



Val d'Isère - Iseran

Photo : C.Garnier

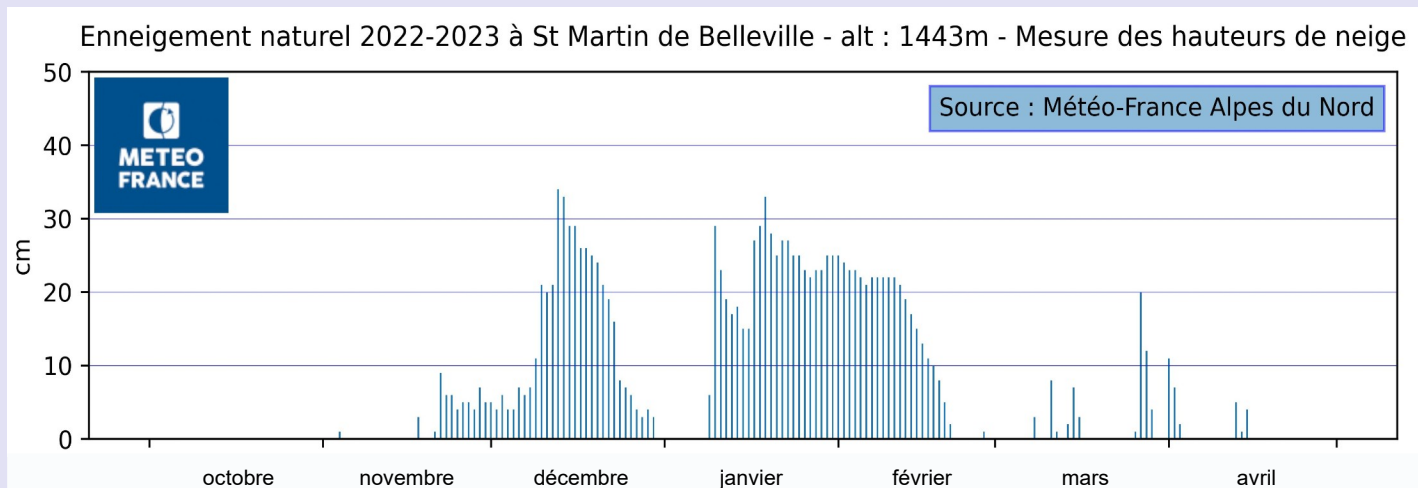
Malgré le déficit de neige naturelle de cette saison 2022-2023, et grâce à l'affluence renouvelée des touristes, le chiffre d'affaire des stations de ski françaises a encore réussi à battre un record historique avec 1626 M€, en légère hausse par rapport à la saison 2021-2022 et ses 1618 M€.

La France se hisse à présent à la seconde place de la fréquentation des domaines skiables :

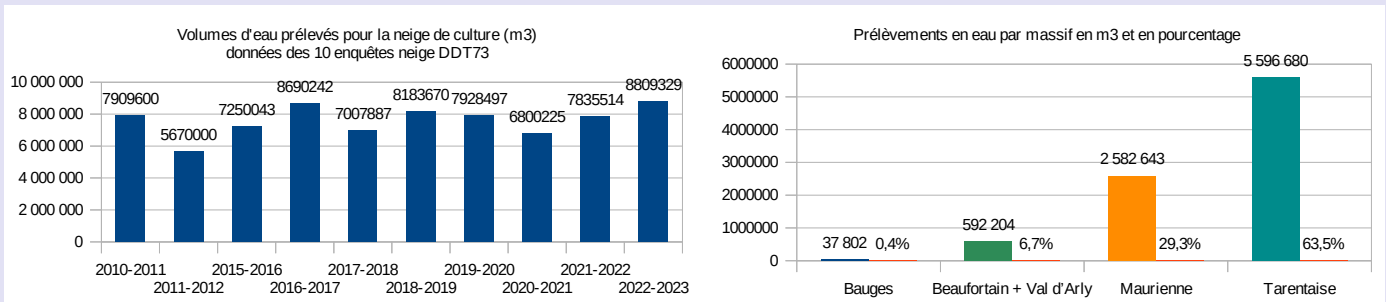
avec 53,9 millions de journées-skieur, elle se place derrière les USA (61 millions de journées-skieur), mais devance l'Autriche (43,6 millions de journées-skieur).

En termes de parts de marché, en journées-skieur en moyenne sur quatre ans (2018-2019-2022-2023), la Savoie occupe toujours la première place avec 40,1 %, devant la Haute-Savoie (23,2%), les Alpes du sud (13,3%), l'Isère-Drôme (9,6%) les Pyrénées (8,8%), le Massif Central (2%), le Jura (1,6%), et enfin les Vosges (1,5%).

Le graphique ci-dessous, qui retrace l'enneigement naturel de la saison 2022-2023, montre des hauteurs de neige très faibles (30 cm maximum), avec un manque de neige en novembre, fin décembre-début janvier, ainsi qu'à partir de fin février.



