



Val Cenis
Haute Maurienne Vanoise

Val Cenis

Projet de restructuration et de diversification du domaine skiable de Val Cenis

Note en réponse à l'avis de la MRAe du 17 juin 2025

28 juin 2025

Réf : 2022009

SOMMAIRE

PRÉAMBULE	3
RÉPONSES AUX REMARQUES DE LA MRAe.....	4
1.1. Procédures et modalités de consultation du public	4
1.2. Evolutions de l'évaluation environnementale.....	5
1.3. fréquentation de la station	5
1.4. Etat initial de l'environnement	8
1.5. Risques naturels	8
1.6. Changement climatique	9
1.7. Mesures ERC.....	11
1.8. prélèvements en eau	15
1.9. Emissions de gaz à effet de serre	20
1.10. Paysage et patrimoine bâti	23
1.11. Mesures de suivi.....	25
1.12. Mise en compatibilité du document d'urbanisme.....	32
Annexes.....	34

PRÉAMBULE

La SEM de Val Cenis, en tant que gestionnaire du domaine skiable de Val Cenis a pour projet de restructurer le domaine skiable et de diversifier l'offre touristique multi-saisons, via la réalisation de plusieurs opérations envisagées sur 3 phases successives.

D'autre part, dans la mesure où le Plan Local d'Urbanisme en vigueur de la commune de Lanslebourg ne permet pas certaines opérations, la Commune de Val-Cenis a souhaité le faire évoluer dans le cadre d'une déclaration de projet valant mise en compatibilité du PLU.

Le projet a donc fait l'objet d'une évaluation environnementale commune au titre des rubriques 43.a et 47 de l'annexe à l'article R.122-2 du code de l'environnement dans le cadre du projet d'aménagement, mais également au titre de l'article R.104-14 du code de l'urbanisme. L'évaluation environnementale étant conjointe aux deux procédures.

L'Autorité environnementale (MRAe) a émis un avis sur cette évaluation environnementale le 17/06/2025 (avis n°2025-ARA-AP-1849).

Pour rappel, dans le cadre de la PHASE 1, ce projet global a d'ores et déjà fait l'objet d'une évaluation environnementale, d'un avis de l'autorité environnementale (Avis n° 2023-ARA-AP-1639 du 12 février 2024) et d'une enquête publique. Les opérations de la phase 1 ont ainsi été autorisées et en partie réalisées durant l'année 2024.

L'article L.122-1 du code de l'environnement (version modifiée par la loi n°2023-175 du 10/03/2023) prévoit que :

- > *L'avis de l'autorité environnementale fait l'objet d'une réponse écrite de la part du maître d'ouvrage (alinéa V) ;*
- > *L'étude d'impact ainsi que cette réponse écrite font partie des pièces nécessaires à l'engagement d'une enquête publique (alinéa VI).*

Le présent document constitue donc la note en réponse du pétitionnaire à l'avis de la MRAe ; elle porte sur les recommandations émises par la MRAe qui sont reprises dans des encadrés en début de chaque argumentaire.

Le présent document répond à toutes les recommandations qui ont été réunies par thématiques environnementales pour faciliter la compréhension du lecteur, car certaines recommandations sont redondantes et/ou liées.

RÉPONSES AUX REMARQUES DE LA MRAE

1.1. PROCEDURES ET MODALITES DE CONSULTATION DU PUBLIC

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
13	« L'Autorité environnementale recommande, pour la bonne compréhension du public et la transparence de la démarche, d'expliquer les raisons du recours à deux modalités différentes de consultation du public et non pas à une modalité commune, pour le projet et la mise en compatibilité du PLU »

Pour mémoire, le projet fait l'objet d'une évaluation environnementale aux titres :

- > du R.122-2 du code de l'environnement (étude d'impact systématique du fait des caractéristiques techniques du projet). Conformément à la demande des services de l'état, l'évaluation environnementale est réalisée à l'échelle du projet global.
- > du R.104-14 du code de l'urbanisme. Le zonage actuel du PLU de la commune de Lanslebourg ne permet pas la réalisation du projet de remplacement des TK Grand Coin et TK du Lac par un télésiège débrayable « Grand Coin », ni celle du projet de passerelle Vanoise expérience. La déclaration de projet réalisée permettra la mise en compatibilité avec le PLU.

Il a été choisi de réaliser une procédure commune comme le prévoit l'article L 122-14 du code de l'environnement, avec une seule évaluation environnementale.

Néanmoins dans le cas présent, la réglementation prévoit la possibilité de plusieurs types de participation du public :

- > pour la procédure de déclaration de projet (portant sur le projet du Grand Coin et la passerelle Vanoise expérience), une enquête publique est obligatoire.
- > Pour les demandes d'autorisation (DAET, dossiers de défrichement) liées à la procédure de déclaration de projet, une enquête publique commune est prévue (L.122-14 CE);
- > Pour les demandes d'autorisation non liées à la procédure de déclaration du projet, une participation du public par voie électronique (L. 123-19) peut être réalisée lorsque le projet a déjà fait l'objet d'une étude d'impact soumise à enquête publique (L. 122-1-1 CE). C'est le cas ici pour le projet de remplacement du télésiège de la Ramasse en télécombi puisqu'il a déjà fait l'objet de l'étude d'impact globale soumise à enquête publique (dans le cadre de la phase 1 du projet global).

Initialement, il a été choisi de réaliser une participation du publique par voie électronique pour le dossier de remplacement du télésiège de la Ramasse en télécombi dans l'objectif de réalisation de ces travaux en 2025.

Or, après de nombreuses réunions avec le constructeur, il s'est avéré (après le 17 mars 2025, date de dépôt du dossier auprès de l'Autorité environnementale) que pour des raisons techniques, la conception de l'appareil ne pourra finalement pas voir le jour rapidement. Ainsi le dépôt du dossier de DAET sera déposé dans les prochains mois et le dossier fera l'objet d'une participation par voie électronique.

1.2. EVOLUTIONS DE L'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
14	« L'Autorité environnementale recommande, pour la bonne information du public, de faire apparaître distinctement, à l'aide d'un code couleur par exemple, les parties de l'étude ayant fait l'objet d'actualisation, de détailler le sommaire pour une meilleure compréhension par le public du projet et de présenter les incidences sur l'environnement à l'échelle globale du projet. »

Dans le cadre des prochaines mises à jour de l'évaluation environnementale, un code couleur sera appliqué aux éléments modifiés.

Néanmoins, à titre informatif, voici ci-après les principales parties qui ont d'ores et déjà fait l'objet d'évolutions :

- > La description du projet, notamment avec les évolutions des emprises travaux des opérations de la phase 2-A et la programmation globale ;
- > L'intégration d'une partie de présentation du projet de mise en compatibilité du PLU ;
- > La mise à jour de la partie biodiversité (état initial) suite à l'intégration des résultats d'inventaires de terrain complémentaires réalisés en 2024 ;
- > La mise à jour de toutes les cartographies suite à l'évolution de la zone d'étude immédiate ;
- > La mise à jour de la partie Incidences du fait des nouvelles données entrantes (projets et résultats d'inventaire) ;
- > L'ajout de nouvelles opérations abandonnées ;
- > L'ajout et la modification de mesures ERC ;
- > L'ajout de la partie « Articulation et compatibilité du projet avec les autres documents, plans et programmes » ;
- > L'ajout de la partie « Définition de critères, indicateurs et modalités retenus pour l'analyse de l'application du plan » ;

Pour mémoire cette évaluation environnementale correspond bien à l'évaluation des incidences du projet global sur l'environnement, même si des tableaux de synthèse permettent également d'avoir les informations à l'échelle de chaque opération.

1.3. FREQUENTATION DE LA STATION

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
15	« L'Autorité environnementale réitère sa recommandation de présenter dès ce stade l'évolution de la fréquentation et des flux et circulations (journaliers et pour chaque "saison", sur les différents secteurs de la station) du fait de la réalisation du programme de restructuration à l'échelle du domaine de Val-Cenis, et de compléter l'évaluation des incidences en conséquence. »

Il est rappelé que le projet global tel que présenté n'a pas pour objectif d'augmenter la fréquentation hivernale à l'échelle du domaine skiable et vise seulement une meilleure répartition des flux.

Les trois phases sont réparties essentiellement sur le secteur Val Cenis Termignon bas et haut, ainsi que sur les secteurs Val Cenis Lanslebourg bas et haut.

Phase 1 : Saison hiver 2024/2025

L'objectif global de la phase 1 était de renouveler le parc de remontées mécaniques afin de renforcer l'attractivité évidente de ce secteur. Voici ci-dessous l'analyse suite à la première saison d'exploitation 2024/2025 :

- > La mise à niveau du télésiège de la Girarde, le remplacement du télésiège des Roches Blanches par un appareil débrayable et moderne sont des facteurs d'attractivité pour les skieurs.
- > La réouverture du bâtiment des Terrasses sur le front de neige à Termignon à redynamiser le front de neige, les commerces et les services.
- > La qualité des appareils proposés pour accéder au secteur d'altitude de Val Cenis Termignon a captée la majeure partie de la clientèle *journée* souhaitant accéder au domaine skiable de Val Cenis.
- > Grand parking à proximité du front de neige (30 m depuis la sortie Modane de l' A43).
- > L'augmentation des passages sur les appareils de liaison TSD Turra, TSF Sources, TSD Ramasse pour le retour, démontre également l'effet de captation et de transfert des clients vers les secteurs de Val Cenis Termignon.
- > La météo favorable de cette saison a été également un facteur favorable pour la nouvelle attractivité de ce secteur.

Le bilan de l'évolution des flux et des circulations sur la totalité du domaine skiable est présenté sur la carte ci-après. Il s'appuie sur ces données d'entrée. Néanmoins ces données devront être consolidées sur plusieurs saisons afin d'obtenir des résultats fiables.

Phase 1 : Saison estivale 2025.

Pour la saison estivale 2025 , il n'y a pas d'exploitation prévue des remontées mécaniques du secteur.

Seule la télécabine du Vieux Moulin à Val Cenis Lanslevillard sera exploitée sur cette saison estivale.

Phases 2A-2B-3 :

Comme pour la phase 1, un bilan/REX sera effectué annuellement englobant les données hiver + été.

Évolution flux et circulation Phase 1 - 2024



Plan du domaine skiable avec évolution des flux et des circulations . Phase 1-2024 .

1.4. ETAT INITIAL DE L'ENVIRONNEMENT

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
14	« L'Autorité environnementale recommande de réaliser et présenter dès ce stade les inventaires floristiques et faunistiques complets concernant l'opération « Vanoise expérience » et de revoir les niveaux d'enjeux en conséquence. »

Pour mémoire il est rappelé qu'au moment du dépôt de l'évaluation environnementale, l'opération Vanoise expérience avait bien d'ores et déjà fait l'objet d'inventaires faune et flore. Néanmoins étaient prévus en complément :

- > Une prospection complémentaire flore pour s'assurer de l'absence de station d'espèces protégées et/ou menacées (les prospections réalisées jusque là ont été réalisées avant la définition précise de l'emprise projet. Pour mémoire il s'agit d'une zone boisée). **A noter que la visite a été réalisé le 26/06/25 et aucune espèce relevant d'un enjeu particulier n'a été identifiée ;**
- > Une prospection faune complémentaire pour cibler les papillons et les reptiles. **A noter que la visite a été réalisé le 20/06/25 et aucune espèce relevant d'un enjeu particulier n'a été identifiée.**

Pour information des points d'écoute de l'avifaune diurne supplémentaires ont également été réalisés aux abords de la zone de projet ainsi que la pose d'un enregistreur à chauves-souris. **Aucune nouvelle espèce n'a été identifiée.**

Il est tout de même rappelé que l'évaluation environnementale prend en compte d'ores et déjà en compte les espèces animales identifiées de manière globale mais également les espèces potentiellement présentes non contactées sur place. Ce qui permet une prise en compte relativement exhaustive de la biodiversité.

1.5. RISQUES NATURELS

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
17	« L'Autorité environnementale réitère sa demande d'évaluer les aléas relatifs aux avalanches, risques hydrologiques, mouvements de terrains et chutes de blocs pour l'ensemble des opérations prévues au projet, en prenant en compte le changement climatique. »
26	L'Autorité environnementale réitère sa demande de : - préciser les dispositions constructives des ouvrages des opérations de la phase 2-A (télésiège de Grand Coin, Vanoise expérience, piste Cugne et télésiège de la Ramasse) nécessaires à la prise en compte effective des risques géotechniques ; - évaluer l'évolution des aléas (notamment crues, mouvements de terrains, chutes de blocs et avalanches) à l'échelle du projet d'ensemble, du fait du changement climatique ; - présenter les mesures prises pour ne pas aggraver le risque compte tenu de l'augmentation des enjeux (dans le périmètre du domaine skiable parcouru par les usagers et notamment au niveau du téléphérique de la Turra).

Une étude sur les risques d'avalanches du secteur Grand Coin (réalisée par le bureau d'étude TORAVAL) a été réalisée récemment. Elle est jointe à la présente (annexe 8).

De plus, une étude géotechnique (réalisée par le bureau EQUATERRE) a été réalisée. Le rapport est également joint à cette note (annexe 9).

1.6. CHANGEMENT CLIMATIQUE

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
18	« L'Autorité environnementale recommande à nouveau de préciser, secteur par secteur, l'évolution des conditions d'enneigement naturel et de culture de l'ensemble du domaine skiable pour toute la période d'exploitation prévue des nouveaux équipements. »
27	« L'Autorité environnementale recommande d'étendre l'analyse de la vulnérabilité du projet à la disponibilité de la ressource en eau et aux évolutions des aléas naturels du fait du changement climatique, et de présenter les mesures prises pour y remédier, le cas échéant. »

Dans la partie d'analyse de la vulnérabilité du projet face au changement climatique (page 378), l'évaluation environnementale présente les extraits de l'étude Climsnow présentant la modélisation du nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible pour le RCP 8.5 en prenant en compte les projets d'aménagement futurs entre l'état actuel (2020) et l'horizon 2050 (conditions pour une année moyenne + pour les pires années).

Ces modélisations permettent justement de voir selon chaque secteur du domaine skiable, si la pratique du ski restera viable ou pas, en prenant en considération un scénario défavorable. Les voici pour rappel en annexe de la présente note (annexe 6).

Concernant la disponibilité de la ressource en eau, le dossier sera complété en ce sens dans le cadre de la phase 2-B (lié au projet de réseau d'enneigement). Néanmoins, voici déjà quelques éléments qui peuvent être apportés à ce stade :

DISPONIBILITE DE LA RESSOURCE EN EAU

L'autorisation de prélèvement en eau est basée sur une rétrospective climatique permettant d'estimer les droits d'eau. Il est rappelé dans l'étude d'impact que le projet n'engage pas une ressource supplémentaire : il est envisagé d'augmenter la capacité de prélèvement instantané à la prise d'eau du Chatel afin de diminuer le prélèvement dans le plan d'eau de Val Cenis Termignon. Le projet prévoit donc de déplacer la consommation en eau prévue en diminuant la production de neige de culture sur les enneigeurs existants au profit des nouveaux.

Il est également rappelé qu'aucun prélèvement supplémentaire n'est envisagé dans la prise d'eau de l'Arc, l'objectif étant même de pouvoir diminuer ces prélèvements à l'avenir.

Alimentation en eau	Volume prélevé m ³	
	Situation actuelle	Avec Projet 2026/2028
prise d'eau fenêtre du Châtel - Lanslevillard	350 000	382 000
Prise d'eau Arc - Termignon	100 000	68 000
Total	450 000	450 000

Evolution envisagée des prélèvements dans l'Arc et dans la prise d'eau du Chatel. Source : Etude d'impact, 2025.

Les modélisations DRIAS¹ permettent d'établir des simulations climatiques pour les Alpes à différents horizons temporels par rapport à une période de référence, pour deux scénarios (avec politique climatique de stabilisation des émissions de CO₂ et sans politique climatique). Concernant le massif de la Haute-Maurienne, les évolutions de cumul de précipitations sont les suivants, par tranche altitudinale :

Scénario	Altitude	Période de référence (1976 - 2005)	Horizon moyen (2041 - 2070)			Horizon lointain (2071 - 2100)		
		(mm)	(mm)	(+/- mm)	(+/- %)	(mm)	(+/- mm)	(+/- %)
MOYENNE HIVERNALE								
RCP 4.5	1800	220	243	23	10%	249	29	13%
	2100	236	260	24	10%	262	26	11%
	2400	249	283	34	14%	276	27	11%
RCP 8.5	1800	220	234	14	6%	242	22	10%
	2100	236	248	12	5%	254	18	8%
	2400	249	257	8	3%	280	31	12%
MOYENNE PRINTANIERE								
RCP 4.5	1800	259	262	3	1%	255	-4	-2%
	2100	277	273	-4	-1%	268	-9	-3%
	2400	295	303	8	3%	287	-8	-3%
RCP 8.5	1800	259	268	9	3%	237	-22	-8%
	2100	277	280	3	1%	250	-27	-10%
	2400	295	310	15	5%	273	-22	-7%
MOYENNE ESTIVALE								
RCP 4.5	1800	221	219	-2	-1%	216	-5	-2%
	2100	238	237	-1	0%	228	-10	-4%
	2400	254	251	-3	-1%	238	-16	-6%
RCP 8.5	1800	221	226	5	2%	229	8	4%
	2100	238	240	2	1%	242	4	2%
	2400	254	252	-2	-1%	253	-1	0%
MOYENNE AUTOMNALE								
RCP 4.5	1800	261	268	7	3%	251	-10	-4%
	2100	280	282	2	1%	272	-8	-3%
	2400	302	299	-3	-1%	286	-16	-5%
RCP 8.5	1800	261	274	13	5%	256	-5	-2%
	2100	280	291	11	4%	273	-7	-3%
	2400	302	306	4	1%	294	-8	-3%

Les précipitations estivales observent une légère baisse dès l'horizon moyen (durée de vie du projet), et la quasi-totalité des saisons verront une baisse des précipitations à horizon lointain. Cependant, dans l'ensemble, la ressource en eau reste disponible, les baisses projetées restant de l'ordre de quelques pourcents.

¹ DRIAS est un ensemble de projections climatiques régionalisées mis à disposition sur un portail du même nom. Le projet a été développé par Météo France, l'Institut Pierre Simon Laplace et la CERFACS (école nationale de la météorologie).

A noter que l'impact du changement climatique sur les précipitations est difficilement analysable. Les précipitations sont très variables temporellement et spatialement. Si les volumes d'eau restent dans l'ensemble constants, il est probable que leur répartition soit plus soumise à de grosses variations sous l'effet d'évènements extrêmes.

Aussi, au vu de la stratégie du domaine skiable qui vise à ne pas augmenter son prélèvement en eau global, la disponibilité de la ressource en eau paraît suffisante. Le pétitionnaire s'engage à mettre en œuvre une stratégie de report des secteurs skiables en altitude et de gestion de la ressource de façon à assurer un enneigement sécurisé sur les secteurs les plus favorables, sans augmenter la pression sur la ressource en eau.

EVOLUTION DES ALEAS NATURELS

Il a en effet été démontré et publié, dans le 6^{ème} rapport du GIEC notamment, que les phénomènes extrêmes sont susceptibles d'augmenter en intensité et/ou en fréquence sous l'effet du réchauffement climatique, pour chaque 0,5°C supplémentaire. Cela se traduit en ce qui concerne les aléas de montagne : avalanches, glissements de terrain, chutes de blocs, crues torrentielles, etc. Il n'est cependant pas possible de chiffrer précisément l'augmentation de ces phénomènes extrêmes.

Il est rappelé ici que ces différents aléas naturels sont étroitement surveillés et pris en compte dans les projets d'aménagement.

Les secteurs avalancheux sont connus et le PIDA du domaine skiable existe pour faire diminuer le risque, quel qu'il soit. Ainsi, une augmentation des avalanches resterait gérable par le domaine skiable dans la mesure où les moyens sont d'ores et déjà mis en œuvre pour la surveillance et la sécurisation du domaine face à cet aléa.

Les risques liés au terrain, aggravés par la fonte du pergélisol, sont étudiés par expertise géotechnique. L'étude précise ainsi la nature du sol et les risques auxquels le projet est exposé. Les chutes de blocs font partie des aléas auxquels les usagers du domaine skiable sont exposés de tout temps, comme partout en montagne.

Les aléas liés aux cours d'eau sont également connus et pris en compte dans les études. De plus, l'altitude et la position dans les bassins versants des projets d'aménagements ne sont pas de nature à les exposer à des crues torrentielles, aléas se tenant dans des zones avalées charriant beaucoup de matériaux.

1.7. MESURES ERC

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
21	« L'Autorité environnementale recommande de préciser et de justifier la faisabilité et l'efficacité des mesures d'évitement et de réduction et de les revoir ou de les renforcer le cas échéant. Elle recommande en particulier de reconsidérer le calendrier des travaux et ses périodes dérogatoires. »
23	« L'Autorité environnementale recommande de requalifier, de préciser et de justifier les mesures de compensation présentées, de vérifier quelles pertes résiduelles de biodiversité elles pourront compenser et de les renforcer le cas échéant ou sinon de reprendre la démarche d'évitement et de réduction. »
25	« L'Autorité environnementale recommande de requalifier, de préciser et de justifier les mesures de compensation présentées, de vérifier quelles pertes résiduelles de biodiversité elles pourront compenser et de les renforcer le cas échéant ou sinon de reprendre la démarche d'évitement et de réduction. Elle recommande de présenter le calendrier de leur mise en œuvre, incluant la phase 1. »

Concernant les mesures d'évitement et de réduction, des éléments sont apportés permettant de préciser et justifier leur efficacité :

- > Les zooms de la ME1 (Mises en défens) sont apportés en annexe de la présente note (annexe 1).
- > ME2 (éviter les risques de pollution): dans le but d'apporter des garanties de réalisation, les préconisations émises seront reprises dans le CCTP des entreprises.
- > ME6 : les plans de circulation sont fournis en pages 45-46 de l'évaluation environnementale.
- > ME8 : une carte de localisation des évolutions du projet du télésiège Grand Coin est apportée en annexe de la présente note (annexe 2).
- > MR1 (Réduction des emprises travaux sur les secteurs sensibles): il est proposé ici une nouvelle rédaction de la mesure :
 Pour mémoire, les surfaces brutes théoriques (soit avant la mise en œuvre des mesures) impactées par les travaux ont été définies sur la base des éléments suivants :
 - > Les emprises de zones visées par des terrassements (pistes, gare) sur la base des données transmises par le maître d'œuvre ;
 - > Une largeur de 10 m le long des tracés de réseaux, incluant la largeur de la tranchée ainsi que les surfaces destinées au dépôt des terres excavées.
 - > 10 m de rayon d'impact autour de chaque pylône de remontée mécanique (comprenant le trou d'implantation du pylône, mais également les surfaces de dépôt des terres excavées).

Il s'agit donc là d'emprises théoriques qui peuvent tout à fait faire l'objet de modulations en phase chantier, comme par exemple :

- > Ponctuellement moduler l'emprise globale des travaux (en accord avec l'entreprise et l'écologue), pour permettre d'éviter une zone sensible ponctuelle. Dans ce cas, l'emprise de la zone sensible est mise en défens (cf. ME1). Soit par les mesures détaillées dans la MR15.
- > Décaler la zone de dépôt des terres.
- > MR3 (étrépage): Cette méthode sera appliquée pour les emprises des pylônes, les travaux d'enfouissement de réseau en milieu naturel.

A noter que la végétation actuelle des pistes ainsi que celle autour de la gare aval G1 Grand Coin, est peu qualitative d'un point de vue de son cortège floristique. De ce fait, aucun étrépage n'est préconisé pour ces secteurs. L'ensemencement de ces zones avec un mélange de graines adaptées, indiqué dans la mesure MR_9, est la solution la plus appropriée pour la reconstitution des zones des travaux, dans une vision d'amélioration des caractéristiques existantes. La gare amont G2 ne présente pas une disponibilité de sol suffisamment épais pour l'application de cette technique.

- > MR9 (végétalisation par semis): La technique de revégétalisation par apport d'un semis herbacé sera mise en œuvre dans les secteurs dégradés à restaurer et pour la revégétalisation des secteurs à terrasser qui ne pourront pas recourir à la technique d'étrépage pour des raisons différentes : épaisseurs de sol insuffisantes, stockage de mottes étrépees impossible, pente trop importante, talus, surface trop importante, etc.

Le mélange intégrera des espèces issues de la filière de production « Végétal local », spécialement conçue pour la restauration de milieux naturels dégradés en comprenant d'espèces spécialement adaptées

Le mélange proposé est disponible en annexe ; sa formulation a été validée par un producteur de la filière « Végétal local » qui a confirmé la disponibilité des graines des espèces choisies.

- | OPÉRATIONS ET PERIODES SENSIBLES | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|--|---|---|--|---|---|---|---|---------------------------------------|---|---|---|
| Rhopalocères | Présents à l'année | | | | | | | | | | | |
| Avifaune | | | | | | | | | | | | |
| Lagopède alpin | | | | | | | | | | | | |
| Reptiles | | | | | | | | | | | | |
| Chiroptères | | | | | | | | | | | | |
| Ecureuil roux | | | | | | | | | | | | |
| Toutes les opérations | | | | | | | | | | | | |
| Défrichements | | | | | | | | | | | | |
| Rotations d'hélicoptère | | | | MR2 : Horaire des rotations | | | | | | | | |
| TK Grand coin et TK du Lac | | | | | | | | | | | | |
| Démantèlement des TK | | | | Partie haute des TK → passage d'un écologue en amont | | | | | Partie basse des TK (landes et forêt) | | | |
| Terrassements de la G1 | | | | | | | | | | | | |
| Terrassement de la G2 | | | | Démarrage des travaux possible s'ils sont réalisés dès la fonte des neiges | | | | | | | | |
| Terrassements et installations des pylônes et du multipaire | | | | Uniquement les pylônes P7 à P11 (possible uniquement s'ils sont réalisés dès la fonte des neiges) | | | | | Pylônes P1 à P6 | | | |
| Enfouissement ligne HTA | | | | Démarrage des travaux possible s'ils sont réalisés dès la fonte des neiges sur la partie haute (à hauteur de P7) | | | | | Partie basse | | | |
| Piste Cugne | | | | | | | | | | | | |
| Terrassement de la piste | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | Période sensible à éviter | | | | | | | | | | | |
| | Période à éviter selon l'enneigement – mesures nécessaires | | | | | | | | | | | |
| | Période favorable aux travaux | | | | | | | | | | | |
| | Période autorisée sous conditions | | | | | | | | | | | |

13

c'est-à-dire capables de se déplacer pratiquement comme un adulte dès la naissance ou dans leurs premiers jours). A cette date, il peut être considéré que les œufs ont éclos depuis plusieurs semaines et donc que les petits sont mobiles.

Néanmoins, le maître d'ouvrage s'engage à réaliser les défrichements à partir du 1^{er} septembre (contre le 15 août initialement).

Concernant les rotations d'hélicoptère, une mesure de réduction est envisagée pour les opérations réalisées avant mi-août. Il est également rappelé que les travaux sur la gare de départ du TS Grand coin et les premiers pylônes ne pourront pas avoir lieu avant mi-août, notamment du fait de la présence du Tétrasyre.

Il est précisé que les périodes sensibles pour la faune sont définies dans ce tableau de manière générale. Néanmoins, selon les conditions de l'année des travaux (neige tardive par exemple), ces périodes sont susceptibles d'évoluer légèrement selon le contexte local de l'année en question. Elles pourront donc potentiellement être ajustées dans le cadre du suivi environnemental des travaux, après avis d'un écologue.

Concernant les mesures de compensation, il est rappelé que toutes les surfaces définies à ce jour sont de maîtrise foncière communale. Toutes ces parcelles feront prochainement (en cours d'organisation) l'objet d'une délibération du conseil municipal pour apporter des garanties d'engagement de la commune à réaliser ses mesures compensatoires.

Concernant la mesure MC5 (APPB) : le périmètre de l'APPB a été revu pour intégrer l'ensemble du vallon de Cléry et les stations de *Carex glacialis* connues. La surface de la mesure compensatoire évolue significativement puisqu'elle passe de 290 ha à 385 ha. Le plan du nouveau périmètre est annexé à la présente note (annexe 4).

De plus une carte des mesures compensatoires liées à la phase 2-A est jointe à la présente note (annexe 5).

Le tableau ci-dessous synthétise les surfaces des mesures compensatoires au regard des surfaces impactées :

MESURES COMPENSATOIRES	SURFACE DE LA MESURE COMPENSATOIRE	SURFACE D'IMPACT RESIDUEL GLOBALE
MC_1 : Création d'îlots de senescence	10 ha	6,3 ha (défrichement)
MC_7 : Création d'îlot d'arbres bio	8 ha	
MC_12 : Reboisement sur l'emprise du domaine skiable	4,1 ha	
MC_13 : Crochetage pour régénérer la forêt	16 ha	
MC_2 : Démontage et évacuation d'anciens vestiges des remontées mécaniques	-	-
MC_3 : Réhabilitation de secteurs dégradés	2,9 ha	18 ha de milieux naturels impactés
MC_5 : Création d'un APPB dans le vallon de Cléry	385 ha	
MC_10 : Abandon et réhabilitation d'une piste 4x4	0,8 ha	
MC_4 : Remise en état d'anciens murs en pierre sèches autour du fort de la turra	-	-
MC_6 : Limitation du dérangement du Tétrasyre	28 ha	6,3 ha (défrichement)
MC_8 : Restauration de places de chant du Tétrasyre	-	
MC_9 : Compensation des émissions de carbone	-	-

MESURES COMPENSATOIRES	SURFACE DE LA MESURE COMPENSATOIRE	SURFACE D'IMPACT RESIDUEL GLOBALE
MC_11 : Mise en culture de graines et réimplantation d'espèces protégées	-	-

1.8. PRELEVEMENTS EN EAU

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
27	« L'Autorité environnementale recommande de présenter l'évolution annuelle des prélèvements dans l'Arc et dans la prise d'eau du Chatel au regard des choix d'enneigement artificiel des différents secteurs du domaine skiable, et de l'évolution attendue des températures du fait du changement climatique afin de garantir que la réalisation du projet n'aura pas pour effet, même temporairement, d'augmenter les prélèvements en eau pour la production de neige de culture, à l'échelle du domaine skiable. »

Préambule

La production de neige de culture nécessite de l'eau, de l'air, du froid et de l'énergie. Dans un contexte d'évolution attendue des températures et de préservation de la ressource en eau, l'objectif de cette note est de synthétiser les choix réalisés par le maître d'ouvrage dans la cadre de la gestion de son installation de neige de culture.

La phase 2B du programme, ici présentée, a pour triple objectif :

- > d'effectuer des choix stratégiques de production sur les secteurs du domaine skiable pour ne pas augmenter la pression sur la ressource en eau, tout en améliorant l'offre du domaine skiable,
- > d'optimiser les temps de production pour faire face à la réduction des plages de production,
- > d'optimiser la consommation énergétique de l'installation.

Structure et maillage des réseaux

Installation existante

L'installation de neige de culture de la station de Val Cenis couvre une surface de 94 ha soit 56 % du domaine skiable.

Le réseau actuel de neige de culture du domaine skiable de Val Cenis est composé de 2 installations fonctionnant de manière indépendante :



1) Secteur Val Cenis Termignon : (contour bleu sur le plan des pistes ci-dessus)

Type de réseau : Surpressé - débit max 300 m3/h

Alimentation en eau : Prise d'eau de l'Arc (1300 m)

						Période de production				Temps de production (h)
Secteur d'enneigement	Volume consommé (m3)	Altitude Pt bas (m)	Altitude Pt haut (m)	Exposition	Surface Ha	Nov.	déc.	janv.	fév.	
5 Termignon bas	68 000	1 300	1 550	O / NO	7,37		x	x	x	227
6 Termignon intermédiaire	32 000	1 550	2 100	NO	8,04	x	x			107
Total	100 000				15,41					333

2) Secteur de Val Cenis Lanslevillard à Val Cenis Lans Lebourg : (Contour rouge sur le plan des pistes ci-dessus)

Type de réseau : Gravitaire et surpressé - débit max 750 m3/h

Alimentation en eau : Fenêtre du Chatel (1975 m) – Piquage sur galerie d'amenée d'eau EDF au barrage du Mont Cenis

						Période de production				Temps de production (h)
Secteur d'enneigement	Volume consommé (m3)	Altitude Pt bas (m)	Altitude Pt haut (m)	Exposition	Surface Ha	Nov.	déc.	janv.	fév.	
1 Lanslevillard boosté	113 000	1 750	2 540	NO	31.31	x				377
2 Gravitaire Lanslevillard / Lanslebourg	210 000	1 400	1 800	N / NO	37.14	x	x			420
3 Lanslebourg boosté	27 000	1 750	2 340	N / NO	10.06		x	x		180
Total	350 000				78.51					467

Synthèse installation existante (1+2) :

- Surface : 94 ha
- Volume d'eau = 450 000 m³
- Capacité de production = 750 + 300 = 1050 m³/h
- Temps de production = 467 h

Installation projetée

La surface des pistes de ski, équipées en neige de culture, sera de 103 ha, soit 62 % du domaine skiable.

Le réseau projeté de neige de culture du domaine skiable de Val Cenis est composé de 2 installations pouvant fonctionner de manière interconnectée.

Le volume d'eau global prélevé n'évolue pas.



1) Secteur Val Cenis Termignon : (Contour bleu sur le plan des pistes ci-dessus)

Type de réseau : Surpressé - débit max 300 m³/h

Alimentation en eau : Prise d'eau de l'Arc (1300 m)

						Période de production				Temps de production (h)
Secteur d'enneigement	Volume consommé (m ³)	Altitude Pt bas (m)	Altitude Pt haut (m)	Exposition	Surface Ha	Nov.	déc.	janv.	fév.	
5 Termignon bas	68 000	1 300	1 550	O /NO	7,37		x	x	x	227
Total	68 000				7.37					227

2) Secteur de Val Cenis Lanslevillard à Val Cenis Lans - Liaison Termignon : (Contour rouge sur le plan des pistes ci-dessus)

Type de réseau : Gravitaire et surpressé - débit max 2 000 m³/h

Alimentation en eau : Fenêtre du Chatel (1975 m) – Piquage sur galerie d'amenée d'eau EDF au barrage du Mont Cenis

						Période de production				Temps de production (h)
Secteur d'enneigement	Volume consommé (m ³)	Altitude Pt bas (m)	Altitude Pt haut (m)	Exposition	Surface Ha	Nov.	déc.	janv.	fév.	
1 Lanslevillard boosté	101 700	1 750	2 540	NO	31,31	x				170

2	Gravitaire Lanslevillard / Lanslebourg	192 000	1 400	1 800	N / NO	37,14	x	x			137
3	Lanslebourg boosté	24 300	1 750	2 340	N / NO	10,06		x	x		162
4	Gravitaire Alps	16 000	1 400	1 750	N	4,40		x	x		32
6	Termignon intermédiaire	32 000	1 550	2 100	NO	8,04	x	x			107
7	Termignon haut	16 000	2 100	2 450	N / NO	4,80	x	x			107
	Total	382 000				95,75					170

Synthèse installation projetée (1+2) :

- Surface : 103 ha
- Volume d'eau = 450 000 m³
- Capacité de production = 2000 + 300 = 2300 m³/h
- Temps de production = 227 h

Secteurs à enneiger

Deux nouveaux secteurs sont équipés d'enneigeurs.

Le secteur n° 4 de l'Alpin permet la liaison entre Lanslebourg et Termignon. Son altitude modeste entre 1400 m et 1750 m est compensée par une orientation plein Nord, très favorable.

Le secteur n°7 Termignon Haut est un secteur d'altitude entre 2100 et 2450 m, orienté au Nord, Nord-Ouest. L'enneigement sur ce secteur permet de sécuriser l'exploitation du TSD Grand Coin.

Pour ne pas accroître la pression sur la ressource en eau, l'exploitant fait le choix de réduire sa production d'environ 10 % sur les secteurs Lanslebourg et Lanslevillard.

Synthèse

La création de nouveaux secteurs est conditionnée par :

- La baisse de production de neige sur le reste du domaine skiable
- Le choix de liaison stratégique présentant une orientation favorable à la production et au maintien du manteau neigeux
- Secteur d'altitude présentant de bonne garantie sur les conditions d'enneigement

Disponibilité de la ressource en eau

Prise d'eau galerie du Chatel (1975 m)

La SEM de Val-Cenis dispose d'une convention avec EDF pour le prélèvement dans la galerie du Chatel : prélèvement entre le 01/11 et 30/03 de 450 000 m³ au débit max de 750 m³/h.

