

Observatoire régional
climat air énergie
 Auvergne-Rhône-Alpes

Fiche indicateur

**Evolution des conditions d'enneigement
 des domaines skiables**

Données 2020

31/07/2020

Sous le pilotage de



La Région
 Auvergne-Rhône-Alpes



Opéré par



Auvergne
 Rhône-Alpes
 Energie Environnement



| Descriptif de l'indicateur | | | | | | | | | | | |
|---|---|-------------------|--|---|---|--|--|---|---|---|--|
| Territoire concerné | Région Auvergne-Rhône-Alpes, domaines skiables | | | | | | | | | | |
| Type d'indicateur | Indicateur de pression et d'état | | | | | | | | | | |
| Justificatif du choix de l'indicateur | <p>Même si l'attractivité et la fréquentation d'une destination touristique ne dépendent pas uniquement de paramètres climatiques, le tourisme en Auvergne-Rhône-Alpes risque d'être impacté par le changement climatique, avec des effets sur la fréquentation des domaines skiables. Il s'agit dans cette fiche d'étudier les impacts du changement climatique sur les paramètres climatiques et les conditions d'enneigement des domaines skiables d'Auvergne-Rhône-Alpes.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #f2f2f2;">Indicateur étudié</th> <th style="background-color: #f2f2f2;">Ce que l'on veut analyser à partir de l'indicateur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Évolution de la température moyenne sur la saison hivernale</td> <td>Le réchauffement climatique hivernal dans les Alpes et le Massif Central.</td> </tr> <tr> <td>Évolution de la hauteur de neige moyenne sur la saison hivernale</td> <td>L'impact du changement climatique sur l'enneigement naturel des domaines skiables.</td> </tr> <tr> <td>Pourcentage de jours où la hauteur de neige au sol est d'au moins 30 cm sur la saison hivernale, et par « sous-saison »</td> <td>La notion de « skiabilité » (ski alpin) des domaines skiables avec l'enneigement naturel.</td> </tr> <tr> <td>Pourcentage de jours où la température minimale est inférieure à -2°C sur la saison hivernale, et par « sous-saison »</td> <td>La capacité à produire de la neige de culture, à l'altitude de la mesure.¹</td> </tr> </tbody> </table> | Indicateur étudié | Ce que l'on veut analyser à partir de l'indicateur | Évolution de la température moyenne sur la saison hivernale | Le réchauffement climatique hivernal dans les Alpes et le Massif Central. | Évolution de la hauteur de neige moyenne sur la saison hivernale | L'impact du changement climatique sur l'enneigement naturel des domaines skiables. | Pourcentage de jours où la hauteur de neige au sol est d'au moins 30 cm sur la saison hivernale, et par « sous-saison » | La notion de « skiabilité » (ski alpin) des domaines skiables avec l'enneigement naturel. | Pourcentage de jours où la température minimale est inférieure à -2°C sur la saison hivernale, et par « sous-saison » | La capacité à produire de la neige de culture, à l'altitude de la mesure. ¹ |
| Indicateur étudié | Ce que l'on veut analyser à partir de l'indicateur | | | | | | | | | | |
| Évolution de la température moyenne sur la saison hivernale | Le réchauffement climatique hivernal dans les Alpes et le Massif Central. | | | | | | | | | | |
| Évolution de la hauteur de neige moyenne sur la saison hivernale | L'impact du changement climatique sur l'enneigement naturel des domaines skiables. | | | | | | | | | | |
| Pourcentage de jours où la hauteur de neige au sol est d'au moins 30 cm sur la saison hivernale, et par « sous-saison » | La notion de « skiabilité » (ski alpin) des domaines skiables avec l'enneigement naturel. | | | | | | | | | | |
| Pourcentage de jours où la température minimale est inférieure à -2°C sur la saison hivernale, et par « sous-saison » | La capacité à produire de la neige de culture, à l'altitude de la mesure. ¹ | | | | | | | | | | |
| Descriptif | <p>Les calculs sont effectués du 20 décembre au 20 mars pour des raisons de disponibilité des mesures. Cette période est qualifiée de « saison hivernale ».</p> <ul style="list-style-type: none"> • Température moyenne : moyenne des températures moyennes journalières sur la saison hivernale. • Hauteur de neige moyenne : moyenne des hauteurs de neige journalières sur la saison hivernale. • Pourcentage de jours où la hauteur de neige est supérieure ou égale à 30 cm : les périodes étudiées, en plus de la saison hivernale, sont les 3 « sous-saisons » suivantes : 20 décembre-10 janvier, 11 janvier-10 février et 11 février-20 mars. • Pourcentage de jours où la température minimale est inférieure à -2°C : les périodes étudiées, en plus de la saison hivernale, sont les 3 « sous-saisons » suivantes : 20 décembre-10 janvier, 11 janvier-10 février et 11 février-20 mars. | | | | | | | | | | |

¹ Pour pallier les éventuels défauts d'enneigement qui peuvent intervenir au cours d'une saison, les stations de ski ont recours à un appoint de neige. Utilisée principalement en novembre et décembre, avant l'ouverture des domaines skiables, la neige de culture a vocation à créer une sous-couche qui améliore la tenue des flocons apportés par les premières précipitations neigeuses. Pour des raisons de disponibilité des mesures d'enneigement, l'indicateur proposé ici se concentre sur l'appoint de neige en cours de saison, qui permet d'agir sur des points d'usure du domaine skiable ou après une période de redoux.

Principaux résultats observés

- Une **augmentation de la température moyenne hivernale** d'environ 1°C entre la période climatique actuelle (1991-2020) et la période précédente de 30 ans, pour les 4 stations de mesure disposant d'un historique suffisant.
- Une **diminution de l'enneigement moyen** entre la période climatique actuelle (1991-2020) et celle qui précède, pour 4 des 5 stations de mesure disposant d'un historique suffisant.
- L'évolution du pourcentage de jours où la hauteur de neige au sol est d'au moins 30 cm sur la saison hivernale, représentant la « **skiabilité** » **des domaines skiables alpins** n'est pas significative pour les stations étudiées, sauf pour la station de Chamonix, à 1 042 m d'altitude (baisse de 40% entre la période climatique actuelle et celle qui précède²). On constate également, sur certaines stations de mesure, une dégradation des conditions d'enneigement (plus de 30 cm au sol) en début et fin de saison (20 décembre – 10 janvier et 11 février - 20 mars).
- Concernant la **capacité à produire de la neige de culture dans les conditions technologiques actuelles**, on observe, sur 3 des 4 stations de mesure disposant d'un historique suffisant, une diminution des créneaux de production liés aux températures en début et fin de saison (20 décembre – 10 janvier et 11 février - 20 mars), entre la période climatique actuelle et celle qui précède². Le cœur de l'hiver ne semble pas impacté.

² cf. *Éléments méthodologiques* p. 24

Suivi de l'indicateur

Couverture spatiale d'observation

Quatre réseaux de stations Météo France sont disponibles dans les massifs montagneux : le réseau Radome, composé de stations de mesures automatiques collectées en temps réel, situées la plupart du temps à faible altitude ; le réseau nivôse, regroupant une dizaine de stations automatisées nord-alpines ; le réseau nivo-météo, plus étendu, composé de stations dont les paramètres de températures et d'enneigement sont généralement relevés deux fois par jour par des pisteurs (sauf la station située au Col de Porte, qui est automatisée) ; le réseau clim, constitué de stations dont les paramètres sont relevés par des bénévoles.

Les critères de sélection des stations de mesures météorologiques retenues ont été les suivants : une station par massif, disposant de données journalières de températures et d'enneigement de bonne qualité (pas ou peu de données manquantes ou aberrantes), sur un temps suffisamment long (au moins 30 ans de données d'enneigement). L'ensemble des stations permet de couvrir différentes tranches d'altitude.

L'étude du réseau disponible de stations, soumis aux critères de sélection définis ci-dessus, a conduit à l'exclusion des stations suivantes :

- Données manquantes : Lans-en-Vercors, Villard-de-Lans, Saint-Pierre-de-Chartreuse, Le Tour, Le Margériaz, La Féclaz, Saint-Paul-de-Tartas, Cunlhat, Saint-Anthème, Mazet-Saint-Voy, Alpepierre.
- Historique insuffisant : Le Gua, Saint-Hilaire, Saint-Pierre-de-Chartreuse, Jarsy, Valloire, Avoriaz, Sarcenaz, Superbesse.

Après élimination des stations ci-dessus, le jeu de stations de mesures retenu est le suivant :

| Département | id_station | Nom de la station | Localisation | Altitude | Exposition | Réseau Météo | Période ³ |
|--------------|------------|-------------------|-------------------|----------|-----------------------|--------------|----------------------|
| Isère | 38472403 | Chartreuse | Col de Porte (A) | 1325 m | Nord | Nivo-meteo | 1961-2020 |
| Haute-Savoie | 74056001 | Mont Blanc | Chamonix (B) | 1042 m | Multiple ⁴ | Radome | 1957-2020 |
| Savoie | 73040005 | Haute-Maurienne | Bessans (C) | 1715 m | Nord-Ouest | Clim | 1959-2020 |
| Isère | 38021001 | Vercors | Autrans (D) | 1090 m | Multiple ⁴ | Clim | 1964-2020 |
| Puy-de-Dôme | 63236002 | Sancy | Le Mont Dore (E) | 1050 m | Multiple ⁴ | Clim | 1959-2020 |
| Haute-Savoie | 74134400 | Chablais | Les Gets (F) | 1100 m | Nord-Ouest | Clim | 1989-2020 |
| Savoie | 73034400 | Beaufortain | Arèches (G) | 1200 m | Multiple ⁴ | Nivo-meteo | 1985-2020 |
| Isère | 38191400 | Grandes Rousses | L'Alpe d'Huez (H) | 1860 m | Nord-Nord-Ouest | Nivo-meteo | 1979-2020 |
| Cantal | 15101004 | Monts du Cantal | Le Lioran (I) | 1450 m | Ouest-Nord-Ouest | Nivo-meteo | 1978-2020 |
| Savoie | 73173400 | Maurienne | Les Karellis (J) | 1610 m | Nord | Nivo-meteo | 1977-2020 |
| Savoie | 73257400 | Tarentaise 1 | Les Ménuires (K) | 1800 m | Sud | Nivo-meteo | 1972-2020 |
| Savoie | 73150400 | Tarentaise 2 | La Plagne (L) | 1970 m | Nord | Nivo-meteo | 1971-2020 |
| Isère | 38253400 | Oisans | Les 2 Alpes (M) | 2600 m | Nord | Clim | 1982-2020 |

Cette sélection de stations ne permet pas d'appréhender toute la diversité climatique des différents massifs de la région, car certains sont manquants. L'analyse des indicateurs sur ce jeu de stations permet toutefois d'obtenir un aperçu de tendances à différents endroits et à différentes altitudes.

Localisation des stations de mesure météorologiques (carte batchgeo.com) :



³ Période d'analyse du paramètre enneigement en fonction de la disponibilité des données

⁴ Terrain plat

Couverture temporelle d'observation

5 stations disposent de données complètes et d'un historique proche de 60 ans :

| <i>Département</i> | <i>Nom</i> | <i>Localisation</i> | <i>Altitude</i> | <i>Exposition</i> | <i>Réseau Météo France</i> | <i>Historique⁵</i> |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Isère | Chartreuse | Col de Porte | 1 325 m | Nord | Nivo-meteo | 60 ans |
| Haute-Savoie | Mont Blanc | Chamonix | 1 042 m | Multiple | Radome | 62 ans |
| Savoie | Haute-Maurienne | Bessans | 1 715 m | Nord-Ouest | Clim | 62 ans |
| Isère | Vercors | Autrans | 1 090 m | Multiple | Clim | 55 ans |
| Puy-de-Dôme | Sancy | Mont-Dore | 1 050 m | Multiple | Clim | 62 ans |

8 stations disposent de données incomplètes et d'un historique compris entre 32 et 50 ans :

| <i>Département</i> | <i>Nom</i> | <i>Localisation</i> | <i>Altitude</i> | <i>Exposition</i> | <i>Réseau Météo France</i> | <i>Historique⁵</i> |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Haute-Savoie | Chablais | Les Gets | 1 100 m | Nord-Ouest | Clim | 32 ans |
| Savoie | Beaufortain | Arêches | 1 200 m | Multiple | Nivo-météo | 36 ans |
| Isère | Grandes Rousses | L'Alpe d'Huez | 1 860 m | Nord-Nord-Ouest | Nivo-météo | 42 ans |
| Savoie | Maurienne | Les Karellis | 1 610 m | Nord | Nivo-météo | 44 ans |
| Savoie | Tarentaise | Les Ménuires | 1 800 m | Sud | Nivo-météo | 49 ans |
| Savoie | Tarentaise | La Plagne | 1 970 m | Nord | Nivo-météo | 50 ans |
| Isère | Oisans | Les 2 Alpes | 2 600 m | Nord | Clim | 39 ans |
| Cantal | Monts du Cantal | Le Lioran | 1 238 m | Nord-ouest | Nivo-météo | 43 ans |

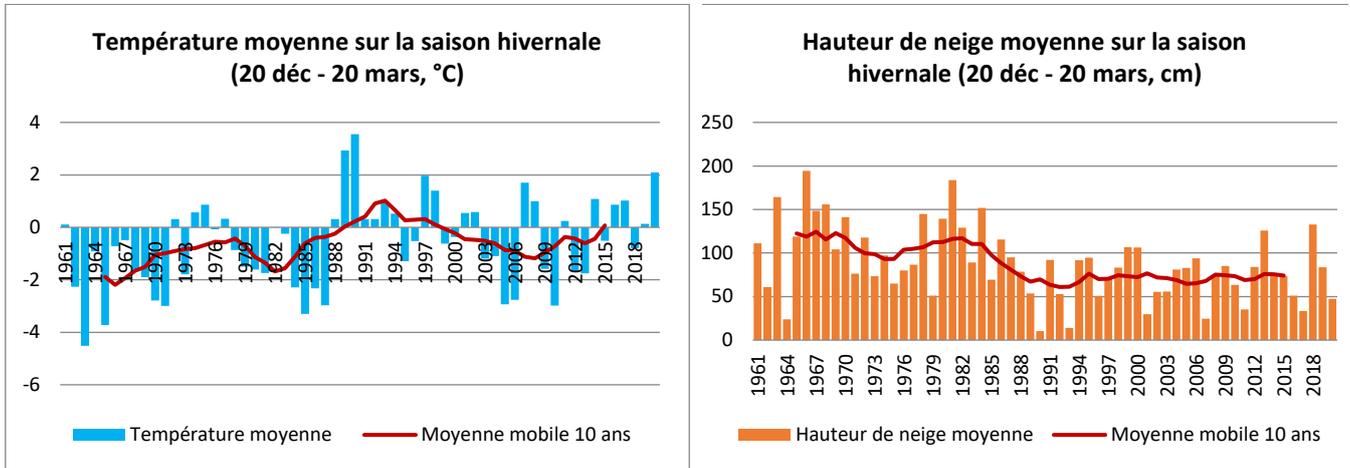
⁵ Historique du paramètre hauteur de neige.

