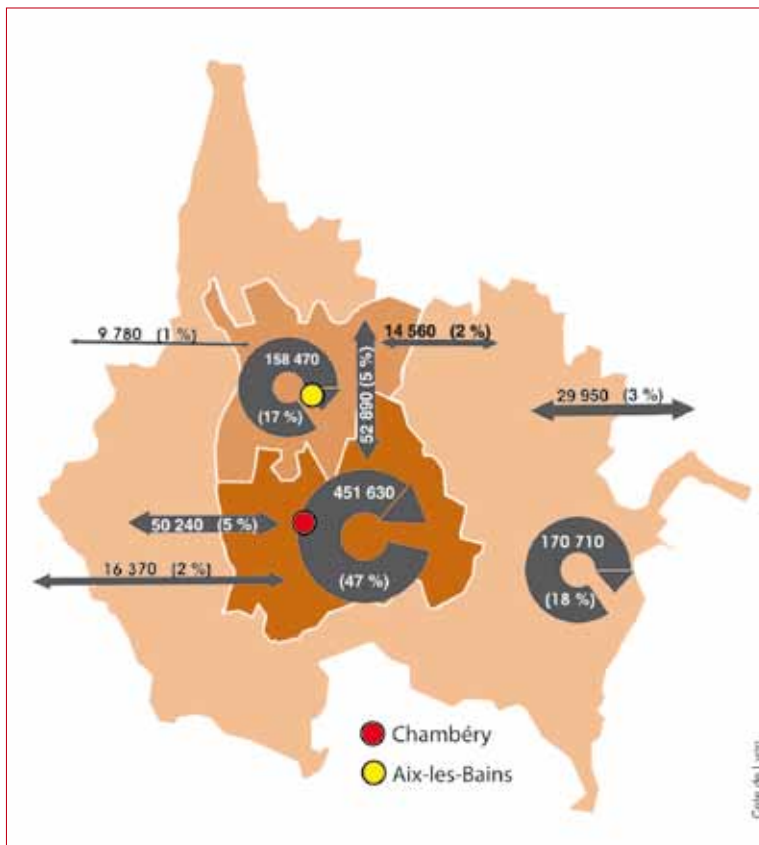
D. Le transport périurbain et urbain

Le **transport périurbain** constitue un élément majeur dans l'organisation des flux autour des villes. C'est le flux qui s'est le plus développé ces dernières années en France compte tenu, notamment, du prix de l'immobilier dans et autour des agglomérations. La Savoie n'y échappe pas. Le développement des mouvements pendulaires, compris entre 5 et plus de 25 km, est directement lié à l'**extension de la périurbanisation de ces dernières années** dans un rayon chaque fois plus grand autour des noyaux urbains. Il est difficile de revenir sur cette situation mais il est nécessaire aujourd'hui de l'atténuer. Le report de la mobilité pendulaire vers les **transports en commun**, en veillant à l'accessibilité des gares et à la complémentarité des réseaux de bus, des lignes de cars et du train, est une voie essentielle. Elle n'est pas toujours aisée compte tenu de l'**environnement montagneux** de notre région. Ce report suppose un effort sur les fréquences et horaires des dessertes, les titres de transport et leur prix, les pôles d'échange, et l'information des voyageurs.

Fig. 15 - Déplacements internes en modes mécanisés sur le grand territoire de Métropole Savoie.

CETE de Lyon, EDTG
Métropole Savoie.

Près de 720 000 déplacements quotidiens sont en modes mécanisés, soit 75 % des déplacements internes. Plus de 40 % de ces déplacements concernent la seule métropole chambérienne.



Les contraintes liées à la topographie (périurbanisation en fond de vallée, à flanc de massif, voire même à l'intérieur de certains massifs) obligeront sans doute à penser des solutions novatrices et adaptées à la spécificité de chaque espace de vie. **Ces mesures ne peuvent être efficaces qu'en lien avec une nouvelle organisation de l'espace**, en travaillant sur la localisation et la densité des zones d'habitat, ainsi que sur la localisation des zones d'emplois et de commerces. Il s'agit d'un chantier vaste mais incontournable, dans les réflexions sur le développement durable et la qualité environnementale.

La problématique du **transport urbain** de proximité (moins de 5 km) est présente dans toutes les villes du département, avec une intensité proportionnelle au poids de la population. Les distances de déplacement plus faibles rendent pertinents des modes de déplacement doux comme le vélo et la marche à pied, sous réserve de penser les cheminements et les espaces publics en conséquence. Pour les plus grandes agglomérations (notamment Chambéry, Aix-les-Bains et Albertville), il s'agit aussi de développer une offre de transport

urbain par bus concurrentielle à la voiture. C'est notamment un des objectifs du PDU de «Chambéry métropole».

Ainsi, toutes les initiatives prises dans le domaine des transports auront non seulement des effets sur la réduction des émissions de GES, mais permettront aussi d'éviter la saturation de certains axes comme, par exemple, la Voie Rapide Urbaine de Chambéry (Fig. 16). Si les périodes de congestion sur cet axe sont encore peu nombreuses comparativement à d'autres agglomérations voisines, seuls le développement d'autres modes de transport et un aménagement territorial maîtrisé permettront d'éviter la saturation dans les années à venir (Fig. 17).

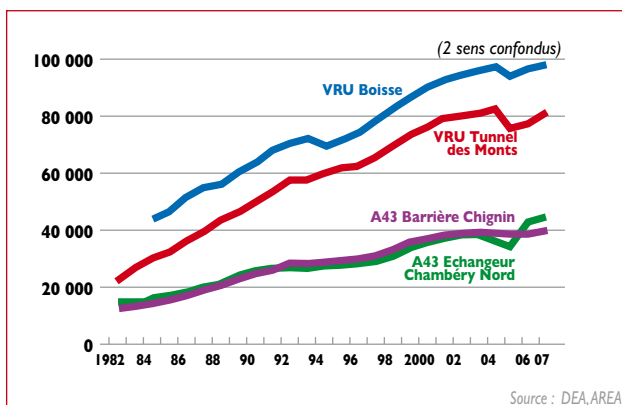


Fig. 16 - Evolution du trafic de la Voie Rapide Urbaine de 1982 à 2007 (2 sens confondus, en nombre de voitures).

AREA, DDT, Observatoire des déplacements en Savoie MDP. La cassure des tendances correspond aux travaux dans le tunnel des Monts.

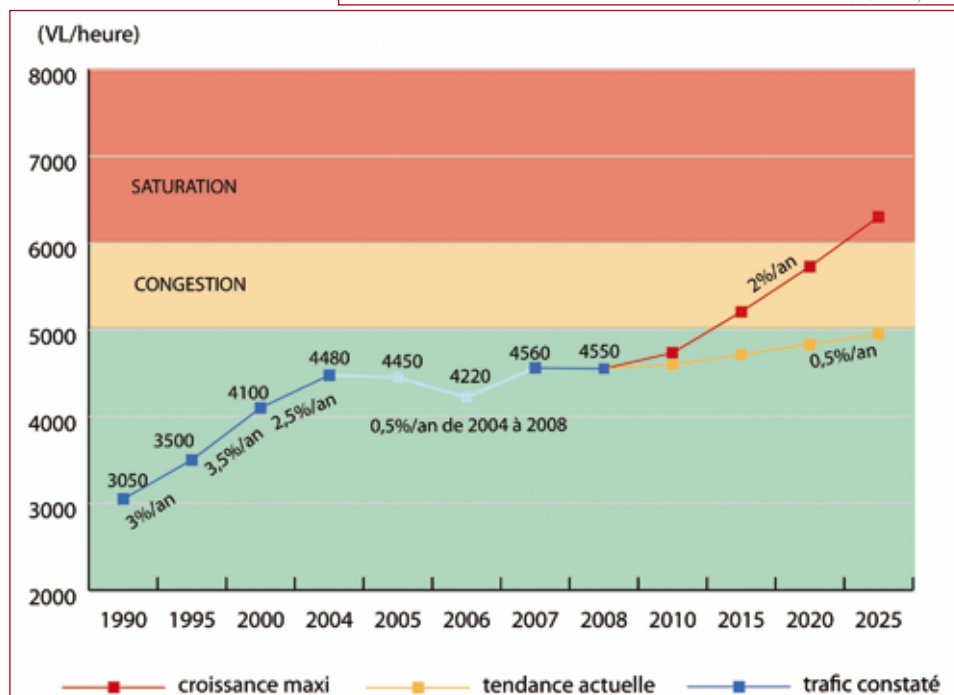


Fig. 17 - Evolution du trafic horaire moyen à 18 h sur la Voie Rapide Urbaine nord de Chambéry sens sud-nord et perspectives d'évolution.

DDT
L'enjeu est de savoir si l'évolution du trafic reprendra sa progression d'avant 2004 (à 2 %/an) ou si elle se stabilisera autour de 0,5 %/an. La réduction des émissions de GES dépendra fortement de cette évolution (voir la sous-partie 3 du chapitre Transport). 2005 et 2006 sont deux années perturbées par les travaux dans le tunnel des Monts.

Cette rapide présentation a permis de mettre en avant la **diversité des flux** (transit, touristiques, périurbains, urbains ...) et de relever les différents enjeux les concernant. Il importe désormais de **définir les actions pertinentes** pour réduire leur part dans les émissions de GES et d'en **évaluer l'efficacité**.

Les émissions de gaz à effet de serre liées au transport sont, en Savoie, essentiellement provoquées par les véhicules légers (69 % des émissions de CO₂). Comme dans les autres départements de la région, la part des véhicules diesel est prépondérante avec environ 77 % des émissions liées à l'utilisation de ce carburant (Fig. 18 et 19).

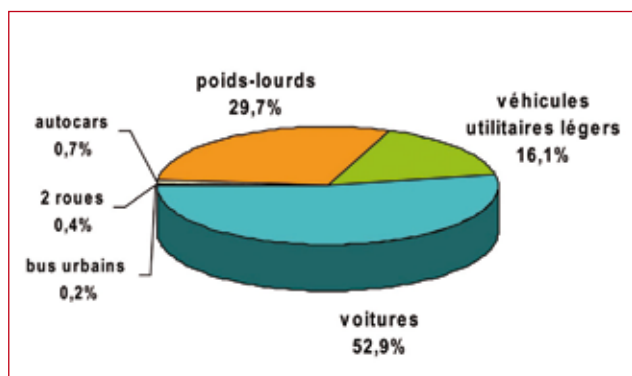


Fig. 18 - Estimation des émissions de CO₂ en Savoie en 2006 par type de véhicule.
Air-APS

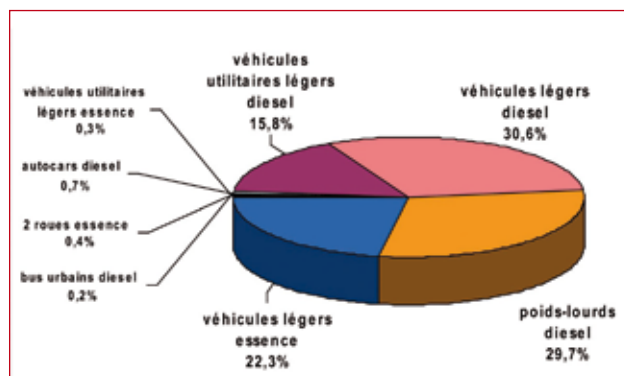


Fig. 19 - Estimation des émissions de CO₂ en Savoie en 2006 par type de véhicule et par type de motorisation.
Air-APS



C'est donc essentiellement autour des déplacements en voiture qu'il faut agir si on veut réduire efficacement et durablement les GES émis par les transports pour répondre à nos besoins de mobilité (professionnelle, de loisir ...).

2. Comment atténuer les émissions de gaz à effet de serre liées au transport ?

La réduction durable des gaz à effet de serre dus aux transports repose à la fois sur des actions de court terme et sur un travail à long terme, qu'il s'agisse de l'aménagement de nouvelles infrastructures, des mesures d'accompagnement ou de changement de pratiques. Ces actions devront se concentrer sur :

1- une atténuation des déplacements, en nombre et en distance. Cet objectif passe par des actions structurantes sur l'urbanisation et les lieux de production et de consommation. Cette évolution ne peut se conduire que sur du long terme et de manière progressive.

2- un report sur des modes de déplacement les plus propres possibles, à chaque fois que cela est faisable. Le travail sur l'offre en matière de transport doit viser l'usage du mode le plus propre en fonction de la nature et la distance du déplacement. Redonner sa place à la marche à pied et au vélo sur les courtes distances, développer des **offres cohérentes et performantes de transport collectif** pour les moyennes distances et **favoriser l'offre ferroviaire pour les longues distances** sont les voies à suivre dans ce domaine.

3- le changement de comportement. Celui-ci passe par des actions de sensibilisation, les **plans de déplacement d'entreprise** et d'établissement scolaire, la **promotion d'usage des transports collectifs**, un **changement de nos représentations sur les modes de transport** de chacun et donc de ses habitudes.

Ces actions relèvent de la collectivité comme de chacun ; elles doivent également être accompagnées par une **volonté politique** qui dépasse, très souvent, le seul cadre départemental notamment pour le **transport régional, national et international**. La réduction durable des GES liés au transit passe immanquablement par la réalisation rapide de la Liaison Ferroviaire Transalpine et des services associés (autoroute ferroviaire, plateformes multimodales, ...). La mise en œuvre de l'eurovignette peut également être un moyen utile pour inciter le report modal.

En ce qui concerne le **transport touristique**, la réduction des GES suppose de travailler à large échelle sur le **développement de transports collectifs** adaptés, prenant en compte les services associés et l'évolution de l'économie du tourisme d'hiver (clientèle, opérateurs, mise en réseaux d'offre, courts séjours ...). Cela peut passer par un **renforcement de la complémentarité train+car** (gare multimodale, tarification, commercialisation et information commune ...), notamment avec la Région pour la demande de proximité. L'optimisation de l'offre de transport collectif pour l'accès aux stations par une **meilleure répartition des arrivées/départs** (train de nuit, semaine du dimanche au dimanche, avec prise en charge des bagages) constitue une autre piste. Enfin, l'**amélioration de l'offre sur les derniers kilomètres** et les liaisons fond de vallée / stations, y compris par des systèmes innovants (transports par câble, par transports guidés ...) apparaît essentielle et urgente, si l'on veut modifier en profondeur les comportements des touristes dans leur mode de déplacement.

L'évolution des déplacements de grandes villes à grandes villes passe par une réflexion et une gouvernance à l'échelle du Sillon alpin en lien avec la métropole lyonnaise. Des actions de court et moyen termes peuvent être conduites comme une **meilleure connectivité**, tant spatiale que temporelle, entre les **modes de transports gérés par les collectivités territoriales** ou comme une **billettique** sinon commune, au moins de type «pass». Mais cela passera également par l'**amélioration de l'offre ferroviaire**, pour la rendre compétitive par rapport à l'offre

autoroutière. Une attention devra être portée aux **dessertes périurbaines** et à leur nodalité avec le réseau ferroviaire et les lignes trans-départementales de bus.

Il importe enfin, au sein des **agglomérations urbaines, de renforcer le lien entre urbanisme et déplacement**. Une attention particulière devra être portée à une (ré) organisation de l'espace favorisant le développement des liaisons douces ou des transports en commun afin de réduire le recours aux voitures individuelles. Cela passe, entre autre, par une **politique coordonnée des transports collectifs et du stationnement**. Ces mesures doivent être parallèlement accompagnées par le **développement de l'aide à la mobilité durable** (PDE, PDES, centrale mobilité, covoiturage, autopartage...) et par une plus forte **implication des citoyens** dans les choix à faire en matière de politique de transports durables, de manière à assurer une plus forte adhésion aux choix alternatifs proposés vis-à-vis des déplacements individuels et en voitures.

Sur les territoires les plus urbains de l'ouest du département, il est indispensable d'élaborer et de mettre en œuvre une **stratégie de développement des transports collectifs** et de se doter des **outils d'analyse** (enquêtes déplacements, observatoire...) et de **prospective** (modélisation), afin de définir au mieux les politiques de transport et d'urbanisme à cette échelle.

La somme de ces différentes mesures est à même de **réduire efficacement et durablement les émissions de GES dans le département**.

Si certaines actions nécessitent de **nouvelles infrastructures et de fortes améliorations** des offres de transport collectif, d'autres passent par des **actions simples et incitatives** qui peuvent être mises en place par les collectivités territoriales. Ces actions incitatives, dès lors qu'elles sont lisibles, effectives et peu contraignantes pour les citoyens, constituent un des **vecteurs majeurs de changement de comportement et de prise de conscience** d'autres modes efficaces de déplacement.

Différentes études ont permis de modéliser l'impact de ces mesures et d'appréhender leur efficacité en termes de réduction d'émissions des gaz à effet de serre.

3. Estimation de l'effet de ces mesures de réduction des émissions de GES

L'étude menée récemment par la DDT et l'association AIR-APS permet de souligner l'efficacité de certaines mesures préconisées ci-dessus pour réduire les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle de la Savoie. Ce travail a porté sur les principaux leviers tels que les progrès de la motorisation, le report de trafic Poids Lourds sur le service ferroviaire, le report modal dans les déplacements urbains et périurbains.

A. Stabilisation du trafic et progrès de la motorisation

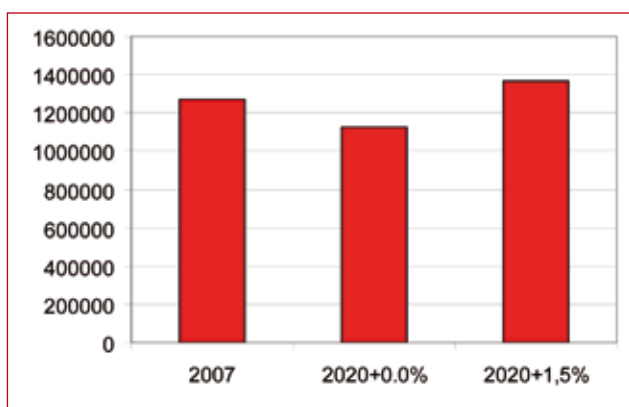


Fig. 20 - Quantité de GES émis par le secteur des transports en Savoie en 2007 (en tonne eq. CO₂), et simulations des émissions prévues avec 0 % et 1,5 % de croissance du trafic (avec évolution du parc automobile conforme aux objectifs du Grenelle).

AIR-APS, Obs. des déplacements MDP.

Quantité en 2007 : 1,27 million de tonnes eq. CO₂

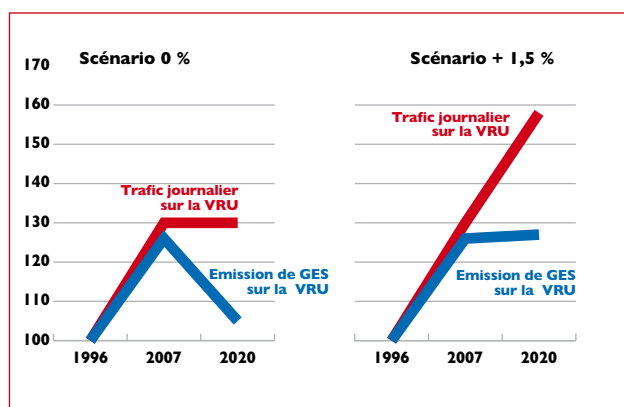


Fig. 21 - Emissions de gaz à effet de serre sur la voie rapide urbaine de Chambéry. Scénarios avec stabilisation du trafic et avec une croissance de 1,5 % du trafic.

AIR-APS, Obs. des déplacements MDP.

Des mesures simples, comme la réduction à 130g/km de CO₂ pour les véhicules légers et l'application de normes européennes sur les poids-lourds, conduiraient à une réduction des émissions de 11 % en Savoie (sur la base du trafic actuel). Sans une stabilisation du trafic au niveau actuel, les émissions de gaz à effet de serre continueront d'augmenter (Fig. 20 et 21).

B. Effets du report du trafic PL sur le service ferroviaire grâce au Lyon-Turin

Avec une croissance de trafic de l'ordre de 1,5 %/an, le report d'une partie du trafic des Poids Lourds chargés (environ 1 000/jour) sur la ligne ferroviaire Lyon/Turin se traduirait par une diminution de 3 % des émissions de gaz à effet de serre liées au transport en Savoie (calcul pour horizon 2020).

Horizon	Opération P1		Programme 2	
	2017	2030	2017	2030
Emissions de GES évitées (tonne de carbone)	-24746	-78072	-53167	-209238

Fig. 22 - Simulation des gains énergétiques, de la réduction des émissions de GES et des coûts évités du report de trafic de voyageurs et de marchandises avec la construction de la liaison ferroviaire Lyon-Turin.

DUP du Lyon-Turin

Programme 2 : 3 tronçons (partie française, de l'agglomération lyonnaise à St-Jean-de-Maurienne, partie franco-italienne, de St Jean à la basse vallée de Suse, partie italienne, de la basse vallée de Suse à l'agglomération de Turin) ; Opération P1: partie franco-italienne uniquement.

Fig. 23 - Parts modales des déplacements et émissions de gaz à effet de serre correspondantes sur le Grand Territoire de Métropole Savoie en 2007 (Tableau de gauche).

EDGT, DDE

Et estimation de la réduction des émissions de gaz à effet de serre sur le Grand Territoire de Métropole Savoie (Tableau de droite).

EDGT, DDE

C. Les effets du report modal dans les déplacements urbains et périurbains

L'estimation du gain lié au report modal des déplacements urbains et périurbains sur les transports en commun a été calculée sur le Grand Territoire (Métropole Savoie, Avant-Pays savoyard et Pays des Bauges) à partir de l'enquête déplacement réalisée en 2007. Dans l'hypothèse volontariste d'un transfert de 5 % des déplacements effectués en voiture vers les transports en commun, la marche à pieds et le vélo, la diminution des émissions de gaz à effet de serre serait d'environ 90 000 tonnes de CO₂ par an, c'est-à-dire plus de 8 % des émissions du secteur transport en Savoie.

Grand Territoire			Hypothèse	
	Part modale	Emissions GES tCO ₂ /an		Economie (tCO ₂ /an)
Voiture	68%	410000	Report de 5% vers les transports en commun	26000
Marche	24%	0	Report de 5% vers la marche à pied	32000
Vélo	1%	0	Report de 5% vers le vélo	32000
Transports collectifs urbains	3%	4200		
Transports collectifs non urbains	2%	1400		
Deux-roues motorisés	1%	1800		
Autres	1%	1400		

Ces quelques éléments indiquent que seule la convergence de différentes mesures, dont certaines sont en cours, peut dans un premier temps stabiliser (tout en gardant l'hypothèse d'une croissance des trafics) puis réduire les émissions de gaz à effet de serre liées aux transports. L'ensemble des mesures présentées ci-dessus permettrait, à l'horizon 2020 / 2030, de tendre vers une réduction de ces émissions de l'ordre de 20 %. Il importe, dès aujourd'hui, de mettre en mouvement ces actions compte tenu du temps nécessaire à la mise en place de nouvelles infrastructures.

3• L'HABITAT-TERTIAIRE

Les conditions climatiques en montagne, l'importance de l'immobilier de loisirs, l'étalement urbain à base de logements individuels et la croissance démographique font peser sur l'habitat savoyard une forte responsabilité en termes d'émissions de GES. Après la présentation des particularités de ce secteur, les mesures visant à réduire ces émissions seront exposées.

1. Les particularités savoyardes du secteur «habitat-tertiaire»

A. Les différentes facettes du parc immobilier en Savoie

La part des GES émis en Savoie par les logements est relativement **importante** : elle est de l'ordre de **23 % des émissions de gaz à effet de serre** (liés à la combustion) alors qu'elle est d'environ **19 % ailleurs en France**.

Plusieurs facteurs sont à l'origine de ce taux important d'émissions :

- les **conditions climatiques** liées à la montagne qui imposent un recours plus important au chauffage qu'en zone de plaine.
- l'importance du **parc d'immobilier de loisirs** qui correspond à environ 500 000 lits. La population **double** à certaines périodes de l'année, notamment en hiver lorsque les besoins en chauffage sont les plus importants.
- la **croissance démographique** tant à l'échelle départementale que régionale
- **une forte dominante de maisons individuelles** (60 % du parc), même en milieu urbain.
- **l'âge relativement ancien** d'une part du parc immobilier et sa mauvaise isolation qui en font un important consommateur d'énergie. De plus, on relève que sur les 316 500 logements recensés en 2007, **38 % correspondent à des résidences secondaires**. 45 % de ce parc a été construit avant 1975, c'est-à-dire avant le premier choc pétrolier et les premières réglementations pour limiter la consommation énergétique des bâtiments. 41 % date de la période 1975/1999, et 14 % correspond à des logements récents (depuis 2000) (Fig. 24).

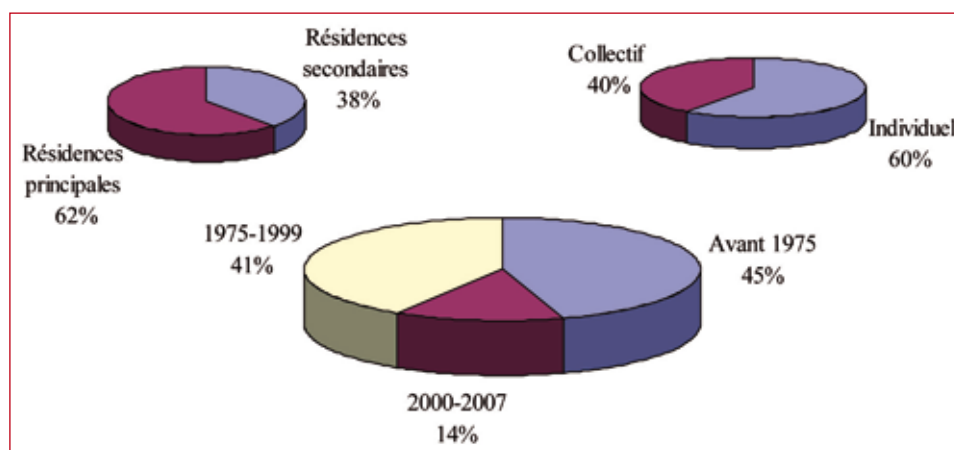


Fig. 24 - Etat du parc de logement savoyard en 2007
DDT, ASDER

La situation est différente lorsqu'on considère le parc public (essentiellement des logements sociaux). 26 % des logements ont été construits avant 1965, 67 % entre 1970 et 1999 et 7 % depuis 2000. Le parc public est en Savoie plus récent que l'ensemble des logements, ce qui n'est pas toujours le cas ailleurs (Fig. 25).

Périodes	Nombre de logements	Part en Savoie
Avant 1970	7 817	26 %
1970 / 1999	20 380	67 %
Après 2000	2 050	7 %

Fig. 25 - L'évolution du logement social en Savoie
Source : DDT



Les efforts de réduction dans ce secteur doivent se concentrer sur la réduction de l'usage du fioul domestique (ressource trop chère et à l'avenir incertain) et la maîtrise de l'usage de l'électricité (d'origine thermique ou nucléaire).

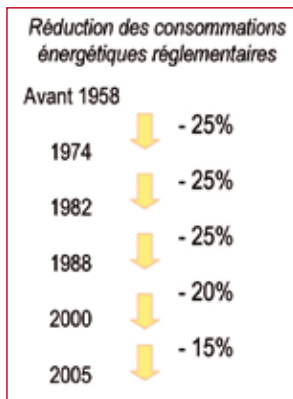


Fig. 26 - Réduction des consommations énergétiques réglementaires ASDER

A titre indicatif, en 30 ans, l'évolution de la réglementation thermique, dans l'habitat a beaucoup évolué (chauffage seul, énergie primaire) :

- avant 1974 : 235 kWh/m²
- RT 2000 : 90 kWh/m²
- RT 2005 : 75 à 80 kWh/m²

Ces quelques données montrent l'importance de la **requalification des immeubles anciens** dans toute politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le domaine de l'habitat (isolation, énergie).

B. La spécificité des résidences secondaires

Les **résidences secondaires** constituent une part importante du parc d'hébergement. Bien qu'inoccupées une bonne partie de l'année, les conditions climatiques de notre département et l'altitude à laquelle se trouvent ces logements font qu'ils sont chauffés pour la plupart sur une grande partie de l'année pour maintenir une température minimum et éviter le gel à l'intérieur des résidences. Ce chauffage par défaut est une source non négligeable d'émission de gaz à effet de serre : ce sont plus de 120 000 résidences secondaires qui consomment des quantités importantes d'énergie alors qu'elles ne sont occupées que quelques jours par an. **Le potentiel d'économies à réaliser est donc très important**, notamment en repensant l'isolation de ces bâtiments et/ou le mode de chauffage. Une autre manière de limiter ce gaspillage énergétique est d'accroître la période d'utilisation des lits, c'est-à-dire de remplacer les lits «froids» par des lits «chauds». Cela passe par une priorité absolue à accorder dans les nouvelles constructions des hébergements marchands, et par la mise sur le marché locatif de capacités aujourd'hui privatives.

En dehors des offres marchandes classiques, hôtels et résidences de tourisme, de nouveaux moyens de résidence se développent aussi. Il s'agit :

- d'appartements ou de chalets en location (classés soit meublés, soit résidences secondaires),
- de gîtes et de maisons d'hôtes,
- d'hébergements collectifs, constitués de résidences de tourisme et de logements saisonniers.

C. Les stations de ski, un profil de consommation atypique

L'électricité est la principale énergie utilisée, suivie par le **fioul domestique**. En dernière position arrive le gaz qui est, en fait, rarement disponible.

L'étude sur la vallée des Belleville (ADEME, Mountains Riders) a permis d'appréhender la part respective des différents types d'habitat sur l'énergie. Sur l'ensemble des logements, la part des résidences principales représente 10 % de l'ensemble des logements contre 83 % pour les résidences secondaires ! Et 11 % sont des logements individuels et 89 % des logements collectifs. Les habitations équipées d'un **chauffage électrique** (tout électrique) représentent **42,4 %** de ce parc et celles utilisant le **fioul** (collectif et individuel) **32,7 %**. Les charges dépendent donc surtout de l'état de l'isolation du bâti (Hebrard, 2005). Les bâtiments constituent ainsi le premier poste de consommation et de dépense d'énergie des stations de ski (hors déplacement).

2. Les émissions de gaz à effet de serre liées au logement

En Savoie, **trois quart des émissions de CO₂** du secteur résidentiel-tertiaire sont liés à la partie **résidentielle**. Le quart restant concerne le secteur tertiaire, commercial et artisanal. La quasi-totalité des émissions est liée au **chauffage**. Compte tenu de la distribution de l'habitat, les émissions sont réparties sur l'ensemble du département,

contrairement aux secteurs de l'industrie et du transport. Une autre caractéristique de la Savoie est la part relativement importante du chauffage par le bois et le fioul, ce dernier étant très utilisé dans les stations de sports d'hiver (Fig. 27 à 28).

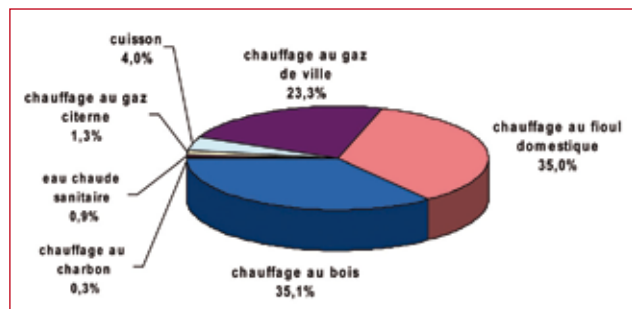


Fig. 27 - Estimation de la répartition des émissions de CO₂ pour l'habitat en Savoie en 2006

Air-APS

Emissions liées à la combustion d'énergie fossile.

Généralement, la combustion du bois est considérée comme neutre pour l'effet de serre.

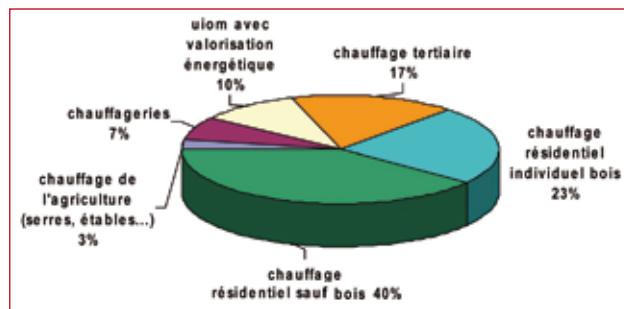


Fig. 28 - Estimation de la répartition des émissions de CO₂ pour le chauffage en Savoie en 2006

Air-APS

UIOM : Usine d'Incinération des Odours Ménagères

3. Quelles mesures pour réduire les émissions de gaz à effet de serre ?

Réduire la consommation énergétique dans le cadre du Plan Climat suppose d'améliorer l'efficacité énergétique du parc de logements. Cela passe par des actions de rénovation du bâti ancien et la construction de logements neufs à haut rendement énergétique, voire de bâtiments à énergie positive. Cela nécessite aussi de sensibiliser la population sur les problématiques du réchauffement climatique, et sur les solutions adaptées à l'habitat.

La mise en œuvre de ces actions nécessitera un soutien politique fort, tant en termes d'actions incitatives, que de subventions et de réglementations.

Vouloir diviser par 4 ou 5 les émissions de GES à l'horizon 2050 exige non seulement la maîtrise de la consommation énergétique principalement électrique et de l'isolation des bâtiments, mais suppose aussi **un recours intensif aux énergies renouvelables**. Les supports les plus porteurs sont actuellement **le bois énergie, le solaire thermique et les pompes à chaleur, la combustion des déchets** pour les usages thermique et **le photovoltaïque** pour les besoins électriques.

A. Les mesures générales et pistes d'action

• Pour les bâtiments neufs

S'il est impératif de développer de nouvelles technologies permettant une forte réduction de la consommation énergétique, des actions doivent également être menées à l'échelle des quartiers en termes d'urbanisme.

L'aménagement urbain peut favoriser la performance énergétique en prenant en compte les déplacements, la mixité des fonctions, les espaces publics, la gestion des déchets, l'énergie, les eaux pluviales et la densité de l'habitat. C'est l'objectif des éco-quartiers.

A l'échelle du bâtiment, deux démarches apparaissent de plus en plus nécessaires :

- la réflexion en amont : implantation, ensoleillement, effets de masque et présence de vents dominants, afin d'optimiser les apports énergétiques naturels pour le confort d'été et d'hiver,

- la conception des constructions performantes : compacité, inertie thermique, orientation du bâti et des ouvertures, isolation renforcée, étanchéité à l'air, choix d'équipements performants pour le chauffage, la ventilation, l'eau chaude sanitaire et l'électricité ...

Les nouveaux modes de construction à développer :

les constructions bioclimatiques qui utilisent les ressources locales ; les constructions passives qui supposent de se passer des modes de chauffage conventionnel ; et



l'habitat à énergie positive qui doit, non seulement être autonome énergétiquement, mais aussi produire plus d'énergie qu'il n'en consomme, en ayant recours aux sources d'énergies renouvelables.

• Pour les bâtiments existants

Pour les bâtiments existants, l'enjeu central est le renforcement de l'isolation : c'est là que se situe le plus important potentiel d'économies d'énergie.

D'autres actions peuvent et doivent être menées en ce qui concerne la sensibilisation et l'information sur les comportements des occupants (utilisation d'équipements qui optimisent la consommation d'énergie en fonction de leur utilisation par les occupants).

Le remplacement des équipements vétustes de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire par des équipements performants (chaudières basses températures, à condensation, à cogénération) permet aussi de substantielles économies d'énergie.

• Et pour tous les bâtiments à usage individuel ou collectif

En ce qui concerne les bâtiments à usage individuel, les recommandations portent sur (i) l'utilisation des énergies renouvelables locales : solaire et bois principalement, (ii) le développement d'équipements performants d'eau chaude sanitaire, (iii) l'utilisation d'isolants à hautes performances (isolants sous vide d'air, etc.), et (iv) sur les systèmes de renouvellement d'air et de chauffage substituables.



Source : Negawatt

Des étés plus chauds et des canicules plus fréquentes accroîtront l'**inconfort thermique des bâtiments existants non adaptés aux nouvelles conditions climatiques**. L'adaptation au changement climatique peut ainsi constituer une opportunité pour le secteur de la construction, en synergie avec les actions de réduction des consommations, en favorisant les campagnes de rénovation et la recherche de solutions innovantes pour pallier à la hausse des températures estivales et répondre au besoin de maîtrise de l'énergie.

• Les différents objectifs réglementaires

Sur les nouvelles constructions

- Pour les bâtiments publics, à partir de 2010, tous les bâtiments neufs devront consommer moins de 50 kWh/m²/an (voire être à énergie positive, avec des énergies renouvelables systématiquement intégrées). Les mêmes préconisations sont appliquées au tertiaire.

- Pour les logements privés, 2010 marquera le passage à la réglementation thermique THPE (Très Haute Performance Énergétique). En 2012, on devrait passer à la norme BBC (50 kWh/m²/an) pour tout bâtiment et, en 2020, généraliser les constructions à énergie passive ou positive.

Sur les bâtiments existants

L'Etat se fixe comme objectif de réduire les consommations d'énergie du parc des bâtiments existants d'au moins 38 % d'ici 2020. Cela s'effectuera de la manière suivante :

- pour le parc HLM, des conventions avec les opérateurs viseront à mettre aux nouvelles normes l'intégralité des bâtiments, en commençant par les 800 000 logements les plus dégradés (chiffre pour la France). La rénovation thermique via les programmes de l'Agence nationale de rénovation urbaine (ANRU) constitue une des priorités. L'objectif est d'atteindre des consommations de 150 kWh/m²/an après rénovation,
- pour le bâti privé (logements et bureaux), le maintien, voire le développement du crédit d'impôt, constitue un bon support ainsi que la mise en place de «prêts CO₂» à des taux réduits (voire à taux zéro comme actuellement) et le développement de financements innovants.

L'ensemble de ces mesures devra s'accompagner d'une mobilisation des professions du bâtiment et par des formations adaptées aux nouveaux métiers et aux nouvelles technologies du bâtiment.

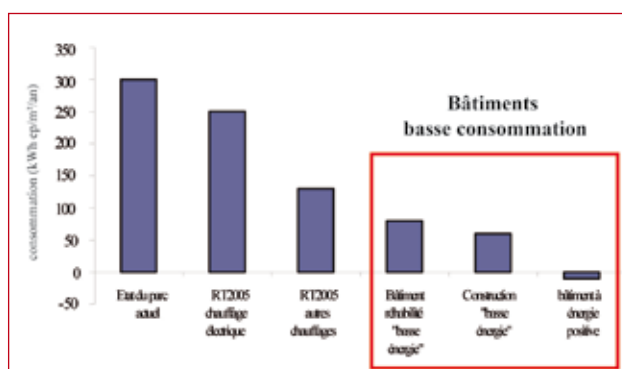


Fig. 29 - Consommation des bâtiments en fonction des différentes réglementations. EFFINERGIE

Afin d'atteindre une réduction de l'ordre de 60 % des gaz à effet de serre dans le secteur de l'habitat à l'horizon 2050 en Savoie, il serait nécessaire de rénover 7 000 logements/an (pour près de 2 500 constructions neuves/an). Il s'agit d'un important chantier et d'une forte volonté politique.



Réduction des gaz à effet de serre appliqué à la Savoie : le scénario Negawatt

Plusieurs scénarios permettraient d'atteindre l'objectif du «facteur 4». Parmi ceux-ci, on peut citer le scénario «Negawatt». Celui-ci s'appuie sur la sobriété énergétique dans nos usages individuels et collectifs de l'énergie, sur l'efficacité énergétique des équipements et moyens de production, et sur un recours affirmé mais maîtrisé aux énergies renouvelables. Ce scénario mise sur une réduction des consommations énergétiques par l'habitat. Une des difficultés de cet objectif de réduction est de le réaliser dans un contexte de développement démographique. Les hypothèses démographiques retenues pour la Savoie tablent sur un accroissement de la population de 30 % vers la moitié du siècle, soit environ 500 000 habitants (hypothèse d'un ralentissement de la croissance démographique). Le parc de logements serait alors porté à 393 000 (dont 238 000 résidences principales et 155 000 logements touristiques).

La mise en œuvre du scénario «Negawatt» devrait se traduire par une forte diminution de la consommation d'énergie qui passerait :

- pour le parc de résidences principales, de 305 ktep actuellement (avec un parc de 183 000 logements en 2006) à 140 ktep (- 54 %) avec un parc de 238 000 logements (+ 30 %),
- pour le parc de résidences secondaires, de 75 ktep actuellement (118 000 logements) à 60 ktep (- 20 %) avec un parc de 165 000 logements (+ 23 %).