En 2022, EDF a réalisé une étude hydrologique des apports naturel dans la galerie du Chatel afin d'évaluer la disponibilité de la ressource en eau sur la période hivernale. L'étude a été menée sur la base des valeurs mesurées sur la station hydrométrique du FEOZ. La station du FEOZ est située en aval de la station de prélèvement de Val-Cenis. La chronique de données journalière est disponible sur la période 1970-2022. L'étude est menée sur la période 1999-2021.

Les résultats de cette étude montrent que pour une demande en eau au débit instantané de 2000 m³/h :

- Le débit journalier(Q50) au droit de la prise est suffisant sur la période du 01/11 au 31/01
- La probabilité de ne pas atteindre ce débit est très faible (<10 %) sur la période du 01/11 au 15/12
- La probabilité de ne pas atteindre ce débit augmente ensuite entre le 15/12 et le 31/01 pour atteindre 58 % sur la dernière quinzaine de janvier. Sur cette période

(16/01 au 31/01) la probabilité d'atteindre un débit de 1400 m³/h est très importante > 89 %.

Dans le cadre de l'installation projetée, ci-dessous les volumes à prélever pour réaliser la production de neige :

		Période de production		
Secteur enneigement		Nov.	déc.	janv.
1	Lanslevillard boosté	101 700 m ³		
2	Gravitaire Lanslevillard / Lanslebourg	96 000 m ³	96 000 m ³	
3	Lanslebourg boosté		12 150 m ³	12 150 m ³
4	Gravitaire Alpines		8 000 m ³	8 000 m ³
6	Termignon intermédiaire	16 000 m ³	16 000 m ³	
7	Termignon haut	8 000 m ³	8 000 m ³	
SS total		221 700 m ³	140 150 m ³	20 150 m ³
Total général		382 000 m ³		
Volume produit Q50 sur la période au niveau de la prise d'eau du Chatel		3 759 045 m ³	2 134 166 m ³	1 470 488 m ³
Total		7 363 699 m ³		

Sur les mois de novembre et décembre le prélèvement représente 6 % du volume produit au niveau de la prise d'eau de la Galerie du Chatel.

Prise d'eau de l'Arc (1300 m)

Le pompage, situé au niveau de la prise d'eau de l'Arc, a une capacité maximale de 300 m³/h.

Le volume de prélèvement est actuellement de 100 000 m³

Le maillage des réseaux neige, prévu dans l'installation projetée, permet de transférer une partie de ce prélèvement sur la prise d'eau de la galerie du Chatel.

Dans le cadre de l'installation projetée, le volume pour réaliser la production de neige de culture serait ramenée à 68 000 m³, à prélever entre décembre et février.

Synthèse

La prise d'eau du Chatel présente des garanties quant au volume et la disponibilité de la ressource.

La prise d'eau du Chatel située en altitude présente un avantage pour la production de neige de culture.

Exploitation des périodes de froids et optimisation du temps de production

85% du volume de production de neige de culture est réalisé sur la période d'avant saison (novembre et décembre).

L'étude Climsnow sur la station de Val Cenis permet de caractériser l'évolution du potentiel de froid à l'altitude la plus basse de la station.

Cette étude permet d'évaluer les fenêtres de froid, dans le cas du pire scénario (RC8.5) à différents horizons :

Année	2020	2030	2040	2060
Nb d'heures (h) entre -1°C et -4°C	300	300	280	220
Nb d'heures (h) entre -4°C et -6°C	150	140	125	100
Nb d'heures (h) à moins de -6°C	150	120	100	90
Total (h)	600	560	505	410

On constate une diminution continue du potentiel de froid. A l'horizon 2060, la fenêtre de production (température <-3°C humide) est réduite d'environ 30 %.

Bien que significativement diminuée, la fenêtre de production d'avant saison (environ 300 h), reste compatible avec les temps de production nécessaires à la réalisation de la production de neige sur les mois de novembre et décembre. L'installation projetée nécessitera moins de 170 h de fonctionnement pour réaliser 100 % du volume à produire. Les conditions de ressources (volume disponible) et de capacité de production (débit instantanée) projetés permettent d'adapter l'installation à la réduction des fenêtres de production.

Synthèse

A l'horizon 2060 et dans le scénario RC8.5, le potentiel de froid à l'altitude du bas de la station (1300m) reste suffisant pour assurer la production de neige, sous réserve d'adapter l'installation pour optimiser les temps de production.

Optimisation de la puissance installée

Le process de fabrication de la neige nécessite de l'eau et de l'air sous pressions.

Une pression d'eau minimale d'environ 20 bars est nécessaire au fonctionnement des enneigeurs.

La prise d'eau de l'Arc est située à 1300 m en point bas de l'installation. Les pistes enneigées à partir de cette ressource nécessitent un pompage pour acheminer l'eau sur le point de production (dénivelée de 700 m entre le point bas et le point haut du secteur Termignon) et pour la suppression du réseau.

La prise d'eau de la galerie du Chatel est située à 1975 m d'altitude. Les pistes, des secteurs n°2 Gravitaire Lanslevillard / Lanslebourg et du secteur n°4 Gravitaire Alpin, situées à une altitude inférieure à 1800 m ont un fonctionnement purement gravitaire et ne nécessitent aucun groupe de pompage pour fonctionner. Ainsi près de 50 % de la production de neige est réalisée uniquement gravitairement. Les pistes de ski situées au-dessus de 1800 m nécessitent l'utilisation d'un groupe de pompage.

Le maillage des 2 réseaux de production de neige de culture, permet de profiter d'une hauteur d'eau de 675 mce pour la production de neige sur les secteurs n°4 Gravitaire Alpin, n°7 Termignon Haut et N°6 Termignon intermédiaire.

Synthèse

La prise d'eau du Chatel située à 1975 m d'altitude dispose d'une hauteur d'eau significative par rapport à la prise d'eau de l'Arc. Le maillage de l'installation permet d'optimiser les temps de production en minimisant la puissance installée.

1.9. EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
28	« L'Autorité environnementale recommande : - d'intégrer dans le bilan des émissions des gaz à effet de serre l'ensemble des émissions induites par le projet de restructuration et notamment celles liées aux déplacements des usagers en toutes saisons ; - de reconsidérer le niveau des incidences du projet s'il y a lieu et de définir des mesures visant à les éviter, les réduire ou les compenser ; - de préciser comment l'opération contribue à l'atteinte de l'objectif national de neutralité carbone à l'horizon 2050. »

Il est précisé dans l'étude d'impact que « les projets des phases 2-B et 3 n'étant pas encore aboutis, [les émissions de GES traitées concernent] seulement la phase 1 et 2-A. Une mise à jour de l'étude sera faite lorsque les projets des prochaines phases seront définis précisément ». Les émissions estimées sont les suivantes :

TABLEAU : SYNTHÈSE DES ÉMISSIONS DE GES DU PROJET EN PHASE TRAVAUX ET EXPLOITATION. SOURCE DES DONNÉES : VAL CENIS, 2025

	PHASE TRAVAUX (APPAREIL 100% NEUF)	PHASE TRAVAUX (SCÉNARIO REEMPLOI)	PHASE EXPLOITATION
TSD ROCHES BLANCHES	1 146 t _{CO2e} (Scénario non retenu)	421 t _{CO2e} (Scénario retenu)	18 t _{CO2e} /an
PISTE FLAMBEAU	24 t _{CO2e}	24 t _{CO2e}	52 t _{CO2e} /an
TOTAL PHASE 1	1 170 t_{CO2e} (Scénario non retenu)	445 t_{CO2e} (Scénario retenu)	70 t_{CO2e}/an
TS GRAND COIN	1494 t _{CO2e}	518 t _{CO2e}	22 t _{CO2e} /an
TELECOMBI RAMASSE	-	104 t _{CO2e}	31 t _{CO2e} /an
VANOISE EXPERIENCE	40 t _{CO2e}	-	0,5 t _{CO2e} /an
TOTAL PHASE 2-A	1638 t_{CO2e}	662 t_{CO2e}	53,5 t_{CO2e}/an

A noter que le scénario de réemploi a finalement été validé dernièrement pour la phase 2-A également.

Ainsi, tenant compte de la phase travaux et en phase exploitation (phase 1 et 2-A), les émissions s'élèvent chaque année, pendant 35 ans, à 155 t_{CO2e}.

Dans l'hypothèse où les phases 2-B et 3 viendraient doubler ce bilan, les émissions de l'ensemble du projet de restructuration s'élèveraient à environ 300 t_{CO2e}/an pendant 35 ans. Ces émissions annuelles sont équivalentes à celles d'un français moyen sur environ 27 ans. Ces émissions ne sont certainement pas négligeables et participent au changement climatique.

A noter que suivant la dernière mise à jour réalisée, le bilan carbone global de Val Cenis est de 55 064 t_{CO2e}/an.

Les émissions liées aux déplacements des usagers ont également été évaluées, y compris tenant compte de l'évolution de la fréquentation en toutes saisons. Pour rappel, les émissions **par passager** en moyenne ont été estimées à :

	2023-2024	2030
Saison hivernale	159 kg _{CO2e}	153 kg _{CO2e}
Saison estivale	146 kg _{CO2e}	125 kg _{CO2e}

La prise en compte de l'augmentation de la proportion de véhicules électriques explique la diminution des émissions liées aux déplacements à fréquentation égale (en saison hivernale 2030) ou plus importante (en saison estivale 2030). La possible augmentation de fréquentation du secteur en saison estivale est prise en compte et se reflète peu sur les émissions car un report des modes de transport est attendu vers les transports en commun et les véhicules électriques.

Si cette deuxième alternative vient des choix de mode de vie des usagers, la première nécessiterait une politique publique favorisant le développement des mobilités partagées pour l'accès au site. Même si le domaine skiable met déjà en place ce type de solution (20€ de réduction par personne sur le forfait de ski 6 jours ou plus pour toute réservation effectuée sur directvalcenis.com (train + bus uniquement)).

A noter que le projet de modernisation du domaine skiable et diversification envisagé permet plus facilement le déplacement au sein de la station par les remontées mécaniques plutôt qu'en utilisant la voiture.

Il est également rappelé dans l'étude d'impact que les déplacements touristiques représentent 29% des émissions de la commune et sont donc le principal levier de diminution des émissions de GES à l'échelle de la destination touristique Val Cenis. Des solutions existent déjà pour inciter à un changement des mobilités. Par exemple, le comparateur d'empreinte carbone de l'ADEME qui permet d'estimer les émissions liées à un déplacement est mis en valeur sur le site internet Haute-Maurienne Vanoise. Il peut être mis à disposition de façon accessible sur le site de Val Cenis, accompagné de solutions de mobilités douces ou partagées existantes.

Parmi les mesures de compensation proposées dans l'étude d'impact, le reboisement (4,1 ha, MC 12), les opérations de crochelage (16 ha, MC 13) contribueront à séquestrer du carbone. La Base Carbone ADEME v23.4 précise que les forêts fermées de Conifères de Rhône-Alpes permettent la séquestration de 4 170 kg CO_{2e} par hectare et par an. Aussi, pour les surfaces concernées, cela correspond à un captage de carbone de 119 tCO_{2e} chaque année (ou 4 174 tCO₂ sur 35 ans).

La trajectoire fixée par la stratégie nationale bas carbone (SNBC) vise à réduire de moitié les consommations énergétiques à horizon 2050 par rapport à 1990.

Le domaine skiable de Val Cenis affiche des engagements en termes de transition environnementale. La commune, le domaine skiable et l'Office du Tourisme sont engagés dans la démarche « Flocon Vert » (label obtenu en 2021) qui reconnaît l'engagement durable d'une destination touristique de montagne au travers 20 indicateurs, dont celui de la gestion de l'énergie. Le domaine skiable a réalisé un bilan énergétique de ses bâtiments, équipements et activités et s'est fixé des objectifs de réduction des consommations. Le domaine a ainsi réduit ses consommations de 5% sur l'année 2022-2023. Si cet effort est maintenu dans la durée, une réduction annuelle de 5% de la consommation par rapport à l'année précédente peut en effet permettre à Val Cenis d'être cohérent avec la SNBC.

De plus, pour mémoire dans l'objectif de maintenir cette diminution des consommations énergétiques, le domaine skiable s'est engagé également dans diverses mesures :

- > L'installation de panneaux photovoltaïques sur les locaux de commande des nouveaux appareils, dont la production est destinée à l'usage domestique ;
- > L'optimisation de la consommation énergétique des remontées mécaniques, adaptée en permanence selon l'affluence des secteurs ;
- > La récupération de la chaleur produite par la TC du Vieux Moulin sert au chauffage de la salle hors-sac au sommet de la remontée ;
- > L'utilisation d'une dameuse électrique, nettement moins émettrice de GES ;
- > L'utilisation d'énergie renouvelable, l'hydroélectricité, pour l'alimentation des remontées mécaniques, des enneigeurs et des locaux, provenant directement du barrage du Mont Cenis.

La diversification et l'efficacité de ces engagements appuient l'investissement du domaine skiable dans l'objectif de la SNBC de réduction de moitié des consommations énergétiques, et participe à la décarbonation des sources d'énergie.

1.10. PAYSAGE ET PATRIMOINE BATI

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
29	« L'Autorité environnementale recommande de présenter des insertions paysagères en périodes d'enneigement et estivale, à une échelle idoine pour apprécier le niveau des incidences paysagères des différents aménagements prévus notamment dans le secteur du replat des Canons. »

Pour rappel, sur le secteur du Replat des canons, l'évaluation environnementale présente d'ores et déjà les insertions paysagères du projet du Grand Coin en période estivale (page 263).

Néanmoins voici-dessous les insertions paysagères (hiver/été) du projet Grand Coin et Vanoise expérience.



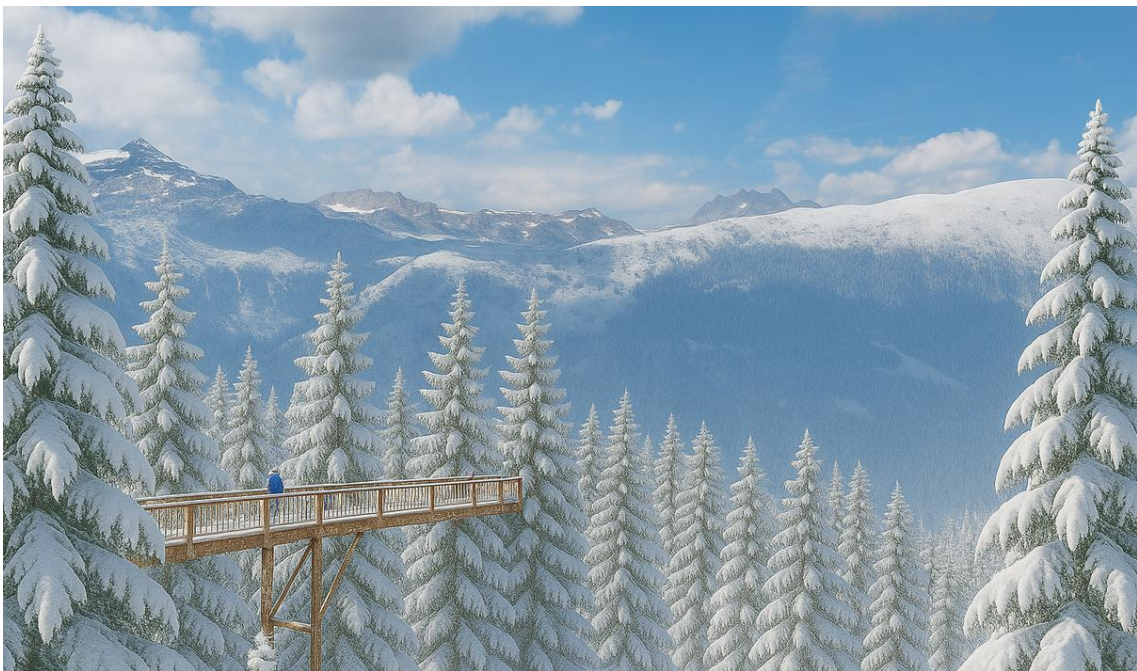
Vue sur le secteur du Replat des canons (état actuel). À noter : l'état dégradé de la végétation herbacée aux abords de la piste 4x4. Source Karum été 2023



Simulation paysagère de la gare aval du Grand Coin déplacée de 20 mètres vers le pied de la piste Grand Coin + l'entrée de la passerelle Vanoise expérience. Source CNA et MBS



Simulation paysagère de la gare aval du Grand Coin + l'entrée de la passerelle Vanoise expérience (saison hivernale). Source CNA et MBS



Simulations paysagères de la passerelle Vanoise expérience (saison estivale/hivernale). Source MBS

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
29	« L'Autorité environnementale réitère sa demande de produire des études approfondies spécifiques à certaines opérations et en particulier au téléphérique de la Turra. »

Les études approfondies spécifiques des projets en phase 2-B et 3 seront fournies dans le cadre des demandes d'autorisation relatives à ces projets. En effet, à ce stade, ces projets ne sont pas encore définis précisément et de manière définitive. Néanmoins, conformément à la demande ils sont intégrés d'ores et déjà l'évaluation environnementale pour permettre d'avoir une vision globale (en l'état actuel des connaissances).

A noter néanmoins que concernant le projet de téléphérique, une note technique préliminaire a été produite (cf. annexe 7).

1.11. MESURES DE SUIVI

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
30	« L'Autorité environnementale recommande d'étendre le suivi des mesures de revégétalisation jusqu'à cicatrisation des milieux et plus généralement d'assurer un suivi de la mise en oeuvre puis de l'efficacité des mesures ERC de l'ensemble du projet pendant toute la durée du projet, y compris l'exploitation, et de définir les indicateurs de suivi des mesures compensatoires et les critères de succès associés afin de vérifier l'atteinte des objectifs poursuivis et d'en faire communication au public..

Le suivi de la revégétalisation (MS4) sera étendu jusqu'à cicatrisation des milieux (un bilan sera réalisé 10 ans après l'opération et si nécessaire, le suivi sera reconduit). En fonction des résultats, des mesures correctives pourront être mises en place.

Le tableau figurant page suivante synthétise les indicateurs, les modalités et temporalité des mesures de suivi envisagé (le tableau est actualisé par rapport à la version présentée dans l'évaluation environnementale. Les mentions en **bleu** correspondent aux parties modifiées).

MESURES	INDICATEUR	MODALITES DE SUIVI	TEMPORALITE DU SUIVI	PRODUCTEUR DE LA DONNEE
ME_1 : Mise en défens des zones sensibles proches des zones de travaux	Présence/absence des mises en défens autour des secteurs sensibles.	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Durant toute la durée du chantier	Écologue mandaté
ME_2 : Éviter les risques de pollution des milieux sensibles et/ou de la dégradation de la qualité de l'eau	Présence/absence visuelle de pollution ou dégradation des milieux sensibles	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Durant toute la durée du chantier	Écologue mandaté
ME_3 : Concertation préalable avec les exploitants agricoles	Echange avec le maître d'œuvre et le pétitionnaire	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Avant la phase chantier	Maître d'œuvre mandaté
ME_4 : Mesures visant à éviter le risque d'introduction d'espèces invasives	Présence/absence d'EEE.	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Pendant la phase chantier et à la fin du chantier	Écologue mandaté
ME_5 : Mise en sécurité des zones de chantier	Présence/absence des mesures de sécurité	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Durant toute la durée du chantier	Maître d'œuvre mandaté
ME_6 : Adaptation du plan de circulation et des zones de chantier	Présence/absence de traces de divagation ou de véhicules en dehors de la piste existante	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Durant toute la durée du chantier	Écologue mandaté
ME_7 : Inventaire complémentaire	Liste de présence des espèces identifiées	Action ponctuelle		Écologue mandaté
ME_8 : Evolution du projet au regard des sensibilités environnementales	Comparatif impacts bruts/résiduels	-	-	-
ME_9 : Passage d'un écologue avant le démarrage des travaux	Présence/absence de nichées ou d'individus en reproduction	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Avant la phase chantier	Écologue mandaté
MR_1 : Réduction des emprises travaux sur les secteurs sensibles	Trace GPS des emprises travaux	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Durant toute la durée du chantier	Écologue mandaté

MESURES	INDICATEUR	MODALITES DE SUIVI	TEMPORALITE DU SUIVI	PRODUCTEUR DE LA DONNEE
MR_2 : Adaptation des horaires de rotations des hélicoptères aux enjeux Galliformes	Echange avec le maitre d'œuvre et les entreprises	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Durant toute la durée du chantier	Écologue mandaté
MR_3 : Mise en œuvre de la méthode d'étrépage	Reportage photographique Suivi floristique	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu) MS4 : Suivi des différentes méthodes de végétalisation	MS1 : Pendant la phase chantier MS4 : N+1, N+2, N+5, N+7 et N+10	Écologue mandaté
MR_4 : Intégration architecturale pour les gares et locaux associés, choix des matériaux et couleurs	Reportage photographique	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu) MS 3 : Suivi de l'efficacité des mesures environnementales	MS 1 : Pendant la phase chantier MS 3 : Suivi annuel pendant 5 ans après fin des travaux	Ecologue mandaté Paysagiste mandaté
MR_5 : Insertion paysagère et topographique des massifs de pylônes				
MR_6 : Traitement cohérent des talus et raccords au terrain naturel				
MR_7 : Traitement irrégulier des lisières				
MR_8 : Récolte des semences avec la technique du broissage	Reportage photographique Suivi floristique	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu) MS4 : Suivi des différentes méthodes de végétalisation MS 3 : Suivi de l'efficacité des mesures environnementales	MS 1 : Pendant la phase chantier MS4 : N+1, N+2, N+5, N+7 et N+10 MS 3 : Suivi annuel pendant 5 ans après fin des travaux	Ecologue mandaté Paysagiste mandaté
MR_9 : Végétalisation par semis herbacé				
MR_10 : Mise en culture et plantation de landes				
MR_11 : Création des redans végétalisés sur le versant	Reportage photographique	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu) MS 3 : Suivi de l'efficacité des mesures environnementales	MS 1 : Pendant la phase chantier MS 3 : Suivi annuel pendant 5 ans après fin des travaux	

MESURES	INDICATEUR	MODALITES DE SUIVI	TEMPORALITE DU SUIVI	PRODUCTEUR DE LA DONNEE
MR_12 : Adaptation du calendrier des travaux en fonction des périodes sensibles de la faune	Echange avec le maitre d'œuvre et les entreprises	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Pendant la phase chantier	Ecologue mandaté
MR_13 : Installation de balises avifaune	Présence/absence des visualisateurs	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Pendant la phase chantier	Ecologue mandaté
MR_14 : Mesures visant à réduire les émissions de poussières	Evaluation visuelle	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Pendant la phase chantier	Ecologue mandaté
MR_15 : Adaptation des modalités techniques concernant l'enfouissement des réseaux	Echange avec le maitre d'œuvre et les entreprises	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Pendant la phase chantier	Ecologue mandaté
MR_16 : Reprise de la topographie pour préserver les milieux humides et aquatiques	Echange avec le maitre d'œuvre et les entreprises	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Pendant la phase chantier	Ecologue mandaté
MR_17 : Transplantation d'espèces végétales protégées	Reportage photographique Suivi floristique	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu) MS4 : Suivi des différentes méthodes de végétalisation MS6 : Suivi de la transplantation d'espèces protégées	MS1 : Pendant la phase chantier MS4 : N+1, N+2, N+5, N+7 et N+10 MS6 : N+1, N+2, N+3, N+5, N+7, N+9 et N+10	Ecologue mandaté
MR_18 : Démontage progressif des arbres à gîtes	Reportage photographique	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Pendant la phase chantier	Ecologue mandaté
MR_19 : Encadrement de l'afflux touristique et sensibilisation du public aux enjeux écologiques de l'APPB du vallon de Cléry et du secteur de la Turra	À définir dans le cadre du plan de gestion de l'APPB (MC5).			Ecologue mandaté

MESURES	INDICATEUR	MODALITES DE SUIVI	TEMPORALITE DU SUIVI	PRODUCTEUR DE LA DONNEE
MR_20 : Intégration architecturale de la passerelle Vanoise expérience	Reportage photographique	MS 3 : Suivi de l'efficacité des mesures environnementales	Suivi annuel pendant 5 ans après fin des travaux	Paysagiste mandaté
MR_21 : Gestion des flux touristiques au sein du replat des canons	Présence/absence des dispositifs	MS 3 : Suivi de l'efficacité des mesures environnementales	Suivi annuel pendant 5 ans après fin des travaux	Paysagiste mandaté
MR_22 : Préconisations environnementales pour les défrichements	Evaluation visuelle	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Pendant la phase chantier	Ecologue mandaté Paysagiste mandaté
MC_1 : Création d'îlots de sénescence	Inventaires et cartographie des habitats naturels Inventaires faune et flore IBP	MS 2 : Rapport décennal	Pendant 99 ans	Ecologue mandaté
MC_2 : Démontage et évacuation d'anciens vestiges des remontées mécaniques	Présence/absence d'anciens éléments des téléskis, de déchets...	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Pendant la phase chantier	Ecologue mandaté
MC_3 : Réhabilitation des secteurs dégradés dans les alpages de la grande Turra	Relevé floristique Taux de recouvrement Définition des éléments stationnels Suivi présence/absence Suivi individus centrés Suivi fréquence	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu) MS5 et MS3 : Rapport annuel MS 3 : Suivi de l'efficacité des mesures environnementales MS_5 : Suivi de la reprise de la lande	MS1 : Pendant la phase chantier MS5 : N+1, N+2, N+4 et N+6 MS 3 : Suivi annuel pendant 5 ans après fin des travaux	Ecologue mandaté Paysagiste mandaté
MC_4 : Remise en état anciens murs en pierres sèches autour du fort de la Turra	Reportage photographique	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	MS 1 : Pendant la phase chantier et à la fin du chantier	Paysagiste mandaté

MESURES	INDICATEUR	MODALITES DE SUIVI	TEMPORALITE DU SUIVI	PRODUCTEUR DE LA DONNEE
		MS 3 : Suivi de l'efficacité des mesures environnementales	MS3 : Suivi annuel pendant 5 ans après fin des travaux	
MC_5 : Création d'un APPB dans le vallon de Cléry	À définir dans le cadre du plan de gestion, en concertation avec les services de l'état			Ecologue mandaté
MC_6 : Limitation du dérangement du Tétrasyre	Présence/absence de Tétrasyre au sein des nouvelles zones de quiétudes hivernales Suivi des crottiers au sein des deux nouvelles zones de quiétudes hivernales Vérification du respect de la signalisation et des éventuels points d'entrée de skieurs dans ces zones	MS 9 : CR Suivis annuels	Suivi annuel pendant 3 ans après fin des travaux N+1, N+2 et N+3	Ecologue mandaté
MC_7 : Création d'îlot d'arbres bio	Inventaires et cartographie des habitats naturels Inventaires faune et flore IBP	MS 2 : Rapport décennal	Pendant 99 ans	Ecologue mandaté
MC_8 : Restauration de places de chant du Tétrasyre	Présence/absence de Tétrasyre sur les places de chant Suivi des crottiers + pose de pièges photos sur les places de chant	MS 8 : CR Suivis annuels	Suivi tous les 5 ans ou suivi annuel pendant 4 ans après fin des travaux N0, N+1, N+2, N+4	Ecologue mandaté ONF
MC_9 : Compensation des émissions de carbone	Présence/absence de compensation des émissions de carbone	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Pendant la phase chantier Après la phase chantier (ONF)	Ecologue mandaté ONF
MC_10 : Abandon et réhabilitation d'une piste 4x4	Relevé floristique Taux de recouvrement Définition des éléments stationnels	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu) MS 3 : Suivi de l'efficacité des mesures environnementales	MS1 : Pendant la phase chantier MS3 : Suivi annuel pendant 5 ans après fin des travaux	Ecologue mandaté

MESURES	INDICATEUR	MODALITES DE SUIVI	TEMPORALITE DU SUIVI	PRODUCTEUR DE LA DONNEE
		MS4 : Suivi des différentes méthodes de végétalisation	MS4 : N+1, N+2, N+5, N+7 et N+10	
MC_11 : Mise en culture de graines et réimplantation d'espèces protégées	Relevé floristique Suivi présence/absence Suivi individus centrés	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu) MS6 : Suivi de la transplantation d'espèces protégées	MS1 : Pendant la phase chantier MS6 : N+1, N+2, N+3, N+4, N+5, N+7, N+9 et N+10	CBNA
MC_12 : Reboisement sur l'emprise du domaine skiable	Inventaires et cartographie des habitats naturels Inventaires faune et flore IBP Taux de survie	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu) MS 2 : Rapport décennal	À définir par l'ONF	ONF/KARUM
MC_13 : Crochetage pour régénérer la forêt				
MA_1 : Mise en place de nichoirs à petites chouettes de montagne	Présence/absence de petites chouettes de montagne et occupation des nichoirs	MS 7 : Suivi des nichoirs a petites chouettes de montagne	Suivi annuel pendant 5 ans après fin des travaux N+1, N+2, N+3, N+4, N+5	Ecologue mandaté ONF
MA_2 : Installation de nichoirs à chiroptères dans le nouveau bâti	Présence/absence de nichoirs à chiroptères dans le nouveau bâti	MS1 : Suivi environnemental du chantier (compte-rendu)	Pendant la phase chantier	Ecologue mandaté

1.12. MISE EN COMPATIBILITE DU DOCUMENT D'URBANISME

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
30	« L'Autorité environnementale recommande de compléter le dossier par la conduite d'une évaluation environnementale de la mise en compatibilité du PLU de la commune déléguée de Lanslebourg, incluant l'analyse des incidences et l'inscription de mesures d'évitement et de réduction de celle-ci dans le document d'urbanisme. »

Comme rappelé précédemment, l'évaluation environnementale est commune au projet d'aménagement (R.122-2 CE) et à la déclaration de projet valant mise en compatibilité du document d'urbanisme (R.104-14 CU).

La déclaration de projet emportant mise en compatibilité du PLU porte exclusivement sur la restructuration et diversification du domaine skiable et aucun autre élément d'urbanisme. Seul le règlement (graphique et écrit) est modifié pour inscrire le projet de télésiège du Grand Coin, la correction de la piste Flambeau du Haut et la construction de la passerelle. Aucune autre pièce (OAP ou PADD) et aucun autre objet n'est inscrit dans la DPMEC. La procédure correspond donc au projet étudié par l'évaluation environnementale datée du 17 février 2025.

En application du R122-27 du code de l'environnement, dans le cadre d'une procédure d'évaluation environnementale commune, le dossier de mise à jour n°1 de l'évaluation environnementale contient bien tous les éléments prévus aux articles R122-20 et R122-5 du même code.

Pour mémoire, le tableau ci-dessous reprend les correspondances entre les éléments mentionnés à l'article R122-20 du CE et les chapitres de l'évaluation environnementale concernés.

ÉLÉMENTS	Art. R.122-20 C.env.	RÉFÉRENCE DES CHAPITRES DE LA PRÉSENTE EVALUATION ENVIRONNEMENTALE
Résumé non technique	II.	Pièce n°1
Présentation générale indiquant les objectifs du plan, et son contenu, son articulation avec d'autres plans, schémas, programmes ou documents de planification.	1°	Pièce n°2 Chapitre 1-6 Chapitre 10
Une description de l'état initial de l'environnement, les perspectives de son évolution probable si le plan n'est pas mis en œuvre, les principaux enjeux environnementaux de la zone dans laquelle s'appliquera le plan et les caractéristiques environnementales des zones qui sont susceptibles d'être touchées par la mise en œuvre du plan.	2°	Pièce n°2 Chapitre 2 Chapitre 8
Les solutions de substitution raisonnables.	3°	Pièce n°2 Chapitre 6
L'exposé des motifs pour lesquels le projet de plan a été retenu.	4°	
L'exposé des incidences notables probables de la mise en œuvre du plan sur l'environnement, et notamment, s'il y a lieu, sur la santé humaine, la population, la diversité biologique, la faune, la flore, les sols, les eaux,	5° a)	Pièce n°2 Chapitre 3

ÉLÉMENTS	Art. R.122-20 C.env.	RÉFÉRENCE DES CHAPITRES DE LA PRÉSENTE EVALUATION ENVIRONNEMENTALE
l'air, le bruit, le climat, le patrimoine culturel architectural et archéologique et les paysages.		
L'exposé de l'évaluation des incidences Natura 2000.	5° b)	Pièce n°2 Chapitre 9
La présentation successive des mesures prises pour éviter, réduire et compenser.	6°	Pièce n°2 Chapitre 7
La présentation des critères, indicateurs et modalités-y compris les échéances-retenus.	7°	Pièce n°2 Chapitre 11 Chapitre 7-1
Une présentation des méthodes utilisées pour établir le rapport sur les incidences environnementales.	8°	Pièce n°2 Chapitre 12
L'avis émis par l'Etat membre de l'Union européenne consulté conformément aux dispositions de l'article L. 122-9 du présent code.	9°	Non concerné à ce stade

Par ailleurs, l'évaluation environnementale contient également les éléments prévus au R151-3 du code de l'urbanisme, et notamment le point 1° correspond à l'articulation et la compatibilité du projet avec les autres documents, plans ou programmes, qui n'est pas prévu par le code de l'environnement.