Evolution des paramètres climatiques et conditions d'enneigement

Station météo du Col de Porte - Chartreuse

Altitude : 1 325 m. Exposition : Nord

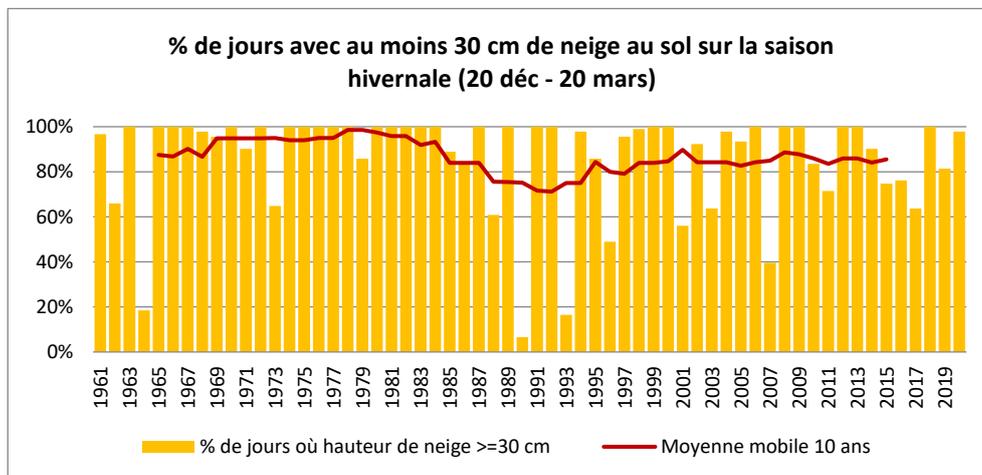
→ **Évolution des paramètres climatiques : température moyenne et enneigement sur la saison hivernale**



On observe une **augmentation de +0,9°C** entre la période climatique 1961 et 2020. La **différence de hauteur de neige moyenne** entre les périodes 1961/1990 et 1991/2020 est de **-33 cm** (diminution de 31%).

→ **Évolution des conditions d'enneigement naturel sur la saison complète**

Cet indicateur (pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol) représente l'enneigement naturel au cœur de l'hiver (91 jours, du 20 décembre au 20 mars).

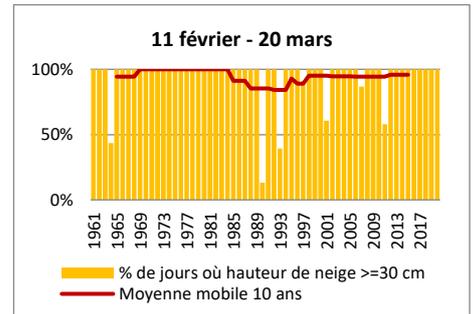
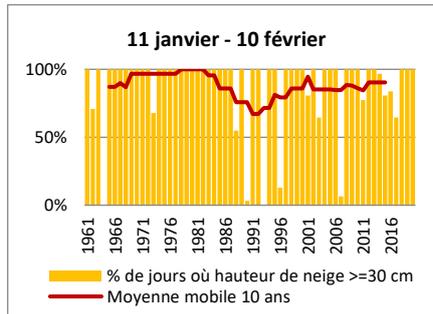
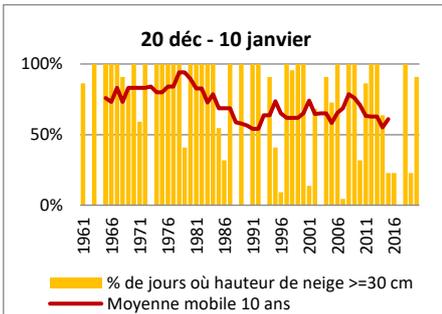


Le nombre de jours avec une hauteur de neige d'au moins 30 cm diminue en moyenne de 4% entre 1961/1990 et 1991/2020, ce qui n'est **pas significatif**.

Sur cette station de mesure, l'enneigement est abondant, en durée et en quantité : 97% des hivers peuvent être considérés comme très enneigés (plus de 40 jours avec au moins 30 cm de neige au sol sur la période). La comparaison avec les hivers peu enneigés (moins de 10 jours avec au moins 30 cm de neige au sol sur la période) n'est donc pas pertinente ;

→ **Évolution des conditions d'enneigement naturel par sous-saison**

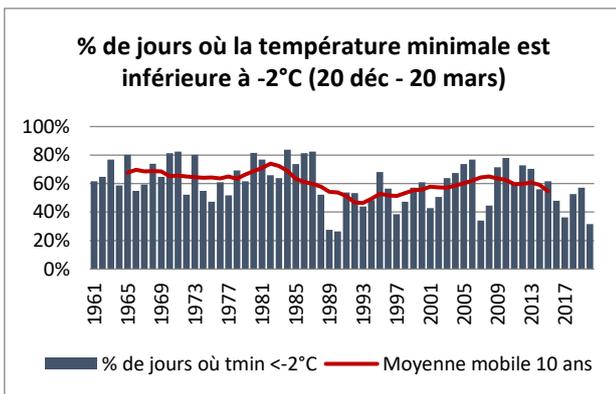
Cet indicateur présente le pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol sur 3 fenêtres temporelles consécutives.



C'est sur la période du 20 décembre au 10 janvier que la baisse de l'enneigement se fait le plus sentir : la baisse du nombre de jours avec au moins 30 cm de neige au sol entre 1961/1990 et 1991/2020 est en moyenne de 14% sur la période du 20 décembre au 10 janvier, alors qu'elle n'est pas significative entre le 11 janvier et le 20 mars.

→ **Évolution des conditions d'enneigement artificiel sur la saison complète (91 jours du 20 déc. au 20 mars)**

Cet indicateur (pourcentage de jours où la température minimale est strictement inférieure à -2°C) illustre la **capacité à produire de la neige de culture** dans les conditions technologiques actuelles, à l'altitude de la station de mesure météo, et **sur la période étudiée**. À noter que la production de neige de culture ne se fait pas en continu mais se base sur des « fenêtres de froid » : il faut environ 100h de froid (un peu plus de 4 jours avec une température inférieure à -2°C) pour produire un manteau neigeux acceptable.

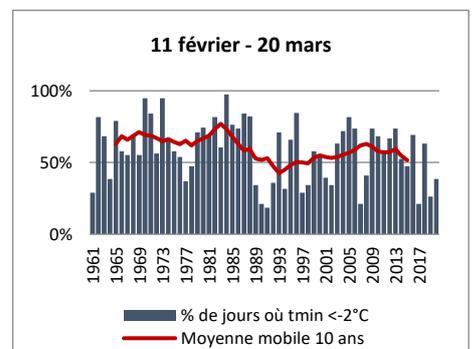
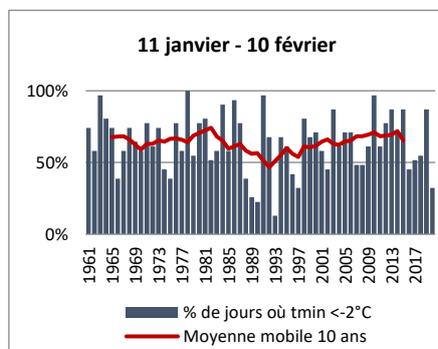
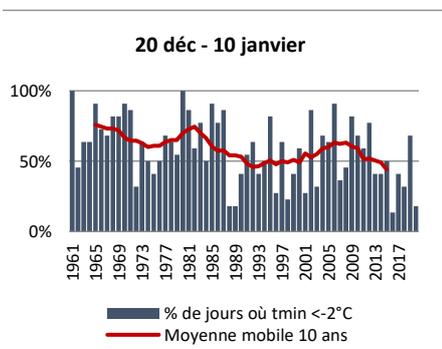


Sur la saison complète (graphe ci-contre), le nombre de jours où la température minimale est strictement inférieure à -2°C diminue en moyenne de 14% entre la première période climatique (1961/1990) et la seconde (1991/2020).

C'est sur les périodes du 20 décembre au 10 janvier et du 11 février au 20 mars que la baisse est la plus forte : la diminution du nombre de jours de froid entre 1961/1990 et 1991/2020 est en moyenne de 22% sur la période du 20 décembre au 10 janvier, de 20% du 11 février au 20 mars, et n'est pas significative du 11 janvier au 10 février.

Cet indicateur ne dit pas s'il est possible de produire de la neige de culture dans des conditions correctes, car il faudrait étudier d'autres paramètres pour cela, mais il montre sur cette station de mesure, que **la capacité de production est surtout impactée au début et à la fin de l'hiver.**

→ **Évolution des conditions d'enneigement artificiel par sous-saison**



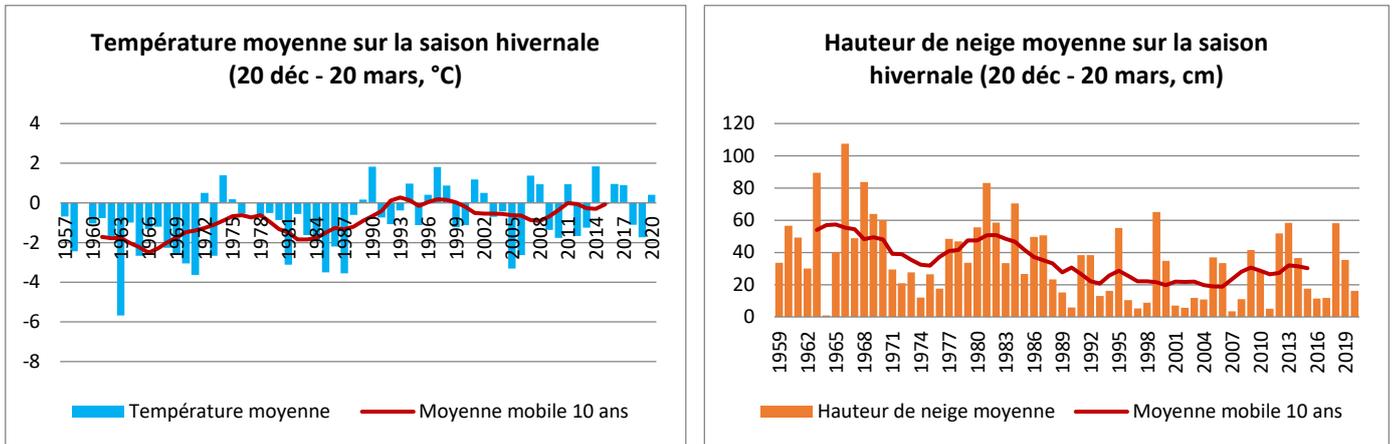
Evolution des paramètres climatiques et conditions d'enneigement

Station météo de Chamonix – Mont-Blanc

Altitude : 1 042 m. Exposition : Multiple (terrain plat)

Dans la série des hauteurs de neige, l'année 1963 a été exclue pour cause de données manquantes.

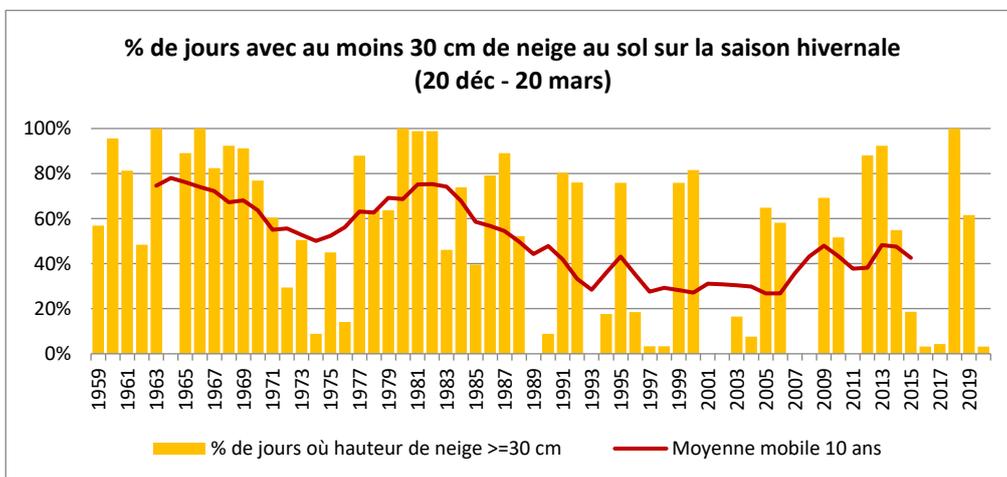
→ **Évolution des paramètres climatiques : température moyenne et enneigement sur la saison hivernale**



On observe une **augmentation de +1,1°C** entre 1951 et 2020. La **différence de hauteur de neige moyenne** entre les périodes 1961/1990 et 1991/2020 est de **-18 cm** (diminution de 41%).

→ **Évolution des conditions d'enneigement naturel sur la saison complète**

Cet indicateur (pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol) représente l'enneigement naturel au cœur de l'hiver (91 jours, du 20 décembre au 20 mars).



