



7 novembre 2022

Carlo Maria Carmagnola

Météo-France / Centre d'Etudes de la Neige
Dianeige



- CLIMSNOW -

ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET
PROJECTIONS DE L'ÉVOLUTION DE L'ENNEIGEMENT
SUR LA STATION DE :

CREVOUX



CONTEXTE DE L'ETUDE

1 – CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

2 – L'OUTIL CLIMSNOW

3 – L'ETUDE « REGION SUD »



Les territoires de montagne n'échappent pas à l'**évolution climatique** qui influe directement sur la durabilité de l'enneigement.

Il importe d'en mesurer rigoureusement les valeurs afin d'en tirer les conséquences et d'**adapter les stratégies touristiques** des territoires et des stations.

- Quel sera à court et long terme le poids des activités liées directement à la neige dans les économies des massifs montagneux ?
- Quelles orientations pour l'évolution des produits touristiques ?
- Quel sera le prix du confortement des activités 'neige' ? Sur quel périmètre ?
- Comment aborder des périodes de transition ?

Autant de questions qui se posent, certes à des degrés divers, à l'ensemble des espaces valléens dont les économies et la vie sociale sont du ressort de l'enneigement, qu'il soit naturel ou de culture.



Le **consortium Météo-France/Dianeige/Inrae** allie les performances de la recherche scientifique appliquée et les expertises de l'ingénierie touristique spécialisée sur les stations de montagne.

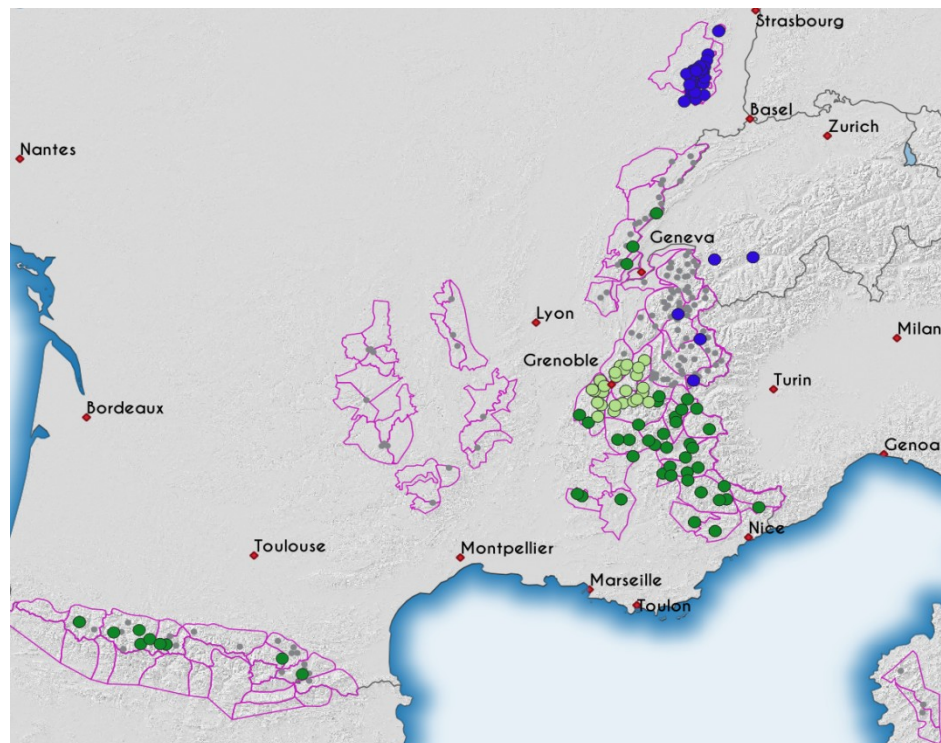
La méthodologie développée par ce consortium (service **ClimSnow**) permet :

- d'octroyer des résultats sur les conditions météorologiques et l'enneigement des stations de ski à diverses échéances du 21ème siècle,
- d'identifier l'impact des techniques de gestion de la neige (damage, production de neige de culture),
- d'analyser les conséquences de ces changements sur les choix stratégiques et les investissements futurs, afin de guider la stratégie de développement de l'offre touristique des stations de ski.

Bénéfices pour les clients :

- accompagnement à la **diversification des activités touristiques**,
- appui aux **dossiers d'aménagement**,
- **fédération** des acteurs locaux

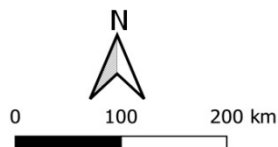
Le principal résultat de l'approche ClimSnow est de quantifier, à diverses échéances, la **fiabilité de l'enneigement** (neige naturelle damée, avec/sans neige de culture), sa variabilité et la capacité de chacune des stations à maintenir son exploitation selon quels efforts, selon quelles modalités et ce, à différentes échéances.



Stations de sports d'hiver

- Réalisé
- Stations pilotes (mise à jour 2021)
- En cours de réalisation
- En projet
- Autres stations

SAFRAN-Crocus areas



129 stations françaises
étudiées ou en cours d'étude
depuis 2020

ClimSnow cité dans le dossier de presse
du Plan Avenir Montagne (Mai 2021, pag. 14)

Exemple d'intervention : Afin d'éclairer les acteurs locaux sur les perspectives d'enneigement et leur permettre des choix d'investissement éclairés, Avenir Montagnes Ingénierie cofinancera la réalisation de diagnostics (Dianeige Météo France INRAE) permettant de quantifier à diverses échéances la fiabilité et la variabilité de l'enneigement. La station de Métabief dans le Jura a ainsi pu sur la base d'un diagnostic cartographié de son domaine skiable adapter ses projets en faveur d'un développement touristique tenant compte du changement climatique.



3 – L'ETUDE « REGION SUD »

Envoyé en préfecture le 06/01/2026

Reçu en préfecture le 06/01/2026

Publié le

ID : 005-200067742-20251209-202601062-CC

6

ÉTUDE D'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES STATIONS DE SKI DE LA RÉGION SUD

Méthodologie et terminologie
Fiches stations



2 juillet 2021

5.1 LES-ORRES 5.1.1 Caractéristiques du domaine : RM, pistes, neige de culture

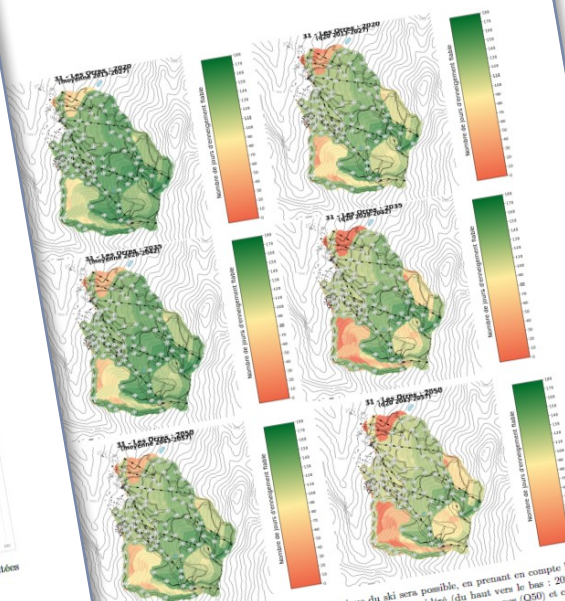
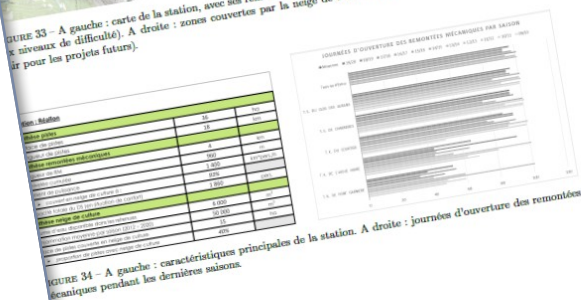


FIGURE 43 - Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte les projets d'aménagement futurs et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q20).

- 48 stations
- Rapport de 412 pages (Lot 1)

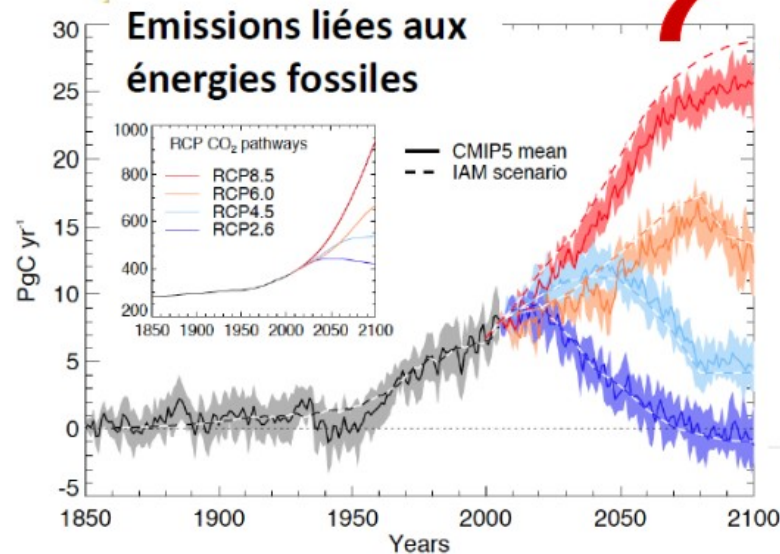
- Finalisation – Automne 2021
- Restitution – 18/12/2021 (Sauze)



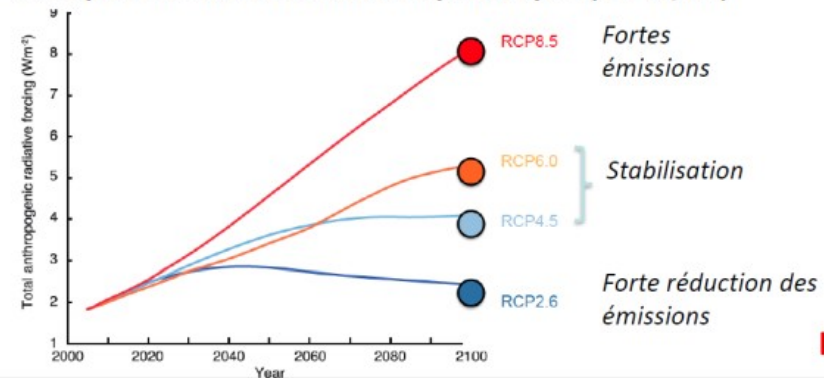
OUTILS ET METHODES

4 – TERMINOLOGIE ET METHODOLOGIE

Les projections climatiques dépendent des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (RCP)



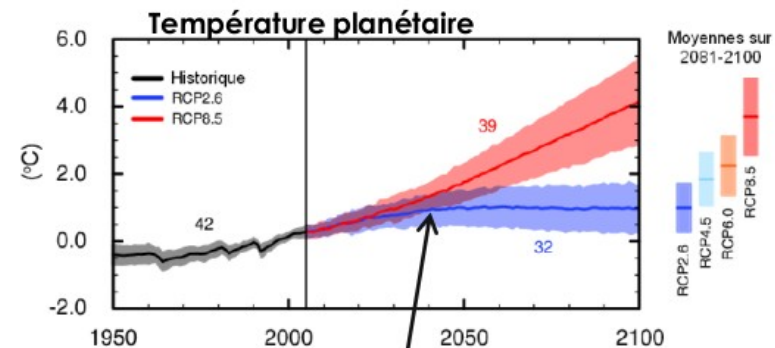
RCP : « Representative concentration pathways » (en W/m²)



Scénarios:

- ✓ RCP2.6 - neutralité carbone à partir de 2050
- ✓ RCP4.5 - baisse des émissions à partir de 2050
- ✓ RCP8.5 - poursuite de fortes émissions de GES

