

Le rythme des perturbations atmosphériques, les vents dominants et les fluctuations des températures modèlent sur les massifs de notre pays une physionomie d'enneigement qui peut être très différente d'un hiver à l'autre : dans le jargon des nivologues et des statisticiens, on dit que l'enneigement présente une forte variabilité inter-annuelle. C'est particulièrement vrai et, ajoutera-t-on, sensible à moyenne altitude. Depuis la fin des années 80, cette variabilité peut donner l'impression de s'être accentuée : les « trop pleins » de neige de 1995 et surtout 1999 ont étonnamment contrasté avec les saisons « noires » du début des années 90. Parallèlement, le scénario d'un réchauffement global sans précédent de notre planète d'ici la fin du XXI^e siècle est pris en considération par un nombre croissant d'experts du climat. D'où un certain pessimisme quant à l'enneigement futur, nourri par cette réflexion de bon sens : il y a de moins en moins de neige et il y en aura de moins en moins puisqu'il fera de plus en plus chaud. Les statistiques et les outils de simulation numérique aujourd'hui à notre disposition permettent, sinon d'avoir des certitudes, du moins d'apporter quelques nuances et d'explorer divers scénarios pour l'avenir.

Un hiver 2000-2001 peut-être prémonitoire

L'un de ces scénarios climatiques envisage, comme nous le verrons plus tard, une nette diminution de l'enneigement jusqu'à moyenne altitude, mais aussi une augmentation à haute altitude. Or c'est justement ce type de scénario que nous avons connu l'hiver dernier, avec de la douceur mais aussi beaucoup d'humidité.

Flash back : courant avril 2001, la neige tombe dès 800 à 1000 m d'altitude et en quantité significative des Vosges au Jura et au nord des Alpes. Les flux perturbés de nord-ouest ont enfin pris le chemin de nos massifs alors que d'octobre à mars, nous avons assisté à une succession rapide et inhabituelle de courants de sud-ouest à sud, avec les épisodes de redoux et de fœhn qu'ils supposent. Ce mois d'avril presque hivernal – au demeurant le phénomène n'a rien d'exceptionnel – ne peut faire oublier le manque de neige qu'a subi globalement la moyenne montagne en plein cœur de l'hiver.

Les Vosges, le Jura, le Massif Central et les Pyrénées (à l'exception notable du versant Espagnol et de la crête frontalière) ont connu bien des problèmes d'enneigement, malgré quelques soubresauts neigeux salutaires notamment fin janvier et fin février. En revanche, même à moyenne altitude, de nombreux massifs des Alpes du Sud s'en sont mieux sortis grâce à leur position géographique par rapport au flux dominant. Sans rentrer dans le détail du phénomène du fœhn, on peut dire que l'abondance des précipitations a en quelque sorte compensé sur ces versants situés « au vent » les effets de la douceur ambiante.

Dans les Alpes du Nord, ce sont les massifs dits externes ou périphériques – on entend par là ceux situés à l'extrême ouest de la chaîne – qui ont le plus souffert de la pénurie. Du Dévoluy au Vercors et à la Chartreuse, l'enneigement est resté des plus modestes tout au long de l'hiver, pour ne pas dire catastrophique en-dessous de 1300 à 1500m. Les vents du sud parfois tempétueux et l'altitude élevée de la limite pluie-neige y ont largement contribué. Le 6 janvier, cette dernière a atteint près de 3000m, un phénomène sans doute assez exceptionnel dans les Alpes à cette période de la saison.

Mais revenons au mois d'avril. Le 23 avril plus précisément, la hauteur de neige atteint 68 cm au col de Porte, à 1320m d'altitude dans le massif de la Chartreuse. C'est le record... de la saison en cours. Sur ce site-laboratoire où le Centre d'études de la Neige de Météo-France effectue le suivi du manteau neigeux depuis le début des années 60, un maximum saisonnier d'une faiblesse comparable n'avait été observé qu'à trois reprises : en 1964, 1990 et 1993. On retrouve là 3 hivers de référence en matière de pénurie de neige à moyenne altitude. On peut également remarquer qu'en comptant maintenant 2001, trois des hivers-références des quarante dernières années se situent quasiment dans la même décennie.