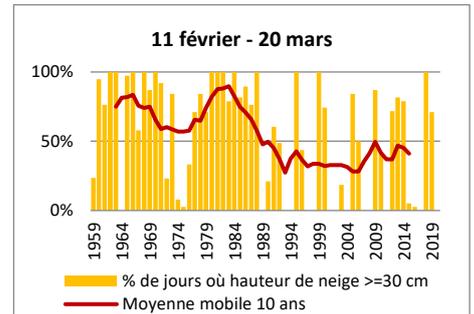
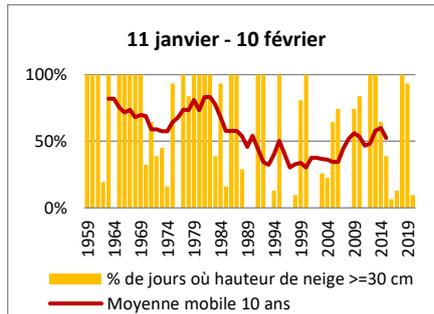
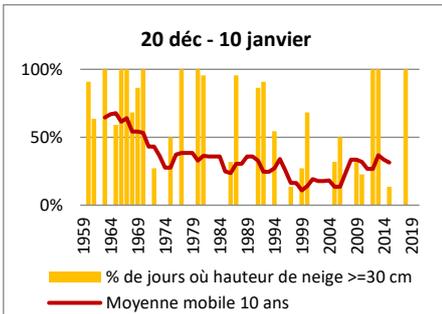
Le nombre de jours avec une hauteur de neige d'au moins 30 cm **diminue en moyenne de 40%** entre 1961/1990 et 1991/2020.

Si l'on extrait les de cette série les hivers peu enneigés (moins de 10 jours avec au moins 30 cm de neige au sol sur la période), 11 se situent dans la période la plus récente (1991/2020) et 5 dans la précédente (1961/1990). Quant aux hivers très enneigés (plus de 40 jours avec au moins 30 cm de neige au sol sur la période), 14 se situent dans la période la plus récente (1991/2020) et 23 dans la précédente (1961/1990).

Sur cette station de mesure, les hivers peu enneigés sont plus nombreux sur la période climatique la plus récente et les hivers les plus enneigés se situent en majorité dans la période climatique précédente.

→ **Évolution des conditions d'enneigement naturel par sous-saison**

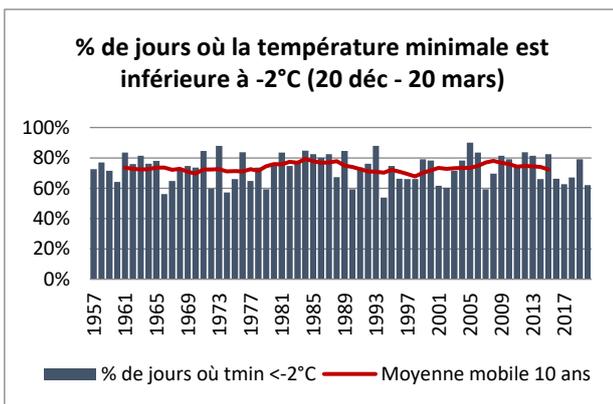
Cet indicateur présente le pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol sur 3 fenêtres temporelles consécutives.



C'est sur la période du 11 février au 20 mars que la baisse de l'enneigement se fait le plus sentir : la diminution du nombre de jours avec au moins 30 cm de neige au sol entre 1961/1990 et 1991/2020 est en moyenne de 48% sur la période du 11 février au 20 mars, de 38% du 20 décembre au 10 janvier et de 30% du 11 janvier au 10 février.

→ **Évolution des conditions d'enneigement artificiel sur la saison complète (91 jours du 20 déc. au 20 mars)**

Cet indicateur (pourcentage de jours où la température minimale est strictement inférieure à -2°C) illustre la **capacité à produire de la neige de culture** dans les conditions technologiques actuelles, à l'altitude de la station de mesure météo, et **sur la période étudiée**. À noter que la production de neige de culture ne se fait pas en continu mais se base sur des « fenêtres de froid » : il faut environ 100h de froid (un peu plus de 4 jours avec une température inférieure à -2°C) pour produire un manteau neigeux acceptable.

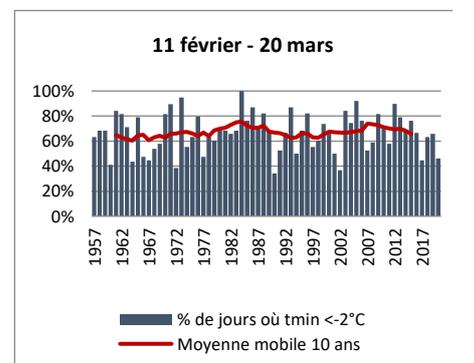
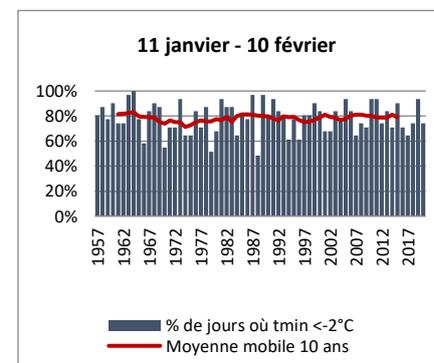
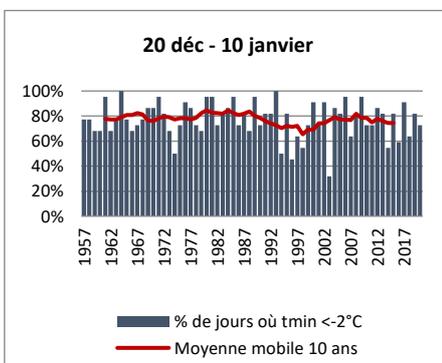


Sur la saison complète (graphe ci-contre), le nombre de jours où la température minimale est strictement inférieure à -2°C est en moyenne identique sur la première période climatique (1961/1990) et la seconde (1991/2020).

Les variations sur les 3 sous-saisons sont très faibles et peu significatives.

Cet indicateur ne dit pas s'il est possible de produire de la neige de culture dans des conditions correctes, car il faudrait étudier d'autres paramètres pour cela. Il est probable cependant que sur cette station, avec une moyenne de 70% de jours où la température est suffisamment froide, il n'y ait aucune difficulté pour le faire.

→ **Évolution des conditions d'enneigement artificiel par sous-saison**

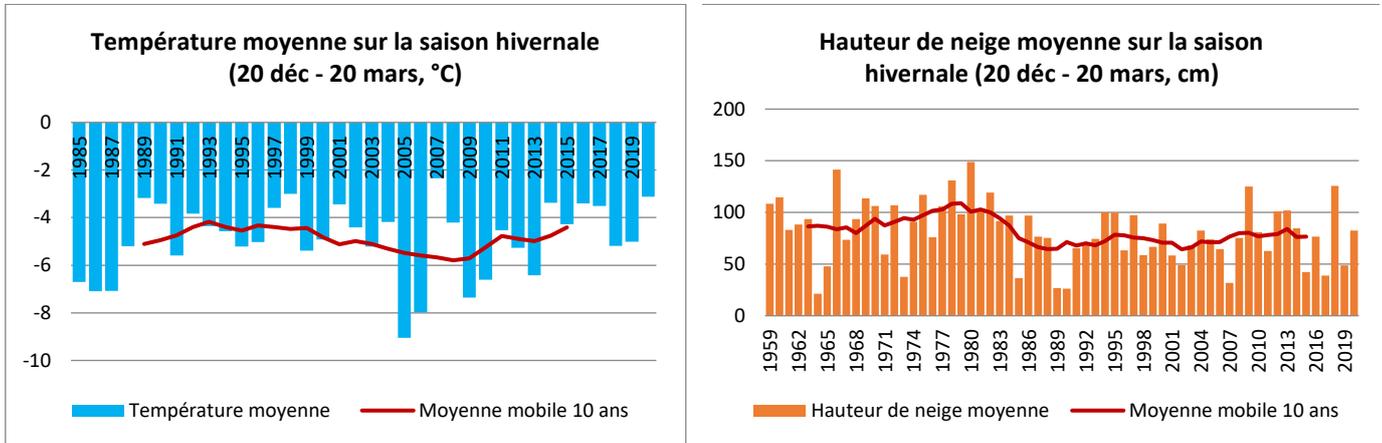


Evolution des paramètres climatiques et conditions d'enneigement

Station météo de Bessans – Haute-Maurienne

Altitude : 1 715 m. Exposition : Nord-Ouest

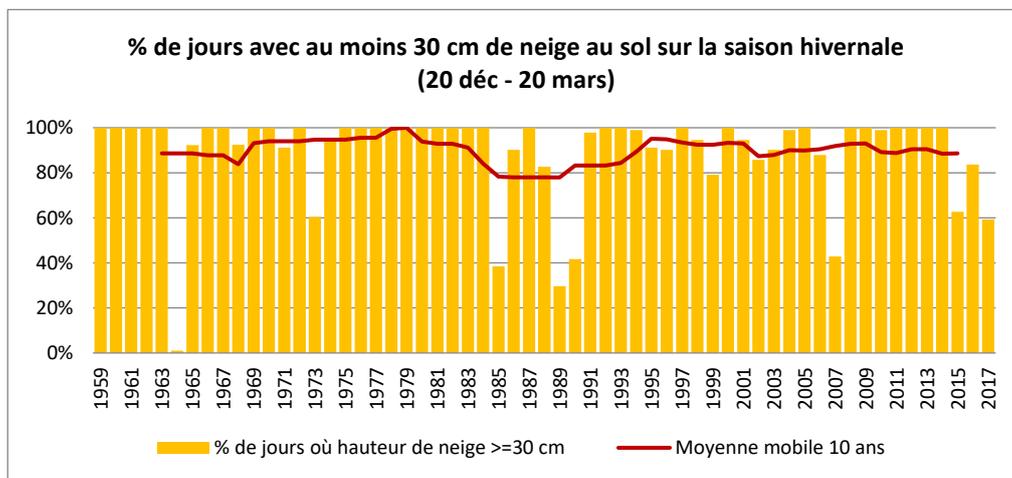
→ **Évolution des paramètres climatiques : température moyenne et enneigement sur la saison hivernale**



L'historique de 36 ans sur les températures ne permet pas de comparer deux périodes climatiques entre elles. La différence de hauteur de neige moyenne entre 1961/1990 et 1991/2020 est de **-11 cm** (diminution de 12%).

→ **Évolution des conditions d'enneigement naturel sur la saison complète**

Cet indicateur (pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol) représente l'enneigement naturel au cœur de l'hiver (91 jours, du 20 décembre au 20 mars).

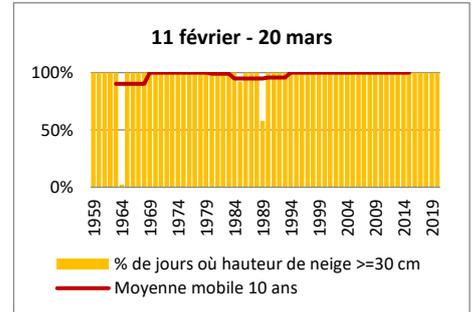
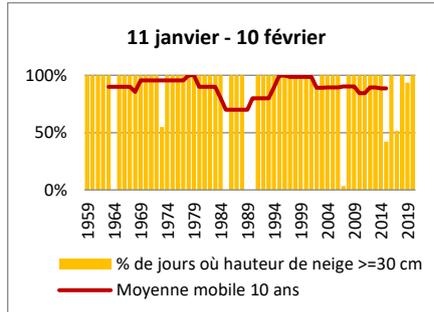
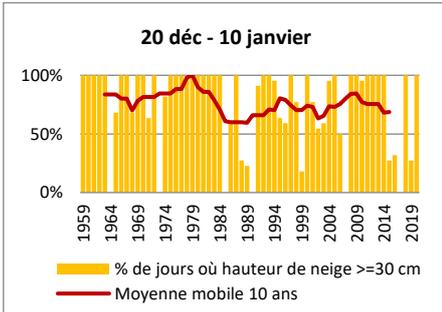


Le nombre de jours avec une hauteur de neige d'au moins 30 cm diminue en moyenne de 5% entre 1961/1990 et 1991/2020, ce qui n'est **pas significatif**.

Etant donnée l'altitude de la station de mesure, l'enneigement est abondant, en durée et en quantité : 95% des hivers peuvent être considérés comme très enneigés (plus de 40 jours avec au moins 30 cm de neige au sol sur la période). La comparaison avec les hivers peu enneigés (moins de 10 jours avec au moins 30 cm de neige au sol sur la période) n'est donc pas pertinente.

→ **Évolution des conditions d'enneigement naturel par sous-saison**

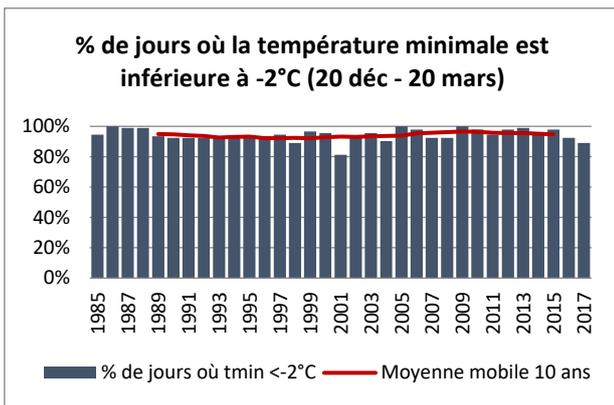
Cet indicateur présente le pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol sur 3 fenêtres temporelles consécutives.



Le nombre de jours avec une hauteur de neige d'au moins 30 cm n'évolue pas suffisamment pour que les variations par sous-saisons soient significatives.