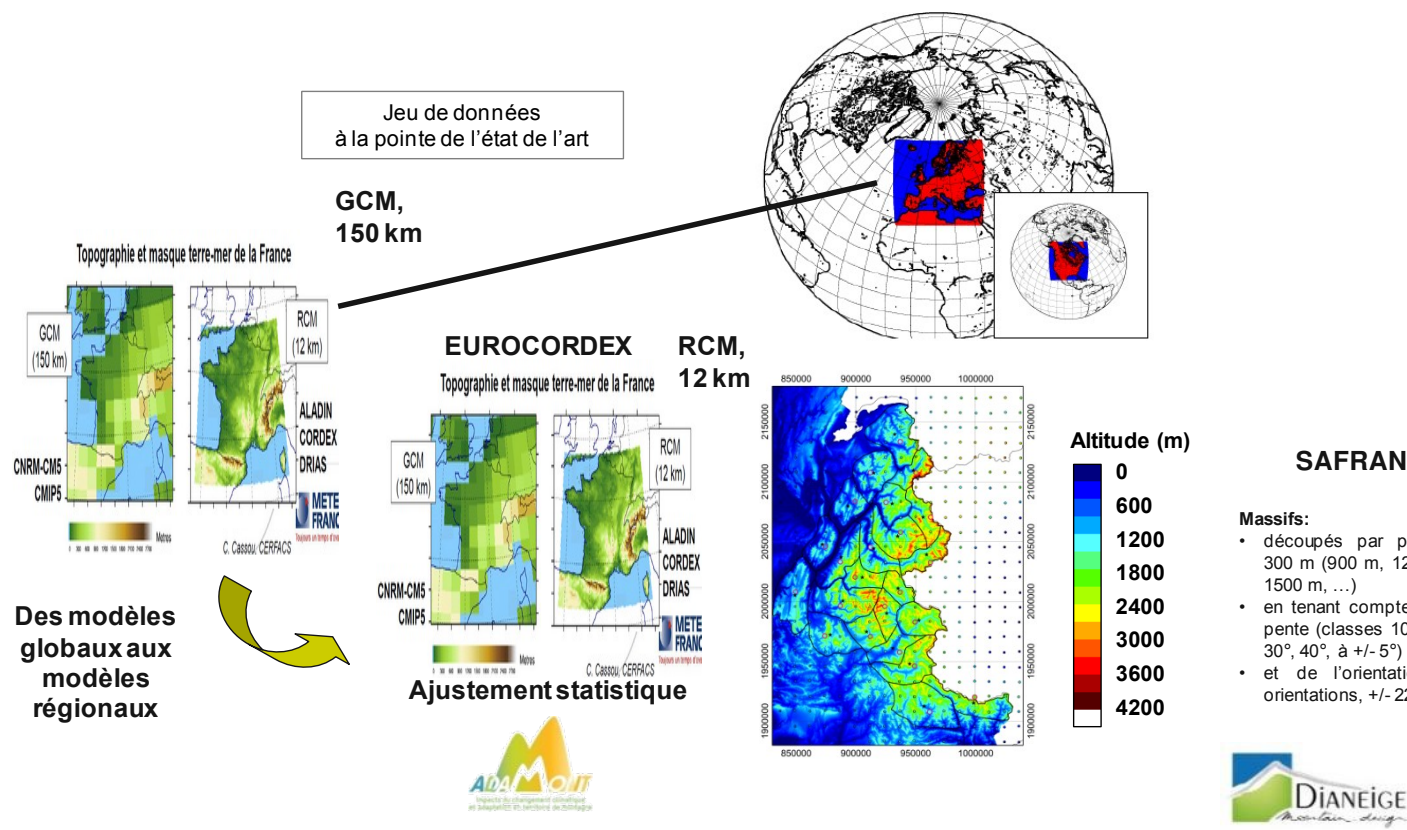
NOTE 1: dans les analyses, on se focalise surtout sur le **RCP8.5**, car ce scénario, bien qu'improbable, reste tout à fait possible et permet de définir une référence « pessimiste » qui minimise le risque dans la prise de décision.



NOTE 2: jusqu'à 2040-2050, faibles différences entre les scénarios en termes d'impact sur l'évolution des températures (à cause de l'inertie du système).

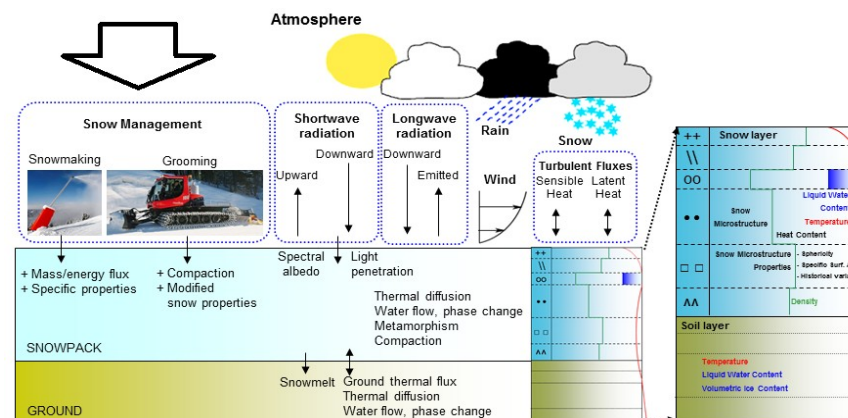
Projections climatiques, avec méthode de descente d'échelle adaptée aux zones de montagne françaises

La chaîne de modélisation de CLIMSNOW se sert des observations nivo-météorologiques et du réseau de mesures de Météo-France pour fournir un état historique, à partir duquel l'évolution future est calculée, en exploitant les dernières projections climatiques du GIEC, pour permettre d'estimer les évolutions nivo-météorologiques à différentes échéances.



Modélisation de l'enneigement

Pour la modélisation de la neige, CLIMSNOW se sert de la dernière version du modèle Crocus-Resort, développé par Météo-France, permettant de simuler l'évolution de la neige naturelle, les effets du damage (compactage et fraisage) et la production de neige de culture (en fonction de la période de la saison, du type d'enneigreur, de la température humide, de la vitesse du vent et de l'objectif de production).



Masse volumique de la neige de culture produite: 600 kg m^{-3}

Schéma de production de neige:

- À partir du 1er novembre, sous contrainte des seuils de vent et de température humide différents, sans limite sur la disponibilité de la ressource en eau et avec des objectifs de production différents en fonction des périodes. Entre le 1/11 et le 15/12 : constitution d'une sous-couche avec une phase de production correspondant à 150 kg m^{-2} d'eau convertie en neige de culture, soit 15 cm de neige de culture à 600 kg m^{-3} en tenant compte de 40% de pertes d'eau.
- Entre le 15/12 et le 31/03 la production dès lors que l'épaisseur de neige devient inférieure à 60 cm, et ce jusqu'au 31/03.
- A partir du 31/03: plus de production.

Seuil de vitesse du vent pour la production: 4,2 m/s (environ 15 km/h)

Seuil de température humide: inférieur ou égal -2°C pour les mono-fluides et -6°C pour les bi-fluides

Représentation des domaines skiables

Représentation spatiale des stations par pas de 300 m (900 m, 1200 m, 1500 m etc.), en tenant compte de la pente (classes 10°, 20°, 30°, 40°, à +/- 5°) et de l'orientation (8 orientations, +/- 22,5°).

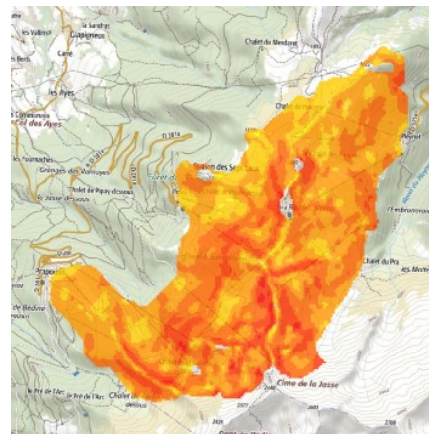
Altitudes



Plages d'altitude

- 1200 masl
- 1500 masl
- 1800 masl
- 2100 masl
- 2400 masl

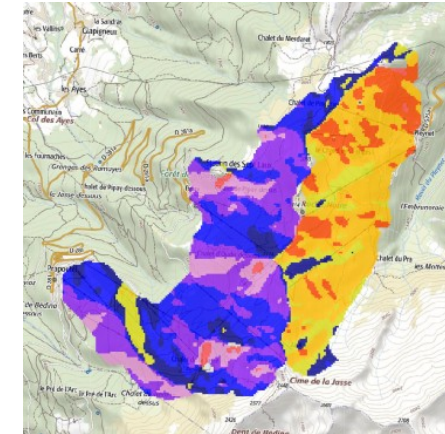
Pentes



Pentes

- Moins de 5°
- 5-15°
- 15-25°
- 25-35°
- 35-45°
- Plus de 45°

Orientations

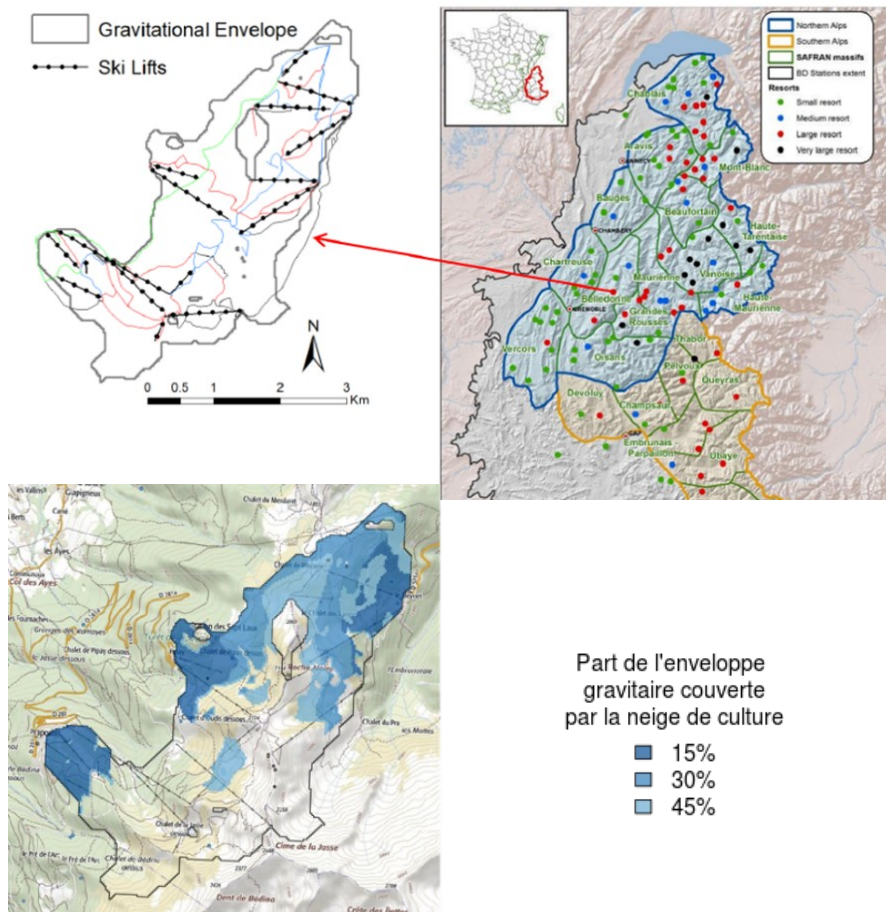


Orientations

- Nord
- Nord-Est
- Est
- Sud-Est
- Sud
- Sud-Ouest
- Ouest
- Nord-Ouest

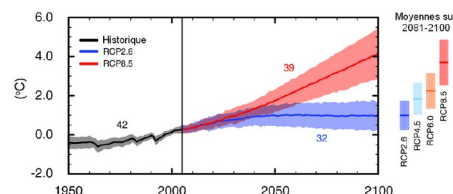
Représentation des domaines skiables

Prise en compte des données cartographiques des stations, incluant le récolement des remontées mécaniques, les tracés de pistes et le réseau de neige de culture.