D'où sans doute cette impression de connaître des hivers de moins en moins enneigés, du moins à ces altitudes.

Pour essayer d'en avoir une confirmation plus scientifique, il faut étudier les séries de données en terme de tendance, c'est-à-dire déterminer une droite qui ajusterait au mieux les variations inter-annuelles. Comme on peut le voir sur la figure 1, la pente de celle-ci, calculée ici sur l'enneigement de la deuxième décennie de février au col de Porte, est assez éloquente et confirme le signal d'un enneigement à la baisse. Encore faut-il se garder de la tentation de prolonger virtuellement cette droite – dans le but de mieux cerner la date d'une éventuelle disparition ! – et surtout de tirer des conclusions hâtives basées sur l'étude d'une seule série de données, par ailleurs relativement courte. Il n'est pas certain – et cela constitue l'un des objectifs actuels de la recherche – qu'une étude portant sur d'autres massifs donnerait un signal aussi net. Il reste que si cette tendance se confirmait, elle serait compatible avec le réchauffement climatique en cours, ce qui ne veut pas dire pour autant que celui-ci en soit l'unique responsable.

Mais revenons une fois encore à l'hiver dernier (ou plutôt au début du printemps) en prenant un peu d'altitude. Le 6 mai 2001, la hauteur de neige mesurée par la station automatique Nivôse installée à 2940 m, non loin de la barre des Ecrins, dépasse de 30 cm la barre des 5 m: il s'agit là d'un record depuis sa mise en service, c'est à dire depuis 1983. Cette mesure ponctuelle est significative pour l'ensemble des Alpes d'un enneigement de haute montagne rapidement important en octobre et qui s'est accru ensuite assez régulièrement (le mois de mars ayant été le plus « arrosé »), pour atteindre son maximum début mai. De nombreux montagnards ont fait le constat d'un enneigement printanier comme ils n'en avaient jamais vu à haute altitude: refuges enfouis sous la neige, pentes très raides accidentées d'habitude peu fréquentables à ski et donnant l'impression cette année d'être transformées en pistes (noires tout de même !). Les données statistiques à notre disposition semblent confirmer ce diagnostic en grande partie visuel.

Les mesures de neige fiables en haute montagne étant peu nombreuses et assez récentes, nous devons prendre en compte (faute de mieux) la « lame d'eau » mesurée aux postes climatologiques de montagne situés plus bas, entre 1000 et 1500m d'altitude. Cette lame d'eau représente en fait la somme de ce qu'il tombe en pluie et de l'équivalent en eau des chutes de neige. A partir de celle-ci, on peut estimer grossièrement la quantité de neige tombée plus haut, même si d'autres facteurs importants rentrent en jeu comme la température et le vent. Or les cumuls des lames d'eau tombées entre octobre 2000 et avril 2001 dans de nombreux postes de montagne (des Hautes Alpes, de l'Isère et de la Haute Savoie par exemple) ont atteints des valeurs le plus souvent comprises entre 1000 et 1500 mm, ce qui pourrait donner en ordre d'idée des cumuls de chutes de neige voisins de 15 à 20 m vers 3000m. Pour en rester aux lames d'eau et aux millimètres, les cumuls « 2001 » représentent souvent des records ou figurent parmi les 2 ou 3 plus fortes valeurs enregistrées depuis 40 ans, les années de référence étant souvent 1977 et 1978 (deux saisons bien connues par les historiens du ski extrême et des avalanches). A Chamonix, le cumul de 1067 mm représente même un record depuis 1935.