Concernant la reprise de mesures ERC dans le PLU, dans le règlement :

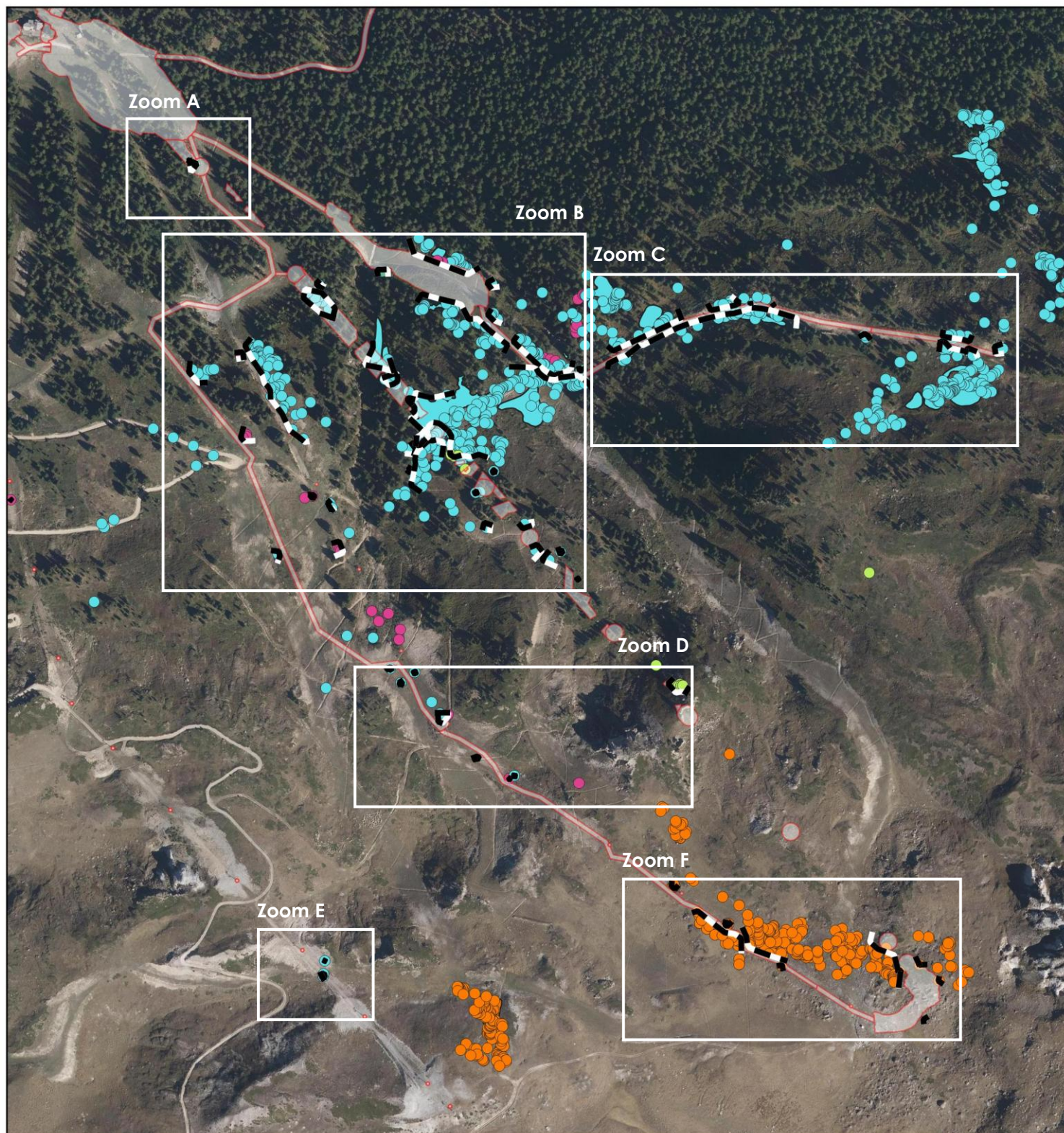
La possibilité d'intégrer des mesures ERC de nature « urbanistique » dans le règlement du PLU sera étudiée. Cela pourrait concerner :

- > des mesures d'intégration architecturale pour les gares et locaux associés, en particulier par rapport aux matériaux et couleurs (MR4)
- > des mesures d'intégration paysagère des talus (MR6)

ANNEXES

- > Annexe 1 : Zooms de la ME1 (Mises en défens des zones sensibles) centrés sur les opérations de la phase 2-A.
- > Annexe 2 : Carte illustrant les évolutions du projet de télésiège Grand Coin par rapport aux sensibilités environnementales (ME8)
- > Annexe 3 : Mélange proposé pour la revégétalisation par semis
- > Annexe 4 : Plan du nouveau périmètre de l'APPB
- > Annexe 5 : Plan des mesures compensatoires liées à la phase 2-A
- > Annexe 6 : Extrait de l'étude Climsnow
- > Annexe 7 : Note technique relative au projet de téléphérique de la Turra
- > Annexe 8 : Etude sur les risques d'avalanche (TORAVAL)
- > Annexe 9 : Etude Géotechnique d'avant-projet (EQUATERRE)

ANNEXE 1 : ZOOMS DE LA ME1 (MISES EN DEFENS DES ZONES SENSIBLES) – CENTRES SUR LES OPERATIONS DE LA PHASE 2-A

**Légende**
 Emprise résiduelle des travaux

 Mise en défens
Flore protégée
 Chamorchis alpina

 Erica carnea

 Salix glaucosericea

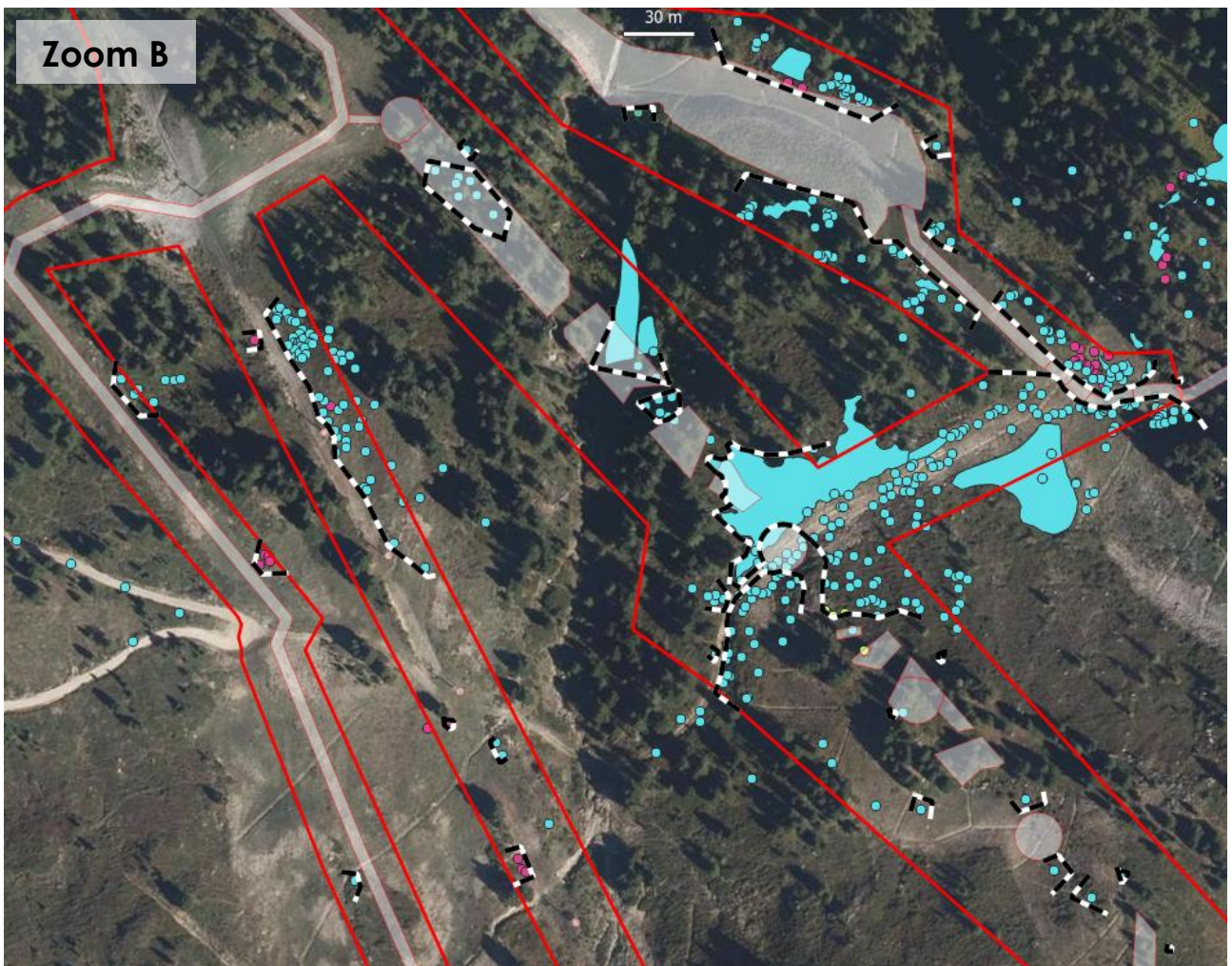
 Salix helvetica

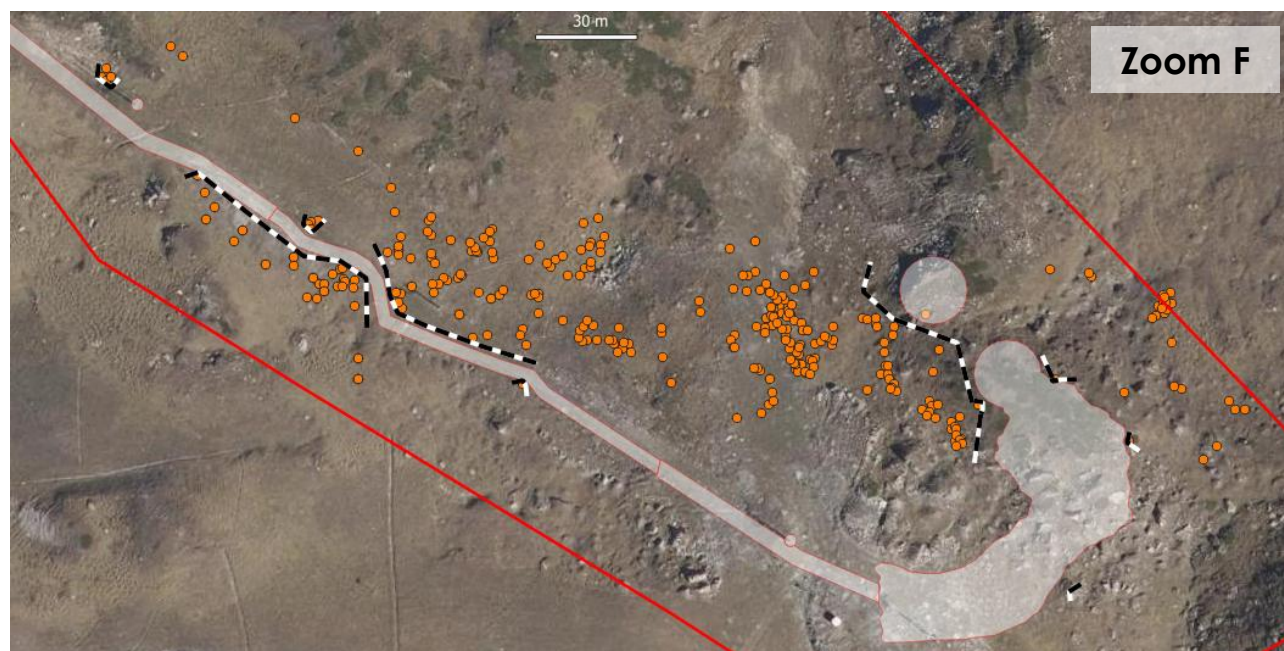
 Viscaria alpina


Échelle : 1:6 200

 0 120 m
 

Conception: KARUM n°2022009 / M.MAUPOME
 Données fonds de carte issues de BD ORTHO® - IGN - (2025)
 Source de données : KARUM (2024)
 Date : 24/06/2025





Légende

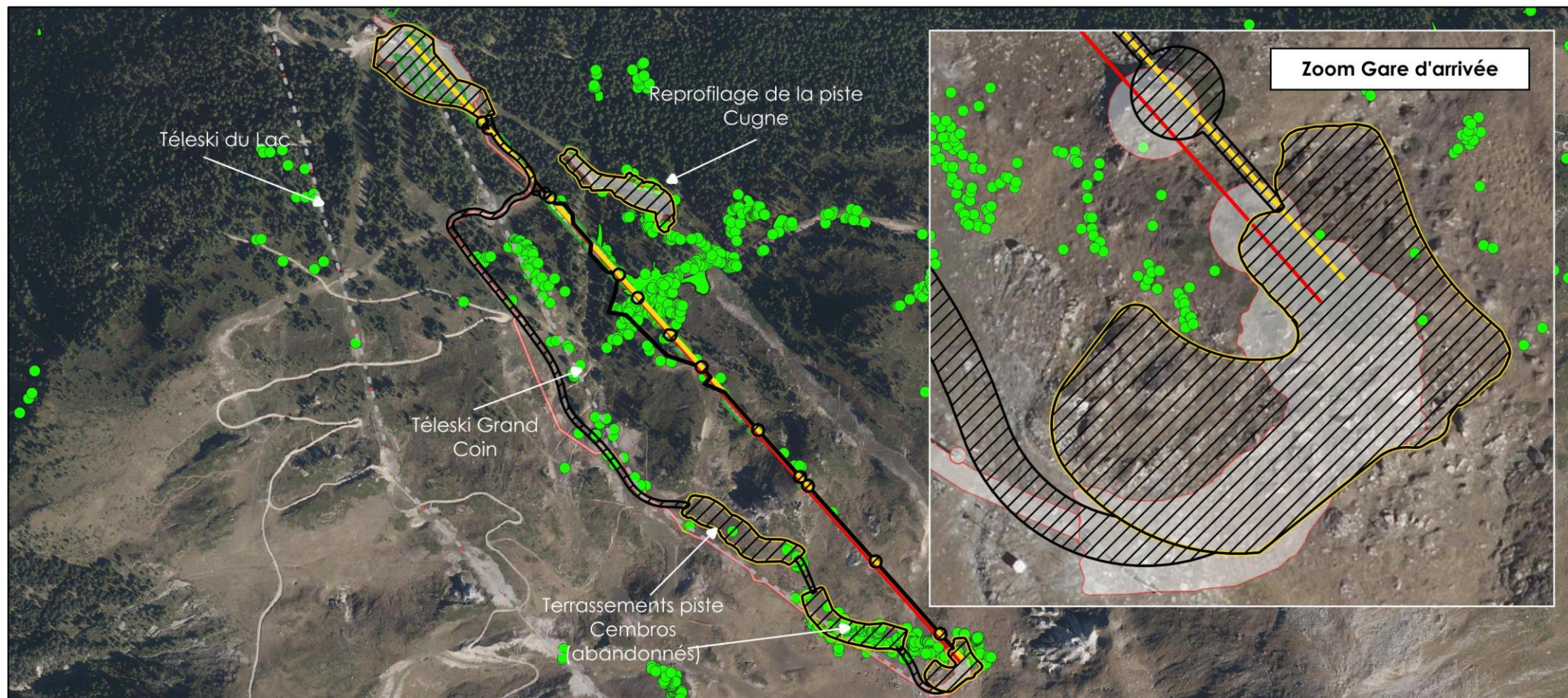
- Zone d'étude immédiate
- Emprise résiduelle des travaux
- Mise en défens

Flore protégée concernée par les projets du CNPN

- Chamorchis alpina
- Erica carnea
- Salix glaucosericea
- Salix helvetica
- Viscaria alpina

ANNEXE 2 : CARTE ILLUSTRANT LES EVOLUTIONS DU PROJET DE TS GRAND COIN PAR RAPPORT AUX SENSIBILITES ENVIRONNEMENTALES (ME8)

Comparatif du projet initial et du projet retenu



Légende

--- Appareils actuels à démonter

— Axe et pylônes du télésiège (projet retenu)

Emprise des terrassements (projet retenu)

Emprise des zones à défricher (projet retenu)

Flore protégée

Emprise des terrassements (projet initial)

Projet (version initiale)



Échelle : 1:9 600

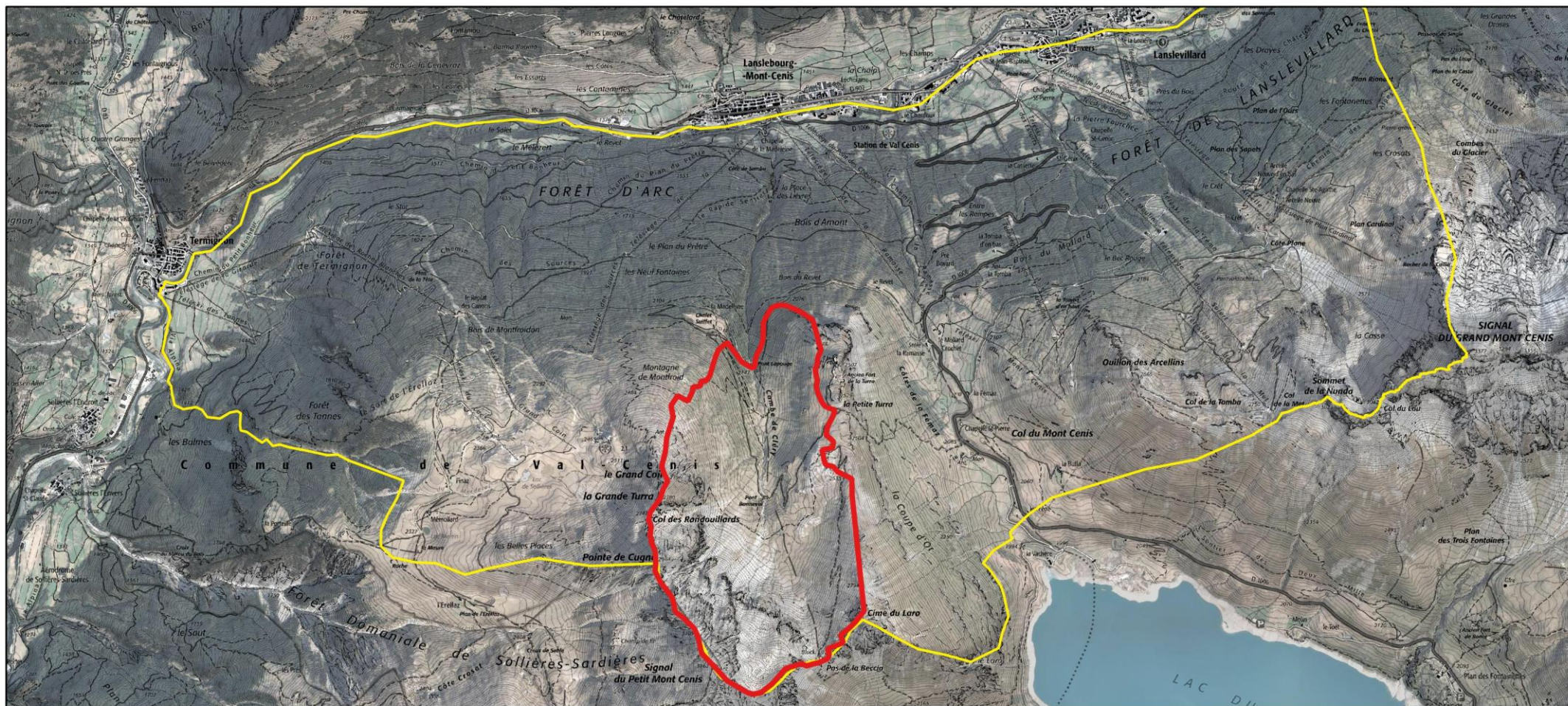
0 190 m

Conception: KARUM n°2022009 / A.PICHET
Données fonds de carte issues de BD ORTHO® - IGN - (2019)
et du SCAN25® - IGN - (2017)
Source de données : CNA, KARUM
Date : 20/02/2025

ANNEXE 3 : MELANGE PROPOSE POUR LA REVEGETALISATION PAR SEMIS

NOM SCIENTIFIQUE	QUANTITE ESTIMEE (%)
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	10
<i>Dactylis glomerata</i>	10
<i>Deschampsia cespitosa</i>	10
<i>Phleum alpinum</i>	5
<i>Pleum pratense</i>	5
<i>Astrantia major</i>	2
<i>Achillea millefolium</i>	5
<i>Alchemilla alpina</i>	5
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	3
<i>Geranium sylvaticum</i>	3
<i>Heracleum sphondylium</i>	2
<i>Knautia arvensis</i>	3
<i>Leucanthemum vulgare</i>	2
<i>Lotus corniculatus subsp. alpinus</i>	2
<i>Plantago media</i>	2
<i>Rhinanthus alectorolophus</i>	2
<i>Silene vulgaris</i>	2
<i>Taraxacum officinale</i>	2
<i>Trifolium pratense</i>	3
<i>Trifolium repens</i>	3
<i>Trollius europaeus</i>	2
<i>Veratrum album</i>	2
<i>Galium verum</i>	3
<i>Centaurea jacea</i>	3
<i>Centaurea scabiosa</i>	3
<i>Succisa pratensis</i>	3
<i>Gentiana lutea</i>	3

ANNEXE 4 : PLAN DU NOUVEAU PERIMETRE DE L'APPB



Légende

- Zone d'étude élargie
- APPB vallon de Cléry

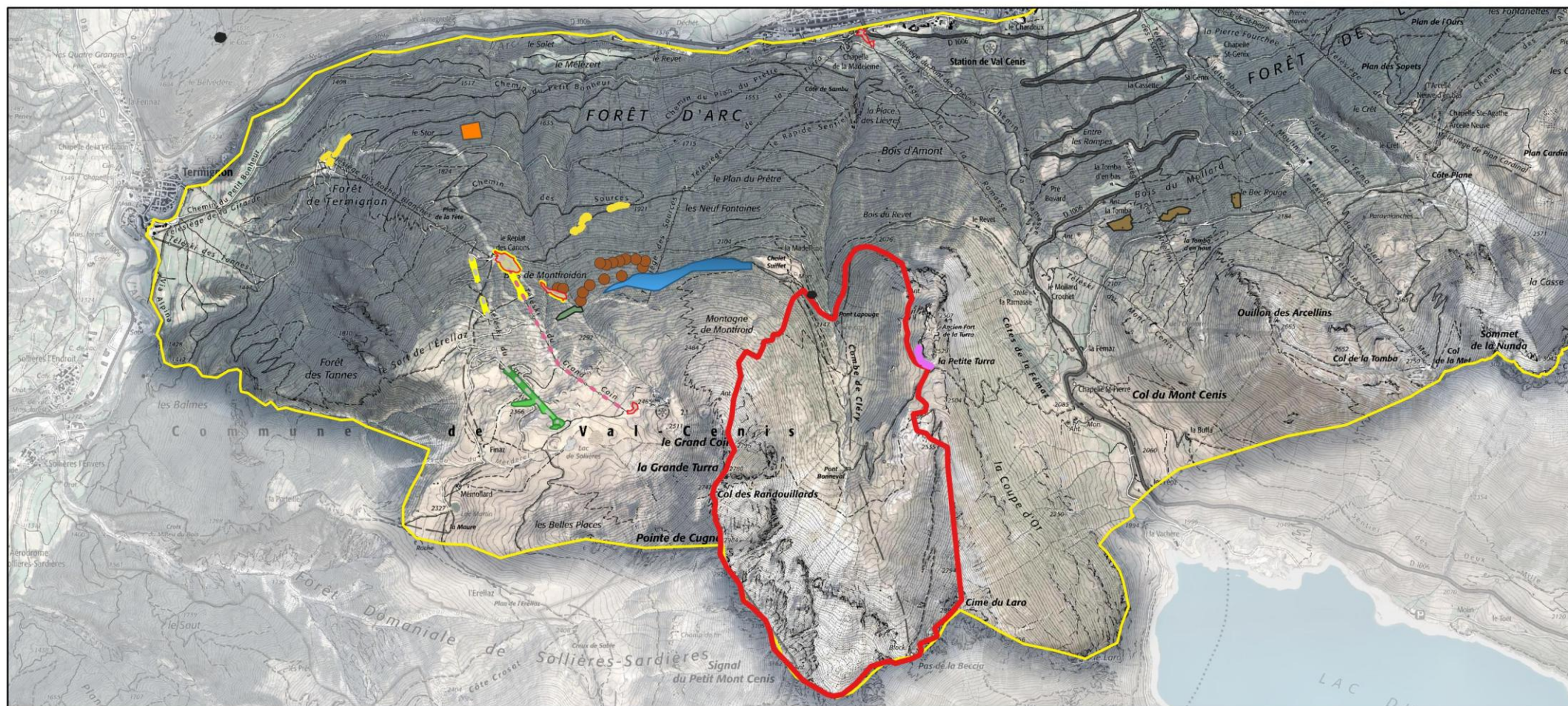


Échelle : 1:46 000

0 900 m

Conception: KARUM n°2022009 / A.PICHET
Données fonds de carte issues de BD ORTHO® - IGN - (2019)
et du SCAN25® - IGN - (2017)
Date : 13/06/2025

ANNEXE 5 : PLAN DES MESURES COMPENSATOIRES LIEES A LA PHASE 2-A



Légende

- | | |
|---|---|
| Zone d'étude élargie | MC_5: APPB vallon de Cléry |
| MC_1: Ilot de senescence | MC_7: Ilot d'arbres bio |
| MC_2: Démontage vestiges RM | MC_10 : Abandon et réhabilitation d'une piste 4x4 |
| MC_3: Réhabilitation de secteurs dégradés | MC_12: Reboisement sur l'emprise du domaine skiable |
| MC_4: Remise en état murs autour du Fort | MC_13: Crochetage |



Échelle : 1:40 000

0 800 m

Conception: KARUM n°2022009 / A.PICHET
Données fonds de carte issues de BD ORTHO® - IGN - (2019)
et du SCAN250® - IGN - (2017)
Source de données : DATara
Date : 26/06/2025

ANNEXE 6 : EXTRAIT DE L'ETUDE CLIMSNOW

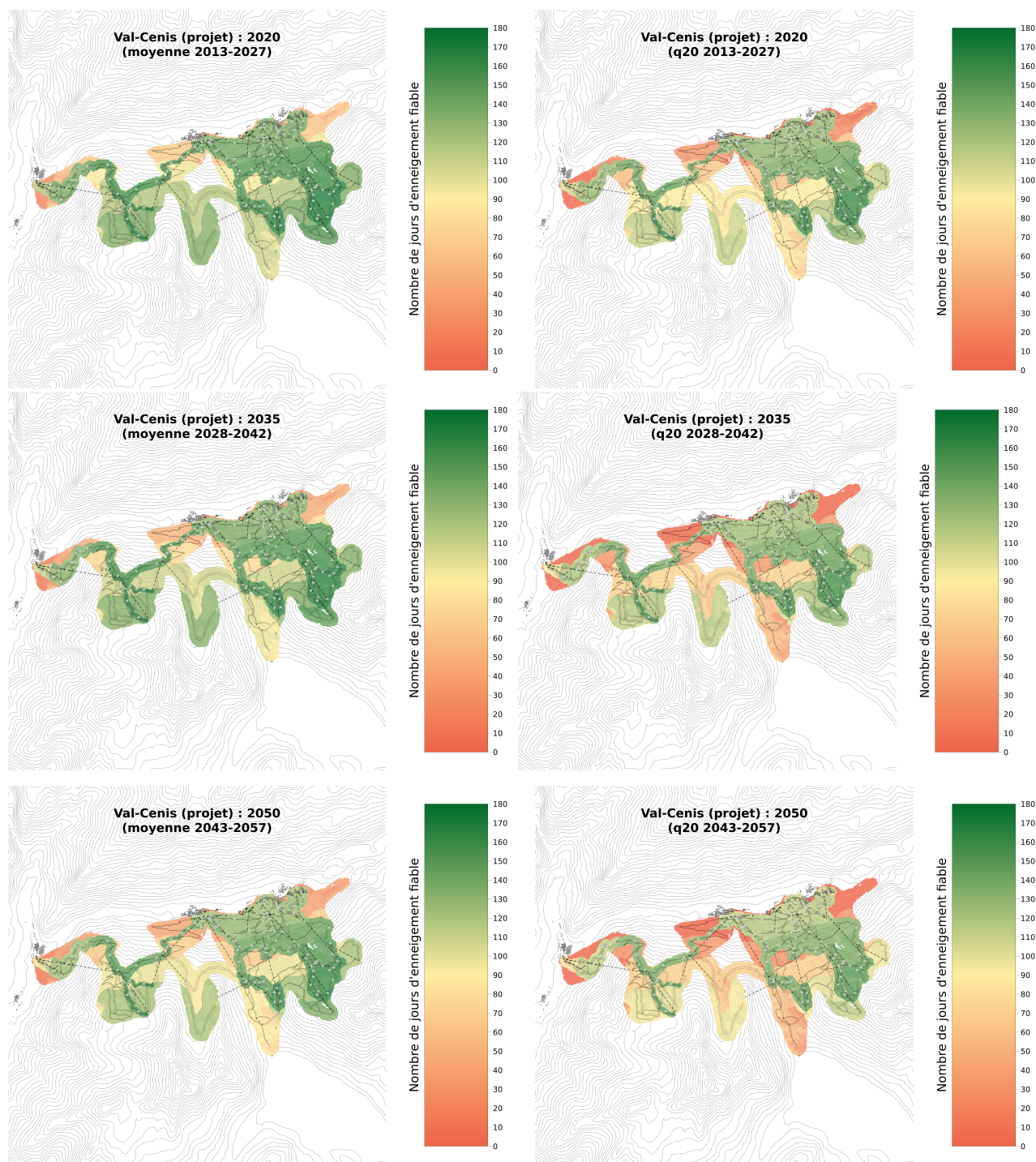


FIGURE 43 – Nombre de jours pendant lesquels la pratique du ski sera possible, en prenant en compte le scénario RCP8.5 et les projets d'aménagement futurs et en fonction de l'horizon temporel considéré (du haut vers le bas : 2020, 2035, 2050). La colonne de gauche montre les conditions d'enneigement des saisons moyennes (Q50) et celle de droite les conditions d'enneigement des saisons défavorables (Q20).

ANNEXE 7 : NOTE TECHNIQUE RELATIVE AU PROJET DE TELEPHERIQUE DE LA TURRA

Val Cenis Domaine skiable

Projet de téléphérique d'accès au Fort de la Turra

=====

NOTE TECHNIQUE

=====

Février 2024

BROSSIER Jean
Ingénieur-Conseil
258 Rue du Barry
05230 LA BATIE NEUVE
Tel :06 07 63 13 90

1 Introduction

La présente note concerne le projet de téléphérique qui relierait le sommet du télésiège de La Ramasse au fort de La Turra

La gare aval se situera sur le replat situé à l'ouest de la gare de La Ramasse. La gare amont dans le secteur de l'éperon rocheux à l'Ouest de l'entrée du fort.

2 Contexte géologique

Le projet se situe entièrement dans le domaine de schistes lustrés

Dans le secteur du fort de la Turra on observe des bancs à dominante calcaire d'épaisseur centimétrique à décimétrique de pendage modéré.

L'altération de la falaise sommitale produit des cailloux et petits blocs qui forment une pente d'éboulis jusque près de la route du col.

Dans le secteur de la gare aval le substratum est recouvert de formations glaciaires.

3 Risques géotechniques

3.1 Stabilité

Le site ne présente pas d'indices d'instabilités majeures de type glissement de terrains.

On ne rencontre pas sur l'ensemble du tracé de risques d'instabilités rocheuses ou de chutes de pierres de grande ampleur. La falaise sommitale est susceptible d'évoluer par altération et production de chutes de petits éléments.

3.2 Cavités

Il n'y a pas dans le secteur du projet de cavités karstiques connues pouvant intéresser le projet.

Le fort de la Turra comporte d'importants ouvrages souterrains. Certains sont accessibles et facilement cartographiables. Il y aura lieu d'adapter les reconnaissances ultérieures à la recherche de cavités non encore identifiées.

3.3 Risques sismiques

La Commune de Val-Cenis est classée en zone de sismicité 4 (moyenne).

Il n'y a pas de sols liquéfiables pouvant aggraver les effets des séismes.

Les versants dominants ne présentent pas de risques d'instabilités d'ampleur significative qui pourraient être activées par un séisme majeur.

4 Fondation des ouvrages

Des reconnaissances et études géotechniques spécifiques seront bien entendu réalisées ultérieurement.

La gare aval pourra vraisemblablement être fondée superficiellement sur des formations glaciaires.

Sur la gare amont on devra bien identifier les ouvrages existants, les remblais et les éventuelles cavité. La gare sera à priori entièrement fondée sur le substratum rocheux qui se prête à l'utilisation d'ancrages permettant de mobiliser des masses de roche pour assurer la stabilité

Il pourra être nécessaire de protéger de l'altération la falaise dominée par la gare.

ANNEXE 8 : ETUDE SUR LES RISQUES D'AVALANCHE (TORAVAL)



Ingénieurs-conseils

Étude des risques d'avalanches sur le télésiège du Grand Coin Station de Val Cenis, Savoie

Rapport

juin 2025

Table des matières

1	Analyse nivo-météorologique	6
1.1	Données météorologiques	6
1.2	Conditions climatiques	7
1.2.1	Contexte général	7
1.2.2	Évolution nivométrique	12
1.2.3	Évolution des températures	19
1.3	Analyse des précipitations extrêmes	21
1.3.1	Méthode	21
1.3.2	Résultats	21
1.4	Épaisseur du manteau neigeux	27
1.5	Changement climatique sur Val Cenis	29
1.5.1	Scénarios considérés	29
1.5.2	Période de référence	30
1.5.3	Implications des scénarios	33
1.6	Synthèse	43
1.6.1	Retour sur les valeurs de référence	43
1.6.2	Réchauffement	43
2	Analyse du risque d’avalanche	44
2.1	Méthodes	44
2.2	Données	44
2.3	Éléments historiques	45
2.3.1	Enquête permanente sur les avalanches	45
2.3.2	Carte de localisation des phénomènes d’avalanches	45
2.3.3	PIDA	48
2.4	Analyse spatiale du risque d’avalanche	51

2.4.1	Principe	51
2.4.2	Secteur Pointe de Cugne	54
2.4.3	Secteur Grand Coin	54
2.4.4	Secteur Montfroidon	54
2.5	Synthèse	55
3	Analyse par simulation numérique des avalanches	56
3.1	Principe et hypothèses du calcul	56
3.1.1	Modèle utilisé pour le calcul	56
3.1.2	Paramètres utilisés pour le calcul	57
3.1.3	Hypothèses et rendu du calcul	58
3.2	Résultats des simulations numériques	60
3.2.1	Avalanches rares ($T \sim 30$ ans)	60
3.2.2	Avalanches exceptionnelles ($T \sim 100$ ans)	63
4	Synthèse	66
4.1	Tableaux de valeurs par scénario	66

Objet de l'étude

Contexte

LA STATION DE VAL CENIS étudie la réalisation du télésiège du *Grand Coin*, en remplacement des téléskis du Grand Coin et du Lac. L'exploitant souhaite disposer d'une étude des risques d'avalanches pesant sur ce projet. La figure 1 localise l'appareil en projet et le périmètre de notre zone d'étude.

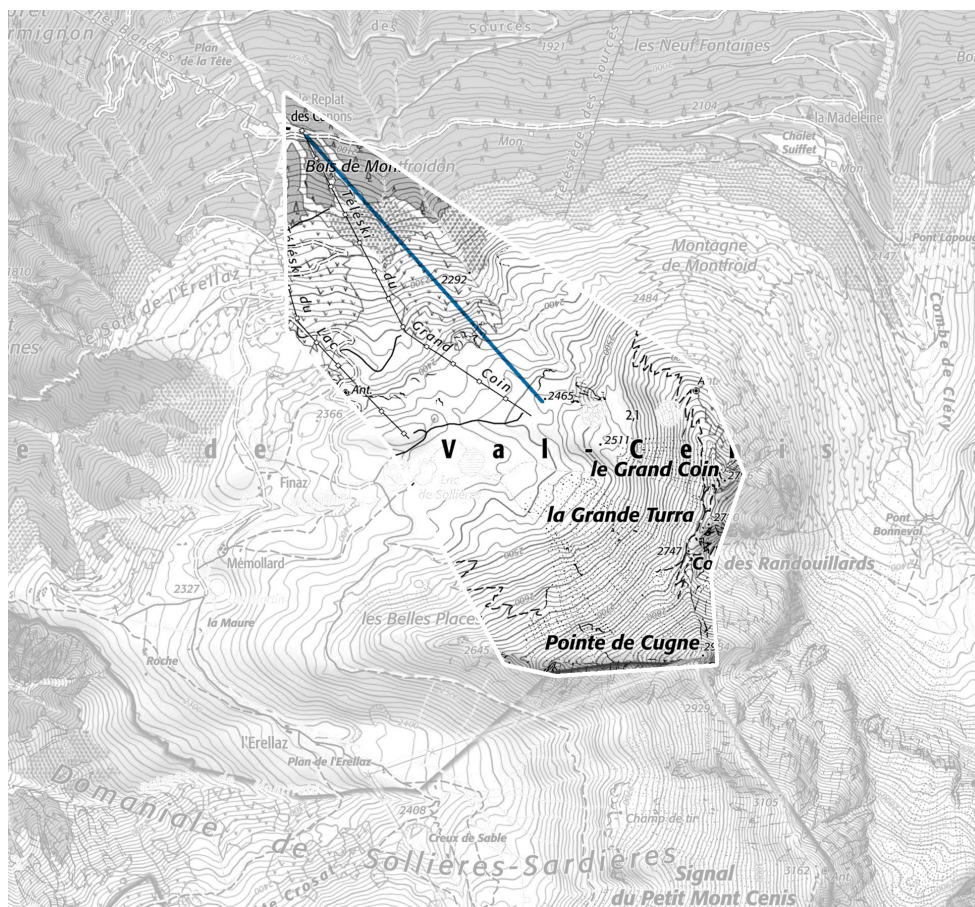


Figure 1 – Localisation du télésiège (segment bleu) et de la zone d'étude (contour blanc). Échelle 1:30 000. Fond topographique Géoportail © IGN Paris 2025.

Mission

La station de Val Cenis demande au groupement Toraval de caractériser les phénomènes d'avalanche affectant le projet. La caractérisation du risque d'avalanche s'accompagne d'un tableau des efforts estimés pour la période de retour de référence choisie par le maître d'ouvrage. Comme nous le pratiquons habituellement pour ce type d'appareil, nous proposons deux scénarios affectés de deux périodes de retour (T) différentes :

- avalanches $T = 30$ ans (chances de 1/30 de se produire en moyenne chaque année); et
- avalanches $T = 100$ ans (chances de 1/100 de se produire en moyenne chaque année).