Evolution de la consommation en eau et répartition par massif

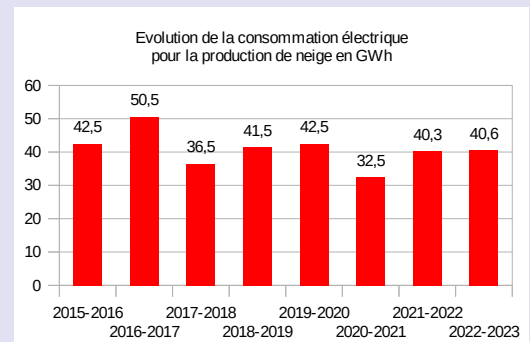


Avec un enneigement naturel extrêmement déficitaire, puisque la saison 2022-2023 est la seconde saison la moins enneigée depuis 1959, le prélèvement en eau pour la neige de culture a connu un record sur les dix relevés effectués par la DDT en s'élevant à **8 809 000 m³**. Il est supérieur de 12,4 % à celui de la saison 2021-2022 qui avait bénéficié d'un enneigement naturel globalement supérieur à la normale 1991-2020. Le très faible enneigement de novembre 2022 et les forts prélèvements effectués ce même mois et plus encore en décembre 2022 ont contribué à ce résultat.

La consommation en eau par rapport à la dernière saison évolue de la manière suivante : +11 % pour la Tarentaise, +15 % pour la Maurienne, +16 % pour le Beaufortain et le Val d'Arly et +149 % pour les Bauges. Avec 5 597 000 m³, représentant toujours près des 2/3 du total, la Tarentaise reste le massif où les prélèvements sont largement les plus importants.

Evolution de la consommation en électricité

La consommation d'énergie électrique pour la production de neige de culture suit une courbe beaucoup plus régulière puisqu'elle n'augmente que de 0,74 % par rapport à la saison 2021-2022 pour atteindre 40,6 GWh cette saison. Cela s'explique en majeure partie par un ratio énergie consommée par m³ de neige produite qui a fortement diminué de 10,15 % cette saison. Ce ratio, déterminé à partir des déclarations des seules stations pouvant distinguer les consommations des remontées mécaniques de celles pour la production de neige, s'élève à présent à 2,30 kWh/m³, contre 2,56 kWh/m³, ce qui traduit les avancées technologiques dans le domaine.



Evolution des surfaces enneigées et pourcentage par massifs

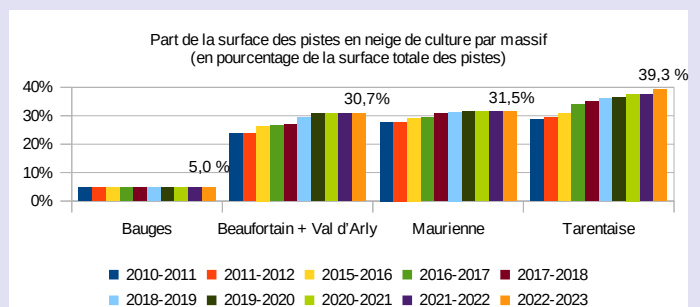
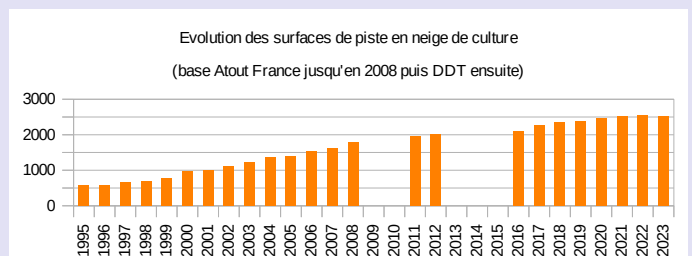
Cette année, les chiffres de surfaces totales de pistes et de surface de pistes enneigées déclarés par les exploitants ont beaucoup évolué du fait de l'évolution des SIG, de la généralisation des logiciels de damage ou à cause de la fermeture de pistes, principalement en Tarentaise. Ceci rend donc leur interprétation délicate.

Ainsi, la surface de pistes enneigées a diminué de **0,20%** par rapport à la saison 2021-2022.

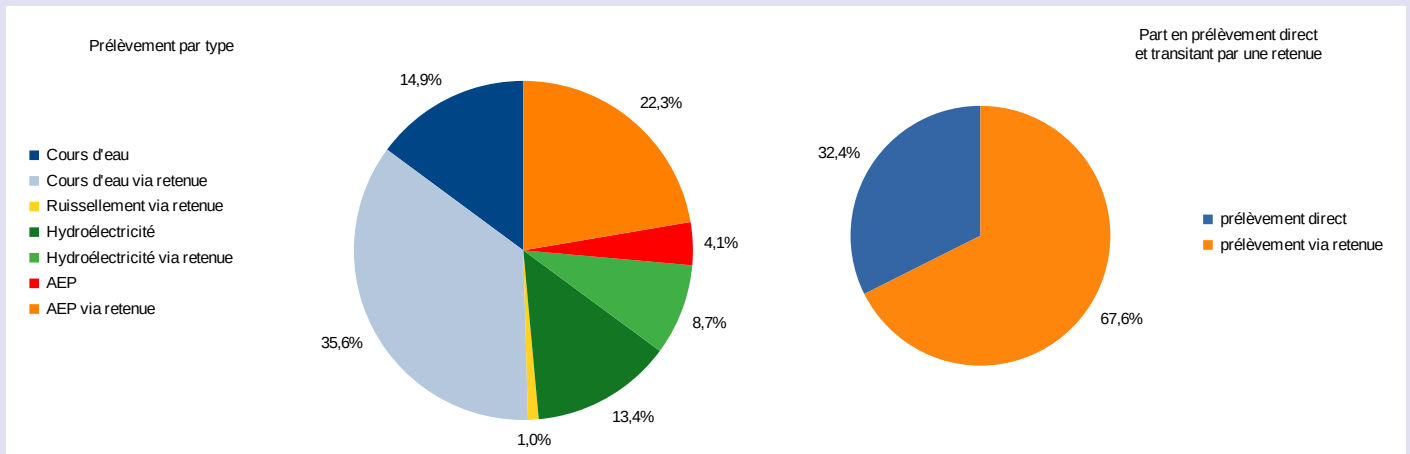
Avec **-5 hectares**, cela porte le domaine équipé à **2 532 hectares** quand la surface totale de pistes perd 266 hectares pour atteindre 7002 hectares.