Dans cette dynamique de croissance, cela implique de réduire les consommations :

- pour les résidences principales, de 210 kWh/m²/an à 75 kWh/m²/an
- pour les résidences secondaires, de 110 kWh/m²/an à 70 kWh/m²/an

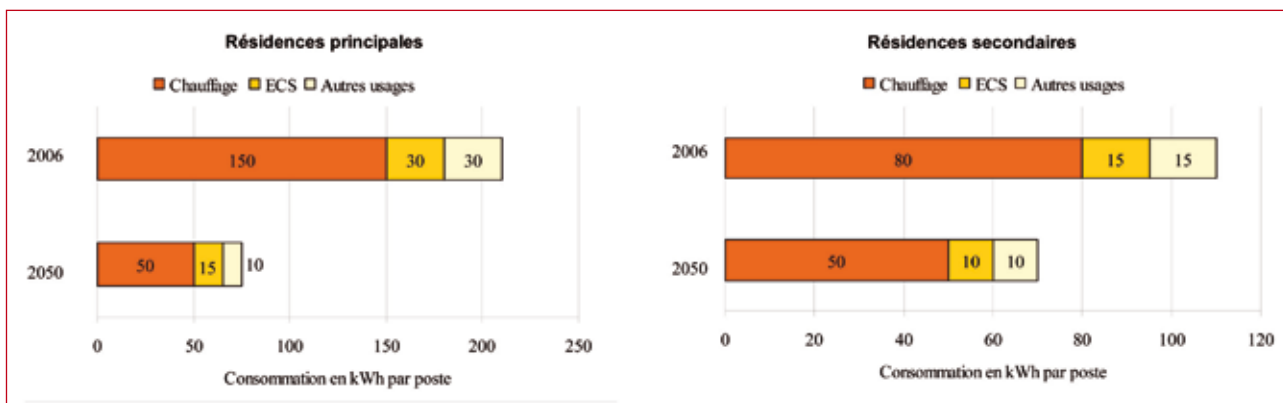


Fig. 30 - Réduction des consommations d'énergie par usage dans le cadre du scénario Negawatt pour 2050 pour les résidences principales et secondaires. (ECS : eau chaude sanitaire)
ASDER

B. Les énergies renouvelables en Savoie : développement et perspective

La limitation des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur du bâtiment repose sur la réduction de la consommation d'énergie par une amélioration thermique des bâtiments et sur la **substitution des énergies fossiles par des énergies renouvelables**. La Savoie dispose à cet égard de ressources importantes. Elle est **le premier département de France en matière de production hydroélectrique**. Aujourd'hui, elle investit de manière importante dans le solaire et la biomasse (Fig. 31, 32 et 33).

Le nombre de **chaufferies bois** installées en Savoie est passé de 11 en 2001 à 756 en 2007. Les installations réalisées par les particuliers sont pour le moment largement dominantes. Les projets publics et collectifs se développent également. Le dernier recensement fait apparaître (i) un potentiel de 45 000 kW de puissance bois pour des chaufferies supérieures à 200 kW dans les 5 ans à venir (actuellement 18 000 kW installés), et (ii) une consommation de 60 000 t de bois soit presque un doublement de la consommation de bois bûche actuelle.

On relève également une forte évolution autour de l'énergie solaire :

- le **solaire thermique** est de l'ordre de 30 500 m² de surface (de capteurs solaires) en 2007, soit un quadruplement depuis 2002,
- en ce qui concerne le **solaire photovoltaïque**, la puissance des installations individuelles et collectives est de 850 kWc en 2007, soit 6 fois plus qu'en 2003.

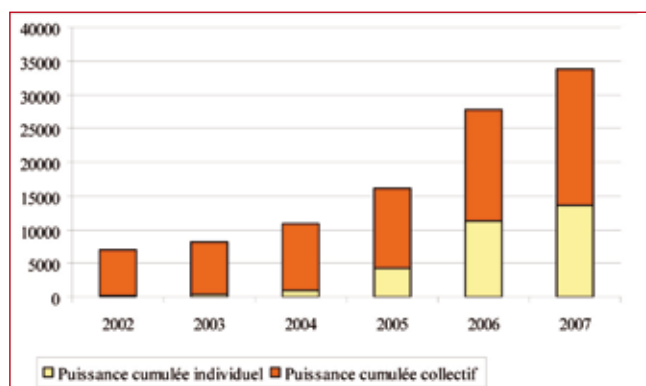


Fig. 31 - Puissance cumulée (kW) des chaudières automatiques au bois en Savoie

Puissance totale installée fin 2007 : 33 760 kW

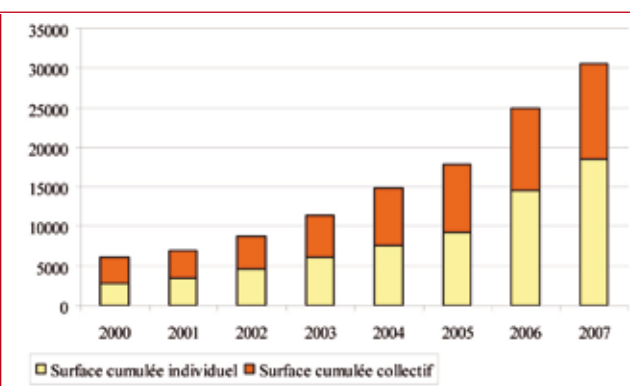


Fig. 32 - Surfaces cumulées de capteurs solaires thermiques en Savoie

Surface totale installée fin 2007 : 30 592 m²

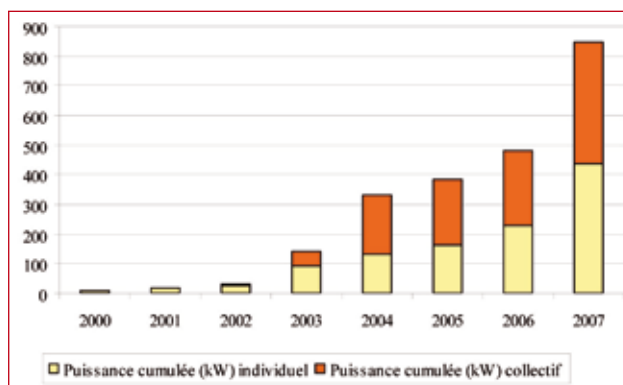


Fig. 33 - Puissance cumulée photovoltaïque en Savoie ASDER

Puissance totale installée fin 2007 : 849 kW

Les performances de la Savoie en énergies renouvelables, bien que très bonnes à l'échelle nationale, restent encore bien en retrait par rapport à d'autres régions alpines, notamment allemandes, autrichiennes ou suisses (Fig. 34, 35 et 36).

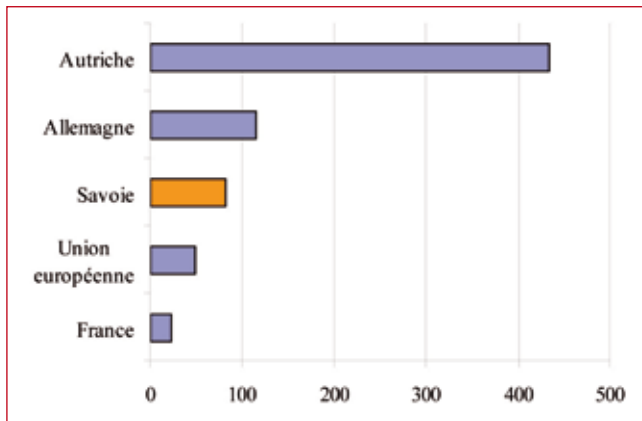


Fig. 34 - Surface de capteurs thermiques installés pour 1000 hab en 2007
ASDER

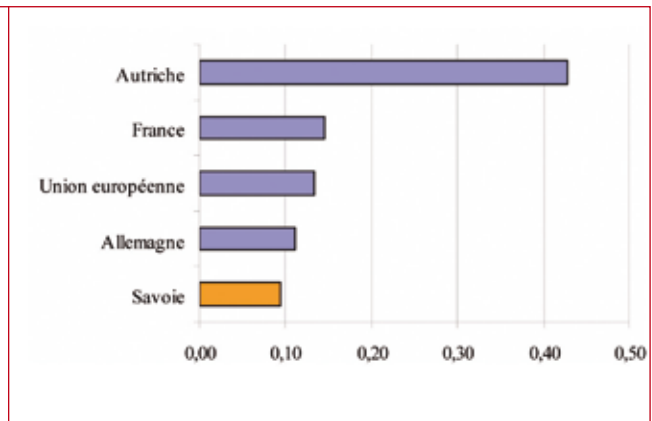
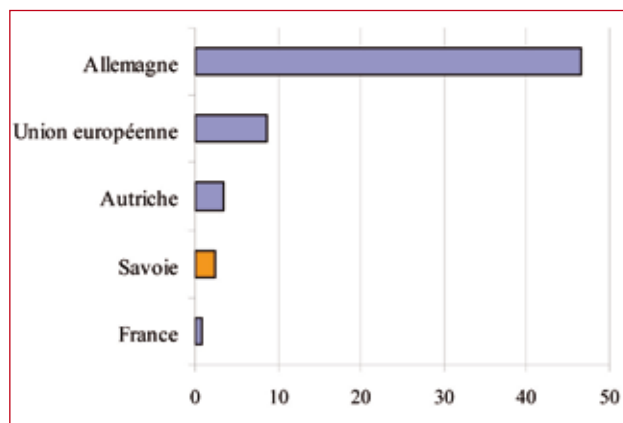


Fig. 35 - Production d'énergie primaire à partir de biomasse solide (bois bûche, granulé et bois déchiqueté) en 2007 en tep/hab.
ASDER

Le bois bûche est fortement développé en France.

Fig. 36 - Puissance cumulée en photovoltaïque en 2007 en Wc/hab
ASDER



Ces efforts permettront à terme d'atteindre le facteur 4 sous condition :

- pour le solaire thermique, de passer des 30 000 m² actuels de panneaux à 350 000 m² en 2050 (700 m² pour 1 000 habitants), soit une moyenne de 7 400 m²/an supplémentaires,
- pour le solaire photovoltaïque, de passer d'une production de 850 kWc (2007) à 225 000 kWc en 2050, soit une progression moyenne de 4 500 kWc/an,
- pour la filière bois énergie, de développer sa puissance afin d'atteindre 225 MW en 2050 (actuellement 33 MW). Cela nécessite de mobiliser 200 000 tonnes de bois, dont 150 000 en plaquettes et granulés. Celle-ci est actuellement de 19 000 tonnes de plaquettes et granulés en 2008.

Un tel scénario, très ambitieux, est jugé par de nombreux acteurs comme réaliste pour réduire efficacement les émissions de gaz à effet de serre en Savoie.

C. Les pistes pour réduire les consommations des bâtiments dans les stations de ski

Les gisements d'économies d'énergie sont considérables dans les bâtiments des stations de sports d'hiver. Des mécanismes économiques sont en train de se mettre en place (certificats d'économie d'énergie, prêts bonifiés ...), alors qu'un potentiel et un savoir-faire local en termes d'énergie propre existent déjà (hydroélectricité, bois, solaire). Par contre, le parc de lits anciens est énergivore et les actions de réhabilitation sont difficiles à mener.

Plusieurs pistes sont actuellement à l'étude. Elles concernent les points suivants :

- isoler prioritairement les bâtiments construits avant 1974, soit 40 % du parc actuel, puis ceux antérieurs à la «Réglementation Thermique 2005»,
- sensibiliser les touristes à la maîtrise de leur consommation d'énergie,
- investir dans le solaire thermique (eau chaude sanitaire et chauffage) et dans le chauffage aux granulés de bois ou au bois déchiqueté,
- développer la production d'électricité à partir du solaire photovoltaïque.

4• L'AGRICULTURE

Comme nous l'avons précédemment relevé, l'agriculture est émettrice de gaz à effet de serre, tant par le recours de combustion d'énergies fossiles et de biomasse (chauffage des bâtiments agricoles, travaux mécanisés,...), que par certaines pratiques (épandages d'engrais azotés, de lisiers,...). Cette partie présente les mesures et actions qui permettraient de réduire les émissions de GES liées à ce secteur.

Les impacts du changement climatique actuel sur l'agriculture de montagne et de plaine seront développés dans la 3^{ème} partie du Livre Blanc.

Les émissions de GES d'origine agricole n'ont pas été chiffrées dans leur globalité à l'échelle départementale (environ 19 % des GES en France). Compte tenu des spécificités de l'agriculture savoyarde (chapitre 3, partie III), les principales sources d'émission de GES sont liées :

- à l'élevage : fermentations entériques et modes de gestion des effluents organiques liés à cette activité (CH₄) ;
- et, dans une bien moindre mesure, aux pratiques liées aux cultures (NO₂, fertilisation minérale), à la consommation des énergies fossiles (CO₂, voir chapitre 1 de cette deuxième partie), et aux consommations d'énergies indirectes (constructions des bâtiments agricoles, achats d'engrais minéraux, achat d'aliments du bétail, ...).

Les émissions de gaz à effet de serre liées à la **consommation énergétique** (combustion d'énergie fossile) de l'agriculture sont minoritaires en Savoie (1 % du total émis). La consommation des engins agricoles représente environ 45 % de ces émissions, le chauffage des bâtiments (serres...) 53 % et les feux de type écobuage environ 2 %. **Les émissions totales (sources énergétiques et non énergétiques) ont été estimées à 11 % des gaz à effet de serre en Savoie** (RAEE, 2002). Cette estimation correspond à un seuil minimal d'émissions.

1. Les mesures d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre

Dans l'état actuel des réflexions, trois leviers d'actions ont été identifiés :

- la mise en place de pratiques ou techniques de culture limitant les émissions de GES,
- quand cela est possible, la substitution de l'énergie fossile par des énergies renouvelables pour les bâtiments agricoles,
- la réduction de la consommation des énergies directes.

Quant à la séquestration du CO₂ par les sols ou les forêts, il s'agit avant tout d'une mesure de stockage.

Planète : un outil de connaissance et de sensibilisation des agriculteurs

Cet outil permet de réaliser un bilan énergétique de l'exploitation agricole (comparaison des entrées et sorties du système d'exploitation) ainsi que le chiffrage de ses émissions de gaz à effet de serre. Cette comparaison entre système équivalent permet de réaliser des progrès tangibles. Planète a également l'avantage de sensibiliser les agriculteur à leurs émissions et de les rendre acteurs des progrès possibles.



A. Pratiques ou techniques visant à limiter la production de GES

Plusieurs actions sont actuellement en cours d'expérimentation pour limiter les émissions de GES. Leur application doit être ensuite réalisée avec discernement pour ne pas porter atteinte à l'économie agricole de la Savoie.

- Raisonner la fertilisation

Les recherches de L'INRA ont montré que les quantités d'azote utilisées par l'agriculture sont souvent bien supérieures aux besoins réels des plantes. Or, les engrais azotés engendrent des émissions de N_2O dans l'atmosphère. Cela passe auparavant par une évaluation des besoins réels des cultures en engrais azotés en tenant compte des différents milieux du département (type de culture et de sol, climat). Depuis de nombreuses années, les exploitants limitent déjà leur fertilisation minérale pour des raisons avant tout économiques. Ainsi les plans de fumure, qui servent à déterminer rationnellement les besoins en éléments fertilisants, pourraient être adaptés à ces mesures agro-environnementales.



- Mieux gérer les modes de gestion des effluents organiques

Les déjections organiques, leurs conditions de stockage ainsi que les conditions d'utilisation comme fertilisant, ont des impacts sur les quantités de GES produits. Pour limiter celles-ci, des solutions simples sont proposées comme :

- l'aération des fosses à lisier pour limiter les émissions de N_2O ,
- l'élevage sur litière pour les porcs,
- le compostage des fumiers,
- la stimulation et la récupération du CH_4 par des techniques de méthanisation. Ce méthane pouvant servir de carburant pour de la co-génération : deux installations de méthanisation existent en Savoie pour des coopératives laitières (Entremont-le-Vieux et l'abbaye de Tamié) qui traitent ainsi leur lactosérum ("petit lait") (Photo ci-contre).

Source : Chambre
d'Agriculture de la Savoie

- Accroître l'autonomie des exploitations : la recherche de l'autonomie des exploitations (fourrage, apport protéique, autonomie en concentrés énergétiques), ainsi que la réduction des intrants (achats d'engrais ...) conduisent à une réduction des émissions des GES.

Exemple : le développement des cultures de légumineuses pour diminuer les apports d'engrais minéraux. La présence de légumineuses dans les prairies (en culture pure type luzerne ou en mélanges avec des graminées) permet d'augmenter l'autonomie protéique des élevages et de réduire le besoin en apports azotés minéraux (engrais).

En interculture (culture dérobée ou engrais verts), on peut aussi diminuer les apports azotés sur la culture suivante. Cette technique se traduit de plus par une baisse d'achat d'engrais minéraux azotés.

B. Substitution de l'énergie fossile par des énergies renouvelables

La substitution des énergies fossiles par des énergies renouvelables constitue un autre moyen de réduire l'émission des GES d'origine agricole. Cela passe par des actions dont certaines ont été déjà entreprises. Il s'agit de :

- la production de «Bois énergie» : les agriculteurs de Savoie produisent chaque année l'équivalent de plus de 1,2 millions équivalents de litres de fioul. De leur côté, les forestiers produisent un équivalent de plus de 3 millions de litres ;
- l'utilisation du solaire notamment pour le séchage du foin. Actuellement en Savoie, 63 installations sont en fonctionnement : cela correspond à une réduction de l'ordre de 80 000 litres de fioul ;
- les installations solaires thermiques pour la production d'eau chaude des exploitations agricoles ;

- le développement des énergies renouvelables en sites isolés, notamment pour les chalets d'alpage.

C. Les actions visant à limiter la consommation des énergies directes

De nombreuses actions peuvent conduire à une réduction de la consommation énergétique en agriculture. Elles passent, à titre d'exemple, par :

- la mise en place de **techniques de travail du sol simplifiées** : un itinéraire technique conventionnel avec labour consomme 60 litres de carburant par hectare. Ce chiffre est réduit à 35 litres par hectare par une technique sans labour avec semis direct. Cette technique nécessite néanmoins un matériel spécifique de semis,

- un **meilleur réglage des moteurs de tracteurs** grâce à des bancs d'essai spécifiques : plus d'un tracteur sur deux est suralimenté en carburant. Le diagnostic et le **réglage du moteur** conduisent à une **économie de l'ordre de 1 000 litres de carburant/an soit un équivalent de 2,5 tonnes de CO₂/an**. En Savoie, la Chambre d'Agriculture et la FDCUMA organisent la tournée des bancs d'essai sur l'ensemble du département. 54 diagnostics et réglages ont pu être réalisés dans les années 2007 et 2008 (Photo ci-contre),



Source : Chambre d'Agriculture Savoie, FDCUMA

- une **conduite adaptée des tracteurs** peut permettre une économie allant jusqu'à 1,5 litre de carburant par heure de tracteur,

- le développement dans les coopératives laitières des **prérefroidisseurs tubulaires** qui permettent une **économie d'environ 50 %** de consommation énergétique des tanks, en favorisant les échanges de chaleur entre le lait et l'eau. En Savoie, environ 5 % des exploitations sont aujourd'hui équipées par ce type d'équipement (Photo ci-contre).

D. La production végétale et les sols agricoles en tant que « puits de carbone »

Les études de l'INRA soulignent que les pratiques culturales modifient le stockage du carbone dans les sols. Une agriculture moins mécanisée (techniques culturales simplifiées par exemple) et le maintien de prairies permanentes sont potentiellement un moyen pour mieux stocker le carbone dans les sols.

Cependant, le stockage de carbone organique dans le sol est temporaire (entre 20 et 50 ans selon le milieu) et il apparaît que l'augmentation de la température tend à déstocker le carbone car elle augmente la vitesse de biodégradation des matières organiques souterraines.

En Savoie, les marges de manœuvre de ce type de proposition sont sans doute très faibles : les surfaces toujours en herbe représentent déjà 94 % de la Surface Agricole Utilisée (SAU) du département ! Les surfaces permettant ce stockage de carbone sont donc déjà très importantes.

La profession agricole peut par contre privilégier l'usage du bois dans la construction des bâtiments agricoles, une autre forme de stockage de carbone dont le potentiel est cependant limité.

Il est bien évident que toutes ces mesures ne peuvent et ne doivent être appliquées à toutes les exploitations agricoles du département compte tenu de la **forte diversité des usages des terres et des pratiques culturales depuis les alpages aux étendues céréalières de l'Avant-Pays**. Il importe de chercher les mesures les plus aisément applicables et les plus efficaces en termes à la fois économique et environnemental.

2. Prendre en compte la globalité des activités agricoles

L'application des mesures énoncées précédemment suppose un réel discernement dans leur application. Celle-ci doit tenir compte de l'environnement des activités agricoles (alpage, vallée, Avant-Pays ...) ainsi que de la complexité des exploitations agricoles.

A. Penser le système d'exploitation dans son ensemble

Les systèmes d'exploitation sont complexes et l'application d'une mesure de réduction de GES sans prendre en compte l'ensemble des paramètres peut être contre-productive. A titre d'exemple, le remplacement des zones de culture par des prairies permanentes afin de favoriser le stockage du carbone peut conduire à un bilan négatif de réduction de GES dès lors que l'exploitant, pour couvrir les besoins alimentaires du troupeau, aura recours à l'achat de céréales et d'aliment du bétail (transport ...).

B. Prendre en compte tous les aspects environnementaux

La réduction des GES ne doit pas se faire aux dépens des autres entrées environnementales. Par exemple, un travail du sol simplifié sans labour, qui est intéressant d'un point de vue énergétique, peut avoir pour incidence de recourir à des herbicides qui ont d'autres impacts sur le milieu naturel.

Il est donc important de raisonner à l'échelle globale en tenant compte des autres aspects environnementaux, comme la gestion des déchets, la biodiversité, l'entretien de l'espace, etc.

C. Intégrer la dimension économique et le marché

Enfin, il apparaît utile de rappeler que toute action sur un système d'exploitation agricole ne peut être déconnectée du débouché économique et du marché existant : les consommateurs ont un rôle fondamental par leurs choix de consommation, ils peuvent privilégier des produits de saison, des produits locaux, des modes d'achats privilégiant la proximité, etc.

Ainsi, la réduction des émissions des GES dans le domaine agricole, comme dans tout autre domaine, doit trouver sa place entre les pratiques de consommation, les contraintes économiques et environnementales, et les attentes des pouvoirs publics. Ces actions passent par des mesures incitatives fortes, par des campagnes d'information tenant compte de la spécificité des exploitations agricoles et par une valorisation des initiatives prises par les exploitants agricoles. Une telle démarche suppose une mobilisation de l'ensemble des acteurs.

5• L'INDUSTRIE EN SAVOIE

La part de l'industrie dans les émissions de GES est importante en Savoie (42,3 %) et bien en dessus du pourcentage à l'échelle nationale (cf. 1. de cette deuxième partie du Livre Blanc). Si ce chiffre peut a priori surprendre dans un département de montagne comme la Savoie, il est en fait cohérent avec la tradition industrielle des vallées alpines. Celle-ci est directement héritée de la révolution de la «houille blanche» au début du 20^{ème} siècle avec la mise en valeur de l'important potentiel hydroélectrique. Cette abondante production d'électricité s'est traduite par l'implantation de nombreuses usines d'électrochimie et d'électrometallurgie dans les vallées alpines, et plus particulièrement en Maurienne et en Tarentaise pour la Savoie. Depuis la fin du 20^{ème} siècle, le nombre de ces industries a fortement diminué.

Aujourd'hui, neuf unités importantes subsistent et ont comme activité principale la sidérurgie et la métallurgie (aluminium, silicium, acier), la chimie, l'industrie minérale ou encore la papeterie. Quant aux PME/PMI, elles se concentrent actuellement autour des bassins urbains.

1. Les émissions de GES du secteur industriel en Savoie

Les industries «lourdes» émettent 80 % du CO₂ du secteur industriel en Savoie (dont 4 % pour les sociétés de distribution de chauffage) ; le reste étant émis par les petites industries, PME et PMI (20 %).

Afin de lutter contre les émissions de GES du secteur industriel, le marché du carbone (ou bourse du carbone) a été mis en place. C'est un marché public de négociation et d'échange de crédits d'émission de gaz à effet de serre.

Les quotas d'émissions (dioxyde de carbone ou CO₂, méthane, et protoxyde d'azote) sont accordés par les gouvernements dans le cadre d'un mécanisme réglementaire. C'est l'un des mécanismes de marché mis en place par l'Union Européenne après sa ratification du **protocole de Kyoto** afin de limiter les émissions de gaz à effet de serre. Ce «marché» a été organisé en plusieurs phases. La période 2005-2007 a été la phase pilote de test. La seconde période couvre 2008-2012. Au début de chaque phase, chaque État-Membre élabore un **Plan National d'Allocation des Quotas** (PNAQ) qui doit être approuvé par la Commission Européenne.

L'incitation financière qui en découle doit encourager l'investissement dans l'**innovation technologique et la modernisation des installations**. Mais le prix de la tonne de carbone est très volatile et la crise économique commencée durant l'été 2008 a fait chuter son prix à un niveau très faible et donc peu incitatif.

Afin de limiter cet écueil (forte volatilité du prix de la tonne carbone, etc.), l'idée de **la taxe carbone** s'est imposée en France. Elle correspond à une taxe sur tous les combustibles fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel, etc.) avec un taux variable. Ce taux dépend du contenu en carbone du combustible considéré, et donc des émissions de dioxyde de carbone (CO₂). Elle a vocation à augmenter régulièrement et ne se surimposera pas au marché des quotas pour les industries lourdes.

La Savoie compte 8 sites industriels soumis à quotas, pour une autorisation annuelle totale d'émissions d'environ 300 000 tonnes de CO₂ pour la période 2008/2012. Ce chiffre représente «seulement» **22 % des émissions totales du secteur industriel en Savoie**. Toutes les industries ne sont, en effet, pas inscrites au registre des quotas en raison de la difficulté de mesurer les émissions liées à certains process (comme la fabrication d'aluminium par électrolyse). Les techniques de mesure ayant évolué, ces spécificités industrielles devraient être prochainement prises en compte et incorporées aux futurs protocoles internationaux.

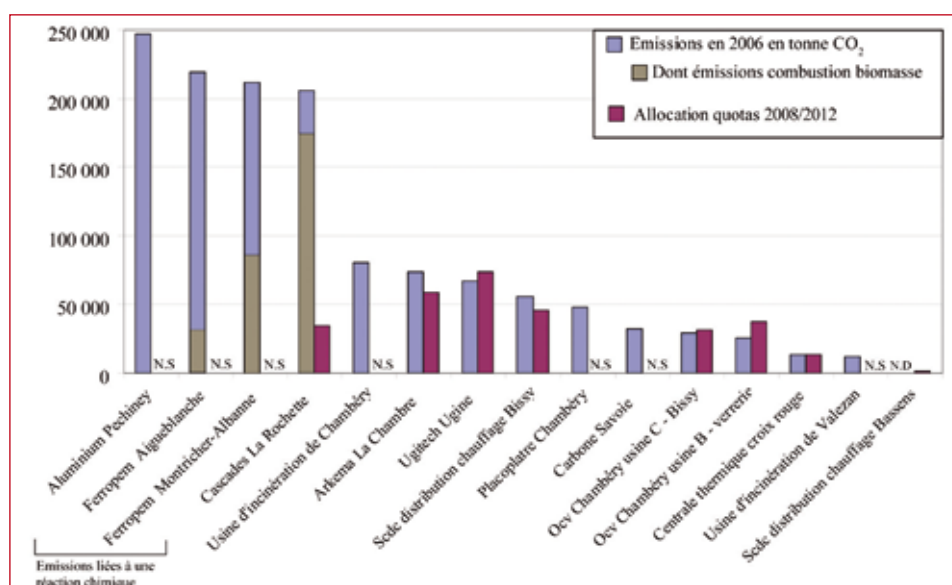


Fig. 37 - Emissions de CO₂ (en tonne) des industries savoyardes en 2006 et allocation des permis d'émissions de CO₂ (2008/2012, en tonne).

Source : Registre français des émissions polluantes / Registre français des quotas et crédits d'émissions de GES / MDP
N.S : non soumis ; N.D : non déterminé

SCDC : Société Chambérienne de Distribution de Chaleur
OCV : Owens Corning Vetrotex

Les quatre industries les plus émettrices représentent 23 % de l'ensemble du CO₂ émis en Savoie tous secteurs confondus. Ces industries peuvent aussi volontairement compenser leurs émissions en achetant des crédits sur ce marché.



La **biomasse** est parfois utilisée comme énergie de combustion (voir fig. 63, équivalent à 19 % des émissions du secteur industriel). On peut considérer que cette technique est neutre en CO₂, car le CO₂ dégagé correspond à la quantité de CO₂ emmagasinée par le végétal au cours de sa croissance. Le CO₂ étant toutefois rejeté dans l'atmosphère, il est comptabilisé dans les émissions.

Enfin, le **silicium** produit par certaines industries sert à la fabrication de panneaux photovoltaïques. Il n'existe pas pour l'instant de technique industrielle qui permette d'obtenir du silicium sans dégagement de gaz à effet de serre.

2. Stratégies et mesures d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre

Les industries les plus émettrices sont ou seront soumises aux quotas, la responsabilité de la mise en place et du suivi incombe aux pouvoirs publics comme dans tous les Etats membres de l'Union Européenne.

Des progrès techniques sont réalisés en parallèle avec l'augmentation de l'efficacité énergétique des processus industriels, ou encore avec l'utilisation des matériaux en cycles fermés (utiliser les déchets d'une industrie comme matière première pour une autre). Les industriels s'y emploient déjà.

Il est possible au niveau local de sensibiliser les petites entreprises à des pratiques moins émettrices de gaz à effet de serre. Des pistes d'actions sont déjà expérimentées sur d'autres territoires et pourraient l'être également en Savoie :

- Le Plan Climat peut servir de support à des rencontres entre les chambres consulaires (Chambre de Commerce et d'Industrie, Chambre des Métiers), les entreprises et la collectivité (comme avec Chambéry métropole) afin de déterminer conjointement les efforts à faire en matière de réduction des gaz à effet de serre.
- La CCI peut accompagner les entreprises à adopter des Systèmes de Management Environnemental et Développement Durable ou à réaliser des Bilans Carbone. Des visites «énergies» peuvent aussi être réalisées par la Chambre des Métiers.
- Les acheteurs (collectivités par exemple) peuvent privilégier les marchés verts et les produits privilégiant la réduction des GES.
- Enfin, les territoires peuvent, à l'instar de Savoie Technolac, mettre en avant des guides de bonnes pratiques environnementales.



Conclusion partielle

Cette partie du Livre blanc consacrée aux émissions de gaz à effet de serre, a permis d'identifier les différents secteurs émetteurs en Savoie et de présenter des pistes de réduction de leurs émissions.

Si certaines de ces pistes sont relativement simples à mettre en place et participent à la fois d'actions citoyennes et de mesures incitatives des collectivités, la plupart des mesures préconisées passent par des actions volontaristes impulsées par les acteurs territoriaux et économiques et par un changement de nos comportements individuels, collectifs et professionnels.

Que ce soit pour les secteurs des transports, de l'habitat et de l'agriculture, les mesures potentielles d'atténuation des émissions de GES présentées dans ce livre permettent d'atteindre les objectifs de réduction fixés par les textes règlementaires. Ce qui exige une politique audacieuse de communication auprès des habitants, des propriétaires, des touristes, des agriculteurs, et des industriels, qui mette en avant l'intérêt et la faisabilité des mesures préconisées.

Tout le monde a son idée sur le changement climatique, mais encore peu de citoyens et d'acteurs économiques mettent en lien ce changement avec leurs pratiques quotidiennes de déplacement, professionnel ou de loisir. Cette prise de conscience doit nécessairement être accompagnée d'actions incitatives fortes et de mesures rendant possibles les changements de pratiques. Cela suppose une réelle mobilisation générale, tant des citoyens que des acteurs couvrant les différents secteurs émetteurs de gaz à effet de serre.

C'est pourquoi toutes ces actions doivent être pensées et mises en œuvre dans un plan d'aménagement global des territoires savoyards et des territoires de montagne. Une telle action concertée constituerait le levier nécessaire et indispensable pour que la Savoie atteigne les objectifs de réduction souhaités d'émissions des gaz à effet de serre.

Au-delà de la nécessité de relever les objectifs fixés par l'Etat dans le cadre européen lors du Grenelle de l'Environnement, il s'agit surtout d'assurer la préservation de l'environnement savoyard, la pérennité des activités économiques et le développement des territoires soumis aux effets du changement climatique actuel et à venir.

PARTIE **3**

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE : SES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT ET L'ECONOMIE SAVOYARDS

Cette troisième partie a pour objet d'analyser les impacts du changement climatique actuel et à venir sur les ressources naturelles, les activités économiques et l'environnement.

Une attention particulière est ici portée à la ressource en eau, aux activités touristiques et agricoles ainsi qu'à la biodiversité.

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

SES IMPACTS SUR
L'ENVIRONNEMENT ET
L'ECONOMIE SAVOYARDS

> LA RESSOURCE EN EAU

L'eau est un élément essentiel à la vie et indispensable au maintien et au développement de nombreuses activités économiques (agriculture, industrie, énergie, tourisme...) et ce quels que soient les milieux et les sociétés. Il est intéressant de relever que la perception de l'eau en montagne ne reflète pas toujours la réalité du fait des fortes imbrications entre ressources et usages. Plus que dans d'autres domaines, l'interdépendance entre les différentes ressources en eau et les usages est particulièrement forte et invite à une solidarité amont-aval. Cette spécificité est essentiellement liée à la juxtaposition sur de faibles distances de conditions naturelles très différentes (de la haute montagne aux vallées alpines, de roches peu perméables aux roches karstiques, de zones de rétention nivale aux zones de transfert rapide des écoulements ...) et d'usages également très divers (barrages hydroélectriques, alimentation en eau potable, neige de culture, irrigation, drainage ...).

Dans le discours, cette spécificité des montagnes est souvent mise en avant, mais force est de constater que, dans la réalité, la gestion de l'eau a été jusqu'à présent très cloisonnée. Jusqu'à aujourd'hui, du fait d'une relative abondance en eau, du moins dans les Alpes du nord, ce cloisonnement entre les différents usages de l'eau n'a pas engendré d'importants conflits. **Dans ce document, l'analyse porte sur l'importance du changement climatique sur la ressource en eau qui nécessitera, selon les situations, d'en repenser les modes de gestion afin de prévenir tout conflit d'usage.** La définition de nouvelles priorités est nécessaire : elle devra être partagée par tous les acteurs et dépasser le seul cadre montagnard car les cours d'eau issus des montagnes alimentent les aquifères alluviaux de plaine et de nombreuses agglomérations. Dans la perspective d'une gestion globale de l'eau, la question des impacts du réchauffement climatique doit être posée. Nous ne l'abordons ici qu'à l'échelle des Alpes du nord et du département de la Savoie. Ce territoire, bien que considéré comme un château d'eau, a déjà connu localement ces dernières années de réelles situations de crises (étiage prononcé voire assèchement de cours d'eau notamment dans l'Avant-Pays, tarissement et/ou dégradation de nappes alluviales ...). Ces situations soulignent une relative vulnérabilité de nos territoires.

La principale question à laquelle nous devons répondre est celle de la vulnérabilité croissante des ressources en eau avec les effets attendus du changement climatique.

1 • Ressource et usages en Savoie

Avant d'aborder les incidences du changement climatique sur la ressource en eau, il est nécessaire de revenir sur la diversité des ressources actuelles en Savoie et les différents usages courants ainsi que de définir, le cas échéant, leurs vulnérabilités.

A. Les différentes ressources en eau en Savoie

On distingue les eaux de surface et les eaux souterraines :

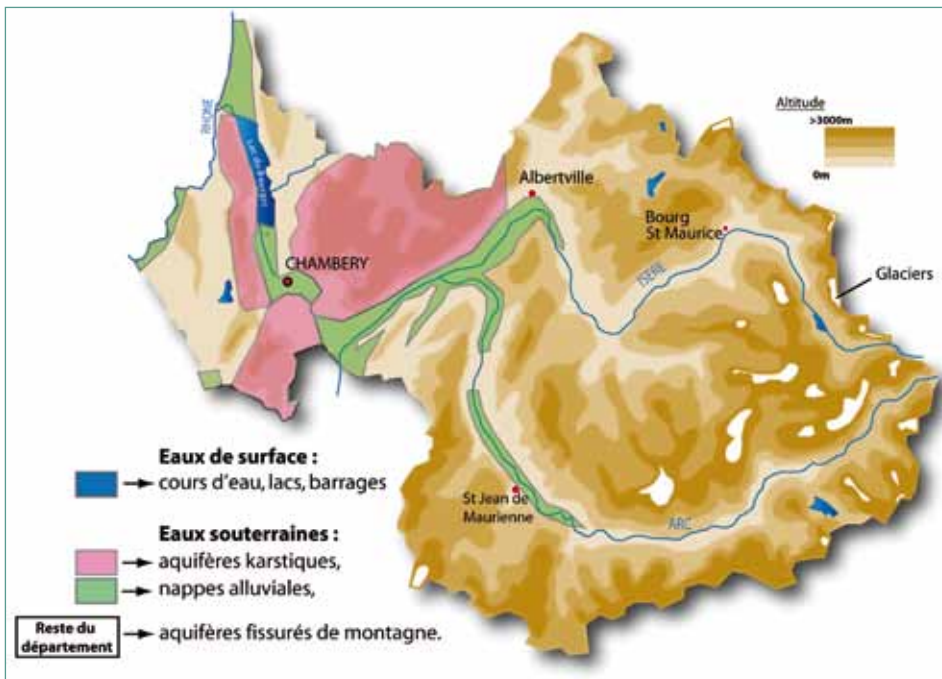
Les **eaux de surface**, en dehors de la couverture nivo-glaciaire, se distribuent entre :

- les cours d'eau, dont les principaux sont l'Arc et l'Isère, tous deux alimentés par l'hydrologie nivo-glaciaire. A Montmélian, l'Isère draine 3 150 millions de m³/an.
- les grands lacs naturels : dont ceux du Bourget (3 600 millions m³) et d'Aiguebelette.

Il faut adjoindre à ces éléments naturels les retenues artificielles particulièrement nombreuses en Savoie : 12 barrages qui totalisent 900 millions m³.

Les **ressources souterraines** se distribuent en 3 grands types d'aquifères ayant des caractéristiques hydrogéologiques très différentes :

- les aquifères karstiques qu'on rencontre essentiellement dans les Préalpes calcaires ;
- les aquifères fissurés qui caractérisent le domaine montagnard ;
- les nappes alluviales qui se développent dans les fonds de vallées et dans les grandes dépressions (Combe de Savoie, Cluse Chambérienne, vallées du Rhône, du Giers ...).



Cette diversité peu commune de ressources en eau fait que la Savoie est a priori bien dotée en eau. Néanmoins, ce constat ne prend pas en compte la vulnérabilité de ces différentes ressources. Par exemple, si la montagne est drainée par nombre de torrents et cours d'eau, ceux-ci ont une faible capacité de rétention du fait des fortes pentes. **Cette «richesse» est dans ce cas directement liée à l'alimentation nivale ou**

nivo-glaciaire. Que deviendra cette alimentation avec le réchauffement climatique (cf. partie 1) et quelle sera l'importance de la raréfaction de la couverture nivale ? On pourrait multiplier les exemples et cela sera développé ultérieurement.

B. Les usages de l'eau en Savoie

Pour prendre en compte la diversité des ressources, il est nécessaire d'identifier les différents usages de l'eau sur notre territoire. Ils se répartissent en quatre grands ensembles :

- l'alimentation en eau potable (AEP)
- la production d'hydroélectricité
- les usages agricoles : irrigation, arboriculture, élevage ...
- la production de neige de culture

A ces usages, il faut adjoindre les activités touristiques (baignade, nautisme ...), sportives et de loisirs (pêche).

Afin de préserver ces usages, différentes actions ont été et sont actuellement menées. Par exemple, dans l'Avant-Pays où la ressource dépend essentiellement des aquifères, la construction de réservoirs limitant les pompages en période critique et le maillage des réseaux ont permis de sécuriser l'approvisionnement en eau potable. La sécheresse qui a marqué les étés de 2003 à 2006 a, néanmoins, mis en avant des secteurs vulnérables sur lesquels est portée une attention toute particulière. Par contre, en montagne, où les réserves hydrologiques sont réduites et où les aquifères alluviaux sont souvent chargés en sulfates, la ressource est de plus en plus assurée par des retenues (eau potable, neige de culture, EDF).