Le présent rapport s'accompagne d'un supplément électronique représentant une scène tridimensionnelle du versant à l'adresse suivante :

http://telec.toraval.fr/3d/grandcoin_2025.html

Analyse nivo-météorologique

1.1 Données météorologiques

L'analyse nivo-météorologique s'est appuyée sur les données suivantes :

- les données nivo-météorologiques des postes de Val Cenis :
 - poste n° 73144404 géré par la station de ski de Val Cenis, placé au lieu-dit « La Berche » près de la gare d'arrivée de la télécabine du Vieux Moulin à l'altitude 2101 m et en fonctionnement en continu durant la saison d'ouverture de la station de ski depuis le 1^{er} décembre 1994,
 - poste n° 73144001 (mesures manuelles et automatisées) géré par Météo-France et exploité par le personnel de la station, placé près de la gare d'arrivée du télésiège de la Ramasse à l'altitude de 2032 m et en fonctionnement en continu toute l'année depuis le 1^{er} janvier 1996, et que par commodité nous appellerons poste de la Ramasse ;
- des données météorologiques issues d'autres postes (Termignon, Bessans, Bonneval-sur-Arc) ;
- les données du modèle SAFRAN de Météo-France avec une résolution de $8 \times 8 \text{ km}^2$;
- les données de réanalyse météorologique ERA5 Land avec une résolution de $0,1^\circ$ (maille d'environ $11 \times 8,5 \text{ km}^2$) établies par l'*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) sur la période 1950–2024¹ ;
- les données mensuelles observées et reconstituées des précipitations ECMWF² sur les Alpes de 1871 à 2021 sur une maille de $5 \times 5 \text{ km}^2$;
- les données TRACC-2023 et ADAMONT-2020 diffusées par le portail « les futurs du climat » du DRIAS³ relatives aux effets du changement climatique sur les conditions nivo-météorologiques en France ;
- la thèse d'A. Kiefer Weisse, « Étude des précipitations exceptionnelles de pas de temps court en relief accidenté (Alpes françaises) », thèse de doctorat INPG, Grenoble (1998).

1. Muñoz Sabater, J. (2019): ERA5-Land hourly data from 1950 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). [doi:10.24381/cds.e2161bac](https://doi.org/10.24381/cds.e2161bac).

2. Jeu de données LAPrec C3S_M311a_Lot4.2.3.6_v1 : Copernicus Climate Change Service (C3S) (2021): Alpine gridded monthly precipitation data since 1871 derived from in-situ observations, LAPrec1871, v1.1, Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), [doi:10.24381/cds.6a6d1bc3](https://doi.org/10.24381/cds.6a6d1bc3)

3. Acronyme pour le projet « Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnement » lancé en 2011 par le ministère en charge de l'environnement.

1.2 Conditions climatiques

1.2.1 Contexte général

Précipitations

La station de Val Cenis est à la périphérie de la zone humide des Alpes (qui s'étend du massif du Mont-Blanc à Belledonne en passant par les Préalpes), avec les valeurs suivantes pour les précipitations :

- un cumul annuel moyen⁴ de neige de :
 - 429 cm pour la période 1997–2025 pour le poste de la Ramasse, et
 - 355 cm pour le poste de la Berche pour la période 1995–2025 ;
- un équivalent en eau du cumul annuel moyen de neige de 474 mm sur la période 1959–2024 selon le modèle Safran : voir figure 1.1. Pour les chutes de neige, Val Cenis se situe à la marge de la zone sous influence des retours d'est ;
- un cumul annuel moyen de précipitations (liquides et solides) de 869 mm sur la période 1959–2024 selon le modèle Safran : voir figure 1.2. À l'échelle annuelle, Val Cenis se situe dans la zone sèche des Alpes qui comprend toutes les vallées intérieures près de la frontière italienne.

La valeur de cumuls mesurée à La Berche diffère d'environ 30 % de la valeur de cumuls établie par Safran principalement parce que le poste de la Berche ne fonctionne qu'une partie de l'année.

Situations ordinaires et critiques

Du fait de sa position à la limite d'influence de plusieurs zones climatiques, la station de Val Cenis bénéficie d'un enneigement en général régulier :

- elle se situe à l'est de la zone humide sous influence des dépressions atlantiques ;
- elle est juste à la frontière occidentale de la zone d'influence normale des épisodes dits de retour d'est (dépressions centrées sur le golf de Gênes), générateurs de très fortes précipitations sur la Haute-Maurienne ;
- elle marque la limite septentrionale de la zone sèche du Briançonnais–Thabor–Moyenne Maurienne.

Importance des retours d'est – La situation nivo-météorologique critique est liée à un « retour d'est » : la circulation d'un flux perturbé de sud est bloquée sur le golfe de Gênes, ce qui entraîne une orientation du flux au sud-est. L'air venant de Méditerranée rencontre l'air froid piégé dans les hautes vallées italiennes ou bien une goutte d'air froid polaire. Quand les courants sont entretenus et persistants (par une sorte d'effet de pompe), la rencontre des masses d'air chaud et froid peut produire des précipitations importantes sur des laps de temps courts (le plus souvent une journée ou deux). Pour les chaînes frontalières allant de la haute Tarentaise jusqu'au Mercantour, cette situation de « retour d'est » est génératrice de fortes précipitations et d'installation du mauvais temps, alors qu'à l'intérieur des massifs français seul un vent fort est sensible et il y fait le plus souvent beau. La station météorologique de Grand Croix (Gran Scala) sur la bordure italienne du lac du Mont-Cenis enregistre ainsi des valeurs records de précipitations pour la région puisque la pluie journalière décennale atteint

4. Nous parlons ici de cumuls annuels sur des années civiles, et non de cumuls saisonniers durant l'hiver.

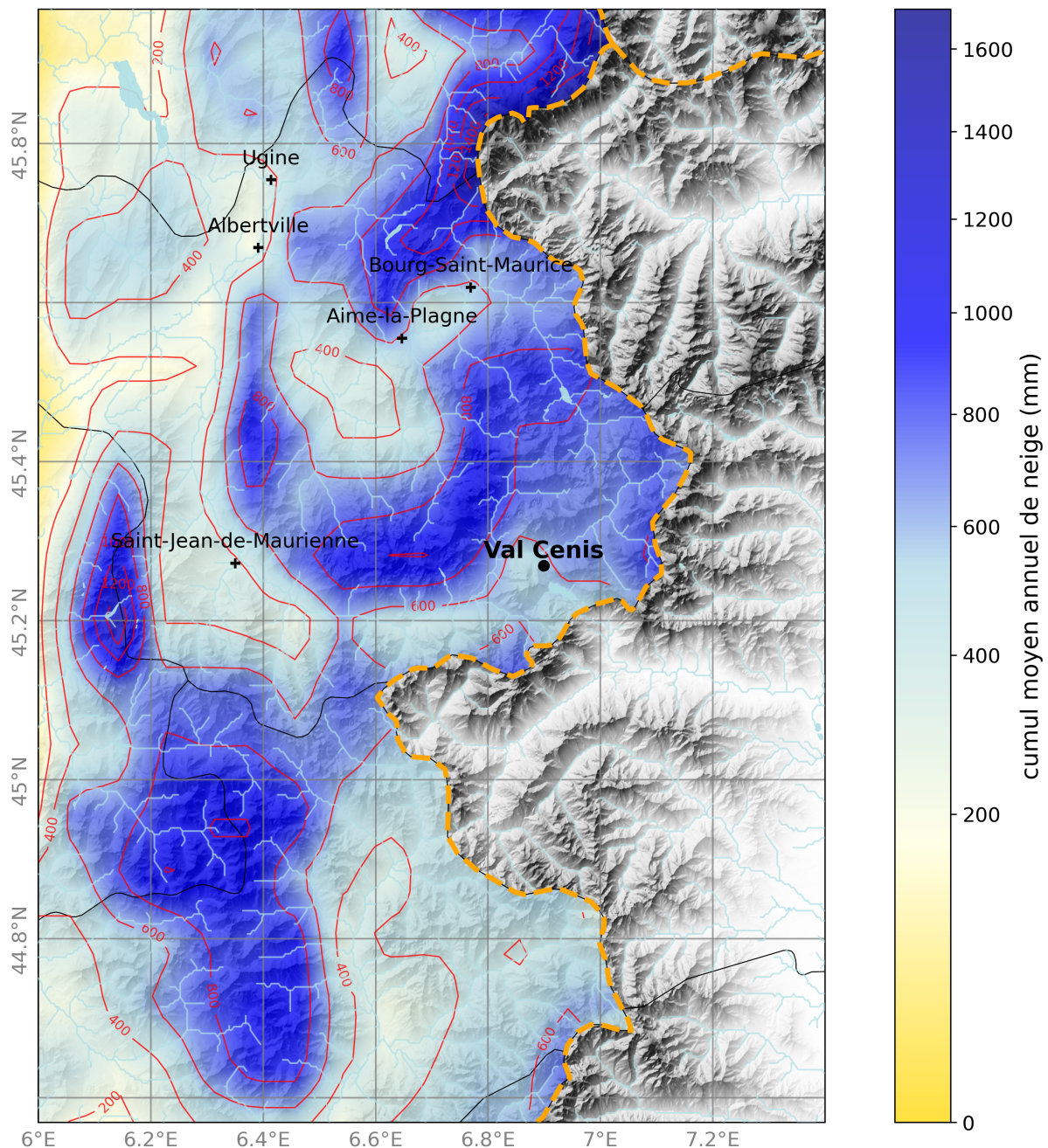


Figure 1.1 – Carte des isovalues des cumuls moyens annuels des chutes de neige (valeur équivalente en eau); on a approximativement 1 mm d’eau = 1 cm de neige fraîche. Source : données Safran sur la période 1959–2024. Les données Safran ont été rééchantillonnées par interpolation linéaire avec une maille de $1 \times 1 \text{ km}^2$.

99 mm contre 65 mm dans le fond de vallée (Bessans-Lanslebourg). La figure 1.3 montre la distribution des cumuls journaliers de neige maxima sur la période 1959–2024 d’après le modèle Safran. Val Cenis est juste à la limite de la zone à fortes chutes de neige potentielles (plus de 150 cm en 24 h).

Les retours d’est sont assez fréquents au milieu du printemps (mai) et durant l’automne. Ils peuvent également se produire en hiver, mais généralement avec une intensité moindre.

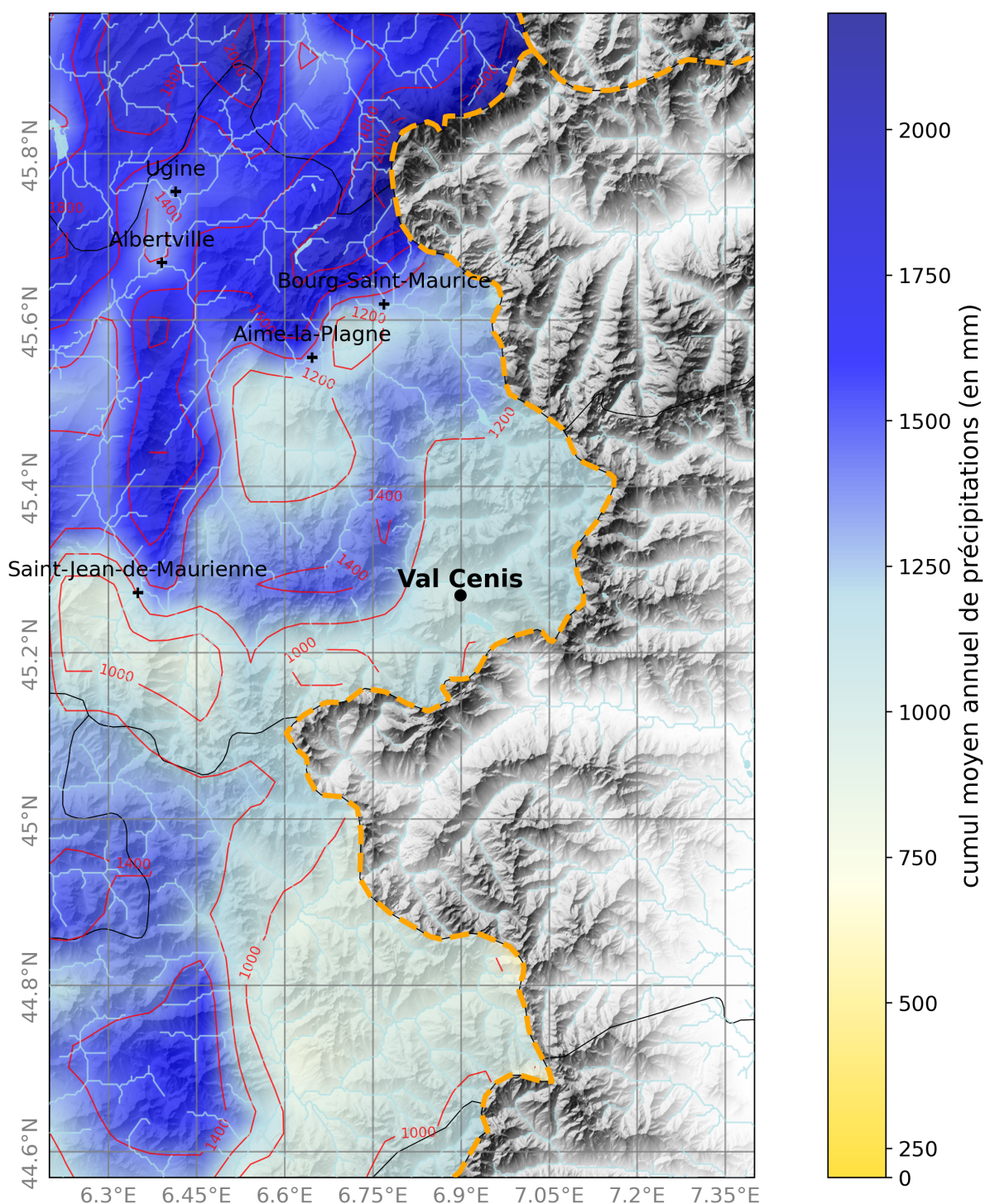


Figure 1.2 – Carte des isovaleurs des cumuls moyens annuels des précipitations (solides et liquides). Source: données Safran sur la période 1959–2024. Les données Safran ont été rééchantillonnées par interpolation linéaire avec une maille de $1 \times 1 \text{ km}^2$.

Il y a quelques exceptions notables (février 1972⁵ ou 1978 par exemple), où des retours d'est peuvent générer de très fortes chutes de neige en plein hiver ; la fréquence de telles chutes est de l'ordre de quelques événements par siècle. Ce sont ces chutes de neige exceptionnelles qui

5. Environ 250 cm de neige tombée en une semaine à Bessans ; forte activité avalancheuse sur toute la chaîne frontalière de l'Ubaye à la Maurienne, dont à Lanslevillard.

nous intéressent dans l'évaluation du risque d'avalanches encouru par les remontées mécaniques de Val Cenis. L'épisode du 24 novembre 2016 (pluie dans le fond de vallée et neige à haute altitude) a ainsi amené 200 mm de précipitations en 24 h sur Val Cenis, soit potentiellement deux mètres de neige en altitude ; le vent qui s'engouffre par le col du Mont-Cenis amène à une redistribution marquée de la neige tombée au sol.

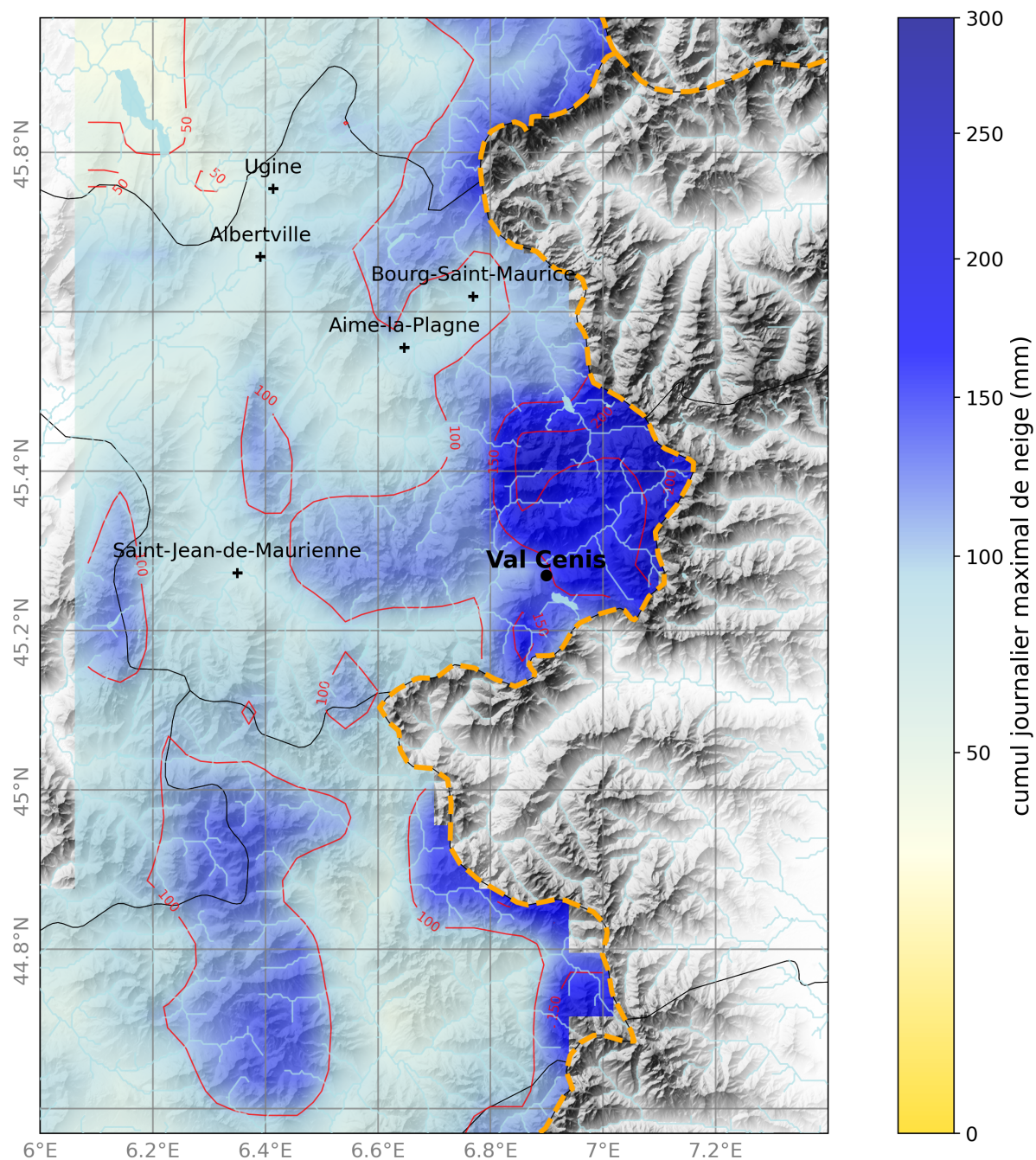


Figure 1.3 – Carte des isovaleurs des cumuls journaliers de neige (valeur équivalente en eau) sur 45 années (1959–2024); on a approximativement 1 mm d'eau = 1 cm de neige fraîche. Source : données Safran sur la période 1960–2024. Les données Safran ont été rééchantillonnées par interpolation linéaire avec une maille de $1 \times 1 \text{ km}^2$.

Dépansions atlantiques – On peut assister à des passages perturbés venant de l'Atlantique (dépressions de secteur ouest à nord-ouest, mais le plus souvent de sud-ouest). Compte tenu

des effets de barrière des Préalpes, puis des hauts sommets de la Vanoise, les cumuls de neige sur la station de Val Cenis diminuent de façon conséquente par rapport à la bordure occidentale du massif; en règle générale, le cumul moyen est inférieur d'au moins 50 % au cumul moyen (sur un épisode de plusieurs jours) touchant les Préalpes et la bordure occidentale du massif (Grande Lauzière).

Toutefois, s'il neige peu, il peut neiger longtemps. En effet, on assiste quelques fois par siècle à un défilé de dépressions de nord-ouest ou d'ouest. Les chutes de neige s'étalent alors sur plusieurs semaines, avec parfois un léger redoux ou une éphémère période de beau temps entre deux passages perturbés. Au final le cumul de neige peut être important et, du fait du mauvais temps, le manteau neigeux peut rester faiblement consolidé jusqu'à basse altitude. Un tel scénario a été observé à quelques reprises au cours de la seconde moitié du xx^e siècle :

- en février 1999 avec trois passages perturbés actifs sur les Alpes, mais seul le premier a amené de forts cumuls de neige et induit une grosse activité avalancheuse sur les Alpes françaises ;
- en février 1970 avec également trois passages perturbés, assez actifs (une avalanche catastrophique à Lanslevillard avec huit morts dans des habitations⁶) ;
- en février-mars 1954 avec quasiment deux mois de mauvais temps sans interruption.

6. Voir Ancey, C., Lanslevillard, un 24 février 1970 – Comment comprendre une avalanche 37 ans après ?, *Neige et Avalanches*, **118**, 2–5, 2007.

1.2.2 Évolution nivométrique

Évolution sur le long terme

L'analyse des données de précipitations reconstituées depuis 1871 montre une forte variabilité des précipitations annuelles (voir figure 1.4) :

- la valeur moyenne est 995 mm sur la période 1871–2020 pour les précipitations annuelles ;
- le cumul moyen de précipitation est de 251 mm pour les précipitations durant la saison hivernale (les quatre mois de décembre à mars).

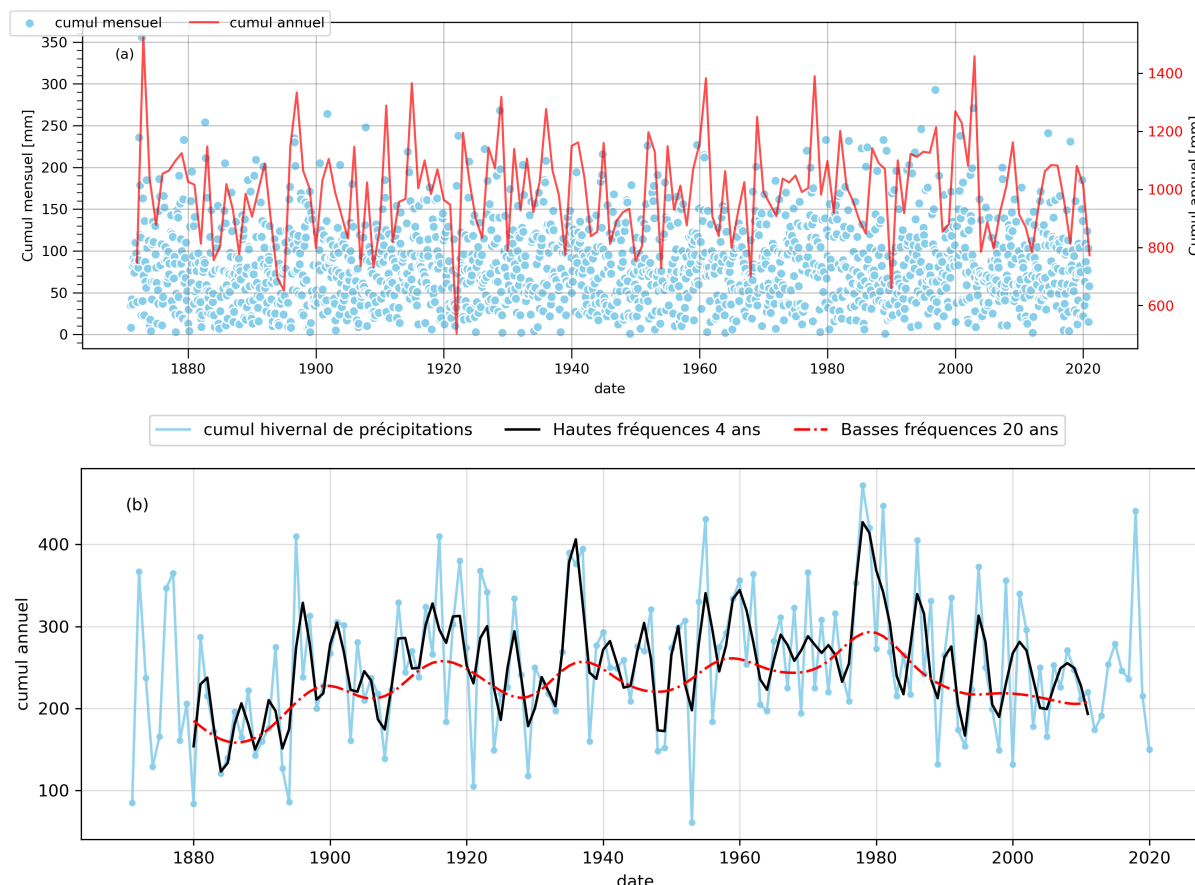


Figure 1.4 – (a) Évolution des cumuls mensuels et annuels de précipitation sur le secteur de Val Cenis (sur une maille de 25 km²) depuis janvier 1871 d'après le modèle ECMWF. (b) Évolution des cumuls saisonniers sur les cinq mois allant de décembre à avril. On a également reporté les courbes obtenues par filtrage des basses fréquences (avec une période moyenne de 20 ans) et hautes fréquences (avec une période moyenne de 4 ans).

La variabilité des précipitations d'une année à l'autre est grande, particulièrement pour la saison hivernale : la figure 1.4(b) montre l'évolution du cumul de neige durant la saison hivernale depuis 1871. Il est manifeste qu'il existe des cycles assez réguliers. Pour mettre cela en évidence, on a appliqué un filtre passe-haut et un filtre passe-bas aux données hivernales. Il s'avère qu'il existe au moins deux cycles qui se superposent :

- un cycle long, avec une période d'environ 20 ans ;
- un cycle court, avec une période d'environ 4 ans.

Même le cycle lent n'est pas stationnaire. On note :

- une augmentation des précipitations saisonnières entre 1890 et 1980, puis
- un rapide déclin, en grande partie masqué par les fluctuations du cycle court.

Ce comportement se distingue de ce qui est observé dans le reste des Alpes du Nord (où majoritairement on voit un cycle de 10 ans et une plus grande stationnarité des cumuls saisonniers de précipitations).

Poste de La Berche

La figure 1.5(a) montre la chronologie des chutes de neige sur le poste de la Berche. La plus forte chute de neige a été observée le 7 janvier 2018 avec 61 cm pour le poste de La Berche.

Poste de La Ramasse

La figure 1.5(b) montre la chronologie des précipitations sur La Ramasse, qu'elles soient solides ou liquides. On note une chute de neige dont l'équivalent en eau a été de 200 mm le 24 novembre 2016.

Données Safran

La série de données simulées par Safran confirme que les chutes de neige ne sont pas régulières :

- avant 1980, le cumul annuel moyen de neige se situe dans une fourchette 550 ± 110 mm (équivalent eau liquide), puis
- après 1980, il chute à 435 ± 110 mm.

La variabilité des cumuls de neige a été exacerbée durant les dernières années ; ainsi, les cumuls annuels de neige ont atteint 628 mm et 691 mm, respectivement en 2016 et 2018, des valeurs bien supérieures à la moyenne sur la décennie 2015–2024 (460 mm). Cette diminution du cumul de neige annuel depuis 50 ans ainsi que la grande variabilité de ces cumuls annuels sont montrées par la figure 1.5(c), ce qui est cohérent avec ce qu'on avait noté pour la figure 1.4(b) pour l'ensemble des précipitations (solides et liquides).

Notons que les simulations de Safran retiennent un épisode de très forte intensité pour la journée du 24 novembre 2016, mais avec un cumul de neige moindre (125 mm en équivalent d'eau liquide). Il est probable que la taille de la maille de calcul soit trop grande pour refléter les conditions à petite échelle sur le versant nord du col du Mont-Cenis, versant qui montre une forte variabilité spatiale dans les précipitations.

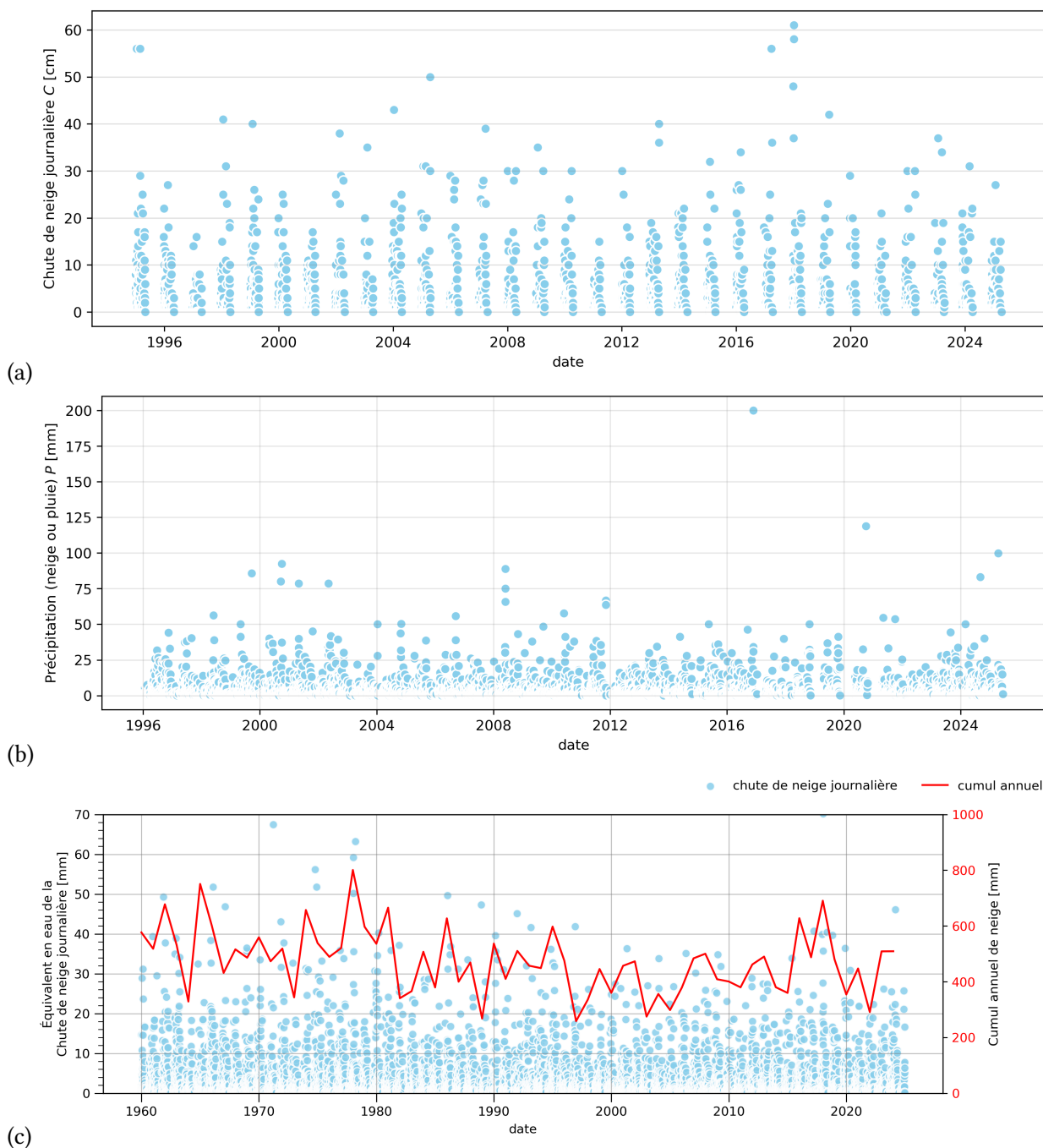


Figure 1.5 – Série temporelle des chutes de neige journalières. (a) Sur le poste de La Berche à 2100 m d'altitude de décembre 1994 à avril 2025 (durant la saison d'ouverture de la station de ski). (b) Sur le poste de la Ramasse (2032 m) de janvier 1996 à avril 2025 ; on reporte ici les valeurs en eau des précipitations (pluie ou neige). (c) Sur la maille centrée sur Val Cenis dans le modèle Safran pour la période courant de janvier 1959 à décembre 2024 ; on a également reporté le cumul annuel de neige. Les chutes de neige sont converties en équivalent d'eau liquide.

Tableau 1.1 – Liste des épisodes de neige ayant amené plus de 80 cm sur Val Cenis (La Berche, 2101 m) entre janvier 1995 et avril 2025.

Date (début)	C (cm)	durée (j)	T (ans)
09/01/1995	82	5	3
18/01/2005	86	8	3
18/03/2007	92	11	4
24/02/2007	93	8	4
14/04/2005	96	7	5
22/12/1995	101	12	6
21/01/2021	105	12	7
21/02/1995	106	7	7
20/01/1995	117	11	10
06/01/2018	126	4	15
22/02/2016	127	16	16
11/01/2004	128	10	16
23/01/2015	130	15	18
29/12/2017	134	7	21

Épisodes de neige

Dans le tableau 1.1, on a reporté tous les épisodes de neige ayant dépassé un seuil de 80 cm sur Val Cenis (2100 m) pour la période 1995–2025. On a fait de même avec les chutes de neige calculées par le modèle Safran pour la période 1959–2025 dans le tableau 1.2, mais avec un seuil de 100 cm.

On note l'importance du plus gros épisode (décembre 2017–janvier 2018), avec 134 cm en 7 jours selon les mesures à La Berche et 302 cm selon le modèle Safran. La différence de valeurs entre le poste de mesures et le modèle est probablement la conséquence des biais de mesure dus au fort transport de neige par le vent qui accompagne les tempêtes de neige. Une partie de la neige mesurée sur La Berche aurait donc été soufflée par le vent.

Le modèle Safran met en évidence les tempêtes de fin d'automne (novembre et décembre), période à laquelle le poste de mesures de La Berche n'est pas nécessairement en fonctionnement : ainsi, sur 9 événements dont le cumul dépasse 140 cm, 6 se sont produits en décembre ou novembre. Dans les deux tableaux 1.1 et 1.2, on note que les forts cumuls sont dus à des chutes de neige de longue durée, donc le plus souvent dues à des dépressions atlantiques et non des retours d'est.

Tableau 1.2 – Liste des épisodes de neige ayant amené plus de 100 cm sur Val Cenis entre janvier 1959 et décembre 2024 d’après le modèle Safran.

date	C (cm)	durée (j)	T (ans)
16/01/1961	102	14	4
20/11/1974	107	11	4
17/03/1971	109	5	4
10/11/1972	112	13	5
21/12/1968	116	5	5
11/03/1986	119	19	5
18/01/1995	119	17	5
04/04/1969	125	7	6
08/01/1986	125	13	6
02/02/1970	126	10	7
13/02/1995	129	16	7
11/12/1981	131	8	7
26/03/1962	137	14	9
22/11/2016	137	4	9
12/03/1978	140	15	9
31/12/1967	140	15	9
03/12/2011	154	15	13
10/02/1990	161	7	15
02/01/1978	168	10	17
11/11/1992	169	19	18
09/12/1965	201	20	35
29/12/2017	302	22	204

Les cumuls de neige sur la Berche (2100 m) atteignent 355 cm en moyenne durant la saison de ski, avec

- un maximum de 707 cm observé en 1995, et
- un minimum de 156 cm observé en 1997.

Selon le modèle Safran, le cumul annuel de neige est de 471 mm, avec ;

- le maximum a été observé en 1978 avec 800 mm, et
- le minimum a été observé en 1997 avec 258 mm.

Le cumul mensuel moyen de neige est donc d'environ 70 cm sur la période courant de début décembre à fin avril (cinq mois).

La figure 1.6(a) montre que le mois de janvier est le plus enneigé pour La Berche ; pour le poste de la Ramasse, la situation est fort différente, avec peu de précipitations en hiver (de l'ordre de 30 mm/mois) et des précipitations plus abondantes au printemps (environ 85 mm/mois en avril et mai). Comme on l'a souligné précédemment, le vent est un facteur essentiel de redistribution de la neige au sol sur le secteur de Val Cenis⁷.

7. En mars 2011, année peu enneigée, le fort transport de neige avait provoqué la formation d'une accumulation de neige au niveau du couloir CLPA n° 19 sous la Petite Turra, dont l'épaisseur à la cassure faisait plusieurs mètres. L'avalanche qui en avait résulté avait bousculé des sièges du télésiège de la Ramasse.