La part de la surface des pistes en neige de culture passe de 37,3 % à 39,3 % pour la Tarentaise, les autres massifs restant stables, comme le montre le graphique ci-contre.

Ce ratio pour les pistes de la Savoie **gagne 1,3 points** pour s'élever à **36,2 %**.

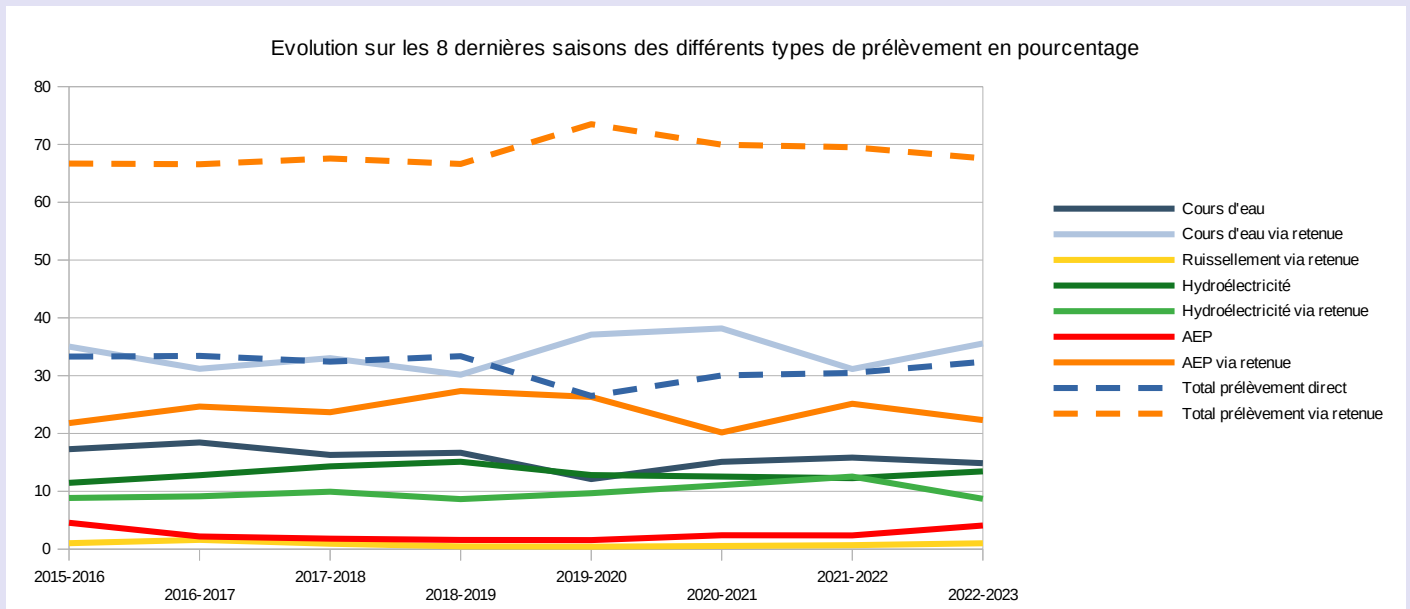


Origine de l'eau dédiée à la neige de culture et utilisation des retenues



Par rapport à celui de la saison 2021-2022, le graphique de gauche, qui indique les parts des différents types de prélèvement utilisés pour la production de neige, ainsi que celui du bas montrent une nette augmentation des prélèvements en cours d'eau passant par une retenue (35,6 % contre 31,1%) pour se rapprocher du niveau de 2020-2021. La part d'AEP via retenue a subi le sort inverse (22,3 % contre 25,1%). À noter également que la part d'AEP en prélèvement direct a doublé (4,1 % contre 2,4%) tout en tenant compte du fait que cela représente des quantités d'eau relativement faibles (390 000 m³).

Le graphique de droite montre que les parts respectives des prélèvements en eau transitant par une retenue et des prélèvements directs se maintiennent autour d'un rapport 70/30, malgré une légère diminution cette année des prélèvements transitant par une retenue (67,6 % contre 69,5%).



Les Saisies



Photos : internet

Saisonnalité des prélèvements d'eau pour la production de neige

Les prélèvements en eau se sont de nouveau concentrés en novembre et plus encore en décembre, puis dans une moindre mesure en janvier.