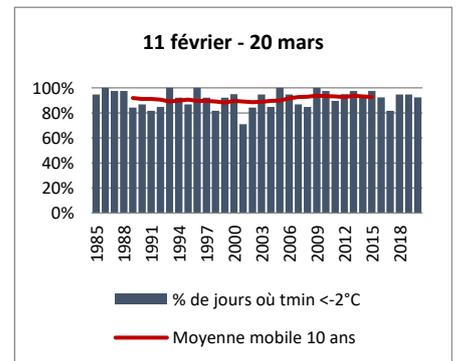
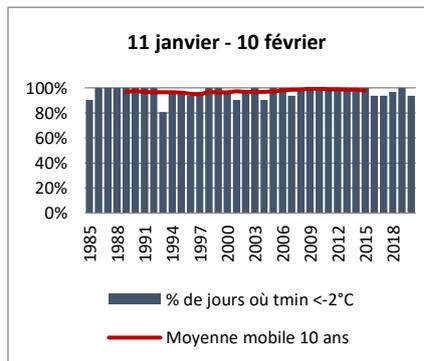
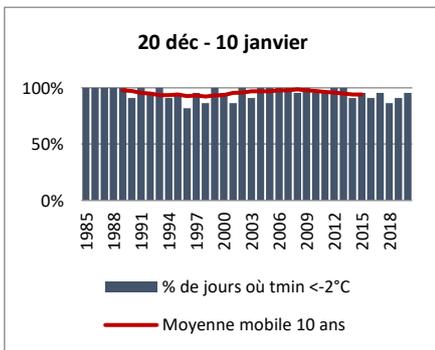
→ **Évolution des conditions d'enneigement artificiel sur la saison complète (91 jours du 20 déc. au 20 mars)**

Cet indicateur (pourcentage de jours où la température minimale est strictement inférieure à -2°C) illustre la **capacité à produire de la neige de culture** dans les conditions technologiques actuelles, à l'altitude de la station de mesure météo, et **sur la période étudiée**. À noter que la production de neige de culture ne se fait pas en continu mais se base sur des « fenêtres de froid » : il faut environ 100h de froid (un peu plus de 4 jours avec une température inférieure à -2°C) pour produire un manteau neigeux acceptable.



L'historique de 33 ans sur les températures ne permet pas de comparer deux périodes climatiques entre elles. Aucune évolution ne peut donc être constatée.

→ **Évolution des conditions d'enneigement artificiel par sous-saison**



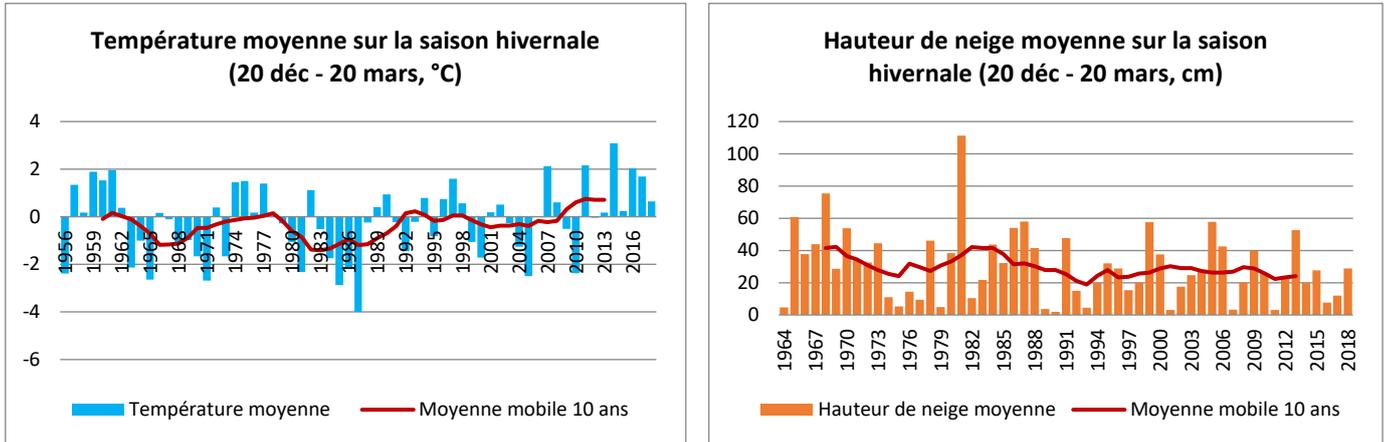
Evolution des paramètres climatiques et conditions d'enneigement

Station météo d'Autrans – Vercors

Altitude : 1 090 m. Exposition : Multiple (terrain plat)

Dans la série des températures, l'année 2006 a été exclue pour cause de données manquantes. Pour l'enneigement, la série est complète. La station météo a fermé en 2018.

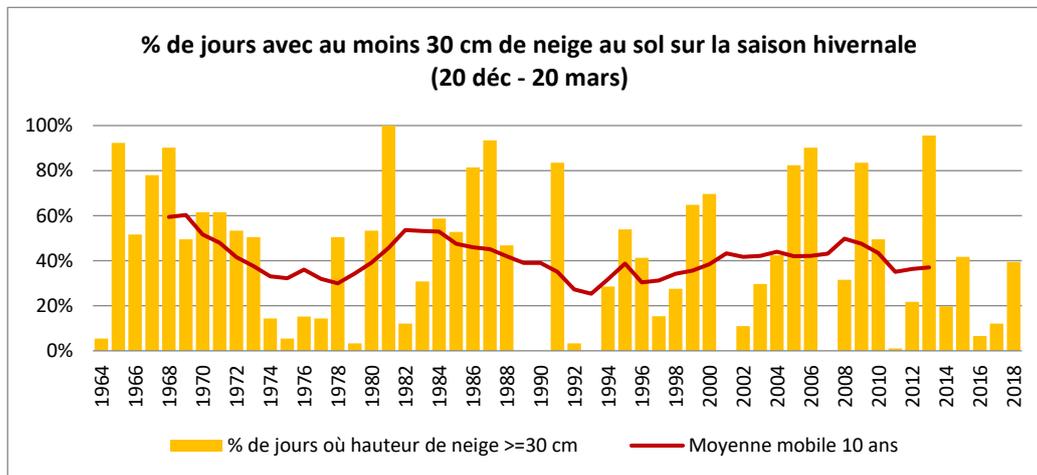
→ Évolution des paramètres climatiques : température moyenne et enneigement sur la saison hivernale



On observe une **augmentation de +0,8°C** entre la 1956 et 2018. La **différence de hauteur de neige moyenne** entre les périodes 1964/1993 et 1989/2018 est de **-9 cm** (diminution de 26%).

→ Évolution des conditions d'enneigement naturel sur la saison complète

Cet indicateur (pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol) représente l'enneigement naturel au cœur de l'hiver (91 jours, du 20 décembre au 20 mars).



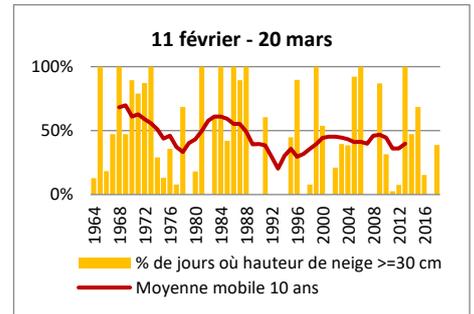
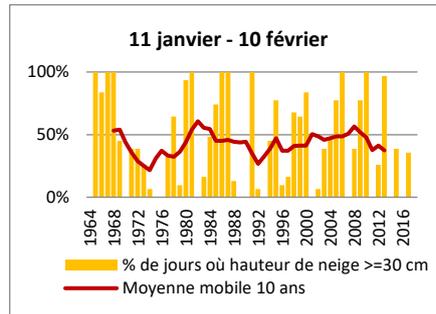
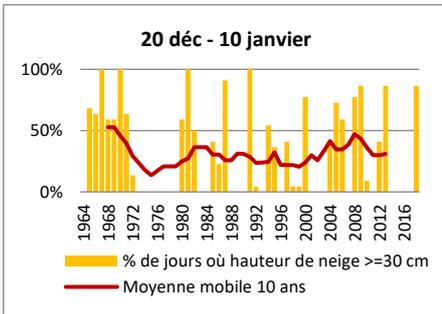
Le nombre de jours avec une hauteur de neige d'au moins 30 cm évolue de manière **non significative** entre 1964/1993 et 1989/2018.

Si l'on extrait de cette série les hivers peu enneigés (moins de 10 jours avec au moins 30 cm de neige au sol sur la période), 9 se situent dans la période la plus récente (1989/2018) et 3 dans la précédente (1964/1993). Quant aux hivers très enneigés (plus de 40 jours avec au moins 30 cm de neige au sol sur la période), 12 se situent dans la période la plus récente (1989/2018) et 17 dans la précédente (1964/1993)

Sur cette station de mesure, les différences entre les deux périodes étudiées ne sont pas suffisamment nettes pour pouvoir conclure.

→ **Évolution des conditions d'enneigement naturel par sous-saison**

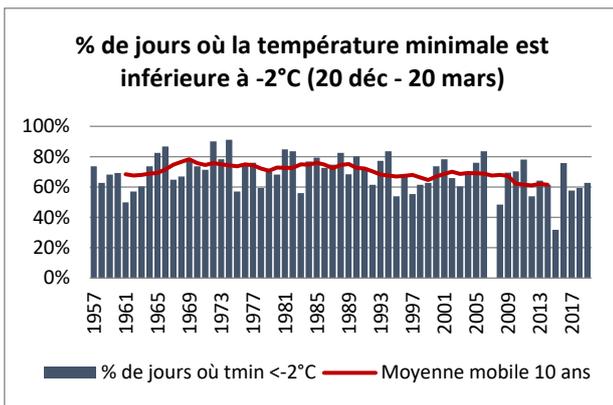
Cet indicateur présente le pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol sur 3 fenêtres temporelles consécutives.



Le nombre de jours avec une hauteur de neige d'au moins 30 cm n'évolue pas suffisamment pour que les variations par sous-saisons soient significatives.

→ **Évolution des conditions d'enneigement artificiel sur la saison complète (91 jours du 20 déc. au 20 mars)**

Cet indicateur (pourcentage de jours où la température minimale est strictement inférieure à -2°C) illustre la **capacité à produire de la neige de culture** dans les conditions technologiques actuelles, à l'altitude de la station de mesure météo, et **sur la période étudiée**. À noter que la production de neige de culture ne se fait pas en continu mais se base sur des « fenêtres de froid » : il faut environ 100h de froid (un peu plus de 4 jours avec une température inférieure à -2°C) pour produire un manteau neigeux acceptable.

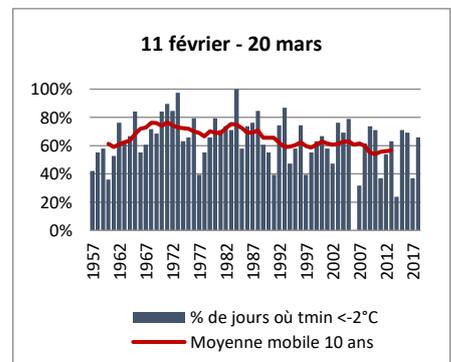
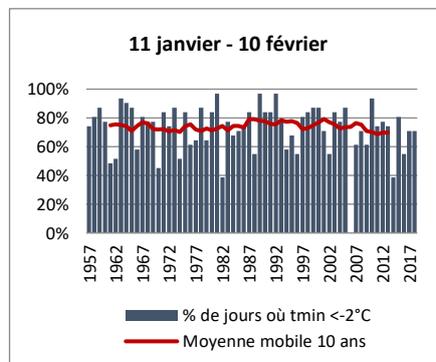
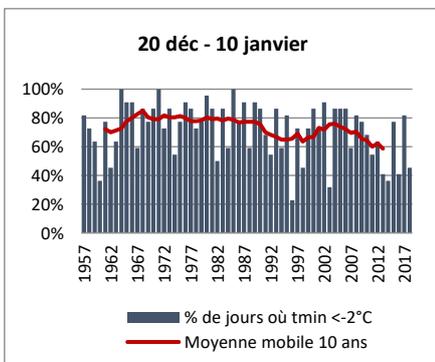


Sur la saison complète (graphe ci-contre), le nombre de jours où la température minimale est strictement inférieure à -2°C diminue en moyenne de 9% entre la première période climatique (1959/1988) et la seconde (1989/2018).

C'est sur les périodes du 20 décembre au 10 janvier et du 11 février au 20 mars que la baisse est la plus forte : la diminution du nombre de jours de froid entre 1959/1988 et 1989/2018 est en moyenne de 13% du 20 décembre au 10 janvier et de 16% du 11 février au 20 mars. La variation observée sur la période du 11 janvier au 10 février n'est pas significative.

Cet indicateur ne dit pas s'il est possible de produire de la neige de culture dans des conditions correctes, car il faudrait étudier d'autres paramètres, mais il montre sur cette station de mesure, que **la capacité de production est surtout impactée au début et à la fin de l'hiver**.