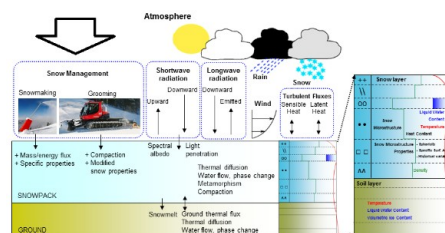


- Collecte de données auprès des opérateurs (récolement des remontées mécaniques, tracés de pistes et de neige de culture, unités de stockage d'eau)
- Modélisation des enveloppes gravitaires (ensemble des points accessibles depuis le sommet des remontées mécaniques permettant de rejoindre le pied d'un appareil dans la même station)
- Modélisation explicite de la couverture en neige de culture

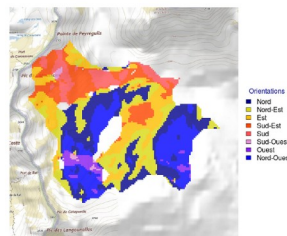
Scénarios climatiques
« zoomés »



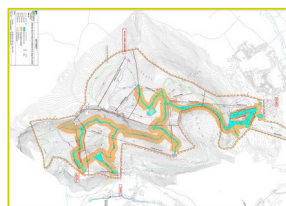
Modélisation de la
neige (naturelle et
gérée)



Représentation de la
topographie



Prise en compte des
caractéristiques locales
(emplacement des
enneigeurs, dialogue
technique)



**Traitement statistique de
l'indice de fiabilité de
l'enneigement. Focus sur
la fréquence de retour des
années « délicates » (Q20)
plutôt que la moyenne
multi-annuelle**

RESULTATS Crévoux

5 – LA COLLECTE DE LA BASE DE DONNEES

6 – LES INDICATEURS CLIMATIQUES

7 – LES VOLUMES D'EAU

8 – LES DUREES D'ENNEIGEMENT



5 – LA COLLECTE DE LA BASE DE DONNEES

Envoyé en préfecture le 06/01/2026

Reçu en préfecture le 06/01/2026

Publié le

ID : 005-200067742-20251209-202601062-CC

15

	SO = Sans Objet	0% ou 0 = donnée non transmise	Pistes				Remontées mécaniques				Exploitation				Consommations		
DEPARTEMENT	Espace valléen	Station (Tot1)	déniv piste max	L3D pistes	S pistes	%S pistes avec NC	nb RM	Déniv RM	L3D RM	MtP	%MtP fiabilisé NC	Capa accueil DS confort	Nb dameuses	J.ouv.moy	J.ouv.max	Conso eau moy.	Conso élec moy du DS
Alpes de Haute Provence	A3V	La Foux d'Allos	890	44	102	28%	19	4 579	17	5 886	51%	5 690	0	84	129	66 000	0
		Le Seignus	1 010	24	54	28%	13	2 141	7	2 923	48%	2 780	0	73	114	59 000	0
	Provence Alpes Agglomération	Chabanon Selonnet	503	24	47	37%	11	2 183	8	1 606	0%	2 200	4	71	115	35 000	301 800
		Le Grand Puy	470	17	35	20%	5	920	3	918	92%	1 380	2	63	91	10 000	0
		Montclar	1 130	59	51	21%	9	2 112	9	2 419	39%	2 510	3	72	103	35 000	1 006 200
	Vallée de l'Ubaye	Pra Loup	950	54	102	50%	22	5 042	18	6 849	69%	5 310	0	0	0	146 000	0
		Sainte Anne	570	16	49	10%	6	1 260	5	1 085	26%	2 180	0	0	0	5 000	0
		Le Sauze_Super Sauze	1 015	43	91	22%	21	4 335	35	3 836	61%	5 770	0	0	0	69 000	965 344
Alpes Maritimes	Alpes d'Azur	Larche	284	5	6	SO	4	473	2	292	SO	370	0	0	0	SO	0
		Val Pelens	115	4	5	SO	2	151	1	71	SO	260	1	0	0	SO	2 800
	Metropole Nice Cote d'Azur	Valberg	605	51	135	40%	23	3 802	16	4 802	75%	6 770	6	73	122	183 000	2 066 800
		Auron	851	62	165	61%	19	5 932	18	9 655	87%	7 420	7	86	98	0	0
		Isola 2000	785	54	121	56%	20	4 652	20	6 718	71%	6 330	8	107	151	170 000	3 266 500
	PNR des Pré Alpes d'Azur	Roubion-Les-Buissons	0	0	0	0%	0	0	0	0	0%	0	0	0	0	0	0
		Gréolières les Neiges	383	22	47	15%	10	1 452	6	1 253	0%	2 000	3	0	0	21 582	326 900
		L'Audoubert - La Moulière	350	18	29	4%	7	1 140	5	952	0%	1 340	0	0	0	0	0
Hautes Alpes	Briançonnais	La Grave - La Meije	0	0	0	SO	3	2 020	6	915	SO	190	0	0	0	SO	0
		Montgenèvre	1 035	77	185	42%	26	5 895	24	9 220	75%	10 080	6	110	151	253 000	4 144 400
		Serre Chevalier Vallée	1 875	165	413	38%	59	16 298	67	26 613	64%	22 050	19	102	139	689 000	14 326 800
	Buëch Dévoluy	Céüse	0	0	0	0%	0	0	0	0	0%	0	0	0	0	0	0
		Super Dévoluy - La Joue du Loup	1 043	63	178	28%	22	4 818	23	7 609	74%	8 650	7	91	122	135 000	2 484 500
	Champsaur Valgaudemar	Ancelle	485	22	49	58%	15	1 775	9	1 760	80%	2 810	4	0	0	211 416	576 200
		Chaillol	470	11	16	83%	9	961	5	1 235	100%	1 470	0	74	104	54 000	0
		Laye en Champsaur	525	9	19	16%	8	1 130	5	701	12%	1 010	0	57	93	11 000	0
		Saint Léger les Mèlèzes	715	18	28	38%	10	1 480	6	1 623	27%	1 980	0	80	104	60 000	0
		Orcières Merlettes	953	54	162	47%	27	5 408	20	7 620	82%	7 560	10	79	95	272 000	2 913 900
	Guillestrois Queyras	Serre-Eyraud	533	8	15	9%	3	590	2	457	1%	600	1	15	18	0	2 913 900
		Molines en Queyras - St Vêran	1 060	33	97	48%	13	2 888	10	2 614	78%	3 980	3	78	108	84 000	931 400
		Abries_Ristolas	840	22	63	17%	7	1 641	6	1 550	51%	2 210	2	85	103	43 000	409 200
		Aiguilles	25	1	3	100%	3	56	0	30	100%	220	1	60	100	8 000	77 500
		Arvieux	420	15	38	32%	5	835	4	717	100%	1 770	1	86	103	25 000	210 800
		Ceillac	809	17	46	25%	6	1 355	6	1 261	59%	1 820	2	84	103	40 000	483 300
		Risoul	710	70	116	52%	23	5 094	22	7 507	0%	6 820	7	106	150	296 000	0
		Vars	1 110	71	194	46%	21	5 892	23	8 827	84%	9 090	8	0	0	267 000	2 886 300
	Pays des Ecrins	Pelvoux Vallouise Pays des Ecrins	995	16	49	59%	7	1 310	4	1 716	69%	2 140	3	91	102	47 000	523 400
		Puy St Vincent	1 525	35	171	29%	11	3 418	12	6 519	55%	7 020	6	0	0	102 000	3 058 500
	Serre Ponçon	Crévoux	925	18	27	5%	6	1 230	4	867	0%	1 140	2	0	0	8 000	163 000
		Les Orres	1 150	55	162	56%	18	4 195	14	6 859	80%	7 160	6	105	129	320 000	0
		Réalion	578	18	36	40%	7	959	4	1 402	92%	1 860	3	80	101	50 000	633 600
Vaucluse	Mont Ventoux	Chalet Reynard	200	5	10	SO	2	370	2	155	SO	400	1	1	1	SO	0
		Mont Serein	400	11	23	2%	8	1 020	3	643	6%	1 060	2	28	58	300	0

FIGURE 5 – En haut : ensemble des indicateurs mis à disposition par les stations et accessibles dans les fichiers Excel en annexe de ce rapport. En bas : caractéristiques des stations (pistes, remontées mécaniques, données d'exploitation et consommations).



5 – LA COLLECTE DE LA BASE DE DONNEES

Classement des stations de la Région Sud selon la surface totale de pistes.

Répartition des surfaces de pistes vertes, bleues, rouges et noires.

Indication de la surface fiabilisée par neige de culture.

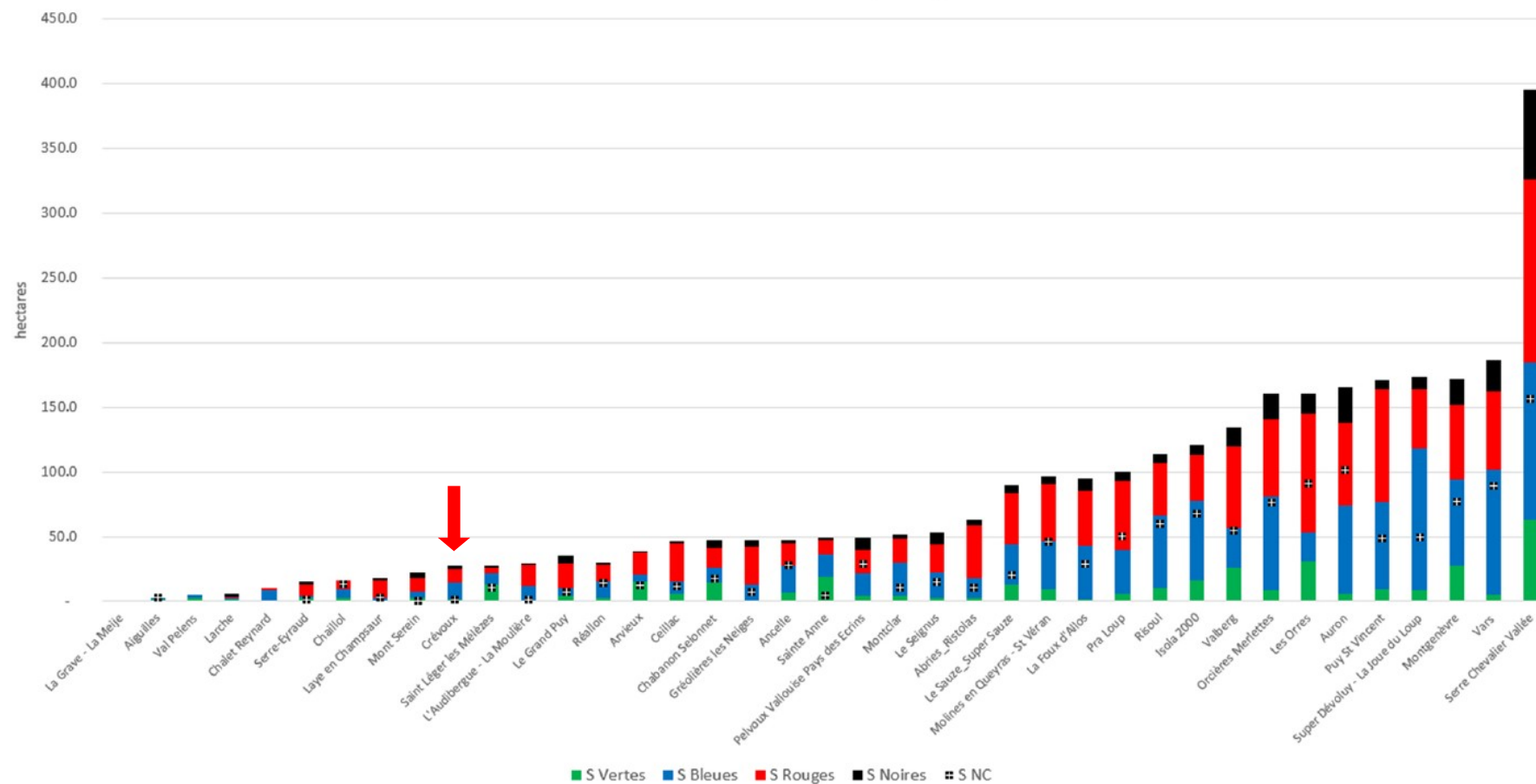


FIGURE 6 – Surfaces des pistes de ski pour les stations de la Région Sud.