Le volume de ces prélèvements, en millions de m³, pour les mois de novembre, décembre et janvier et sur les 4 saisons dernières sont les suivants :

M m ³	2022 - 2023	2021 - 2022	2020 - 2021	2019 - 2020
Novembre	1,9	2,2	1,1	2,4
Décembre	3,2	2,4	3	2
Janvier	1,3	1,4	0,7	1,2

Pour la saison 2022-2023, le volume des prélèvements sur ces 3 mois représente 67 % du volume total annuel. On constate que le volume destiné à la production de neige sur ces 3 mêmes mois représente 94 % du volume total annuel. Le graphique du bas met plus encore en évidence cette concentration de la production en début de saison, ainsi que la différence entre prélèvement et production, matérialisée par les flèches bleues. Ces dernières, qui sont cette saison plus importantes que la saison dernière, démontrent à nouveau le gain pour le milieu apporté par les retenues en limitant les prélèvements directs en période d'été.

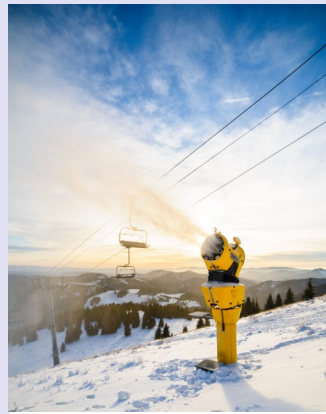
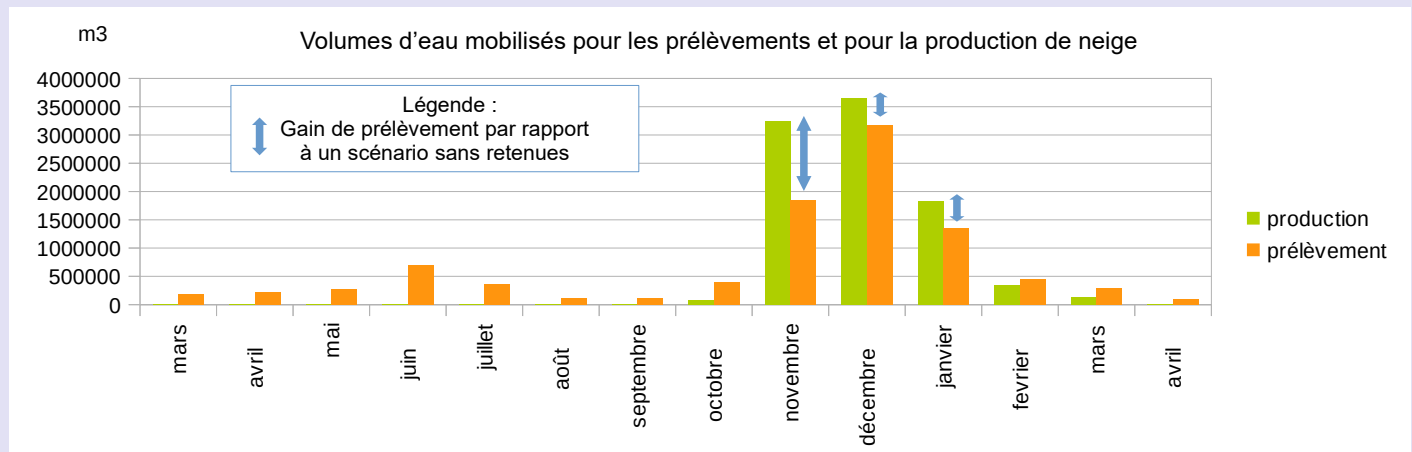
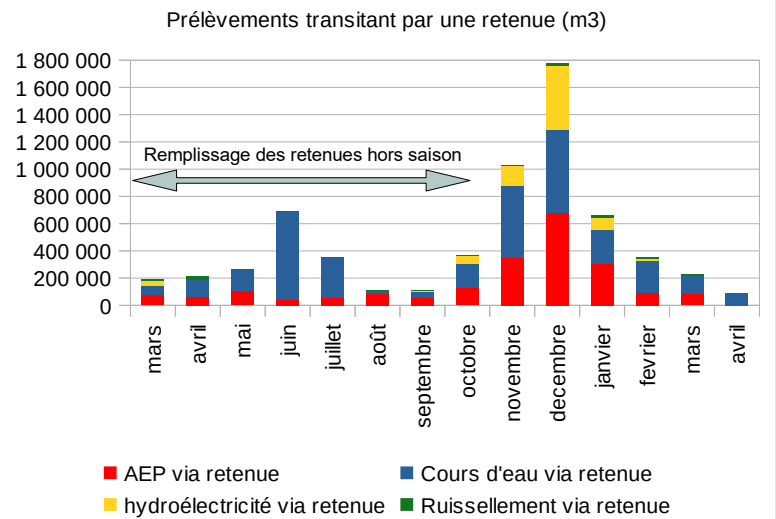
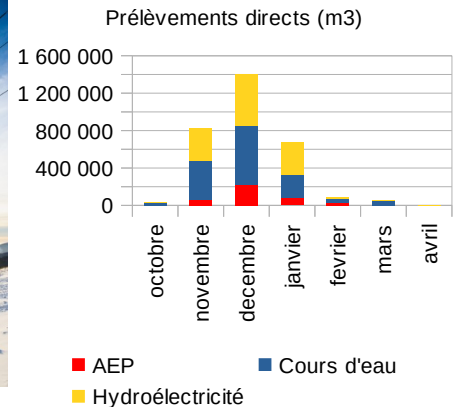