Le réchauffement en cours

Eloignons nous un instant de nos montagnes pour aborder le problème plus global du climat. Au niveau mondial, c'est le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (voir encadré) qui est chargé de faire le point régulièrement. Son dernier rapport sur l'évolution du climat doit être entièrement publié à la fin de l'année 2001, mais bon nombre de résultats sont d'ores et déjà connus. L'analyse faite des observations du climat y est assez

alarmante puisqu'au cours du XX^e siècle le réchauffement a été net (+0,6°C au niveau mondial). L'année 1998 a été l'année la plus chaude du siècle, la décennie 90 a été la plus chaude du siècle, et globalement, le XX^e siècle a été le siècle le plus chaud du dernier millénaire. En outre, les satellites et les mesures classiques au sol ont mis en évidence une diminution de l'ordre de 10% de l'étendu du couvert neigeux aux hautes latitudes en hiver depuis les années 60. Les signes d'un réchauffement sont assez nombreux, il faut bien sur évoquer le cas des glaciers des montagnes hors des zones polaires, qui reculent pratiquement tous.

Parallèlement, la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère (résultant de la combustion du charbon et du pétrole) a fortement augmenté (31% depuis 1750, début de l'industrialisation), la concentration en méthane (combustion et activités agricole) a, elle, augmenté de 251%. Ces deux gaz (et d'autres) dispersés dans l'atmosphère ont plutôt tendance à augmenter l'effet de serre naturel, c'est-à-dire la capacité de l'atmosphère à retenir de la chaleur. L'analyse des deux types de données faite par la communauté scientifique a conduit à la conclusion que le réchauffement observé au XX^e siècle est principalement dû aux activités humaines. Les facteurs du climat que l'on peut qualifier de naturels, comme les variations de l'activité solaire ou les éruptions volcaniques majeures semblent en effet avoir un poids assez faibles dans les changements en cours.

Les perspectives pour le XXI^e siècle

Il paraît évident que les activités humaines vont continuer à faire évoluer le climat au cours du XXI^e siècle (pour stabiliser la teneur en gaz à effet de serre dans l'atmosphère, il faudrait en effet réduire immédiatement les émissions de gaz carboniques de 50 à 70%, ce qui est manifestement impossible). L'augmentation de la température moyenne de la Terre pourrait être comprise, toujours selon le GIEC, entre 1,4 et 5,8°C sur la période 1990-2100. Ces chiffres appellent immédiatement deux remarques : d'une part la température continuera à augmenter quoi qu'il arrive, et d'autre part la fourchette paraît extrêmement large. Cette incertitude correspond essentiellement à l'incertitude liées aux activités humaines (quelle va être la croissance de la population mondiale, quels vont être les polluants émis ?, les mesures de réduction des émissions seront-elles prises rapidement ? ...) et sur les modèles numériques utilisés pour faire les projections climatiques. Ces outils, dérivés des modèles utilisés pour la prévision numérique du temps sont très sophistiqués, mais ne peuvent représenter de manière satisfaisante tous les rouages de la machine climatique terrestre. Il semble néanmoins que si l'on se restreint à l'Europe, la fourchette se réduit un peu (de 1,5 à 4,5°C environ).

Pour estimer un impact sur l'enneigement des Alpes et des Pyrénées, le Centre d'études de la neige de Météo-France a eu, lui aussi, recours à des modèles numériques. Il s'agit des modèles utilisés opérationnellement pour la prévision du risque d'avalanches (figure 2). Pour fixer les idées, un scénario simple (augmentation uniforme de la température de 2°C) a été retenu. L'étude a permis de comparer les résultats d'une simulation de référence à ceux de la simulation avec augmentation de la température.

Pour une région donnée, l'impact dépend bien évidemment de l'altitude. A haute altitude (au-dessus de 2500m environ), les conditions actuelles sont suffisamment froides pour que l'enneigement ne soit touché qu'à la marge : début un peu retardé, fonte légèrement plus rapide (une douzaine de jours en moins au total), et une petite diminution de la hauteur de neige. En effet, à cette altitude il existe une période froide assez longue durant l'hiver, pendant laquelle le manteau neigeux est capable de « résister » à une augmentation de température (c'est-à-dire ne fond pas). Evidemment, au-dessous, cette période froide se réduit, ... et disparaît vers 1800-2000m environ. L'impact devient alors très important. Par exemple,