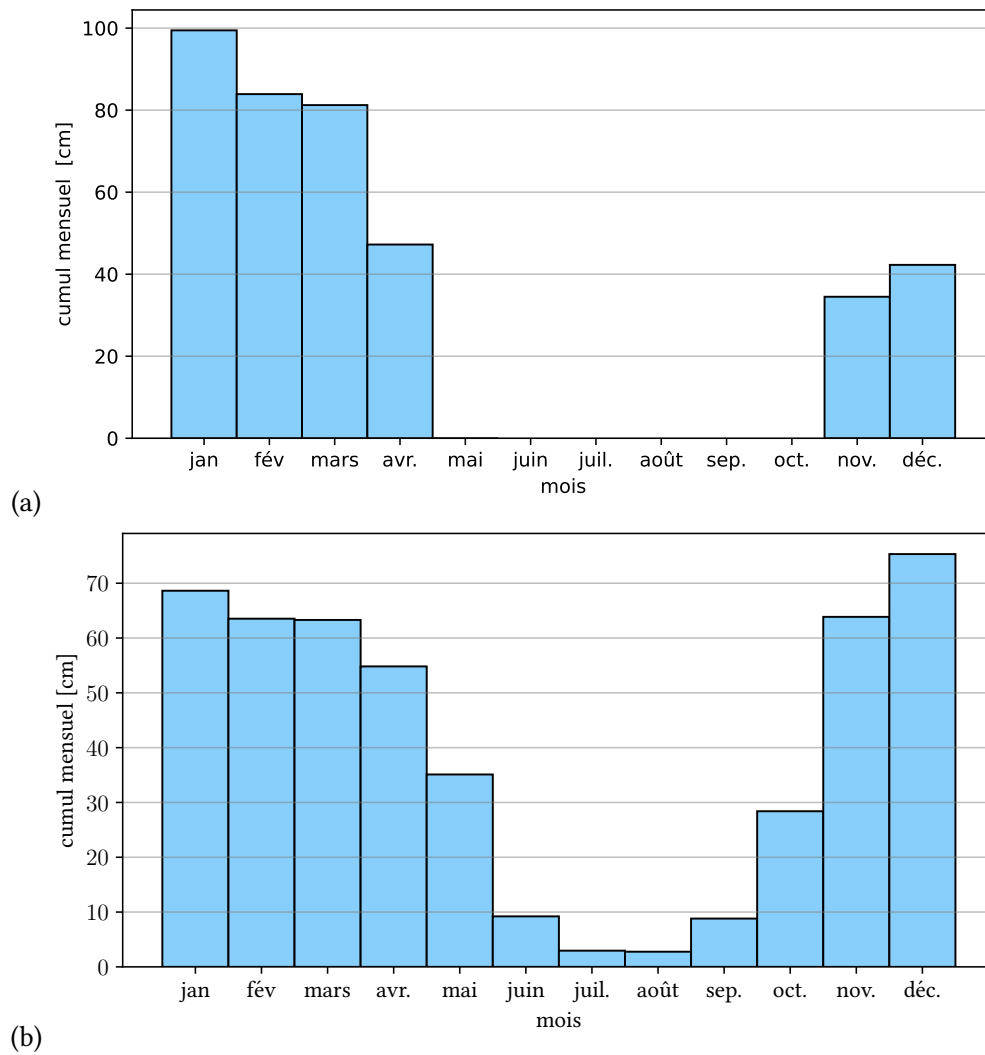


Figure 1.6 – (a) Cumul mensuel moyen de neige à La Berche (2100 m) sur la période 1995–2025 durant la période d'ouverture de la station de ski. (b) Cumul mensuel moyen de précipitations solides sur la période 1959–2024 d'après le modèle Safran. On a supposé que 1 mm d'équivalent eau liquide = 1 cm de neige fraîche.

1.2.3 Évolution des températures

La figure 1.7 montre l'évolution des températures sur Val Cenis :

- sur le poste de la Berche, la tendance séculaire serait une augmentation de 4,3 °C par siècle quand on cale une tendance linéaire sur les données collectées depuis le début des mesures (déc. 1994);
- sur le poste de la Ramasse, l'augmentation est d'environ 3,9 °C par siècle ;
- le modèle Safran montre également une augmentation des températures sur Val Cenis, mais un peu moindre avec un accroissement de 2,3 °C par siècle.

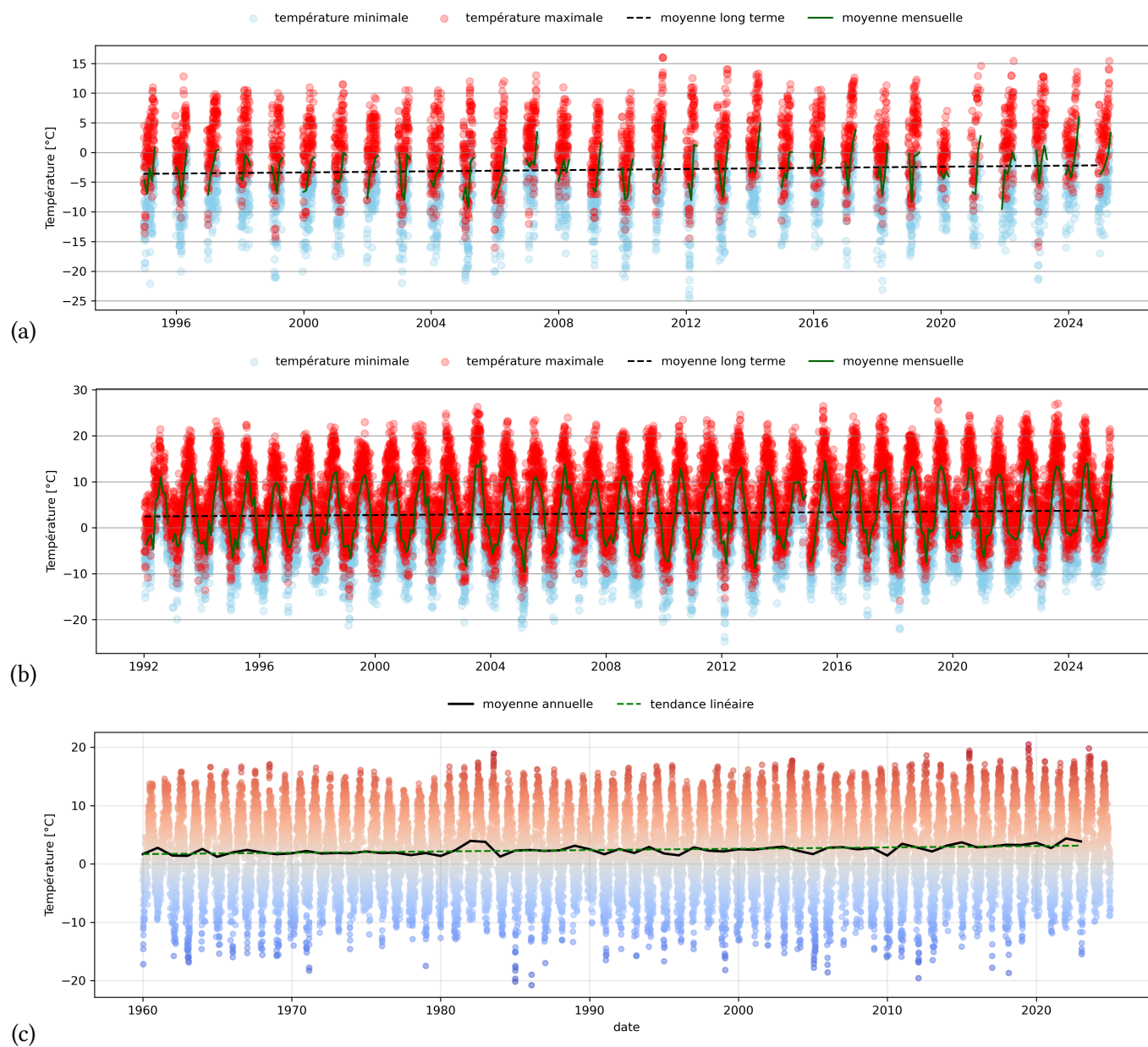


Figure 1.7 – Évolution des températures journalières. (a) Poste de La Berche à 2101 m d'altitude sur la période 1995-2025. (b) Poste de La Ramasse à 2032 m d'altitude sur la période 1992-2025. (c) Données Safran sur la maille de Val Cenis pour la période 1959-2025.

1.3 Analyse des précipitations extrêmes

1.3.1 Méthode

On se place ici dans le cadre de l'existence d'un régime stationnaire (ou faiblement instationnaire) des précipitations au fil des décennies et on admet que les précipitations sont représentées par une seule loi de distribution dite loi de valeurs extrêmes :

$$C = \begin{cases} \mu - \frac{\sigma}{\xi} \left[1 - \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right)^{-\xi} \right] & \text{si } \xi \neq 0, \\ \mu - \sigma \ln \left[1 - \ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] & \text{si } \xi = 0, \end{cases} \quad (1.1)$$

avec T la période de retour, C le quantile de précipitation, et (μ, σ, ξ) les paramètres de la loi de probabilité. Cette loi de valeurs extrêmes est la forme générique de trois lois de probabilité en fonction de l'exposant ξ :

- $\xi > 0$: loi de Fréchet;
- $\xi = 0$: loi de Gumbel;
- $\xi < 0$: loi de Weibull.

Par la suite, on va supposer :

- soit que la loi est de type Gumbel et donc poser $\xi = 0$;
- soit ne faire aucune hypothèse sur ξ et ajuster cet exposant en même temps que les paramètres μ et ξ .

Si, en théorie, la seconde approche est la plus rigoureuse, la première peut se révéler meilleure en pratique quand on travaille avec un faible nombre de données (les résultats du calage sont très sensibles à la valeur de ξ , et donc pour les petites séries de données, le calage peut produire des valeurs sensiblement différentes d'une année à l'autre).

Les paramètres des lois de probabilité ont été estimés par la méthode du maximum de vraisemblance (qui s'avère très légèrement plus précise que la méthode bayésienne dans le cas présent si l'on cherche à décrire les valeurs extrêmes).

1.3.2 Résultats

Nous reportons ici le résultat récapitulatif pour les chutes de neige sur des durées de un à plusieurs jours pour le poste de La Berche et pour les données de Safran. Une loi de valeurs extrêmes (LVE) a été ajustée sur les données des maxima annuels par la méthode du maximum de vraisemblance. Les tableaux 1.3 et 1.4 donnent la valeur des paramètres ξ , μ , et σ et quelques quantiles de chutes de neige extrêmes pour Val Cenis à 2100 m à partir des données mesurées à La Berche ou des données Safran. La figure 1.8 montre l'ajustement des lois de valeurs extrêmes sur les maxima annuels pour des durées de 1 jour, 2 jours, 3 jours et pour un épisode de n jours.

Si les mesures sur La Berche (1995–2024) et les données de Safran (1959–2024) fournissent des quantiles de précipitation extrême qui sont cohérents pour les chutes de neige de durée $d \geq 2$ jours, on note que les deux sources d'information donnent une image différente des précipitations journalières extrêmes :

- le modèle Safran indique que les chutes journalières suivent une loi de valeurs extrêmes

- de type Fréchet ($\xi \sim 0,2$) avec donc des quantiles centennaux voisin de 1 m de neige ;
- les mesures de La Berche suggèrent au contraire un comportement de type Weibull marqué ($\xi \sim -0,2$), et un cumul de neige centennal ne dépassant pas 77 cm (contre 93 cm pour le modèle Safran).

Compte tenu de l'existence de retours d'Est (comme celui de novembre 2016) qui n'ont pas été enregistrés par le poste de La Berche (à cause de la fermeture de la station de ski), il est probable que les quantiles estimés sur ce poste soient minorés. Il est donc préférable de retenir les valeurs fournies par le modèle Safran.

Tableau 1.3 – Estimation par la méthode du maximum de vraisemblance des coefficients ξ , μ , et σ pour la loi des valeurs extrêmes (LVE) ou pour la loi de Gumbel pour des chutes de neige de 1 à 3 jours ainsi que pour des épisodes météorologiques de durée $d = n$ jours quelconque sur Val Cenis à 2100 m d'altitude. On a reporté les quantiles (en cm) pour les périodes de retour décennale, trentennale, et centennale chacune des lois. Valeurs en cm. Le logarithme du maximum de vraisemblance est noté ℓ , et AIC est le critère d'information d'Akaike.

<i>Gumbel</i>	$d = 1 \text{ j}$	$d = 2 \text{ j}$	$d = 3 \text{ j}$	$d = n \text{ j}$
μ	28,1	40,6	46,8	63,4
σ	10,3	14,0	14,2	23,2
ℓ	-123,8	-135,7	-136,3	-151,3
AIC	251,7	275,4	276,5	306,7
$T = 10 \text{ ans}$	51,0	72,0	79,0	116,0
$T = 30 \text{ ans}$	63,0	88,0	95,0	142,0
$T = 100 \text{ ans}$	75,0	105,0	112,0	170,0
$T = 300 \text{ ans}$	87,0	120,0	128,0	196,0
<i>Loi de valeurs extrêmes</i>				
μ	29,1	40,1	45,9	63,3
σ	10,6	13,7	13,5	23,1
ξ	-0,17	0,07	0,12	0,01
ℓ	-122,9	-135,5	-135,9	-151,3
AIC	251,9	277,0	277,8	308,7
$T = 10 \text{ ans}$	49,0	73,0	81,0	116,0
$T = 30 \text{ ans}$	56,0	92,0	102,0	143,0
$T = 100 \text{ ans}$	63,0	114,0	128,0	172,0
$T = 300 \text{ ans}$	68,0	136,0	155,0	199,0

Tableau 1.4 – Estimation par la méthode du maximum de vraisemblance des coefficients ξ , μ , et σ pour la loi des valeurs extrêmes (LVE) ou pour la loi de Gumbel pour des chutes de neige de 1 à 3 jours ainsi que pour des épisodes météorologiques de durée $d = n$ jours quelconque d’après les données Safran. On a reporté les quantiles (en cm) pour les périodes de retour décennale, trentennale, et centennale chacune des lois. Valeurs en cm. Le logarithme du maximum de vraisemblance est noté ℓ , et AIC est le critère d’information d’Akaike.

<i>Gumbel</i>	$d = 1 \text{ j}$	$d = 2 \text{ j}$	$d = 3 \text{ j}$	$d = n \text{ j}$
μ	31,2	43,8	50,1	71,1
σ	9,7	13,5	16,4	30,1
ℓ	-254,1	-273,7	-286,0	-326,8
AIC	512,1	551,3	576,0	657,6
$T = 10 \text{ ans}$	53,0	74,0	87,0	139,0
$T = 30 \text{ ans}$	64,0	89,0	106,0	173,0
$T = 100 \text{ ans}$	76,0	106,0	126,0	210,0
$T = 300 \text{ ans}$	87,0	121,0	144,0	243,0
<i>Loi de valeurs extrêmes</i>				
μ	30,2	43,1	49,4	68,5
σ	8,8	13,1	16,0	27,9
ξ	0,20	0,09	0,08	0,16
ℓ	-250,8	-273,0	-285,6	-325,1
AIC	507,6	552,0	577,1	656,1
$T = 10 \text{ ans}$	55,0	76,0	89,0	144,0
$T = 30 \text{ ans}$	72,0	95,0	111,0	194,0
$T = 100 \text{ ans}$	96,0	118,0	138,0	258,0
$T = 300 \text{ ans}$	122,0	141,0	165,0	328,0

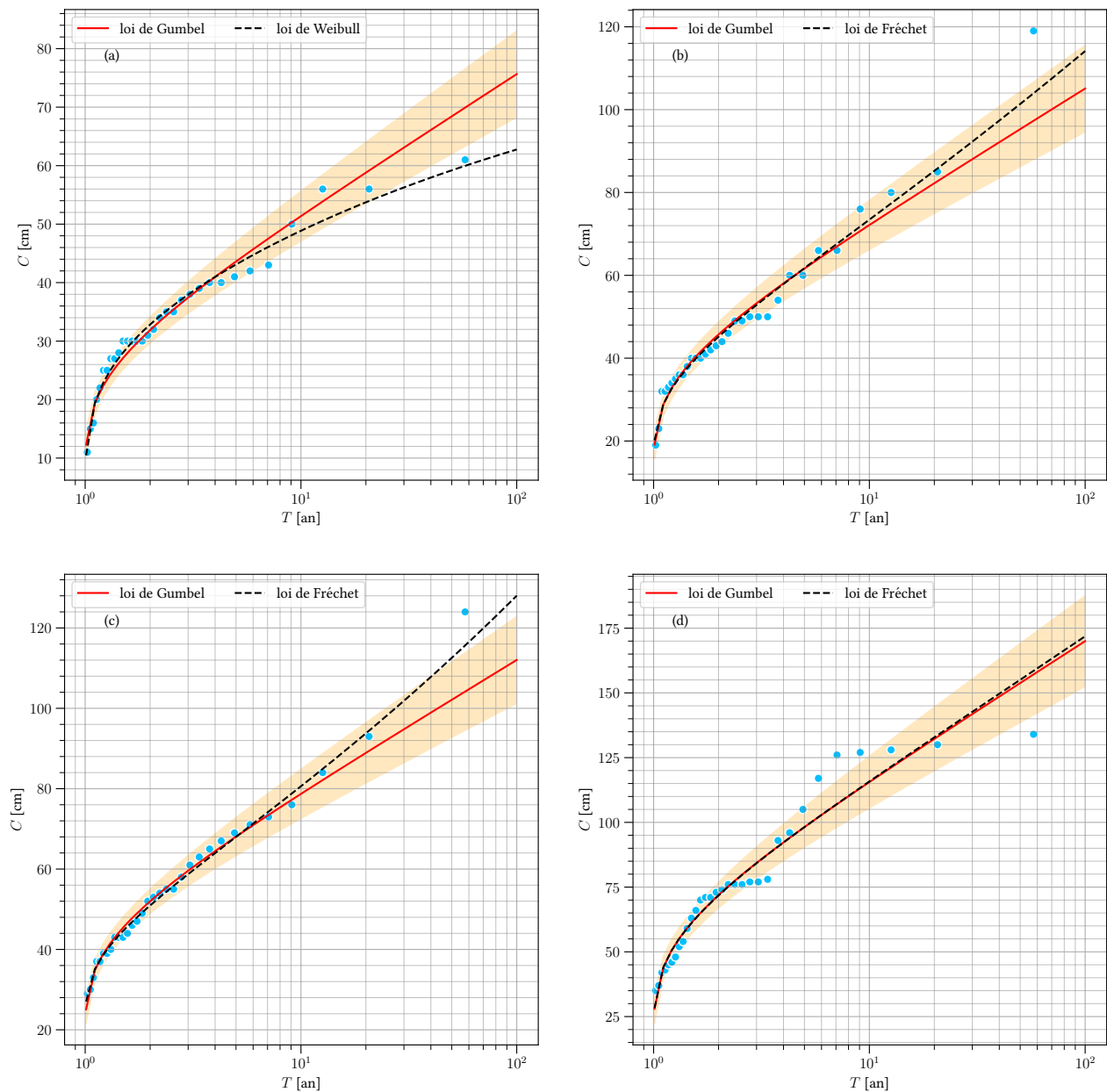


Figure 1.8 – (a) Variation de la chute de neige journalière C avec la période de retour T ; on a reporté la loi de Gumbel et la loi de Weibull calées au tableau 1.3. (b) Variation du cumul de neige C sur deux jours avec la période de retour T . (c) Variation du cumul de neige C sur trois jours avec la période de retour T . (d) Variation du cumul de neige C sur un épisode de n jours avec la période de retour T . La bande colorée en orange représente l'intervalle de confiance à 70 % de la loi de Gumbel. Données de La Berche (2101 m).

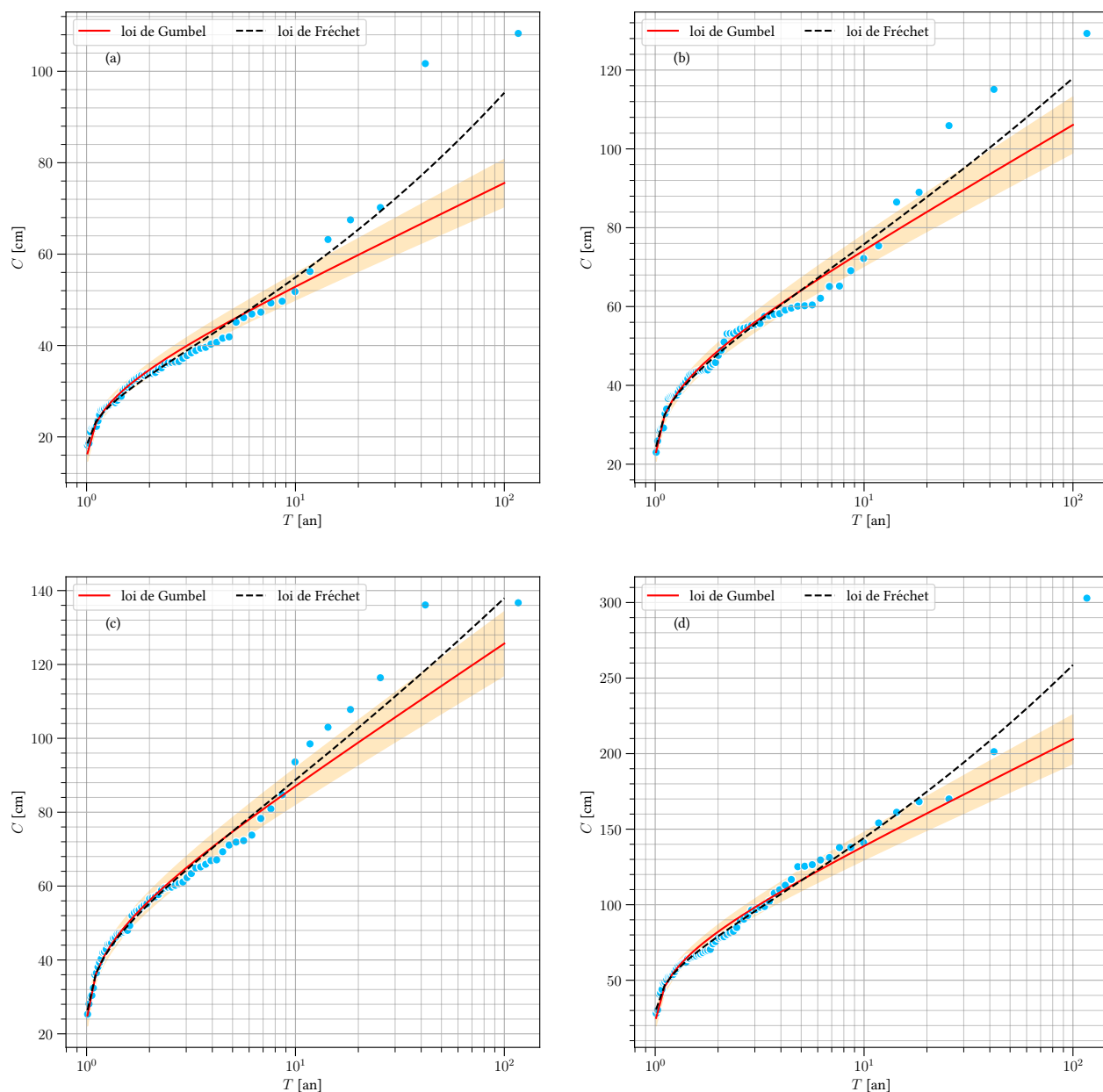


Figure 1.9 – (a) Variation de la chute de neige journalière C avec la période de retour T ; on a reporté la loi de Gumbel et la loi de Weibull calées au tableau 1.4. (b) Variation du cumul de neige C sur deux jours avec la période de retour T . (c) Variation du cumul de neige C sur trois jours avec la période de retour T . (d) Variation du cumul de neige C sur un épisode de n jours avec la période de retour T . La bande colorée en orange représente l'intervalle de confiance à 70 % de la loi de Gumbel. Données Safran.

1.4 Épaisseur du manteau neigeux

La figure 1.10 montre l'évolution des épaisseurs du manteau neigeux mesurées quotidiennement à La Berche (2101 m). De cette série temporelle, on peut déduire les valeurs moyennes de l'épaisseur de neige au sol au fil de la saison et la gamme de variation de cette épaisseur (voir figure 1.11).

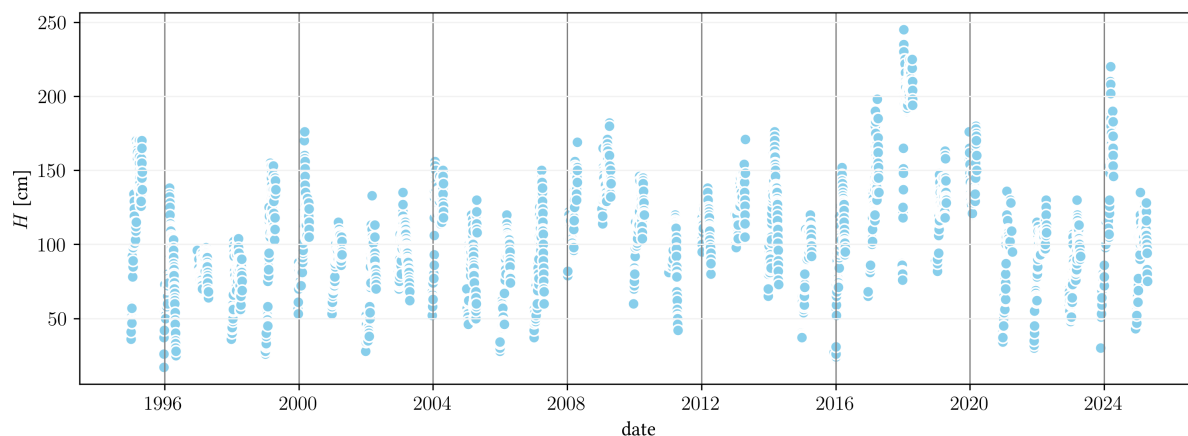


Figure 1.10 – Chronique des épaisseurs de neige au sol au cours de la saison pour Val Cenis à 2101 m de janvier 1995 à avril 2025. Chaque point représente une mesure quotidienne.

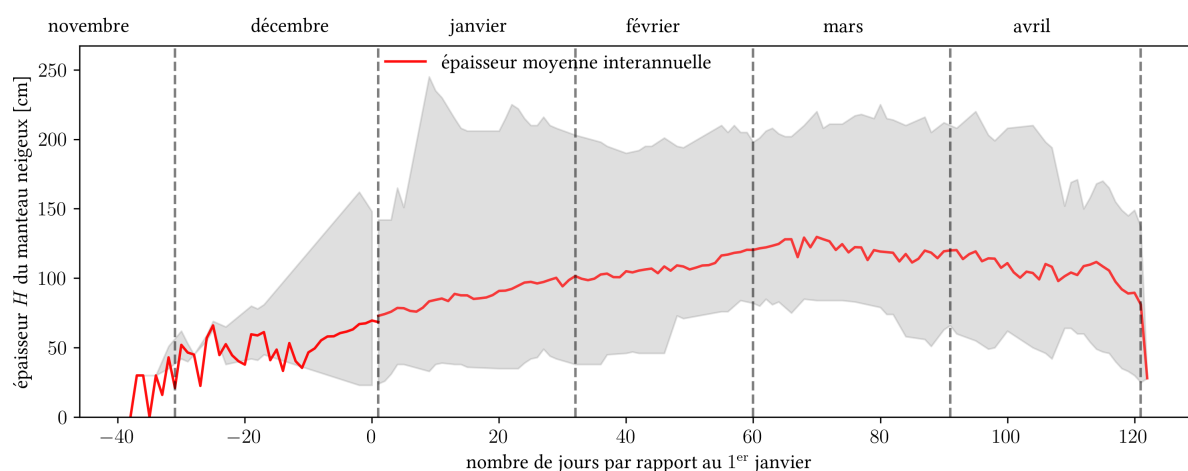


Figure 1.11 – Variation de l'épaisseur maximale de neige au sol au cours de la saison pour Val Cenis à 2101 m. La bande grise représente la gamme des hauteurs mesurées entre décembre 1995 et avril 2025. La courbe rouge représente la moyenne interannuelle.

On a calé une loi de valeurs extrêmes (1.1) sur les maxima annuels des épaisseurs du manteau neigeux. Les paramètres de la loi de valeurs extrêmes (équation 1.1) calée sur les données sont reportés dans le tableau 1.5. La variation de la hauteur de neige au sol en fonction de la période de retour est reportée à la figure 1.12. On notera des différences assez faibles d'épaisseur du manteau neigeux entre le modèle de Gumbel et le modèle de Weibull aux petites périodes de retour ($T \leq 5$ ans), mais des différences bien plus marquées aux grandes périodes de retour, avec des différences de l'ordre de 50 cm pour $T = 100$ ans entre les modèles de Gumbel et de

Weibull. On optera pour un modèle de Gumbel pour estimer les quantiles extrêmes d'épaisseur du manteau neigeux.

Tableau 1.5 – Estimation par inférence bayésienne des coefficients ξ , μ , et σ pour la loi des valeurs extrêmes de Weibull et la loi de Gumbel pour les maxima annuels de l'épaisseur journalière du manteau neigeux sur Val Cenis (La Berche, 2100 m). On a également reporté les quantiles H (en cm) pour les périodes de retour décennale à centennale. L'indice AIC est le critère d'information d'Akaike (le modèle avec l'indice le plus faible est le plus performant).

	Gumbel	Weibull
μ	130,3	132,5
σ	38,3	37,8
ξ	0,00	-0,17
AIC	331,8	328,8
Hauteur H		
$T = 10$ ans	216	203
$T = 30$ ans	260	230
$T = 100$ ans	306	254

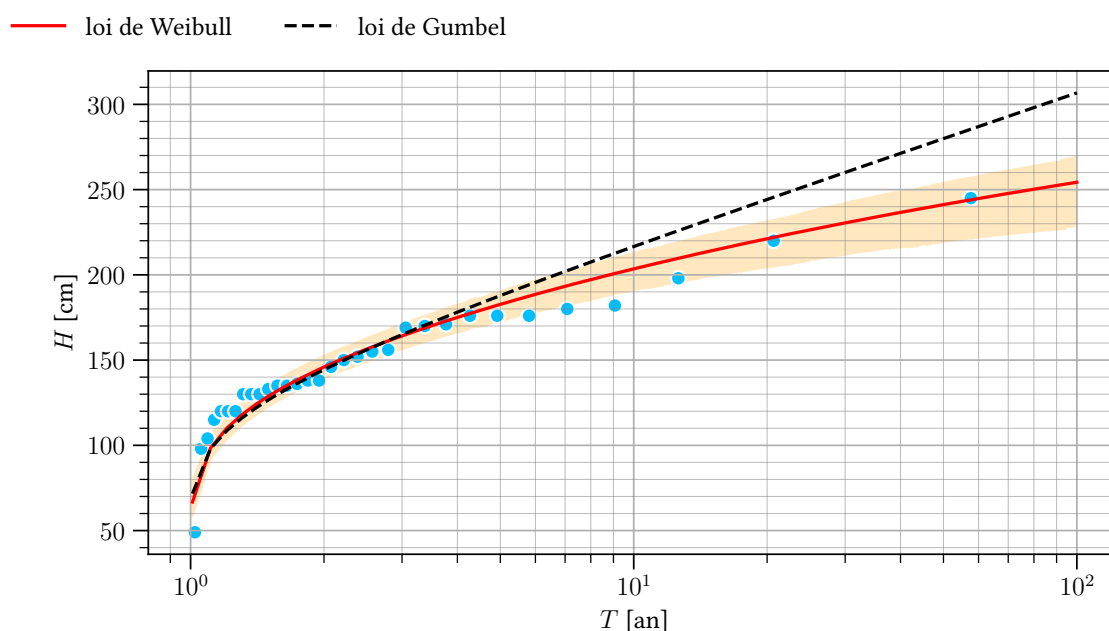


Figure 1.12 – Variation de l'épaisseur maximale de neige au sol (sur une journée) en fonction de la période de retour sur la Berche, 2100 m. La bande colorée en orange représente l'intervalle de confiance pour la loi de Weibull.

1.5 Changement climatique sur Val Cenis

1.5.1 Scénarios considérés

Le climat évolue sous l'effet de nombreux agents dont les plus importants sont :

- le rayonnement solaire (en moyenne $340 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$),
- le rayonnement infrarouge émis par la Terre (en moyenne $350 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), et
- l'effet de serre dû à la vapeur d'eau et aux gaz dans l'atmosphère, qui interceptent une partie du rayonnement traversant l'atmosphère.

Selon le *Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* (GIEC), la température a augmenté depuis 1750 (avant la Révolution industrielle) du fait de l'émission de gaz à effet de serre, dont le plus emblématique est le CO_2 ; cette augmentation de température serait équivalente à un « forçage radiatif » (une augmentation du flux d'énergie entrant dans l'atmosphère) de $2,3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

La complexité des processus atmosphériques a conduit le GIEC à formuler des scénarios.

- Dans son cinquième rapport (2013), le GIEC a décrit trois scénarios majeurs appelés « profils représentatifs d'évolution de concentration » – ou *representative concentration pathway* (RCP) en anglais – qui sont fonction du « forçage radiatif », c'est-à-dire le rayonnement supplémentaire à l'horizon 2100 dans la troposphère par rapport à la situation prévalant durant la période pré-industrielle (avant 1860). Ces scénarios associent forçage radiatif, concentration en dioxyde de carbone et élévation de température⁸ :

	forçage radiatif $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	CO_2 ppm	ΔT °C
RCP 2,6	2,6	400	1,0
RCP 4,5	4,5	550	1,8
RCP 8,5	8,5	1200	3,7

- Dans son sixième rapport (2019), le GIEC a revu sa grille de scénarios et a proposé à la place des scénarios RCP des scénarios SSP (*shared socio-economic pathways* en anglais) qui prennent en compte à la fois l'évolution des émissions des gaz à effet de serre à travers des scénarios socio-économiques et le forçage radiatif.

En 2023, le ministère en charge de l'environnement a choisi de simplifier la présentation de ces scénarios en adoptant des « trajectoires de référence pour l'adaptation au changement climatique » (TRACC⁹) et a pris comme période de référence soit les trois décennies 1976–2005, soit les trois décennies 1900–1930 (au lieu de 1850–1900 pour le GIEC). Ces scénarios TRACC sont plus ou moins une adaptation des scénarios RCP 2,6, RCP 4,5 et RCP 8,5 :

	période	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Monde	1850–1900	+1,5 °C	+2,0 °C	+3,0 °C
France	1900–1930	+2,0 °C	+2,7 °C	+4,0 °C
France	1976–2005	+1,4 °C	+2,1 °C	+3,4 °C

8. On parle de températures moyennes à l'échelle du globe. Comme l'essentiel de la surface terrestre est composé d'étendues océaniques, qui se réchauffent moins que la terre ferme, une augmentation de +1 °C de la température moyenne à l'échelle du globe entraîne des augmentations locales de température bien supérieures sur la terre ferme.

9. Voir le site DRIAS Les futurs du climat du ministère de la transition écologique : <https://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/402>.

Pour connaître ce qu'impliquent localement ces scénarios climatiques, il faut utiliser des modèles numériques. Une première couche de modèle est constituée des modèles de circulation générale (*global circulation model* ou GCM en anglais), dont la maille de calcul est grande (typiquement 100 à 200 km). Les calculs sont affinés pour prendre les effets locaux tels que le relief ; on emploie des modèles de circulation régionale (*regional circulation model* ou RCM en anglais) avec des mailles de calcul dont la longueur typique est 10 km. Nous avons utilisé le jeu de données TRACC 2023 composé :

- du modèle de circulation générale CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 , et
- du modèle de circulation régionale CNRM-ALADIN63,

tous deux développés par le Centre National de Recherches Météorologiques de Météo-France. Ces simulations considèrent une dégradation climatique, avec :

- à l'horizon 2030, une augmentation de +2,0 °C en France métropolitaine (scénario-type RCP 2,6),
- à l'horizon 2050, une augmentation de +2,7 °C en France métropolitaine (scénario-type RCP 4,5),
- à l'horizon 2100, une augmentation de +4,0 °C en France métropolitaine (scénario-type RCP 8,5),

par rapport à la période de référence 1900–1930.

1.5.2 Période de référence

Les figures 1.13 et 1.14 montrent la distribution des cumuls annuel moyen de précipitations et des températures annuelles moyennes pour la période de référence 1976–2005. À Val Cenis, la température annuelle moyenne à 1500 m est de 1,4 °C, et le cumul annuel moyen de précipitations est de 933 mm.