Photo : internet



Les Belleville



Photo : C. Garnier



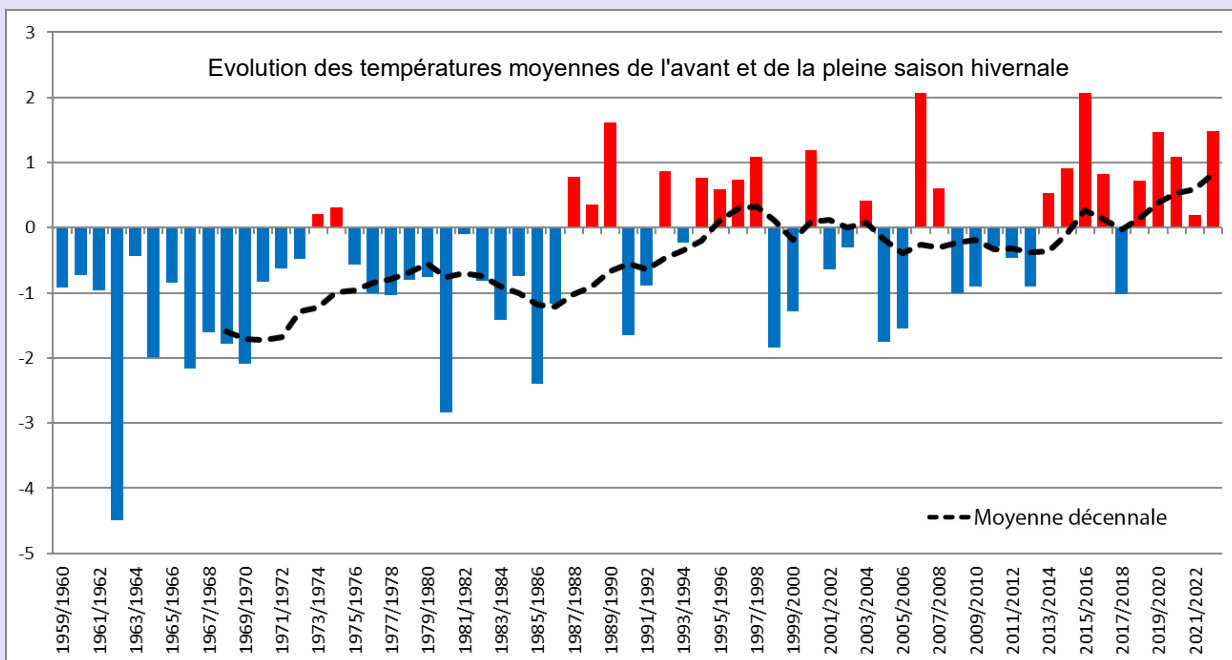
Montrichet-Albanne

Photo : C. Garnier

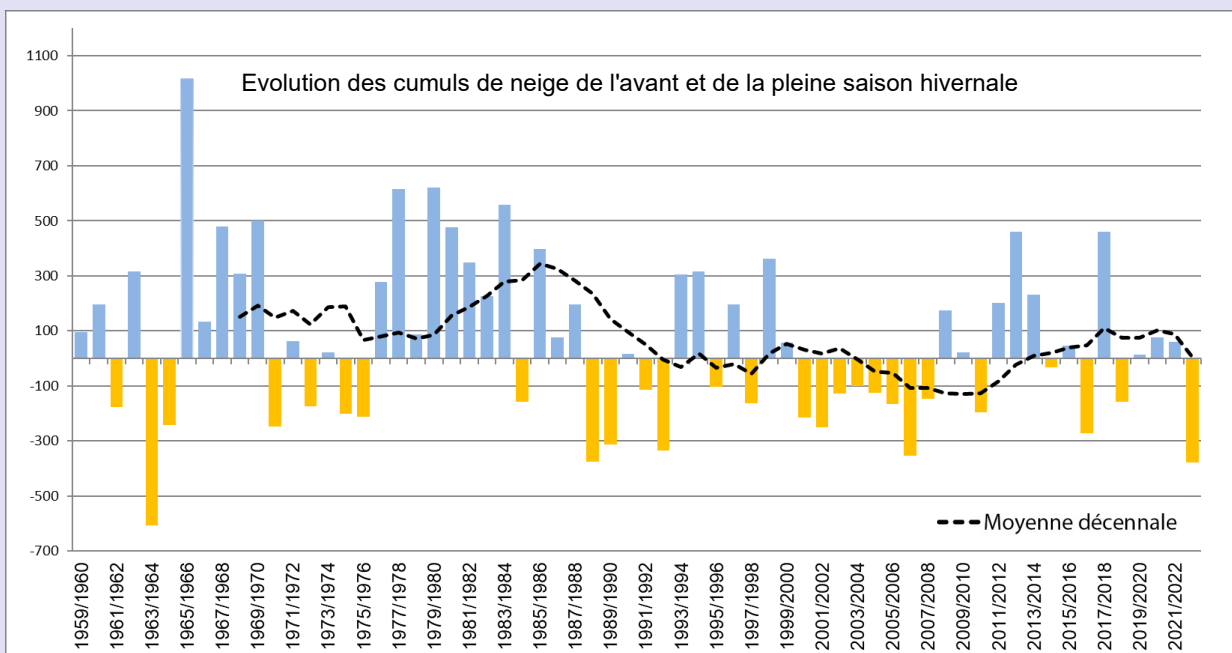
Zoom : conditions climatiques, enneigement naturel et neige de culture

Une saison particulière avec une avant-saison très douce, de courtes périodes neigeuses (début décembre et janvier), un pic de chaleur inattendu (fin décembre) et une sécheresse record en février, quasiment sans précipitation, ce qui n'était jamais arrivé depuis 1959.