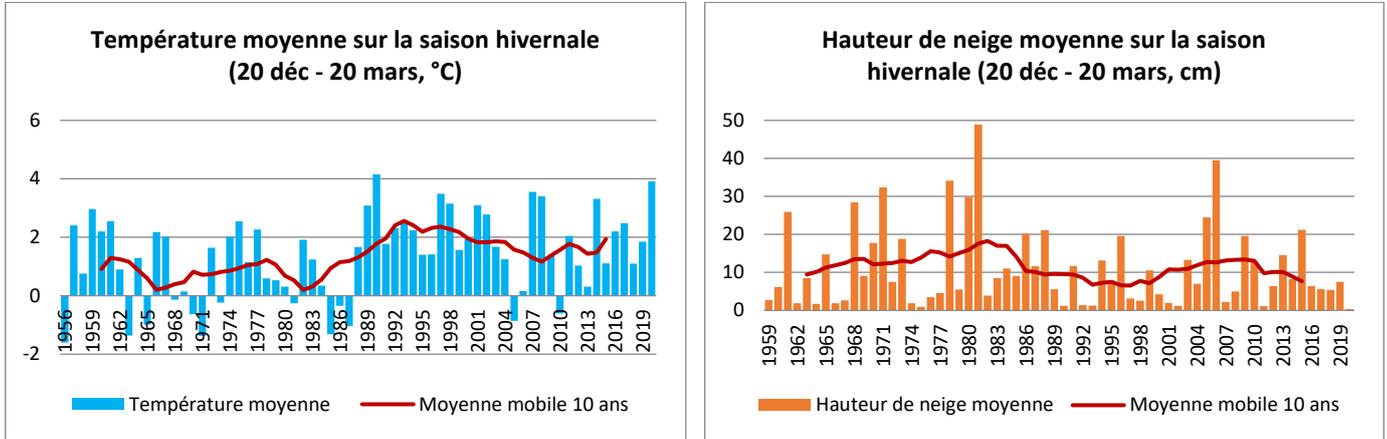
→ **Évolution des conditions d'enneigement artificiel par sous-saison**



Evolution des paramètres climatiques et conditions d'enneigement

Station météo du Mont Dore – Sancy Altitude : 1 050 m. Exposition : Multiple (terrain plat)

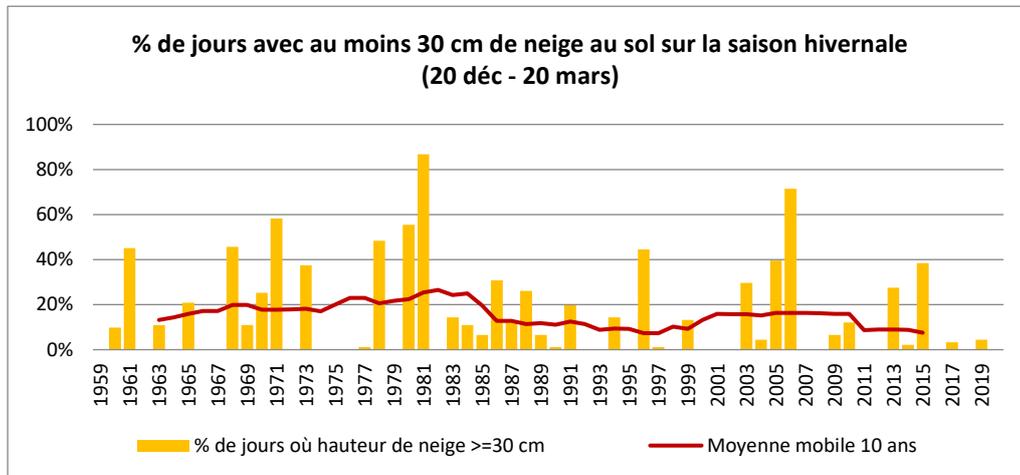
→ **Évolution des paramètres climatiques : température moyenne et enneigement sur la saison hivernale**



On observe une **augmentation de +0,9°C** entre 1950 et 2020. La **différence de hauteur de neige moyenne** entre les périodes 1961/1990 et 1991/2020 est de **-4 cm** (diminution de 29%).

→ **Évolution des conditions d'enneigement naturel sur la saison complète**

Cet indicateur (pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol) représente l'enneigement naturel au cœur de l'hiver (91 jours, du 20 décembre au 20 mars).



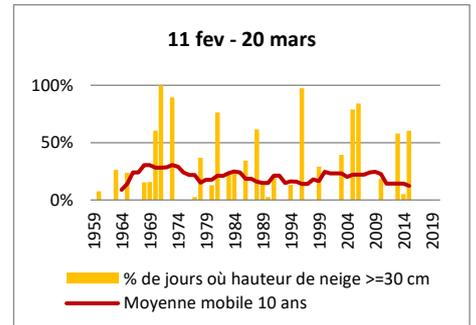
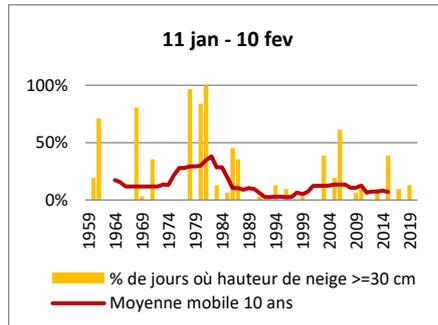
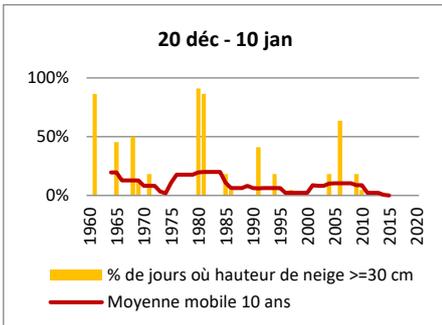
Le nombre de jours avec une hauteur de neige d'au moins 30 cm sur la période du 20 décembre au 20 mars passe de 18% en moyenne entre 1961 et 1990 à 11% en moyenne entre 1991 et 2020. L'évolution n'est **pas significative**.

Si l'on extrait de cette série les hivers peu enneigés (moins de 10 jours avec au moins 30 cm de neige au sol sur la période), 21 se situent dans la période climatique actuelle (1991/2020) et 18 dans la précédente (1961/1990). Quant aux hivers très enneigés (plus de 40 jours avec au moins 30 cm de neige au sol sur la période), 6 se situent dans la période climatique précédente (1961/1990) et 2 dans la période climatique actuelle (1991/2020).

Sur cette station de mesure, les différences entre les deux périodes étudiées ne sont pas suffisamment nettes pour pouvoir conclure.

→ **Évolution des conditions d'enneigement naturel par sous-saison**

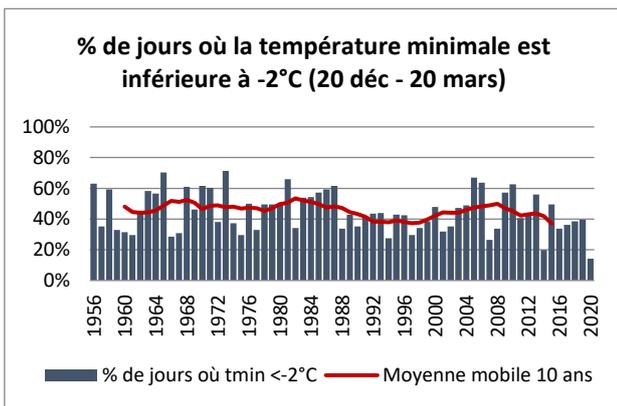
Cet indicateur présente le pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol sur 3 fenêtres temporelles consécutives.



C'est sur la période du 20 décembre au 10 février que la baisse de l'enneigement se fait le plus sentir : la diminution du nombre de jours avec au moins 30 cm de neige au sol entre 1961/1990 et 1991/2020 est en moyenne de 59% du 20 décembre au 10 janvier et du 11 janvier au 10 février, et non significative du 11 février au 20 mars.

→ **Évolution des conditions d'enneigement artificiel sur la saison complète (91 jours du 20 déc. au 20 mars)**

Cet indicateur (pourcentage de jours où la température minimale est strictement inférieure à -2°C) illustre la **capacité à produire de la neige de culture** dans les conditions technologiques actuelles, à l'altitude de la station de mesure météo, et **sur la période étudiée**. À noter que la production de neige de culture ne se fait pas en continu mais se base sur des « fenêtres de froid » : il faut environ 100h de froid (un peu plus de 4 jours avec une température inférieure à -2°C) pour produire un manteau neigeux acceptable.

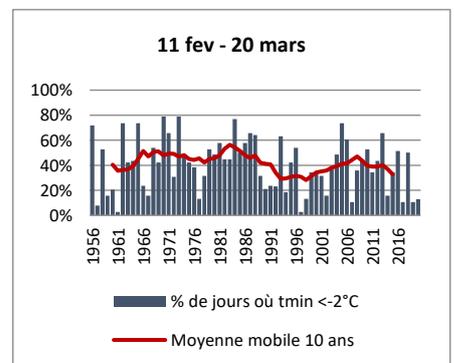
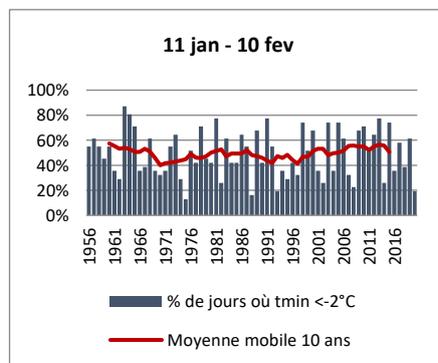
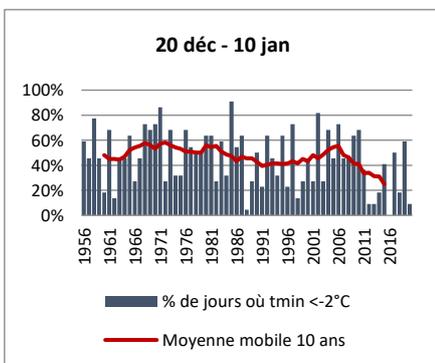


Sur la saison complète (graphe ci-contre), le nombre de jours où la température minimale est strictement inférieure à -2°C diminue en moyenne de 14% entre la première période climatique (1961/1990) et la seconde (1991/2020).

C'est sur les périodes du 20 décembre au 10 janvier et du 11 février au 20 mars que la baisse est la plus forte : la diminution du nombre de jours de froid entre 1961/1990 et 1991/2020 est en moyenne de 21% du 20 décembre au 10 janvier et de 26% du 11 février au 20 mars. Le nombre de jours de froid est quasi constant du 11 janvier au 10 février.

Cet indicateur ne dit pas s'il est possible de produire de la neige de culture dans des conditions correctes, car il faudrait étudier d'autres paramètres pour cela, mais il montre sur cette station de mesure, que **la capacité de production est surtout impactée au début et à la fin de l'hiver**.

→ **Évolution des conditions d'enneigement artificiel par sous-saison**



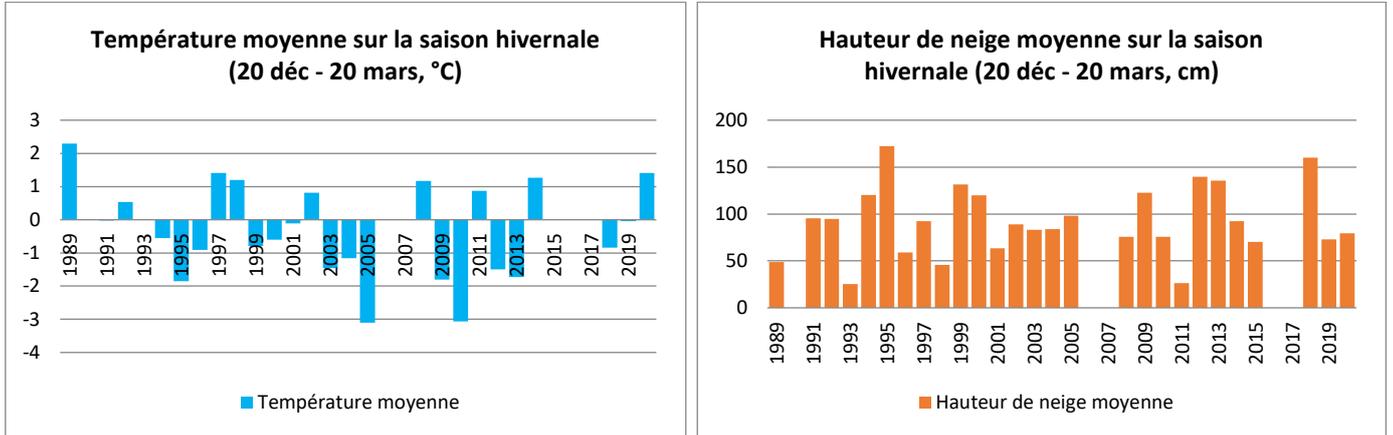
Evolution des paramètres climatiques et conditions d'enneigement

Station météo des Gets – Chablais

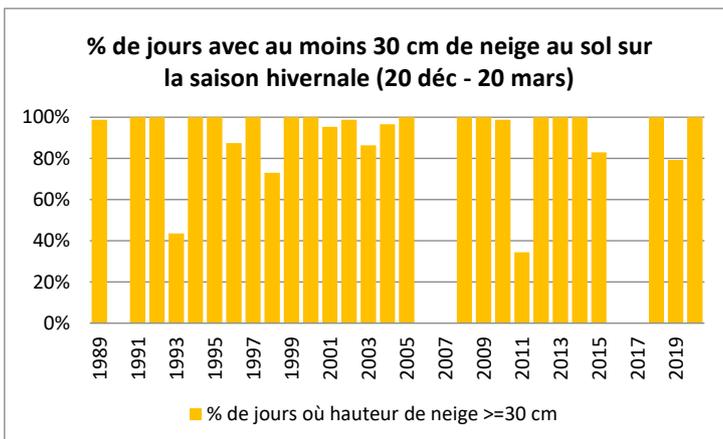
Altitude : 1 100 m. Exposition : Nord-Ouest

Dans le graphe des températures, les saisons 1989-90, 1992-93, 2005-06, 2006-07, 2014-15, 2015-16 et 2016-17 ont été exclues des calculs pour cause de données manquantes. Pour l'enneigement, les saisons 1989-90, 2005-06, 2006-07, 2015-16 et 2016-17 ont été exclues des calculs pour cause de données manquantes.

→ Évolution des paramètres climatiques : température moyenne et enneigement sur la saison hivernale

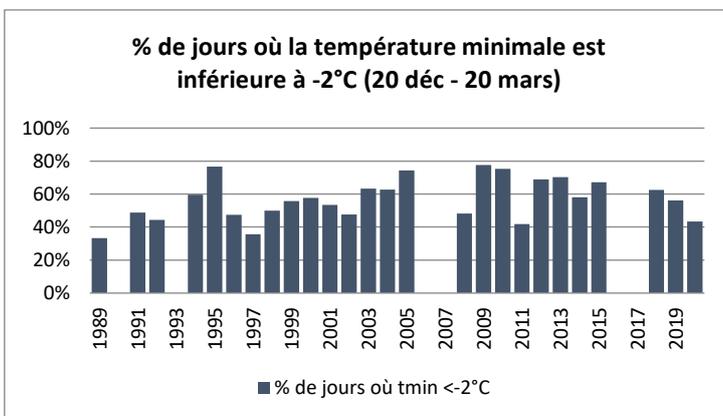


→ Évolution des conditions d'enneigement naturel sur la saison complète



Cet indicateur (pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol) représente l'**enneigement naturel au cœur de l'hiver**. La période étudiée est de 91 jours, du 20 décembre au 20 mars.