C. Le contrat de bassin versant «Isère en Tarentaise»

La ressource en eau en milieu de montagne est très sensible aux changements, qu'ils soient climatiques ou liés à de nouveaux besoins des usagers. Afin de mieux cerner cette sensibilité, un bilan quantitatif de la ressource en eau a été réalisé sur le bassin versant de l'Isère en Tarentaise. Ce bilan, sollicité par l'Assemblée du Pays Tarentaise Vanoise dans le cadre de l'élaboration d'un Contrat de Bassin Versant, avait pour objet de savoir si ce territoire, pays de torrents, de lacs et de neige, pouvait à l'avenir manquer d'eau, notamment en période hivernale ; période marquée par un fort étiage et par de fortes consommations liées à l'activité touristique.

Les chiffres doivent être considérés comme des ordres de grandeur. Pour aller plus loin dans l'analyse, il est nécessaire d'acquérir plus de données sur la ressource et son évolution saisonnière (notamment dans les secteurs aujourd'hui mal couverts par le réseau de suivi), de mieux quantifier les prélèvements, essentiellement au niveau des prises d'eau et d'avoir une meilleure appréciation qualitative et quantitative du cumul des pressions sur les cours d'eau de tête de bassin. Cette étude, une des premières en termes de bilan global sur les usages et la ressource en eau, met en avant un des paradoxes connus par les acteurs et gestionnaires : **la relative indigence des données sur l'eau en montagne.**

Les volumes annuels calculés pour l'ensemble du territoire en 2006 sont les suivants :

- ressource totale disponible :	1 935 000 000 m ³
	(soit environ 2 milliards de m ³)
- prélèvements pour l'AEP :	19 290 000 m ³
- prélèvements pour la neige de culture :	3 892 000 m ³
- 10 % du module (débit réservé*) :	195 000 000 m ³

* : débit minimal restant dans le lit naturel de la rivière entre la prise d'eau et la restitution des eaux en aval de la centrale, garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans ces eaux.

Les prélèvements pour l'AEP et la neige de culture ont représenté respectivement 1 % et 0,2 % de la ressource totale théorique sur l'année 2006 (Fig. 2).

Mais en février 2006, les prélèvements atteignaient respectivement 4 % et 3 % (Fig. 3).

Le volume de stockage constitué dans les retenues collinaires représentait 50 % des besoins en neige de culture ; les projets de retenues en cours, notamment aux

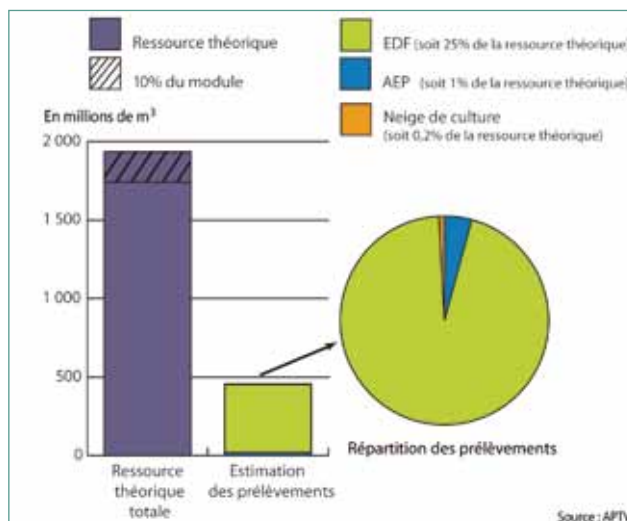


Fig. 2 - Comparaison des ordres de grandeurs en m³ de la ressource et des prélèvements pour l'AEP, la neige de culture et l'hydroélectricité sur le bassin de l'Isère à l'amont d'Albertville en 2006 (bilan annuel)

Etude préalable au Contrat de bassin versant «Isère en Tarentaise» commanditée par l'Assemblée du Pays Tarentaise Vanoise. Prestataires de l'étude : Sépia Conseils/ANTEA/EDACERE

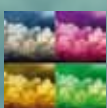
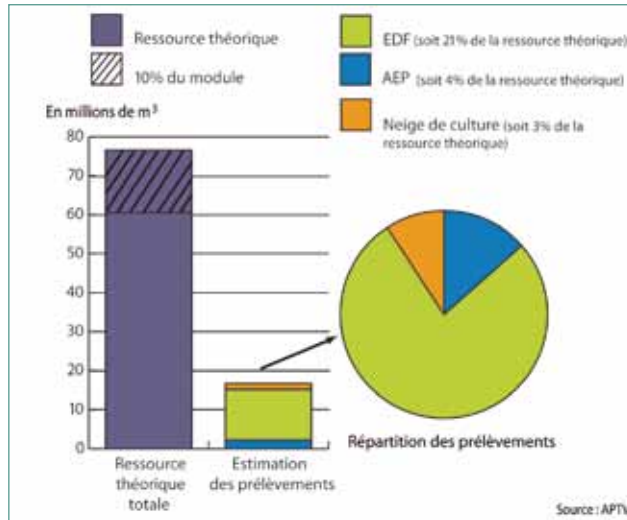


Fig. 3 - Comparaison des ordres de grandeurs en m³ de la ressource et des prélèvements pour l'AEP, la neige de culture et l'hydroélectricité sur le bassin de l'Isère à l'amont d'Albertville en février 2006 (bilan mensuel)

Etude préalable au Contrat de bassin versant «Isère en Tarentaise» commanditée par l'Assemblée du Pays Tarentaise Vanoise Prestataires de l'étude: Sépia Conseils/ANTEA/EDACERE



Arcs (402 000 m³), à Courchevel (130 000 m³), Val-Thorens (80 000 m³) aux Ménuires (80 000 m³) et à la Plagne (402 000 m³ destinés également à l'AEP) doubleront quasiment cette capacité de stockage.

Dans la mesure où certaines prévisions suggèrent que l'enneigement artificiel pourrait concerner 40 % du domaine skiable à moyen terme, au lieu des 15 à 20 % actuels, un volume d'eau

annuel de près de 8 millions de m³ serait nécessaire.

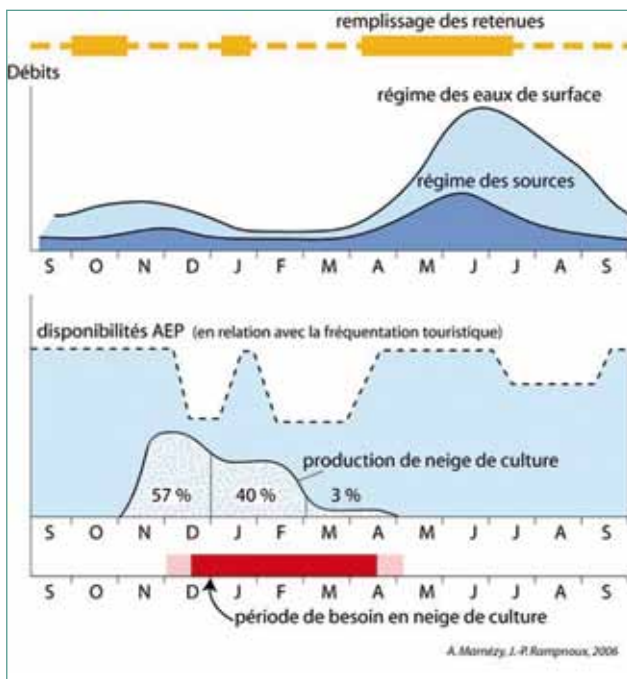


Fig. 4 - Utilisation de la ressource en eau pour l'alimentation en eau potable et la neige de culture au cours de l'année et mise en évidence de la période critique.

Source : A. Marnézy, J.P. Rampnoux, 2006

Les prélèvements de pointe pour l'AEP sont bien estimés compte tenu du taux connu de remplissage des stations de sports d'hiver. Ceux pour l'hydroélectricité et la neige de culture sont réglementairement limités étant donné la nécessité de réserver un débit de l'ordre de 10 % du module, débit réservé qui doit tenir compte de la situation d'étiage des cours d'eau de montagne : cela limite de fait les prélèvements durant cette période. Les prélèvements pour la neige de culture dépendent des modalités d'exploitation de la ressource de chaque domaine skiable (notamment du stockage effectué en période de hautes eaux ou des accords avec EDF...). Les besoins pour la neige de culture sont a priori limités en février, par rapport au mois de décembre. C'est toutefois le mois pendant lequel il y a une probabilité d'un second, voire d'un troisième remplissage des retenues, ce qui peut poser problème si on prend en compte la situation d'étiage et la forte demande en AEP (Fig.4).

Ainsi, sur l'ensemble du bassin versant, la ressource brute annuelle disponible est suffisante pour couvrir l'ensemble des besoins sur l'année. A l'échelle saisonnière, notamment hivernale, la ressource reste encore excédentaire même si on relève un net amoindrissement des marges.

Cependant, en hiver, lors des jours de pointe, on relève des insuffisances de la ressource notamment gravitaires pour répondre à l'ensemble des demandes. Cela s'explique par les raisons suivantes :

- la situation en tête des bassins versants de ce territoire (dispersion des eaux superficielles),
- la non potabilité «naturelle» d'une partie de la ressource (arsenic, antimoine, sulfates) liée au contexte géologique (gypse ...).

On sait qu'un certain nombre de secteurs de haute altitude connaissent des problèmes d'alimentation en eau potable avec la seule ressource disponible immédiatement en amont.

Ce déséquilibre entre ressources et besoins est constaté parfois depuis longtemps. Les élus ont répondu à la problématique grâce à des traitements, pompages ou transferts depuis des bassins versants voisins et, dans certains cas, grâce à des accords avec EDF.

Ces mêmes raisons ont amené les sociétés de remontées mécaniques à stocker l'eau à des périodes plus favorables pour les besoins en neige de culture. Le stockage se fait de préférence du printemps jusqu'au début de l'hiver. Il en est de même pour les retenues pour l'AEP.

L'ensemble des solutions développées par les communes de Tarentaise semble aujourd'hui satisfaisant pour faire face à une augmentation raisonnée des besoins à court et moyen termes, malgré un déficit des ressources gravitaires. L'AEP est considérée à juste titre comme la priorité en période de tensions. A contrario, il apparaît que les écosystèmes sont souvent lésés durant les périodes de fortes demandes et ce malgré les réglementations concernant les débits réservés. Si on peut comprendre les niveaux de priorités (AEP, retenues), **cela ne doit pas se faire au détriment de la qualité biologique et physique des écosystèmes de montagne (torrents, rivières, zones humides, etc.).**

L'étude réalisée en Tarentaise a le mérite de raisonner, tant en termes quantitatifs que qualitatifs, sur la ressource en eau en altitude. Cette étude pose les bases d'une gestion intégrée de l'eau à laquelle les territoires de montagne seront de plus en plus appelés. Elle repose sur l'état actuel des connaissances et prend en compte le développement territorial à venir. Il importe aussi d'intégrer l'évolution des ressources en eau engendrée par les modifications des données climatiques récentes et à venir (cf. partie 1).

2• CHANGEMENT CLIMATIQUE ET REGIMES HYDROLOGIQUES

A. Evolution du régime hydrologique en Savoie depuis 1960

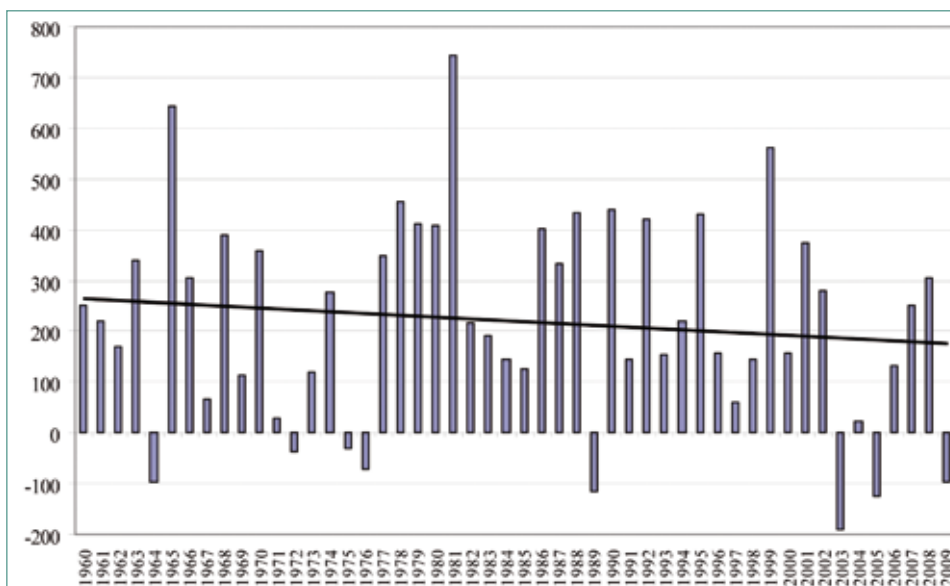
Les régimes hydrologiques des sources et des cours d'eau sont directement liés aux régimes des précipitations (qui alimentent les aquifères et/ou les ruissellements de surface) auxquelles il faut soustraire l'évaporation et l'évapotranspiration (absorption de l'eau par le sol et les plantes). Les régimes sont également influencés par les capacités de stockage plus ou moins importantes de la couverture nivo-glaciaire et des nappes souterraines. Dès lors que nous sommes en présence de cours d'eau artificialisés, les retenues, barrages et dérivations influencent le régime des écoulements.

Lorsque l'évaporation est supérieure aux précipitations, le bilan hydrologique est négatif : on parle alors de sécheresse, pour laquelle les climatologues ont défini différents indices (Météo-France).

A partir des données de Météo-France, (T°C, Pmm, ETPmm), on peut calculer le bilan hydrique d'un secteur donné. Ce travail a été ici réalisé pour la station de Bourg-Saint-Maurice depuis les années 1960 (Fig.5).

On relève que les années 2003, 2004, 2005 et 2009 ont été marquées par la sécheresse. Ce déficit en eau est lié aux faibles précipitations (20 à 30 % de précipitations en moins qu'en temps ordinaire,

Fig. 5 - Evolution des bilans hydriques annuels (précipitation moins évapotranspiration) à Bourg-Saint-Maurice de 1960 à 2009
Météo-France, analyse C. Chaix
Trait noir : tendance linéaire



surtout au printemps et en été) et à des températures élevées à l'origine d'une forte évapotranspiration. Même si les années 2007 et 2008 marquent un bilan hydrique satisfaisant, on remarque une tendance générale de moindre disponibilité hydrologique, notamment durant les périodes estivales et automnales (Fig. 6). L'année 2009 marque d'ailleurs un retour à une situation de déficit hydrique.

Si on réalise un tel suivi sur l'ensemble des stations météorologiques de Savoie, on relève que **l'ouest et le sud du département sont plus sensibles aux effets de sécheresse** du fait d'une plus forte évapotranspiration, voire d'une moindre alimentation en eau (retenues, captages...).

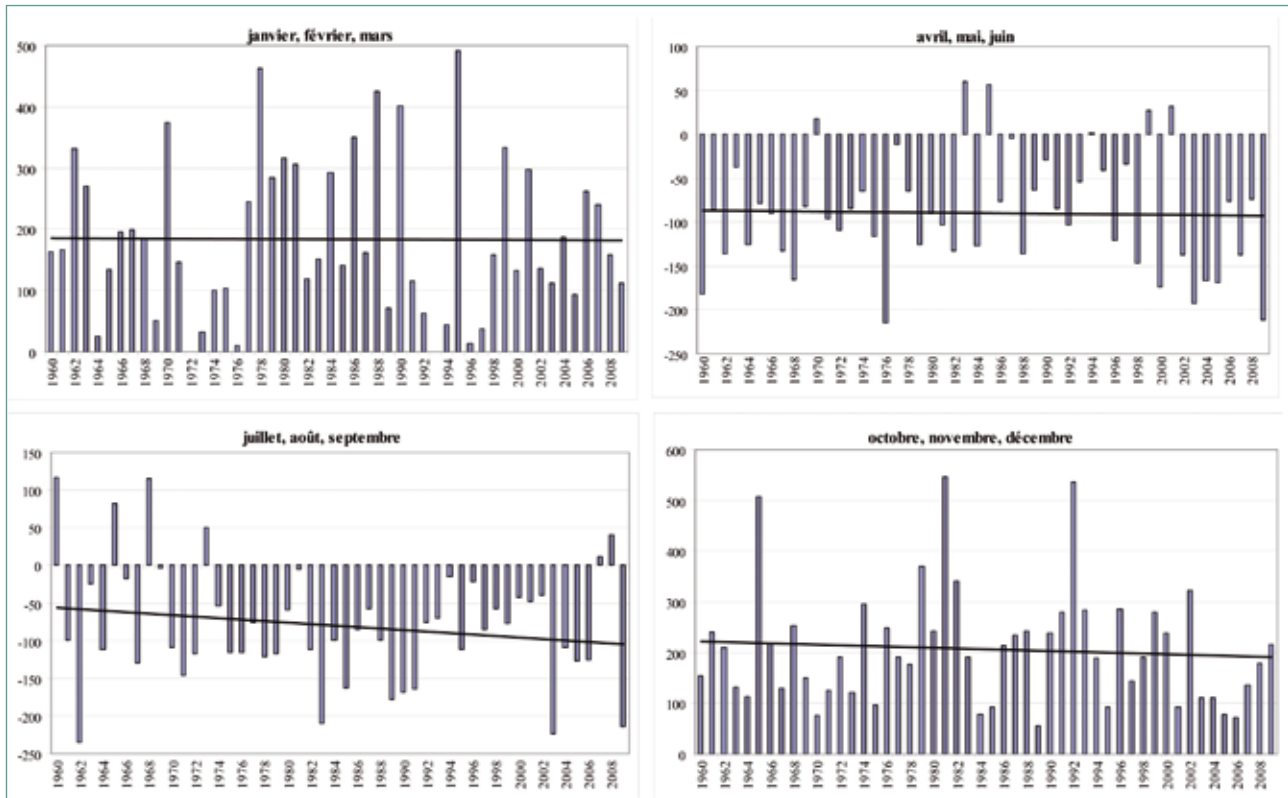


Fig. 6 - Evolution des bilans hydriques saisonniers (précipitation moins évapotranspiration) à Bourg-Saint Maurice de 1960 à 2009
Météo-France, analyse C. Chaix
Traité noir : tendance linéaire

Avec l'élévation des températures et de l'évapotranspiration, la Savoie peut connaître des périodes critiques dans l'approvisionnement en eau dès lors qu'il y a un léger déficit de précipitations comme ce fut le cas durant la période 2003 - 2006. Cette période doit d'ailleurs servir de référentiel pour anticiper de futures crises potentielles (sécheresse estivale, étiage hivernal). Elle a permis de relever les secteurs sensibles et d'en analyser les causes. Cette vulnérabilité, qui a essentiellement marqué l'ouest et le sud du département, permet d'identifier les secteurs jusqu'à maintenant peu affectés par la sécheresse, qui pourraient être déficitaires en termes d'alimentation en eau potable.

B. Analyse de la période de sécheresse 2003/2006

1. Conséquences sur les débits des rivières

• En Rhône-Alpes

Pour évaluer les effets de la sécheresse sur les cours d'eau, on travaille à partir du «module», qui correspond au débit moyen calculé sur plusieurs années (débit moyen interannuel). Cet indice permet de mieux intégrer les évolutions sur le temps long et de lisser les «accidents» exceptionnels.

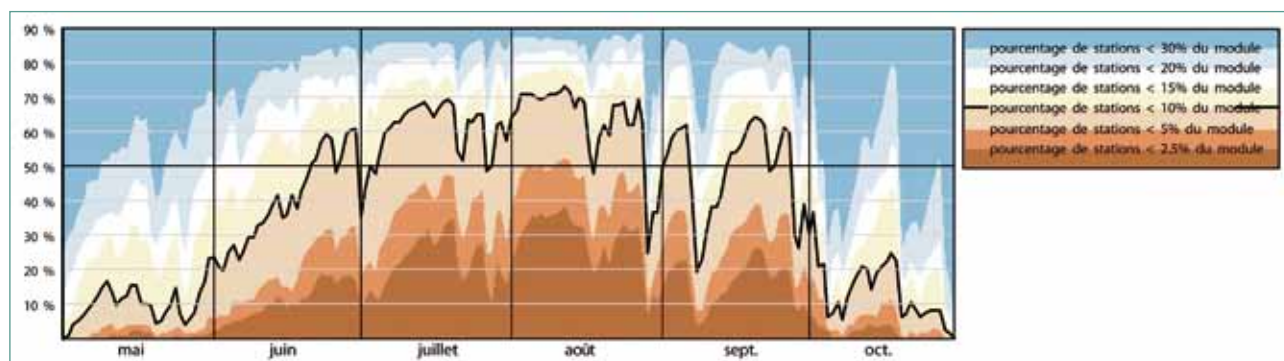
Lorsque le débit d'une rivière (l/s ou m³/s) est en dessous de 10 % du module, on parle d'étiage ; plus le pourcentage est faible, plus l'étiage est prononcé. Sous 2,5 % du module, on considère que le cours d'eau est en situation «d'assec».

L'analyse des débits, réalisée par la DIREN Rhône-Alpes (désormais DREAL) sur les cours d'eau alpins, a permis de mettre en avant les cours d'eau les plus vulnérables (Fig. 7). Sur cette Figure, la proportion des cours d'eau en dessous du trait noir correspond au pourcentage de cours d'eau qui avaient un débit inférieur au dixième de leur module (seuil pertinent d'étiage). En année moyenne, ce pourcentage ne dépasse qu'exceptionnellement les 50 %.

En 2003, plus de 50 % des cours d'eau rhône-alpins ont été en situation marquée d'étiage pendant les trois mois d'été ; ce pourcentage atteint les 70 % pendant les mois de juillet et d'août.

Fig. 7 - Evolution du pourcentage de stations dans la région Rhône-Alpes dont les débits sont < 2.5 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 % et 30 % du module au cours de l'été 2003.

DIREN Rhône-Alpes, Service de l'Eau et des Milieux Aquatiques



Afin de mesurer l'importance de la sécheresse de 2003, la comparaison avec 2002 est particulièrement illustrative (Fig.8). En 2002, durant les mois de juillet et d'août, seuls 20 % des cours d'eau ont connu une situation d'étiage (sous le trait gras).

Fig. 8 - Situation en 2002
DIREN Rhône-Alpes, Service de l'Eau et des Milieux Aquatiques

• En Savoie

Il est difficile de mesurer avec précision les effets de sécheresse sur l'ensemble des cours d'eau du fait de leur forte anthropisation (barrages, aménagements, prélèvements). Cependant, trois rivières savoyardes peuvent servir d'indicateurs car leur anthropisation reste encore peu importante en amont des points de mesures de débits réalisés par la DIREN : le Chéran (dont les mesures effectuées depuis 1950 ne montrent pas d'évolution significative), le Sierroz et le Guiers Vif (Fig. 9 et 10). L'analyse des débits moyens et des modules de ces cours d'eau souligne toutefois **une réduction du module** durant les 15 dernières années et **des étiages très marqués** lors des étés 2003-2006.

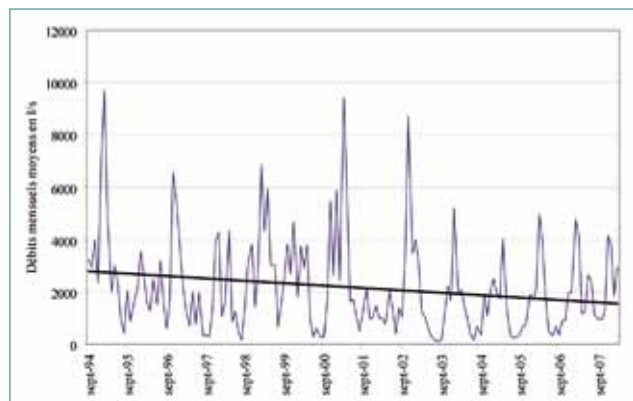
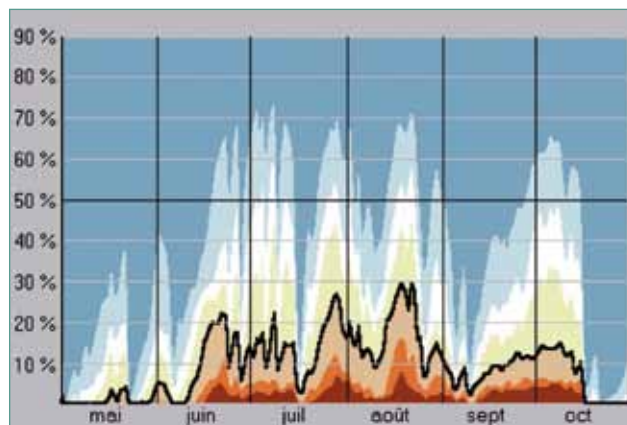


Fig. 9 - Evolution des débits mensuels moyens du Sierroz à Aix-les-Bains de 1994 à 2007

DIREN, analyse C.Chaix

De 2003 à 2007, les modules des débits ont chuté de moitié, passant de 2,8 à 1,5m³/s. Trait noir : tendance linéaire.

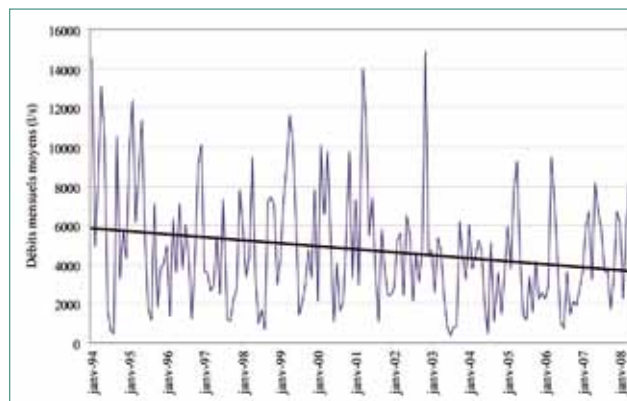


Fig. 10 - Evolution des débits mensuels moyens du Guiers Vif à Saint-Christophe-sur-Guiers de 1994 à 2007

DIREN, analyse C.Chaix

La Figure 11 permet de visualiser les cours d'eau qui, en Savoie, ont connu de forts étiages, voire même des assecs (débit inférieur à 2,5 % du module). Ces assecs engendrent d'importants dommages aux écosystèmes (destruction d'une part importante de la faune aquatique). Les Figures 12 et 13 montrent les conséquences de la sécheresse sur l'alimentation en eau potable.

Fig. 11 - Le réseau hydrologique savoyard lors de la canicule de 2003 : un contraste est-ouest.
CSP

La conjonction du déficit de précipitations, des fortes températures, des besoins de l'agriculture, de la situation géologique et de l'urbanisation de certaines zones comme le bassin chambérien ont entraîné une forte sollicitation de la ressource. Il faut préciser que certains linéaires, soumis à des situations de débits réservés à l'aval de barrages, ont subi eux aussi des étiages sévères.

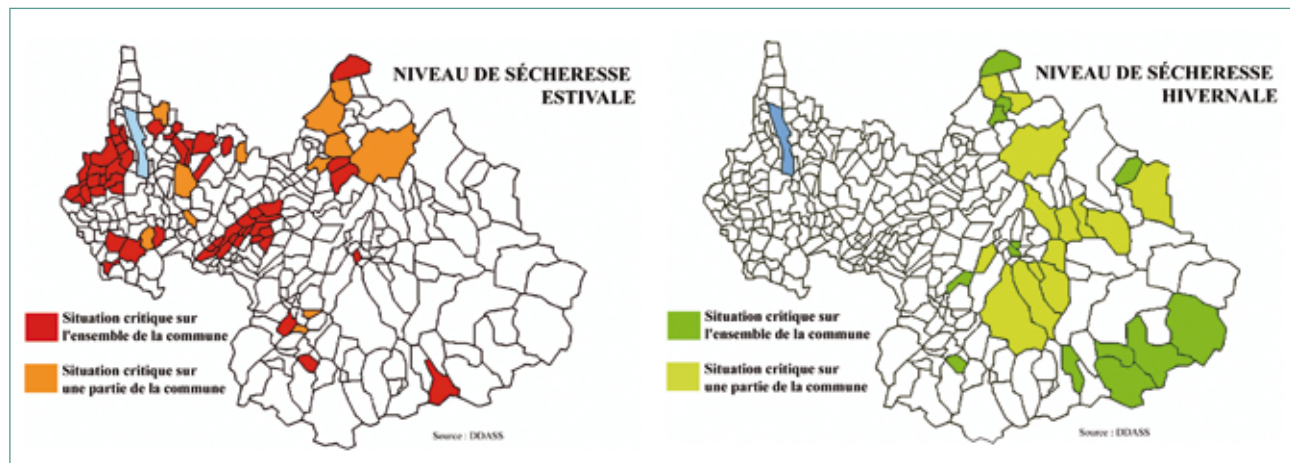
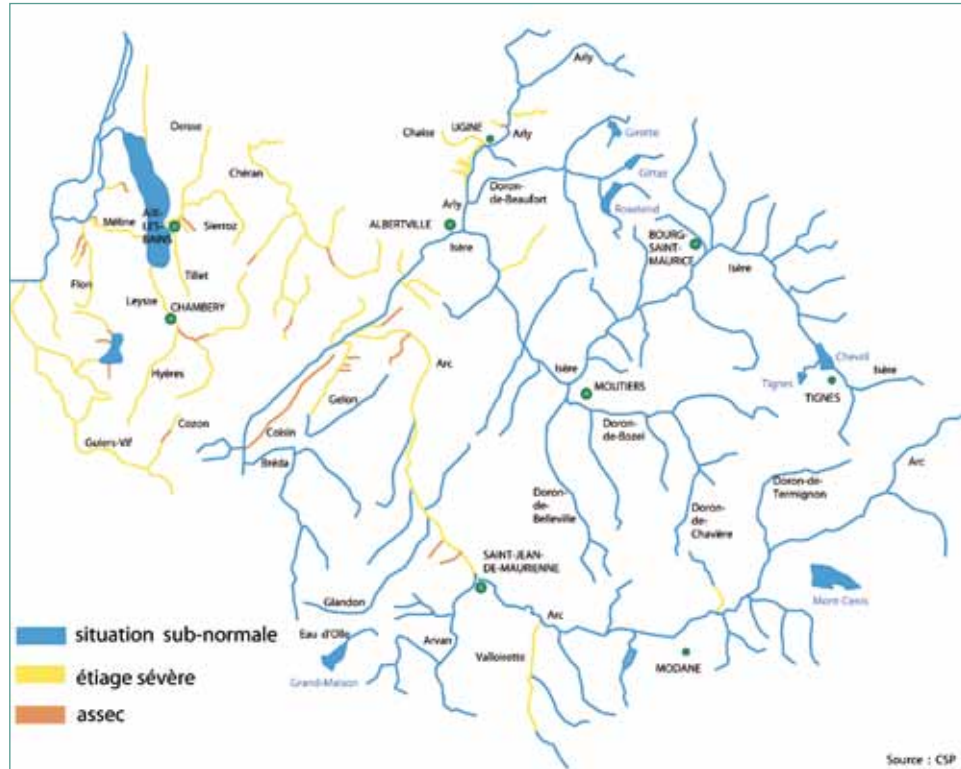


Fig. 12 - Conséquences de la sécheresse de l'année 2003 sur l'alimentation en eau potable des collectivités publiques DDASS

En été, les territoires de l'ouest du département ont été les plus touchés (insuffisance de la ressource en eau, difficultés techniques, populations importantes, massifs calcaires).

Fig. 13 - Conséquences de la sécheresse de l'hiver 2003/2004 sur l'alimentation en eau potable des collectivités publiques DDASS

Les communes de montagne ont également souffert de l'étiage hivernal exceptionnel, en particulier les stations de ski au moment des vacances du mois de février 2004.

Notons que pendant la période 2003/2006, le déficit de l'apport en eau dans le lac du Bourget s'est élevé à 400 millions de m³, soit 10 % de son volume. Tout comme le Sierroz, le débit moyen annuel de la Leysse a chuté de presque moitié (CISALB).

Si l'année 2003 peut servir de référence pour caractériser les conséquences locales d'une année de sécheresse sur les ressources en eau, il importe surtout de souligner ici la tendance depuis une quinzaine d'années de réduction

du module des cours d'eau de montagne. Si les périodes de sécheresse sont amenées à se répéter dans l'avenir dans le cadre du changement climatique (cf. Partie 1), il est également important de poser dès maintenant les modes de gestion des cours d'eau de montagne en prenant en compte une réduction des débits, notamment en été et à l'automne.

2. Conséquences des sécheresses de 2003-2006 sur les sources

L'observatoire des sources du Conseil général de la Savoie assure depuis 1998, le suivi mensuel de 10 sources représentatives des principaux types d'aquifères captés dans le département (DEP/Cg73).

Les débits enregistrés en 2005/2006 sur la plupart des sources ont été inférieurs à la moyenne calculée depuis 1998, les valeurs mesurées en 2006 sont globalement inférieures à celles relevées en 2005. Certaines sources ont notamment enregistré un étiage très prononcé sur l'automne 2006. Mais depuis 2007, la pluviométrie ayant augmenté, les débits sont repartis à la hausse montrant ainsi la forte réactivité des sources ainsi que leur forte sensibilité aux conditions climatiques (Fig.14).

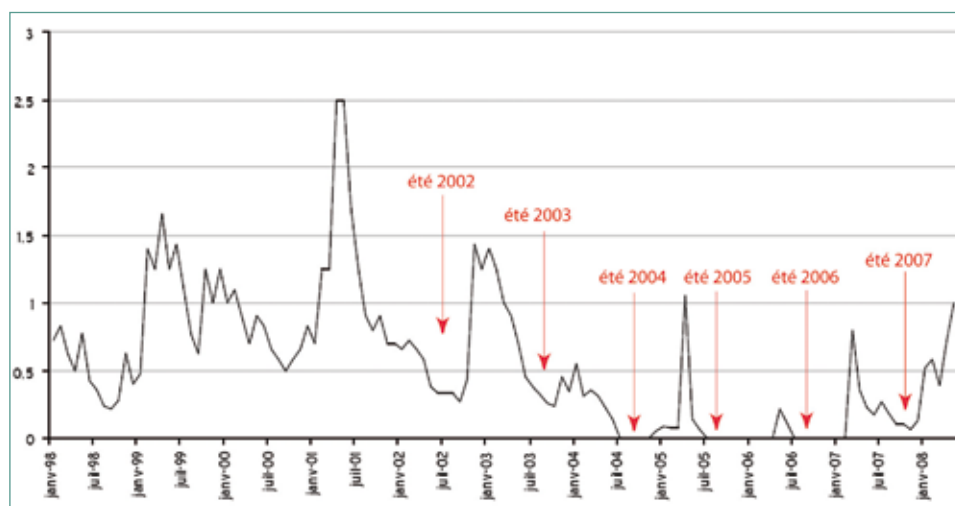


Fig. 14 - Suivi du débit (en l/s) de la source d'Ansigny (Albens) de 1998 à 2008. DEP/Cg73.

Ce suivi met clairement en évidence l'accroissement des étiages estivaux. Les autres sources de l'Avant-Pays sont touchées de manière identique.

Globalement, ce sont les sources situées à l'ouest du département qui subissent le plus fort impact lié aux sécheresses de ces dernières années (piémont et moyenne montagne). En haute-montagne, les sources apparaissent moins affectées, vraisemblablement du fait d'un meilleur soutien d'étiage lié à la fusion nivale.

La période 2003/2006 s'est caractérisée par une faible recharge et un affaiblissement généralisé des aquifères souterrains et des nappes alluviales, en liaison directe avec les cours d'eau. Pour les gestionnaires de l'eau, cette période critique a mis en avant la sensibilité des cours d'eau et des captages en eau potable par rapport aux étiages hivernaux en montagne et estivaux en plaine. Cette nouvelle situation climatique est donc à prendre en compte pour reconsidérer les équipements en eau potable, tout comme les débits réservés, le besoin en neige de culture et le remplissage des barrages.

C. Le réchauffement des eaux des lacs et des rivières

Au cours des dernières décennies, la température de l'eau des rivières a augmenté et ce parallèlement aux températures de l'air (Fig.15 et 16). Les lacs ont suivi la même tendance (Fig.17 et 18).

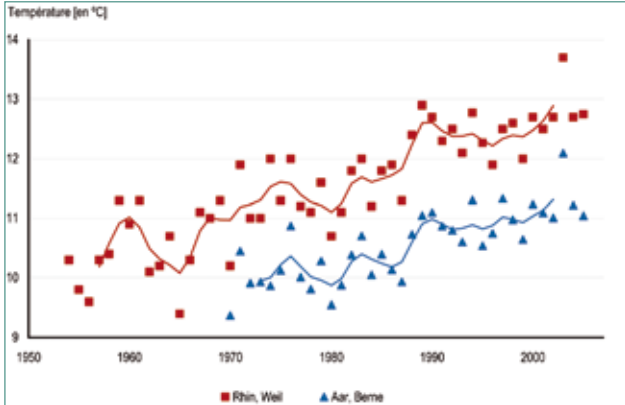


Fig. 15- Valeurs annuelles moyennes (symboles) et moyennes mobiles sur sept ans (courbe) de la température de l'eau du Rhin à Weil (depuis 1954) et celle de l'Aar à Berne (depuis 1970). OFEV, 2007

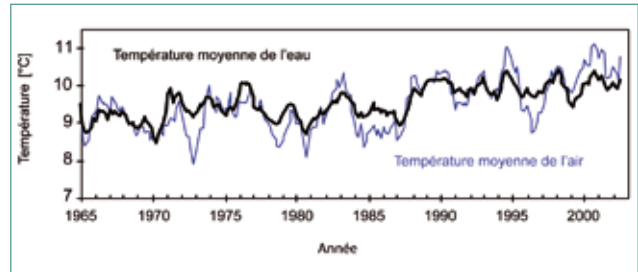


Fig. 16 - Augmentation de la température moyenne de l'eau dans les lacs suisses (courbe noire) et de la température moyenne de l'air depuis 1965 (courbe bleue). OFEV, 2007



Fig. 17 - Températures moyennes annuelles du Lac du Bourget mesurées à une profondeur de 2 m de 1984 à 2009. Données CISALB - INRA, CALB, analyse C. Chaix. L'eau s'est réchauffée de plus de 1°C depuis 1984.

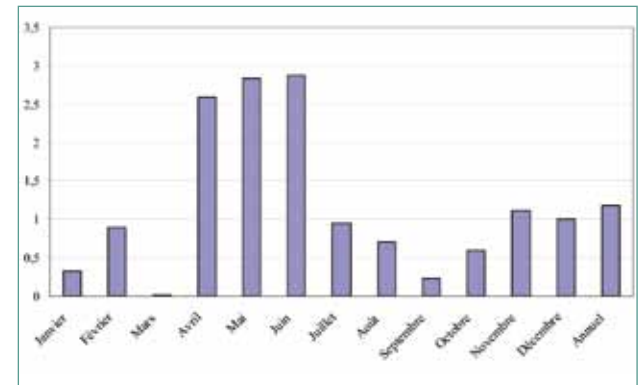
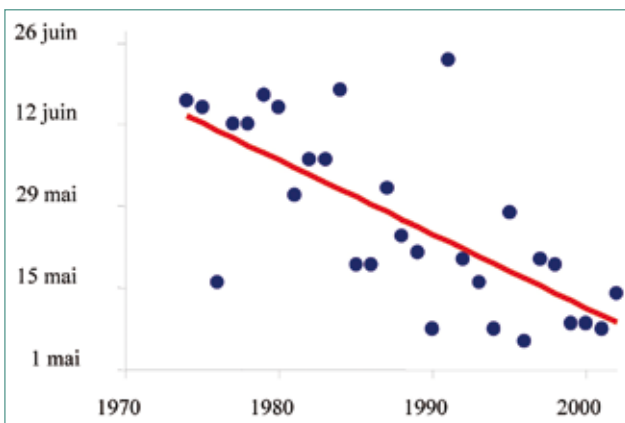


Fig. 18 - Augmentation des températures mensuelles de l'eau du Lac du Bourget à une profondeur de 2 m de 1984 à 2009. Données CISALB - INRA, CALB, analyse C. Chaix. Ces augmentations mensuelles suivent celles de l'air mesurées à Voglans par Météo-France. On retrouve une tendance similaire dans les autres grands lacs alpins français.