La saison hivernale sur novembre-février termine à la 2e place des moins enneigés depuis 1959 et à la 4e des plus chaudes. La moyenne montagne a particulièrement été touchée par le manque de neige.



Ecart des températures moyennes de l'avant et de la pleine saison hivernale (de novembre à février, en °C) par rapport à la moyenne 1991-2020 en Savoie (indice calculé à partir des moyennes des mesures des postes Météo-France d'Arèche-Beaufort, Bourg-Saint-Maurice et d'Avrieux).
Source : Météo-France ; traitement AGATE.



Ecart des cumuls de neige de l'avant et de la pleine saison hivernale (de novembre à février, en cm) depuis 1959/1960 par rapport à la moyenne 1991-2020 en pays de Savoie (indice calculé à partir de la somme des mesures des postes Météo-France de Megève, de Peisey-Nancroix et de Bessans).
Source : Météo-France ; traitement AGATE.

Zoom : Enjeux climatiques et environnementaux de la production de neige en Europe

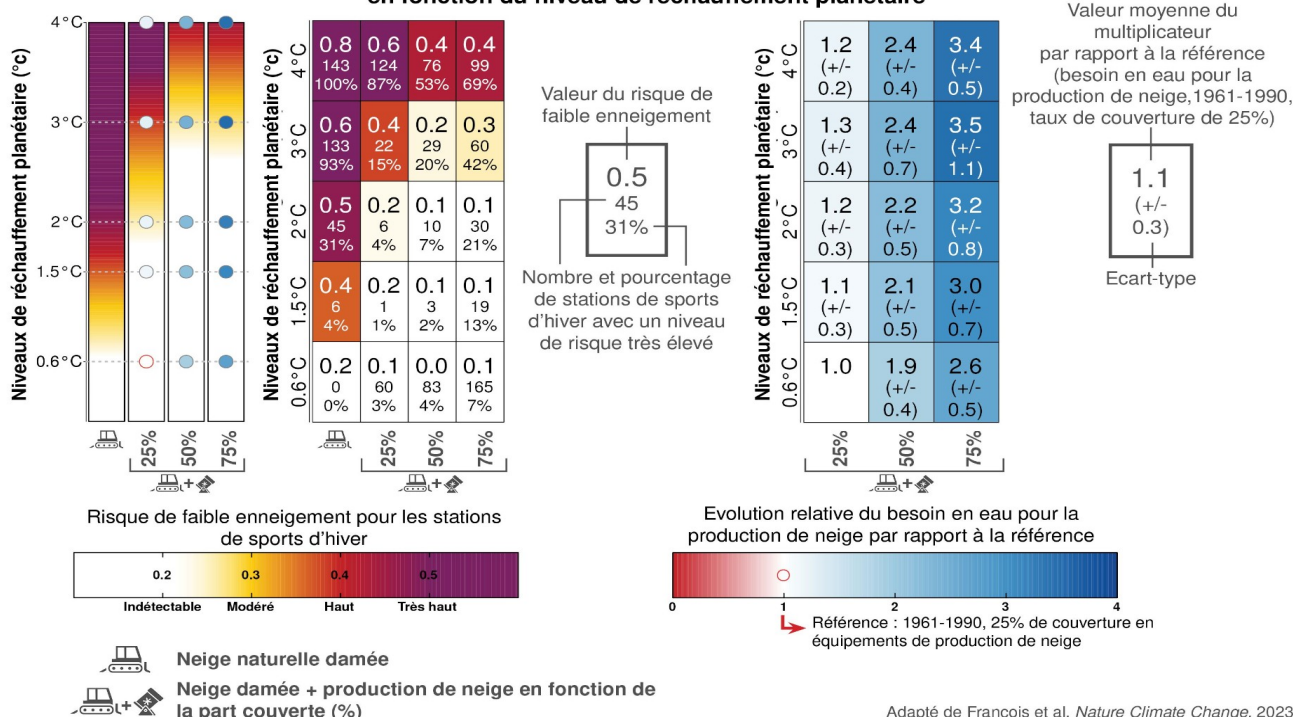
Raphaëlle Samacoïts (Météo-France DCSC), Hugues François(INRAE), Samuel Morin (Météo-France CNRM)

La production de neige, aussi appelée neige de culture ou neige artificielle, initiée dans les années 1990 en France a permis de réduire l'exposition des stations de ski à la variabilité naturelle de l'enneigement. Quelle sera la capacité de la production de neige à compenser la diminution de l'enneigement due au changement climatique et permettre une continuité des activités touristiques liées au ski ? À quel prix et avec quels enjeux ?