Station : Crévoux

Synthèse pistes		
Surface de pistes	27	ha
Longueur de pistes	18	km
Synthèse remontées mécaniques		
Longueur de RM	4.2	km
Dénivelée cumulée	1 230	m
Moment de puissance	870	km*pers./h
➤ <i>couvert en neige de culture à :</i>	0%	
Capacité totale du DS (en situation de confort)	1 140	pers.
Synthèse neige de culture		
Volume d'eau disponible dans les retenues	0	m ³
Consommation moyenne par saison (2012 – 2020)	8 000	m ³
Surface de pistes couverte en neige de culture	1.3	ha
➤ <i>proportion de pistes avec neige de culture</i>	5%	

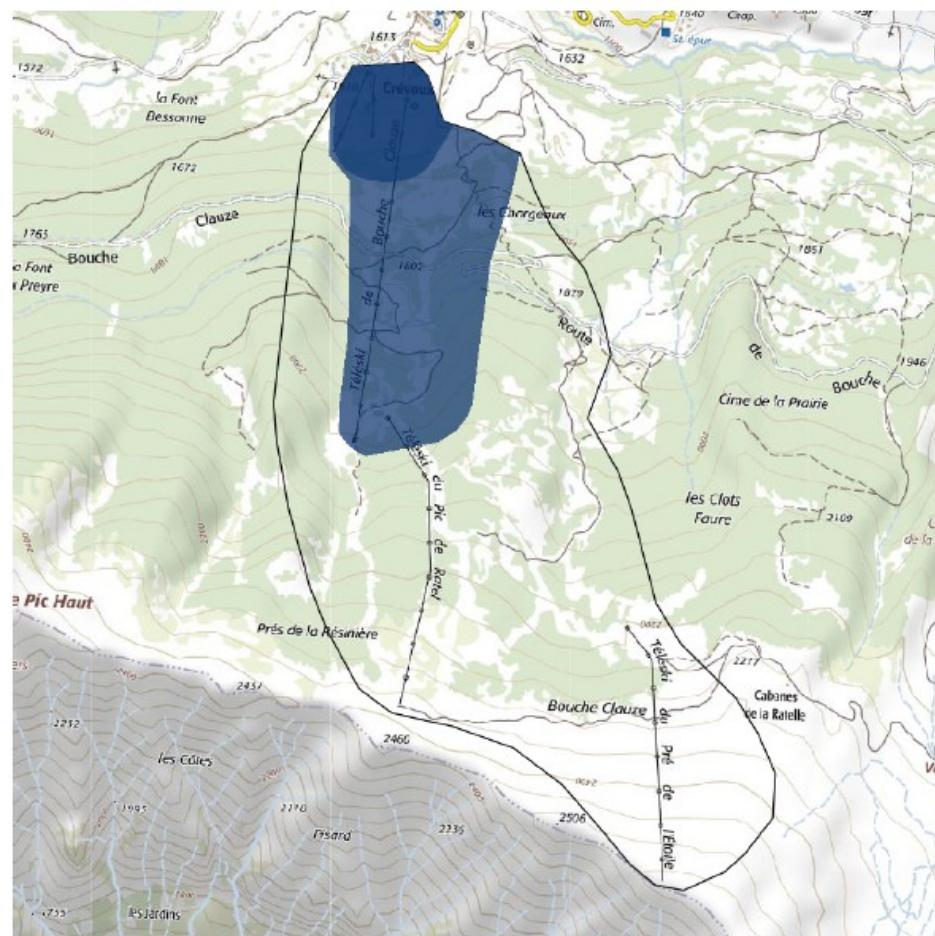
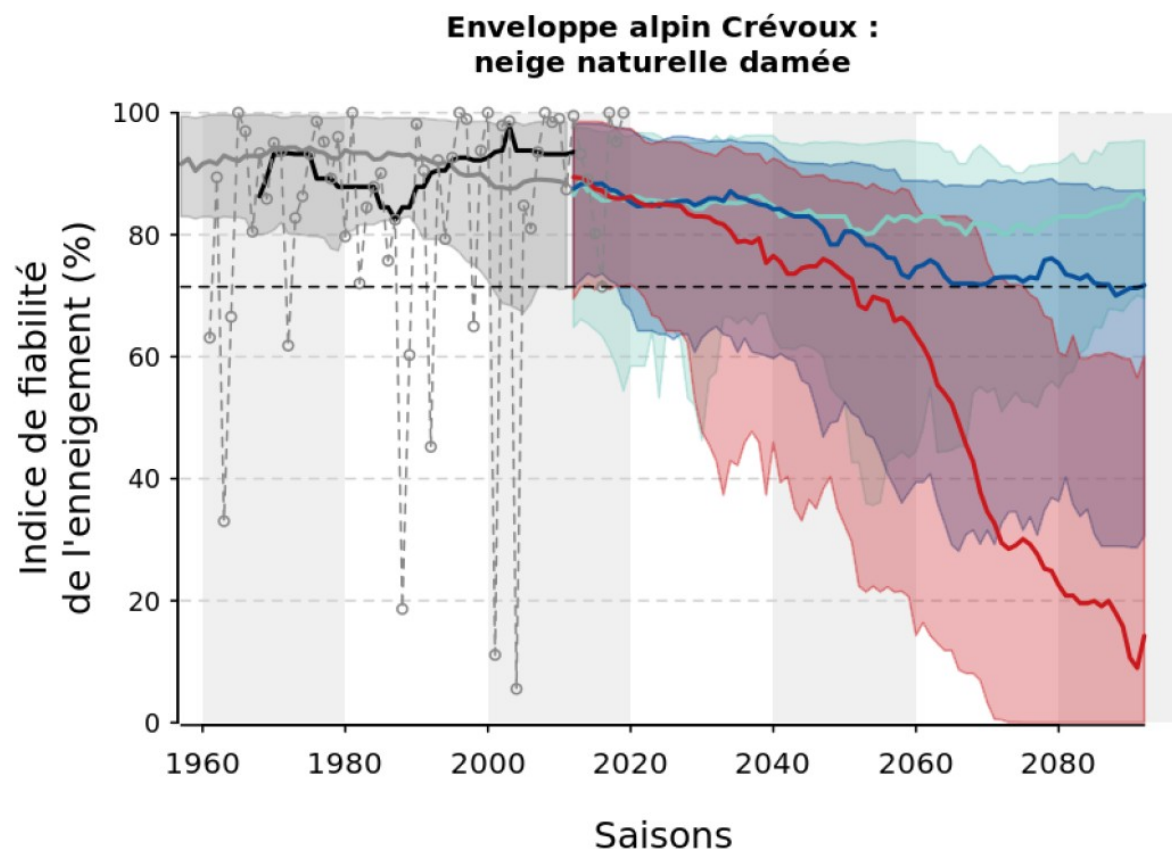


FIGURE 317 – A gauche : carte de la station, avec ses remontées mécaniques et ses pistes (si présentes, les couleurs correspondent aux niveaux de difficulté). A droite : zones couvertes par la neige de culture (comprenant les projets futurs).



Indice de fiabilité
de l'enneigement

Légende :

- Courbes grises : analyses historiques
- Courbes noires : observations
- Courbes en couleurs : projections (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)
- Traits en gras : 1 chance sur 2
- Enveloppes : 1 chance sur 5 (meilleures et pires saisons)

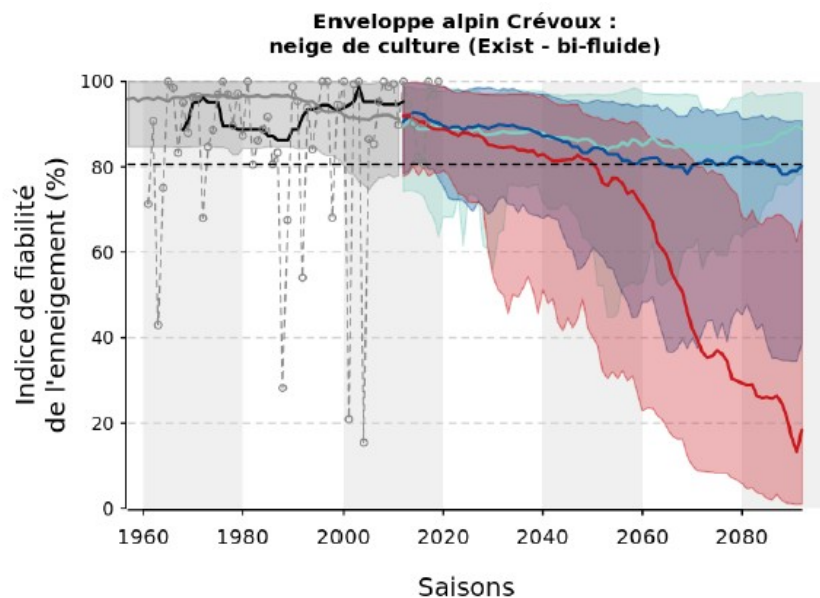
6 – LES INDICATEURS CLIMATIQUES

Envoyé en préfecture le 06/01/2026

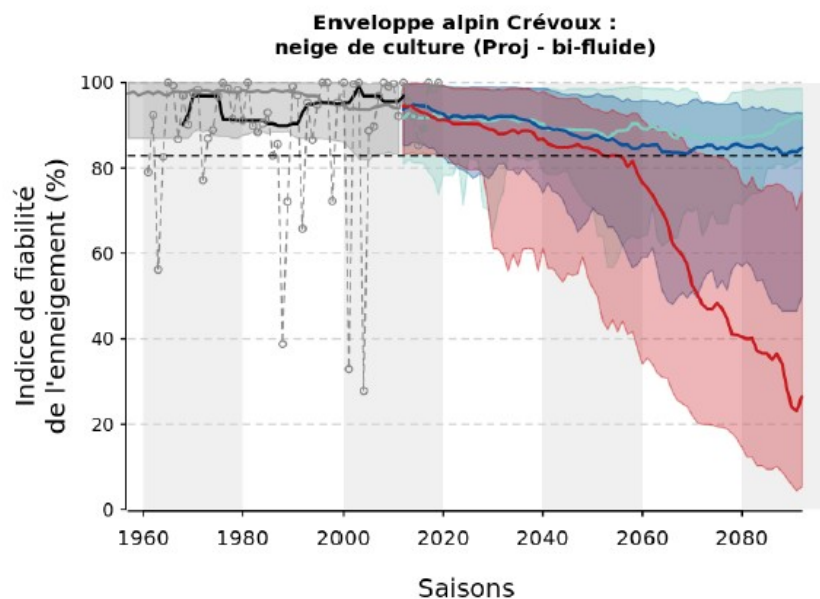
Reçu en préfecture le 06/01/2026

Publié le

ID : 005-200067742-20251209-202601062-CC



Indice de fiabilité
de l'enneigement



Légende :