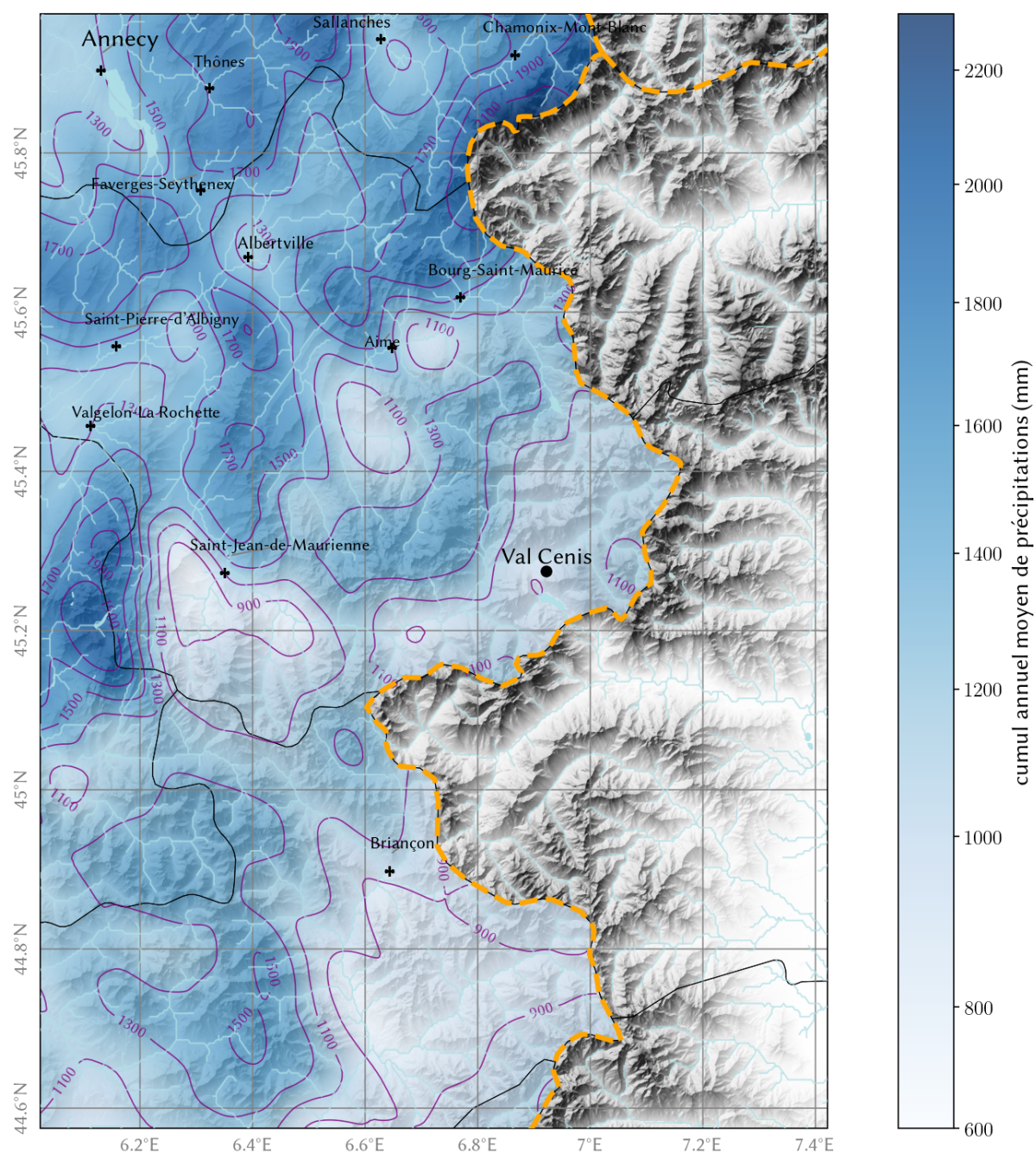


Figure 1.13 – Cumul annuel moyen de précipitations sur la période de référence 1976–2005. Source : données TRACC 2023 (ALADIN63 + CM5), Météo-France.

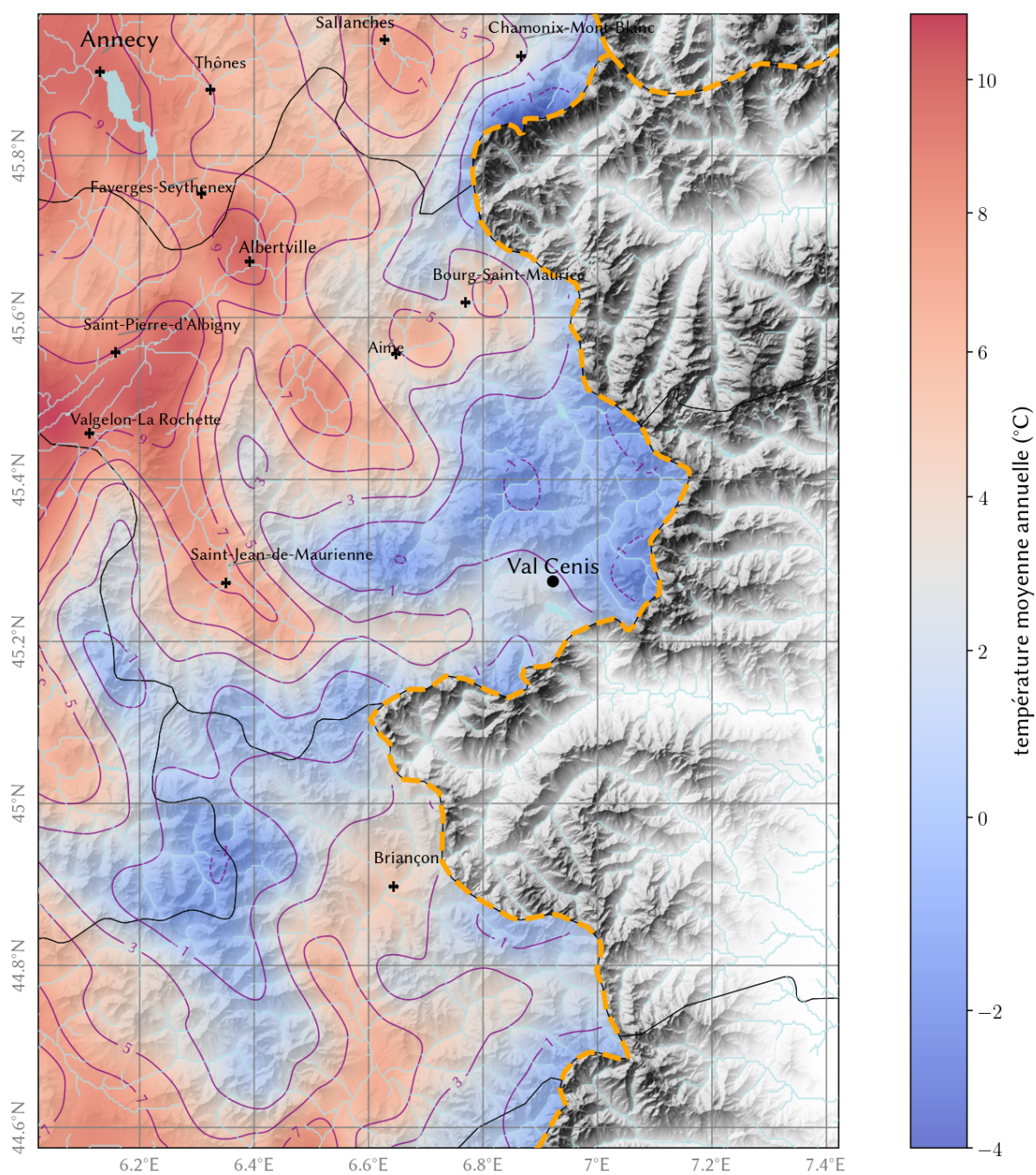


Figure 1.14 – Température moyenne annuelle sur la période de référence 1976–2005. Source : données TRACC 2023 (ALADIN63 + CM5), Météo-France.

1.5.3 Implications des scénarios

Tendances générales

On reporte ici les résultats pour Val Cenis à 1500 m d'altitude.

- Température moyenne annuelle :
 - valeur de référence (1951–2005) : +1,6 °C ;
 - en 2050 : +1,6 °C (température annuelle moyenne 3,2 °C) ;
 - en 2100 : +2,4 °C (température annuelle moyenne 4,0 °C).
- Précipitations annuelles :
 - valeur de référence (1951–2005) : 933 mm ;
 - en 2050 : +2,8 % (soit un cumul annuel de 961 mm) ;
 - en 2100 : +2,0 % (soit un cumul annuel de 956 mm).

Selon ces scénarios TRACC, il y a peu d'évolution de la pluviométrie annuelle à redouter sur Val Cenis ; en revanche, les températures devraient continuer d'augmenter à un rythme comparable à ce qui devrait être observé en moyenne pour la France métropolitaine (autrement dit, à un rythme moins élevé que pour les autres massifs internes).

Les figures 1.15 à 1.18 montrent la distribution spatiale des variations relatives de précipitations annuelles et des variations absolues de températures moyennes annuelles par rapport à la période de référence 1976–2005 pour les Alpes en 2050 et 2100 selon le modèle TRACC-2023 (ALADIN63+CNRM-CM5). S'il y a peu à dire sur la distribution spatiale attendue en 2050 quant à la valeur moyenne de cumul de précipitations (les Alpes ne devant pas voir de modifications significatives), on note que certains massifs comme l'Oisans, le massif du Thabor, et la région autour du mont Blanc devraient voir des cumuls annuels de précipitations plus faibles d'environ 5 % en 2100.

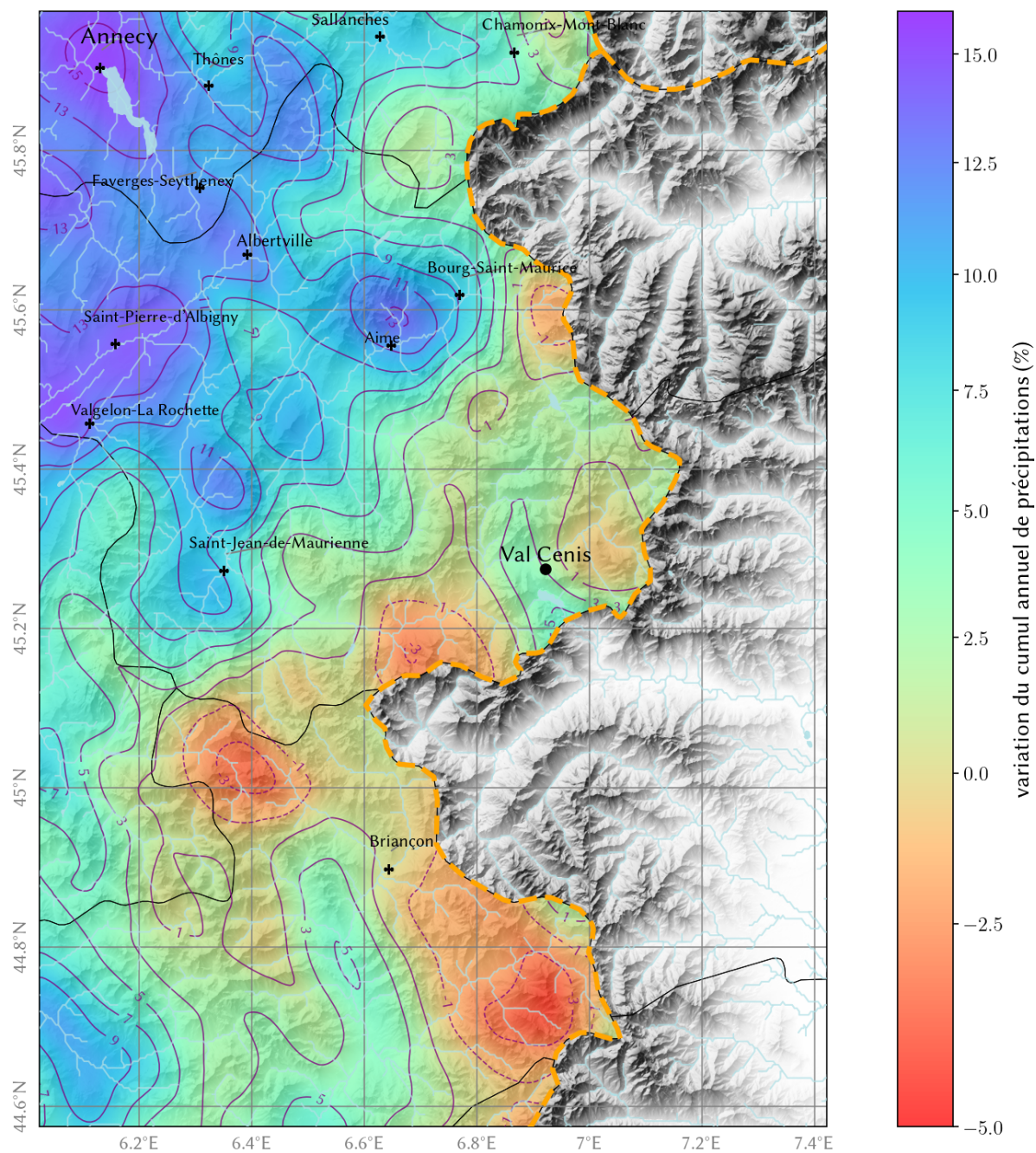


Figure 1.15 – Résultat de TRACC 2023 pour les variations relatives de précipitations annuelles sur les Alpes du Nord en 2050.

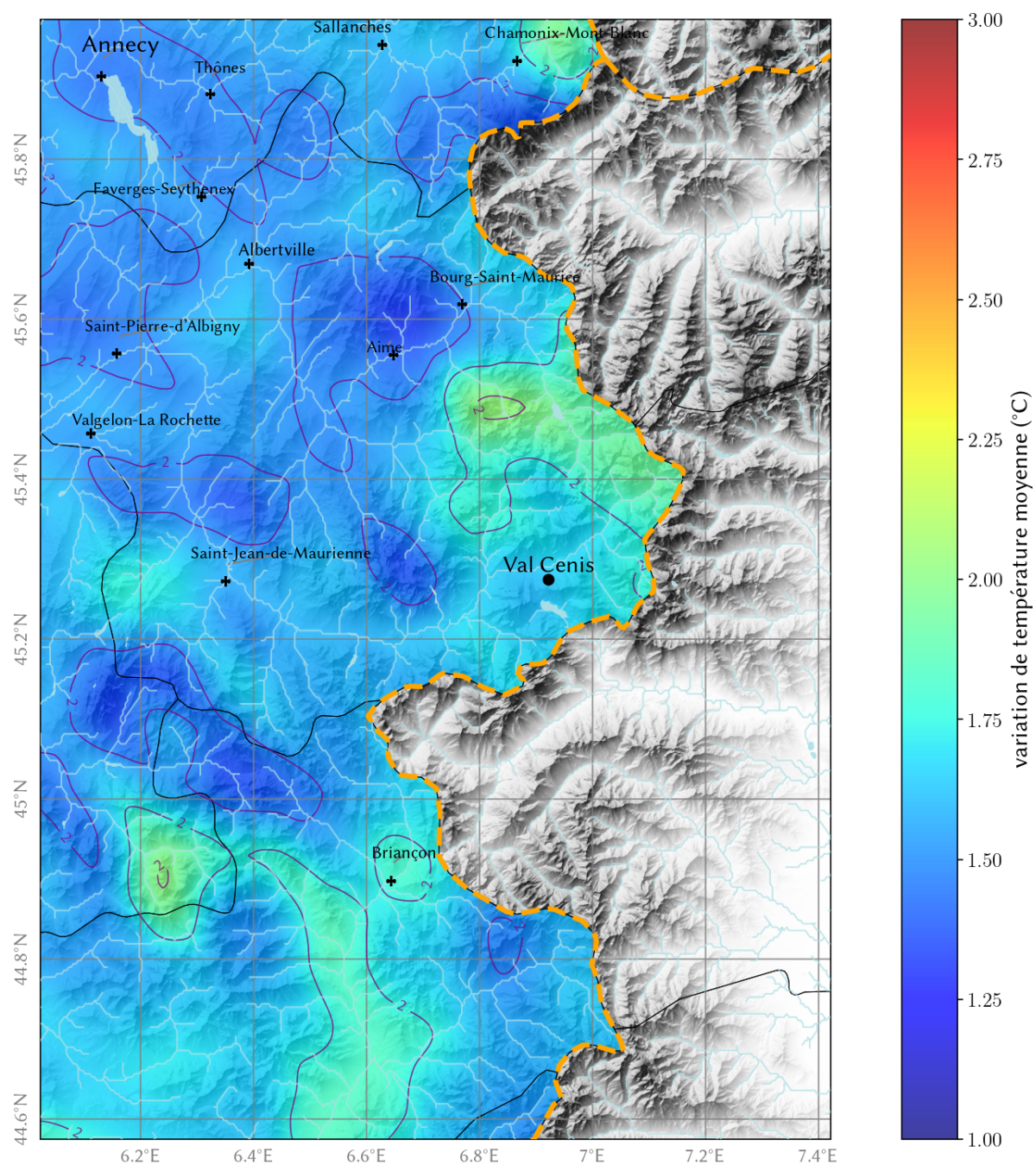


Figure 1.16 – Résultat de TRACC 2023 pour les variations de températures moyennes annuelles sur les Alpes du Nord entre 2050 et la période de référence 1951–2005.

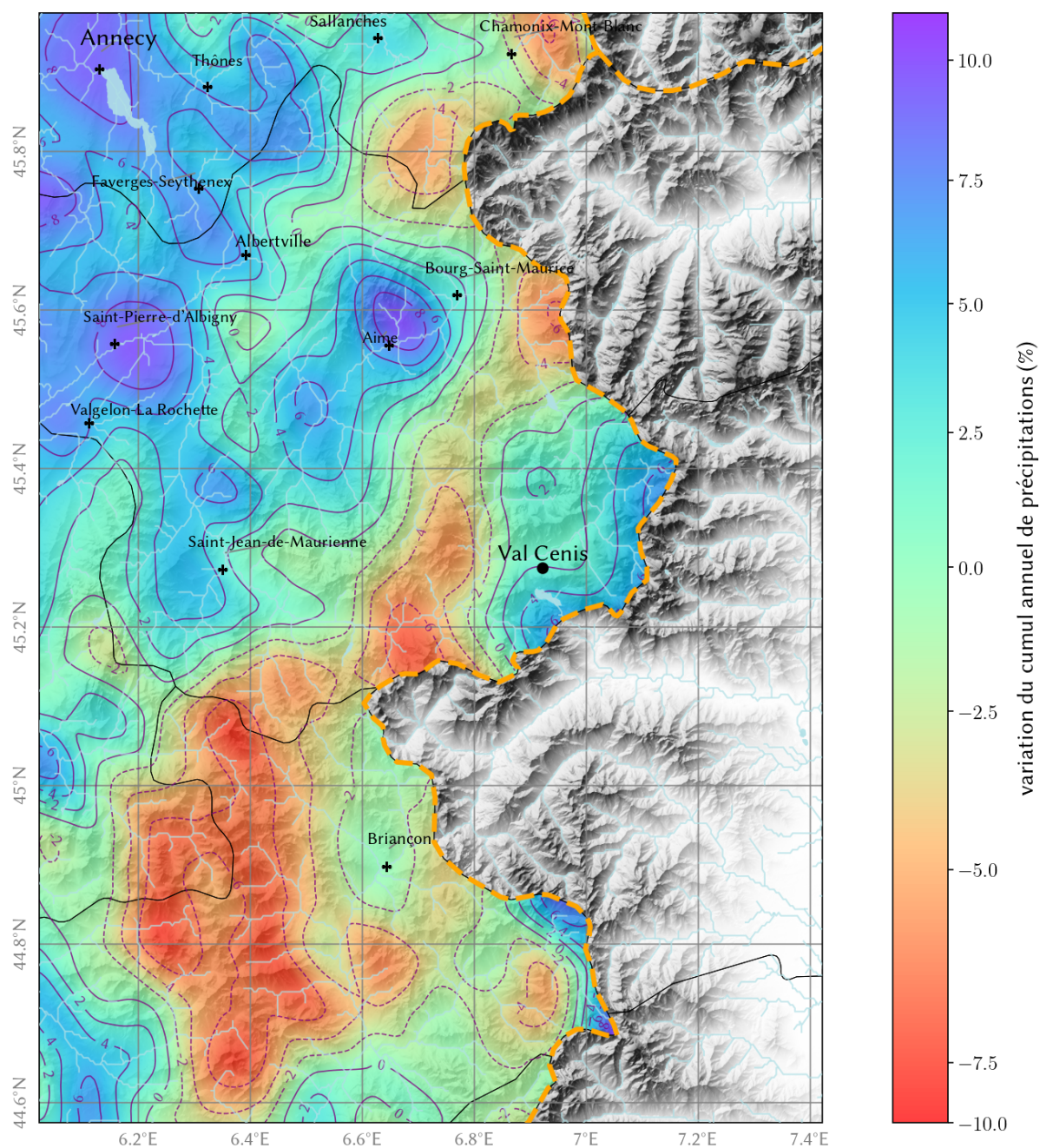


Figure 1.17 – Résultat de TRACC 2023 pour les variations relatives de précipitations annuelles sur les Alpes du Nord en 2100.

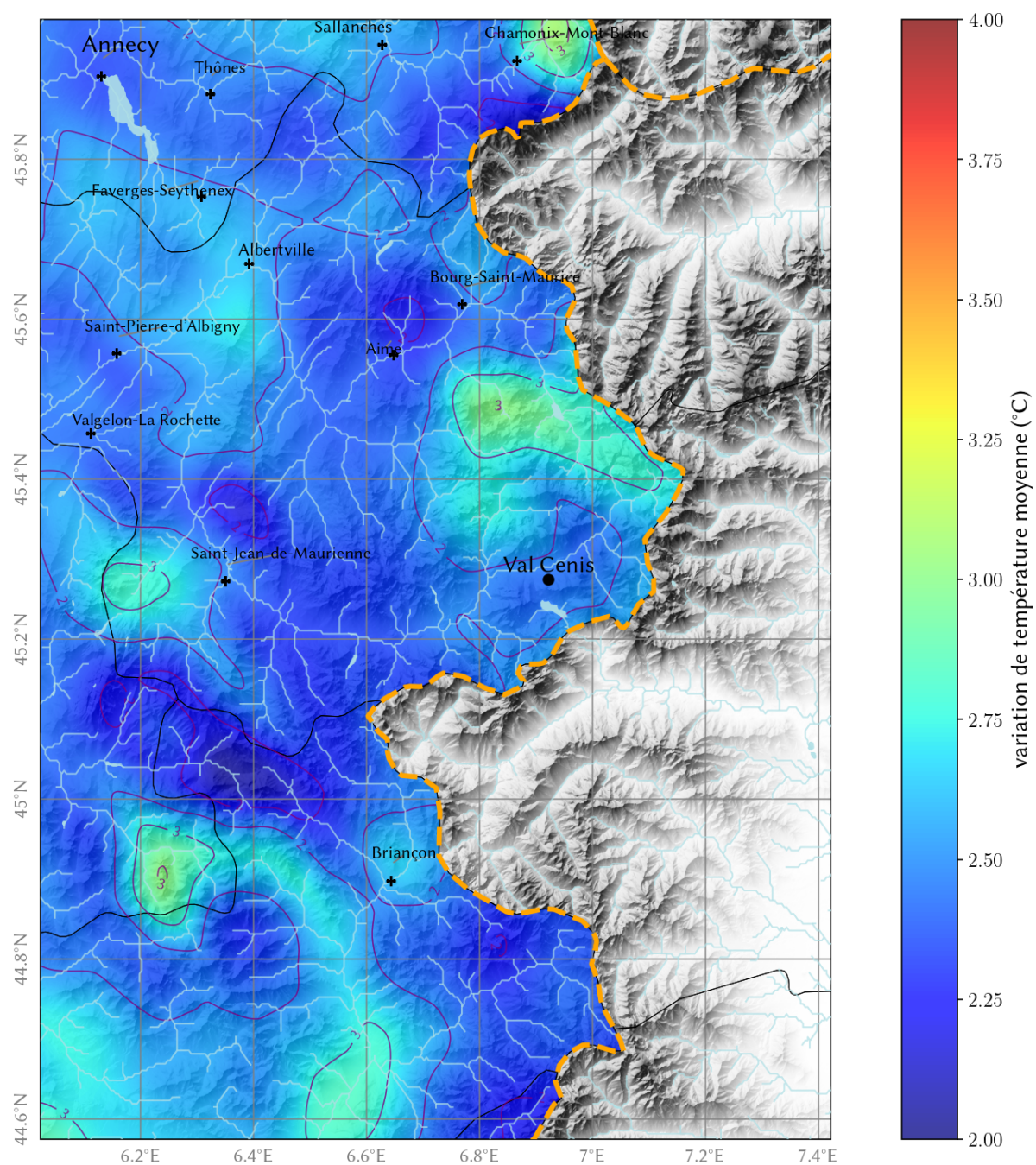


Figure 1.18 – Résultat de TRACC 2023 pour les variations de températures moyennes annuelles sur les Alpes du Nord entre 2100 et la période de référence 1951–2005.

Évolution possible de l'enneigement

Le jeu de données ADAMONT-2020 fournit des informations supplémentaires sur l'évolution possible du manteau neigeux. La figure 1.19 montre l'évolution de la température sous bulbe humide¹⁰ et de la valeur en eau du manteau neigeux selon le scénario météorologique RCP du GIEC.

Le scénario RCP2,6 est le plus favorable. Il correspond à une stabilité des émissions des gaz à effet de serre, puis à une réduction de ces émissions, ce qui permettrait de limiter l'augmentation de température à +2 °C par rapport aux années 1960–1980 selon le GIEC ; ce sont *grosso modo* les conditions climatiques actuelles. Comme le montre la figure 1.20, même ce scénario favorable conduit à une diminution d'environ 30 % de l'épaisseur du manteau neigeux (et de sa valeur en eau).

Les scénarios RCP4,5 et 8,6 sont bien plus critiques pour Val Cenis. S'ils ne devraient pas modifier la pluviométrie annuelle, ils seraient associés à des élévations jusqu'à 4 °C supplémentaires par rapport au scénario RCP 8,5, ce qui condamnerait la pratique du ski sur le domaine skiable actuel. Selon certaines études, les quantiles de précipitations extrêmes en altitude (au-dessus de 2700 m) seraient sensiblement augmentés¹¹. En bref, la station devrait faire face à une disette de neige en conditions ordinaires, et de temps à autres à de très fortes chutes de neige, et donc à un risque plus important d'avalanche.

10. La température sous bulbe humide (ou température du thermomètre mouillé) correspond à la température de l'air avec un taux d'humidité relative de 100 %. Cette température est plus faible que la température de l'air sec. Elle est censée être plus parlante pour comprendre les effets du réchauffement climatique sur les activités humaines à l'extérieur. Malheureusement, le jeu de données ADAMONT « impact » ne fournit que la température sous bulbe humide, et non la température de l'air.

11. Le Roux, E., G. Evin, N. Eckert, J. Blanchet, and S. Morin, Projection of snowfall extremes in the French Alps as a function of elevation and global warming level, *The Cryosphere*, **17**, 4691–4704, 2023.

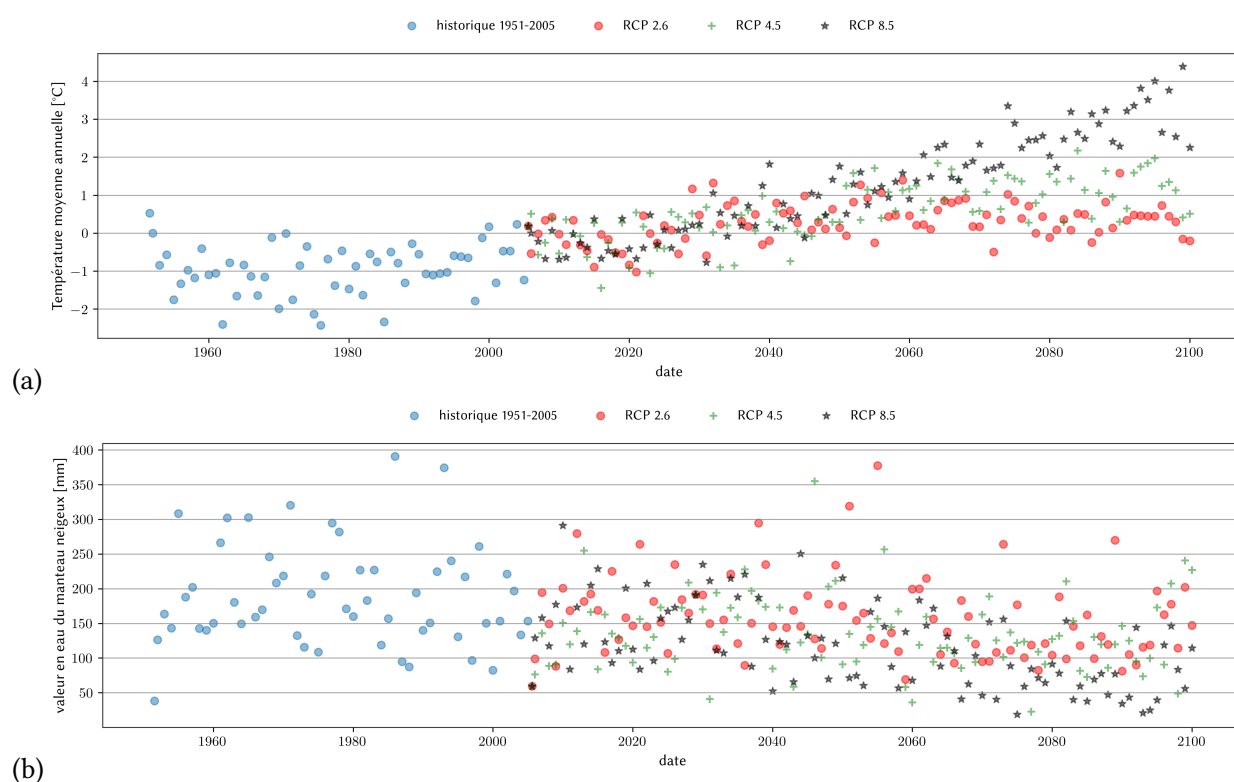


Figure 1.19 – Résultat du jeu de données corrigées ADAMONT-2020 montrant l'évolution de la température moyenne (température sous bulbe humide) (a) et de la valeur en eau du manteau neigeux (b) pour Val Cenis en fonction des scénarios RCP.



Figure 1.20 – Résultat du jeu de données corrigées ADAMONT-2020 pour Val Cenis selon le scénario RCP 2,6. (a) Évolution de la valeur en eau du manteau neigeux. (b) Évolution de la température moyenne annuelle (température sous bulbe humide). (c) Évolution de l'épaisseur du manteau neigeux.

Influence de l'altitude

Le jeu de données ADAMONT permet d'évaluer l'influence de l'altitude sur les données climatiques. La figure 1.21 montre l'évolution de l'épaisseur du manteau neigeux entre 1500 m et 3000 m sur la période 1950–2100. À 1500 m, l'épaisseur du manteau neigeux devrait diminuer d'un facteur entre 1950 et 2100. Pour le domaine de haute altitude (à 3000 m), le manteau neigeux devrait garder son épaisseur moyenne.

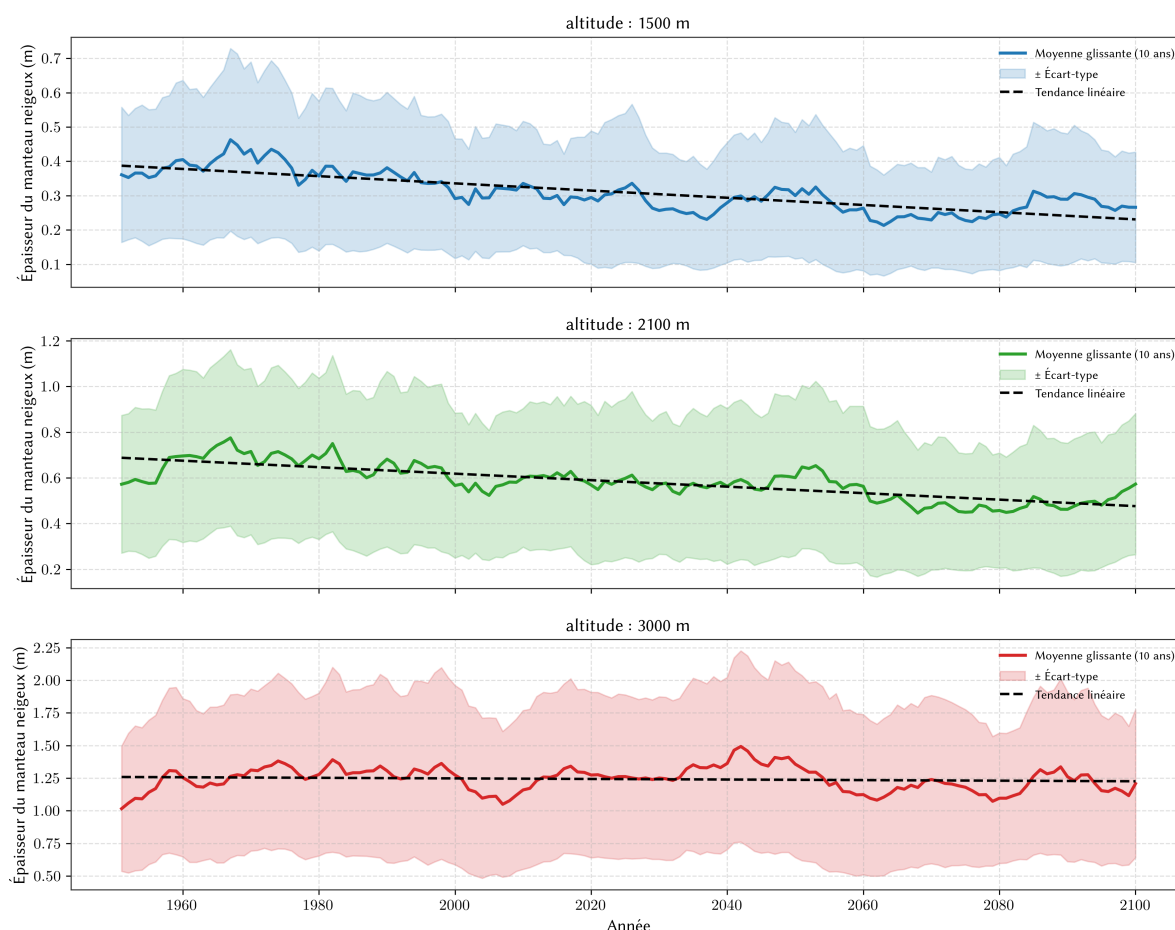


Figure 1.21 – Évolution de l'épaisseur du manteau neigeux selon les données corrigées ADAMONT-2020 (CNRM-CM5 + ALADIN63) pour Val Cenis pour le scénario RCP 2,6. Trois altitudes sont considérées : 1500 m (bas de la station), 2100 m (altitude de La Berche), et 3000 m (col du Lou). La bande colorée représente l'écart-type $\pm\sigma$ autour de la valeur moyenne annuelle (σ est calculée à partir des valeurs quotidiennes sur une année). On également tracé la moyenne glissante (sur 10 ans) et la tendance linéaire calée sur le jeu de données 1950–2100.

La figure 1.22 montre l'évolution des températures annuelles moyennes entre 1500 m et 3000 m. L'augmentation est à peu près la même quelle que soit l'altitude (c'est-à-dire entre 1,3 °C et 1,4 °C par siècle entre 1950 et 2010).

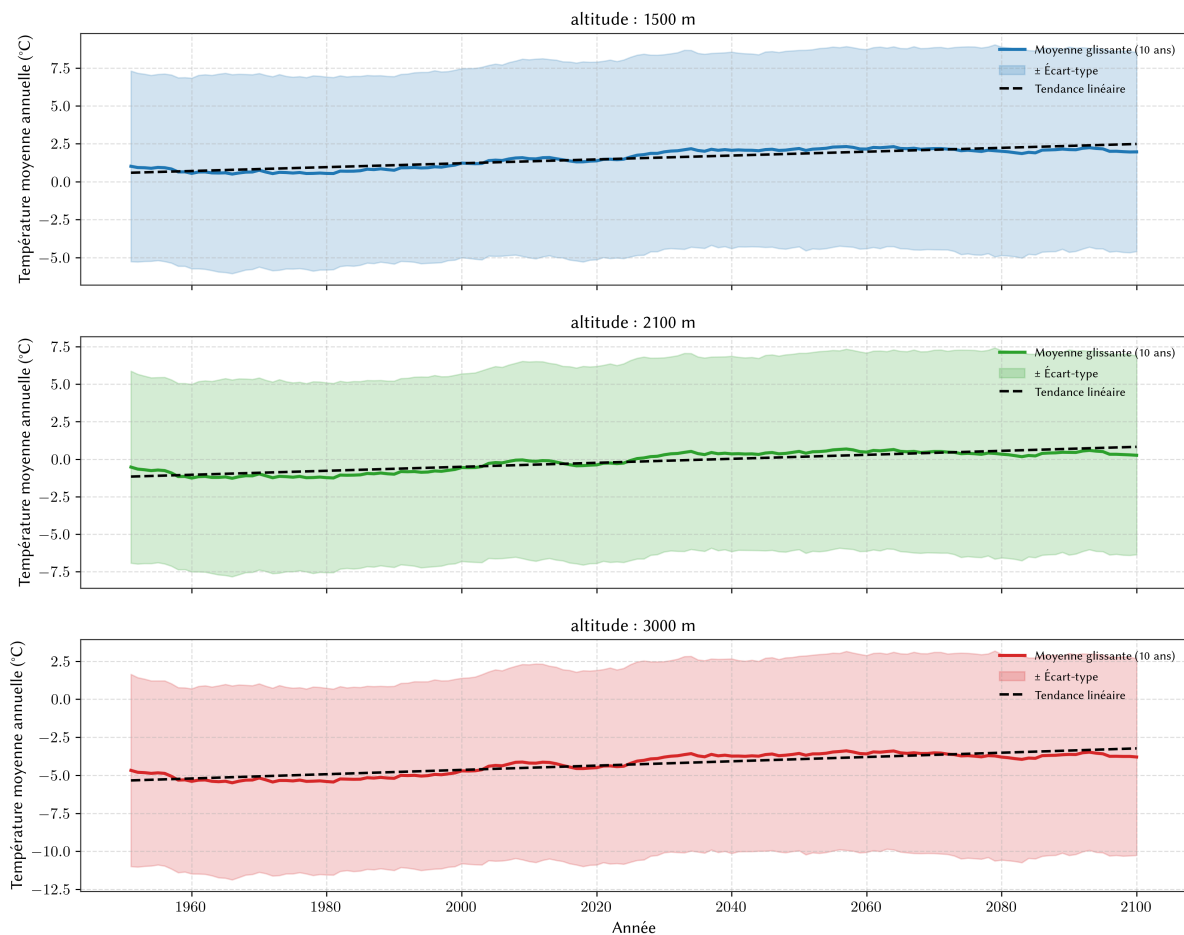


Figure 1.22 – Évolution de la température moyenne annuelle (température sous bulbe humide) selon les données corrigées ADAMONT-2020 (CNRM-CM5 + ALADIN63) pour Val Cenis pour le scénario RCP 2,6. Trois altitudes sont considérées : 1500 m (bas de la station), 2100 m (altitude de La Berche), et 3000 m (col du Lou).