Une étude parue en août 2023 a évalué l'impact du changement climatique sur 2234 stations de ski en Europe. Cette étude a quantifié les niveaux de risque encourus par les stations de ski pour 18 massifs montagneux et pour différents niveaux de réchauffement planétaire en comparant les conditions d'enneigement avec celles les plus défavorables, sans production de neige, susceptibles de se reproduire une année sur cinq pendant la période de référence 1961-1990, âge d'or du développement des stations. Dans le cadre de cette étude, un niveau de risque "très élevé" correspond à rencontrer ces conditions en moyenne une année sur deux. Basée sur un ensemble de projections climatiques et une modélisation du manteau neigeux intégrant les effets du damage et de la production de neige, l'analyse tient compte explicitement des hétérogénéités climatiques locales et du profil altitudinal de chaque station. Le besoin en eau et l'empreinte carbone de la production électrique pour la production de neige ont également été estimés.

L'étude confirme que le risque de faible enneigement est hétérogène entre les différents massifs et les différentes stations. Les Alpes françaises n'échappent pas à ce constat. Elles comptent 143 stations de ski considérées pour cette étude, cumulant 166 km² de pistes. À +2°C de réchauffement planétaire par rapport à 1850-1900 et sans production de neige, 31 % des stations courent un niveau de risque très élevé. Avec une production de neige couvrant la moitié des surfaces de pistes, cette proportion diminue à 7%. Pour autant, avec cette même couverture, à +4°C de réchauffement planétaire, 53 % des stations alpines françaises sont exposées à un niveau de risque très élevé.

Risque de faible enneigement des stations de sports d'hiver des Alpes françaises et besoin en eau pour la production de neige en fonction du niveau de réchauffement planétaire



Adapté de François et al, Nature Climate Change, 2023

Zoom : Enjeux climatiques et environnementaux de la production de neige en Europe

La diminution de l'enneigement engendre une augmentation de la demande en eau. A l'échelle de l'ensemble des stations françaises, pendant la période de référence 1961-1990, le volume d'eau mobilisé annuellement pour la production de neige est estimé à 22 Mm³. Ce besoin en eau augmente de +23 % et de +32 %, respectivement pour +2°C et +4°C, sans tenir compte de la disponibilité future de la ressource en eau. Dans ce contexte d'augmentation globale de la demande, on projette un décalage de la production. Au mois de novembre, le besoin en eau pour la production diminuerait de 23 % à +2°C et de 65 % à +4°C. Parallèlement, la consommation électrique et l'empreinte carbone associée à la production de neige augmentent dans les mêmes proportions pour ces niveaux de réchauffement, la France se situant au 6ème rang européen en termes d'émission (avec en moyenne 7 kt d'équivalent CO₂ annuel sur la période de référence 1961-1990, en considérant que la moitié de la surface des stations est couverte en équipements de production).

La part des émissions liées à la production de neige reste modeste dans l'empreinte carbone totale du tourisme hivernal, dominée par les émissions des secteurs du transport et du logement. Il est toutefois difficile de dissocier les émissions directement liées à la production de neige de celles dues à l'activité touristique qui justifie cette production. Ceci questionne plus largement la dépendance des zones de montagne au tourisme. Moyen d'adaptation emblématique, saluée par les uns comme une solution technique permettant la continuité de l'activité existante, décriée par les autres pour ses impacts sur le cycle de l'eau et les écosystèmes, la production de neige polarise les enjeux à venir sur le tourisme et l'économie des territoires de montagne.

Source : <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01759-5>

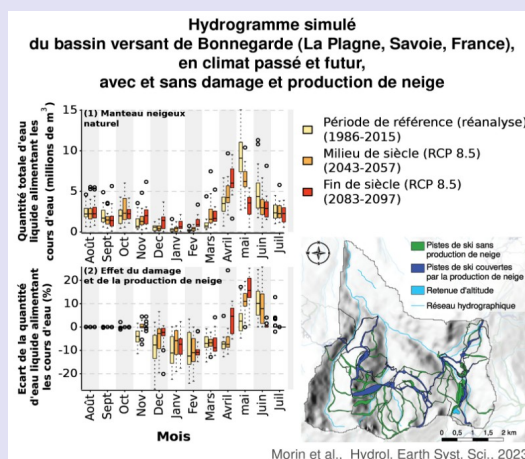
Zoom : Impacts de la gestion de la neige (damage & production) sur l'hydrologie aval des stations de sports d'hiver

Samuel Morin (Météo-France CNRM), Hugues François (INRAE)

Parmi les nombreuses questions au sujet des ressources en eau en montagne, notre étude récente traite de l'effet hydrologique en aval d'un domaine skiable dans le cadre d'un partenariat avec la Compagnie des Alpes portant sur une étude du cas à La Plagne. Nous avons mobilisé les données hydrologiques disponibles sur le principal bassin versant influencé par l'activité de station (Bonnegarde), ainsi que des outils de modélisation de l'enneigement, permettant de quantifier l'effet hydrologique de la gestion de la neige (damage et production de neige). Principaux résultats issus de cette étude et valables pour cette étude de cas :

- Le damage tend à supprimer l'écoulement à la base du manteau neigeux des pistes damées pendant l'hiver, et à reporter cette contribution au moment de la fonte.
- L'eau pour la production de neige est quasiment intégralement restituée lors de la fonte, à l'exception d'environ 10 %. Le principal effet hydrologique aval de la production de neige, hors transfert d'eau d'un bassin versant à l'autre, est une fonte retardée qui peut atteindre un écart 10 à 20 % par rapport aux conditions naturelles, au moment du pic de fonte.
- Le changement climatique provoque une baisse de l'enneigement, une fonte printanière plus précoce et une augmentation du débit hivernal. L'effet du changement climatique sur le débit des cours d'eau surpasse l'effet actuel et futur de la production de neige dans l'état actuel des pratiques et technologies de production de neige.