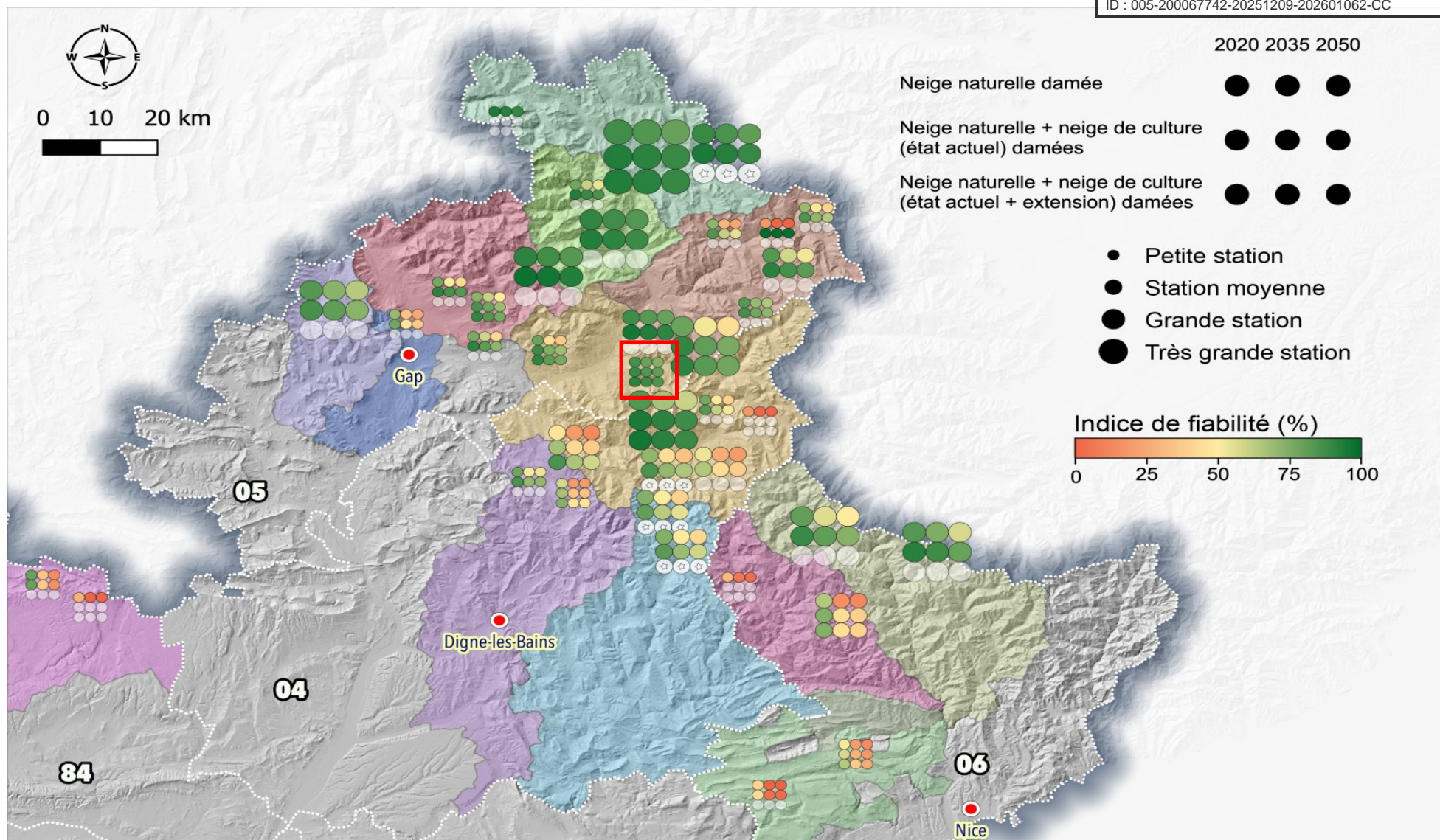
- Courbes grises : analyses historiques
- Courbes noires : observations
- Courbes en couleurs : projections (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)
- Traits en gras : 1 chance sur 2
- Enveloppes : 1 chance sur 5 (meilleures et pires saisons)



6 – LES INDICATEURS CLIMATIQUES

Envoyé en préfecture le 06/01/2026
Reçu en préfecture le 06/01/2026
Publié le
ID : 005-200067742-20251209-202601062-CC

21

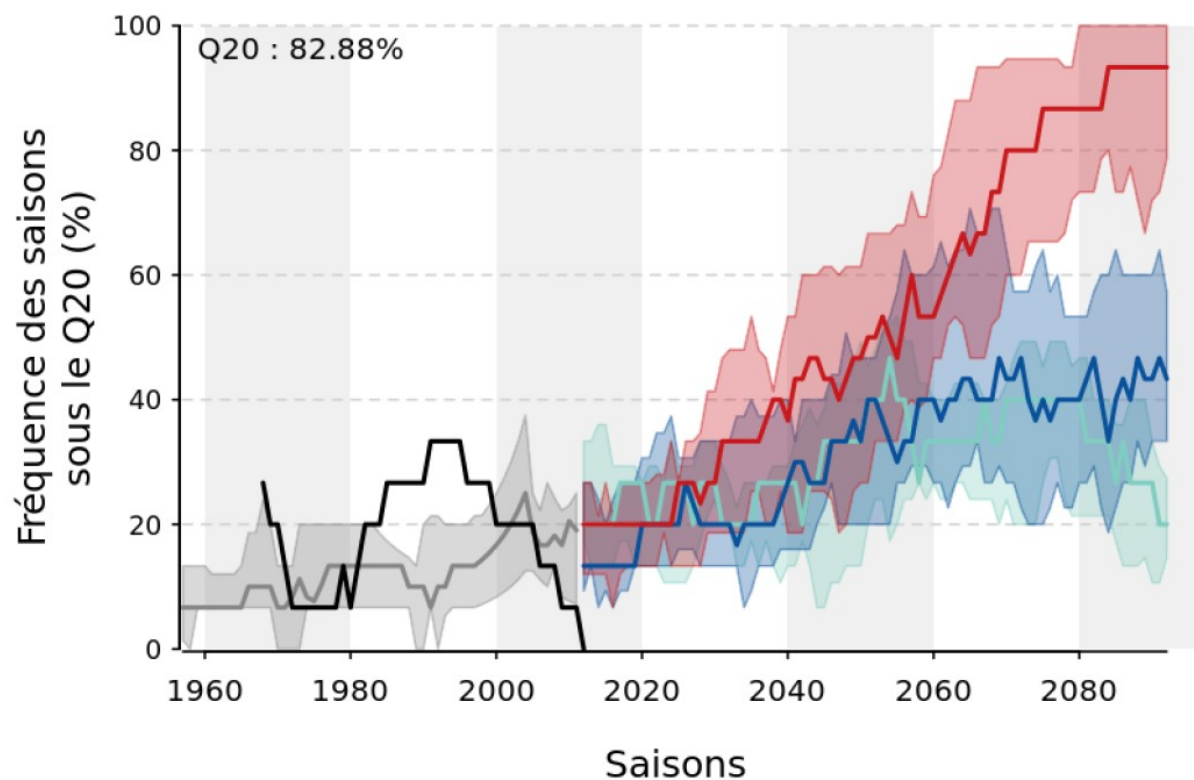




6 – LES INDICATEURS CLIMATIQUES

Station	Indice de fiabilité de l'enneigement, en % (RCP8.5 - Perches)		
	Q20 - Historique (install. existantes)	Q50 - 2020 (install. existantes)	Q50 - 2050 (projets futurs)
	82	91	71
	69	74	20
	4	42	4
	77	88	76
	55	84	73
	84	90	83
	1	28	0
CREVOUX	81	90	83
	16	90	18
	71	85	72
	27	74	47
	24	64	26
	0	33	0
	71	92	80
	53	84	64
	91	94	89
	0	19	0
	35	78	37
	63	83	60
	88	95	88
	32	85	59
	87	96	90
	45	80	15
	93	97	93
	89	93	86
	58	84	64
	89	94	88
	57	84	73
	99	99	98
	61	84	55
	71	86	72
	77	92	82
	14	45	4
	25	52	13
	16	45	15
	37	79	44
	74	91	76
	90	95	90
	35	65	38
	89	93	88
	82	84	73
	43	83	52
	80	90	76
	45	74	40
	0	9	0
	3	32	3
	3	27	3
	69	91	77

**Enveloppe alpin Crévoux :
neige de culture (Proj- bi-fluide)**



Taux de retour
des saisons défavorables

Légende :

- Courbes grises : analyses historiques
- Courbes noires : observations
- Courbes en couleurs : projections (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)
- Traits en gras : 1 chance sur 2
- Enveloppes : 1 chance sur 5 (meilleures et pires saisons)

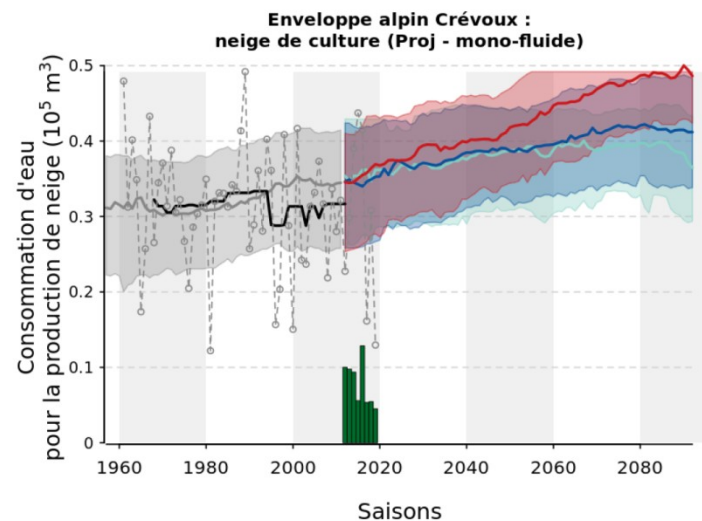
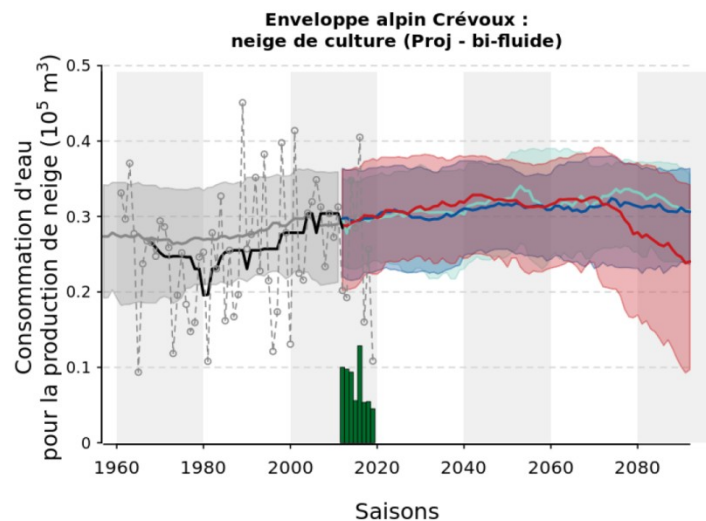
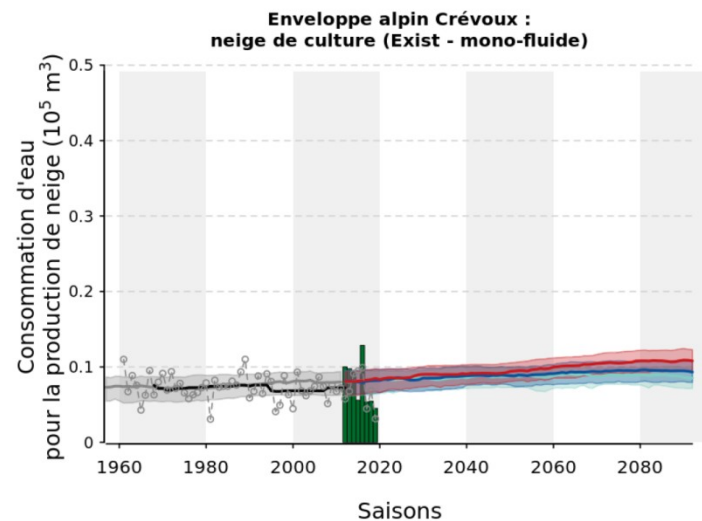
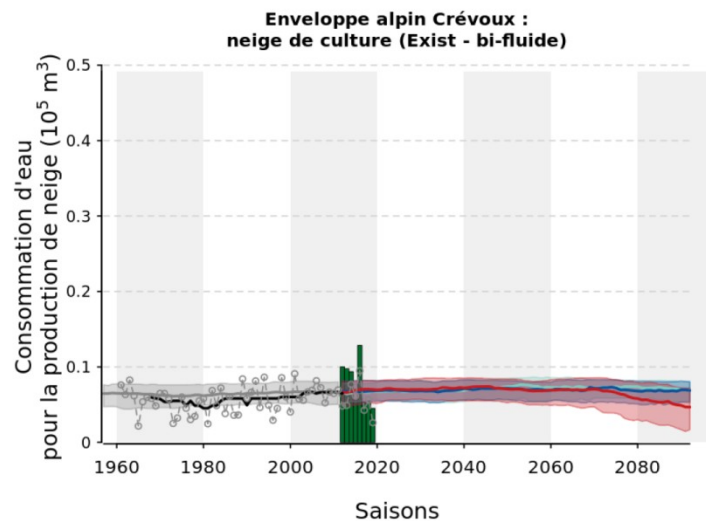