à 1500 m, c'est une diminution du nombre de jours avec neige au sol de l'ordre d'un mois qui se produirait (figure 3), ce chiffre étant valable sur l'ensemble des massifs. On passerait alors de cinq à quatre mois d'enneigement par an dans les Alpes du nord, et de trois à deux mois dans les Alpes du sud ou les Pyrénées. Toujours à cette altitude, l'épaisseur de neige diminuerait fortement : une quarantaine de centimètres en moins dans les Alpes du Nord (pour une hauteur d'un mètre environ actuellement), une vingtaine en moins pour Alpes du sud et Pyrénées (actuellement environ trente à quarante centimètres). Même si une étude similaire n'a pas été faite sur les autres massifs français, on peut s'attendre au même type de résultat. Les conséquences économiques sur le tourisme hivernal devraient être sensibles dans toutes les régions, et devraient être particulièrement fortes dans les régions dépourvues de domaines d'altitudes.

Le déficit de neige pourrait être compensé en partie par une augmentation des précipitations hivernales. Cette hypothèse est tout à fait plausible, mais reste à confirmer : les différents modèles numériques existant prévoient bien une augmentation des précipitations hivernales pour la partie nord de l'Europe, mais le positionnement de la limite nord/sud reste incertaine. Il faut aussi noter que cet effet compensateur ne jouerait que pour les altitudes les plus hautes (ou on pourrait avoir plus de neige qu'actuellement en hiver). Plus bas, on assisterait surtout à une augmentation des pluies hivernales. On retrouve là quelques caractéristiques de l'hiver 2000-2001.

Autre élément qui pourrait perturber le scénario : le Gulf Stream. En effet, les eaux issues de ce courant chaud contribuent à réchauffer l'Europe, puis plongent vers les profondeurs de l'océan au niveau de l'Arctique. Le réchauffement de la planète pourrait faire fondre des quantités énormes de glace polaire, les masses d'eau douce contrarieraient alors la plongée de ces eaux chaudes et salées. Par voie de conséquence l'ensemble du Gulf Stream serait touché, ce qui entraînerait un refroidissement de l'Europe. Les travaux scientifiques actuels tiennent compte de cet effet (le réchauffement européen est atténué) mais l'arrêt de la plongée des eaux et un refroidissement du continent européen n'est pas envisagé avant le ... XXII^e siècle.

Les conclusions des scientifiques n'incitent donc pas à l'optimisme quand à l'enneigement de nos montagnes, particulièrement pour la moyenne altitude. Cette zone, semble-t-il, commence à être touchée aujourd'hui. La neige de culture est un moyen de pallier un déficit de neige, mais cette technique a besoin, pour un maximum d'efficacité, de températures froides (sauf à utiliser des techniques coûteuses) : son potentiel devrait donc progressivement diminuer. La tendance est à l'érosion lente et progressive de l'enneigement, au moins en moyenne montagne, les projections actuelles prévoient un taux de réchauffement moyen de l'ordre de 0,1 à 0,2°C par décennie pour la trentaine d'années à venir. Néanmoins, Tout espoir n'est pas perdu, la neige nous a réservé, et nous réservera encore, des bonnes surprises : l'occurrence de saisons bien, voire très enneigées reste probable à cette échéance. Et pour l'hiver qui vient ? ... nous n'allons pas tarder à connaître la réponse !

Eric Martin et Jacques Villecrose
Météo-France / Centre d'études de la neige

Encadré :

Le GIEC : le groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat

Le GIEC a été créé par l'organisation météorologique mondiale et le Programme des nations unies pour l'environnement en 1988. Son rôle est d'évaluer les aspects scientifiques, techniques et socio-économiques des changements climatiques dus aux activités humaines. Il n'effectue pas lui-même de recherches et ne gère pas de bases de données climatiques. Il fonde ses évaluations sur les travaux scientifiques publiés dans des revues de haut niveau.

Trois groupes de travail (aspect scientifique des changements du climat, conséquences des changements du climat du point de vue socio-économique notamment et évaluation des scénarios de réduction des émissions ou d'adaptation) ont été formés. Le GIEC a produit deux rapports d'évaluation en 1990 et 1995. Le troisième rapport (environ 3000 pages !), définitivement approuvé en septembre devrait être publié à la fin de l'année. Les rapports du GIEC sont utilisés dans le cadre des différentes conférences internationales sur les changements du climat.