→ Évolution des conditions d'enneigement artificiel sur la saison complète



Cet indicateur (pourcentage de jours entre le 20 décembre et le 20 mars où la température minimale est strictement inférieure à -2°C) illustre la **capacité à produire de la neige de culture** dans les conditions technologiques actuelles, à l'altitude de la station de mesure météo (1 100 m), et **sur la période du 20 décembre au 20 mars**, soit 91 jours.

Sur cette station, l'historique des données (32 ans) est insuffisant pour réaliser une analyse de tendance climatique car il faudrait pouvoir comparer deux périodes de 30 ans. Aucune évolution ne peut être constatée pour l'instant.

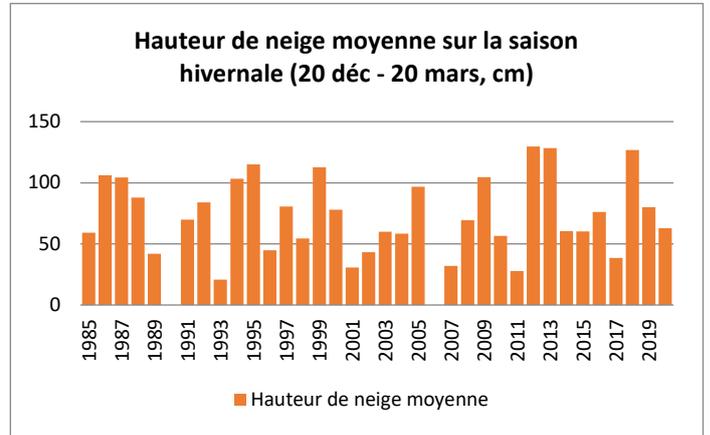
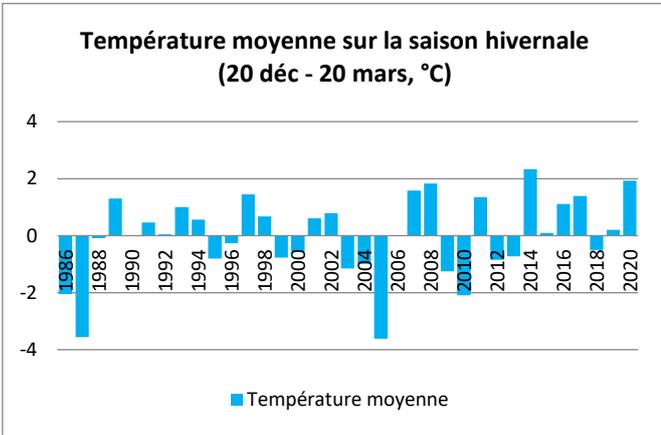
Evolution des paramètres climatiques et conditions d'enneigement

Station météo d'Arêches – Beaufortain

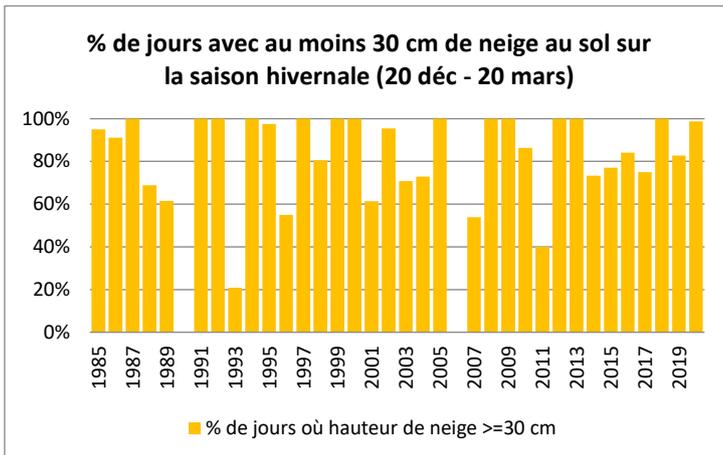
Altitude : 1 200 m. Exposition : Multiple (terrain plat)

Dans les graphes des températures et d'enneigement, les saisons 1989-90 et 2005-06 ont été exclues des calculs pour cause de données manquantes.

→ Évolution des paramètres climatiques : température moyenne et enneigement sur la saison hivernale

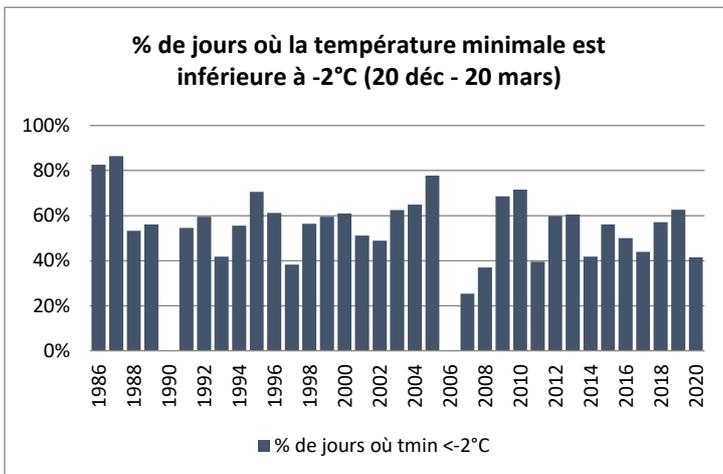


→ Évolution des conditions d'enneigement naturel sur la saison complète



Cet indicateur (pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol) représente **l'enneigement naturel au cœur de l'hiver**. La période étudiée est de 91 jours, du 20 décembre au 20 mars.

→ Évolution des conditions d'enneigement artificiel sur la saison complète



Cet indicateur (pourcentage de jours entre le 20 décembre et le 20 mars où la température minimale est strictement inférieure à -2°C) illustre la **capacité à produire de la neige de culture** dans les conditions technologiques actuelles, à l'altitude de la station de mesure météo (1 200 m), et **sur la période du 20 décembre au 20 mars**, soit 91 jours.

Sur cette station, l'historique des données (35 ans) est insuffisant pour réaliser une analyse de tendance climatique car il faudrait pouvoir comparer deux périodes de 30 ans. Aucune évolution ne peut être constatée pour l'instant.

Evolution des paramètres climatiques et conditions d'enneigement

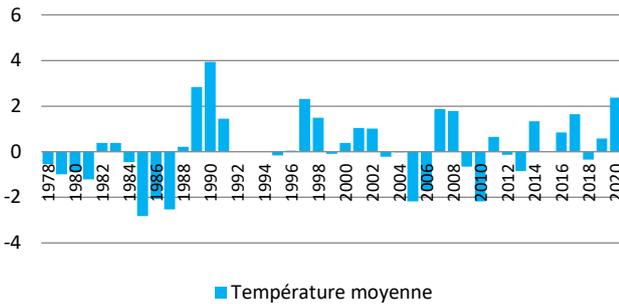
Station météo du Lioran – Monts du Cantal

Altitude : 1 238 m. Exposition : Nord-Ouest

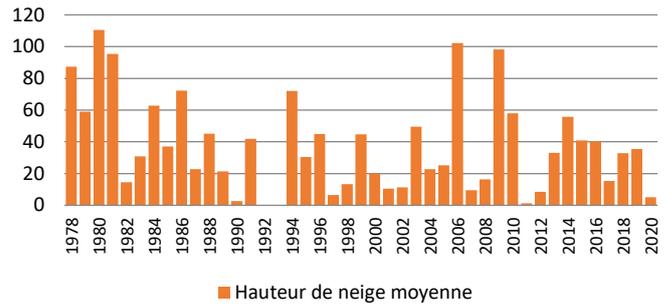
Dans les graphes des températures et d'enneigement, les saisons 1991-92 et 1992-93 ont été exclues des calculs pour cause de données manquantes, ainsi que la saison 1993-94 pour les températures.

→ Évolution des paramètres climatiques : température moyenne et enneigement sur la saison hivernale

Température moyenne sur la saison hivernale
(20 déc - 20 mars, °C)

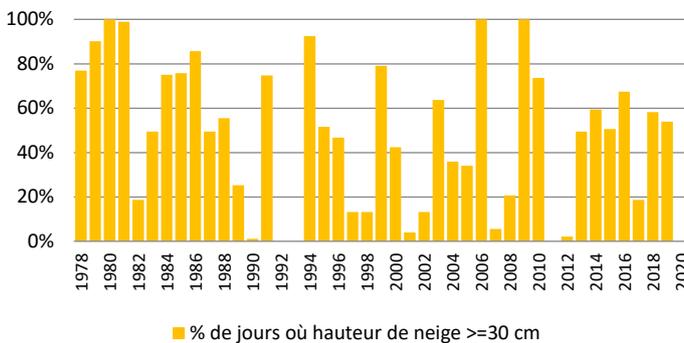


Hauteur de neige moyenne sur la saison
hivernale (20 déc - 20 mars, cm)



→ Évolution des conditions d'enneigement naturel sur la saison complète

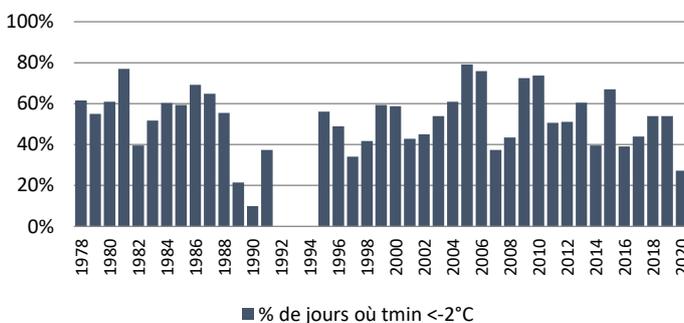
% de jours avec au moins 30 cm de neige au sol sur
la saison hivernale (20 déc - 20 mars)



Cet indicateur (pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol) représente l'**enneigement naturel au cœur de l'hiver**. La période étudiée est de 91 jours, du 20 décembre au 20 mars.

→ Évolution des conditions d'enneigement artificiel sur la saison complète

% de jours où la température minimale est
inférieure à -2°C (20 déc - 20 mars)



Cet indicateur (pourcentage de jours entre le 20 décembre et le 20 mars où la température minimale est strictement inférieure à -2°C) illustre la **capacité à produire de la neige de culture** dans les conditions technologiques actuelles, à l'altitude de la station de mesure météo (1 238 m), et **sur la période du 20 décembre au 20 mars**, soit 91 jours.

Sur cette station, l'historique des données (43 ans) est insuffisant pour réaliser une analyse de tendance climatique car il faudrait pouvoir comparer deux périodes de 30 ans. Aucune évolution ne peut être constatée pour l'instant.

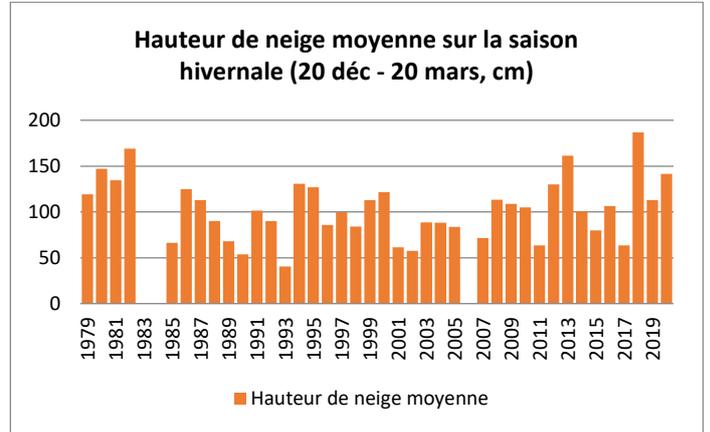
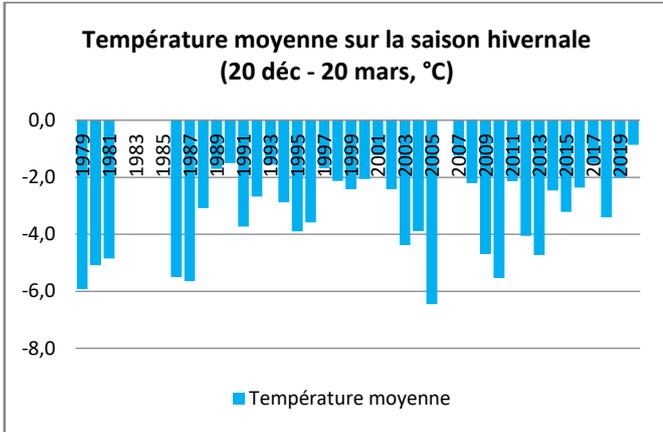
Evolution des paramètres climatiques et conditions d'enneigement

Station météo de l'Alpe d'Huez – Grandes Rousses

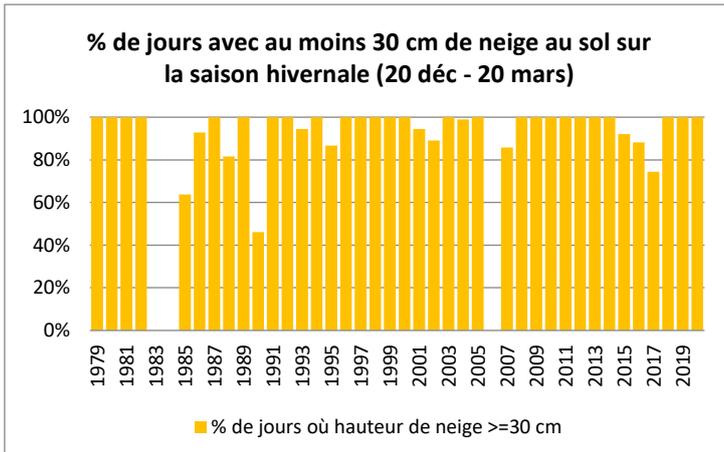
Altitude : 1 860 m. Exposition : Nord Nord-Ouest

Dans le graphe des températures, les saisons 1981-82, 1982-83, 1983-84, 1984-85 et 2005-06 ont été exclues des calculs pour cause de données manquantes. Pour l'enneigement, les saisons 1982-83, 1983-84 et 2005-06 ont été exclues des calculs pour cause de données manquantes.