Fig. 19 - Evolution des dates de début de la stratification thermique du Lac Léman INRA



Dans les lacs, le réchauffement de l'air a un plus fort impact sur la partie superficielle qu'en profondeur. Cela se traduit par une diminution de la fréquence des brassages en hiver et par une moindre oxygénation des eaux en profondeur. La réduction des brassages se caractérise par une **stratification thermique** des eaux du lac qui, en 30 ans, a avancé de plus d'un mois dans l'année hydrologique (une année hydrologique est une période de 12 mois qui débute après le mois habituel des plus basses eaux). La stabilité de la stratification en densité a ainsi augmenté et la période de stratification stable dure plus longtemps en été (deux à trois semaines de plus qu'en 1950) (Fig.19). Pour les lacs d'altitude, la gelée hivernale peut réduire ce problème, mais les lacs gèlent de moins en moins ... Il résulte de l'ensemble de ce processus de stratification **une moindre oxygénation des couches profondes**. Dans le lac du Bourget, ce phénomène est accentué par le plus faible renouvellement des eaux dû au

moindre débit de la Leysse et du Sierroz (cf. débits des rivières en Savoie). **Ce qui allonge la période de renouvellement des eaux** par les rivières qui est passée de 7 à 10-11 ans en 30 années.

Ces phénomènes provoquent des **problèmes de reproduction des salmonidés** et un développement plus important des phytoplanctons (démarrage précoce de 2 à 4 semaines d'avance). Des détails sur ces impacts sont précisés dans le chapitre Biodiversité.

Du fait du réchauffement des températures dans les rivières comme dans les lacs, on relève une modification des conditions de vie et de la chaîne alimentaire.

Les différents constats sur le régime hydrologique des cours d'eau de montagne, les sources et les lacs alpins, sont le reflet des effets actuels du changement climatique qui s'est accentué depuis les années 1980 (cf. Partie 1). Dans ce travail de prospective, il est important de poser les effets à venir du changement climatique sur la ressource en eau.

3• PROJECTIONS A VENIR DES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES EN EAU

Nous avons déjà pu constater quelques-unes des conséquences du changement climatique sur les ressources en eau, notamment avec la succession de périodes sèches (faible pluviométrie, forte chaleur, forte évapotranspiration). Ces événements, aujourd'hui exceptionnels, sont amenés à se reproduire avec une plus forte fréquence (cf. Partie 1). D'autres facteurs pourront par ailleurs accentuer l'ampleur de ces phénomènes :

- La réduction de la couverture nivo-glaciaire, voire dans certains secteurs leur disparition, aura pour effet d'accroître les étiages estivaux et automnaux, qui seront d'autant plus importants que l'alimentation des cours d'eau sera réduite du fait de l'indigence annoncée des précipitations estivales.
- La fonte nivale précoce entraîne un pic de crue en mai, avec un mois d'avance environ.
- La fin de l'automne et l'hiver pourront être marqués par une augmentation significative des débits due à une proportion plus importante de précipitations liquides (Fig. 20 et 21).

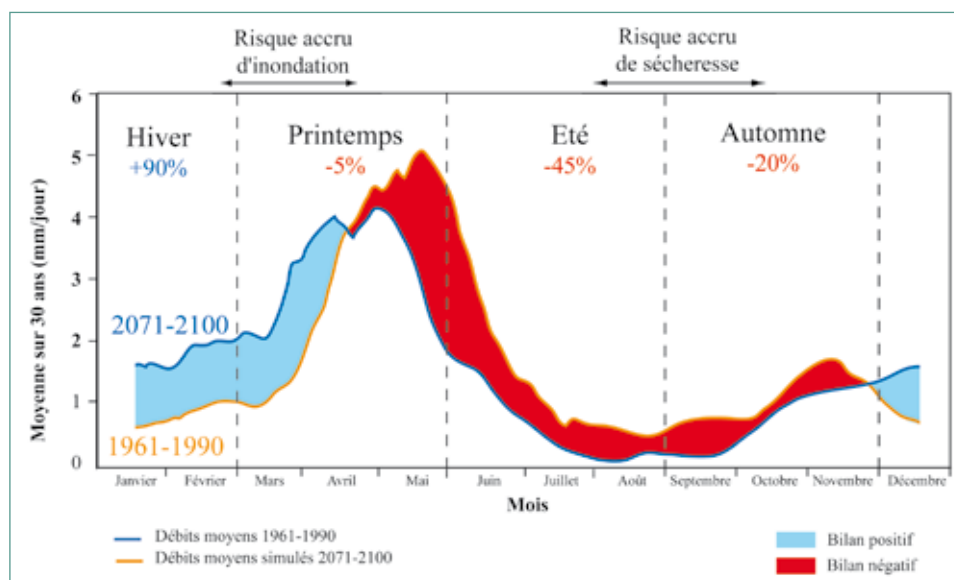


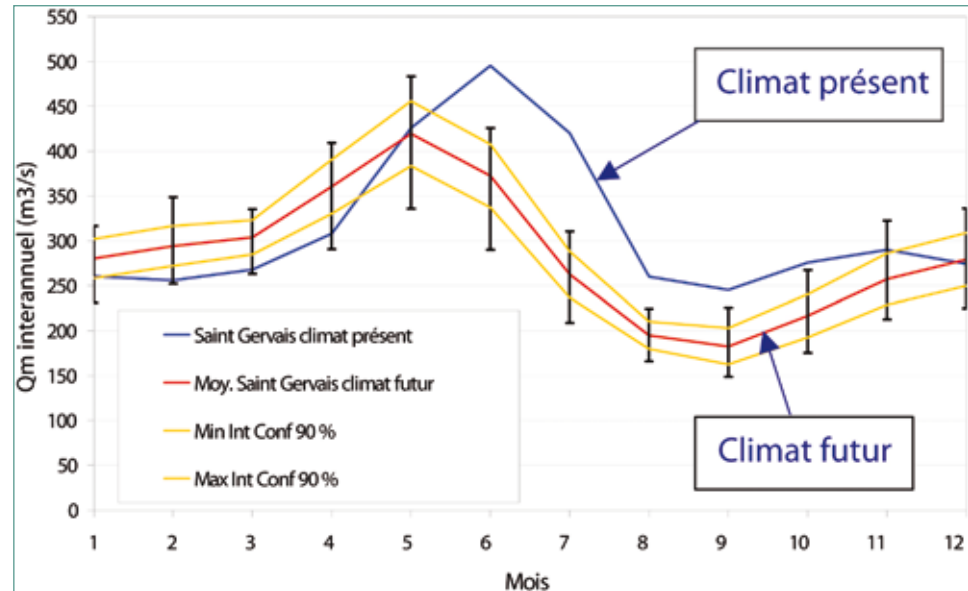
Fig. 20 - Evolution des écoulements des eaux de surface dans les Alpes et projection. (D'après M. Beniston)

- L'élévation de la température combinée avec la migration en altitude de la couverture végétale se traduit par un accroissement de l'évapotranspiration aux dépens des infiltrations qui alimentent les aquifères souterrains. Ce phénomène sera d'autant plus marqué que le démarrage de la végétation est de plus en plus précoce et que celui-ci est très consommateur en eau. La combinaison de ces différents paramètres se traduit par une diminution des volumes d'eau retenus en altitude. Le changement climatique sera très vraisemblablement synonyme d'une raréfaction de la ressource en eau et assurément d'une accentuation des extrêmes et notamment des étiajes.

Fig. 21 - Evolution des débits de l'Isère à St-Gervais-le-Port.

(Etchevers, EDF, in Redaud et al., 2002)

La commune de St-Gervais-le-Port est située à l'ouest du massif du Vercors, entre Moirans et Romans-sur-Isère. Le soutien d'étiage est affaibli de - 26 % en moyenne (- 8 à - 39 % selon simulation). La lame d'eau en moyenne est diminuée de 9 % (+ 4 à - 26 % selon simulation). Min/Max Int Conf 90 % : intervalle de confiance min / max à 90 %



4• ANTICIPER LES CHANGEMENTS

Compte tenu des effets constatés et attendus du changement climatique sur la ressource en eau, il est nécessaire de travailler dès maintenant sur les différentes stratégies d'adaptation et la définition de modes de gestion adaptés au contexte géologique, naturel et territorial.

Avant toute action de recherche de nouvelles réserves hydrologiques (nappes alluviales), un certain nombre d'actions de bon sens sont à mettre en œuvre :

- stabiliser ou réduire la consommation en eau dans ses différents usages (domestique, irrigation, industrie, tourisme, neige de culture ...).
- améliorer la gestion des services d'alimentation en eau potable, le traitement des fuites et le renouvellement des réseaux.
- poser les bases d'une gestion globale et raisonnée de l'eau en mettant en avant les responsabilités des différents acteurs intervenant dans l'exploitation et/ou l'usage de l'eau.
- adopter une gestion intercommunale et solidaire à l'échelle des bassins versants.

D'autres actions sont également à rechercher dans **un stockage raisonné de l'eau en montagne** afin de pouvoir en disposer durant les périodes où elle vient à manquer. Cette solution doit venir compléter les actions précédentes et devra être soumise à une étude à l'échelle des bassins versants qui inclut les secteurs de Piémont. En effet, face aux risques de pénurie, de sécheresse, de dégradation de la qualité et de conflits d'usage, il importe de poser clairement les incidences des différents aménagements hydrauliques et usages de l'eau en montagne. Si la raréfaction de l'eau ne se pose pas encore en montagne, celle-ci se pose d'ores et déjà avec acuité dans certaines vallées et sur le Piémont. Quels sont les avantages



et inconvénients des retenues collinaires qui se multiplient en vue de la fabrication de la neige de culture ? Quelles sont les incidences des retenues hydroélectriques et des dérivations dans le processus généralisé d'incision des cours d'eau de montagne, d'alimentation des nappes alluviales et de destruction des capacités de stockage de l'eau des zones humides ? On pourrait multiplier les questionnements tant ces relations amont-aval ont été jusqu'ici éludées. La raréfaction de la ressource en eau combinée à un accroissement de notre consommation ne seront pas sans conséquence dans les années qui viennent et pourraient se traduire par des conflits d'usage. **Une solution passe par l'élaboration d'outils locaux de concertation tels que les contrats de rivière.** On peut citer, en exemple, le futur Contrat de Bassin Versant porté par l'Assemblée du Pays Tarentaise Vanoise, qui s'appuie sur un recensement, à l'échelle de petits bassins versants, des débits spécifiques à chaque usage et permet une modélisation de l'impact des projets de développement (ODIT France).

Afin de limiter la multiplication de stockage d'eau en montagne, le recours aux barrages et aux retenues gérés par EDF est une solution a priori viable (le recul n'est toutefois pas encore assez grand pour en juger) qui peut s'intégrer dans des schémas directeurs d'eau potable en partenariat avec EDF à l'instar de celui de la commune de la Rosière Montvalezan. Parallèlement à la production d'hydroélectricité, les nouvelles conventions de partenariat avec EDF permettent à la fois de sécuriser l'alimentation en eau potable, et de combattre les risques d'incendies et d'assurer l'enneigement artificiel des domaines skiables. **Ces schémas directeurs «prospectifs»** (étude à l'horizon 2020) constituent des **vecteurs pertinents de gestion des conflits d'usage** surtout en période hivernale. Dans ce contexte, EDF est un acteur incontournable même si les prélèvements dans les barrages auront aussi, à ne pas en douter, des impacts sur les ressources en eau, notamment si la couverture nivo-glaciaire se réduit alors que les besoins augmentent.

De nombreuses pistes de réflexion restent à explorer pour apporter de bonnes réponses à une vraisemblable raréfaction de la ressource en eau et à une accentuation des extrêmes hydrologiques. Selon le contexte hydrogéologique, le contexte géographique (haute montagne, moyenne montagne et piémont), les usages de l'eau, **il faudra adopter non pas «un» mais «des» modes de gestion de l'eau adaptée aux données environnementales et territoriales.** Leur définition nécessite une meilleure connaissance des ressources en eau en montagne et des incidences du changement climatique. Il faut reconnaître que dans certains secteurs, **faute de données hydrologiques,** il est difficile de poser de bons diagnostics et d'élaborer des solutions adaptées. La prospective 2020 passe aussi par le développement de nouvelles recherches hydrologiques, notamment dans les zones à forts enjeux territoriaux, économiques et environnementaux.

> LE TOURISME

1 • L'IMPORTANCE DU TOURISME DE MONTAGNE EN SAVOIE

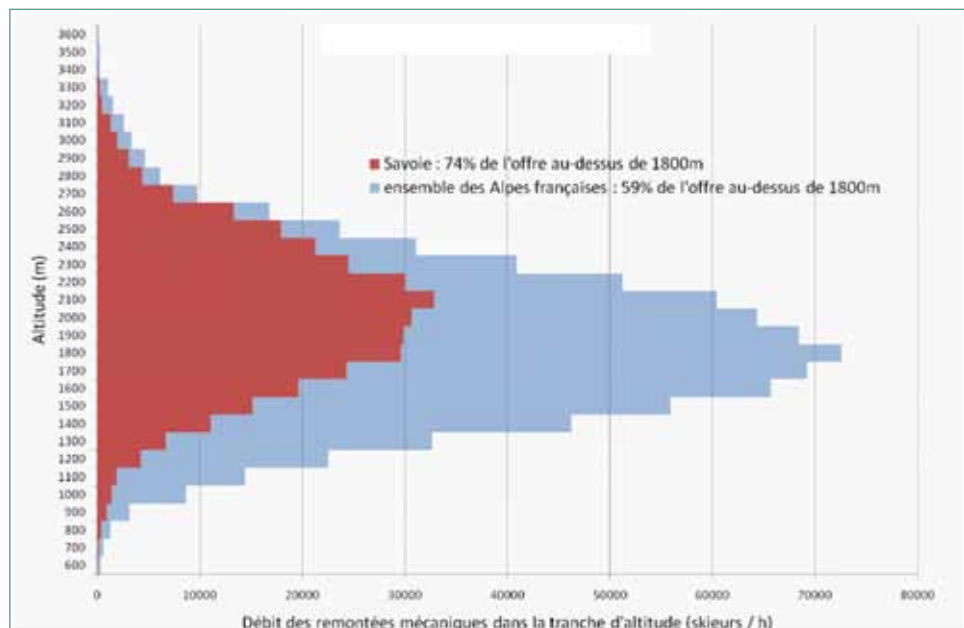
Le tourisme est un des principaux moteurs de l'économie de la Savoie. Il représente environ 50 % du Produit Intérieur Brut du département et constitue un des principaux gisements d'emplois. La réputation des grands domaines skiables, leurs équipements, la qualité de l'enneigement lui assurent une notoriété internationale que les Jeux Olympiques de 1992 sont venus conforter. Par ailleurs, la Savoie dispose d'un riche patrimoine culturel, des produits du terroir de qualité, mais aussi d'un patrimoine naturel exceptionnel, en partie préservé avec le Parc national de la Vanoise (premier parc national créé en 1963) et deux parcs naturels régionaux.

Le tourisme s'organise en Savoie autour de deux temps forts : une saison hivernale largement dominante, qui continue de progresser, certes de manière plus faible que les périodes précédentes, et une saison d'été, souvent réduite à un mois, dont la fréquentation ne cesse de s'éroder au fil des ans.

Spécificité savoyarde de l'offre de ski :

- Une offre majoritairement située en altitude, relativement protégée des récentes variations climatiques actuelles (fig.1) ;
- Une offre majoritairement composée de très grandes stations, en bonne santé économique (fig.2 et 3).

*Fig.1- Altitude de l'offre de ski alpin en Savoie et dans les Alpes françaises
STRMTG, traitement ODIT
France*



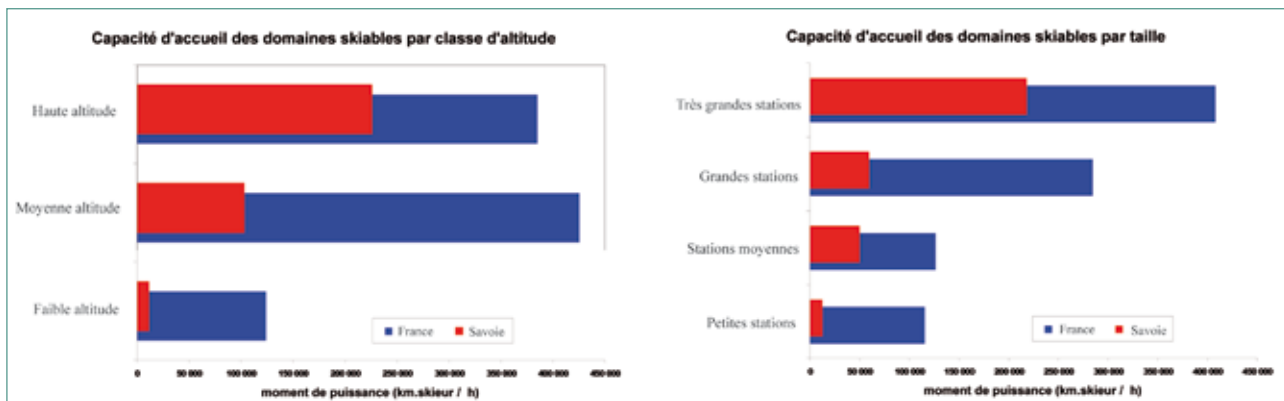


Fig. 2 - Capacité d'accueil des domaines skiables par classe d'altitude
ODIT-FRANCE

Fig. 3 - Capacité d'accueil des domaines skiables par taille
ODIT-FRANCE

A. L'activité touristique hivernale

Les remontées mécaniques des stations savoyardes réalisent 46 % du chiffre d'affaires de ce secteur en France, avec huit stations savoyardes dans les dix premières places (Montagne Leader, 2008). Cela est dû aux grandes stations d'altitude (La Plagne, Courchevel Méribel, Les Arcs, Vallée des Belleville, Tignes, Val d'Isère, etc.). Plusieurs stations de moyenne altitude connaissent toutefois de réelles difficultés en raison du manque d'enneigement et parce que la clientèle se reporte sur les stations de plus haute altitude les années où l'enneigement est faible (Fig.4).

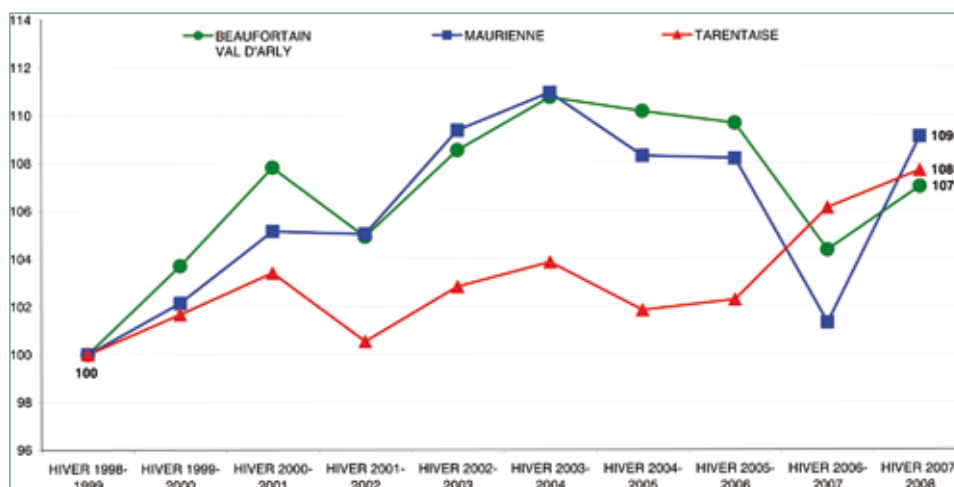


Fig. 4 - Evolution de la fréquentation touristique hivernale. Périmètre à neige Savoie. Méthode des Flux (nuitées) ; Base 100 en 1998-99.

BET François Marchand.
On remarque les conséquences des incidents climatiques (déficit d'enneigement) de 2001/2002 et surtout 2006/2007. Les touristes se sont reportés sur les stations de haute altitude, notamment de Tarentaise. En 2007/2008, la fréquentation est restée forte en Tarentaise.

Plusieurs questions se posent quant au devenir des stations de sports d'hiver, en dehors de la problématique climatique :

- Pourra-t-on maintenir une croissance, même faible, de la fréquentation des stations de ski avec une tendance au renchérissement du coût et au positionnement de plus en plus haut de gamme ? Existe-t-il un risque de rupture ?
- Comment traiter les autres aspects du développement durable, et notamment la question des déplacements et des hébergements moins consommateurs d'énergie, celle d'une gestion plus économe, moins prédatrice, des ressources naturelles (comme l'eau, la biodiversité, etc.), ou encore les paysages, qui constituent par ailleurs le socle de l'attractivité de la Savoie ?

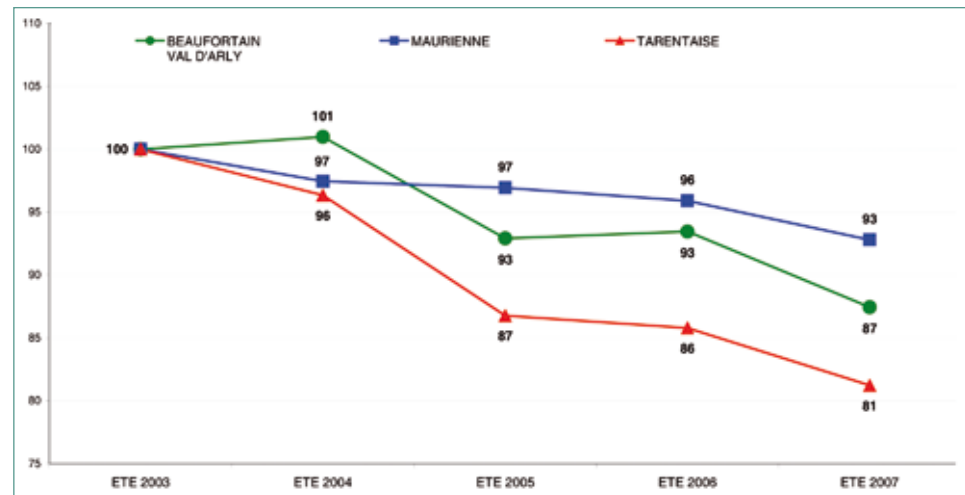
B. L'activité touristique estivale

Contrairement à la saison d'hiver pour laquelle la Savoie bénéficie, au niveau

climatique, d'une position de rente (enneigement abondant et garanti en altitude), la concurrence est plus forte pour le tourisme estival, pour lequel les atouts de la Savoie ne se démarquent pas, ou peu, par rapport à ceux d'autres régions qui ont investi depuis plusieurs décennies les différents créneaux du tourisme «vert».

L'activité estivale en Savoie repose sur des périmètres plus larges que le seul périmètre de la station. L'espace de consommation s'élargit considérablement par rapport à celui de l'hiver, et irrigue les vallées et des zones qui sont moins concernées par l'activité «neige». Mais le fonctionnement des territoires de montagne reste fortement marqué par celui de l'hiver et, de ce fait, adopte un modus operandi calqué sur celui-ci. Malgré une offre variée, la montagne estivale ne séduit pas ou ne séduit plus, la fréquentation a fortement diminué depuis 20 ans (Fig.5). Les raisons sont à rechercher du côté de la demande, qui a connu une grande mutation sociologique, mais aussi de l'offre très majoritairement formatée pour l'hiver (Odit-France, F. BERLIOZ, Actes des Entretiens de la Montagne 2006 ; MITRA).

Fig. 5 - Evolution de la fréquentation touristique estivale. Secteurs montagne. Méthode des Flux (nuitées) ; Base 100 en 2003.
BET François Marchand
On observe l'érosion de la fréquentation estivale depuis 2003 (qui fut par ailleurs une bonne année touristique).



De cette rapide présentation du tourisme en Savoie, ressortent les points suivants :

- **la forte dépendance de l'économie touristique savoyarde au ski** qui se maintient à un haut niveau de fréquentation ;
- **une relative rente de situation pour les stations d'altitude** notamment en ce qui concerne leur enneigement et la qualité des équipements ;
- **une forte vulnérabilité de la saison estivale**, plus exposée à la concurrence, avec une dégradation de l'image «montagne» hors saison d'hiver. On relève que **l'érosion du tourisme estival se poursuit** sur l'ensemble du territoire et que la Tarentaise est parmi les secteurs les plus touchés, ce qui dénote que les grandes stations d'altitude attirent peu les estivants.

L'évolution du tourisme est déterminée par une multitude de facteurs plus ou moins identifiés qui interagissent entre eux, rendant le système complexe. **La météo** (chute de neige, hiver doux, été maussade ...) **influe fortement sur le tourisme** mais de manière conjoncturelle. **La poursuite du changement climatique** peut, par contre, avoir une influence de plus en plus importante, notamment avec une répétition d'hivers doux et sans neige. Les impacts réels de ces changements sur le secteur touristique restent pour l'instant difficiles à évaluer, compte tenu des solutions qui ont été jusqu'ici trouvées pour pallier les manques ou l'irrégularité du manteau neigeux (neige de culture, aménagement des pistes...). Si la prudence s'impose dans une démarche prospective, **il importe cependant de poser clairement les effets potentiels du changement climatique sur le tourisme savoyard.**

2• CHANGEMENT CLIMATIQUE ET TOURISME

Le tourisme est largement lié aux conditions climatiques locales qui influencent le choix de destinations, avec une attente forte en matière d'ensoleillement. Les activités touristiques sont elles-mêmes souvent dépendantes de ressources directement liées au facteur climat (eau, neige...). A noter que, plus que les changements eux-mêmes, c'est souvent la perception de ces changements qui détermine les choix touristiques (effets d'annonce).

Le changement climatique risque ainsi d'affecter de manière significative les flux touristiques : une anticipation des impacts du changement climatique peut permettre de valoriser les atouts des territoires au lieu de les pénaliser, en permettant une adaptation de l'offre face à une demande qui reste très évolutive.

A. Impacts observés ou projetés

Dans la première partie de ce Livre Blanc, les différents effets du changement climatique ont été relevés tant en ce qui concerne l'augmentation des températures, la diminution de l'enneigement que l'émergence et l'occurrence de nouveaux risques. Le tourisme en montagne est particulièrement sensible au changement climatique dès lors qu'il influence un certain nombre de fondamentaux comme :

- **la durée et la qualité de l'enneigement**, voire son absence, peuvent altérer le maintien et le développement du tourisme hivernal notamment dans les secteurs où l'enneigement n'est pas garanti d'une année sur l'autre. De même, **la fréquence d'hivers plus chauds et plus courts** ne sera pas sans conséquence,
- l'alternance de canicules et d'étés maussades n'est guère de bon augure pour le développement et même parfois le maintien du tourisme estival. Néanmoins, la répétition d'**épisodes caniculaires** peut aussi profiter au tourisme de montagne car les effets y sont plus nuancés que dans les vallées et les plaines. **La modification des régimes hydrologiques** en période estivale (étiage marqué) peut également influencer les activités autour des cours d'eau et de certains lacs,
- **les risques naturels** : l'intensification des précipitations extrêmes (crues), le recul du permafrost en altitude (facteur d'écroulement de parois de haute altitude, exemple des Drus dans le massif du Mont-Blanc), l'avancée des pics hydrologiques dans l'année, l'accentuation des laves torrentielles, sont des facteurs de risques non négligeables, tant en termes d'accès aux domaines touristiques qu'en termes d'image,
- **l'altération des paysages** «considérés comme typiques» (recul des glaciers, fermeture des paysages...).

Indirectement, le tourisme est également concerné par les effets du changement climatique sur l'agriculture, la sylviculture ou le régime des eaux, et les stratégies d'adaptation mises en œuvre dans ces domaines qui participent aussi à l'offre touristique des territoires de Savoie et à leur image. **Dans ces nécessaires mutations de l'économie touristique, le changement climatique est un facteur à intégrer au même titre que les évolutions économiques, sociales, environnementales, ou le changement des pratiques de consommation.**

B. Opportunités et risques

Si le changement climatique représente un facteur non négligeable de changement des pratiques et des offres touristiques, il constitue également une opportunité pour s'orienter sur la diversification du tourisme en Savoie et sur des offres mieux adaptées aux spécificités environnementales et territoriales.

La Savoie, grâce à l'altitude des grands domaines skiables, pourra continuer de bénéficier d'un «bon» enneigement, notamment par rapport aux autres territoires alpins. Cette relative garantie dans les années qui viennent doit aller de pair avec l'adoption de nouveaux modes de gestion de la ressource en eau notamment et la mise en œuvre d'une solidarité territoriale entre l'amont et l'aval.

Les divers risques et opportunités qui se présentent pour les Alpes, les Préalpes, les régions de lacs peuvent être décrits comme suit :

Les massifs internes

Pour les domaines d'altitude, il existe une relative sécurité d'enneigement qui constitue un réel atout vis-à-vis des autres massifs de moindre altitude. La fraîcheur en altitude pendant l'été peut être un autre facteur non négligeable d'attractivité, notamment lors des étés chauds et des épisodes caniculaires. Cet aspect a encore peu joué compte tenu de l'offre des stations plus tournées vers l'offre hivernale qu'estivale.

Les Préalpes

Les Préalpes sont des destinations de choix pour le tourisme à la journée et de court séjour. Elles pourraient pleinement en profiter en été, mais aussi au printemps et en automne. Les conditions d'hébergement (gîtes ruraux, station-villages ...) se prêtent bien à cet éventuel développement touristique.

La raréfaction de la neige en hiver constitue un réel handicap pour ces massifs de moyenne altitude ; handicap qui ira en s'accroissant si on se réfère aux tendances climatiques annoncées (cf. Partie 1). Cette raréfaction de la neige remet en question, à terme, la viabilité de nombreux domaines skiables.

Les régions de lacs

Ces régions sont actuellement le lieu d'un tourisme d'excursion non négligeable et présentent un réel potentiel de croissance si les températures augmentent notamment en été (lieu privilégié de rafraîchissement, baignade, etc.). Le tourisme balnéaire estival représente une opportunité pour certaines régions de lacs même si une attention devra être portée à la qualité des eaux et à leur moindre oxygénation due à l'augmentation de leur température (cf. précédemment).

Ces opportunités et ces risques doivent être lus comme des tendances ; il s'agit de les anticiper au mieux, **tout en sachant que les causes climatiques ne sont qu'un paramètre parmi de nombreux autres qui assurent ou non le maintien des activités touristiques.**

Si le changement climatique devait être encore plus important, certains de ces aspects, aujourd'hui considérés comme des opportunités, pourraient se révéler problématiques pour le tourisme savoyard (risques naturels, absence de neige, etc.). Il s'agit donc de suivre ces évolutions de très près.

Les activités touristiques qui apparaissent les plus menacées par le changement climatique sont, dans l'état actuel des connaissances :

- les différentes pratiques du ski du fait d'une réduction de l'enneigement.
- les activités de haute montagne (alpinisme, randonnée) à cause d'une augmentation des risques naturels (écroulements, chute de séracs, ...).
- les activités d'eaux vives du fait de l'accroissement des étiages, voire des assèchements estivaux, ou du régime torrentiel des pluies (événements extrêmes).

C. Conséquences du déficit d'enneigement

1. Des impacts différenciés.

La durée de l'enneigement et l'épaisseur du manteau neigeux sont deux paramètres essentiels pour l'exercice des activités liées au ski. Si, avec 10 cm de neige on obtient un paysage blanc, les conditions jugées optimales pour la pratique du ski et la satisfaction de la clientèle correspondent à une couverture nivale de l'ordre de 40 cm, même si une épaisseur inférieure peut être suffisante.

Dans le contexte du réchauffement climatique, les stations de haute altitude seront relativement épargnées et bénéficieront, de surcroît, du report des clientèles provenant des stations plus touchées de moyenne ou basse altitude. Ces dernières, lorsqu'elles ne disposent pas d'un accès à des domaines skiables situés beaucoup

plus haut, seront sérieusement handicapées. Leur capacité à résister dépendra tant de la qualité urbanistique que des possibilités de diversification.

Il faut s'attendre, avec le changement climatique, à une redistribution des bénéfices économiques du ski alpin selon les stations. Les années de manque de neige montrent une redistribution des recettes sur les massifs enneigés, avec une demande qui reste stable, contrairement à l'année 2006 et son enneigement abondant et bien réparti dans l'ensemble de la montagne. Les quelques enquêtes existantes (en Suisse notamment) montrent que peu de skieurs envisagent de se passer de leur loisir avec le changement climatique (TEC, 2006).

Une attention doit être portée au ski de fond et aux autres activités liées à la neige (balades en raquette, motos-neige, etc.). Le ski de fond est actuellement essentiellement pratiqué en moyenne montagne, là où pourrait se poser dans l'avenir un problème de durée et d'épaisseur du manteau neigeux. Or, la modicité des recettes du ski de fond et la longueur des pistes ne permettent pas d'envisager un recours à la neige de culture (sauf très ponctuellement et sur quelques sites très spécifiques), pas plus que leur relocalisation en plus haute altitude (hauts plateaux). Il y a là de nouveaux enjeux en termes de pratiques et de diversification.

2. Quelle viabilité pour les stations de ski ?

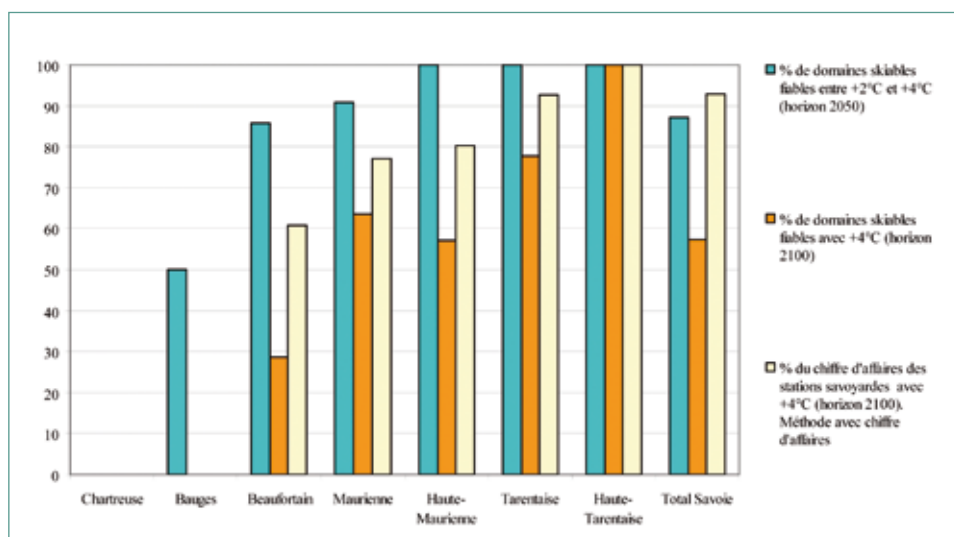
Les stations de ski dépendent de facteurs naturels ou économiques dont elles peuvent limiter les impacts comme, par exemple, en ayant recours à la neige de culture. Afin de mieux préciser quels pourraient être les impacts du changement climatique sur la fiabilité de l'enneigement des domaines skiables et les répercussions économiques, différentes approches sont ici exposées :

- Si on se réfère **aux études de l'OCDE**, sont mises en avant la règle des cents jours et la limite de fiabilité de l'enneigement naturel. Cette approche met l'accent sur les paramètres climatiques et altitudinaux au niveau départemental et prend peu en compte les aspects locaux. Selon ces études, 10 % des domaines skiables savoyards ne seraient plus viables pour une augmentation des températures de + 2°C (horizon 2050), et 30 % pour une augmentation de + 4°C (horizon 2100) (OCDE, 2007).

- Si on se réfère **aux études plus locales**, on relève qu'elles reprennent la méthode de l'OCDE mais en affinent les résultats. Les altitudes de la limite de fiabilité de l'enneigement naturel sont ainsi redéfinies par massif. Cette approche par massif permet de mieux cerner quels seront les territoires les plus impactés par le changement climatique (Fig.6). Au total, sur l'ensemble du département, les résultats sont plus pessimistes que l'étude de l'OCDE. En effet, 13 % des domaines skiables ne seraient plus viables pour une augmentation comprise entre + 2°C et + 4°C, et 43 % pour une augmentation de + 4°C (DDT, 2009). Pour les stations assez hautes en altitude, seuls les bas de versants exposés au sud seraient impactés par le manque de neige (retour à la station en ski difficile). Pour les massifs les plus vulnérables, c'est l'ensemble du domaine skiable qui pourrait connaître un déficit chronique de neige (fonte liée aux redoux, avant-saison et arrière-saison douces et sans neige, etc.).

Fig. 6 – Fiabilité de l'enneigement des domaines skiables savoyards en fonction du réchauffement climatique. Classement par massif. Etude localisée et par chiffre d'affaires. CHAIX, C., d'après DDT, 2009.

L'altitude de fiabilité de l'enneigement est calculée par massif et l'altitude de chaque station en fonction des remontées mécaniques



Il est important de préciser que ces études ne permettent pas de restituer l'ensemble des paramètres qui jouent sur le système touristique. D'autres études pondèrent les résultats par **la moyenne des chiffres d'affaires** de 1986 à 2008, pour chacun des domaines skiables, afin de déterminer la perte en chiffre d'affaires provoquée par la réduction du manteau neigeux. Ainsi, pour un réchauffement de + 4°C, les pertes estimées seraient de l'ordre de **7 à 9 % sur la Savoie** (SNTF, 2007). On retrouve dans ces études les mêmes conclusions, tant aux échelles du département que des massifs : **ce sont les domaines situés à «basse» altitude qui sont et seront les plus impactés par le changement climatique actuel et à venir.**

Une certaine corrélation est aussi établie entre la sensibilité et l'altitude moyenne des domaines skiables : la sensibilité est toujours inférieure à 20 % lorsque l'altitude moyenne des domaines skiables est supérieure de 2 000 m. Cependant, s'il y a bien une tendance statistique à la réduction des aléas avec l'altitude moyenne, il n'en reste pas moins que deux domaines skiables d'altitude moyenne égale peuvent présenter, même au sein du même massif, des écarts importants de régularité dans les résultats (SNTF, 2007).

- ODI-FRANCE et le SNTF ont proposé, par ailleurs une carte qui intègre la résistance des stations aux mauvais hivers passés, renseignant ainsi sur leur capacité à faire face au changement climatique annoncé.

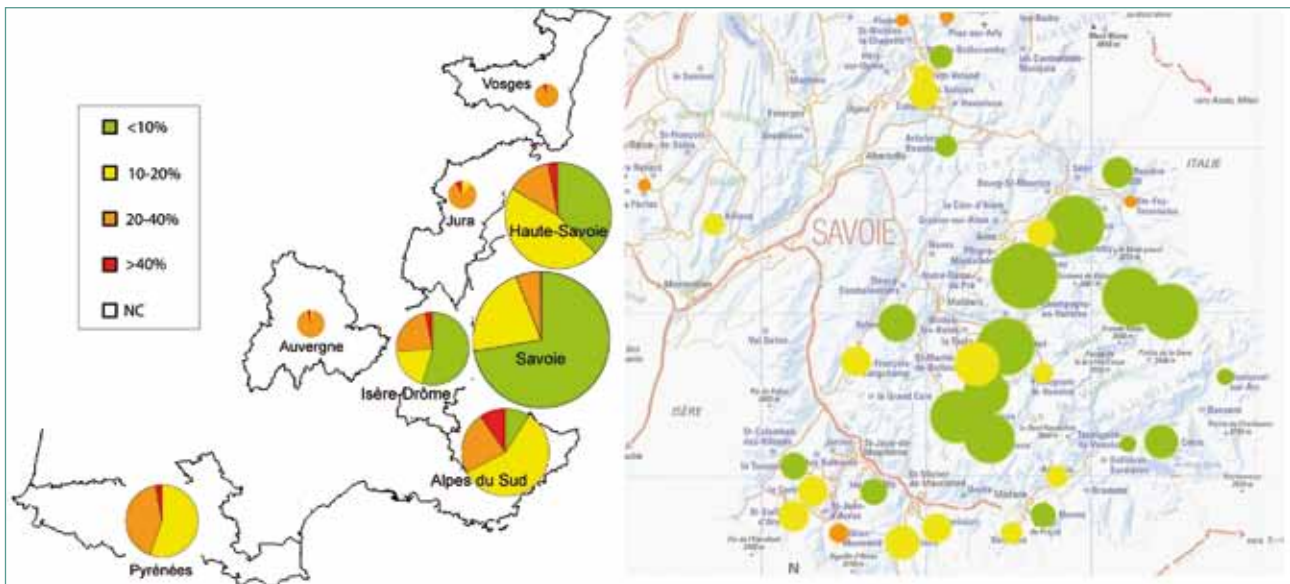


Fig. 7 - Evaluation de la sensibilité aux aléas conjoncturels (climatiques ou autres) d'une exploitation de remontées mécaniques par l'amplitude moyenne des variations saisonnières de chiffres d'affaires sur la période 1990/2007. ODI-FRANCE / SNTF

De ces différentes études mettant l'accent sur les paramètres climatiques ou sur la santé économique des domaines skiables, ressortent les points suivants :

- le réchauffement des températures impactera de manière différenciée l'économie touristique liée au ski. Les domaines skiables de basse et moyenne altitudes (inférieures à 1 600 m) sont plus particulièrement menacés du fait de leur enneigement qui sera de plus en plus aléatoire, tant en épaisseur que dans sa durée. Si on raisonne de manière plus globale, l'altitude moyenne de toutes les remontées mécaniques de Savoie étant de 1930 m, les conséquences du réchauffement climatique peuvent être globalement maîtrisables tout en sachant que, localement (bas versant exposé au sud, etc.), cela peut se traduire par de réelles difficultés. Avec un réchauffement de plus de 4°C, seules les stations de haute altitude resteront viables.
- Le massif des Bauges, le Val d'Arly et, dans une moindre mesure le Beaufortain et le massif des Arves (Maurienne) auront de grandes difficultés d'enneigement pour la pratique du ski dans la perspective d'un réchauffement des températures, même de moyenne amplitude. L'impact économique local sera très important et il convient dès à présent de prendre des mesures de diversification pour adapter ces territoires aux changements à venir.