Source : <https://doi.org/10.5194/hess-27-4257-2023>



Zoom : Le turbinage des réseaux neige de culture L'exemple de la solution « HydroNeige » de la société Hydrostadium

Imaginée pour les domaines skiables équipés de réseaux d'eau sous pression pour la production de neige de culture, la solution « HydroNeige » permet d'optimiser l'usage de ces installations, utilisées en moyenne que 10% de leur temps.

Le principe est simple mais le défi est grand - intégrer une turbine hydroélectrique aux infrastructures existantes pour leur donner un deuxième usage - la production d'hydroélectricité.

À partir d'une prise d'eau sur un ruisseau présent sur le domaine skiable, ces installations peuvent ainsi produire de l'hydroélectricité localement. Avec ces microcentrales hydroélectriques, les domaines skiables compensent tout ou partie de leurs consommations.

Il s'agit d'un développement énergétique responsable visant à limiter les impacts sur le milieu naturel en utilisant au mieux les réseaux existants (réseau électriques, réseaux de communication et réseaux d'eau sous pression).

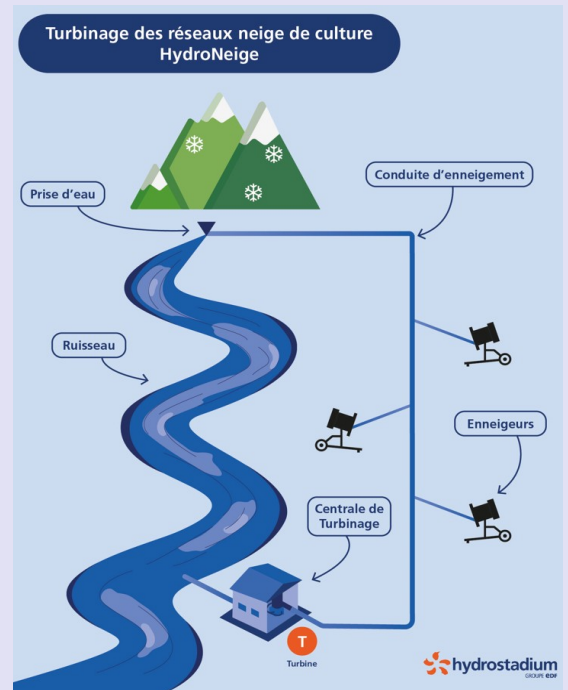
Après avoir mené les études de la détection des potentiels hydroélectriques jusqu'au Dossier d'Autorisation en DDT 05, Hydrostadium a réalisé l'installation et la mise en service des deux 1ers projets HydroNeige à Serre Chevalier, celui de Chantemerle mis en service en mars 2022 et celui de Villeneuve mis en service en juin 2023.

En Savoie, plusieurs domaines skiables ont également montré de l'intérêt sur l'évaluation du potentiel hydroélectrique et se sont tournés vers Hydrostadium pour les accompagner.

Hydrostadium accompagne Les Arcs (ADS) depuis 2020 sur un projet HydroNeige identifié sur le ruisseau de l'Arc. En utilisant les équipements existants, les principaux travaux se limitent à une modification de la prise d'eau existante des Plagnettes et l'agrandissement de l'usine à neige de Pré-Saint-Esprit pour créer un local de turbinage. La turbine de 430 kW devrait permettre de produire 1,76 Gwh/an, chiffre comparable aux 1,6 GWh consommés dans la saison 2022-2023 pour la production de neige. Les travaux débuteront l'été prochain.

Depuis 2021, à Courchevel, Hydrostadium accompagne également la Société Des 3 Vallées (S3V) sur le projet HydroNeige sur le ruisseau des Verdons. Le projet est actuellement en cours d'instruction réglementaire auprès de la DDT73.

Solution sur mesure et totalement intégrée, Hydrostadium a déjà élaboré une trentaine d'études en France. L'énergie produite peut ainsi être autoconsommée sur le domaine skiable quand le besoin est présent (effacement du talon de consommation) ou injectée sur le réseau de distribution avec une garantie d'origine pour favoriser les contrats de fourniture d'énergie renouvelable. Ces projets hydroélectriques fonctionnant au fil de l'eau, ils sont éligibles à un tarif d'Obligation d'Achat garanti sur 20 ans, favorisant ainsi la rentabilité globale de l'opération.



Plaquette réalisée par la DDT de la Savoie avec le concours de DSF, INRAE et AGATE
Remerciements particuliers à Claude Garnier pour la mise à disposition de ses illustrations.