→ Évolution des paramètres climatiques : température moyenne et enneigement sur la saison hivernale

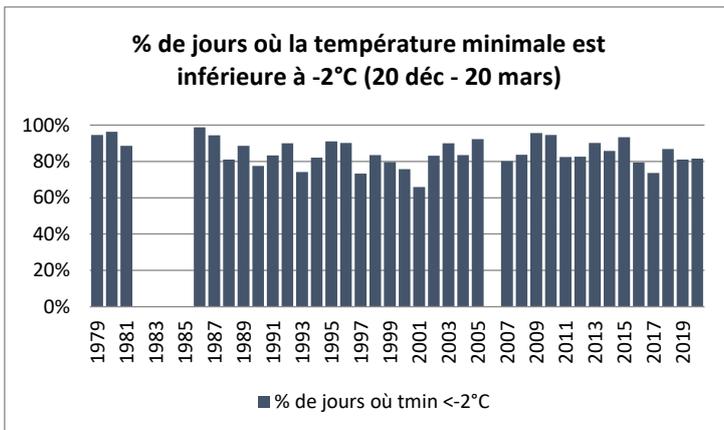


→ Évolution des conditions d'enneigement naturel sur la saison complète



Cet indicateur (pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol) représente **l'enneigement naturel au cœur de l'hiver**. La période étudiée est de 91 jours, du 20 décembre au 20 mars.

→ Évolution des conditions d'enneigement artificiel sur la saison complète



Cet indicateur (pourcentage de jours entre le 20 décembre et le 20 mars où la température minimale est strictement inférieure à -2°C) illustre la **capacité à produire de la neige de culture** dans les conditions technologiques actuelles, à l'altitude de la station de mesure météo (1 860 m), et **sur la période du 20 décembre au 20 mars**, soit 91 jours.

Sur cette station, l'historique des données (42 ans) est insuffisant pour réaliser une analyse de tendance climatique car il faudrait pouvoir comparer deux périodes de 30 ans. Aucune évolution ne peut être constatée pour l'instant.

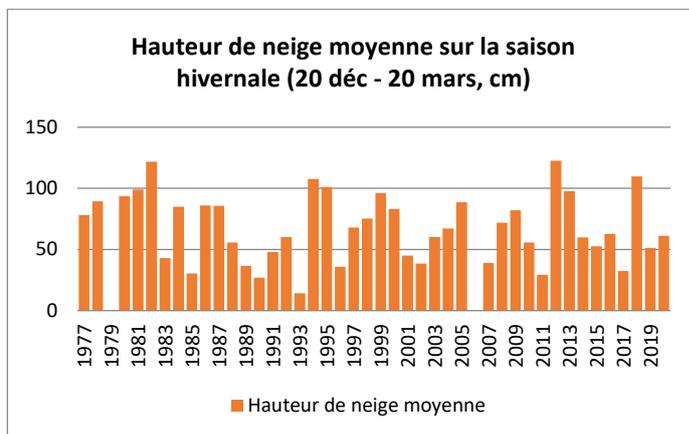
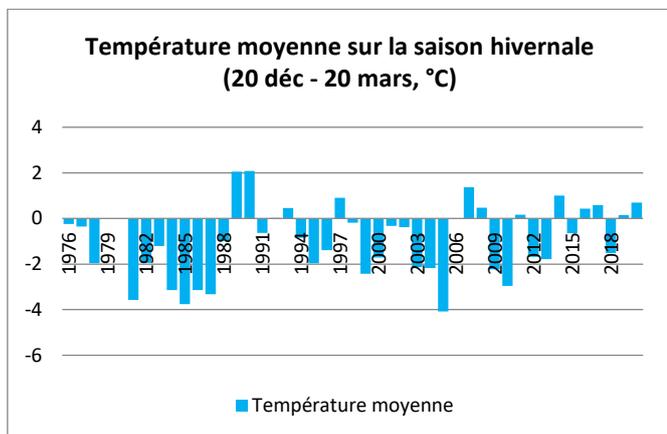
Evolution des paramètres climatiques et conditions d'enneigement

Station météo des Karellis – Maurienne

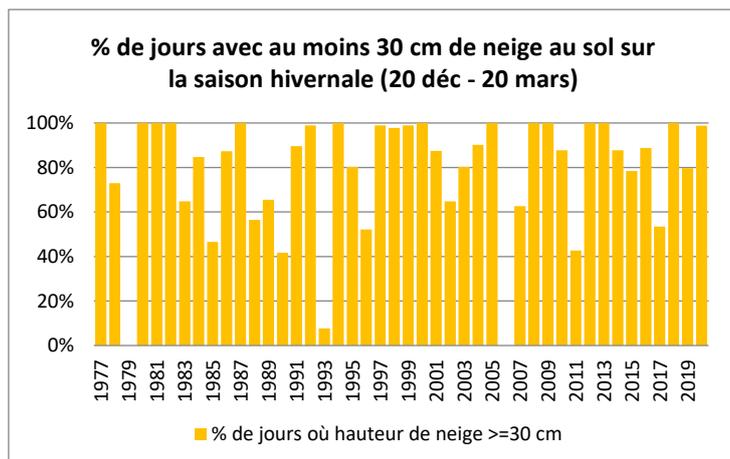
Altitude : 1 610 m. Exposition : Nord

Dans le graphe des températures, les saisons 1978-79, 1979-80 et 2005-06 ont été exclues des calculs pour cause de données manquantes. Pour l'enneigement, les saisons 1978-79 et 2005-06 ont été exclues des calculs pour cause de données manquantes.

→ **Évolution des paramètres climatiques : température moyenne et enneigement sur la saison hivernale**

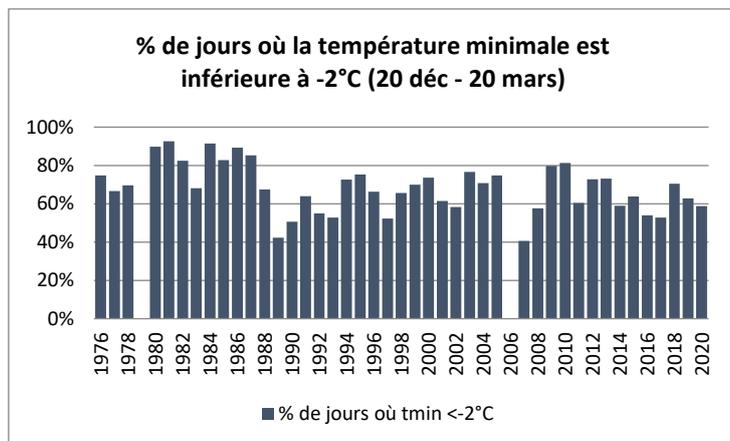


→ **Évolution des conditions d'enneigement naturel sur la saison complète**



Cet indicateur (pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol) représente **l'enneigement naturel au cœur de l'hiver**. La période étudiée est de 91 jours, du 20 décembre au 20 mars.

→ **Évolution des conditions d'enneigement artificiel sur la saison complète**



Cet indicateur (pourcentage de jours entre le 20 décembre et le 20 mars où la température minimale est strictement inférieure à -2°C) illustre la **capacité à produire de la neige de culture** dans les conditions technologiques actuelles, à l'altitude de la station de mesure météo (1 610 m), et **sur la période du 20 décembre au 20 mars**, soit 91 jours.

Sur cette station, l'historique des données (44 ans) est insuffisant pour réaliser une analyse de tendance climatique car il faudrait pouvoir comparer deux périodes de 30 ans. Aucune évolution ne peut être constatée pour l'instant.

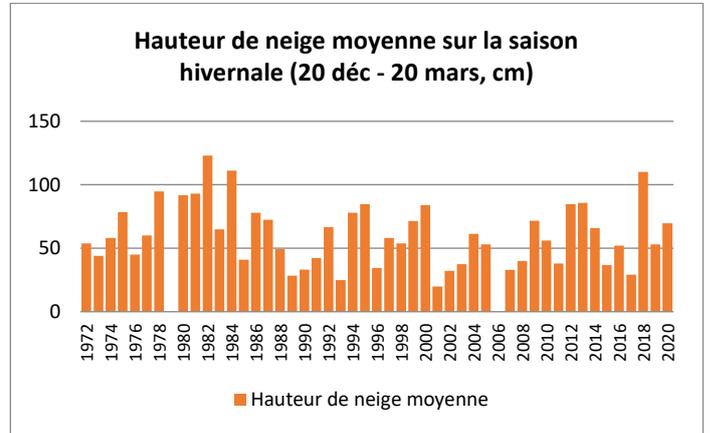
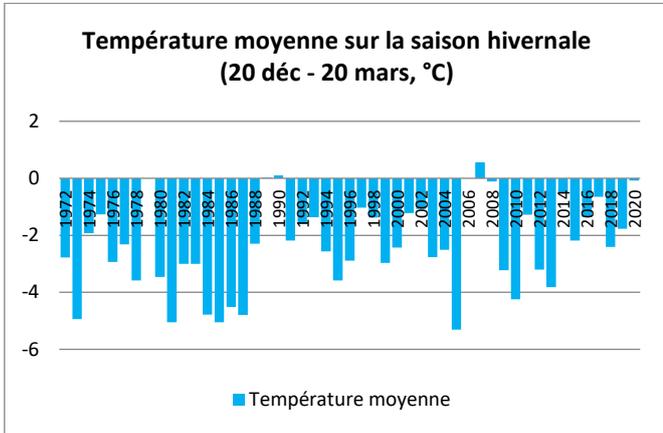
Evolution des paramètres climatiques et conditions d'enneigement

Station météo des Ménuires – Tarentaise

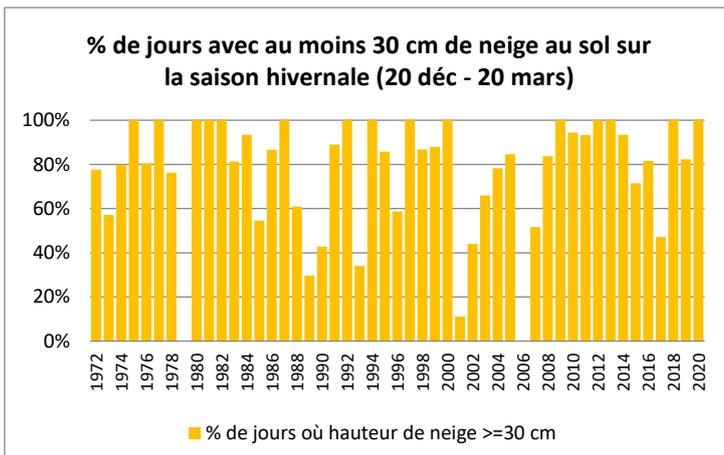
Altitude : 1 800 m. Exposition : Sud

Dans les graphes des températures et d'enneigement, les saisons 1978-79 et 2005-06 ont été exclues des calculs pour cause de données manquantes.

→ Évolution des paramètres climatiques : température moyenne et enneigement sur la saison hivernale

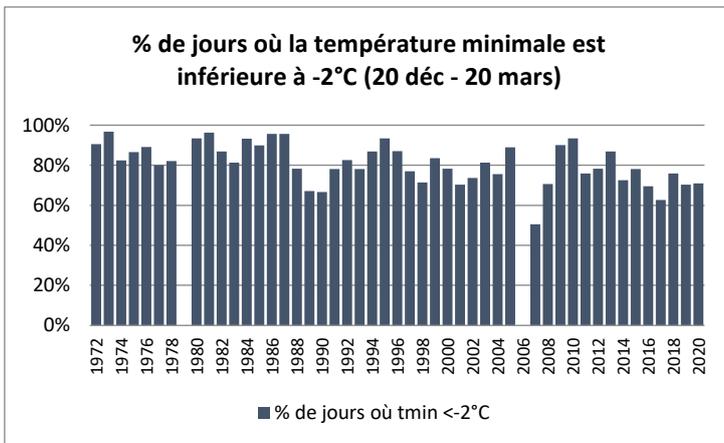


→ Évolution des conditions d'enneigement naturel sur la saison complète



Cet indicateur (pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol) représente **l'enneigement naturel au cœur de l'hiver**. La période étudiée est de 91 jours, du 20 décembre au 20 mars.

→ Évolution des conditions d'enneigement artificiel sur la saison complète



Cet indicateur (pourcentage de jours entre le 20 décembre et le 20 mars où la température minimale est strictement inférieure à -2°C) illustre la **capacité à produire de la neige de culture** dans les conditions technologiques actuelles, à l'altitude de la station de mesure météo (1 800 m), et **sur la période du 20 décembre au 20 mars**, soit 91 jours.

Sur cette station, l'historique des données (49 ans) est insuffisant pour réaliser une analyse de tendance climatique car il faudrait pouvoir comparer deux périodes de 30 ans. Aucune évolution ne peut être constatée pour l'instant.