3• STRATEGIES D'ADAPTATION

Outre les stratégies de réduction des émissions de gaz à effet de serre qui ont été développées dans la deuxième partie de ce document, **il convient de déterminer les stratégies d'adaptation face aux changements des conditions climatiques qui vont impacter le tourisme d'été comme d'hiver.**

En Savoie, les sports d'hiver attirent un tourisme de masse à forte valeur ajoutée, soumis aux aléas de l'enneigement. Le défi réside dans la définition des moyens techniques ou économiques à mettre en œuvre pour s'adapter aux changements climatiques annoncés. Si c'est l'ensemble du territoire qui s'adapte à une nouvelle demande touristique (stratégies et raisonnements à long terme), les conséquences de ces changements pourront être absorbées. Cette capacité de changement est indispensable pour pouvoir relever les nouveaux défis du tourisme en montagne.

A. Le recours à la neige de culture

L'utilisation de la neige de culture concerne aujourd'hui l'ensemble des massifs français, y compris ceux de haute altitude. Il est, en effet, rapidement apparu aux exploitants que l'intérêt de la neige de culture ne se limitait pas aux secteurs naturellement mal enneigés, mais que du fait de sa densité, elle fournissait également une excellente sous-couche pour une couverture nivale naturelle, notamment sur les pistes les plus fréquentées et sur les liaisons.

Le recours à la neige de culture revêt les avantages économiques suivants : elle permet (i) d'assurer le début de saison, (ii) de prolonger la fin de saison, (iii) de favoriser le retour à ski vers les stations de moindre altitude et (iv) de répondre aux variations climatiques durant la saison (redoux). C'est la solution pour lutter contre le déficit d'enneigement, surtout pour les domaines skiables situés à «basse» altitude.

La production de neige artificielle présente également des contreparties qu'il ne faut pas occulter. Le coût environnemental, du fait de la consommation d'énergie et d'eau qu'elle entraîne, ainsi que des répercussions écologiques (impacts sur les écosystèmes aquatiques et sur les zones humides du fait des rétentions hydrologiques dans les retenues colinéaires). Les lourds aménagements que sa production nécessite peuvent être un facteur de dégradation paysagère à laquelle sont sensibles les pratiquants du tourisme estival.

Un rapport du MEEDDM (2009) souligne le manque de données existant sur ces aspects et formule une série de recommandations, notamment sur la nécessité d'un meilleur suivi des volumes d'eau prélevés, des débits biologiques minimaux, des impacts sur la qualité de l'eau potable, de la sécurité des retenues colinéaires ou encore des émissions des GES de ce secteur.

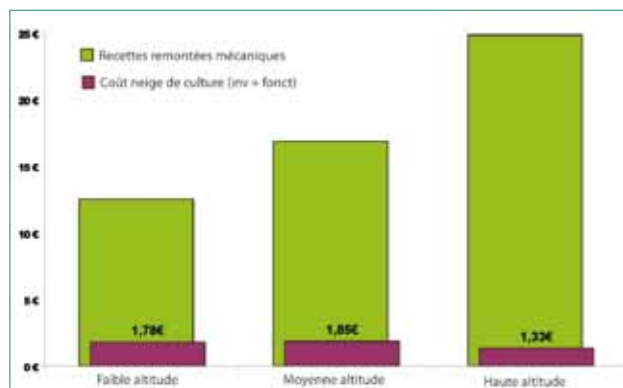
La consommation d'eau : d'un point de vue quantitatif, la consommation d'eau pour la production de neige de culture est relativement faible par rapport à la ressource actuellement disponible (voir chapitre ressource en eau). L'eau nécessaire à la neige de culture est souvent présentée comme un emprunt momentané restitué lors de la fusion nivale. Cependant, les études approfondies et sur le long terme sont peu nombreuses et trop souvent sectorisées. Il existe de réelles attentes d'études objectives prenant en compte l'ensemble des paramètres intervenant dans la fabrication de la neige de culture (retenues d'altitude, dérivation...) et sur ses impacts.

Il a, par contre, été constaté une faible perte d'eau durant le processus de fabrication entre la sortie du canon à neige et le sol par évaporation, et par fusion sur le sol (entre 2 à 4 % ou plus suivant les conditions). A la fin de la saison, la proportion de neige de culture qui s'est évaporée est quasiment identique à la neige naturelle (de 10 à 30 % du total).

La consommation d'énergie : liée à la production de neige de culture, elle est de l'ordre de 90 millions de kWh électriques en 2006/2007. Le rendement énergétique des installations de neige de culture a fait des progrès considérables puisque la production d'1 m³ de neige mobilise aujourd'hui en moyenne 2,8 kWh au lieu du double il y a 10 ans. L'amélioration de ce rendement est d'ailleurs une nécessité économique puisque le poste énergie représente 38 % des coûts de fonctionnement de la neige de culture. (Odit-France). Il convient cependant de noter que la neige de culture ne représente que 3 % de la consommation d'énergie lors d'un séjour au ski et 1 % des émissions de gaz à effet de serre.

Aspects économiques : de manière générale, la neige de culture constitue, dans les conditions climatiques actuelles un investissement productif. Il mobilise environ un tiers des sommes investies par ailleurs dans les remontées mécaniques. La durée d'amortissement de ces installations étant d'une dizaine d'années, ces calculs ne prennent en compte que les effets du changement climatique visibles à cette échéance, avec une probabilité d'occurrence d'hivers doux où les heures de froid se feront plus rares. **L'analyse «coûts/bénéfices» tourne à l'avantage des grandes stations d'altitude**, dont l'intérêt économique consiste à poursuivre l'investissement jusqu'à une sécurisation des remontées mécaniques structurantes et des pistes commerciales (environ 50 % de la surface totale de pistes), contrairement aux petites stations de faible altitude dont le taux d'équipement plafonne rapidement (Fig.8).

Fig. 8 - Coûts de la neige de culture et recettes par journée skieur
ODIT-FRANCE



Aspects climatiques : Dans le climat actuel, les conditions en heures de froid pour l'enneigement artificiel sont en grande partie réunies. Pour une saison dite moyenne, trois campagnes significatives de production de neige de culture sont effectuées, dès la mi-novembre pour les premiers froids, avant les vacances de Noël, puis avant les vacances de février. Chaque période nécessitant une centaine d'heures de fonctionnement pour une installation efficace (300 h dans l'année, SNTF). Ces conditions ont été analysées sur trois sites grâce aux données météorologiques récoltées par les installations d'enneigement artificiel :

- Les Menuires, 1 970 m, versant sud-ouest (Fig.9)
- Aussois, 1 550 m, versant sud (Fig.10).
- Valloire, 1 450 m, versant nord (Fig.11).

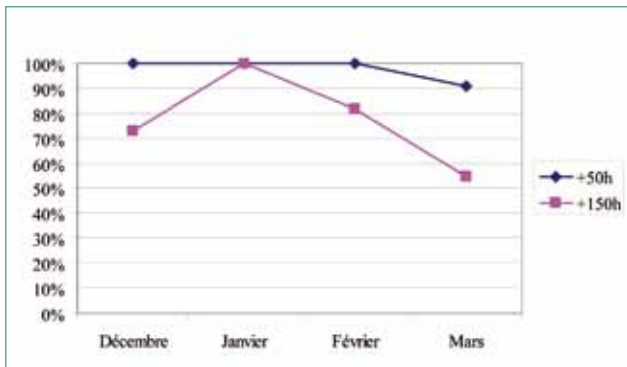


Fig. 9 - Probabilités mensuelles d'avoir 50 h ou 150 h de températures inférieures à - 3°C aux Menuires à 1950 m sur un versant sud-ouest bien exposé. Probabilités calculées sur 11 années de mesures (1994/2005).

C. CHAIX, données services des pistes / York S.A

Les limites ont été fixées à 50 h et 150 h d'heures inférieures à - 3°C pour élargir le panel par rapport aux cent heures requises, la limite - 3°C correspondant approximativement à la température minimale de production de neige de culture.

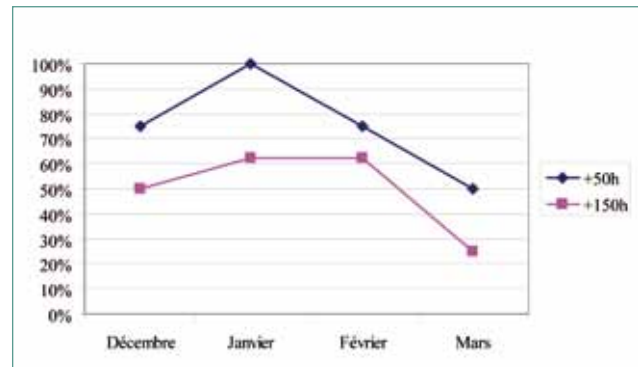


Fig. 10 - Probabilités mensuelles d'avoir 50 h ou 150 h de températures inférieures à - 3°C à Aussois à 1 550 m sur un versant sud bien exposé. Probabilités calculées sur 8 années de mesures (1998/2005).

C. CHAIX, données services des pistes / York S.A

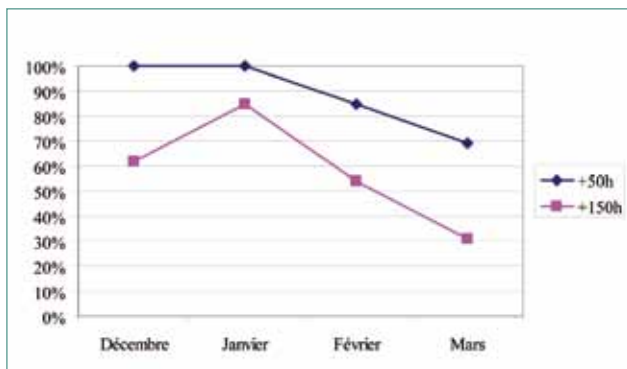


Fig. 11 - Probabilités mensuelles d'avoir 50 h ou 150 h de températures inférieures à - 3°C à Valloire à 1 450 m sur le bas d'un versant nord. Probabilités calculées sur 13 années de mesures (1990/2004).

C. CHAIX, données services des pistes / York S.A

Les probabilités d'avoir suffisamment d'heures pour enneiger sont réunies au-dessus de 1 800 - 2 000 m en Savoie. Elles deviennent par contre limites vers 1 500 m surtout si le versant est exposé au sud. On observe sur les graphiques que l'altitude comme l'orientation des versants sont des facteurs importants, bien plus que les particularités topographiques locales (fosse à froid), qui restent marginales et ne concernent que le bas des stations dans ce cas là.

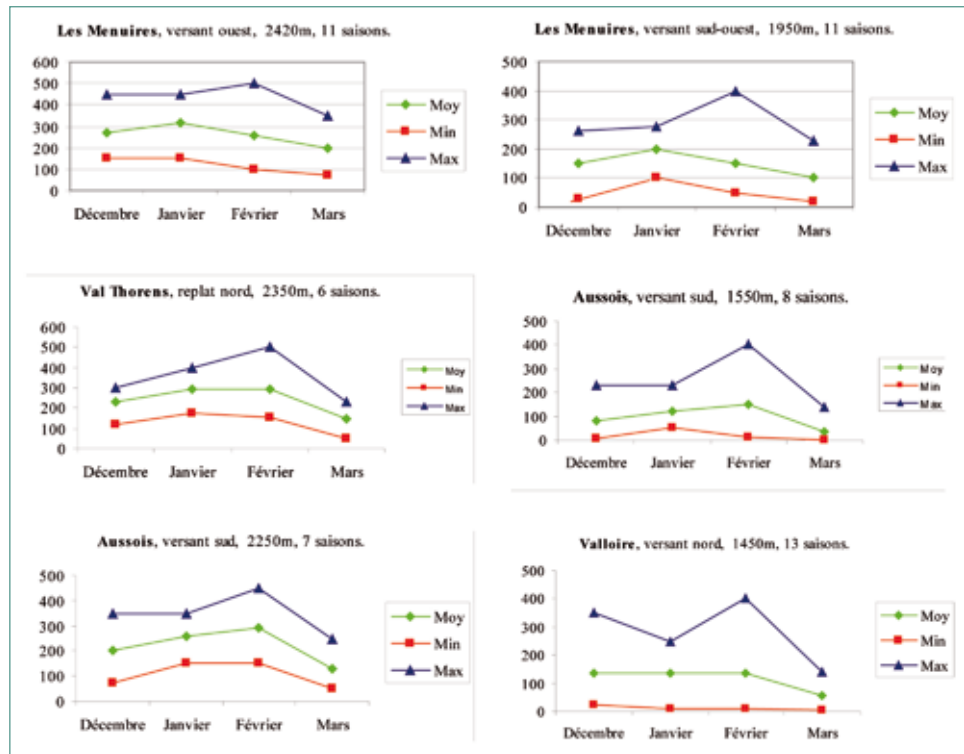
Projections : les prévisions climatiques montrent que les températures seront suffisamment froides pendant les 10 à 20 prochaines années pour la production de neige de culture, mais le réchauffement climatique pourrait devenir critique à partir des années 2030 et surtout 2050, même avec une réduction drastique des gaz à effets de serre. En effet, au-dessus de 2°C de réchauffement (prévu à l'horizon 2050), les coûts de production et de consommation en eau deviendront prohibitifs pour les domaines skiables dont l'altitude moyenne se situe en dessous de 1 500 m (Fig.12). En outre, l'enneigement naturel sera de moins en moins abondant. La neige de culture reste donc une solution temporaire pour ces stations. Pour les autres, les heures de froid seront suffisantes, mais il convient de faire attention à la répétition des redoux, des longues périodes avec des températures douces et des hivers sans neige, ainsi qu'à la pression sur la ressource en eau.

Fig. 12 - Nombres d'heures mensuelles minimales, moyennes et maximales de températures inférieures à - 5°C sur différents points de mesures (Les Menuires, Val Thorens, Aussois et Valloire) et à différentes altitudes.

C. CHAIX, données services des pistes / York S.A

La température limite de - 5°C a été choisie pour donner un aperçu des conséquences d'un réchauffement moyen lié au changement climatique, tout en sachant que ces statistiques sont basées sur des mesures passées et que le progrès technologique n'est pas pris en compte.

Les ordres de grandeur mettent en évidence une certaine résistance du nombre d'heures de froid nécessaires pour la production de neige de culture en Savoie. Toutefois, les probabilités d'avoir un nombre d'heures insuffisant en décembre et mars sont fortes pour les points de mesure inférieurs à 2000 m et/ou exposés au sud.



La production de neige de culture nécessite du froid, de l'eau et de l'énergie. Les stations qui utilisent cette technique doivent donc disposer de ces ressources en quantité suffisante pour ne pas créer de conflit. La neige de culture s'inscrit dans un projet global de développement économique, elle ne peut être une «rustine» permettant de répondre à des problèmes de fréquentation ou de climat. Des études plus poussées doivent aussi être entreprises pour déterminer les impacts réels de cette technique sur l'environnement, d'autant plus qu'elle reste indissociable des techniques de remodelage des pistes et de damage.

B. Les mesures complémentaires

Parallèlement à la production de neige de culture, plusieurs mesures sont mises en place dans les domaines skiables pour maintenir la pratique du ski avec une moindre épaisseur de neige : l'aménagement des dénivelés, le nivellement des pistes, la mise en place de barrières à neige, le tracé de pistes abritées du vent et du soleil ... Ceux-ci présentent de réels avantages, car on obtient des **pistes skiables avec une moindre épaisseur de neige** sur lesquelles le **manteau neigeux se maintient plus longtemps**, limitant ainsi la production de neige de culture. Ces aménagements présentent toutefois **un certain nombre de revers** qu'il ne faut pas négliger : ils apparaissent particulièrement sensibles à l'érosion, au ruissellement et à une renaturation difficile, ce qui pose un réel impact paysager particulièrement visible en période estivale. Par ailleurs, ces aménagements minimisent fortement les capacités de stockage en eau de la zone superficielle des massifs karstiques et partout où il y a nivellement.

Le **damage des pistes de ski** constitue une autre mesure généralisée sur l'ensemble des domaines skiables. Si cette pratique permet de réduire l'épaisseur de neige nécessaire à la pratique du ski de 10 à 20 cm, elle ne permet pas de pallier la diminution du manteau neigeux, ni son absence.

L'extension des domaines skiables à des altitudes plus élevées, sur des pentes exposées au nord, voire sur les glaciers, pourrait être envisagée. L'avantage de cette pratique est que ces zones sont moins soumises à la variabilité et à la disparition du manteau neigeux. Par contre, les plages d'altitude sont limitées pour la plupart des domaines skiables. De plus, ces zones ont des contraintes assez importantes (avalanches, vents violents), et sont soumises aux risques naturels actuels et à venir. Les infrastructures

pourraient par ailleurs souffrir de la fonte du permafrost et connaître de réels problèmes de stabilité. Enfin, les impacts environnementaux et en termes d'images ne sont pas neutres.

Ces aménagements (neige de culture, travail des pistes ...) ont permis de **diviser par deux la vulnérabilité aux aléas climatiques** des stations de ski françaises en 2006/2007, par rapport à la saison sans neige de 1989/1990 en France (Fig. 13). Par contre, les stations comme celles de moyenne Maurienne ou du Beaufortain/Val d'Arly peuvent connaître une forte baisse de la fréquentation malgré ces aménagements si l'enneigement reste faible.

C. Les initiatives à prendre

Elles consistent principalement à :

- **développer et qualifier l'offre, en encourageant l'innovation et la diversification.** Sur ce dernier point, le ski étant une activité de tourisme de masse et à forte valeur ajoutée, il n'existe pas aujourd'hui d'alternative économique crédible. Il faut donc encourager la recherche dans ce domaine. Notons, toutefois, que la diversification passe par le développement des autres pratiques hivernales (mais attention aux problèmes d'enneigement), et par le développement du tourisme d'été et de mi-saison,
- **renforcer la prévention des risques naturels,**
- **requalifier l'immobilier touristique et l'adapter au changement climatique** (mutation du secteur hôtelier, forme nouvelle d'accueil, action sur l'habitat ...),
- **développer les transports en commun** pour les déplacements locaux et touristiques,
- **concentrer le marketing** sur la spécificité de la montagne (patrimoine, savoir-faire) et la qualité,
- **sensibiliser la population aux problèmes climatiques et environnementaux.**

Toutes ces mesures sont largement détaillées dans des études menées par des organismes tels que la MITRA, l'ANEM, le CEMAGREF ou encore Suisse-Tourisme. Le Conseil général de la Savoie a d'ores et déjà engagé un plan tourisme fortement orienté sur la diversification. **Les pouvoirs publics doivent faciliter la transition vers les nouvelles pratiques qu'impose le changement climatique, en soutenant la production et la diffusion de connaissances indispensables.** Il est nécessaire, en particulier, de développer des mécanismes durables d'observation et d'analyse du changement climatique à l'échelle locale pour mieux cerner et anticiper les conséquences socio-économiques. Il convient également de procéder à l'évaluation sérieuse des pertinences, opportunités, faisabilités des scénarios, site par site, massif par massif.

D. Les pistes de réflexion

Au terme de cette partie consacrée au tourisme de montagne et aux impacts du changement climatique actuel et à venir, plusieurs pistes de réflexion et d'action sont proposées :

- **faire émerger une vision prospective d'ensemble** dépassant les cadres communaux en intégrant différentes problématiques : économie, urbanisme, gestion des ressources ...
- **soutenir les initiatives de diversification** avec les contrats et les projets déjà existants : contrat stations-moyennes, projet entreprise-station, en mobilisant les produits financiers (convention interrégionale du massif des Alpes, crédits européens) ...
- **encadrer les moyens mis en œuvre par les stations de ski** : les stratégies d'adaptation des stations de ski restent autonomes et obéissent aux logiques économiques. Il faut en limiter les répercussions environnementales et sociales (comme par exemple la neige de culture), mettre en place une gouvernance partagée pour élaborer une stratégie durable des stations.

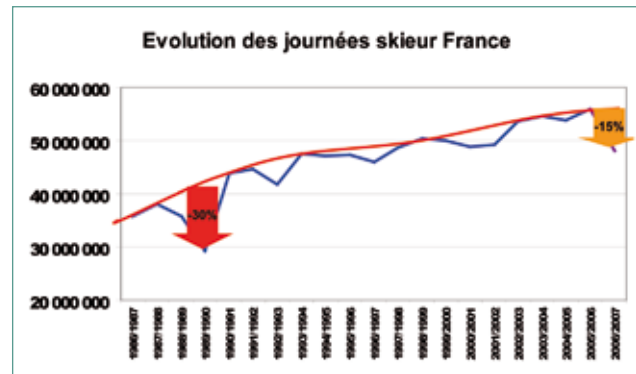


Fig. 13 - Evolution des journées skieurs en France
ODIT-France
La vulnérabilité face au déficit d'enneigement à été divisée par deux entre l'année 1989/1990 et 2006/2007 grâce aux différentes mesures adoptées par les domaines skiables.

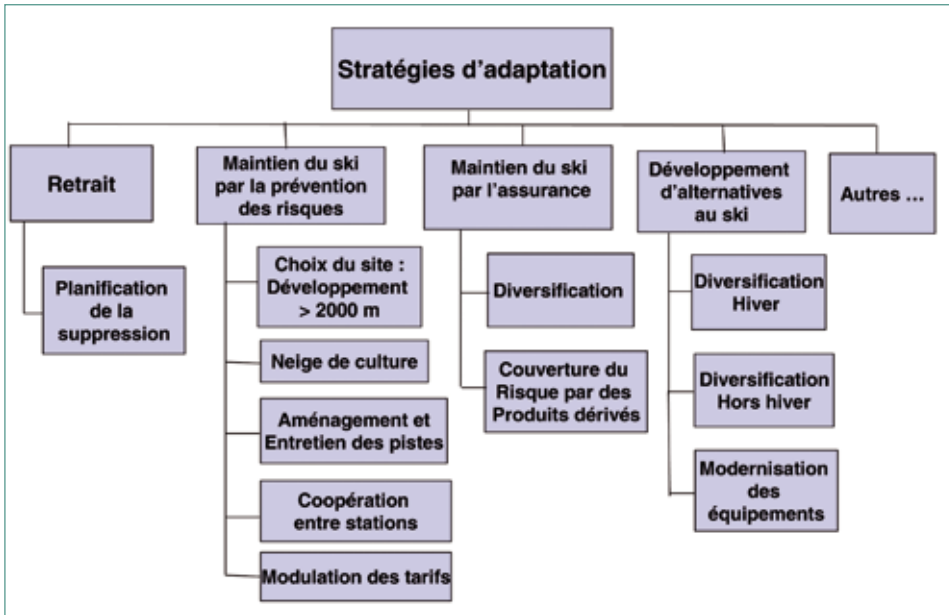


Fig. 14 - Panorama des options d'adaptation
ROUSSET, 2006

- faciliter la transition pour les secteurs qui seront les plus impactés : les petites stations sont plus vulnérables aux changements climatiques et, en même temps, ont moins de ressources à consacrer à des adaptations toujours onéreuses,

- renforcer l'ingénierie touristique : veille et prospective, innovation en matière de financements (épargne locale, économie solidaire, participation des pôles urbains, ...), de structures juridiques (contrat public privé étendu aux territoires et aux stations), de produits touristiques.

L'avis d'un chercheur.

"Il apparaît important, dans un proche avenir, de travailler sur la vulnérabilité des destinations touristiques et de leurs territoires, face au changement climatique. Comment la perception du changement climatique débouche sur des pratiques d'action publique spécifiques ? Et quelles marges de manœuvre en ressortent pour les acteurs et pour les territoires concernés ? En particulier, la diversification prônée en stations, initiée depuis quelques années et réaffirmée avec le changement climatique, souffre de l'absence d'un modèle économique sous-jacent, apte à convaincre les destinations, de la pertinence économique d'une évolution vers la diversification.

De plus, les politiques mises en œuvre par les collectivités territoriales, régionales comme départementales, mais aussi par les stations, se caractérisent par un tableau présentant dans bien des cas des incohérences. Ainsi, dans une même région, le niveau régional peut accompagner la diversification des stations, tandis que des échelons départementaux poursuivent le financement de la neige de culture ou des infrastructures touristiques. Au-delà de la légitimité de l'action des diverses collectivités territoriales, l'articulation, ou plus exactement l'absence d'articulation, ne favorise pas l'émergence d'un sens commun autour de la durabilité des destinations touristiques de montagne ; la durabilité n'étant pas ici restreinte à sa seule dimension environnementale, souvent mise en avant dans les médias au détriment d'autres d'ordre social, économique ou territorial.

Cette situation plaide pour des recherches sur l'évolution des trajectoires des stations, sous l'effet du changement climatique mais également des mutations de la clientèle et des conséquences immobilières et foncières ... La finalité est de faire émerger une **action publique innovante**, n'opposant plus systématiquement les stratégies opérationnelles des professionnels du tourisme et la logique d'accompagnement des collectivités territoriales. Il s'agit, en associant plutôt qu'en opposant les acteurs parties prenantes de la filière Stations, de **définir les contours d'une variété de capacités d'innovation, de mettre en œuvre des modèles économiques d'évolution** de la station, bien éloignés de la relation fructueuse entre hébergement-remontées mécaniques, fondatrices du modèle de développement touristique de montagne. C'est à ce prix que les destinations touristiques de montagne pourront développer une performance globale" (Emmanuelle Marcelpoil, CEMAGREF).

> L'AGRICULTURE

1 • AGRICULTURE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'agriculture, quelle que soit sa déclinaison, est une activité particulièrement sensible aux modifications de l'environnement et au changement de climat. Certaines évolutions climatiques (modification des températures, des précipitations, des événements extrêmes) ont déjà impacté l'agriculture : modification des calendriers agricoles, impact sur la qualité du vin, prolifération de certains parasites, etc.

Si la production agricole est intimement liée aux conditions climatiques, l'influence de facteurs non climatiques (pratiques agricoles, prix du marché, progrès technologiques) a été prépondérante dans l'évolution du secteur agricole avec des défis majeurs à venir - liés notamment à la concurrence internationale, à la déréglementation des marchés ou encore au vieillissement de la population agricole européenne.

Le changement climatique constitue donc une préoccupation parmi d'autres pour le secteur agricole, avec des impacts potentiellement significatifs : impacts négatifs avec la question centrale de la vulnérabilité des cultures et de l'élevage notamment par rapport au stress hydrique, mais également impacts – indirects – potentiellement positifs pour le secteur agricole ; l'agriculture pouvant voir son rôle de «régulateur écologique» prendre plus d'importance (notamment pour la préservation du carbone organique des sols, celle de la ressource en eau ou encore la protection des prairies permanentes).

De fait, le secteur agricole est concerné à double titre par la question du changement climatique : d'une part, par sa capacité d'atténuation des effets de son activité sur le réchauffement global (réduction des émissions de gaz à effet de serre) ; d'autre part, par sa capacité d'adaptation qui va lui assurer une certaine pérennité. Les actions à mettre en œuvre dans ces deux cas sont pourtant bien distinctes (Fig. 1).

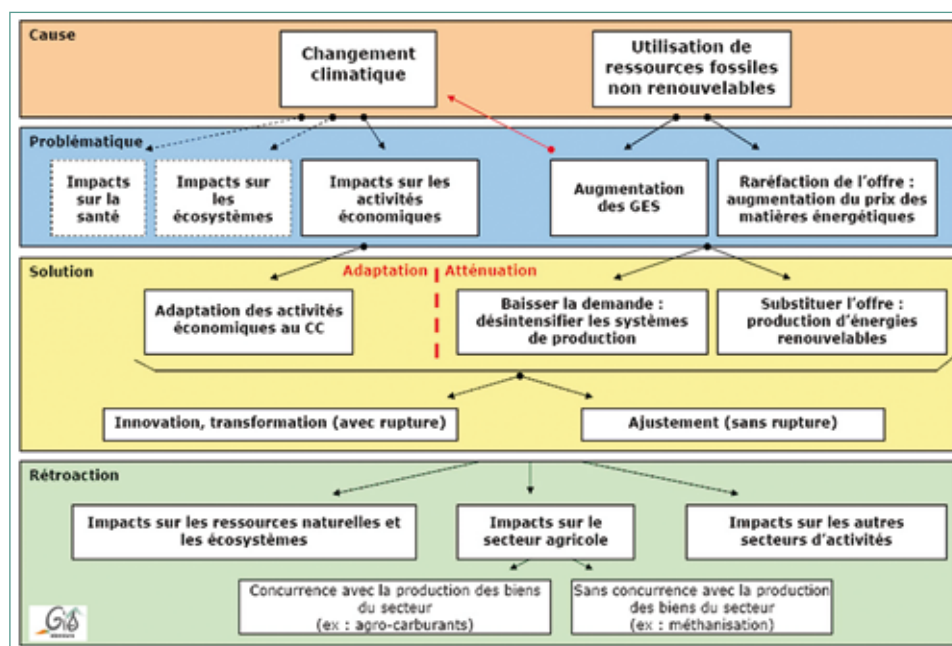
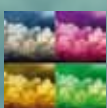


Fig. 1 - Représentation schématique des effets associés à l'atténuation et l'adaptation au changement climatique en rapport avec le secteur de l'agriculture. Sérés C., GIS Alpes-Jura, 2008.

Les impacts du changement climatique sur la productivité des cultures est un sujet de débat et de controverses mais des résultats d'expérimentations (INRA, 2007) tendraient à montrer que l'accroissement de la concentration en CO₂ devrait contribuer



à augmenter les rendements des prairies quand celles-ci sont bien entretenues et fertilisées (effet moindre pour les prairies pauvres) et si, et seulement si, la ressource en eau n'est pas limitante (en d'autres termes si l'augmentation des températures ne s'accompagne pas d'une baisse de la pluviométrie). Dans le cas où l'augmentation du CO₂ s'accompagne par une moindre disponibilité de la ressource en eau, les rendements agricoles baisseront et ceci même pour les prairies bien entretenues. Au-delà des seuils thermiques, **la question centrale reste donc celle de la disponibilité de la ressource en eau**, qui conditionnera l'ampleur des effets des changements annoncés. Mais, dans les Alpes, les conditions spécifiques du milieu montagnard peuvent modifier ces constats, et sont actuellement étudiées de manière localisée par le GIS Alpes-Jura (enquêtes dans le cadre du projet ClimAdapt). D'ores et déjà, on peut noter les effets «visibles» des modifications climatiques actuelles sur les dates de semis de maïs et le blé, sur la floraison des arbres fruitiers ou encore sur les dates des vendanges (Fig. 2 et 3).

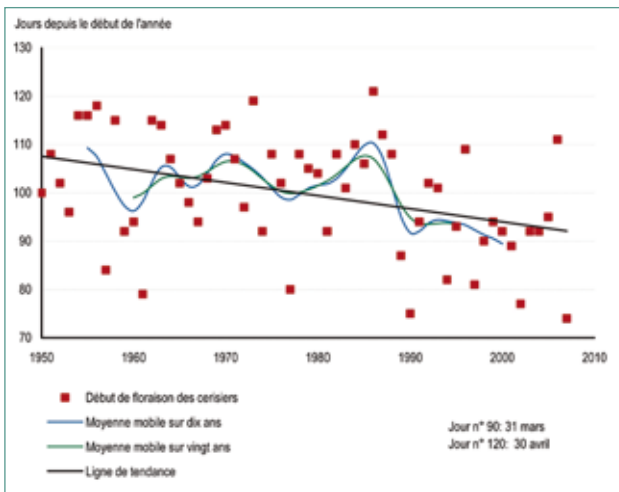


FIG. 2 - Evolution de la date de début de floraison des cerisiers en Suisse depuis 1950. OCCC, 2007

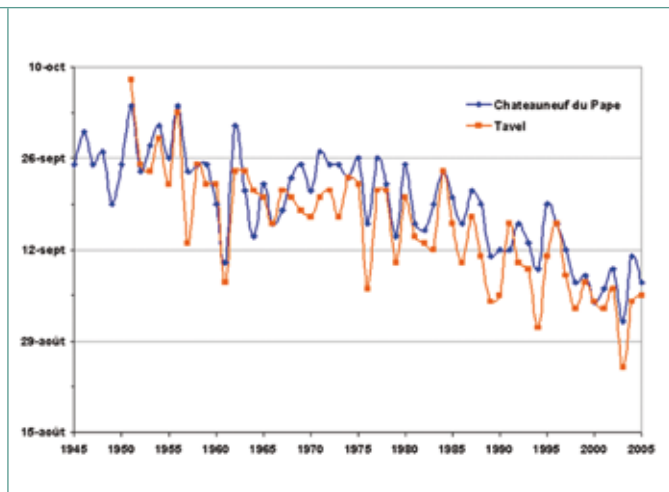


FIG. 3 - Evolution de la date du début des vendanges (Côte du Rhône) depuis 1945. Ganichot, 2002

2• LES SPECIFICITES SAVOYARDES

On différencie deux grands types d'agriculture sur notre territoire : celle des grandes vallées, aux caractéristiques proches du Piémont, caractérisée par la céréaliculture, l'arboriculture et la viticulture ; et celle pratiquée en montagne, où dominent la production herbagère et l'élevage notamment bovin. 50 % des alpages

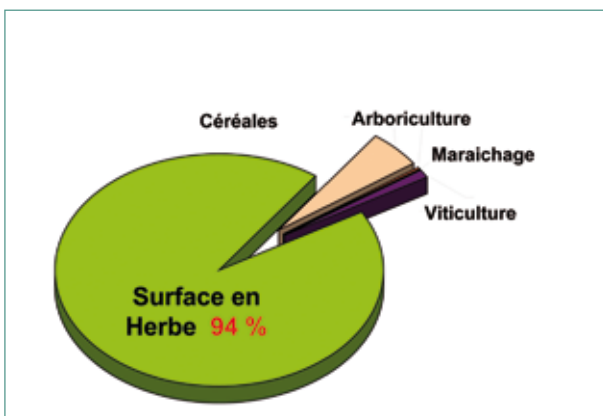


Fig. 4 - Utilisation de la surface agricole utile en Savoie (190 000 has) Chambre d'Agriculture de la Savoie, 2008.

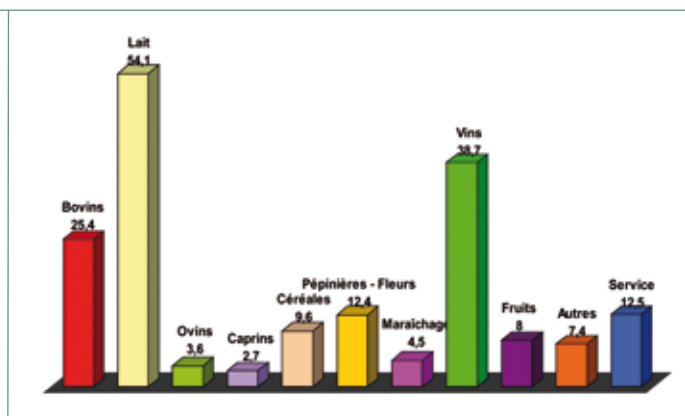


Fig. 5 - Chiffre d'affaires du secteur agricole en Savoie (total 200 millions €) Chambre d'Agriculture de la Savoie, 2008.

rhônalpins se situent en Savoie et l'essentiel de la production laitière est destinée à la production fromagère (95 % du lait). Les alpages savoyards entrent également dans une économie plus large puisqu'ils sont utilisés par les exploitations ovines des Alpes du Sud (80 % des ovins viennent des Bouches-du-Rhône). Enfin, la plupart des productions sont des produits de qualité, généralement sous Signe Officiel de Qualité (SOQ : Appellations d'Origine Contrôlées, Indication Géographique Protégée, etc.).

L'agriculture joue un rôle non négligeable dans l'entretien des paysages de montagne et la préservation de la biodiversité. La gestion des prairies d'altitude, la lutte contre l'embroussaillage, le maintien d'espaces ouverts, etc., sont pour l'essentiel le fruit de l'agriculture. **Si l'agriculture ne parvenait pas à s'adapter au changement climatique actuel et à venir, cela se traduirait par une profonde modification des paysages.**

Le lien de l'agriculture de Savoie avec le tourisme constitue une de ses fortes caractéristiques. Elle a largement contribué à créer une valeur culturelle et paysagère qui, aujourd'hui, participe à l'attrait touristique de la région. Actuellement, une part importante de la demande en "produits de montagne" provient de l'extérieur du département et un volume non négligeable des productions annuelles s'écoule grâce aux touristes (d'hiver et d'été). Parallèlement, les agriculteurs trouvent souvent dans le tourisme une activité complémentaire, nécessaire au maintien de l'exploitation.

3• IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES SYSTEMES DE PRODUCTION SAVOYARDS

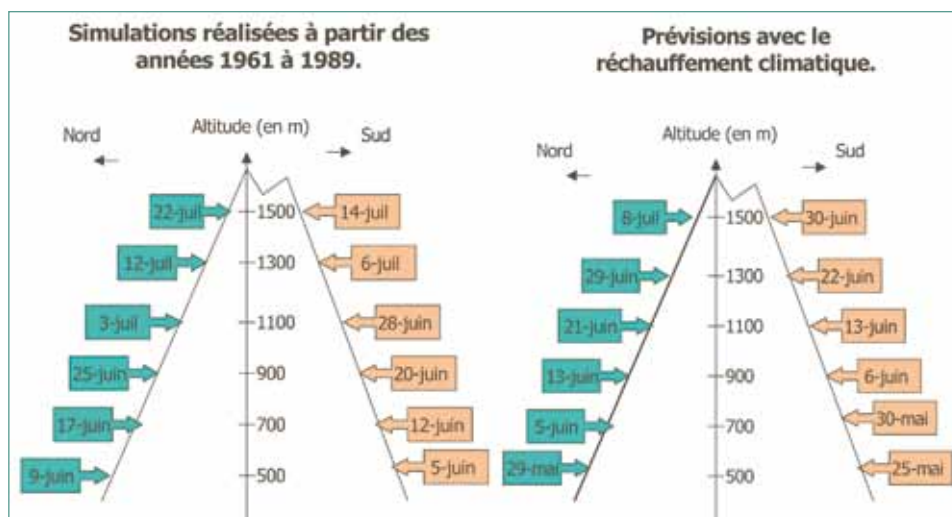
A. Des systèmes fourragers fragilisés

Dans les zones à forte dominante herbagère où prédomine l'élevage bovin pour la production laitière (comme l'Avant-Pays Savoyard), les exploitations ont à plusieurs reprises souffert d'**une baisse de leurs productions fourragères à cause de conditions climatiques particulières** : sécheresse de 2003 à 2006, excès d'eau en 2007. Pour satisfaire à l'alimentation du bétail, des achats de fourrage à l'extérieur ont été nécessaires ces années là. De manière générale, le caractère aléatoire du climat et ses implications sur la baisse des productions fourragères ont accru la sensibilité au risque des producteurs et ont provoqué la généralisation des pratiques de sécurisation. Aujourd'hui, «les rendements estivaux devenant incertains, l'objectif est souvent de sauver l'herbe d'automne et de printemps, via le séchage, le stockage de fourrage et des fauches précoces» (Pirsoul L., 2008). D'autres encore misent sur une production complémentaire via le développement de prairies temporaires ou encore le retour du maïs dans les zones plus humides.