1.6 Synthèse

1.6.1 Retour sur les valeurs de référence

L'étude s'est fondée sur une série de trente années de mesures ainsi que des données de simulation du modèle Safran, ce qui a conduit à l'estimation suivante des quantiles extrêmes :

	$T = 30$ ans	$T = 100$ ans
chute de neige journalière	72 cm	96 cm
chute de neige sur trois jours consécutifs	89 cm	138 cm
épaisseur du manteau neigeux	230 cm	255 cm

1.6.2 Réchauffement

Comme le reste des Alpes, les températures moyennes annuelles ont augmenté à Val Cenis de façon significative depuis les années 1980. Cette augmentation est plus marquée que ce que n'indique la valeur moyenne pour la France métropolitaine, une valeur elle-même plus élevée que la valeur calculée sur la surface du globe qui sert de valeur de référence¹². Selon les données historiques disponibles, les températures sont montées de 0,4 °C par décennie sur Val Cenis, et elles devraient continuer de croître à ce rythme jusqu'à au moins 2100. Il faut toutefois souligner les fortes incertitudes associées à l'estimation des températures¹³.

Les précipitations devraient en moyenne peu varier sur Val Cenis, mais il faut souligner que pour la haute Maurienne, les précipitations varient fortement d'une année sur l'autre. On a pu ainsi mettre en évidence un cycle court de 4 ans, et un autre bien plus long (20 ans) dans le cumul annuel de précipitations (voir figure 1.4). Selon les scénarios de Météo-France, la situation ne devrait guère changer sur ce point à Val Cenis dans les prochaines décennies. Il est probable qu'avec un air plus chaud, la dynamique des précipitations soit modifiée, avec des cumuls extrêmes de précipitation sur de courtes durées (de quelques heures à la journée) plus élevés que ceux observés historiquement.

Les conséquences du réchauffement climatique sur Val Cenis sont :

- une diminution sensible de l'épaisseur du manteau neigeux dans le bas de la station (au niveau de la vallée de l'Arc) ;
- une multiplication de phénomènes avalancheux – comme celui d'avril 2024 – marqués par des variations brutales de températures, des avalanches de glissement ou de neige humide de gros volumes ;
- des cumuls de neige potentiellement plus abondants dans le domaine de haute altitude (au-dessus de 2500 m).

12. De fait, en matière de communication, le choix par le GIEC d'une température moyennée sur la surface de la Terre est peu heureux car il donne l'impression d'une augmentation peu marquée, mais il faut noter que les surfaces maritimes se réchauffent moins vite que les surfaces émergées, et que les zones de plaine subissent un réchauffement moindre que les zones de montagne. Il faut souligner que ce sont les températures quotidiennes minimales qui ont le plus fortement augmenté au cours des dernières décennies, et il s'ensuit que les zones traditionnellement froides (zones polaires, montagnes) se réchauffent bien plus vite que les autres zones.

13. C'est ainsi que les prévisions à court terme des différents modèles climatologiques ont sous-estimé les températures moyennes de 2023 et 2024. Voir, p. ex. Carton, J.A., G.A. Chepurin, E.C. Hackert, and B. Huang, Remarkable 2023 North Atlantic Ocean Warming, *Geophysical Research Letters*, **52**, e2024GL112551, 2025 ; Terhaar, J., F.A. Burger, L. Vogt, T.L. Frölicher, and T.F. Stocker, Record sea surface temperature jump in 2023–2024 unlikely but not unexpected, *Nature*, **639** (8056), 942–946, 2025.

Analyse du risque d'avalanche

2.1 Méthodes

L'analyse spatiale vise à donner une image qualitative du fonctionnement avalancheux du site étudié. Elle est principalement fondée sur l'expérience naturaliste et l'observation de terrain. À partir de différents éléments :

- observations recueillies lors de notre visite de terrain du 11 juin 2025 ;
- collecte et analyse critique de diverses sources historiques ;
- analyse des profils de terrain et carte des pentes,

nous avons cherché à distinguer d'une part les zones de départ élémentaires (les panneaux de départ) des versants menaçant le projet et, d'autre part, les trajectoires et les zones d'arrêt qui leur sont associées.

2.2 Données

L'étude a pris en considération les documents suivants :

- les données de l'enquête permanente sur les avalanches (EPA) ;
- la carte de localisation des phénomènes d'avalanches (CLPA),

et s'est appuyée sur :

- le levé lidar LidarHD de l'IGN, disponible sur le périmètre de la zone d'étude ;
- l'orthophotoplan BDOrtho de l'IGN ;
- la couverture de photographies aériennes : plusieurs missions de l'IGN et l'IFN de 2001 à 2013.

2.3 Éléments historiques

2.3.1 Enquête permanente sur les avalanches

L'EPA est une procédure de suivi des avalanches mise à l'œuvre par l'administration forestière au début du ^{xx}e siècle sur l'ensemble des Alpes françaises. L'agent forestier renseigne l'activité avalancheuse d'un certain nombre de couloirs identifiés ; il consigne pour chaque événement constaté la date d'occurrence (ou à défaut la date d'observation), les altitudes de départ et d'arrêt, le type d'avalanche (selon une typologie qui a souvent changé depuis le début du ^{xx}e siècle), les dégâts éventuels occasionnés, etc. Le secteur étudié figure sur les feuilles AU68 et AV68 de l'atlas de l'EPA (voir figure 2.1).

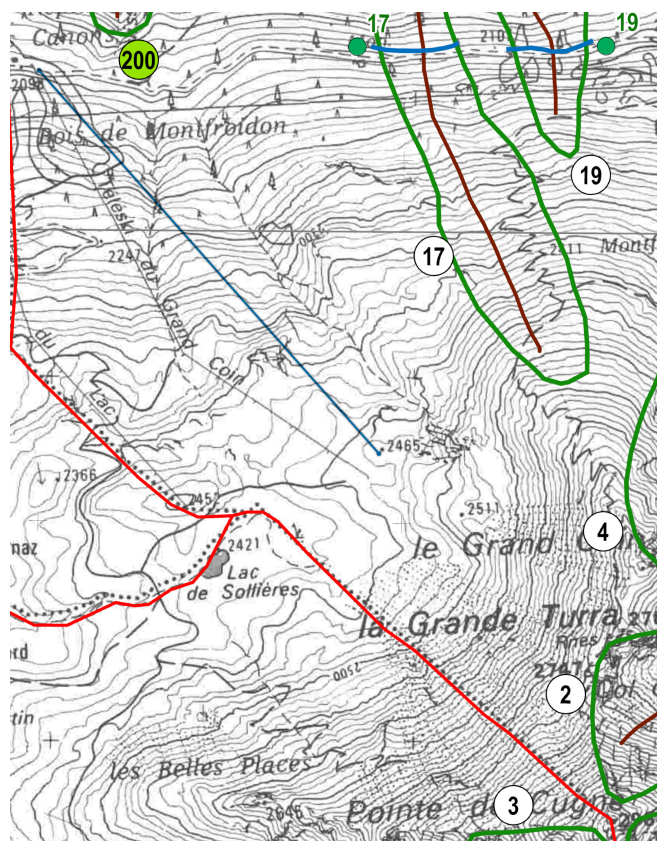


Figure 2.1 – Extrait des feuilles AU68 et AV68 de l'atlas de l'EPA, édition 2012. L'appareil est reporté en surimpression (segment bleu). Échelle 1:15 000. © IGN-Paris 2003, © MEDDE-ONF-Irstea 2012.

Aucun site suivi à l'EPA ne concerne notre zone d'étude.

2.3.2 Carte de localisation des phénomènes d'avalanches

La carte de localisation des phénomènes d'avalanches (CLPA) est un document informatif mis en œuvre au début des années 1970, qui dresse un inventaire des avalanches connues sur une grande partie des Alpes et des Pyrénées. Elle comporte deux types d'informations :

- des avalanches reconnues par enquête sur le terrain (figurées en magenta sur la carte) ;
- des avalanches reconnues par photo-interprétation (figurées en orange sur la carte).

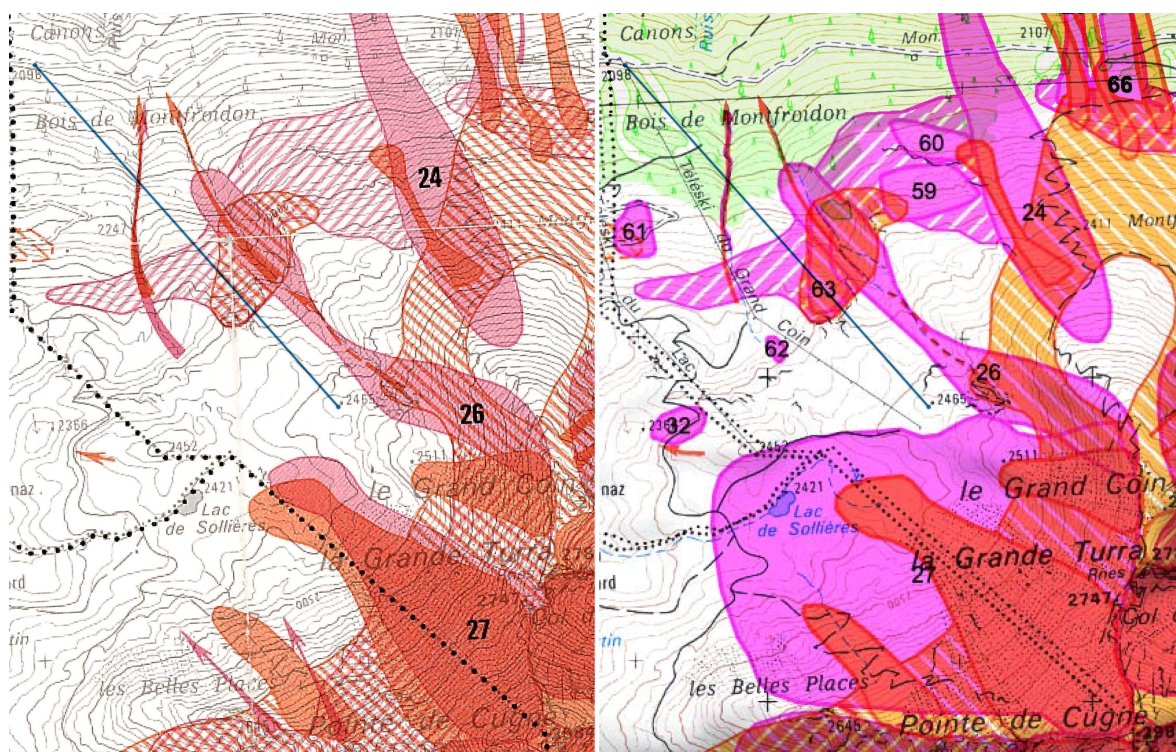


Figure 2.2 – À gauche : extrait de la feuille *Montfroid* (1986). À droite : extrait des feuilles AU68 et AV68 de l’atlas de la CLPA (2024). L’appareil est reporté en surimpression (segment bleu). Échelle 1:28 000. © IGN-Paris 2013, © MTES-ONF-Irstea 2022.

Le secteur étudié figure sur les feuilles AU68 et AV68 de l’atlas de la CLPA. Cette version de la carte publiée en 2022¹ est une réédition de la feuille *Haute Maurienne* dressée en 1992, elle-même réédition de la carte *Montfroid* parue en 1986. La figure 2.2 présente le document dans sa version initiale et sa version la plus récente.

Avalanches reconnues par photo-interprétation

La photo-interprétation est héritée de l’édition de 1986. À cette époque le fond topographique à l’échelle 1:25 000 était déjà disponible,² c’est-à-dire que les contours d’avalanches identifiés par le photo-interprète ont été correctement reportés sur la carte.

Un grand tracé d’avalanche occupe le versant nord-ouest de la Pointe de Cugne. Le photo-interprète estime que la zone de dépôt est située en amont du lac de Sollières. Cette avalanche est flanquée de deux tracés plus petits qui s’étendent jusque vers l’altitude 2500 m. Entre ces trois emprises d’avalanches sont figurées des zones d’avalanche d’ampleur diverse (hachures oranges). De notre point de vue cette représentation des phénomènes décrit un fonctionnement avalancheux *ordinaire* ; mais elle est trop peu étendue pour rendre compte des avalanches se produisant sous des conditions d’instabilité marquée du manteau neigeux : le faible morcellement transversal des zones de départ dans cette face laisse supposer que des avalanches concernent fréquemment tout le versant. Même en considérant de faibles épaisseurs de neige mobilisée, les importants volumes de neige transférés au bas de la face occasionnent des dépôts qui doivent couramment atteindre le lac et occuper le replat sur toute sa largeur.

1. il s’agit de la date d’émission de la feuille, l’enquête la plus récente sur le terrain a été réalisée en 2005, et complétée ponctuellement par des mises à jour annuelles, notamment en 2011.

2. Les premières éditions de CLPA des années 1970 ont été dressées sur un fond topographique à l’échelle 1:20 000 qui souffrait de nombreuses erreurs et imprécisions.

Au nord d'une ligne passant par le Grand Coin, le versant descend en pente débonnaire vers le nord, dans le Bois de Montfroidon. Le photo-interprète identifie une activité avalancheuse à nouveau d'ampleur modeste vis-à-vis des phénomènes qui peuvent se produire : une zone d'avalanche à la faveur d'un ressaut situé entre 2250 et 2400 m ; des avalanches localisées (flèches oranges) empruntant deux talwegs, jusque vers 2100 m. Le projet de remontée mécanique est concerné par ces écoulements :

- de façon ponctuelle au franchissement d'un talweg vers 2200 m ;
- de manière plus diffuse au passage de la zone escarpée entre 2370 et 2400 m d'altitude.

Avalanches reconnues par recueil de témoignages

Les enquêtes successives répertorient plusieurs avalanches.

- Avalanche n° 27 : dans la dernière édition de la carte l'ensemble de la face nord-ouest de la Pointe de Cugne est concerné. La zone de dépôt jouxte les gares d'arrivée des téléskis du Lac et du Grand Coin. Au droit du Grand Coin l'avalanche déborde légèrement la combe sur sa rive droite, approchant ainsi l'emplacement de la gare d'arrivée du projet. La fiche signalétique dressée en 2005 indique :
« *Départ massif en plaque. L'avalanche est arrivée sur la berge opposée du lac et a comblé toute la cuvette, atteignant même le talus sur lequel sont installées les arrivées des téléskis du Lac et du Grand Coin, mais aussi la piste qui part de l'arrivée du télésiège du Grand Coin. Sur la rive droite de cette emprise (côté Grand Coin), des Italiens avaient été pris dans une avalanche (sans victimes)* ».
 - Avalanche n° 26 : le tracé de cette avalanche a été établi lors de l'enquête initiale de 1986. Il pose un problème de vraisemblance. Lors de l'enquête de 2005, sans modifier le tracé de l'avalanche sur la carte, le chargé d'étude porte la remarque suivante dans la fiche :
« *D'après le témoin, la configuration du terrain semble très défavorable à la propagation d'une avalanche issue du versant ouest du Grand Coin à l'aval du plat situé au Nord du point coté 2511 sur le fond IGN* ».
- Compte tenu de la superficie modeste de la zone de départ et du profil en long du talweg, nous estimons que le large dépôt de cette avalanche à l'altitude 2200 m est très improbable ; nous considérons ce tracé comme une erreur manifeste de cartographie.
- Les avalanches n°s 61 et 62 : ajoutées lors de l'enquête de 2005, ce sont de petites avalanches circonscrites à des talus escarpés qui n'intéressent pas le projet de télésiège.
 - Avalanche n° 63 : ajoutée lors de l'enquête de 2005, c'est une avalanche qui est déclenchée préventivement par le service des pistes . L'enquêteur porte le commentaire suivant à la fiche signalétique :
« *Avalanche tirée à la main qui a emprunté la piste sur une cinquantaine de mètres, y déposant environ 1,2 m de neige* ».

La remontée mécanique est concernée par ce phénomène.

En somme, la lecture de la CLPA nous indique que **le projet de télésiège est exposée localement à une activité avalancheuse** dans la partie médiane de son tracé. Les gares ne sont pas concernées par l'activité avalancheuse.

2.3.3 PIDA

La station dispose d'un plan d'intervention pour le déclenchement des avalanches (PIDA) sur ce secteur. Les figures 2.3 et 2.4 fournissent un extrait de la cartographie du PIDA où sont représentés les points de tir du secteur.

Les tirs n^{os} 75, 76, 77, 77b, sont réalisés par grenadage manuel. Le projet d'appareil est concerné par les coulées fréquemment observées sur les points de tir n^{os} 75 et 77.

Le dernier épisode marquant est un retour d'est daté de mars 2024. Les figures 2.5 et 2.6 localisent la purge d'ensemble du versant allant de la Pointe de Cugne au Grand Coin observée suite à un tir préventif (grenadage depuis l'hélicoptère). Le service des pistes commente l'événement ainsi sur la base de données data-avalanches :

« Vaste avalanche déclenchée préventivement pour la protection des pistes et des appareils, après le puissant retour d'Est. L'une des plaques était partie spontanément durant la nuit. »

Le service des pistes n'a pas connaissance d'avalanches de ce secteur ayant endommagé les téléskis du Lac et du Grand Coin. Les dépôts de neige des plus gros phénomènes sont toujours cantonnés au vallon du lac de Sollières.

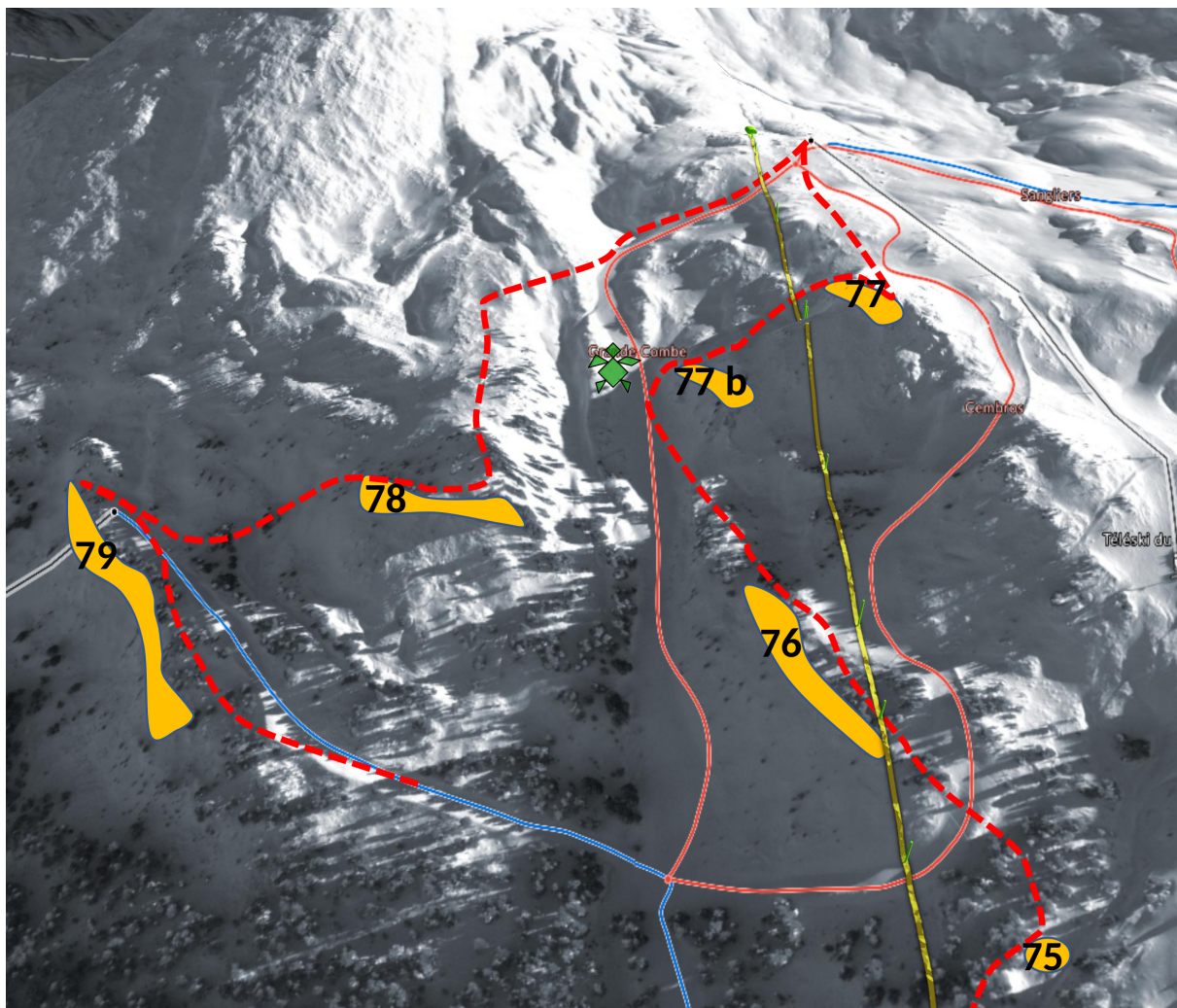


Figure 2.3 – Extrait du PIDA de Val Cenis, secteur Sources. Le tracé jaune localise l'appareil en projet.

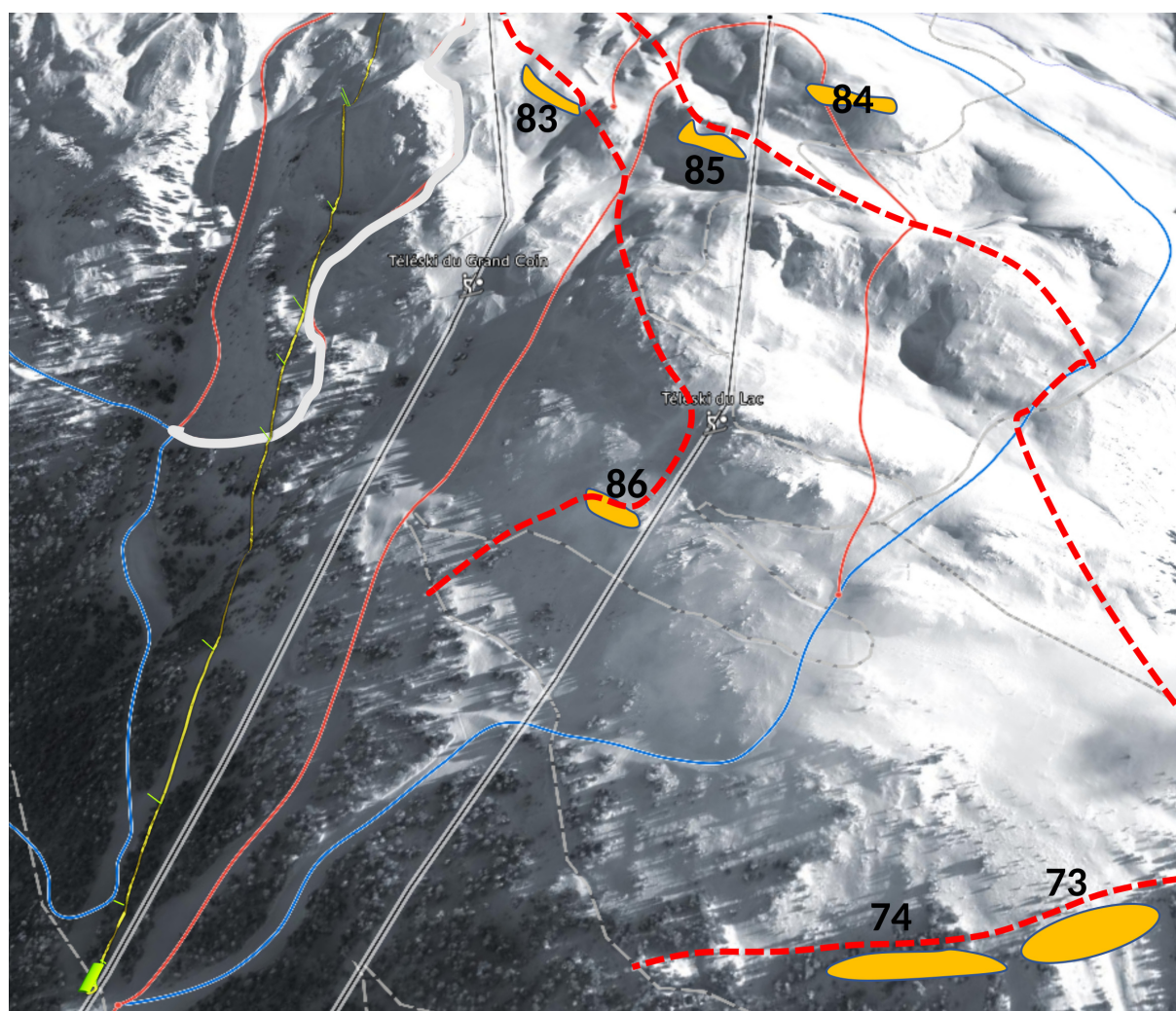


Figure 2.4 – Extrait du PIDA de Val Cenis, secteur *Tannes*. Le tracé jaune localise l'appareil en projet.



Figure 2.5 – Avalanche du 4 mars 2024, secteur *Pointe de Cugne*. Prise de vue service des pistes de Val Cenis.

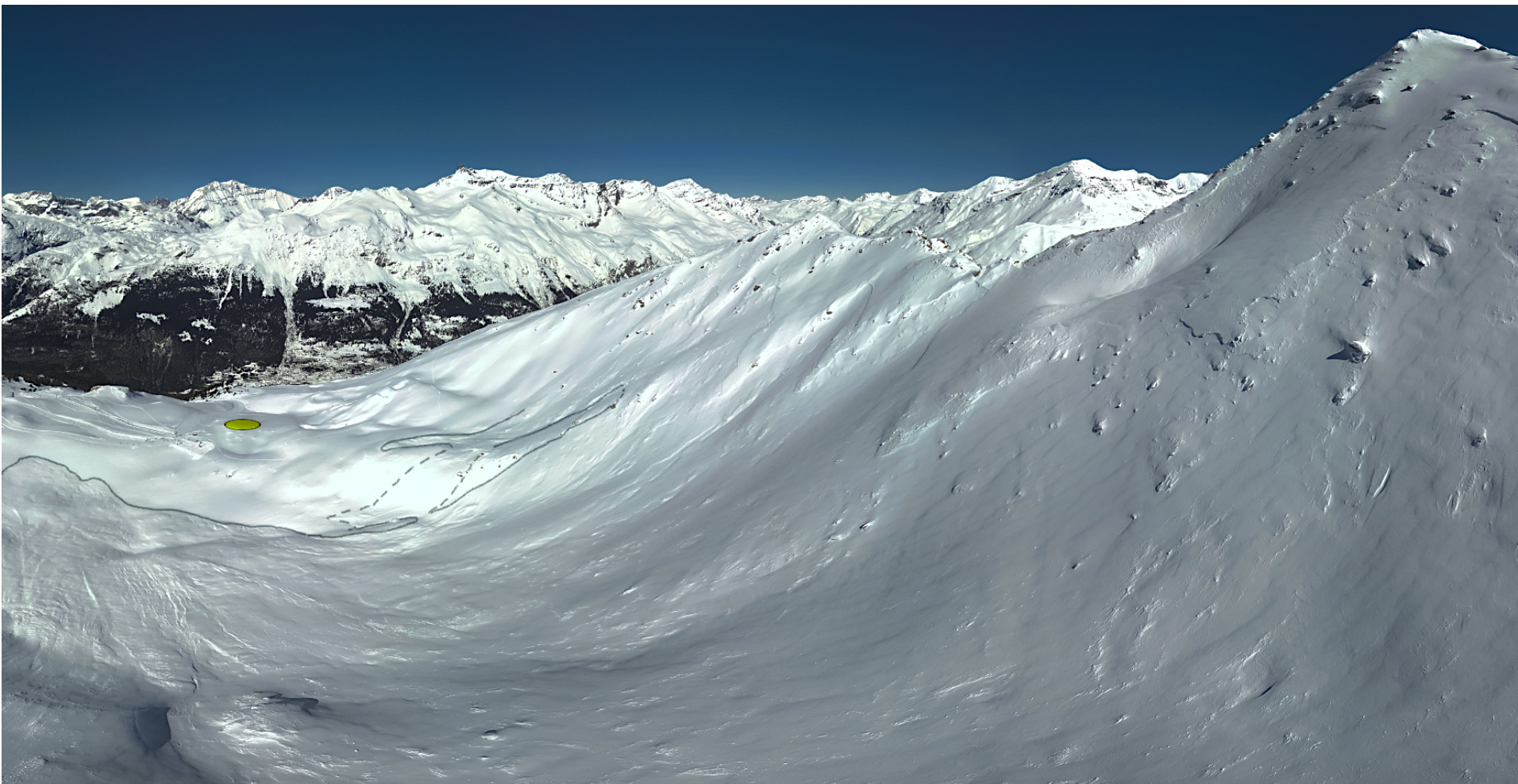


Figure 2.6 – Avalanche du 4 mars 2024, secteur Pointe de Cugne, cadrage sur le projet de télésiège. La ligne noire souligne le contour du dépôt de neige, le cercle jaune localise l'emplacement de la gare d'arrivée du projet. Prise de vue service des pistes de Val Cenis.

2.4 Analyse spatiale du risque d'avalanche

2.4.1 Principe

Notre analyse spatiale repose sur

- un examen stéréoscopique des couples de photographies aériennes de l'IGN³;
- l'exploitation des données du programme lidarHD de l'IGN;
- nos observations de terrain.

↪ La symbolique utilisée pour les cartes est la suivante :

- traits rouges : délimitation des panneaux déclencheurs ;
- traits oranges épais : singularités du relief, jouant un rôle dans la propagation des flux ;
- flèches bleues : trajectoires d'avalanches en aérosol caractérisées par un comportement inertiel ;
- flèches noires : trajectoires d'avalanches coulantes caractérisées par un comportement gravitaire ;
- flèches grises : trajectoires d'avalanches gravitaires d'occurrence rare à exceptionnelle.

Le schéma de fonctionnement des avalanches présenté figure 2.7 accompagne les commentaires qui suivent. La figure 2.8 propose un report photographique de cette carte.

3. Plusieurs missions aériennes ont été examinées :

- mission IGN C3534-0061_1980_FR3534 du 24 août 1980, clichés 36 et 37 ;
- mission IGN CA02S00032_2001_fd0073_250_c du 1^{er} août 2001, clichés 3547 et 3549 ;
- mission IGN CP13000562_FD7325x00073 du 12 août 2013, clichés 12248 à 12251.

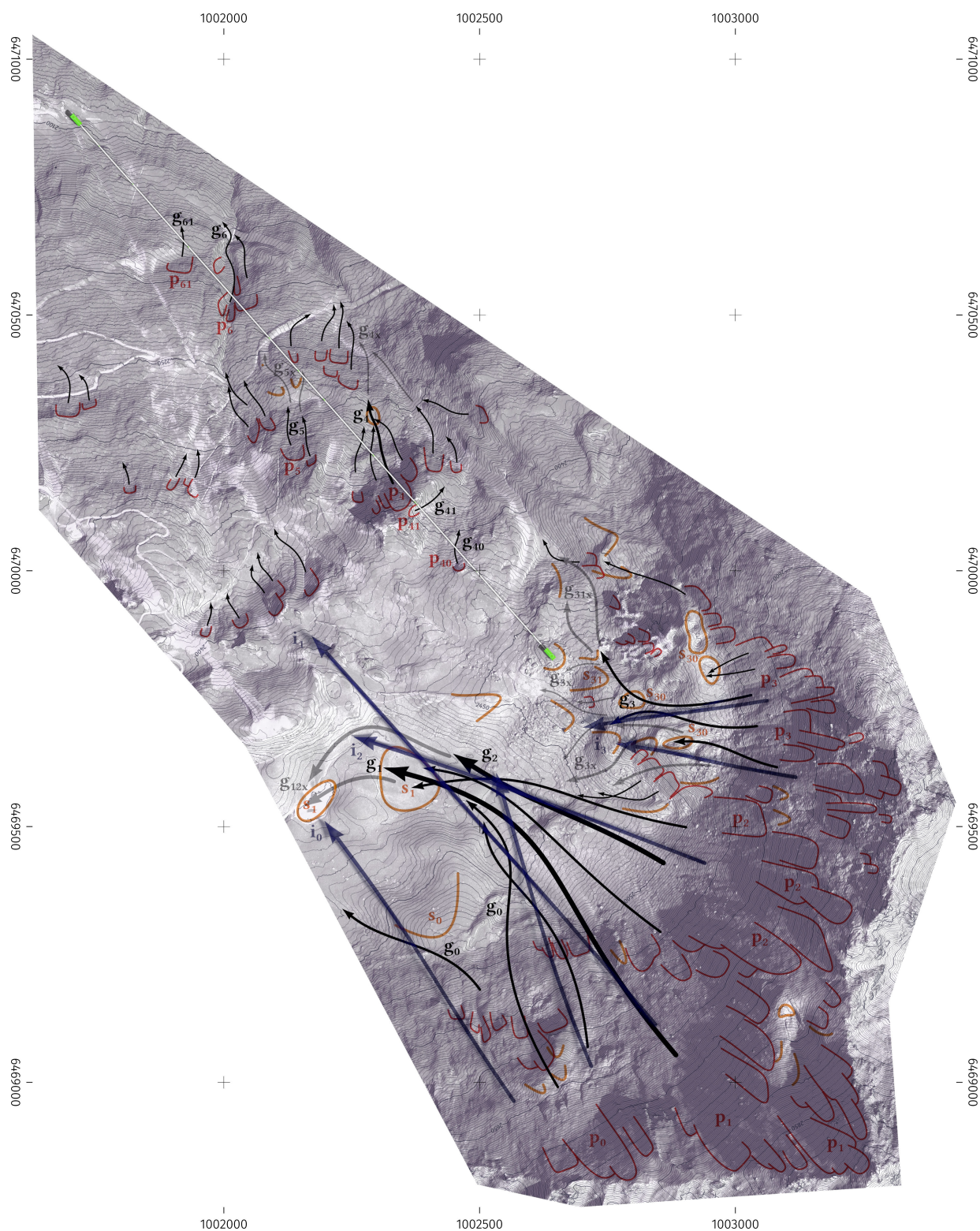


Figure 2.7 – Schéma de fonctionnement des avalanches. La ligne blanche localise le projet de télésiège. Échelle 1:14 000. Fond topographique LidarHD IGN © IGN 2025. Système de coordonnées Lambert 93.