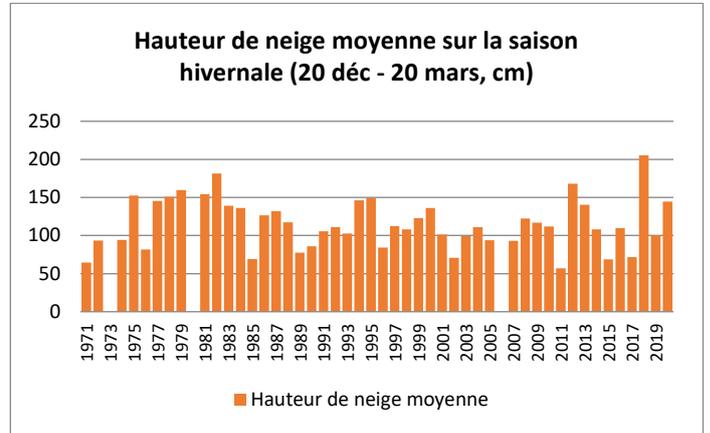
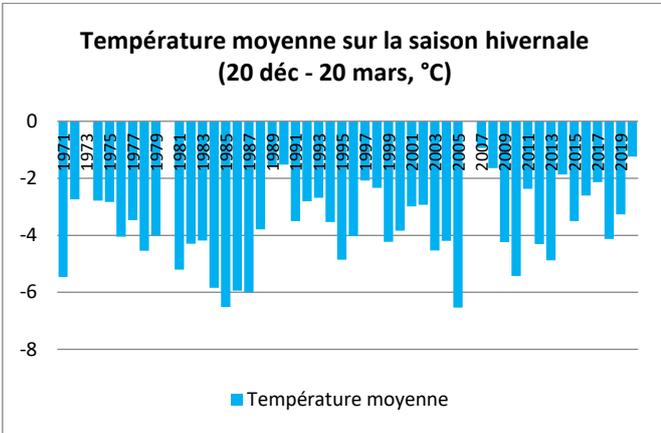
Evolution des paramètres climatiques et conditions d'enneigement

Station météo de la Plagne – Tarentaise

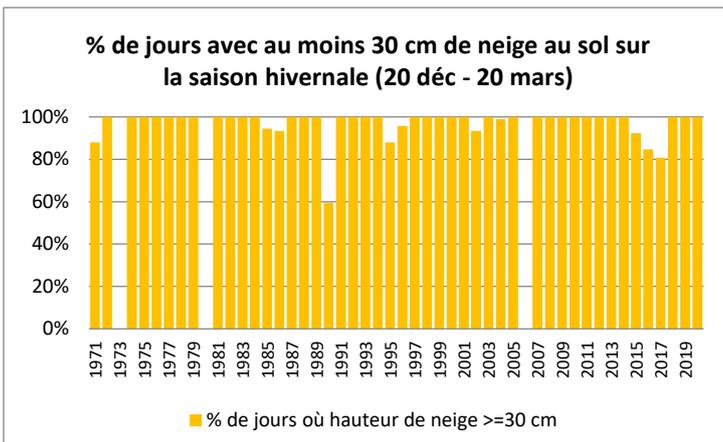
Altitude : 1 970 m. Exposition : Nord

Dans les graphes des températures et d'enneigement, les saisons 1972-73, 1979-80 et 2005-06 ont été exclues des calculs pour cause de données manquantes.

→ Évolution des paramètres climatiques : température moyenne et enneigement sur la saison hivernale

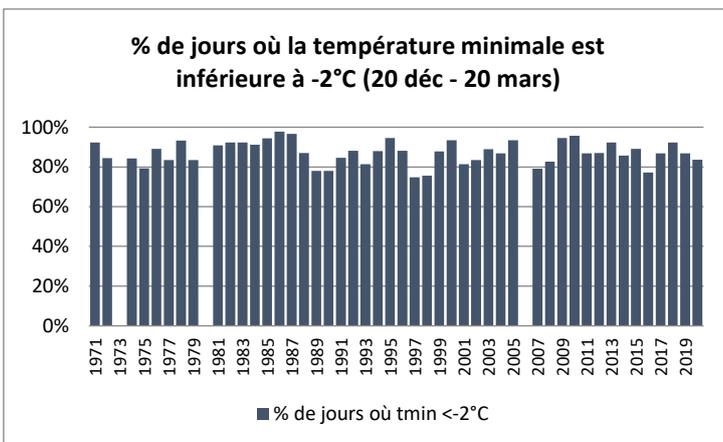


→ Évolution des conditions d'enneigement naturel sur la saison complète



Cet indicateur (pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol) représente **l'enneigement naturel au cœur de l'hiver**. La période étudiée est de 91 jours, du 20 décembre au 20 mars.

→ Évolution des conditions d'enneigement artificiel sur la saison complète



Cet indicateur (pourcentage de jours entre le 20 décembre et le 20 mars où la température minimale est strictement inférieure à -2°C) illustre la **capacité à produire de la neige de culture** dans les conditions technologiques actuelles, à l'altitude de la station de mesure météo (1 970 m), et **sur la période du 20 décembre au 20 mars**, soit 91 jours.

Sur cette station, l'historique des données (50 ans) est insuffisant pour réaliser une analyse de tendance climatique car il faudrait pouvoir comparer deux périodes de 30 ans. Aucune évolution ne peut être constatée pour l'instant.

Evolution des paramètres climatiques et conditions d'enneigement

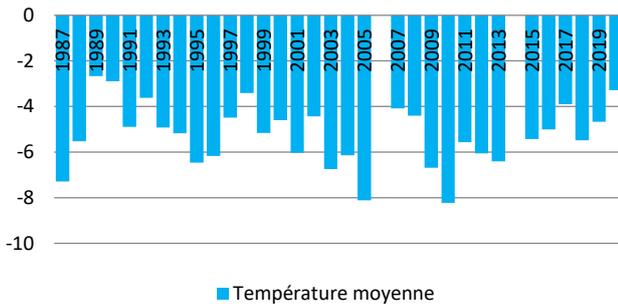
Station météo des 2 Alpes – Oisans

Altitude : 2 600 m. Exposition : Nord

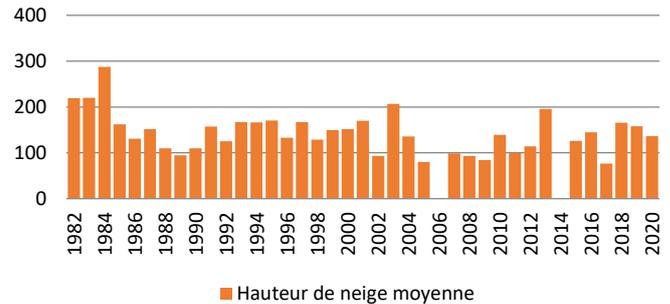
Dans les graphes des températures et d'enneigement, les saisons 2005-06 et 2013-14 ont été exclues des calculs pour cause de données manquantes.

→ Évolution des paramètres climatiques : température moyenne et enneigement sur la saison hivernale

Température moyenne sur la saison hivernale
(20 déc - 20 mars, °C)

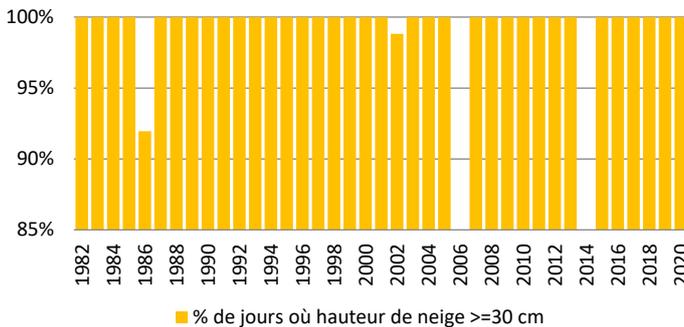


Hauteur de neige moyenne sur la saison
hivernale (20 déc - 20 mars, cm)



→ Évolution des conditions d'enneigement naturel sur la saison complète

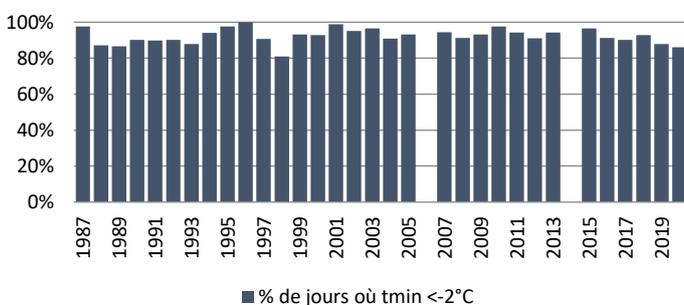
% de jours avec au moins 30 cm de neige au sol sur
la saison hivernale (20 déc - 20 mars)



Cet indicateur (pourcentage de jours avec au moins 30 cm de neige au sol) représente **l'enneigement naturel au cœur de l'hiver**. La période étudiée est de 91 jours, du 20 décembre au 20 mars.

→ Évolution des conditions d'enneigement artificiel sur la saison complète

% de jours où la température minimale est
inférieure à -2°C (20 déc - 20 mars)



Cet indicateur (pourcentage de jours entre le 20 décembre et le 20 mars où la température minimale est strictement inférieure à -2°C) illustre la **capacité à produire de la neige de culture** dans les conditions technologiques actuelles, à l'altitude de la station de mesure météo (2 600 m), et **sur la période du 20 décembre au 20 mars**, soit 91 jours.

Sur cette station, l'historique des données (34 ans pour les températures et de 39 ans pour l'enneigement) est insuffisant pour réaliser une analyse de tendance climatique car il faudrait pouvoir comparer deux périodes de 30 ans. Aucune évolution ne peut être constatée pour l'instant.

Construction de l'indicateur

Méthode de calcul des indicateurs

Représentation des indicateurs climatiques

Pour chaque station de mesure étudiée, les pages précédentes présentent, sous forme de graphiques, les valeurs des principaux indicateurs climatiques retenus :

- Moyenne des températures moyennes journalières sur la saison hivernale (20 décembre-20 mars)
- Moyenne des hauteurs de neige journalières sur la saison hivernale (20 décembre-20 mars)
- Pourcentage de jours où la hauteur de neige journalière est supérieure ou égale à 30 cm sur la saison complète (20 décembre-20 mars)
- Pourcentage de jours où la température minimale journalière est inférieure à -2°C sur la saison complète (20 décembre-20 mars)

Pour les stations dont les séries nivologiques sont complètes (ce qui est le cas des 6 premières stations de mesure sélectionnées), les fiches intègrent les indicateurs complémentaires suivants :

- Pourcentage de jours où la hauteur de neige journalière est supérieure ou égale à 30 cm par sous-saison (20 décembre-10 janvier, 11 janvier-10 février et 11 février-20 mars),
- Pourcentage de jours où la température minimale journalière est inférieure à -2°C par sous-saison (20 décembre-10 janvier, 11 janvier-10 février et 11 février-20 mars).

La précision des mesures est de $\pm 0,1^\circ\text{C}$ pour les températures et ± 2 cm pour la hauteur de neige. Les mesures sont journalières, et n'ont pas fait l'objet d'un traitement d'homogénéisation de la part de Météo France⁶.

Le choix a été fait d'utiliser des histogrammes pour représenter les indicateurs. Sur les graphiques figurent les moyennes mobiles, calculées annuellement de façon glissante sur 10 ans. Leur utilisation permet de lisser la variation interannuelle et de visualiser graphiquement l'évolution du paramètre étudié.

Critère d'exclusion

Un critère d'exclusion a été appliqué, pour chaque station de mesure étudiée, et chaque paramètre climatique, sur les années qui présentent des données manquantes. Le critère retenu consiste à exclure les années où, sur la période étudiée, il manque plus de 20% de données. Les années ainsi exclues sont barrées sur les graphiques.

Les 5 premières stations de mesure météorologiques sélectionnées fournissent des séries de données d'enneigement et de températures complètes (sauf la station Mont-Blanc, où une année a été exclue pour la variable « hauteur de neige »). Les 8 autres séries de données sont incomplètes pour cause de données manquantes.

Comparaison de normales climatiques

L'analyse d'impact du changement climatique consiste à comparer deux périodes climatiques, une période (ou normale) climatique étant de 30 ans, selon la définition de l'Organisation météorologique mondiale.

Les 5 premières stations de mesure sélectionnées ont un historique proche de 60 ans. La variation sur la période d'observation des températures moyennes hivernales est approchée par une droite de régression linéaire dont la pente et les valeurs aux limites de dates déterminent l'augmentation moyenne de température estimée pour la station sur la période concernée. Pour les hauteurs de neige, le choix a été fait de comparer 2 périodes climatiques de 30 ans, et d'en mesurer les différences. La période climatique la plus récente a été fixée à 1991/2020, et la précédente varie entre la date de début de la série et cette même date + 30 ans. La première période climatique chevauche parfois de quelques années la seconde.

Ainsi, pour les 5 stations de mesure disposant d'un historique suffisant, pour chaque série de données météorologique, les paramètres suivants sont calculés :

⁶ https://donneespubliques.meteofrance.fr/client/document/l sdm-methode_publitheque_217.pdf

| | |
|---------------------------------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • L'évolution tendancielle des températures moyennes annuelles du début des mesures jusqu'en 2020 (exprimée en °C), • La différence entre les moyennes des hauteurs de neige moyennes annuelles des deux périodes climatiques retenues (exprimée en cm et en %), • La différence entre les moyennes des pourcentages de jours où la hauteur de neige est supérieure ou égale à 30 cm des deux périodes climatiques retenues (exprimée en %), • La différence entre les moyennes des pourcentages de jours où la température minimale est inférieure à -2°C des deux périodes climatiques retenues (exprimée en %). <p>Ces différences traduisent les évolutions entre la période climatique actuelle (1991/2020) et la période climatique précédente, et permettent de quantifier la tendance à l'augmentation ou à la diminution des mesures effectuées. Concernant les 8 stations incomplètes et présentant un historique insuffisant, la comparaison de normales climatiques ne peut être menée. Les graphiques présentent l'évolution constatée à l'intérieur de la période climatique la plus récente, sans qu'il soit possible de tirer de conclusion à partir de cette seule période.</p> |
| Producteur des données sources | Météo France |
| Détenteur des données sources | Météo France (extraction juillet 2020) |
| Producteur des indicateurs | ORCAE Auvergne-Rhône-Alpes |

| Information sur la fiche | |
|--|---|
| Indicateur suivi par l'ORCAE depuis | 2014 |
| Date de mise à jour | 31/07/2020 |
| Périodicité d'actualisation | Actualisation tous les 3 ans |
| Contributeurs | Météo France, Atout France, Observatoire savoyard du changement climatique (MDP 73), Auvergne-Rhône-Alpes Tourisme, Domaines skiables de France, Université Clermont-Auvergne, Cerema, AURA-EE, DREAL, ADEME, Région Auvergne-Rhône-Alpes |
| Fiche disponible sur | www.orcae-auvergne-rhone-alpes.fr/ |