Fig. 6 - Simulations de l'évolution des étagements des premières coupes de luzerne en moyenne montagne
Polcher J., CNRS, 2000
(Crossley et al., 2000).

Le cas du pastoralisme

Un des premiers effets du changement climatique sur le pastoralisme est **l'allongement sensible de la période d'estive.** Il ressort des études menées sur l'étagement des coupes de luzerne entre 1961 et 1989 (Crossley et al., 2000) que le décalage par rapport à une exploitation normale tend à augmenter (Fig.6). Cette anticipation des coupes,



qui révèle un allongement de la saison d'estive, peut ainsi avoisiner dix jours à 500 mètres d'altitude, et atteindre quatorze jours à 1 500 mètres.

La fonte des neiges et la reprise de la végétation plus précoces se traduisent par des emmontagnages plus tôt dans l'année. Cet allongement progressif de la période d'estive est a priori propice à un engraissement accru des troupeaux en altitude ; en réalité, cet avantage est relatif car l'étirement de l'été engendre également un stress hydrique qui peut rendre l'herbe plus rare dans les alpages. Des manques d'eau ont également été relevés.

Des apports extérieurs en eau et en fourrage peuvent être alors indispensables, au détriment des fourrages à récolter pour la saison hivernale. Ce qui se traduit par des surcoûts qui pèsent sur la productivité du pastoralisme. Pour pallier cette raréfaction de la ressource en eau, les structures pastorales investissent dans de nouvelles infrastructures pour stocker l'eau nécessaire au bétail.

La productivité souffre de cet allongement estival car l'appauvrissement de la ressource herbagère au milieu de l'été limite la prise de poids des animaux. On a ainsi pu constater une baisse de prise de poids des bovins de l'ordre de 50 % entre les périodes 1994-2002 et 2003-2006.

Par ailleurs, l'embroussaillage croissant des alpages lié à la progression de la forêt en altitude vient encore compliquer la situation. En dépit d'efforts d'adaptation louables, l'activité pastorale en montagne est un secteur économique fortement menacé dans sa pérennité (Pour la Montagne, n° 186) ; **le changement climatique** est un facteur parmi d'autres mais peut, dans certains cas, être **le catalyseur de situations jugées de plus en plus difficiles d'un point de vue économique**.

B. Des effets variables sur les productions végétales

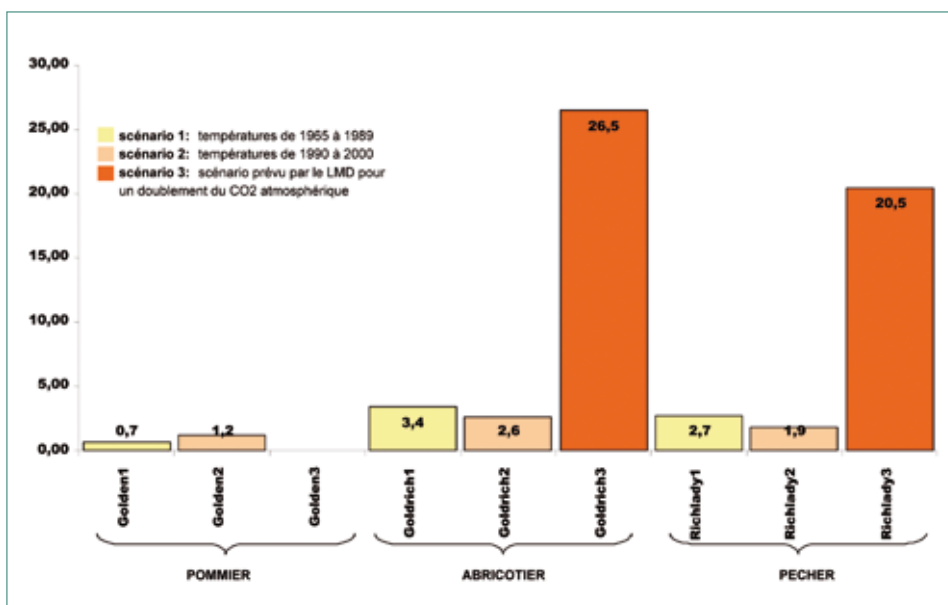
En Savoie, les **cultures céréalières** ont jusqu'à présent été peu affectées par le changement climatique, notamment là où l'irrigation a permis de stabiliser les rendements. A terme, les exploitations en monoculture céréalière, moins flexibles, pourront être néanmoins fragilisées.

Concernant la viticulture, on observe depuis une dizaine d'années un avancement des dates de vendanges de 10 à 15 jours. On note par ailleurs une explosion des maladies du bois depuis 2003, comme la flavescence dorée qui pousse à «s'interroger sur le lien avec le changement climatique» (Pirsoul L., 2008). Concernant les impacts sur les rendements, ils sont variables d'une année sur l'autre sachant que le dernier mois de maturation du raisin est déterminant pour la récolte. Pour les cépages tardifs, la sécheresse de 2003 n'a eu que peu d'impact sur la récolte, alors que des pertes dues

aux pourritures apparaissent les années pluvieuses comme 2007.

Pour les **systèmes arboricoles**, l'un des problèmes majeurs est l'avancée dans l'année des stades phénologiques (notamment celui de la floraison), qui accentuent d'autant plus les risques de dégâts liés aux gelées dites tardives. Des travaux de l'INRA (2003) permettent de préciser l'effet du réchauffement climatique sur l'augmentation du risque de dégâts de gel en fonction des productions (Fig.7).

Fig. 7 - Evaluation du pourcentage de perte causée par le gel sur les productions fruitières avec différents scénarios climatiques (Avignon).
Domergue M., INRA, 2003.



L'autre point de préoccupation majeur pour les arboriculteurs est celui de la gestion de l'irrigation. Lors des années sèches et chaudes de 2003 à 2006, des pertes de rendements ont été enregistrées (jusqu'à 50 % en 2003), malgré l'irrigation des vergers. **La disponibilité de l'eau et la maîtrise des coûts sont devenues, plus que jamais, primordiales pour l'agriculteur.** D'autre part, le problème de la réduction de la taille des fruits durant ces périodes de sécheresse génère des pertes des chiffres d'affaires. Les vents violents sont aussi sources d'affaiblissement de la vigueur des arbres comme l'ont montré les vergers de noyers du Sud-Grésivaudan ravagés par une tempête en juin 2008. Il faudra plusieurs années pour retrouver un niveau correct de production.

Enfin, **la pression des parasites**, comme par exemple la recrudescence du Carpocapse pendant les années chaudes, devient particulièrement forte certaines années et pousse les producteurs à intensifier la lutte phytosanitaire.

Conséquences indirectes du changement climatique sur le secteur agricole :

De nombreux agriculteurs en zones de montagne complètent leur activité principale par une activité salariée dans les stations de sports d'hiver (moniteur de ski, mécanicien, etc.) et par la vente directe des produits de la ferme aux touristes. La baisse de la fréquentation des stations de sports d'hiver les années peu neigeuses affecte aussi l'emploi des agriculteurs et indirectement le fonctionnement des exploitations.

4• ADAPTATION OBSERVEE DES SYSTEMES DE PRODUCTIONS

La question de l'adaptation de l'agriculture au changement climatique est complexe. Elle nécessite d'appréhender le changement climatique, non pas comme une question en soi, mais comme un des facteurs externes qui pèse sur les systèmes de production (avec la politique agricole commune, le cours des marchés, la pression foncière liée à l'urbanisation, etc.). Il reste aussi de grandes incertitudes quant à la déclinaison des effets du changement climatique au niveau local. Toutefois, il est possible d'identifier différents modes d'adaptation en fonction des effets annoncés.

A. Une nécessaire adaptation pour les cultures pérennes

Les cultures pérennes sont particulièrement vulnérables au changement climatique au sens où elles cumulent les aléas d'une année sur l'autre (sécheresse, inondation, vent, gel ...). L'adaptation au changement climatique de ces systèmes constitue un enjeu spécifique en soi, d'autant que le caractère pérenne de ces productions impose d'anticiper et de trouver au plus tôt les solutions à mener pour maintenir la durabilité de l'agriculture.


Types de production	Fréquence de plantation (années)	Nécessité croissante d'anticiper l'adaptation au changement climatique
Cultures annuelles (céréales, maraîchage)	1	
Prairies temporaires	5	
Arboriculture	15	
Vignes	40	
Forêt	60	

Fig. 8 - Fréquence de plantation en fonction du type de production.
Chambre d'Agriculture de la Savoie

Dans le cas de la vigne, le choix des cépages se fait 40 ans en amont. Il est impératif, à ce titre, de conduire des recherches sur **l'adaptabilité des cépages aux variations climatiques**. Pour les adaptations plus «structurelles» dans l'année, les agriculteurs ont la possibilité d'ajuster leurs méthodes culturales, même si ces

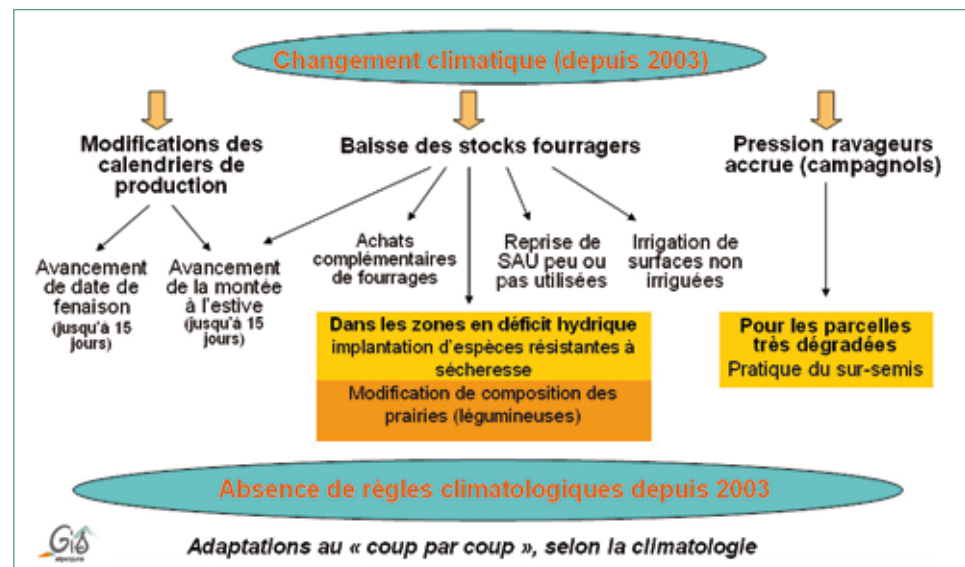
solutions sont parfois coûteuses. Par exemple, les viticulteurs savoyards ont la possibilité de vendanger en vert les années productives (opération consistant à délester la vigne de grappes encore vertes pour faciliter la maturation des grappes restantes afin de diminuer le rendement d'une récolte s'annonçant abondante), mais cette pratique est exigeante en main d'œuvre.

En arboriculture, les pommiers sont renouvelés tous les 10-15 ans environ. La réflexion sur les choix variétaux est une piste intéressante au même titre que l'emploi de **porte-greffes plus résistants aux aléas climatiques**. L'enjeu d'une irrigation raisonnée et durable est également au centre des préoccupations. La Chambre d'Agriculture de la Savoie travaille sur des projets de retenues collinaires collectives ; ces projets nécessitent des investissements mais permettront à terme d'accéder à une eau moins onéreuse que celle provenant des réseaux d'alimentation en eau potable.

B. La sécurisation du système fourrager pour les Bovins Lait

L'étude prospective conduite par le GIS Alpes-Jura en 2007 permet de préciser les adaptations «spontanées» déjà mises en place par les éleveurs laitiers alpins, notamment depuis la sécheresse de 2003. D'une manière générale, la préoccupation principale réside dans la sécurisation de la production fourragère afin d'assurer l'alimentation des troupeaux. Pour les exploitations de montagne, cela signifie assurer la production fourragère par les cultures et prairies de plaine tout en optimisant la gestion des alpages. Selon les années (sèches et chaudes ou fraîches et humides), les aménagements diffèrent ; la principale difficulté est de faire face à un climat devenu plus aléatoire qui nécessite des adaptations au cas par cas, au risque de se faire sans coordination entre les acteurs du secteur (Fig. 9).

Fig. 9 - Exemples d'adaptations "spontanées" des pratiques agricoles face au changement climatique dans les Alpes françaises. Cas des Bovins Lait. Sérès C., GIS Alpes-Jura, 2008.



La figure 10 présente les effets induits potentiels liés à l'adaptation des pratiques agricoles au changement climatique, notamment si celle-ci ne fait pas l'objet d'une stratégie coordonnée. Rappelons que la capacité d'adaptation des exploitations s'appuie tant sur «les leviers internes à l'exploitation, qu'ils soient techniques, économiques, organisationnels ou culturels, que ceux disponibles à l'échelle du territoire, sur lesquels l'agriculture peut s'appuyer pour s'adapter efficacement aux changements climatiques, qu'ils soient organisationnels ou liés à la gestion des ressources foncières ou en eau» (Sérès C., 2008).

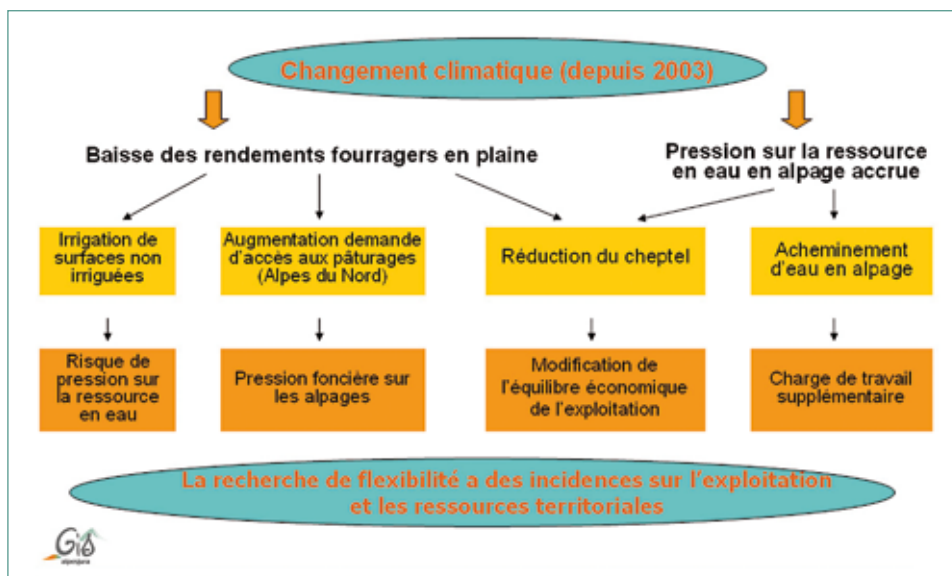


Fig. 10 - Adaptation de l'agriculture et rétroactions possibles. Cas des Bovins Lait. Concilier adaptation de l'agriculture au changement climatique, durabilité économique et environnementale. Sérès C., GIS Alpes-Jura, 2008.

Pour l'agriculture, l'enjeu est bien celui de la nécessité de concilier l'adaptation au changement climatique avec la pérennité des exploitations et une gestion durable des ressources naturelles.

C. Diversité des fourrages des Bovins Viande

Contrairement au secteur laitier, l'alimentation des troupeaux de bovins destinés à la viande peut se faire avec des fourrages plus grossiers. Cela donne plus de souplesse aux exploitations qui trouvent dans la diversité de leurs fourrages une solution à une baisse de rendements des cultures fourragères. Ainsi, les parcours, la forêt, voire les friches, constituent en plus des prairies et des cultures fourragères une source non négligeable d'alimentation. Un autre facteur de souplesse réside dans la possibilité de jouer sur la taille du troupeau, ce qui est plus compliqué pour les Bovins Lait, notamment du fait des quotas. Enfin, l'allègement des charges de fonctionnement et d'investissement par rapport aux exploitations laitières constitue un point fort pour envisager toute modification dans le fonctionnement du système.

L'un des enjeux majeurs de l'adaptation au changement climatique passe donc par la construction de stratégies coordonnées. Si cette coordination est indispensable à l'échelle territoriale, notamment pour proposer une gestion durable des ressources disponibles (foncier et eau notamment), elle ne suffit pas ; des mesures nationales et donc européennes doivent également permettre d'orienter durablement les aménagements à réaliser.

5• LES STRATEGIES D'ADAPTATION

Au niveau national, il est important de reconnaître et de soutenir les systèmes d'exploitation produisant peu de GES, en renforçant les dispositifs financiers existants, comme les indemnités compensatoires de handicaps naturels (ICHN), les aides gouvernementales, etc.

Au niveau départemental, la question du maintien de l'agriculture et celle du choix des activités agricoles maintenues sur le territoire se pose, en sachant qu'actuellement l'agriculture engendre près de 9 millions d'euros de chiffres d'affaires pour 4 000 emplois (cf. RGP).

Cette question se pose avec une réelle acuité dans la perspective du changement climatique. Une simulation de la Chambre d'Agriculture sur deux cantons

de Maurienne met en avant que **le changement climatique peut entraîner une baisse de 33 % des rendements** ! Une évaluation qui ne prend toutefois pas en compte les effets induits, comme le maintien des structures et des outils collectifs (coopérative laitière ...), etc.

Il devient indispensable de mettre en place des actions afin de maintenir en Savoie une agriculture de qualité. Plusieurs pistes d'actions sont ici projetées :

- **le soutien aux équipements avec des investissements permettant de faire face au changement climatique**, l'accès à la ressource en eau devenant primordial pour sécuriser une partie de la production, et ce aussi bien en alpage que sur des surfaces de fauches ou des cultures pérennes (fruits, maraîchage ...),

- réfléchir dès maintenant à une **agriculture résiliente** (espèces plus adaptées et plus résistantes) tout en assurant une production de qualité et en respectant les équilibres écologiques,

- **la préservation du foncier productif** : l'adaptation nécessite l'accès à de nouvelles surfaces pour compenser, atténuer des baisses de rendement, prévoir des déplacements de troupeau, des mises en pension ...,

- **l'aide à la prise de conscience, à l'anticipation des exploitations et des filières sur ces perspectives de changements**. Pour tous, se projeter à 50 ou 70 ans n'est pas un exercice facile surtout lorsqu'il s'agit de filières ou d'exploitations déjà fragilisées économiquement à court terme.

Les outils de connaissance, de conseils, de simulation vont donc être importants pour favoriser la prise de conscience individuelle et collective des enjeux à venir. Une réflexion particulière sera nécessaire au sein des filières qui gèrent des labels officiels de qualité, ainsi que sur les systèmes d'assurance récoltes qui se mettent en place aujourd'hui,

- **des travaux de recherche et d'expérimentation sur des solutions possibles**

De manière générale, la question de l'adaptation au changement climatique - sans doute plus que celle de l'atténuation - nécessite des recherches importantes (fondamentales et appliquées) pour préciser davantage les enjeux et problématiques auxquels l'agriculture est et sera confrontée. C'est à cette condition que la profession agricole pourra définir une nouvelle stratégie de développement qui permette d'assurer les productions tout en respectant les nouveaux équilibres écologiques.

> LES FORETS

1• **CHANGEMENT CLIMATIQUE, FORÊTS ET SYLVICULTURE**

Les paramètres climatiques (températures, précipitations, vents) **impactent directement les conditions de croissance, la productivité des forêts, la santé des peuplements et leur sensibilité au risque d'incendie**.

L'évolution des conditions climatiques peut ainsi conduire à une modification significative des paysages forestiers avec une migration des espèces qui est d'ores et déjà constatée. Cependant, les arbres étant des espèces à cycle long (par rapport aux plantes herbacées), le temps de résilience, d'adaptation ou de migration est particulièrement étendu dans le temps, avec dans la transition un **risque significatif de dépérissement de certaines espèces fragiles**. Ce risque a commencé à être

pris en compte par les acteurs du domaine, avec différentes stratégies possibles, dont l'une consiste à favoriser les espèces à rotation courte pour être en mesure de réagir plus rapidement en fonction des modifications climatiques effectives.

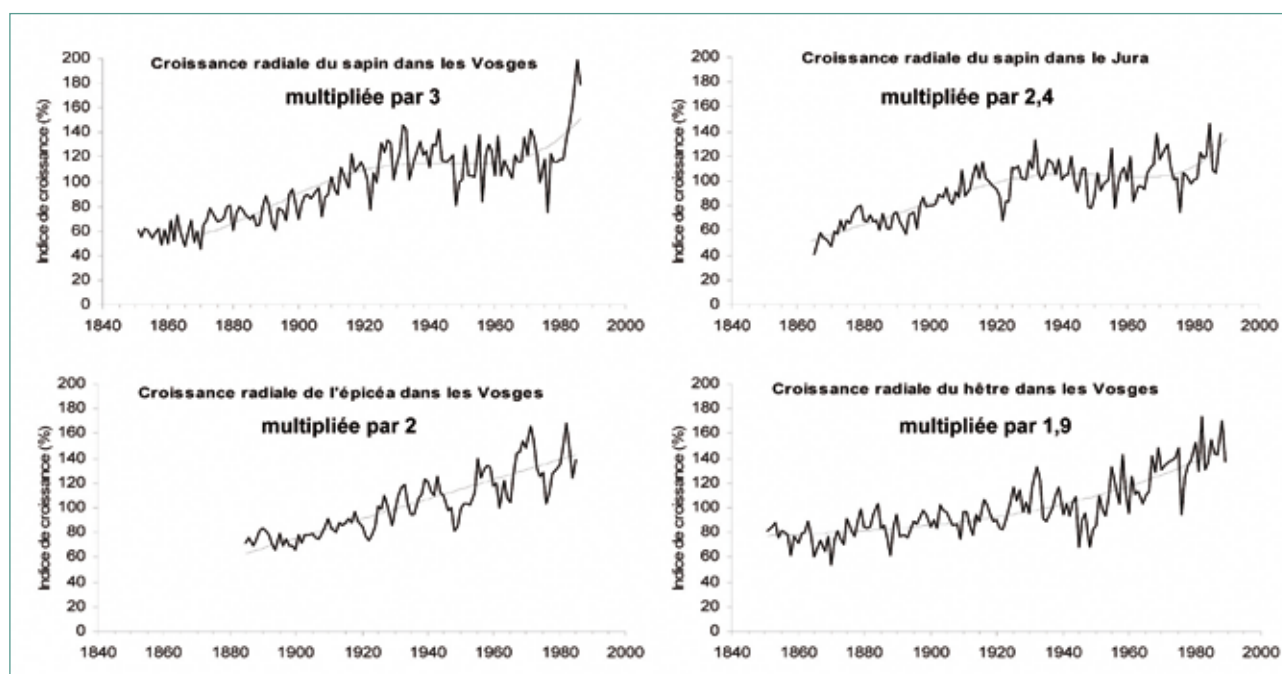
A. Impact sur la productivité

L'ensemble des recherches et études s'accordent pour dire que le **changement climatique** induit, d'une part l'**allongement de la saison de croissance** (Fig.1) - un réchauffement avance la date de débourrement des bourgeons et retarde la chute des feuilles - et, d'autre part, une **stimulation de l'activité photosynthétique** du fait de la hausse de la concentration en CO₂ de l'atmosphère. La croissance et de la capacité de stockage de carbone dans les forêts a ainsi été notable ces dernières décennies, avec des différences importantes selon les espèces, même s'il reste encore difficile d'isoler le rôle direct du changement climatique par rapport à d'autres facteurs (amélioration des systèmes de gestion et d'exploitation forestière, etc.).

Il est cependant probable que **l'effet positif du changement climatique sur la productivité forestière globale s'annule au-delà d'un certain seuil d'élévation de températures**, notamment en cas de **stress hydrique** accentué, ce qui conduit à prédire une diminution importante de la productivité forestière dès la seconde moitié du XXI^{ème} siècle, voire plus rapidement pour certaines essences en cas de stress hydrique important, du fait de risques accrus de dépérissement et de feux de forêts. Par exemple, la croissance annuelle du hêtre a augmenté de 25 % dans le nord-ouest de la France et de 50 % dans le nord-est de la France au cours de la période 1900-2000. Le changement climatique est l'une des hypothèses avancées pour expliquer cette augmentation de la croissance forestière mais il est encore difficile de déterminer les rôles respectifs de l'augmentation de la concentration de CO₂ et de l'évolution du climat sur la production des tissus vivants.

Selon les simulations climatiques de l'INRA (2004), **l'amélioration de la productivité des forêts devrait se poursuivre** avec un maximum de production nette entre 2015 et 2045, **puis diminuerait ensuite**.

Fig. 1 - Evolution de l'indice de croissance radiale de quatre types d'arbres dans le nord-est de la France depuis 1840
INRA



B. Risque de dépérissement à court terme/moyen terme

Le **stress hydrique chronique** et les canicules constituent l'un des principaux facteurs déclenchant du **dépérissement des arbres**, qui induit un affaiblissement durable des individus, et peut conduire à une **surmortalité** par la suite.

L'effet canicule est particulièrement impactant pour la forêt, avec une réaction en deux temps : d'abord un dépérissement des arbres, puis un taux important de mortalité, les arbres fragilisés étant d'autant plus vulnérables au risque de stress hydrique et d'attaque des parasites. Les conséquences de cette situation sont multiples : risque de reprise de l'érosion (notamment en zone de montagne), perte de la valeur économique du bois, diminution de la production de bois en volume et perte de la qualité des paysages.

C. Migration et extinction d'espèces à moyen/long termes

Les espèces les plus sensibles et donc les plus vulnérables sont celles qui supportent mal les sécheresses ou qui sont situées sur des sols à faible capacité de réserves en eau, et qui se trouvent à la limite sud de leur aire naturelle. Il en est ainsi, par ordre croissant, du hêtre, du pin sylvestre ou de l'épicéa, avec des conséquences sur la répartition géographique des espèces et la biodiversité : on anticipe ainsi l'extension de l'aire de répartition du chêne vert au détriment du châtaignier, des chênes, du hêtre et des essences alpines (Fig. 2).

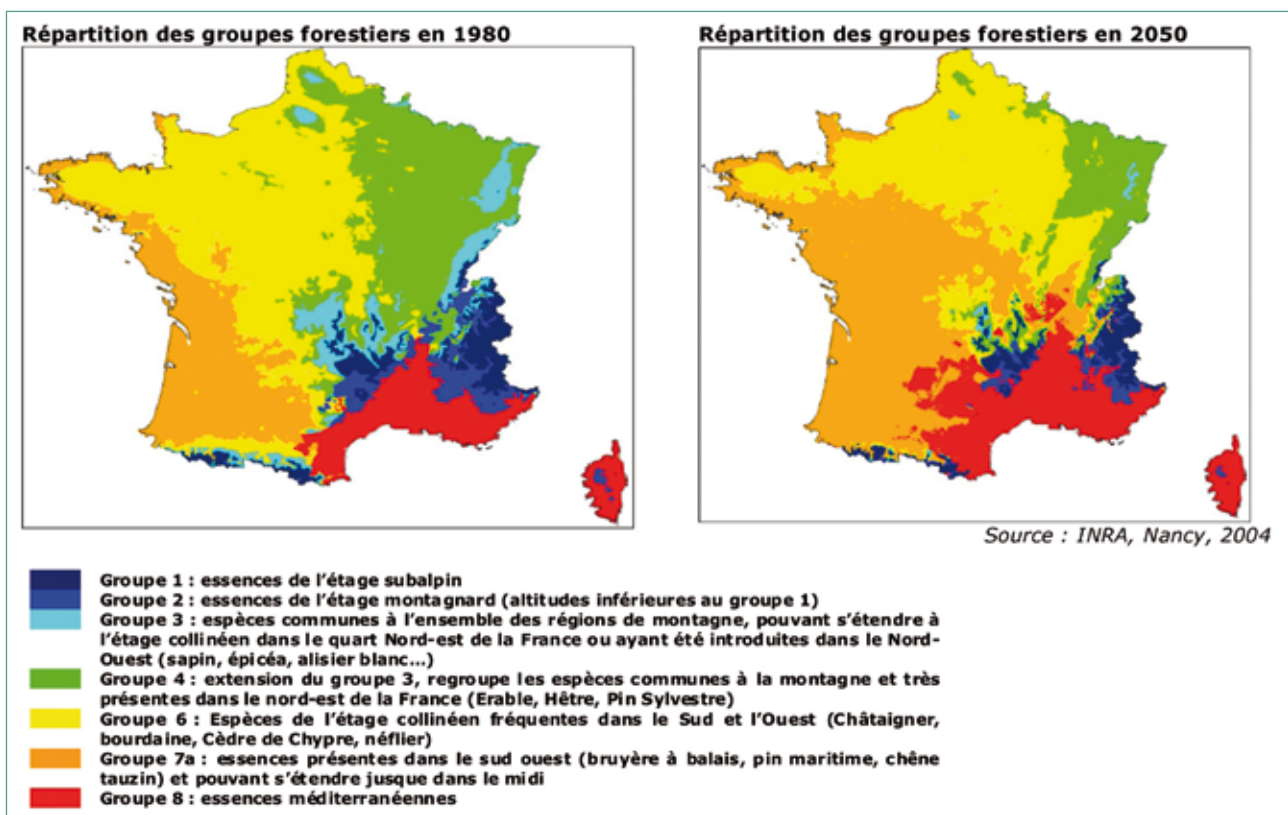


Fig. 2 - Evolution de la répartition des groupes forestiers entre 1980 (observation) et 2050 (simulation).
INRA Nancy, 2004

Il faut pourtant nuancer certains aspects : on sait en effet que les essences forestières sont capables de résister à une certaine gamme de variations climatiques, du fait d'une capacité d'adaptation individuelle, mais aussi de la diversité génétique qui existe au sein de chaque essence. Par ailleurs, la migration des espèces **dépendra largement de facteurs autres que purement climatiques**, comme la concurrence des espèces en place, ou encore la fragmentation du territoire.

D. Propagation des parasites

Certains insectes ravageurs sont très sensibles aux évolutions des températures. Leur réaction n'est toutefois pas linéaire : en effet, la hausse des températures n'a pas les mêmes effets selon qu'elle intervient en été, au printemps, en hiver ou à l'automne. **La hausse des températures en hiver favorisera la survie hivernale des insectes**, et devrait étendre l'aire de répartition de certains **ravageurs et parasites** vers le nord (par exemple : chenille processionnaire du pin, maladie de

l'encre du chêne). Au printemps, des températures plus élevées devraient accélérer le processus de développement larvaire et favoriser les performances reproductrices de la majorité des insectes forestiers. En revanche, l'effet du réchauffement estival est plus contrasté, des seuils létaux de températures pouvant être atteints pour certaines espèces. Parallèlement à l'impact des évolutions climatiques sur le développement des parasites, notons que l'incidence de ces derniers sur les peuplements serait aggravée du fait de l'affaiblissement des arbres **suite aux stress hydriques répétés et aux vagues de chaleur**.

Les plantations monospécifiques (*sapins, épicéas*) semblent être **les plus concernées** par les attaques de xylophages.

Jamais le **bostryche** (*Ips typographus*) n'avait autant proliféré depuis au moins deux siècles dans la forêt alpine. Ces dernières années, les conditions ont été propices en montagne : l'ouragan Lothar en 1999 a affaibli les forêts, puis les conditions climatiques avec des hautes températures lui ont été favorables. Dès 16°C, l'insecte essaime vers de nouveaux lieux de ponte et colonise d'autres arbres. On peut recenser entre 60 000 et 80 000 bostryches et larves par arbre infecté. Dans la réserve naturelle de la forêt de **Bohême**, en Allemagne, aucune des régulations naturelles ou humaines n'a enrayé la propagation de cet insecte. Il a donc été décidé de laisser faire sans combler les destructions, ce qui a entraîné la **disparition complète de la forêt d'épicéas** plantée par l'homme au XIX^{ème} siècle. Le gestionnaire de la forêt compte sur la repousse naturelle de la forêt (qui a commencé en 2004), avec un peuplement naturel plus hétérogène : des hêtres en plus des épicéas, et un sous-bois varié (dont le sorbier). Ce peuplement naturel, qui correspond à la forêt naturelle de moyenne montagne à ces latitudes, devrait limiter la propagation de l'insecte à l'avenir. **A court terme, il aura disparu avec son arbre hôte.**

E. Stockage de carbone des sols et des forêts

A l'échelle planétaire, la hausse des températures et l'évolution des pratiques forestières ont engendré, au cours du XX^{ème} siècle, une **hausse de la séquestration de carbone par les sols forestiers et la biomasse**. Toutefois, en Europe du Sud, une tendance inverse est observée depuis quelques années, liée à la baisse des précipitations. La tendance est encore plus marquée depuis la canicule de 2003, et devrait se poursuivre : on pourrait observer **une dégradation de la «balance carbone» des forêts françaises**. La fréquence accrue des sécheresses et du stress hydrique, le dépérissement d'espèces non adaptées aux évolutions climatiques (principalement les espèces situées à la limite de leur aire de répartition) ou encore le remplacement des essences très productives par des essences qui le sont moins (essences méditerranéennes notamment) devraient conduire à une réduction des stocks de carbone dans la biomasse et les sols forestiers.

F. Risques accentués d'incendies

Les vagues de chaleur et la baisse de la ressource en eau devraient aggraver les impacts des feux de forêt comme cela a été le cas en 2003, avec des conditions plus favorables à leur propagation. Cela est dû à l'extension de l'aire de distribution d'espèces particulièrement inflammables - le pin d'Alep par exemple - mais également à une pression potentiellement plus importante sur les espaces. Une extension des zones à risque est ainsi à envisager sur des territoires non préparés qui ne disposent pas, entre autre, de systèmes de surveillance (D'après Ecofys-Medcie, 2008).

L'évolution de la forêt est importante pour la sylviculture mais elle a aussi **des conséquences sur le paysage et sur la protection contre les risques naturels**. Ainsi, la progression des feuillus au détriment des conifères dans les zones de montagne pourrait, paradoxalement, à la fois améliorer la protection contre les chutes de rochers et réduire la protection contre les avalanches ; en effet, le tronc

des feuillus est plus résistant mais les conifères assurent une meilleure stabilisation du manteau neigeux.

Fig. 3 - Résumé des principales conséquences attendues
Institut pour le Développement Forestier – Forêt de France n°509

Causes	Effets	Conséquences				
		Gain productivité	Stress	Sensibilité ravageurs	Difficulté régénération	Mortalité
Taux de CO ₂	Photosynthèse	X				
Température d'automne, d'hiver et de printemps	Photosynthèse hivernale (résineux)	X				
	Saison de végétation	X				
	Activité des mycorhizes	X				
	Gelées (automne et printemps) ?		X		X	
	Gel hivernal ?		X	X	X	X
	Dessiccation hivernale (résineux)		X	X	X	X
	Progression de certains ravageurs		X	X		X
Température estivale et sécheresse	Respiration		X			
	Transpiration et stress hydrique		X	X	X	X
	Dégâts dus à la chaleur		X	X	X	X
Incendies			X	X		X
Tempêtes	Chablis		X	X		X

x Effets positifs x Effets négatifs

2• IMPACTS SUR LES FORÊTS SAVOYARDES

La filière bois en Savoie :

- La forêt savoyarde couvre le tiers du département (près de 2 000 km²).
- La forêt privée, détenue par plus de 58 000 propriétaires, est majoritaire avec 1 100 km² (110 000 ha).
- La forêt publique (forêts des collectivités et forêts domaniales) couvre 106 000 ha.
- 1 million de m³ d'accroissement de la ressource chaque année.
- Production de 150 000 m³ de bois d'œuvre.

A. Les observations actuelles

On relève une propagation des espèces sempervirentes (qui gardent leurs feuilles tout au long de l'année) et le remplacement de certaines associations forestières par d'autres. **Mais les écosystèmes forestiers réagissent lentement** et ces changements ne sont pas instantanés du fait de la compétition entre espèces et de la «rente de situation» des espèces déjà en place. Le changement d'espèces s'opère à la faveur des épisodes extrêmes comme les canicules ou les sécheresses, ou au moment de passages de seuils critiques. En outre, les longues années nécessaires à la croissance d'un arbre font que nos paysages ne changent pas aussi vite que le voudrait le schéma théorique de l'évolution des températures.

B. Menaces potentielles et opportunités

Les études réalisées par les forestiers et les écologues mettent en avant les risques suivants :

- **extension de la forêt méditerranéenne au détriment de la forêt alpine et subalpine, concurrence écologique ;**
- **pertes de productivité et dépérissements en cas de hausse importante des températures et de stress hydrique (sécheresse) ;**

- **risques d'incendies liés au changement d'espèces et aux sécheresses estivales ;**
- **impacts des parasites, avec la condamnation à terme de l'épicéa du fait d'une propagation accélérée du bostryche actif à partir de 16°C ;**
- **risque d'érosion ;**
- **baisse de la capacité de stockage de carbone ;**
- **complexification de la gestion et de l'exploitation forestières.**

Ces différents risques sont à nuancer selon les conditions géographiques, géologiques, pédologiques et climatiques des secteurs concernés. Le changement climatique à venir peut, dans certains secteurs, constituer de réelles opportunités comme :

- **l'augmentation de la productivité forestière en cas de légère hausse des températures et d'une pluviométrie suffisante ;**
- **l'intérêt grandissant pour la préservation de la forêt, avec une prise de conscience de sa fonction écologique.**

3• STRATEGIES D'ADAPTATION DE LA FORET

Toute action concourant à la résilience des forêts, c'est-à-dire à sa capacité à retrouver un fonctionnement et un développement normal en dépit du changement climatique, doit être favorisée. D'un côté, la biodiversité forestière, ordinaire comme remarquable, doit être préservée et valorisée et, de l'autre, une gestion plus dynamique de la filière bois doit s'inscrire dès maintenant dans des projets de développement locaux (avec une production accrue de bois en tant qu'éco-matériau et source d'énergie renouvelable). La prise en compte des risques naturels constitue aussi un enjeu important.

Des mesures d'adaptation au changement climatique peuvent d'ores et déjà être appliquées dans les méthodes de gestion :

- revoir à la baisse les âges d'exploitabilité pour tenir compte de l'augmentation de la productivité et des risques ;
- s'orienter vers la «futaie claire», régulière ou irrégulière, pour diminuer la consommation d'eau et la sensibilité au vent ;
- dynamiser les interventions (dépressages, éclaircies fortes et précoces) pour réduire les densités et la révolution ;
- adapter la gestion des lisières pour améliorer la résistance aux tempêtes ;
- favoriser les mélanges et les unités de gestion de petite taille pour constituer une forêt «mosaïque» ;
- accroître la surveillance phytosanitaire.

Dans tous les cas, concernant l'exploitation, il faudra être très vigilant notamment sur les sols fragiles (cloisonner, éviter les tassements, disperser les rémanents pour conserver la réserve minérale du sol...) (Institut pour le Développement Forestier, 2007). La fonction d'accueil du public doit être aussi valorisée, en conservant par exemple quelques vieux et gros arbres.

Les travaux de recherche se poursuivent pour élaborer des «**cartes de vulnérabilité des peuplements**». Les essences sensibles au manque d'eau (sapin pectiné, hêtre, chêne pédonculé, épicéa commun, douglas) doivent se trouver à l'optimum de leurs conditions écologiques actuelles. Aux limites, il faudra sans doute choisir d'autres essences principales. De plus, la gestion des ressources génétiques tant pour les espèces indigènes (respecter les provenances, connaître les adaptations locales) que pour les espèces introduites ou améliorées (choisir des provenances adaptées, faire évoluer les critères de sélection) devient incontournable. Enfin, **la diversité des espèces évoluera avec le climat et des espèces occupant des niches très spécialisées pourraient disparaître.** Il s'agit alors de favoriser la biodiversité courante et les corridors écologiques et ainsi maintenir les vieux bois. Ceci est un atout pour l'adaptation des écosystèmes forestiers.