7 – LES VOLUMES D'EAU

Envoyé en préfecture le 06/01/2026
Reçu en préfecture le 06/01/2026
Publié le
ID : 005-200067742-20251209-202601062-CC

24

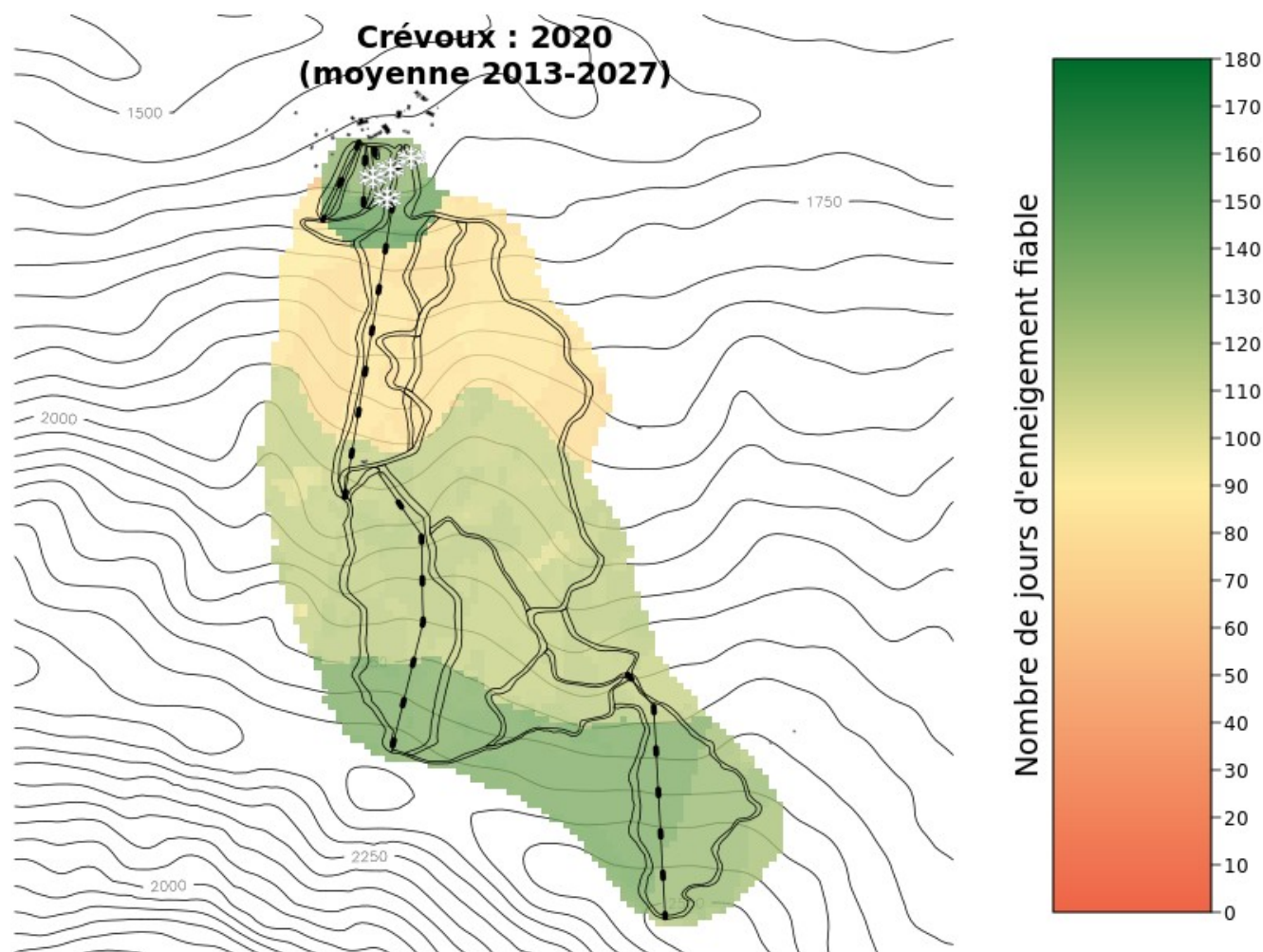
Consommation en eau pour la production de neige de culture

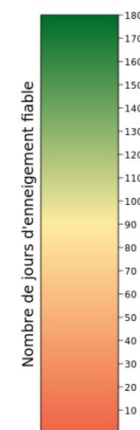
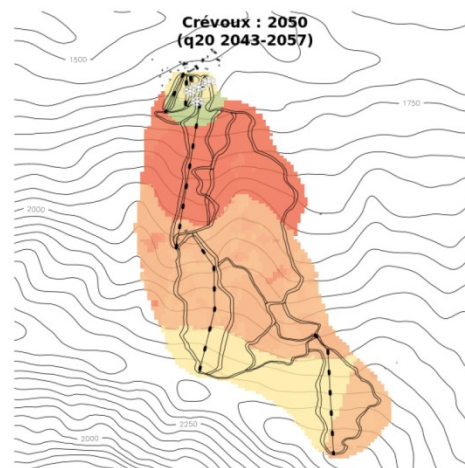
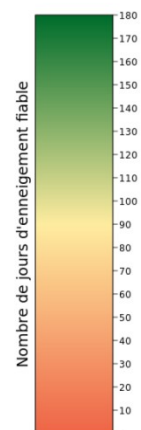
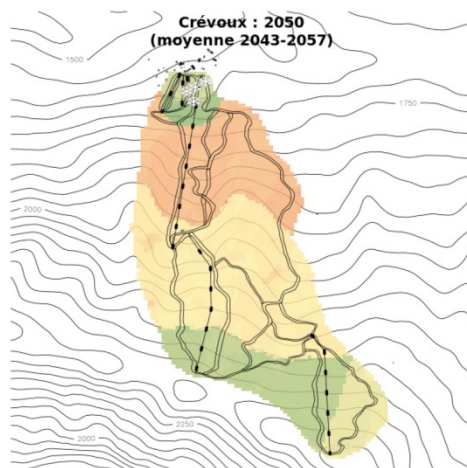
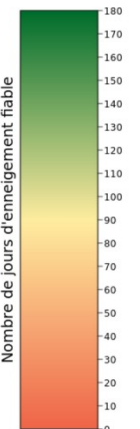
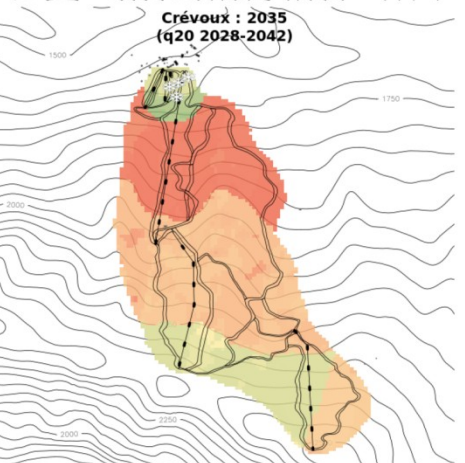
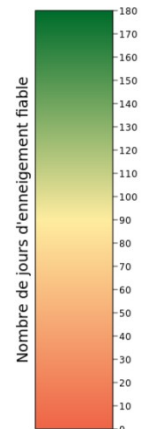
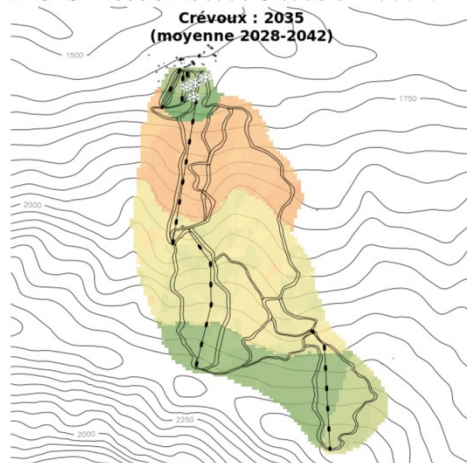
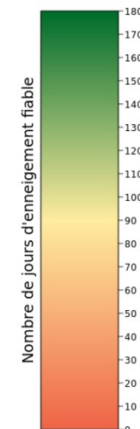
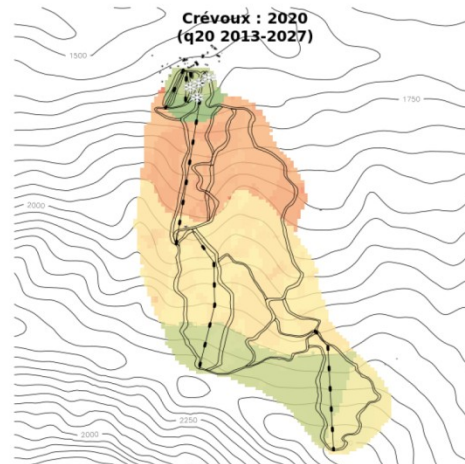
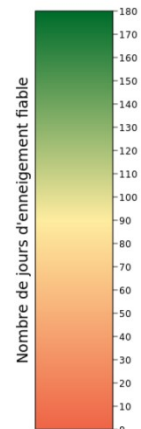
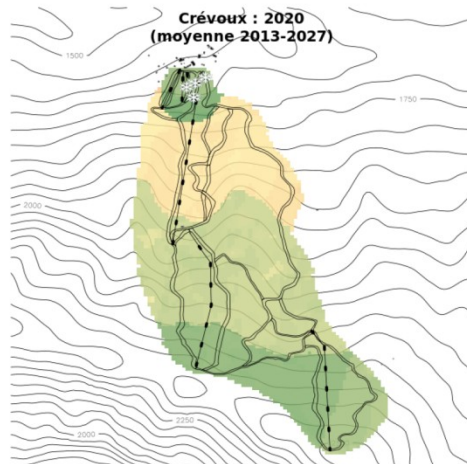




8 – LES DUREES D'ENNEIGEMENT

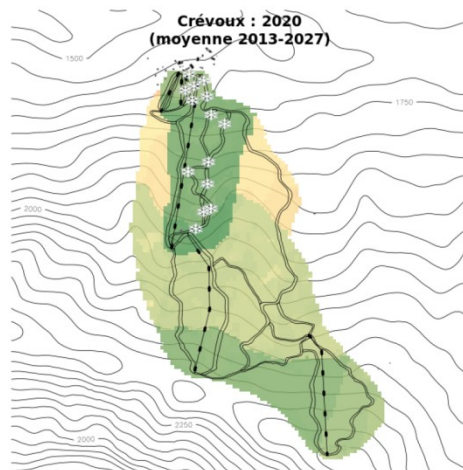
Nombre de jours avec un enneigement suffisant pour permettre la pratique du ski



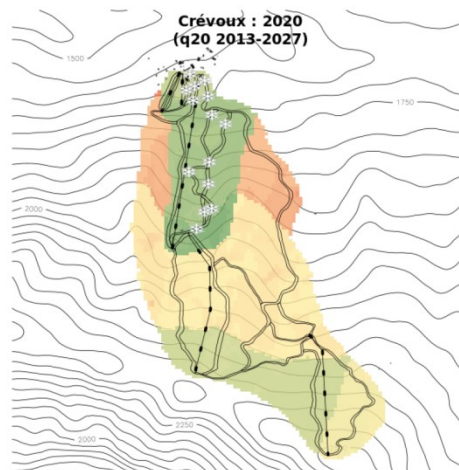
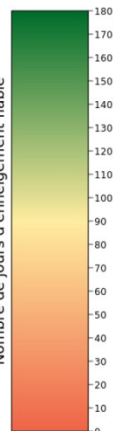