Et particulièrement en Savoie :

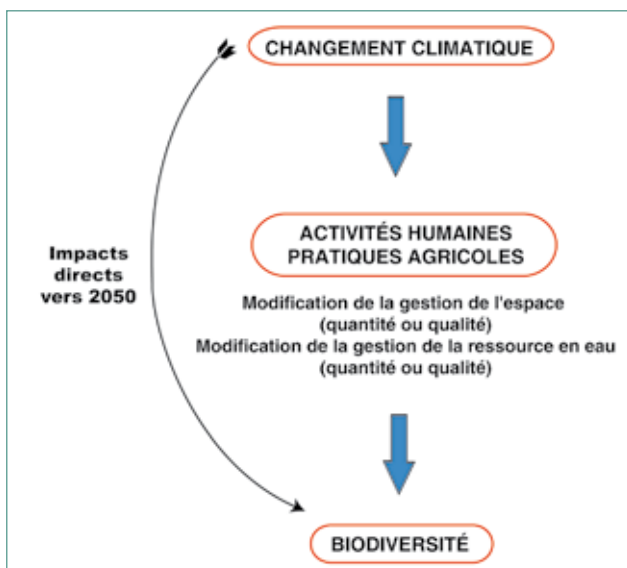
- **relancer la recherche sur les essences sylvicoles** pour maintenir l'exploitation forestière en montagne. Il faut notamment éviter que le bostryche rende inexploitable les massifs d'épicéas en renforçant les moyens de détection et en accélérant les coupes et la sortie des bois exploités ;
- **privilégier la régénération naturelle**. Dans les cas où cette dernière est insuffisante, pratiquer une politique innovante de plantation par la sélection d'essences résistantes et une combinaison adaptée entre feuillus et résineux ;
- **dynamiser la filière bois** en montagne avec de nouveaux débouchés (bois énergie, bois matériau) ;
- **favoriser le suivi des placettes permanentes pour suivre l'évolution de la forêt en montagne notamment en lien avec le changement climatique**. La Savoie dispose à ce jour d'un réseau conséquent de 189 placettes permanentes installées dans des forêts peu perturbées par l'homme, réseau qui doit être complété afin de mieux couvrir le territoire. Les plus anciennes placettes permanentes du réseau installées en forêt datent de 1986 (il faut 15 à 20 ans entre deux inventaires). Un des avantages de ce réseau est le protocole standardisé (en Rhône-Alpes, 1006 placettes de suivi permanent sont déjà installées avec des protocoles identiques).

> LA BIODIVERSITE

1 • ETAT DES LIEUX

La «biodiversité» ou «diversité biologique» désigne «la variabilité des organismes vivants de toutes origines». Elle présente différents niveaux d'organisation : la diversité des espèces (on en dénombre environ 1,7 million à l'échelle planétaire) ; la diversité des écosystèmes (cela concerne la diversité des grands biomes comme les forêts tempérées, les forêts tropicales ...) ; la diversité génétique (diversité des gènes au sein des espèces) et la diversité des paysages (constitués d'éléments naturels et résultats des activités humaines notamment agro-pastorales). Il est admis que plus la biodiversité spécifique ou génétique est grande, plus les écosystèmes et les espèces pourront s'adapter aux évolutions et perturbations.

Fig. 1 - La relation entre le changement climatique, les activités humaines et la biodiversité : des impacts visibles vers 2050.
X. Gayte, CPNS



La terre a déjà connu 5 grandes phases d'extinction. L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature estime que 25 % des espèces mondiales de mammifères et 11 % des oiseaux sont aujourd'hui directement menacés de disparition. Les scientifiques s'accordent pour prédire l'extinction de 25 à 50 % de toutes les espèces d'ici la fin du siècle si rien ne change. Le taux d'extinction actuel serait 10 000 fois supérieur au taux d'extinction naturel, ce qui incite certains auteurs à parler de 6^{ème} grande extinction ! C'est dans ce contexte de fragilité que le changement climatique constitue un facteur aggravant.

Notre planète est soumise à un grand nombre de pressions anthropiques et naturelles, désignées sous le nom collectif de changements globaux. L'analyse de ces changements sur la biodiversité souligne que le changement climatique actuel est un facteur parmi d'autres de la régression de la biodiversité dans le monde. Les pressions les plus

importantes sur la biodiversité concernent l'exploitation de plus en plus accrue des ressources, l'exploitation sélective ou de la destruction des espèces, l'accélération des dépôts azotés anthropiques, la pollution terrestre, hydrique et atmosphérique, la gestion intensive des écosystèmes, la fragmentation des paysages, l'urbanisation et l'industrialisation (GIEC, 2002).

Dans nos territoires, les principaux facteurs de l'appauvrissement de la diversité biologique sont **la modification de l'usage des sols, notamment avec la multiplication des infrastructures urbaines et routières, et la modification des pratiques agricoles**. Viennent ensuite les espèces exogènes et invasives qui concurrencent les espèces endémiques. Les épisodes climatiques extrêmes, (tempêtes, fortes précipitations, sécheresses prolongées, incendies...) participent à la réduction de la biodiversité, tout comme la moindre disponibilité en eau et la hausse des températures. Ce dernier facteur n'étant pas considéré dans notre région comme le plus aggravant.

Le changement climatique représente donc une pression supplémentaire sur les écosystèmes, leur biodiversité et les biens et services qu'ils fournissent. En effet, la biodiversité est de plus en plus considérée comme une source de biens et de services directs (denrées alimentaires, combustibles, énergie, fourrage ...) et indirects (épuration, formation des sols, valeurs culturelles, esthétiques et récréatives ...).



Fig. 2 - Les conséquences du changement climatique et de l'utilisation des sols sur la biodiversité
W. Thuiller, 2008.

2• LES IMPACTS SUR LA BIODIVERSITE

Le rapport du GIEC (2007) souligne qu'il est nécessaire d'avoir «une meilleure compréhension de la réponse de la biodiversité aux changements des facteurs climatiques et autres pressions». C'est en effet un sujet peu connu et complexe à appréhender. Malgré ces incertitudes, il est néanmoins possible de définir les impacts potentiels dans les Alpes.

A. Les effets directs attendus

1. Sur la migration des espèces

Les plantes migrent en altitude avec le réchauffement climatique : une remontée générale des espèces a été estimée à environ une trentaine de mètres par décennie en France (Lenoir et al, 2008).

Le changement climatique actuel engendre une migration des espèces en altitude pour conserver les températures nécessaires à leur survie. Certaines espèces sont affectées dans toute leur aire géographique d'existence et non pas seulement aux limites de celle-ci comme cela avait été montré auparavant. Les espèces ont déplacé à plus haute altitude leurs habitats préférentiels pour conserver la température qui convient le mieux à leur développement, reproduction, et survie. Toutes les espèces ne migrent pas à la même vitesse : les espèces végétales à durée de vie courte, comme les herbacées, ont tendance à migrer plus vite en altitude que les espèces végétales dont la durée de vie est plus longue comme les arbres ou les arbustes. Les herbacées ont bénéficié au cours des dernières décennies d'un grand nombre de générations permettant à leurs graines de se disperser en altitude en réponse au réchauffement climatique. Les arbres au long cycle de vie n'ont bénéficié seulement que d'une ou deux générations pour coloniser de nouveaux milieux.

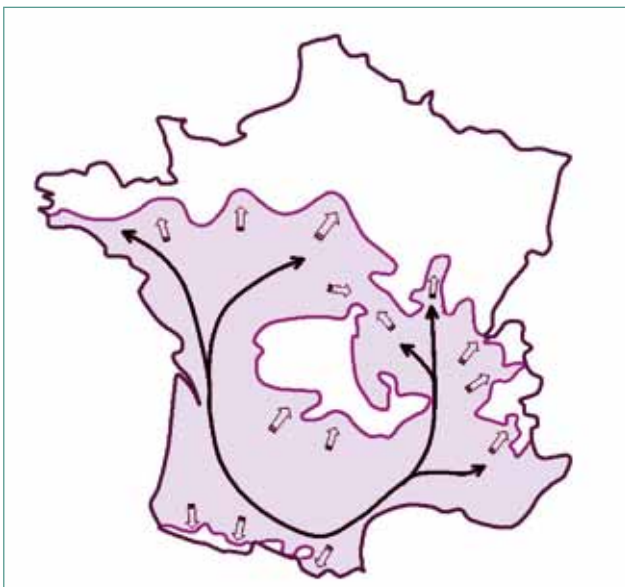
Concernant le **couvert forestier**, les modèles prévoient une progression générale des aires bioclimatiques océaniques et méditerranéennes ainsi qu'une régression importante des aires bioclimatiques de montagne (voir chapitre précédent sur la forêt).

Parmi les **bénéficiaires du changement climatique** figurent la plupart des **espèces d'insectes**. Les insectes sont hétérothermes : tout va plus vite dès qu'il fait plus chaud. Ils se développent plus rapidement, sont plus actifs et donc plus mobiles, et ils se reproduisent plus vite. Leurs ennemis (prédateurs, parasitoïdes, agents pathogènes) se développent et se reproduisent également plus vite si l'été est chaud. Ils atténuent ainsi, dans certains cas, la croissance de la population parasitaire. De nombreux insectes sont sensibles au froid. Pour la plupart des espèces, le froid hivernal est un facteur qui limite leur diffusion en altitude. En cas d'hiver doux, caractérisé par de rares et faibles gelées tardives, comme en 2006/2007, un nombre plus importants d'individus survivent. Chaque été, de nombreuses espèces d'insectes méditerranéennes migrent depuis le sud et l'ouest. Si l'hiver est doux, les plus résistantes au froid survivent et se reproduisent au printemps. **L'agriculture et la sylviculture sont particulièrement concernées par cette évolution faunistique.**

Fig. 3 - Progression de la chenille processionnaire du pin en France entre 1972 et 2004.

INRA – Orléans

Une progression qui s'explique par la montée des températures moyenne en France.



Le changement climatique n'aura pas seulement des conséquences sur les plantes et les animaux mais affectera aussi **les micro-organismes, bactéries, champignons et autres populations microbiennes** qui accomplissent une myriade de fonctions importantes pour la vie sur Terre. La hausse des températures a aussi des conséquences sur la couverture nivale et glaciaire et sur les micro-organismes qui y vivent et qui sont encore mal connus par la communauté scientifique. Ils s'éteindront probablement avant que les chercheurs ne puissent les étudier.

2. Changement de phénologie

La phénologie est l'étude des variations des phénomènes périodiques de la vie végétale et animale en fonction du climat. La **phénologie** est un marqueur du climat, mais surtout **un élément clé de l'adaptation des êtres vivants aux variations climatiques** : avance

du débourrement et de la floraison des plantes, arrivée plus précoce d'oiseaux migrateurs, avance des dates de reproduction d'amphibiens... Plusieurs études ont déjà montré une **augmentation de la durée de végétation en réponse à l'augmentation des températures** (Fig.4). Le printemps commence plus tôt : en moyenne six à huit jours plus tôt qu'il y a trente ans pour les espèces animales et végétales (contre trois jours en plaine). Exemple : les premières rosales des Alpes ont éclos le 26 mai 2007, un mois plus tôt que les autres années. Les hannetons de mai et de juin sont devenus des hannetons d'avril, et le vulcain, papillon diurne, volait dans le Sihltal, près de Zurich, fin décembre 2006. Au beau milieu de l'hiver, il devrait être mort de froid ! **Les espèces peuvent s'adapter** à des modifications des conditions de vie lorsque celles-ci sont progressives et que les espèces ont eu le temps de changer leur phénologie ou de migrer. **La rapidité du changement climatique** attendu pose la question de la **capacité d'adaptation des espèces**.

B. Les principaux effets indirects

Les effets indirects du changement climatique sur la biodiversité peuvent être classés en deux catégories :

- **Les changements de fonctionnement des écosystèmes** : l'adaptation de chaque espèce au changement climatique et l'évolution des relations entre ces espèces peuvent modifier considérablement le fonctionnement même des écosystèmes, notamment par des effets d'emballage. Si les effets directs du changement climatique sur les espèces sont peu connus, celles-ci le sont encore moins.

Ex 1 : le cycle d'un papillon (azuré de la sanguisorbe) dépend simultanément de la présence d'une espèce végétale (la sanguisorbe) et d'un insecte (fourmi) ; si le changement climatique fait disparaître l'un ou l'autre, le papillon disparaîtra.

Ex 2 : le fonctionnement d'un lac alpin dépend du cycle de température annuel, une modification de ce cycle pourrait entraîner une modification complète des espèces présentes et de leur fonctionnement.

- **Les changements ayant un effet direct sur la biodiversité** : les milieux primaires n'existant plus dans nos régions du fait de leur longue anthropisation, l'évolution des activités humaines et l'utilisation du sol et de l'espace sont devenus les principaux facteurs de modification de la biodiversité. Les changements des pratiques (urbanisation, agriculture, sylviculture) deviennent des facteurs prépondérants pour l'évolution de la biodiversité.

Ex 3 : les alpages sont des espaces créés et entretenus par l'activité agricole ; si les changements de pratiques liés au changement climatique entraînent un abandon, ou au contraire, une intensification des pratiques, cela ne sera pas sans effet sur la biodiversité.

C. Les spécificités des Alpes

Les spécificités liées au relief et à l'aménagement du territoire et la richesse des espèces présentes dans les Alpes offrent un cadre particulier à l'adaptation de la biodiversité face au changement climatique :

- le **changement climatique est plus prégnant** dans les Alpes que dans les zones de plaine (cf. Partie 1) ;
- le patrimoine naturel alpin est d'une **remarquable diversité** et d'une richesse patrimoniale exceptionnelle ;

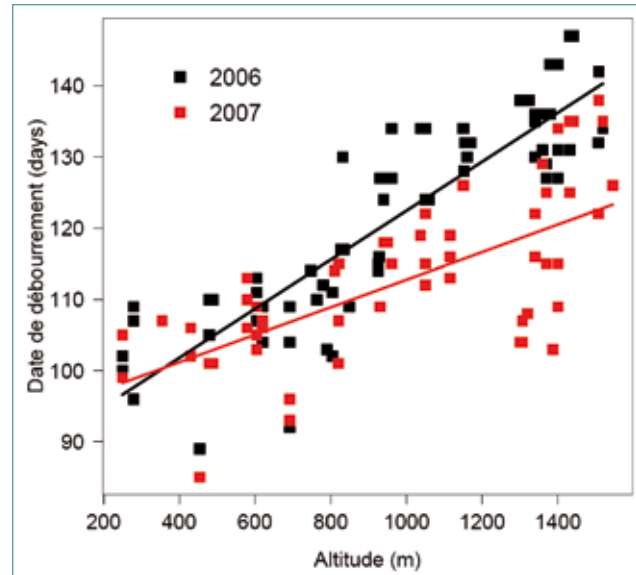


Fig. 4 - Dates du débourrement du frêne (*Fraxinus excelsior*) en 2006 et 2007 dans les Alpes françaises du Nord. CREA-Phénoclim.

Le débourrement (fin de la période de dormance) a commencé beaucoup plus tôt en 2007 à cause des températures exceptionnellement chaudes du mois d'avril. La sensibilité s'accroît avec l'altitude.

- les **couloirs de migrations** des espèces terrestres sont restreints et contraints aux passages dans les vallées, même si le relief accentué (amplitude altitudinale et contraste d'exposition) offre de grandes possibilités de zones refuges (Fig.8) ;
- la présence de nombreux **lacs** (à toutes les altitudes) et les **cours d'eau** (souvent aménagés) sont une des spécificités des Alpes.

D. Les impacts en Savoie

1. Impacts sur la flore

Les espèces végétales se répartissent en montagne par grandes tranches d'altitude. L'étagement de la végétation est directement en lien avec des seuils altitudinaux, qui selon l'exposition, l'importance de la pente et le type de substrat peuvent varier au plus de quelques centaines de mètres d'un site à l'autre, d'un massif à l'autre.

• Des migrations globales

Le changement climatique, et plus particulièrement l'élévation des températures, va avoir pour incidence une translation vers le haut des différents étages de végétation. Une augmentation de 3°C entraîne une élévation généralisée de l'étagement d'environ 500 m (loi bioclimatique de Hopkins). Dans les **massifs de moyenne montagne**, une telle élévation marque la disparition des pelouses d'altitude et une **généralisation de la forêt**. Dans les massifs de plus haute altitude, une telle élévation se traduira par une forte compétition interspécifique et une réduction physique des niches écologiques. Les épicéas migreront en altitude et certaines espèces, plus fragiles comme le **mélèze** (ou encore le pin cembro), ne trouvant plus de «climatope adapté» sont **vouées à quasiment disparaître** des Alpes françaises.

• Un effet important sur les étages alpins et niveaux

Les impacts les plus importants concernent les étages alpins et niveaux (au dessus de 2000 m). Les espèces rares de ces étages, généralement adaptées à des biotopes particuliers, seront directement concernées : elles constituent aujourd'hui 15 % de la diversité spécifique floristique des Alpes. Afin de ne pas perdre cette riche biodiversité d'altitude, des mesures d'accompagnement restent à trouver pour faciliter la migration potentielle de certaines espèces vers les zones qui auront été désenglacées ou dépourvues de leur couverture nivale (névé). Ces mesures devront prendre en compte la difficulté suivante : comment concilier la rapidité envisagée du réchauffement climatique et la relative lenteur des processus d'adaptation des espèces dans de nouveaux écotopes dépourvus de sols ?

Les modèles biogéographiques mis au point ces dernières années peuvent prédire la distribution future des espèces de manière globale. En effet, **40 % des 287 espèces de plantes modélisées disparaîtraient, ou presque, d'ici 2100**. Par endroit, le renouvellement des communautés végétales pourrait être total (100 % des espèces céderaient la place à d'autres). La saxifrage à feuilles opposées (*Saxifraga oppositifolia* L.) est un bon exemple de plante alpine susceptible d'être particulièrement affectée par un changement climatique. Sa distribution serait déjà sensiblement réduite par un simple réchauffement de 1,4°C.

• Un étage collinéen «enrichi»

A ce danger potentiel de perte de biodiversité d'altitude, répond un **accroissement possible de la biodiversité pour les étages collinéens** (< 800 m d'altitude) et **montagnard** (800-1500 m) engendrés par la remontée latitudinale (vers le nord) d'écosystèmes méditerranéens. De nouvelles espèces tendront à coloniser les étages collinéen et montagnard et des phénomènes de steppisation pourraient affecter les plateaux de moyenne altitude, **malgré la réduction des surfaces de ces étages** (Fig.5).

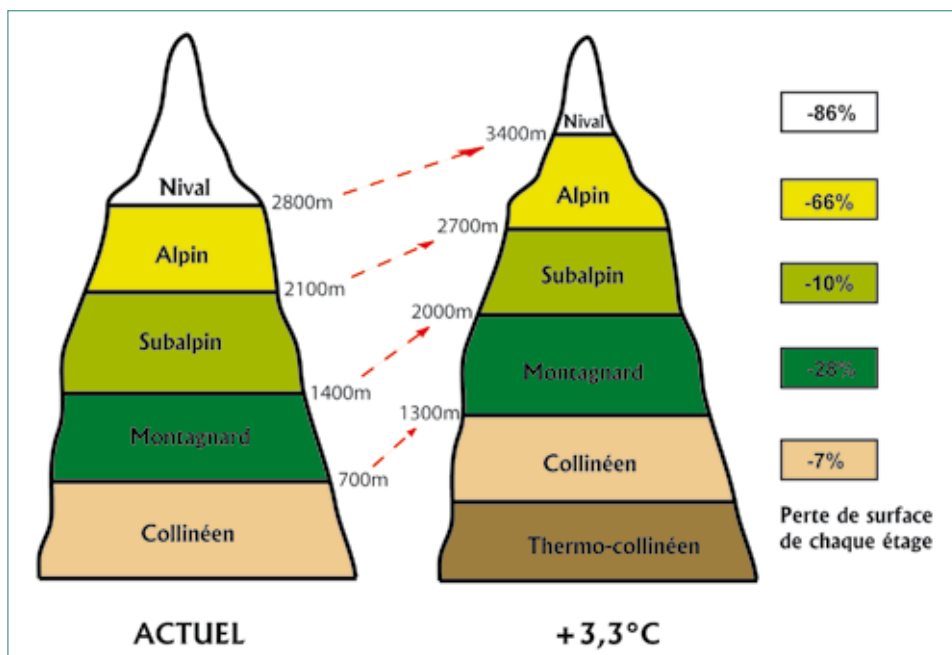


Fig. 5 - Scénario d'évolution des étages de végétation pour un réchauffement de 3,3°C supplémentaire (horizon 2070), avec le pourcentage de perte de surface de chaque étage pour la Suisse. Theurillat JP, Guisan A. , 2001 ; mise en forme : C. Chaix

• Des incertitudes et quelques grandes tendances

A l'heure actuelle, les modèles ne peuvent prendre en compte ni la capacité d'adaptation ou de plasticité phénotypique des végétaux, ni les interactions entre les espèces. **Il est très difficile de modéliser aux échelles locales** qui font intervenir différents paramètres comme l'exposition, l'altitude, la dispersion, les interactions, l'utilisation des terres... Les modèles climatiques ne sont aussi pas assez précis.

Néanmoins, il est raisonnable de penser que :

- des **espèces artico-alpines disparaîtront de la Savoie** dont quelques unes emblématiques (voir photos ci-contre) ;
- des **espèces méditerranéennes coloniseront la Savoie** ;
- un **bilan positif du point de vue du nombre d'espèces** mais **une perte en terme qualitatif** : certaines espèces spécialistes disparaîtront au profit des espèces généralistes (augmentation des espèces communes et dominantes ; disparition des espèces endémiques et patrimoniales).



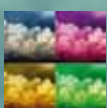
2. Impacts sur la faune

• Des espèces vulnérables

Au même titre que les espèces végétales, certaines espèces animales sont particulièrement vulnérables aux changements des écosystèmes provoqués par les modifications climatiques. Les plus menacées sont ici également celles adaptées à la haute montagne, compte tenu de la réduction progressive des écotopes d'altitude. Les espèces dépendantes de leur milieu et/ou **n'ayant pas une**

Photos - Exemples d'espèces de montagne menacées en cas de réchauffement climatique : campanule du Mont-Cenis (à gauche), l'ancolie de Bertoloni (au centre) et la tofielidie boréale (à droite).

Crédits photos : Taillefer - Arts, Nature et Patrimoine ; www.labarule.com ; Franck Le Driant



mobilité suffisante pour franchir les obstacles naturels ou humains (zones urbaines, routes etc.), et celles dont l'espace vital ne serait pas protégé contre les dérangements de l'activité humaine (infrastructures touristiques, randonneurs, etc.) sont les plus menacées. A l'inverse, **un certain nombre d'espèces pourra profiter de ces nouvelles conditions**, conquérir de nouveaux territoires, voire concurrencer et supplanter les espèces autochtones. L'accroissement des températures estivales aura également des conséquences sur les espèces craignant la chaleur comme par exemple, **les chamois, les bouquetins et les galliformes** (photos ci-dessous).



*Photos - Exemples d'espèces menacées en cas de réchauffement climatique : Bouquetins (à gauche), Tétralyres (au centre), Lagopèdes alpins (à droite).
Crédits photo : C. Besson ; R. Clerc ; C. Morerod*

- **Des espèces pouvant s'adapter**

Le changement climatique aura comme effet une **redistribution des espèces dans le département** qui dépendront à la fois des capacités des espèces à se déplacer (vol, marche, reptation...), à réguler leur température (effet important sur les espèces ne régulant pas leur température, dites ectothermes) et à adapter leur phénologie. **La présence suffisante de corridors biologiques qu'ils pourront utiliser pour se déplacer est donc primordiale.**

- **Les milieux aquatiques en danger**

La température des lacs et des cours d'eau augmente parallèlement à celle de l'air (voir chapitre ressource en eau).

Ce phénomène entraîne un brassage partiel et une stratification thermique plus précoce des lacs, couplés avec la moindre alimentation en eau des lacs par les rivières. Il en résulte une **désoxygénation** des couches profondes, ce qui entraîne, entre autre, des **problèmes de reproduction des salmonidés** et un développement plus important des **phytoplanctons**. Les conditions de vie se dégradent et la chaîne alimentaire se retrouve perturbée.

Les impacts écologiques du réchauffement climatique enregistrés sur le Léman sont également constatés sur le lac du Bourget : **la phénologie des espèces piscicoles est modifiée**, en particulier les dates de pontes de certaines espèces. Si le réchauffement se poursuit, les poissons tels que **l'omble chevalier** puis le **corégone**, qui recherchent une eau de température inférieure à 7°C pour réaliser leurs pontes, seront **pénalisés**. A long terme, une nouvelle évolution du peuplement piscicole serait comparable à celle observée il y a 25 ans, en **phase d'eutrophisation** dans le Léman et le Bourget. En outre, des **espèces envahissantes** pourraient profiter du réchauffement pour se développer en abondance comme ce fut le cas pour le **poisson chat** au Bourget en 2003 (INRA).

Dans les rivières, le réchauffement de la température constaté pour les cours d'eau alpins et préalpins (Hari et al, 2006, in OFEV, 2007) est concomitant avec la diminution des populations de truites de rivière, depuis les années 80. Malgré l'influence d'un grand nombre de paramètres sur cette évolution, notons que l'accroissement de la température de l'eau incite les poissons à migrer vers l'amont, alors que les cours d'eau sont jonchés d'**obstacles naturels ou artificiels**. Les truites sont aussi victimes dans les zones de basses altitudes (en dessous de 800 m) de la maladie rénale proliférative, dont la fréquence augmente avec la hausse des températures de l'eau. Enfin, lorsque les périodes de chaleurs estivales se répètent, certaines populations sensibles peuvent disparaître, comme en 2003 avec les ombres du Rhin.

3. Impacts sur les milieux naturels

• Forêts, alpages et pelouses, d'importantes surfaces en Savoie

La carte d'occupation du sol (Fig.6) en Savoie souligne les enjeux actuels en termes quantitatifs de la gestion de l'espace dans le département.

- **la forêt représente 40 % de la surface du département**, avec une forte influence sur les paysages. L'évolution des activités sylvicoles conditionnera fortement la biodiversité de ces milieux (cf. chapitre sylviculture).

- **Les alpages et pelouses naturelles représentent 31 % de la surface du département** avec aussi une forte influence sur les paysages. L'évolution des activités **agricoles** conditionnera aussi fortement la biodiversité de ces milieux (cf. chapitre agriculture).

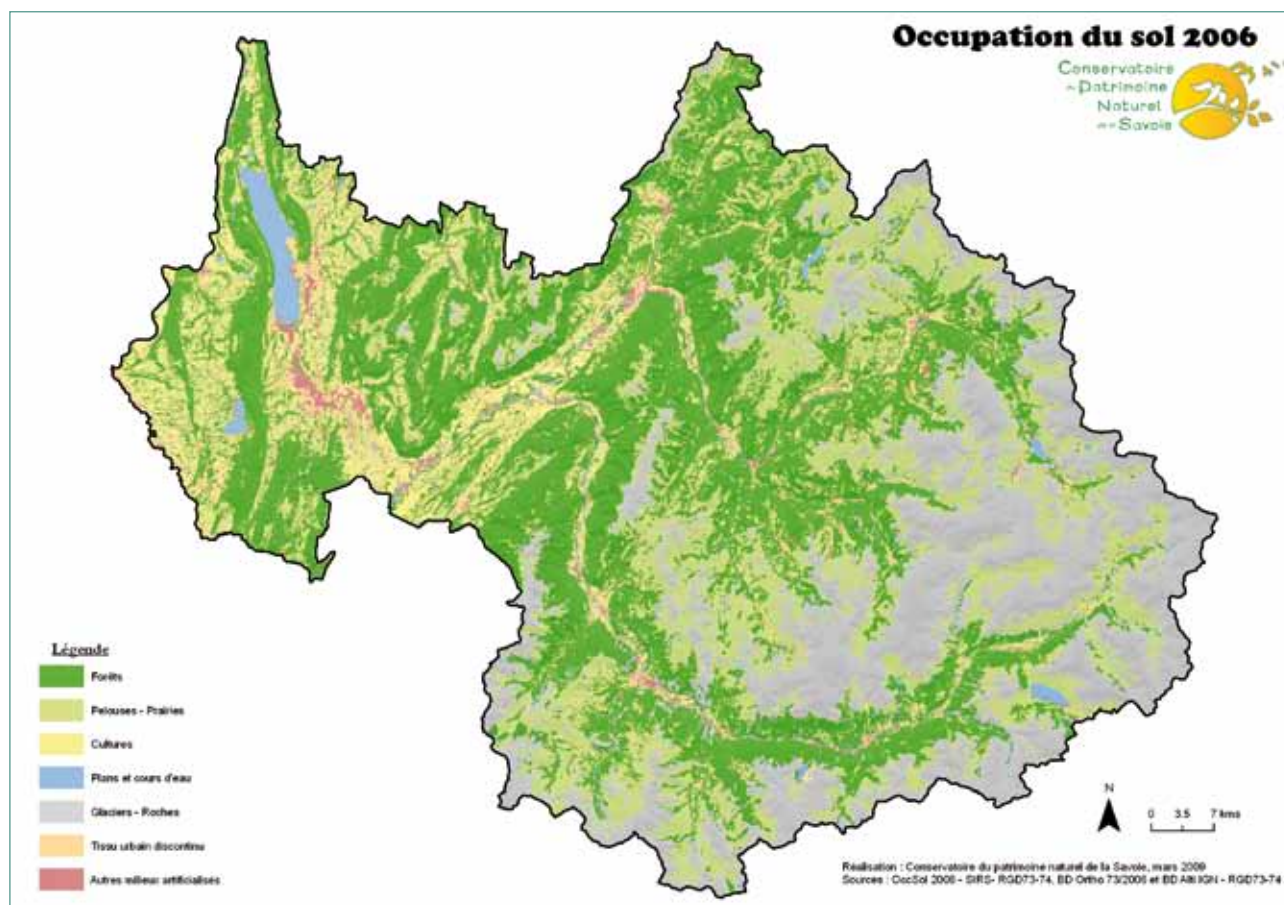
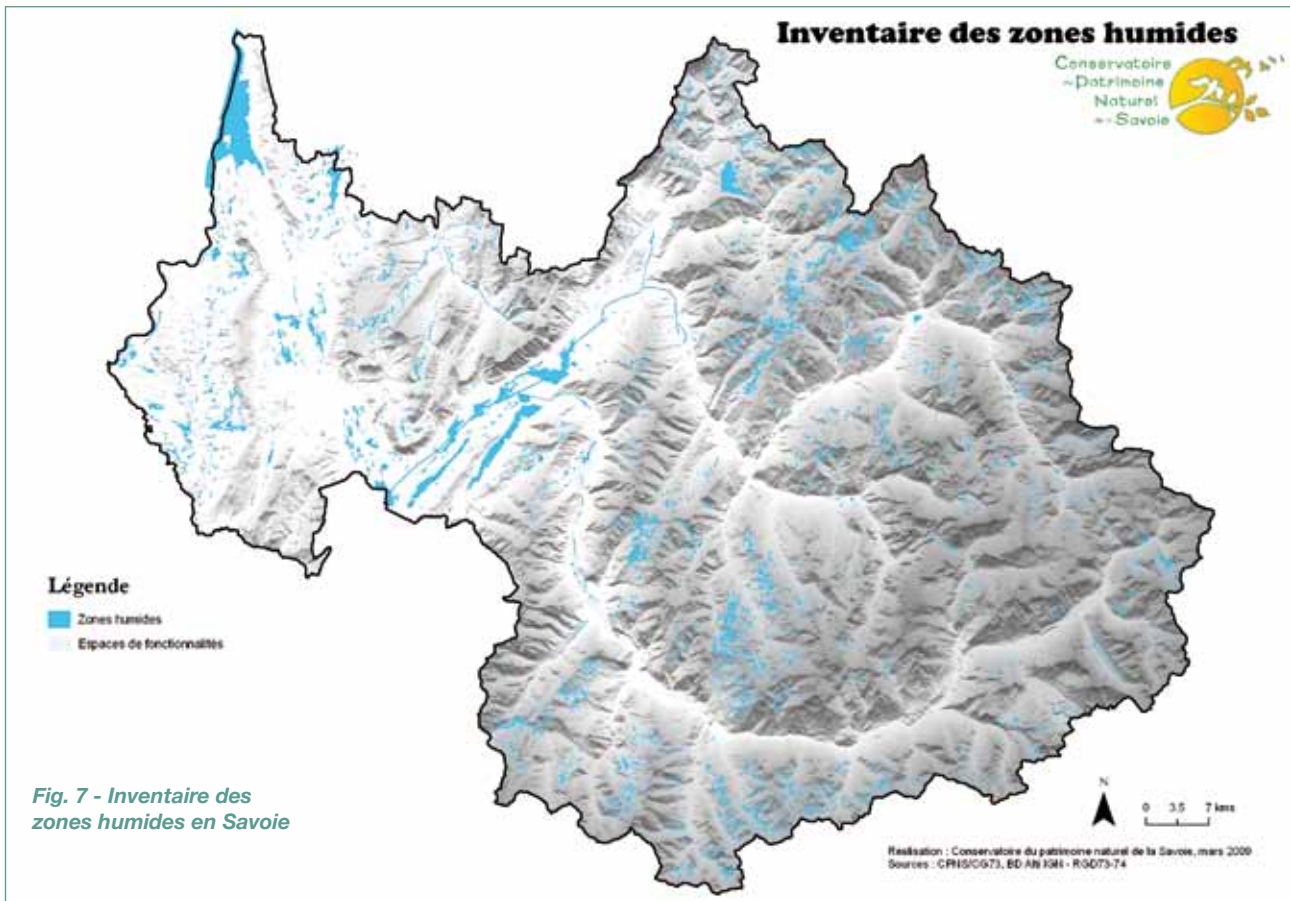
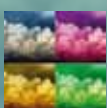


Fig. 6 - Occupation du sol en 2006 en Savoie

• **Les zones humides représentent 2,5 % de la superficie du département** (sans les lacs) mais hébergent **plus de la moitié des espèces protégées**. Ces milieux ont **régressé de 50 % en Savoie depuis 50 ans**.

Toutes modifications des écoulements **ont un impact direct sur la pérennité de ces zones**, que ce soit en plaine (écoulement direct ou via les nappes phréatiques) ou en montagne (écoulements directs), ainsi que **toutes modifications des flux** (prélèvement à la source, drainage, diminution des débits des cours d'eau ...). La conservation en bon état des zones humides contribue aussi à **la régulation des écoulements** (stockage et restitution lente de l'eau). Dans ce contexte, le changement climatique pourrait avoir un effet aggravant : la moindre régulation des écoulements (par la couverture nivo-glaciaire), le démarrage plus précoce de la végétation (consommatrice d'eau), la plus forte évapotranspiration liée aux chaleurs estivales, etc., vont directement **intervenir dans le cycle hydrologique de l'eau**.

Au niveau des **zones humides d'altitude** (tourbières, marais ...), cela se traduira par une **baisse du niveau de l'eau**, voire un assèchement, qui rendront **vulnérables les espèces associées** à ces biotopes (Fig. 7).



Photos - Espèces typiques des milieux humides.

Crédits photos : A.Besset ; J.M. Faton

4. Synthèse des impacts

Au regard de **la particularité et de la fragilité des écosystèmes montagnards et de la rapidité du changement climatique**, les processus d'adaptation seront trop lents et le déplacement des zones de répartition sera fortement limité par une géographie aux multiples barrières naturelles et un environnement déjà fortement dégradé par l'activité humaine.

Les effets directs du changement climatique sur la biodiversité seront les suivants :

- risque d'extinction des espèces vivant en haute-altitude,
- régression des aires bioclimatiques de montagne et des milieux fragiles (zones humides),
- banalisation globale des espèces et risque de prolifération des espèces invasives,
- modification des peuplements des milieux aquatiques.

Les adaptations des activités humaines au changement climatique (pratiques agricoles, structure socio-économiques) **pouraient avoir plus d'impact sur la biodiversité que le changement climatique proprement dit** à l'horizon 2050-2100, notamment avec l'agriculture, la sylviculture, l'artificialisation de l'espace et la gestion de l'eau.

Beaucoup d'incertitudes existent sur les effets induits de ces changements :

- le paysage risque-t-il de se diversifier ou de se banaliser ?
 - la diversité génétique sera-t-elle favorisée ou non ?
 - le fonctionnement des écosystèmes résistera-t-il sans phase de rupture ?
- Ces incertitudes soulignent la nécessité de poursuivre les champs de recherche sur les capacités d'adaptation ou non de notre environnement face au changement climatique.

3• STRATEGIES D'ADAPTATION

L'analyse développée dans ce document a permis de relever que le changement climatique **aura un effet direct sur la biodiversité** avec la **disparition d'espèces** emblématiques du département et/ou l'apparition de nouvelles.

Il est également important de souligner que les principaux effets seront indirects, en lien avec les **changements de pratiques notamment agricoles et sylvicoles**, voire touristiques. Afin de préserver la **richesse patrimoniale** du département, il s'agira à la fois de préserver les noyaux de biodiversité (parcs, réserves, zones répertoriées dans l'inventaire Natura 2000), de **maintenir**, voire recréer, des **corridors biologiques et d'accompagner les changements de pratiques notamment agricoles** pour conserver la capacité de cette activité à préserver une forte biodiversité dans les espaces agricoles. Ces orientations sont également celles du Grenelle de l'Environnement qui met l'accent sur les milieux fragiles à forte biodiversité (zones humides), les corridors biologiques (trames vertes et bleues) et l'agriculture à haute valeur environnementale (HVE).

Des incertitudes demeurent quant aux effets du changement climatique sur le fonctionnement des écosystèmes, la banalisation des paysages ou les effets des pathogènes. Il s'agira à la fois de mener des actions ambitieuses mais aussi d'être en capacité de les infléchir si nécessaire.

Afin de réduire les impacts potentiels du changement climatique sur la biodiversité, **trois objectifs doivent être atteints** :

A. Préserver les réservoirs de biodiversité

Il s'agira dans un premier temps de **préserver les réservoirs de biodiversité du département**. Ces espaces représentent un pourcentage important de l'espace, ce qui est un **atout considérable dans ce contexte de changements globaux** pour préserver les espèces qui le nécessitent (Fig.8).

Pistes d'actions - Dans les prochaines années, les espaces réglementaires dédiés à la préservation de la biodiversité doivent être exemplaires (Parc nationaux, réserves naturelles, arrêtés préfectoraux de protection de biotope), et toutes les procédures contractuelles (Parc naturels régionaux, Natura 2000, sites conservatoires) doivent se compléter afin de **multiplier les réservoirs de biodiversité**. La création de nouveaux réservoirs de biodiversité pourraient être une mesure d'anticipation face au changement climatique. La **gestion de l'eau sera aussi déterminante** pour le maintien de réservoirs de biodiversité à enjeux forts (milieux aquatiques et zones humides).

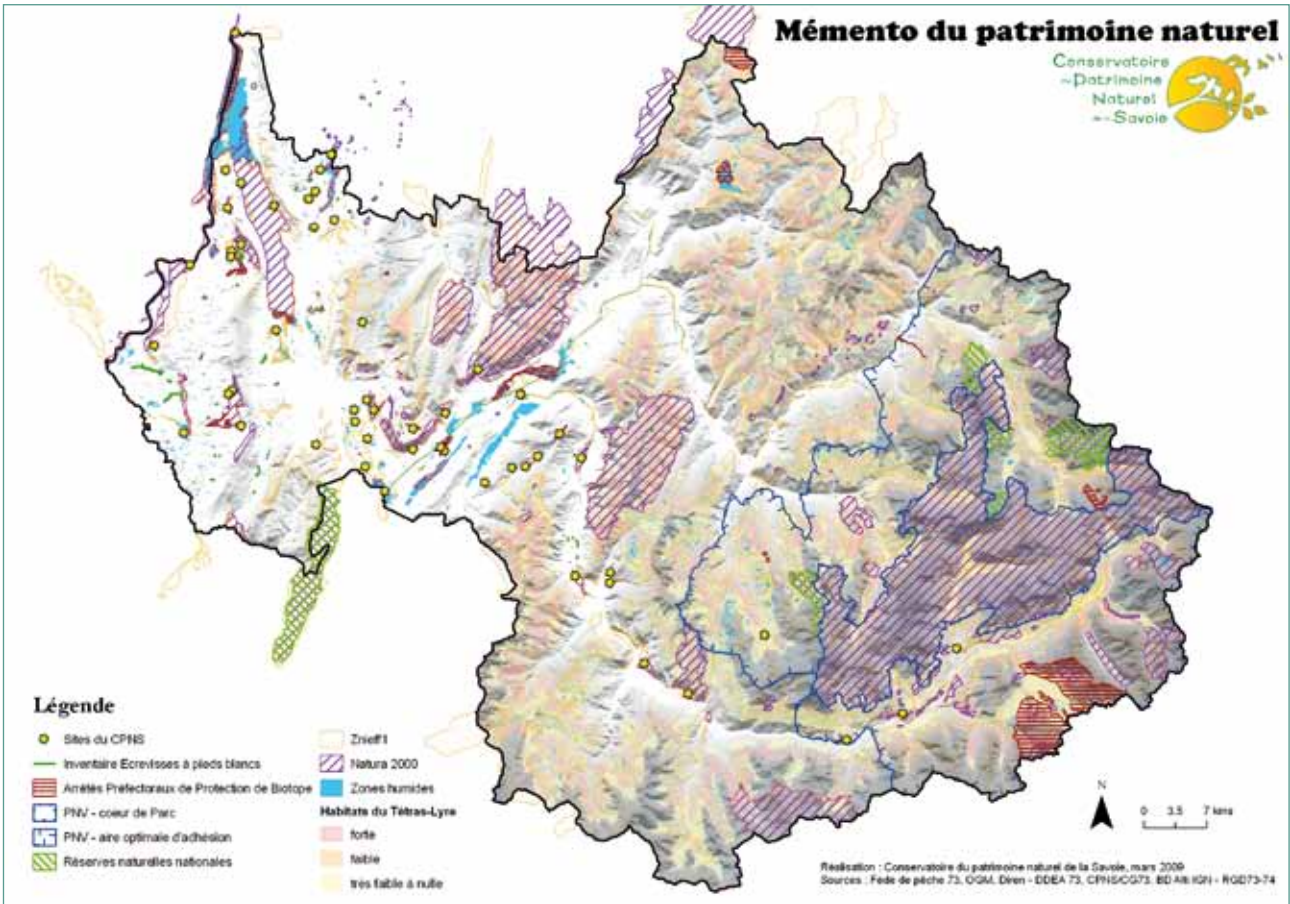
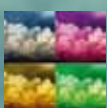


Fig. 8 - Mémento du patrimoine naturel en Savoie

B. Maintenir, voire restaurer les corridors biologiques

L'adaptation au changement climatique dépendra dans notre département de la capacité des espèces à migrer d'une zone devenant défavorable à une autre. Le **maintien voire la restauration de corridors biologiques**, sera un élément clef pour le maintien d'un certain nombre d'espèces (Fig.9).