Nombre de jours avec
un enneigement
suffisant pour permettre
la pratique du ski

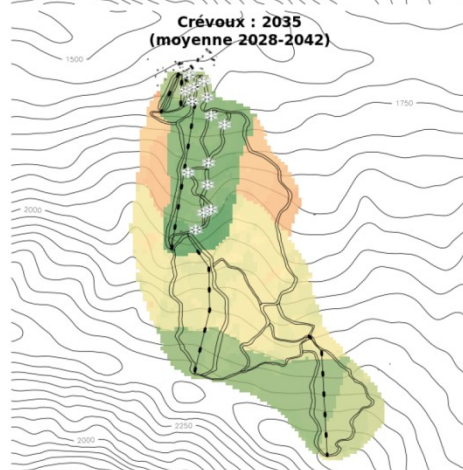
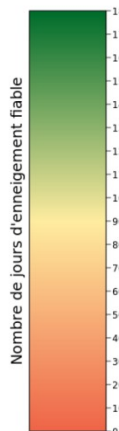
Envoyé en préfecture le 06/01/2026
Reçu en préfecture le 06/01/2026
Publié le
ID : 005-200067742-20251209-202601062-CC



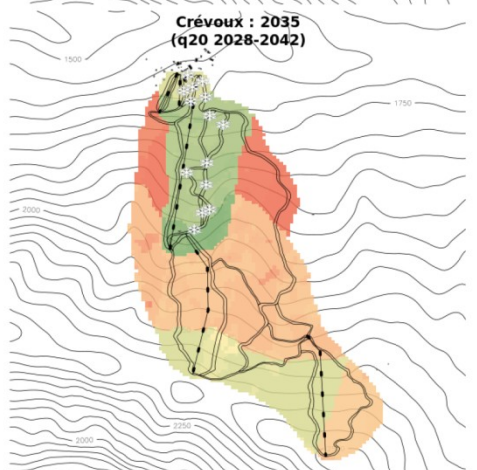
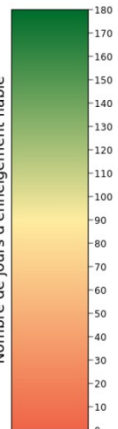
Nombre de jours d'enneigement fiable



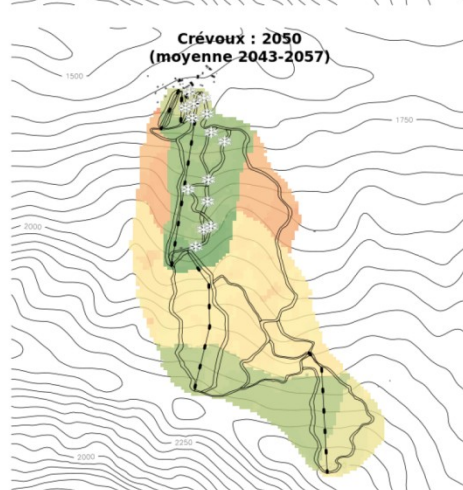
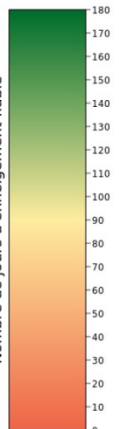
Nombre de jours d'enneigement fiable



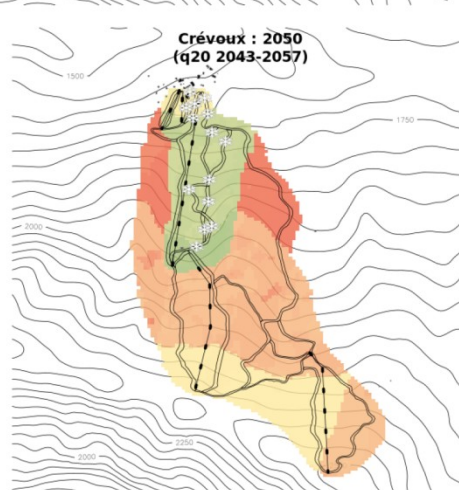
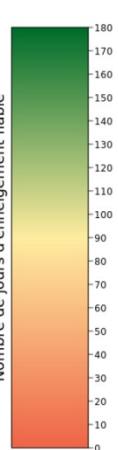
Nombre de jours d'enneigement fiable



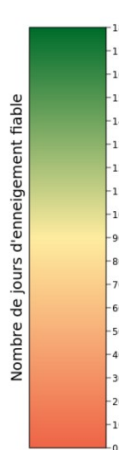
Nombre de jours d'enneigement fiable



Nombre de jours d'enneigement fiable



Nombre de jours d'enneigement fiable



Nombre de jours avec
un enneigement
suffisant pour permettre
la pratique du ski

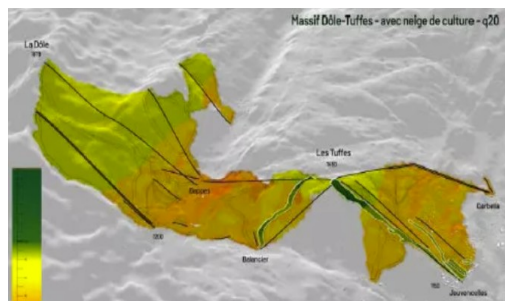
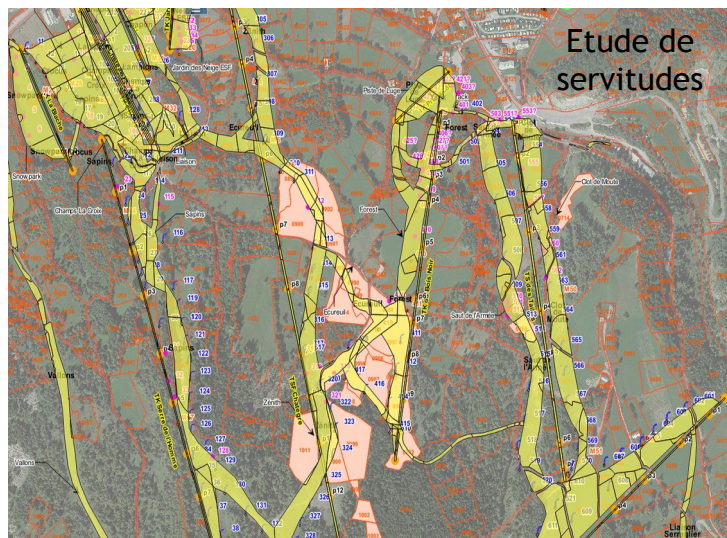
CONCLUSION

9 – SUITE DE L'ETUDE (A TITRE D'EXEMPLE)

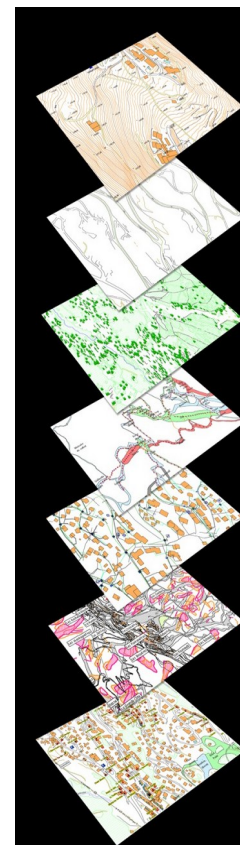


SIG

Base de données cartographique, analyse parcellaire (servitudes), réseaux, infrastructures, statistiques des pistes, optimisation du damage...



Couche
supplémentaire



Exemple :
Ancelle



9 – SUITE DE L'ETUDE (A TITRE D'EXEMPLE)

Envoyé en préfecture le 06/01/2026

Reçu en préfecture le 06/01/2026

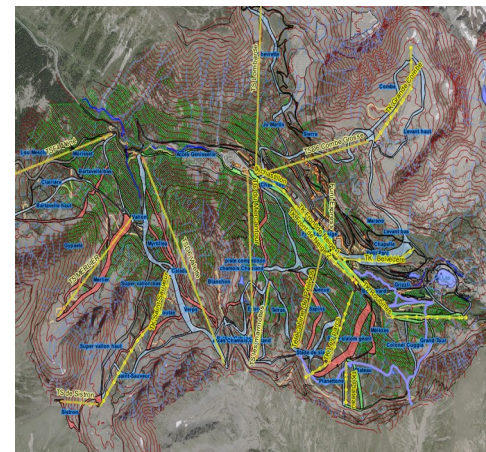
Publié le

ID : 005-200067742-20251209-202601062-CC

30

SIG

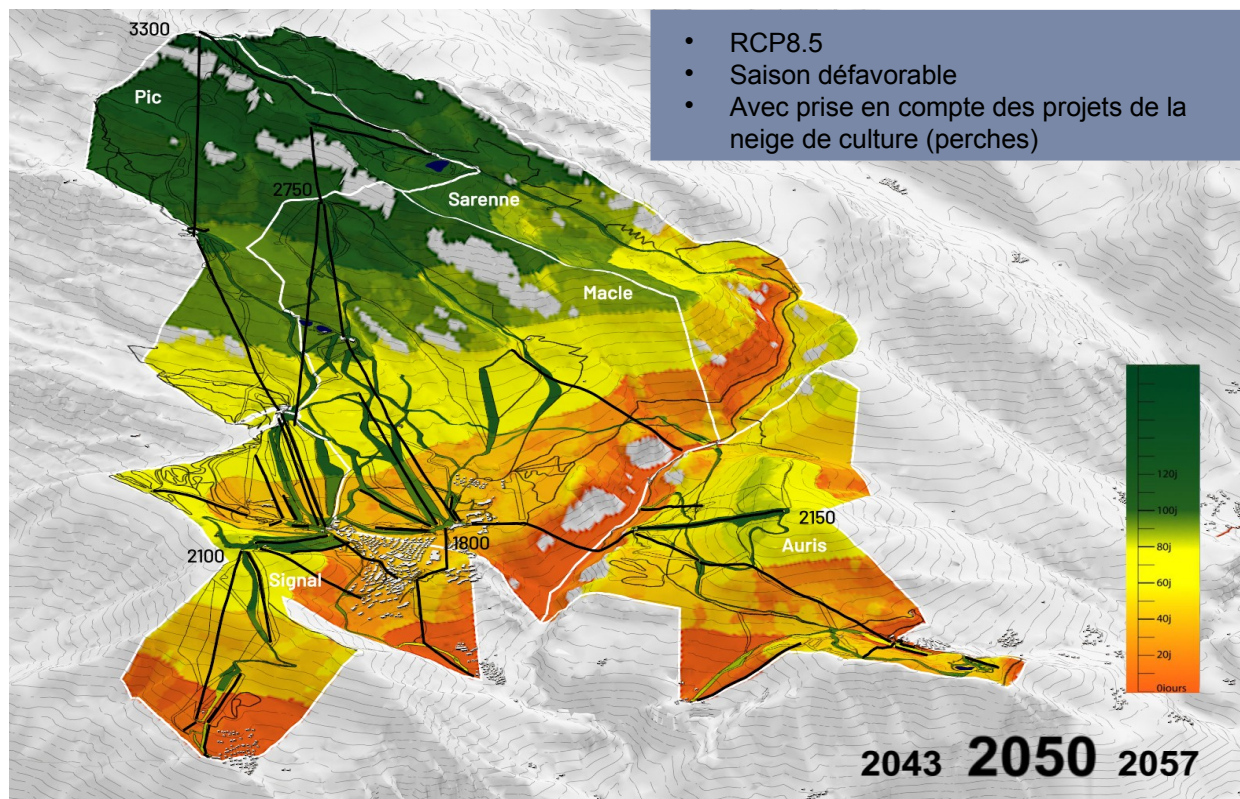
Base de données cartographique, déclinaison en plan des pistes.



Exemple :
Isola 2000

3D

Production de cartes 3D et/ou animations 3D des durées d'enneigement au-delà d'un seuil de quantité de neige (moyenne et variabilité), en fonction de l'équipement et de la période temporelle future.

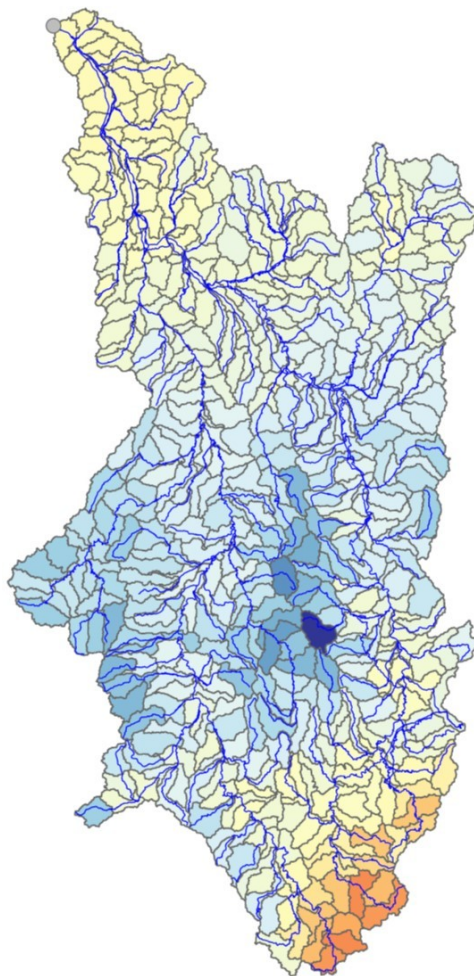


Exemple :
Alpe d'Huez



ETUDE HYDROLOGIQUE

Etude des disponibilités en eau passées et futures, avec calcul de l'évolution de la demande (neige de culture, eau potable, etc.) et de l'offre (débit des rivières, stocks des barrages, etc.) - En partenariat avec EDF-DTG.

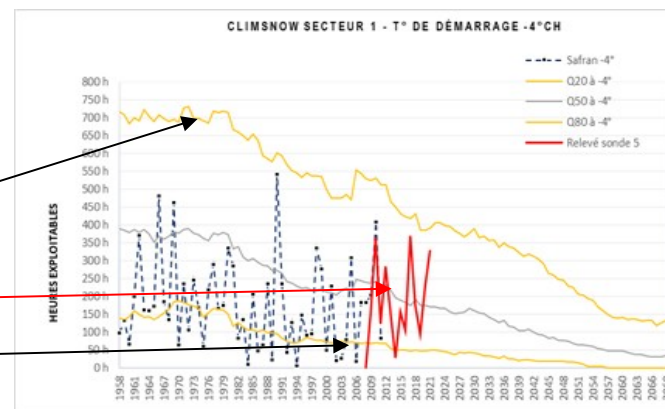
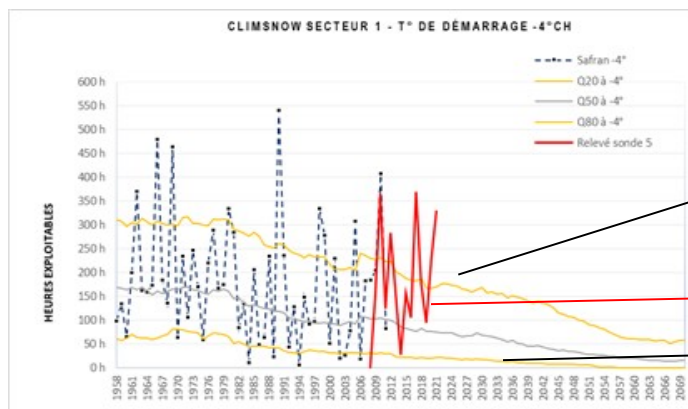




NEIGE DE CULTURE

Analyse de la stratégie de production de la neige de culture, avec dimensionnement des installations en fonction des évolutions climatiques attendues :

- Gestion statistique du risque climatique avec descente d'échelle au niveau de la station,
- Crash-test des retenues d'altitude.

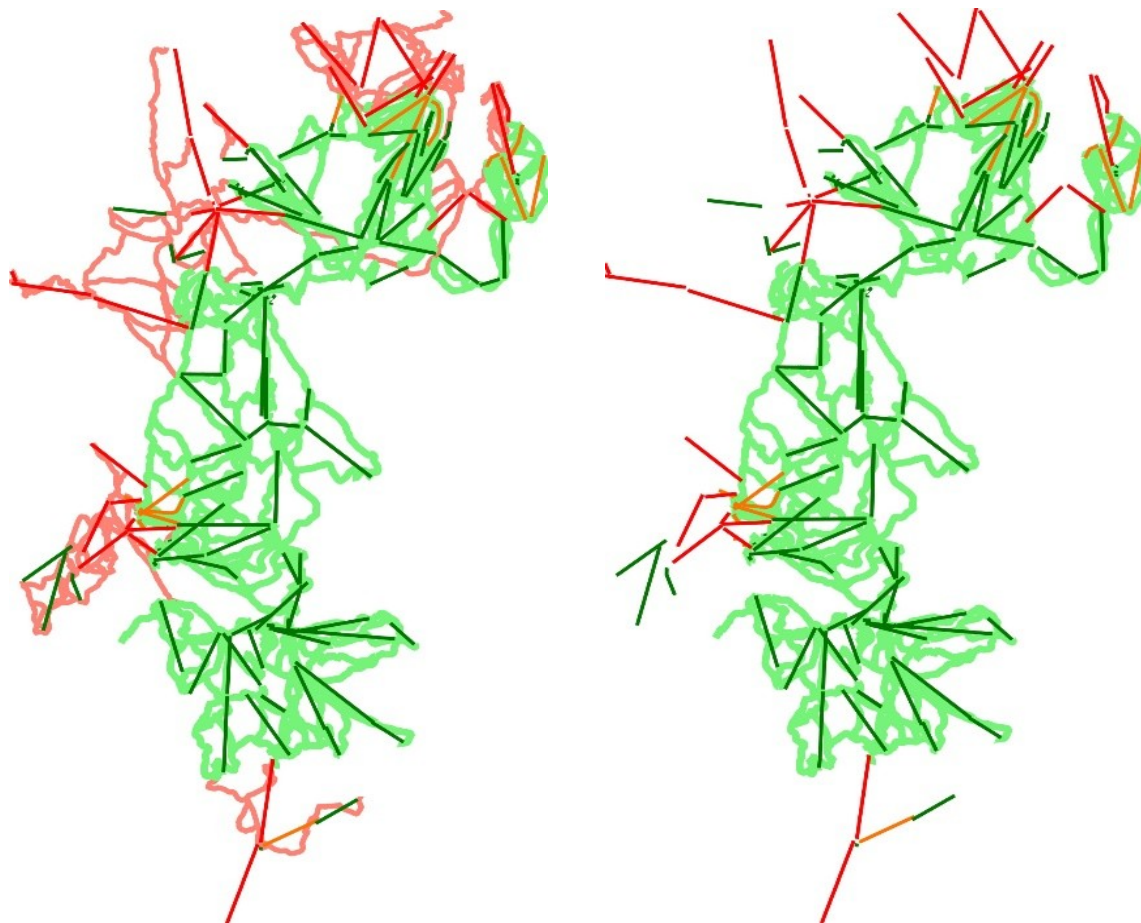


Exemple :
Gréolières, Méribel-Mottaret



SURFACES, CAPACITES, CHIFFRE D'AFFAIRES

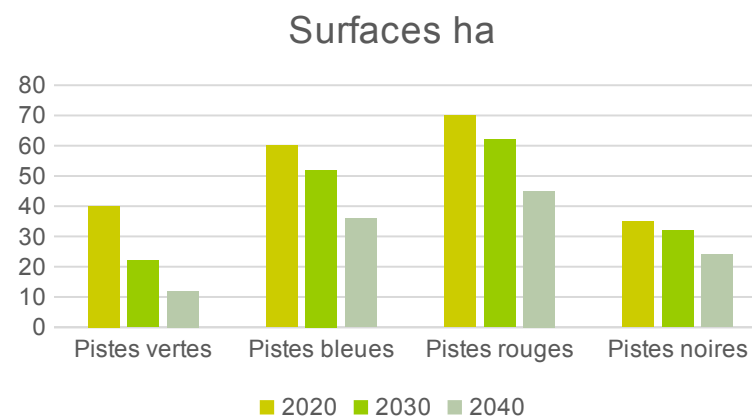
- Modélisation de l'évolution du domaine skiable en surfaces.



Ouvrabilité en 2040

Domaine restant exploité en 2040 :
1320 ha / 1850 ha

Quelles surfaces restantes ?
Quels niveaux de pistes ?
Maintien ou pas d'une surface acceptable ?

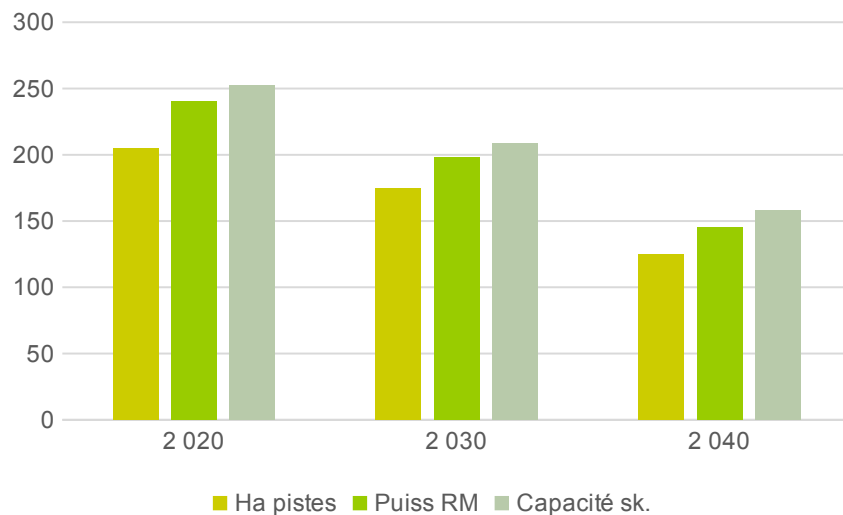




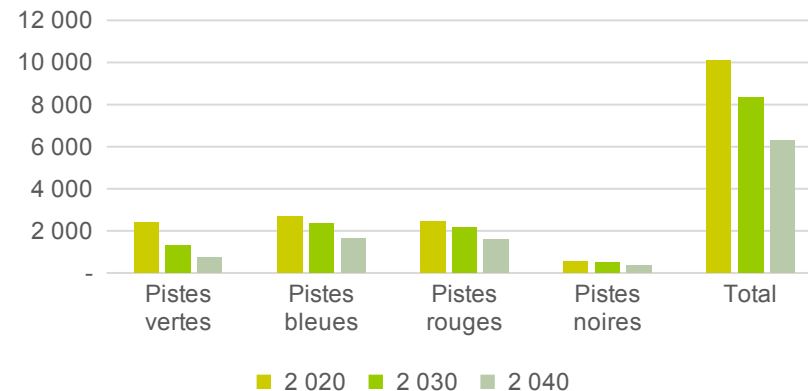
SURFACES, CAPACITES, CHIFFRE D'AFFAIRES

- Evolution des capacités skieurs,
- Evolution du modèle économique,
- Evolution de la grille tarifaire, en adéquation avec l'évolution du produit,
- Recalage du plan d'investissements,
- Calcul de la marge économique future,
- Préconisations à suivre pour maintenir un bilan positif.

Caractéristiques dom. ski



Capacité skieurs



Bilan économique





- CLIMSNOW -

ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET
PROJECTIONS DE L'EVOLUTION DE L'ENNEIGEMENT

MERCI DE VOTRE ATTENTION !