Pistes d'actions - Un corridor biologique est un **espace libre d'obstacle** offrant des possibilités d'échanges entre les différents habitats vitaux pour une espèce ou un groupe d'espèces (habitat, sites de reproduction, de nourrissage, de repos, de migration ...). Ces structures écopaysagères permettent la migration et la circulation des différentes espèces vivantes. La restauration d'un réseau de corridors biologiques (maillage ou trame écologique) est une des deux grandes stratégies de **gestion restauratoire ou conservatoire pour les nombreuses espèces menacées** par la fragmentation de leur habitat, due ou non au changement climatique, nécessaires à l'adaptation des espèces. Leur prise en compte dans les documents d'aménagement sera un des facteurs clefs de leur préservation.

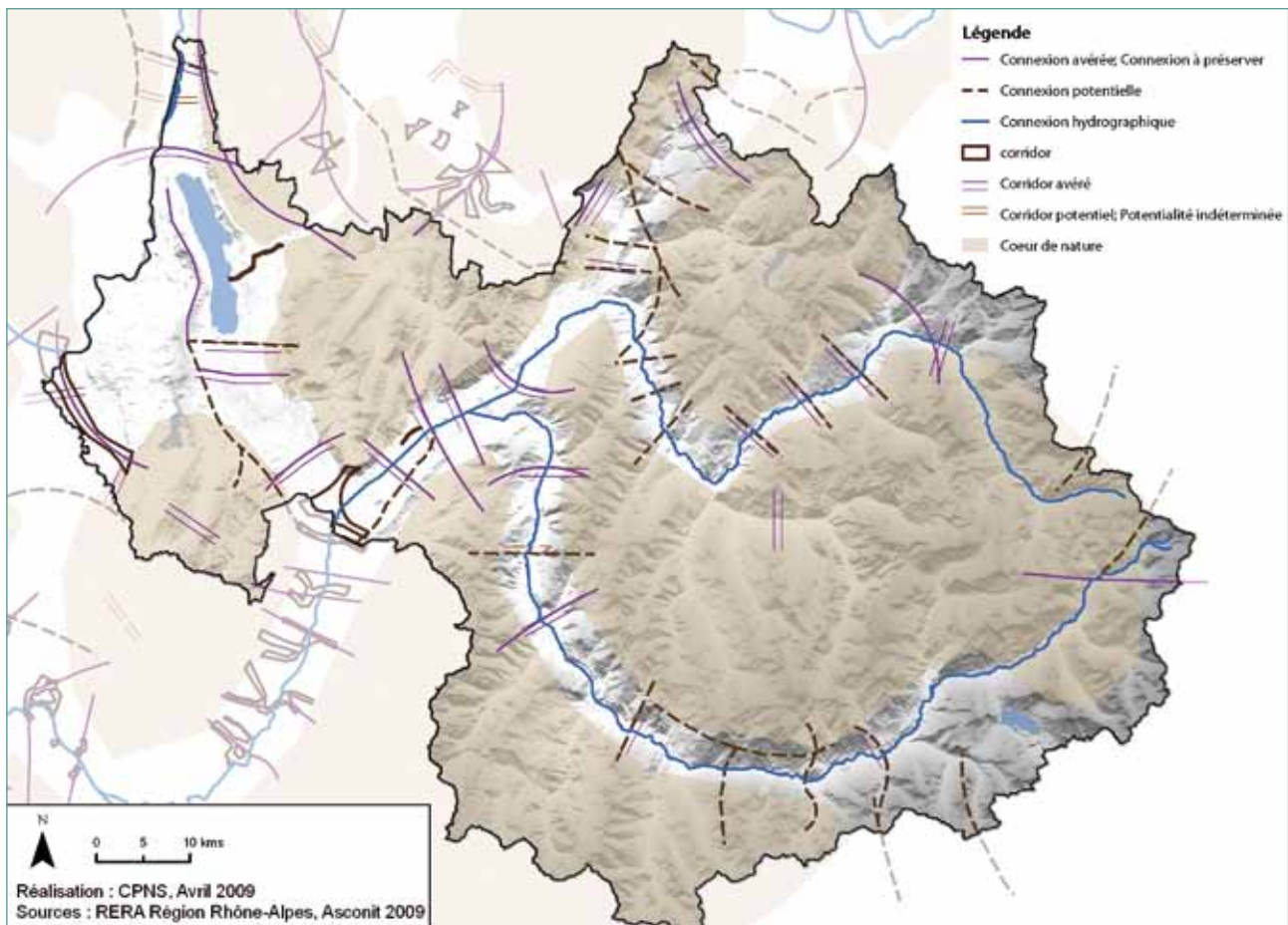


Fig. 9 - Les corridors biologiques en Savoie

C. Faire du département un département de référence

Le lien entre pratiques agricoles et biodiversité est certainement un des enjeux phares des années qui viennent, de par la surface que représente l'activité agricole dans le département et le lien direct entre cette pratique et la richesse des milieux ouverts. La poursuite et le renforcement des actions, visant à ce que **la Savoie soit un département de référence en termes agro-environnementaux** sont particulièrement stratégiques.

Pistes d'actions - Avec plus de 17 000 ha (soit 16 % de la surface totale) inscrits dans le réseau Natura 2000, **l'agriculture savoyarde est déjà un acteur clef de la préservation de la biodiversité du département. Dans les années qui viennent, il s'agira d'accompagner les agriculteurs vers les adaptations nécessaires tout en garantissant à la fois la viabilité économique de leurs exploitations et des pratiques encore plus respectueuses de la biodiversité. Le département a tous les atouts pour être une référence agro-environnementale en ce domaine.** Plusieurs études ont révélé que les communautés prairiales variées surmontaient mieux les sécheresses que les prairies pauvres en espèces. **La biodiversité peut donc être une assurance contre les effets du changement climatique.**

CONCLUSION

1 • Le changement climatique en Savoie : un phénomène largement engagé

Les différents constats développés dans ce Livre blanc sur le changement climatique en Savoie et plus largement sur les Alpes ont mis en évidence les points particuliers suivants :

• une accentuation du réchauffement en montagne

Avec les pôles, les Alpes présentent une des plus fortes évolutions connues en termes de réchauffement climatique : depuis 1900, l'élévation moyenne des températures y est deux fois plus forte que dans l'hémisphère Nord et trois fois plus importante que sur l'ensemble de la planète. On retrouve un phénomène similaire pour la chaîne himalayenne, qui souligne le rôle amplificateur des montagnes sur le changement climatique. Les conséquences sont d'autant plus marquées que les montagnes sont très sensibles aux modifications climatiques. Cet effet n'est pas neutre sur les écosystèmes et hydrosystèmes de montagne et les activités économiques dépendantes du climat (tourisme, agriculture) ;

• une modification du régime des pluies

L'analyse des chroniques météorologiques n'a pas permis de dégager des tendances annuelles significatives, à l'exception d'une augmentation des sécheresses estivales sur l'ensemble du département, et d'une réduction de la pluviométrie hivernale dans le sud du département. Les différences d'évolution entre secteurs géographiques brouillent toutefois la perception d'ensemble.

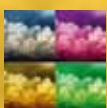
Sur le moyen et long terme, les projections climatiques prévoient une accentuation des extrêmes et un caractère plus marqué de la saisonnalité : des pluies plus abondantes au cours de la saison hivernale et moins abondantes en été ;

• une réduction du stockage de l'eau en altitude

La remontée de la limite pluie/neige et l'accentuation des chaleurs estivales ont déjà pour effet de réduire le stockage de l'eau sous forme nivale et glaciaire. En dehors de l'impact paysager (montagnes moins enneigées), cette réduction du stock d'eau en altitude impactera la disponibilité à venir de la ressource en eau ;

• de fortes variabilités selon les territoires

Le travail mené souligne qu'entre plaine et montagne, d'une vallée à une autre, d'un versant à l'autre, les situations sont très différentes. Cette diversité spatiale souligne que la construction de stratégies d'adaptation aux modifications du climat doit être menée à l'échelle des territoires. Pour un département comme la Savoie, il n'y a pas une réponse au changement climatique mais des réponses à bâtir en tenant compte des spécificités de chaque territoire. Ces réponses doivent être mutuellement cohérentes afin de satisfaire l'ensemble du département ;



• des incidences diverses sur les activités

Parce qu'il constitue en Savoie le principal secteur d'activité économique, l'analyse des impacts du changement climatique sur le tourisme a fait l'objet d'une attention particulière, s'agissant notamment des sports d'hiver.

Les grands domaines skiables ne sont pas sous une menace directe et immédiate du fait de leur situation en altitude. Il n'en va pas de même pour les stations de moyenne montagne qui se trouvent dès à présent confrontées à des choix stratégiques majeurs. Une approche fine et localisée s'impose sur cette question et entre dans un débat plus large sur la diversification touristique.

La réflexion a également porté sur les autres activités que sont l'agriculture et la forêt, mais aussi sur les ressources comme la biodiversité, l'eau ou les paysages qui, en Savoie peut-être plus qu'ailleurs, sont des composantes majeures du territoire et des leviers de valorisation. La problématique du changement climatique nous oblige à une démarche globale et intégrée qui doit prendre en compte la complexité issue des relations entre ces différents domaines. Les ressources impactées par le changement climatique sont partagées entre de nombreux usages. Par ailleurs, il sera important de bien prendre en compte les impacts des actions d'atténuation et d'adaptation conduites par secteur sur les autres territoires, qu'ils soient voisins ou situés plus en aval ;

• un territoire particulier

La question des émissions des gaz à effet de serre est au cœur des actions que peuvent et doivent mener les territoires dans le cadre de leur Plan Climat. La Savoie présente une réelle spécificité qui rend délicate la comparaison avec d'autres territoires et qui nécessite des réponses appropriées. Ces singularités sont liées :

- à un parc de résidences touristiques très important, très majoritairement localisé en altitude et occupé essentiellement pendant la saison froide. C'est aussi pour une grande part un parc ancien et souvent sous-utilisé ;
- aux flux de transport qui vont bien au-delà de la seule mobilité interne : les flux touristiques ou de transit en direction de l'Italie influencent directement le bilan carbone du département ;
- à certaines activités industrielles dont les processus de fabrication (réactions chimiques) sont générateurs de gaz à effet de serre alors même qu'elles participent au maintien des activités économiques locales.

Ces caractéristiques qui font l'attractivité de la Savoie lui imposent, là où elle est en capacité d'agir, des objectifs plus exigeants qu'ailleurs dans les politiques d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre ;

• des ressources pour relever certains défis du changement climatique

La Savoie, par sa géodiversité et sa dynamique économique, dispose des ressources pour répondre aux contraintes imposées par le changement climatique et à l'exigence de réduction d'émissions de gaz à effet de serre. L'attrait des espaces de montagne et des lacs offrant de la fraîcheur peut constituer un vecteur pour développer la fréquentation estivale. Le maillage entre montagnes et vallées urbanisées peut constituer un levier pour le développement d'une agriculture de montagne. Le développement sur le territoire de filières orientées sur les énergies renouvelables et l'éco-construction, autour par exemple de la filière bois, est un autre atout réel. Les exemples ne manquent pas.

2• Les actions pour limiter les émissions de gaz à effet de serre

La Savoie, comme les autres territoires, doit inscrire ses actions dans les engagements pris par la France au niveau européen (paquet climat-énergie) et national dans le cadre du Grenelle de l'Environnement. Ces actions participent également à la dynamique voulue par la France et l'Europe dans les accords internationaux (protocole de Kyoto). La Savoie doit s'engager résolument et dès à présent à réduire les émissions des gaz à effet de serre compte tenu des effets du changement climatique sur son territoire. Pour cela, elle dispose de leviers dans les domaines suivants :

• la rénovation des bâtiments

Un fort gisement d'économie réside dans l'isolation thermique des bâtiments anciens, que ce soit dans les exploitations agricoles, les bâtiments industriels, les résidences principales et secondaires, et le tertiaire.

Concernant le parc touristique, une réflexion sur une meilleure optimisation reste à mener dans une optique de restructuration des stations privilégiant la requalification de l'offre plutôt que l'extension de l'urbanisation ;

• les énergies renouvelables

Il convient d'amplifier et diversifier le recours aux énergies renouvelables en confortant le recours à l'hydroélectricité, en poursuivant la structuration de la filière solaire thermique et photovoltaïque et en valorisant la filière bois.

Ce recours nécessite des stratégies territoriales adaptées, s'inscrivant dans le contexte du «schéma régional climat air énergie» voulu par le Grenelle de l'Environnement et prenant en compte les autres enjeux des territoires. A l'instar de ce qui a été mis en œuvre pour la filière solaire, ces investissements nécessitent un positionnement politique, industriel et scientifique volontariste et coopératif ;

• une nouvelle conception urbaine

En matière d'urbanisme et de déplacements métropolitains, il convient de s'interroger sur une meilleure répartition des activités et de l'habitat qui soient moins consommateurs de déplacements. La périurbanisation et l'extension spatiale de l'habitat ne sont pas sans incidence dans le bilan carbone du territoire.

Il faut se poser la question de l'organisation spatiale de demain et de son articulation avec les offres de transport moins émetteur en gaz à effet de serre. Le renforcement de l'offre de transports en commun en quantité et en qualité, le développement de la multi-modalité, la promotion des modes de déplacement doux en ville, sont quelques unes des pistes d'action, certes pas toutes simples à mener mais qui constituent des stratégies concrètes et structurantes sur le long terme ;

• l'accès aux stations de sports d'hiver

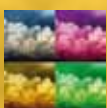
L'impact des transports vers les stations de sports d'hiver en termes de gaz à effet de serre doit impérativement être réduit par une prise en compte de toute la chaîne de transports depuis le domicile du touriste jusque la station, par une optimisation de la complémentarité des modes de déplacement et par la gestion du «dernier kilomètre».

Des actions sont entreprises, il importe de les mettre en cohérence et de créer les synergies pour répondre globalement à cette question centrale pour le département ;

• le trafic de transit

La nouvelle liaison ferroviaire Lyon/Turin apportera à terme une réelle solution au trafic de transit dans sa double composante fret et voyageurs. Il importe que ce projet soit réalisé dans les délais et que les acteurs locaux et les collectivités territoriales mobilisent toute leur capacité de discussion, d'influence et de négociation à cette fin.

Dès à présent, et dans l'attente de la réalisation de ce projet, tout doit être entrepris pour favoriser l'utilisation de l'autoroute ferroviaire alpine et de la plateforme d'Aiton.



3• Les stratégies pour s'adapter au changement climatique

Alors que les politiques d'atténuation doivent être conduites de manière homogène et cohérente à l'échelle des Etats, les politiques d'adaptation ne peuvent, pour l'essentiel, qu'être conçues et mises en œuvre par les acteurs, en fonction des spécificités de leur territoire. Celles-ci sont nombreuses sur un territoire comme la Savoie et renvoient à une double exigence : la prise en compte des spécificités locales et la cohérence de l'ensemble du territoire départemental.

Si le changement climatique est un facteur, parmi d'autres, à intégrer dans les politiques de développement territorial, il deviendra déterminant pour certaines activités (le futur des stations de ski de basse et moyenne altitude par exemple) et certaines ressources (eau, biodiversité...).

Le travail réalisé dans le cadre du Livre blanc permet de dégager des premières pistes d'actions.

• Dans le secteur du tourisme

Les pistes d'action doivent prendre en compte la diversité des situations et distinguer les impacts du changement climatique à différentes altitudes.

Dans les prochaines décennies, les grandes stations de sports d'hiver seront relativement peu affectées par le réchauffement climatique. Leur situation en haute altitude (supérieure à 1 800 m) les met dans l'immédiat relativement à l'abri de déficits chroniques d'enneigement. Elles devraient de ce fait bénéficier d'un effet report. Afin d'assurer leur enneigement face à d'éventuels aléas climatiques (redoux, faible enneigement, vents violents ...), ces domaines auront recours à la neige de culture. Cette pratique devra être mise en œuvre dans le respect des équilibres naturels (ressources en eau), économiques (rentabilité des investissements) et sociaux (impact sur le prix du produit ski). Cela vaut en particulier pour la création de retenues collinaires dont on n'a pas encore pu, à ce jour, mesurer pleinement l'ensemble des effets dans une logique amont-aval.

A plus basse altitude, 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. Cela peut aller jusqu'à une reconversion totale lorsque l'activité hivernale ne pourra plus être maintenue. Une approche fine doit être menée, secteur par secteur, associant très étroitement les collectivités locales et les acteurs économiques directement impliqués.

Cette diversification des activités devra se faire dans un souci de différenciation, afin d'éviter la standardisation des offres qui mettrait les sites dans une situation de vaine concurrence qui appauvrirait l'attractivité des territoires de montagne. Pour l'été et les intersaisons, le réchauffement climatique peut constituer une opportunité qui permettrait à la Savoie de renforcer sa position dans l'offre touristique. Cela suppose qu'elle se dote d'une stratégie forte et visible, à l'instar de ce qui a été fait pour les sports d'hiver.

• Pour l'agriculture et la forêt

Les modifications climatiques (températures, sécheresse, raréfaction de la ressource en eau sur certains secteurs et à certaines périodes de l'année) auront des impacts sur le stress hydrique et la phénologie des espèces végétales, sur le déplacement de leurs aires de répartition et sur les ravageurs. Les conséquences en termes de production et de qualité peuvent être importantes en raison de la spécificité et de la vulnérabilité du modèle savoyard (produits montagnards de qualité, terroir).

Outre la nécessaire sensibilisation des agriculteurs, la mise en œuvre des stratégies d'adaptation doit être envisagée dès aujourd'hui. Les leviers disponibles sont nombreux. Citons :

- l'utilisation d'espèces plus résistantes aux épisodes de sécheresse. Cela concerne l'ensemble des activités, qu'elles soient forestières, agricoles et pastorales.
- la diversification des assolements ou l'introduction de mélanges d'espèces pour les cultures céréalières ou les prairies temporaires...
- la sécurisation du système fourrager dans le respect des cahiers des charges de labellisation des produits agricoles.
- un nouveau mode de gestion de la forêt visant, d'une part, à accroître la production de bois-construction et de bois énergie et, d'autre part, à intégrer dans les techniques sylvicoles les effets probables du changement climatique.

Dans tous les cas, les mesures d'adaptation au changement climatique devront être conduites de manière coordonnée et concertée afin de ne pas fragiliser les organisations économiques ni accentuer les tensions sur les ressources territoriales (eau et foncier notamment). Enfin, compte tenu de la complexité des enjeux, il est indispensable de produire plus de connaissances et de références sur les interactions entre climat, environnement et exploitations agricoles à l'échelle des territoires (à travers des programmes de recherche appliquée), pour permettre une réponse adaptée, durable et efficace.

• S'agissant de l'urbanisme et de l'habitat

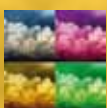
L'habitat et les déplacements sont généralement abordés dans les politiques d'atténuation et plus rarement sous l'angle de l'adaptation. Or, le réchauffement va inciter à repenser certaines formes d'urbanisme (renaturation des centres urbains, etc.) et à concevoir de nouveaux « produits » dans l'habitat afin de prendre en compte l'élévation des températures estivales et les effets de canicule en évitant le recours à des solutions émettrices directement ou non de gaz à effet de serre. Les projections mettent clairement en avant que les épisodes chauds et très chauds seront plus fréquents dans les prochaines décennies en Savoie.

• Concernant les ressources environnementales

Deux ressources environnementales seront plus particulièrement touchées par les modifications du climat : l'eau et la biodiversité. Il s'agit ici de définir des pistes d'action qui prennent en compte la diversité environnementale du territoire départemental, la structuration territoriale et les usages actuels.

La Savoie véhicule l'image d'une relative abondance en **eau**. Si celle-ci est réelle, il ne faut pas qu'elle devienne un paravent masquant les impacts actuels et à venir du changement climatique. Le Livre blanc a confirmé la vulnérabilité de cette ressource liée, notamment, à la diminution de la rétention nivale et du stockage glaciaire. Cette diminution couplée aux moindres précipitations estivales et à une plus forte évapotranspiration est un réel facteur de risque de sécheresse, tant des aquifères de montagne (de petites tailles) que des cours d'eau. La situation estivale de la période 2003-2006 et plus récemment de 2009, signe avant-coureur de situations plus fréquentes à l'avenir, incite à poser les bases d'une réelle gestion intégrée de l'eau tenant compte autant des spécificités locales que d'une logique amont-aval.

Les initiatives prises dans le cadre de contrat de bassin versant (ex. Isère-Tarentaise), de stabilisation voire de réduction de la consommation en eau (domestique, irrigation, tourisme...), d'amélioration de la distribution de l'eau, et d'un partage raisonné des réserves (barrages, irrigation, neige de culture) vont dans le bon sens et doivent être généralisées à l'ensemble du territoire départemental. Il importe à l'avenir de mieux articuler les logiques amont-aval en combinant les différentes échelles. La raréfaction à venir de la ressource en eau invite à travailler dès maintenant sur une gestion intégrée tenant compte à la fois des spécificités locales (tant environnementales que socio-économiques) et d'une répartition équitable de cette ressource et ce depuis la haute montagne jusqu'à l'avant-pays. La Savoie peut être exemplaire et novatrice dans cette nouvelle forme de gestion de la ressource en eau. Cela nécessite une mobilisation de l'ensemble des acteurs et une meilleure connaissance des ressources départementales.



La modification du climat est également un vecteur de risques. Le Livre blanc a abordé ces différents risques et l'amplification de leur récurrence (écroulements des parois de haute altitude, laves torrentielles, crues printanières, sécheresses estivales et automnales). Il importe d'intégrer ces risques dans l'aménagement et la gestion des territoires afin de limiter les impacts et les coûts induits.

La biodiversité présente, quant à elle, une double sensibilité au changement climatique. Le réchauffement et les modifications de la pluviométrie affectent directement certaines espèces (disparition de certaines d'entre elles en altitude, colonisation par des espèces plus méridionales, assèchement des zones humides ...).

Si ces différents éléments ont pour l'instant peu affecté le territoire, il ne faut pas les occulter si on se réfère à ce qui se passe dans d'autres territoires alpins. Par ailleurs, les actions d'adaptation prises dans certains domaines d'activité (changement de pratiques agricoles, neige de culture) sont de nature à modifier des habitats fragilisés par le changement climatique. C'est donc un domaine qui appelle une grande vigilance et la mise en œuvre d'actions coordonnées de prévention. On peut en particulier donner les pistes d'action suivantes :

- la préservation de réservoirs de biodiversité (Parc national de la Vanoise, réserves naturelles ...). Une attention particulière doit être apportée à la gestion de l'eau, déterminante pour les espaces à forts enjeux de biodiversité (milieux aquatiques et zones humides).
- le maintien, voire la restauration, des corridors biologiques. C'est un élément clé pour le maintien des espèces en permettant notamment leur migration de zones devenues défavorables vers des zones plus adaptées.
- Le suivi du réchauffement de l'eau des lacs et des rivières et ses conséquences sur les écosystèmes et la chaîne alimentaire.

Enfin, il importe de prendre en compte le danger potentiel de banalisation des paysages : ils ont non seulement un rôle essentiel pour le maintien de la diversité biologique mais ils constituent de surcroît un support essentiel d'attractivité du territoire.

Au travers des politiques d'atténuation et des actions d'adaptation, il ressort très nettement que la réponse au changement climatique nécessite de redéfinir une nouvelle stratégie d'aménagement et de développement du territoire. Ce qui est ainsi mis en débat, ce sont les problématiques d'habitat, de déplacement, d'urbanisme, de développement économique et touristique, de pratiques agricoles, de gestion des ressources et des espaces naturels, en un mot notre capacité à vivre ensemble de façon pérenne. En cela la question du réchauffement climatique constitue une réelle opportunité permettant d'impulser de nouvelles politiques locales.

4• Le Livre blanc, et après ?

Les conclusions portées dans ce Livre blanc s'appuient sur des données existantes et sur des projections faisant consensus. Cet état des lieux est un premier outil d'information et d'aide à la décision. Il permet de relever les domaines où existe un déficit de données et de connaissances nécessaires à une meilleure appréhension des effets du changement climatique et à la définition d'actions.

Un des premiers objectifs est, aujourd'hui, **de communiquer, d'informer, et de sensibiliser** les acteurs et l'ensemble des citoyens sur la réalité du changement climatique en Savoie, sur ses effets prévisibles, ainsi que sur les pistes de réflexion ou d'action visant à atténuer et à anticiper les effets du réchauffement actuel et futur. Ce partage de l'information est une étape préalable indispensable qui peut aussi, en retour, permettre de compléter l'information et prendre en compte les attentes des différents acteurs. Mais ce n'est qu'une base de départ et non un aboutissement.

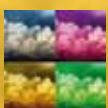
Il faut donc poursuivre ce travail dans deux directions : l'engagement de démarches opérationnelles par les acteurs locaux et l'approfondissement des connaissances que pourrait poursuivre le groupe de travail mobilisé déjà depuis deux ans à cet effet, ou à tout le moins coordonné par lui.

S'agissant des démarches opérationnelles, l'élaboration de **plans climats territoriaux** est le mode opératoire proposé aux collectivités publiques. Il appartient en effet aux élus de définir le rythme, la portée et les modalités des actions à engager dès maintenant pour réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre. Chambéry métropole a déjà pris cette initiative. Les autres collectivités pourraient en faire de même mais l'échelon départemental semble être pertinent pour assurer la cohérence des différentes démarches. Par ailleurs, l'intégration de la problématique climatique dans les démarches de schéma de cohérence territoriale est fortement préconisée. Une démarche incitative conduite sur l'ensemble de la Savoie, et coordonnant les actions de tous les territoires serait de nature à renforcer la mobilisation autour de cet impératif. Le défi pourrait être également de faire de la Savoie un territoire de démonstration pour les énergies renouvelables en mettant en œuvre les avancées technologiques issues du pôle de recherche constitué autour de l'Institut National de l'Energie Solaire (INES). Qu'il s'agisse de réduction des émissions de gaz à effet de serre ou d'adaptation au changement climatique, les collectivités sont aux commandes pour initier, coordonner, financer et pérenniser les actions entreprises et ceci de manière concertée avec tous les acteurs.

Certaines informations restent encore trop générales ou rudimentaires pour offrir une base de travail suffisamment robuste et constituer des supports d'outil d'aide à la décision. Des données complémentaires restent à rassembler et à traiter. Ce travail a permis de diagnostiquer dès maintenant ces manques. **Cette phase d'enrichissement de données et de connaissances** ne peut se faire que dans un processus itératif avec les acteurs. D'autres paramètres, économiques et sociaux demandent à être aussi mieux intégrés dans la définition des politiques d'adaptation. Enfin, il importe de rappeler qu'il n'est pas sérieux de livrer des solutions applicables uniformément sur un territoire comme la Savoie compte tenu de sa forte diversité géographique qu'accentue de plus le changement climatique. Une analyse plus fine, vallée par vallée, s'impose.

Le Livre blanc n'a pas traité l'ensemble des aspects du changement climatique. Quelques thèmes restent à analyser. Certains effets n'ont été qu'évoqués, notamment sur les aspects économiques et sociaux. Il est nécessaire de poursuivre le travail amorcé, en associant d'autres acteurs et d'autres personnes ressources.

Par ailleurs, la connaissance évolue, la recherche progresse, d'autres territoires expérimentent. Il est indispensable d'actualiser régulièrement les données et les analyses regroupées dans ce Livre blanc. Une **fonction d'observation et de veille**



est à organiser pour continuer à mettre à disposition des acteurs publics et privés les données les plus récentes et les plus fiables pour asseoir leurs décisions. Il importe, après cet état des lieux, de compléter les connaissances et surtout de réaliser un suivi des incidences du changement climatique et ce tant sur les ressources que sur les risques et les activités socio-économiques. **Cette fonction d'observatoire** est, à ce stade de la réflexion, un **outil incontournable** pour accompagner les actions et politiques de réduction et d'adaptation et en mesurer les effets. La Savoie peut porter un tel outil novateur de travail et s'appuyer sur les structures déjà présentes sur son territoire (Université de Savoie, Institut de la Montagne, Observatoire savoyard de l'environnement).

Enfin, dans le cadre de sa démarche prospective 2020, la Savoie a pris l'initiative de cette approche. Elle ne pourrait que s'enrichir en s'élargissant à des territoires qui présentent, au regard du changement climatique, des caractéristiques très proches. Dans un premier temps, c'est avec les autres départements alpins qu'une mutualisation des informations, des expériences et des préconisations pourrait être utilement recherchée.

Pour en savoir plus...

• Changement climatique

- ANEM (2007) Au-delà du changement climatique, les défis de l'avenir de la montagne.
- BENISTON, M (2009) Changements climatiques et impacts. De l'échelle globale à l'échelle locale. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 247 pages (en documentation à MDP).
- BMU (2007) Climate change in the alps. Facts-Impacts-Adaptation.
- CLIMPACT/GREENPEACE (2005) Changements climatiques : quels impacts en France ?
- COLLECTION EDYTEM (2009) Neige et glace de montagne, reconstitution, dynamique, pratiques. Cahiers de géographie n°8 (en documentation à MDP).
- CONVENTION ALPINE (2006) Changement du climat dans l'espace alpin, effets et défis.
- DETEC (2009) Climat et territoires en changement, tendances globales, conséquences locales, Forum du développement territorial, Confédération Suisse.
- ECOFYS/MEDCIE (2008) Etude des effets du changement climatique sur le grand sud-est. Rapport Rhône-Alpes.
- EEA/JRC/WHO (2008) Impacts of Europe's changing climate. 2008 indicator-based assessment.
- ETCHEVERS, P., MARTIN, E. (2002) Impacts d'un changement climatique sur le manteau neigeux et l'hydrologie des bassins versants de montagne.
- INERIS (2009) Politiques combinées de gestion de la qualité de l'air et du changement climatique (partie 1): enjeux, synergies et antagonismes, Rapport d'Etude pour le MEEDDAT.
- IPCC/GIEC (2007) Bilan 2007 des changements climatiques : les bases scientifiques physiques.
- IPCC/GIEC (2007) Bilan 2007 des changements climatiques : Impacts, adaptation et vulnérabilité.
- IPSL, Météo France (2007) Livre Blanc ESCRIME – Etude des Scénarios Climatiques.
- METEO-FRANCE (2008) Evolution du manteau neigeux en Savoie, composantes et influences (document interne).
- OCCC (2007) Les changements climatiques et la Suisse en 2050.
- OCDE (2007) Changements climatiques dans les Alpes européennes, adapter le tourisme d'hiver et la gestion des risques naturels.
- OFEV (2007), Changements climatiques en Suisse.
- ONERC/Climchalp (2008) Changements climatiques dans les Alpes : impacts et risques naturels. Rapport Technique n°1

• Gaz à effet de serre

- CITEPA (2008) Tableau évolutif des émissions de GES en France de 1990 à 2006.
- CITEPA (2008) Emissions dans l'air en France métropole. Substances relatives à l'accroissement de l'effet de serre.
- CYTHELIA (2004) Potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre sur Chambéry-Métropole 2000-2010.
- DGEMP/Centre d'analyse stratégique (2008) Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050. Rapport de la commission Énergie présidée par Jean Syrota.
- EXPLICIT (2006) Bilan énergétique et bilan des émissions de gaz à effet de serre en Rhône-Alpes. Prospective à l'horizon 2020. Actualisation 2006.
- MOUNTAIN-RIDER (2007) Bilan des gaz à effet de serre de Saint-Martin de Belleville (Les Menuires, Val Thorens)

• Plan Climat

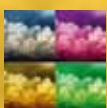
- ADEME (2008) Vers l'intégration de l'enjeu climatique dans les approches territoriales. Vers des Plans Climat-Energie Territoriaux (PCET) en Rhône Alpes
- MEDD (2006) Actualisation du Plan Climat 2004-2012.
- MEDD (2006) Rapport du Groupe de travail « Division par quatre des émissions de gaz à effet de serre de la France à l'horizon 2050 » sous la présidence de Christian de Boissieu.

• Observatoires

- Observatoire de l'Environnement, Conseil général de la Savoie
- Observatoire des Déplacements, Mission Développement Prospective
- GCOS Suisse (2007) Système National d'Observation du Climat, Proclim, OCCC.

• Transport

- CHAMBERY-METROPOLE (2005) Plan de déplacement urbain de Chambéry-Métropole.
- EDGT/ECC (2007) Les pratiques de déplacements sur Métropole Savoie et l'avant-pays savoyard.
- PASCAL. M. (2008) Impacts environnementaux des transports : le développement montagnard touristique en péril, Environnement et Technique n°279.
- RAC-F (2004) Transports et changements climatiques : un carrefour à haut risque.



• Habitat-tertiaire

- ADEME (2005) Stratégie et utilisation rationnelle de l'énergie. Les bâtiments.
- CAUE Isère (2008) Labels et référentiels réglementaires des consommations énergétiques des bâtiments.
- CES (2006) Les politiques de l'urbanisme et de l'habitat face aux changements climatiques
- GLOBAL CHANCE (2007) Petit mémento des énergies renouvelables. Éléments pour un débat sur les énergies renouvelables en France.
- NEGAWATT (2005) Scénario négaWatt 2006 pour un avenir énergétique sobre, efficace et renouvelable.

• Ressource en eau

- ETCHEVERS, P., MARTIN, E. (2002) Impacts d'un changement climatique sur le manteau neigeux et l'hydrologie des bassins versants de montagne.
- EEA Report (2009) Regional climate change and adaptation, the Alps facing the challenge of changing water resources.
- MIES/MEDD/REDAUD J.L. et al, (2002) Changement climatique et impact sur le régime des eaux en France

• Tourisme

- DDEA (2009) Gestion durable des territoires de montagne, la neige de culture en Savoie et Haute-Savoie. SEPT/ACPT, Université de Savoie.
- DIRECTION DU TOURISME, Changement climatique et développement durable du tourisme, Tourisme de A à Z.
- IREGE (2007) Tourisme et territoires de montagne : enjeux et perspectives.
- MEEDDM (2009) Neige de culture, état des lieux et impacts environnementaux. Rapport du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable.
- OCDE (2007) Changements climatiques dans les Alpes européennes, adapter le tourisme d'hiver et la gestion des risques naturels.
- ODIT-FRANCE (2006) Les chiffres clés du tourisme de montagne en France.
- ODIT-France (2006) Quel tourisme en montagne demain ? Pour une démarche prospective. Les 9èmes Entretiens de la Montagne.
- ODIT France (2008) Les domaines skiables face aux aléas d'enneigement et le développement de la neige de culture.
- SUISSE TOURISME (2008) 2030 : le tourisme suisse face aux changements climatiques.
- TEC (2006) Adaptation au changement climatique et développement durable du tourisme. Etude exploratoire en vue d'un programme de recherche.

• Agriculture et Forêt

- SERES, C. (2008) changement climatique dans les Alpes : quelles stratégies d'adaptation durables pour l'agriculture de montagne ? SUACI Alpes du Nord-GIS Alpes-Jura, CLIMADAPT.
- FESTEN, B. (2009) Stratégie d'adaptation de l'agriculture alpine au changement climatique. Résultats pour la production Bovin-lait. GIS, INP, ENSAT. CLIMADAPT.
- INRA/BADEAU, V. et al (2004) Modélisation et cartographie de l'aire climatique potentielle des grandes essences forestières française, Projet CARBOFOR, ECOFOR.
- INRA/SEGUEIN B. (2007) Impact du changement climatique et adaptation de l'agriculture.
- PIRSOU L. (2008) Agriculture et ressources naturelles : caractérisation de la vulnérabilité des territoires alpins au changement climatique. GIS. CLIMADAPT.
- ONERC/AGENIS-NEVERS M (2005) Impacts du Changement Climatique sur les Activités Viti-vinicoles.
- ROMAN-AMAT B. (2007) Préparer les forêts françaises au changement climatique.

• Biodiversité

- GIEC (2002) Les changements climatiques et la biodiversité, document technique V.
- PROCLIM (2007) biodiversité et changement climatique. Forum biodiversité suisse, n°16

• Risques naturels

- CLIMACHALP (2008) Changement climatique dans les Alpes : impacts et risques naturels. Rapport technique n°1 de l'ONREC. Site internet Risknat.

Les références complètes des publications scientifiques citées dans le livre blanc sont disponibles sur demande.

GLOSSAIRE

ADEME :	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AIR-APS :	Air de l'Ain et des Pays de Savoie
AEP :	Alimentation en Eau Potable
AFA :	Autoroute Ferroviaire Alpine
APPB :	Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope
APTIV :	Assemblée du Pays Tarentaise-Vanoise
AREA :	Société des Autoroutes Rhône-Alpes
ASDER :	Association Savoyarde pour le Développement des Energies Renouvelables
CALB :	Communauté d'Agglomération du Lac du Bourget
CCI :	Chambre de Commerce et d'Industrie
CEREN :	Centre d'Etude et de Recherches Economiques sur l'Energie
CETE de Lyon :	Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement de Lyon
CISALB :	Comité InterSyndical pour l'Assainissement du Lac du Bourget
CITEPA :	Centre Interprofessionnel Technique d'Etude de la Pollution Atmosphérique
CPNS :	Conservatoire du Patrimoine Naturel de la Savoie
CSP :	Conseil Supérieur de la Pêche
DDAF :	Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt
DDASS :	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
DDT :	Direction Départementale des Territoires
DEP :	Direction de l'Environnement et du Paysage (Conseil Général Savoie)
DGEMP :	Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières
DIREN :	Direction Régionale de l'Environnement
DRAF :	Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt
DUP du Lyon-Turin :	Déclaration d'Utilité Public du Lyon -Turin
EDF :	Electricité de France
EDGT :	Enquête Déplacement Grand Territoire
EDYTEM :	Environnement, Dynamique et Territoire de la Montagne.
FDCUMA :	Fédération Départemental des Coopératives d'Utilisation du Matériel Agricole
GES :	Gaz à Effet de Serre
GIEC :	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GIS :	Groupement d'Intérêt Scientifique
INRA :	Institut National de la Recherche Agronomique
INRETS :	Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
MDP :	Mission Développement Prospective
ONF :	Office National des Forêts
PNV :	Parc National de la Vanoise
RAEE :	Rhône-Alpes Energie Environnement
SAU :	Surface Agricole Utilisée
SCOT :	Schéma de Cohérence Territoriale
SNTF :	Syndicat National des Téléphériques de France
STRMTG :	Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés
ZNIEFF :	Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

Le Livre blanc du changement climatique s'inscrit dans la démarche Savoie 2020 initiée et soutenue par le Conseil général.
L'ambition de ce travail est de fournir aux acteurs du développement du territoire savoyard les informations,
analyses et repères prospectifs utiles à la définition de leurs actions.
Pour autant son contenu et ses recommandations n'engagent que ses auteurs qui l'ont élaboré en toute indépendance.



Mission Développement Prospective
Savoie Technolac - 23 Avenue Lac Léman - Bâtiment "Alouette II"
BP 232 - 73374 Le Bourget du Lac - CEDEX
Tél. 04 79 25 36 26 - Fax 04 79 25 36 27 - Web : www.mdp73.fr