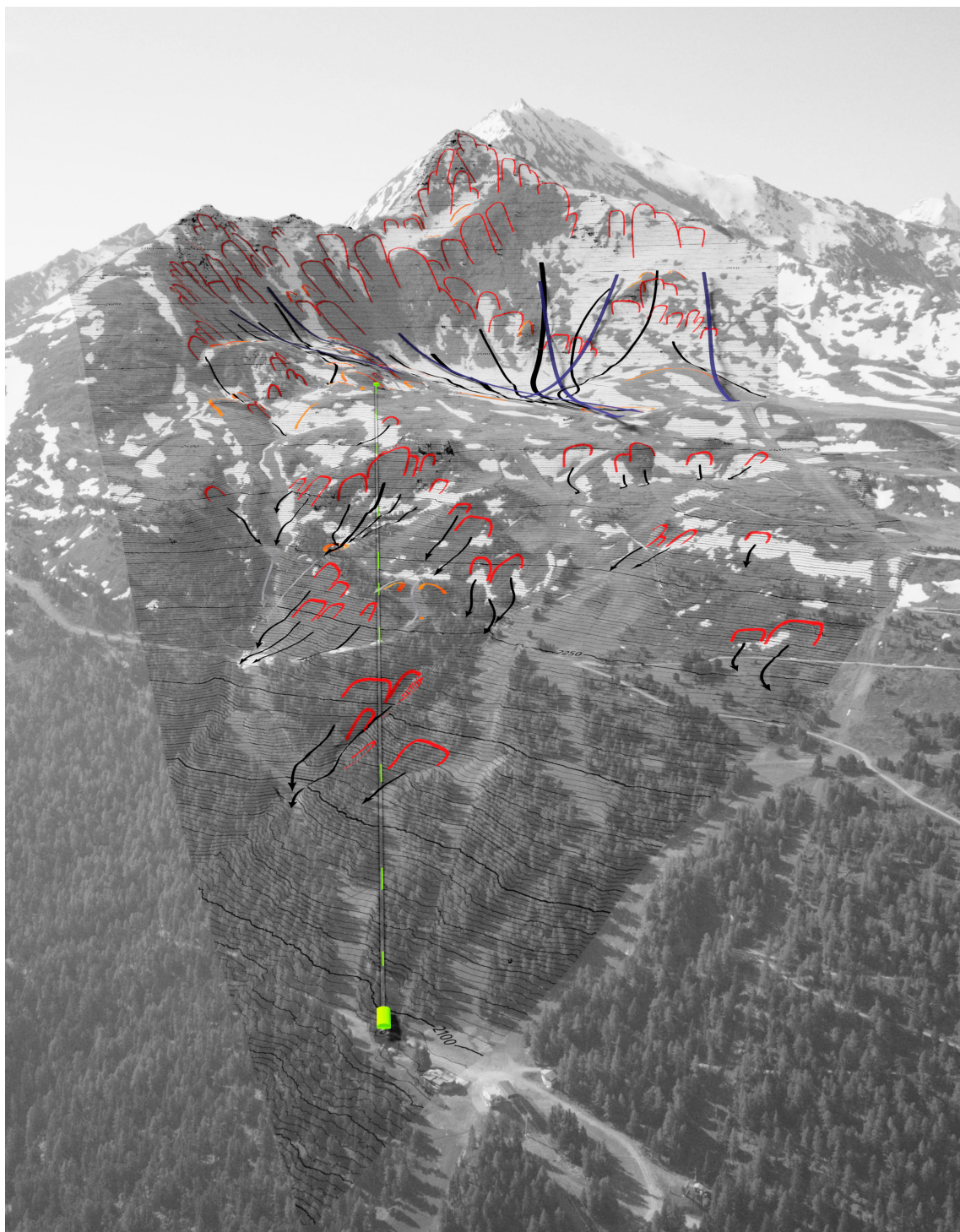


Figure 2.8 – Photo-montage du schéma de fonctionnement des avalanches.

2.4.2 Secteur Pointe de Cugne

La face nord-ouest de la Pointe de Cugne est un vaste triangle incliné à 35° et qui culmine à près de 3000 m. On y distingue trois groupes de panneaux d'accumulation. Cette distinction est opérée essentiellement pour ordonner les différentes trajectoires d'avalanches qui se produisent, mais le faible cloisonnement de ces systèmes offre des conditions fréquentes de fonctionnement plus ou moins synchrone de ces zones, voire leur purge unitaire. La superficie cumulée des panneaux identifiés s'élève à une quinzaine d'hectares.

L'orientation au nord-ouest rend ce versant sensible au chargement par retours d'est (qui ici entrent du sud-est). De grandes avalanches parcourent fréquemment ce versant. La grande capacité de stockage du vallon du Merderel en amont du lac de Sollières permet de contenir les dépôts des avalanches les plus volumineuses. Un débordement en rive droite du vallon des flux de neige dense est très peu probable. Les dépôts de neige les plus importants se font dans le lac, trajectoires g_{1x} . Toutefois les avalanches de neige sèche peuvent se propager assez loin vers le nord, en suivant approximativement la trajectoire i_1 . **Le projet de remontée mécanique est situé hors de l'emprise des phénomènes rares à exceptionnels de ce secteur.**

2.4.3 Secteur Grand Coin

La face ouest du Grand Coin présente une juxtaposition de panneaux p_3 affichant une superficie totale d'environ 5 ha. L'examen de diverses prises de vue hivernales du versant nous conduit à faire l'hypothèse que ce versant est sensible au transport de neige par le vent : par régime de lombarde, il est probable que les panneaux situés le plus au nord soient bien moins enneigés que leurs voisins plus au sud. Les fréquentes avalanches coulantes empruntent les trajectoires g_3 . La topographie très accidentée du pied de versant, relief de dissolution formant de profondes dépressions s_{30} dans les cargneules triasiques, limite efficacement la propagation des avalanches au-dessous de 2500 m. Toutefois sous des conditions nivométriques sévères, des avalanches peuvent franchir les zones d'arrêt intermédiaires, et se propager jusque vers 2450 m, suivant les trajectoires g_{3x} , g_{31x} . Le relief noté s_{31} constitue une étrave naturelle qui force les plus grandes avalanches à se scinder de part et d'autre de la gare d'arrivée du projet. **Nous estimons que le projet n'est pas menacé par les avalanches du Grand Coin.**

2.4.4 Secteur Montfroidon

Il s'agit de la partie du versant située au-dessous de 2450 m, incliné en moyenne à une vingtaine de degrés vers le nord. On identifie plusieurs escarpements de superficie réduite à quelques milliers de m^2 , dont l'activité avalancheuse est le plus souvent éloignée du projet. Certains panneaux d'accumulation toutefois alimentent des écoulements qui intéressent la remontée mécanique.

- Vers 2400 m un massif rocheux expose une pente notée p_4 . De fréquentes coulées de neige s'y produisent, suivant le faisceau de trajectoires g_4 . Ce système correspond au point de tir n° 77 du PIDA. La ligne sera dans l'emprise des avalanches.
- Le panneau p_5 est le lieu d'une activité avalancheuse plus occasionnelle. La forme du relief ne favorise pas la concentration des flux : les coulées s'étalent le plus souvent vers 2290 m. Sous des conditions nivo-météorologiques rares, on ne peut exclure que des coulées de neige atteignent l'axe de la ligne, trajectoires g_{5x} . Ce sont des phénomènes qui ont une faible capacité de dommage sur des pylônes de télésiège.

- Vers 2200 m la ligne croise un talweg marqué. Des trouées dans la forêt, panneaux p_6 , constituent les zones de départ de coulées qui suivent la trajectoire g_6 . Ce système correspond au point de tir n° 75 du PIDA. La ligne sera dans l'emprise des coulées.
- Enfin le panneau noté p_{61} alimente occasionnellement des coulées g_{61} qui concernent également la ligne. Ce sont là encore des phénomènes qui ont une faible capacité de dommage sur des pylônes de télésiège.

2.5 Synthèse

Le projet de télésiège du Grand Coin est faiblement exposé au risque d'avalanches.

Les gares ne sont pas menacées par les avalanches.

Des phénomènes fréquents affectent ponctuellement la ligne entre 2160 et 2390 m d'altitude. Les phénomènes y ont un faible potentiel de dommage. Un positionnement judicieux des pylônes sur les segments concernés permet de se soustraire aux sollicitations les plus sévères.

Analyse par simulation numérique des avalanches

3.1 Principe et hypothèses du calcul

Les avalanches sont des phénomènes complexes, reposant sur une multitude de processus depuis la chute de neige jusqu'à l'arrêt de l'écoulement. Il est possible de rendre compte des caractéristiques de l'activité avalancheuse d'un couloir à l'aide de modèles relativement simples. L'analyse par simulations numériques se nourrit des éléments précédents, mais est réalisée de manière totalement indépendante et autonome. Notamment, nous n'avons pas recours à une modification des paramètres pour faire coller les résultats du modèle à l'analyse experte. Comme paramètres d'entrée des modèles numériques, nous avons pris en compte :

1. les valeurs des cumuls de neige (voir chapitre 1);
2. le découpage en panneaux tiré de l'analyse experte (voir chapitre 2);
3. les valeurs usuellement obtenues sur d'autres sites similaires permettent d'obtenir les coefficients mécaniques des simulations;
4. des règles expertes tirées de l'utilisation de ces phénomènes dans la reconstitution de l'activité avalancheuse dans des sites bien documentés et dans la simulation de phénomènes extrêmes.

Nous attirons l'attention du lecteur qu'une tendance lourde de l'ingénierie est de recourir massivement aux codes numériques pour le calcul des caractéristiques des écoulements. Malheureusement, l'état de l'art en matière de calcul numérique reste fragile, les incertitudes sont grandes, les résultats des calculs sont très sensibles au choix des paramètres. Les calculs présentés ci-dessous n'ont de sens que s'ils sont regardés de façon critique et contradictoire avec l'analyse experte. C'est ce travail de confrontation qui permet d'aboutir à la définition des efforts le long de la ligne.

3.1.1 Modèle utilisé pour le calcul

Pour les **avalanches coulantes**, nous avons utilisé le code de calcul AVAC fondé sur la résolution d'équations du mouvement avec une loi de frottement de type Voellmy. Il s'agit d'un code numérique développé par Toraval. La première version du code a été créée en 1994, elle a

été utilisée depuis 1997 tout en connaissant de nombreuses évolutions¹. Plus d'information sur ce modèle et le calcul des pressions sont disponibles sur le site de [Toraval](http://www.toraval.ch). Le principe général des modèles de calcul est explicité dans l'ouvrage « Dynamique des avalanches² ». Nous utilisons actuellement la version AVAC 3.1. Depuis l'été 2019, le code AVAC a été rendu librement téléchargeable depuis [GitHub](https://github.com); voir le site www.toraval.ch/avac pour plus d'informations.

AVAC 3.1 est un code bidimensionnel qui permet de calculer l'évolution sur une topographie complexe d'une masse de neige. Les équations du mouvement sont moyennées selon la hauteur; en un point (x, y) donné du fond topographique atteint par l'avalanche, on caractérise celle-ci par :

- sa vitesse moyenne $\bar{u}(x, y, t)$,
- sa hauteur $h(x, t)$, et
- sa masse volumique ϱ , qui est supposée constante et égale à $\varrho = 300 \text{ kg/m}^3$.

L'avalanche est soumise à un frottement de type Voellmy; la contrainte pariétale τ_p est une fonction *ad hoc* censée traduire deux processus: un frottement coulombien (comportement granulaire de l'avalanche) et une résistance inertielle (frottement de l'air, effet centrifuge, etc.) exprimée comme une fonction quadratique de la vitesse

$$\tau_p = \mu\sigma + \varrho g \frac{\bar{u}^2}{\xi},$$

avec $\sigma = \varrho gh \cos \theta$ la contrainte normale, θ la pente locale, μ et ξ les coefficients de frottement de Voellmy.

3.1.2 Paramètres utilisés pour le calcul

Il faut rappeler que le modèle de Voellmy est une loi empirique de frottement. Dans les faits, ce modèle est plus conceptuel que physique car les deux paramètres μ et ξ ne sont pas mesurables, et ils doivent être ajustés à partir des données d'avalanches sur des sites similaires (pour lesquels on dispose de la distance d'arrêt et/ou de la vitesse des avalanches). Notons que dans le cas présent, les panneaux de départ sont à des altitudes très différentes, avec des tailles et des rugosités différentes.

Le tableau 3.1 reporte les valeurs utilisées pour les calculs en fonction de la période de retour.

Tableau 3.1 – Épaisseur de neige d_0 à 2100 m utilisée pour estimer l'épaisseur de la cassure, l'épaisseur totale du manteau neigeux (selon la verticale), les coefficient de Voellmy μ et ξ en fonction de la période de retour.

	$T = 30$	$T = 100$
d_0 (cm)	90	140
H (cm)	230	250
μ	0,30	0,25
ξ (m·s ⁻²)	800	1000

Pour les calculs d'avalanche, nous devons évaluer le volume de neige mobilisable par l'avalanche et à cet effet, nous prenons comme épaisseur de neige d_0 dans la zone de départ les

1. L'article originel date de 1994: Ancey, C., Modélisation des avalanches denses, approches théorique et numérique, *La Houille Blanche*, 5-6, 25-39, 1994. Article en ligne sur le site www.toraval.ch.

2. Christophe Ancey (coord.), Dynamique des avalanches, Presses Polytechniques Fédérales de Lausanne, Lausanne, 2006

cumuls de neige sur 3 jours (on suppose que ces avalanches se déclenchent naturellement, donc *a priori* hors du cadre d'un PIDA) Cette épaisseur d_0 sert à estimer l'épaisseur *effective* de neige au niveau de la cassure. Cette dernière est estimée en fonction de la pente locale du terrain naturel et de la différence d'altitude entre la zone de départ et le poste de mesures (G2 TS des Escondus). Nous suivons la méthode Burkard–Salm³. Un gradient hypsométrique de 3 cm par tranche de 100 m d'altitude a été appliqué.

L'influence du vent n'a pas été prise en compte pour les phénomènes extrêmes. En effet, il est difficile, si ce n'est impossible, d'estimer les zones à ablation ou dépôt avec précision. Compte tenu des caractéristiques du site (raideur des zones d'accumulation, face ouverte), il est peu probable que de grosses quantités de neige instable se forment sans qu'il y ait une ou plusieurs purges naturelles au cours de l'épisode. De plus, les gros coups de neige se produisent lors du passage de retours d'est, accompagnés de vents très violents en altitude. Toutefois, compte tenu du changement climatique et de la tranche d'altitude du site (moins de 2500 m), on ne peut exclure des scénarios atlantiques avec des neiges plus humides, et donc des conditions de chargement différentes de celles actuellement observées sur le site.

Les calculs ont été réalisés avec une maille de 2 m, mais AVAC permettant le raffinement automatique de maillage en cours de calcul, la maille de calcul a pu être affinée jusqu'à 50 cm localement.

3.1.3 Hypothèses et rendu du calcul

Les résultats des calculs sont reportés par la suite sous forme de cartes. Quelques remarques générales pour accompagner la lecture de ces cartes et en comprendre la portée :

- **Les cartes ont été réalisées pour deux périodes de retour : 30 ans et 100 ans.** Dans les calculs, nous avons considéré que la période de retour de l'avalanche coïncidait avec celle des chutes de neige sur trois jours (avalanche naturelle) ou un jour (avalanche déclenchée lors d'un PIDA).
- Compte tenu de la résolution du modèle numérique de terrain et de la capacité actuelle des modèles dynamiques d'avalanche, la précision du calcul est au mieux de l'ordre de 10 m pour les emprises reportées.
- Les cartes reportent les emprises d'avalanches comme si tous les panneaux des zones de départ s'étaient **simultanément** déclenchés. Naturellement, en pratique, un tel cas de figure ne se produit pas nécessairement mais, en l'absence d'observations suffisantes, nous n'avons pas discriminé les cas où les panneaux fonctionnent collectivement de ceux où seule une partie de la zone de départ est mise en mouvement.
- Les cartes reportent les valeurs maximales (dans le temps) de hauteur et de pression cinétique au sein de l'avalanche. On distingue différentes formes de pression. La pression cinétique est $p = \rho \bar{u}^2 / 2$, (avec $\bar{u}$ la vitesse moyenne de l'avalanche et ρ la masse volumique locale); c'est la pression de référence au sein de l'écoulement loin de tout obstacle. **Cette pression au sein de l'avalanche ne permet pas de déduire instantanément la pression d'un impact** car celle-ci dépend d'autres paramètres comme la forme de l'objet, la direction de sollicitation, et le mode d'interaction entre l'objet et l'avalanche.
- Les effets de souffle accompagnant la partie dense de l'écoulement ne sont pas reportés. Ils peuvent plâtrer des surfaces et occasionner des dommages mineurs (moins de 1 kPa),

3. André Burkard et Bruno Salm, *Die Bestimmung der mittleren Anrissmächtigkeit d_0 zur Berechnung von Fliesslawinen*, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos, 1992.

qui ne sont pas significatifs pour une structure telle qu'un télésiège.

La réglementation pourrait imposer à court terme d'imposer la prise en compte de la réputation dans le calcul des efforts causés par la neige et les avalanches. Cela imposerait alors de considérer les efforts lents causés par le fluage et le glissement des dépôts d'avalanche. Dans des circonstances exceptionnelles comme pour la télécabine du Lys à Cauterets en 2013, des pylônes peuvent être endommagés ou emportés par des culots d'avalanche en glissement, et la combinaison de pressions élevées et d'épaisseurs de neige de plusieurs mètres conduit à des efforts très importants pour les structures (pour le P9 du Lys, le moment de force a été estimé à 5000 ± 1000 kN·m). On sait que de tels efforts sont exceptionnellement possibles et on sait les estimer grossièrement⁴, mais on ne sait rien sur leur fréquence et les raisons de la déviation significative par rapport aux valeurs usuelles. Jusqu'à présent, l'état de l'art les a considérés comme des horsains⁵, et en pratique, on ne les a pas considérés. Nous n'avons pas considéré un scénario « Cauterets » ici.

4. Ancey, C., and V. Bain, Dynamics of glide avalanches and snow gliding, *Reviews of Geophysics*, **53**, 745–784, 2015.

5. Ancey, C., Are there “dragon-kings” events (i.e. genuine outliers) among extreme avalanches?, *European Physical Journal Special Topics*, **205**, 117–129, 2012. Ancey, C., Les avalanches extrêmes sont-elles des horsains?, *Neige & Avalanches*, **133**, 4–9, 2011.

3.2 Résultats des simulations numériques

3.2.1 Avalanches rares ($T \sim 30$ ans)

↪ Voir cartes 3.2 et 3.1.

Les simulations montrent que les gares ne sont pas concernées par des avalanches.

Localement, des sections courtes (moins de 200 m en longueur) de la ligne sont exposées à des avalanches; la pression d'impact est généralement dans la plage 20–30 kPa, ce qui fait qu'on peut considérer l'intensité de cette menace comme modérée.

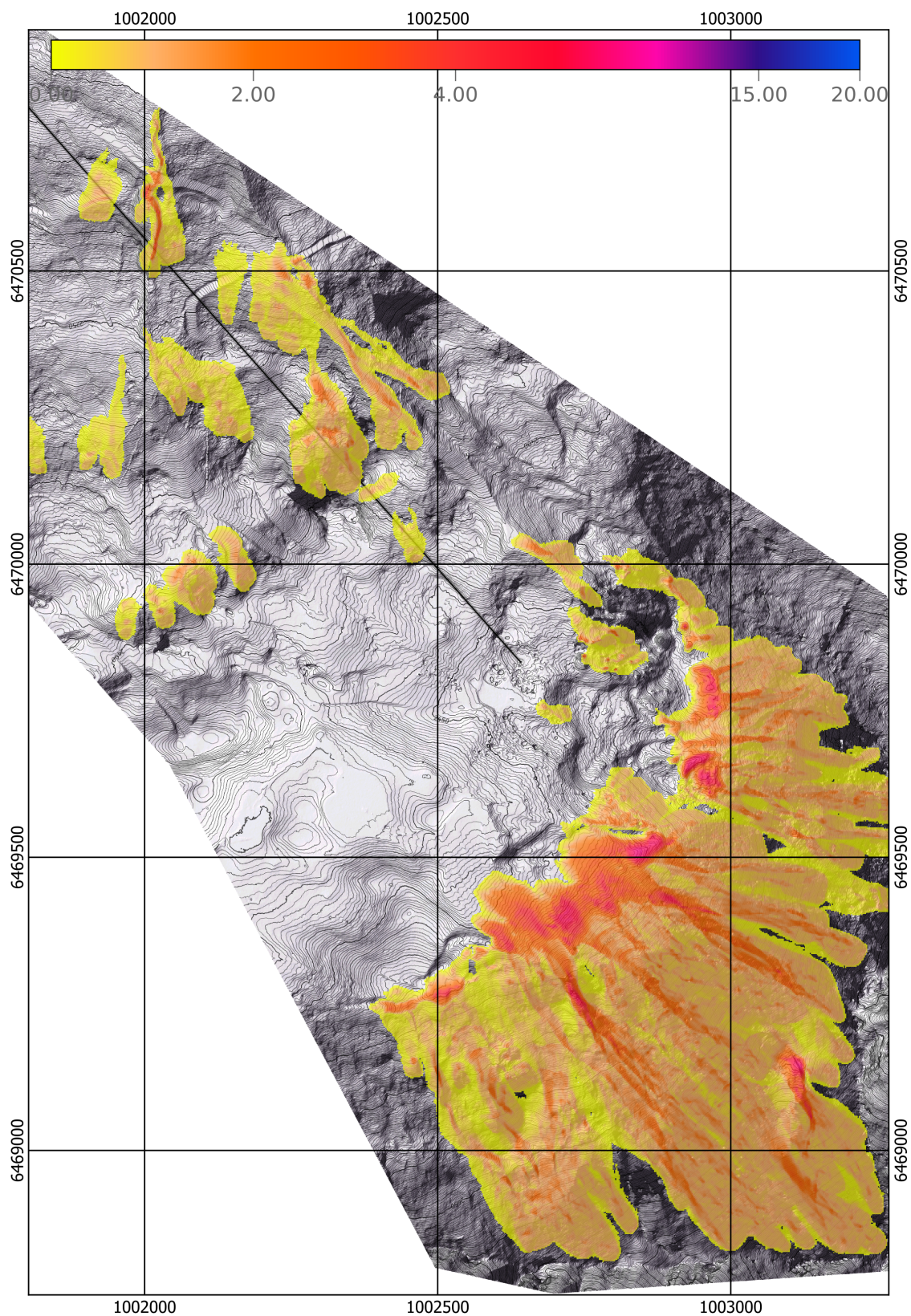


Figure 3.1 – Carte des simulations numériques montrant l’emprise maximale et la variation des hauteurs maximales (en m) pour $T = 30$ ans et des avalanches coulantes. Échelle 1:8 000. Système de coordonnées Lambert 93.

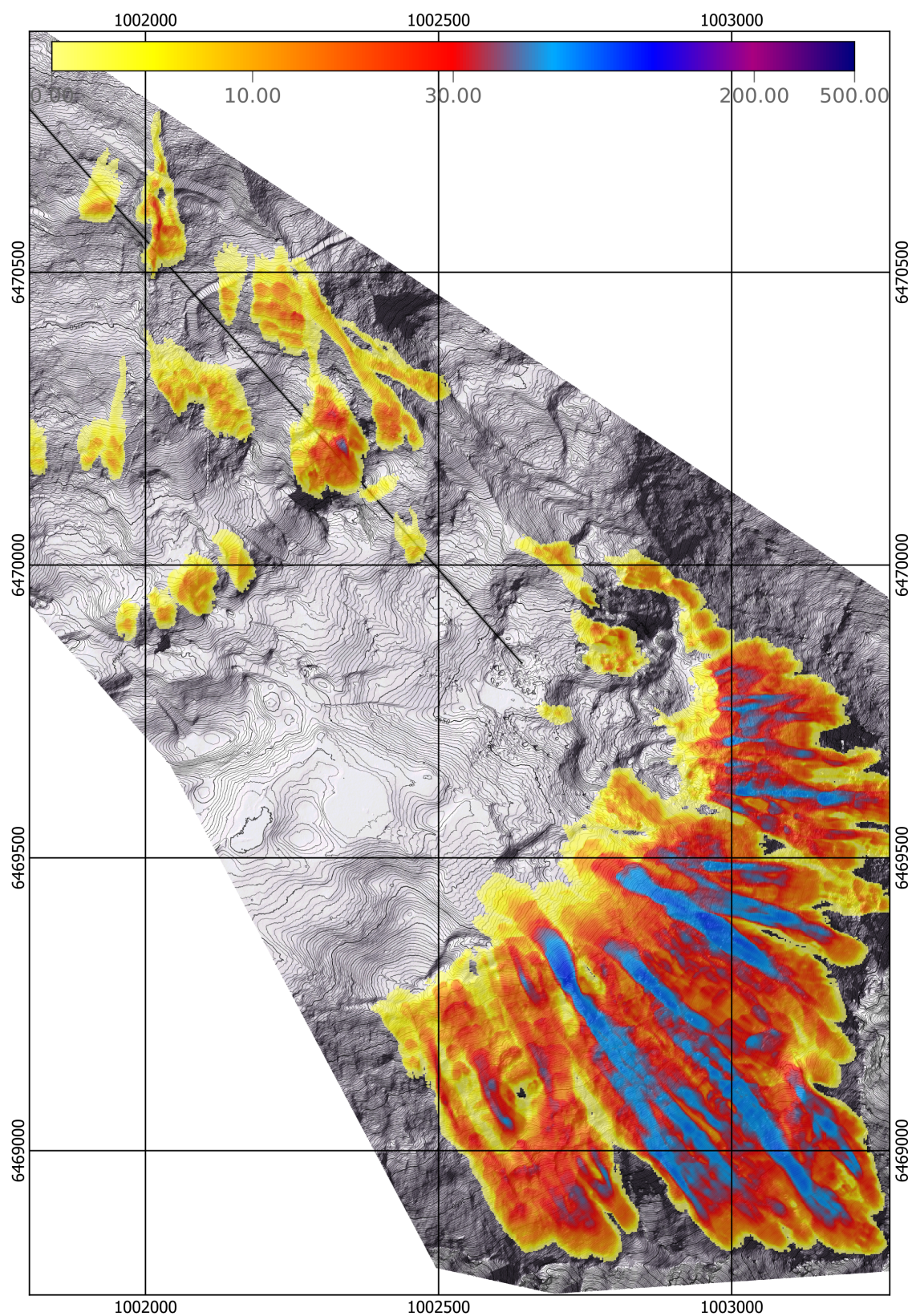


Figure 3.2 – Carte des simulations numériques montrant l’emprise maximale et la distribution des pressions cinétiques $p = \frac{1}{2}\rho\bar{u}^2$ maximales (en kPa) au sein de l’avalanche pour $T = 30$ ans. Échelle 1:8 000. Système de coordonnées Lambert 93.

3.2.2 Avalanches exceptionnelles ($T \sim 100$ ans)

↔ Voir cartes 3.4 et 3.3.

Les simulations montrent des phénomènes en continuité avec les avalanches rares ($T \sim 30$ ans). Seul le niveau des pressions d'impact est un peu plus élevé (très localement jusqu'à 40 kPa).

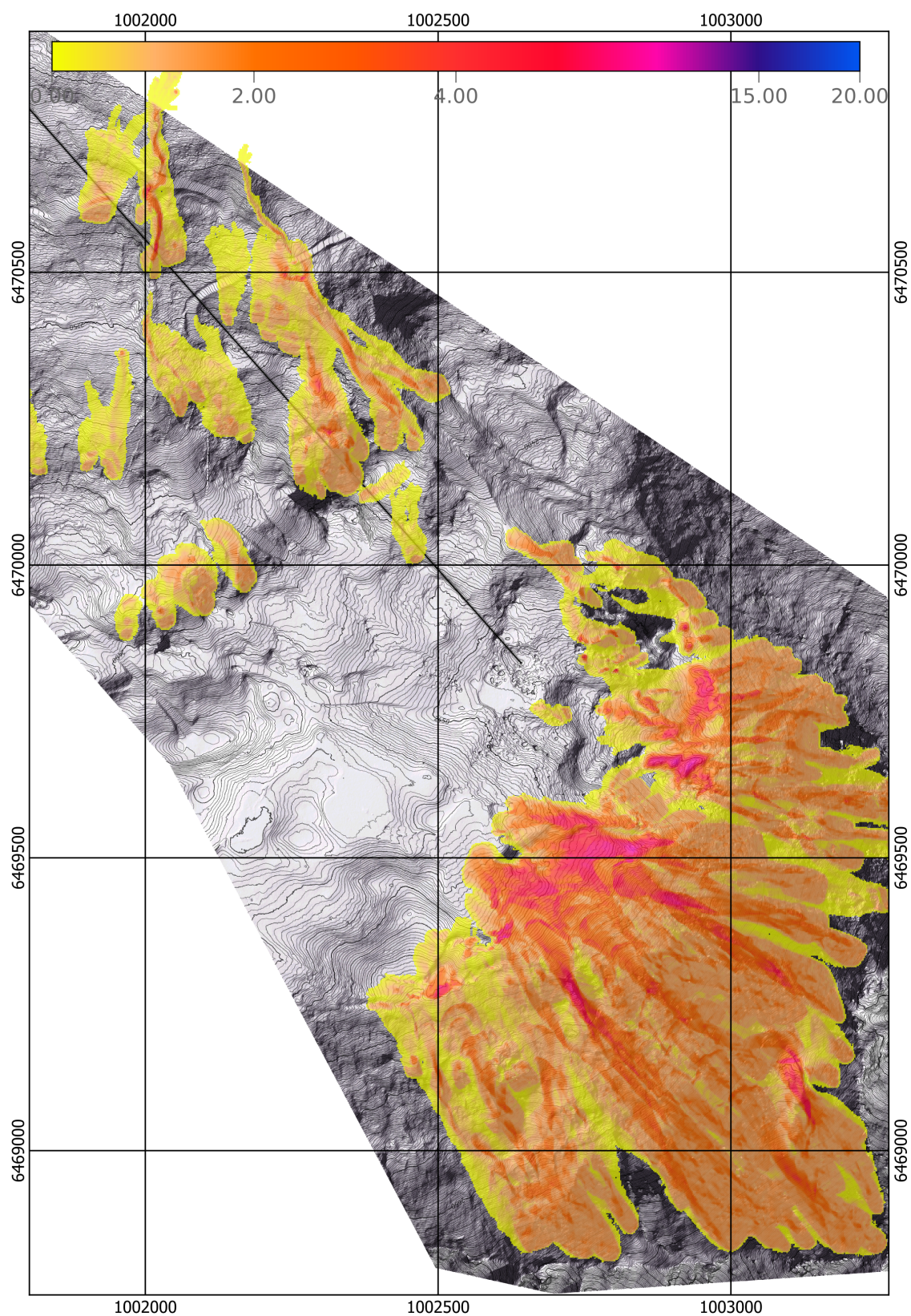


Figure 3.3 – Carte des simulations numériques montrant l’emprise maximale et la variation des hauteurs maximales (en m) pour $T = 100$ ans et des avalanches coulantes. Échelle 1:8 000. Système de coordonnées Lambert 93.

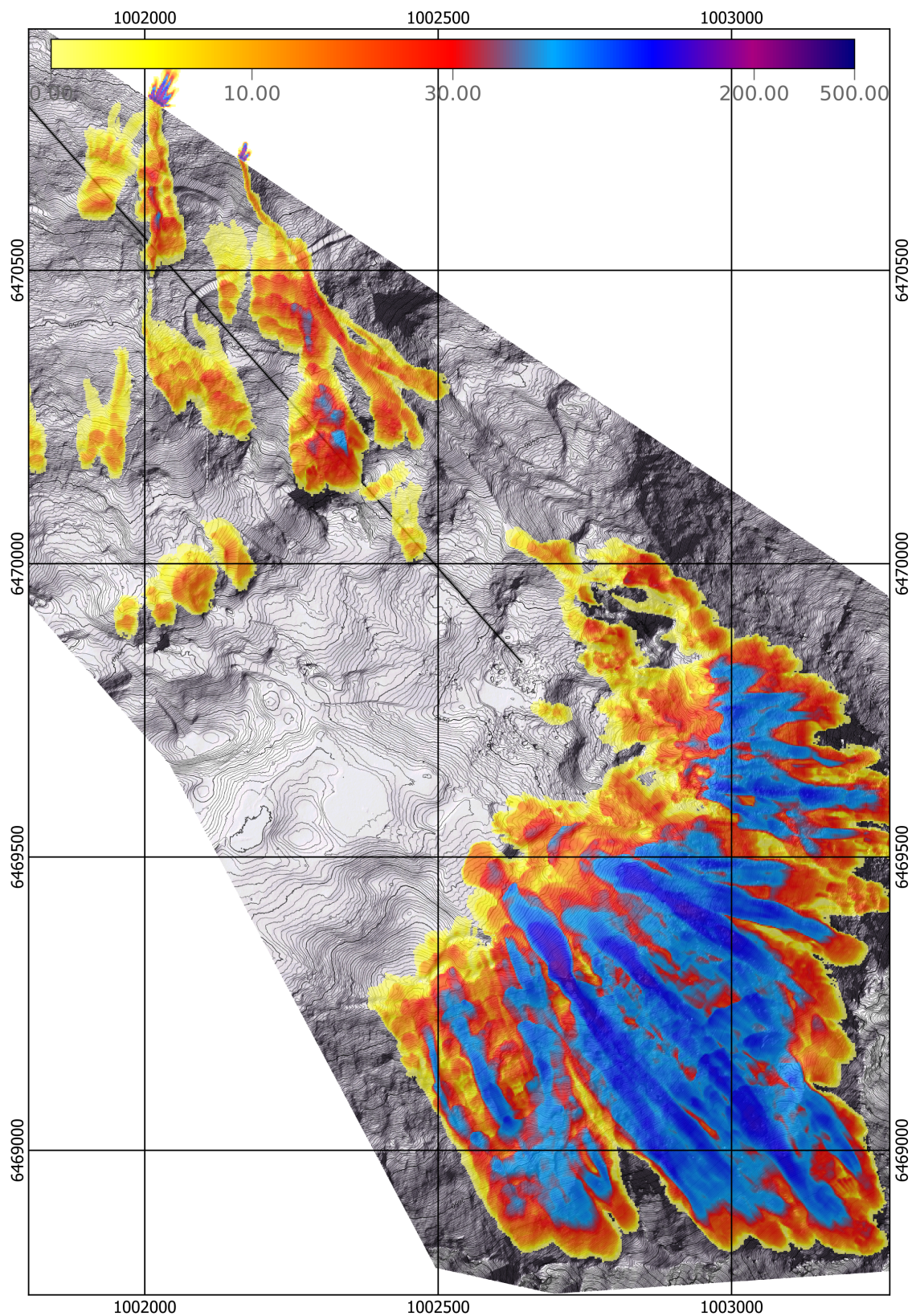


Figure 3.4 – Carte des simulations numériques montrant l’emprise maximale et la distribution des pressions cinétiques $p = \frac{1}{2}\rho\bar{u}^2$ maximales (en kPa) au sein de l’avalanche pour $T = 100$ ans. Échelle 1:8 000. Système de coordonnées Lambert 93.

Synthèse

4.1 Risque encouru par le télésiège projeté

L'étude conclut à un risque d'avalanche modéré et localisé sur le projet de télésiège. Les gares ne sont pas concernées par des avalanches.

4.2 Tableaux de valeurs par scénario

Les valeurs indiquées dans les tableaux 4.1 et 4.2 fournissent les caractéristiques des avalanches (hauteur d'écoulement et pression d'impact de l'avalanche) en fonction de chaque scénario de calcul. Ces tableaux fournissent aussi l'épaisseur du manteau neigeux. Pour plus d'informations sur les grandeurs employées ici et le calcul des efforts, on se reportera utilement au document

www.toraval.fr/telec/addendum.pdf.

Voici le détail des résultats pour chacun des appareils et chacun des deux scénarios.



Projet : TSD du Grand Coin - Val Cenis

Diagramme généré par vulnOSE.sh

Date : 18 juin 2025

Réf. : DCE TSD du Grand Coin

Sources : r.avac 3.1.5

Système de coordonnées : Lambert93

Position G1 : x = 1001706, y = 6470887

Position G2 : x = 1002642, y = 6469833

Hypothèses de calcul :

Période de retour considérée : 30 ans

Défaillance du PIDA

Épaisseur de neige au sol : 220 cm

Type d'avalanche : coulante

Origine des abscisses : axe poulie G1

Incertitude sur les épaisseurs au sol : ± 50 cm

Incertitude sur les pressions : ± 15 kPa

Incertitude sur les épaisseurs : ± 50 cm

Incertitude sur les directions : $\pm 20^\circ$

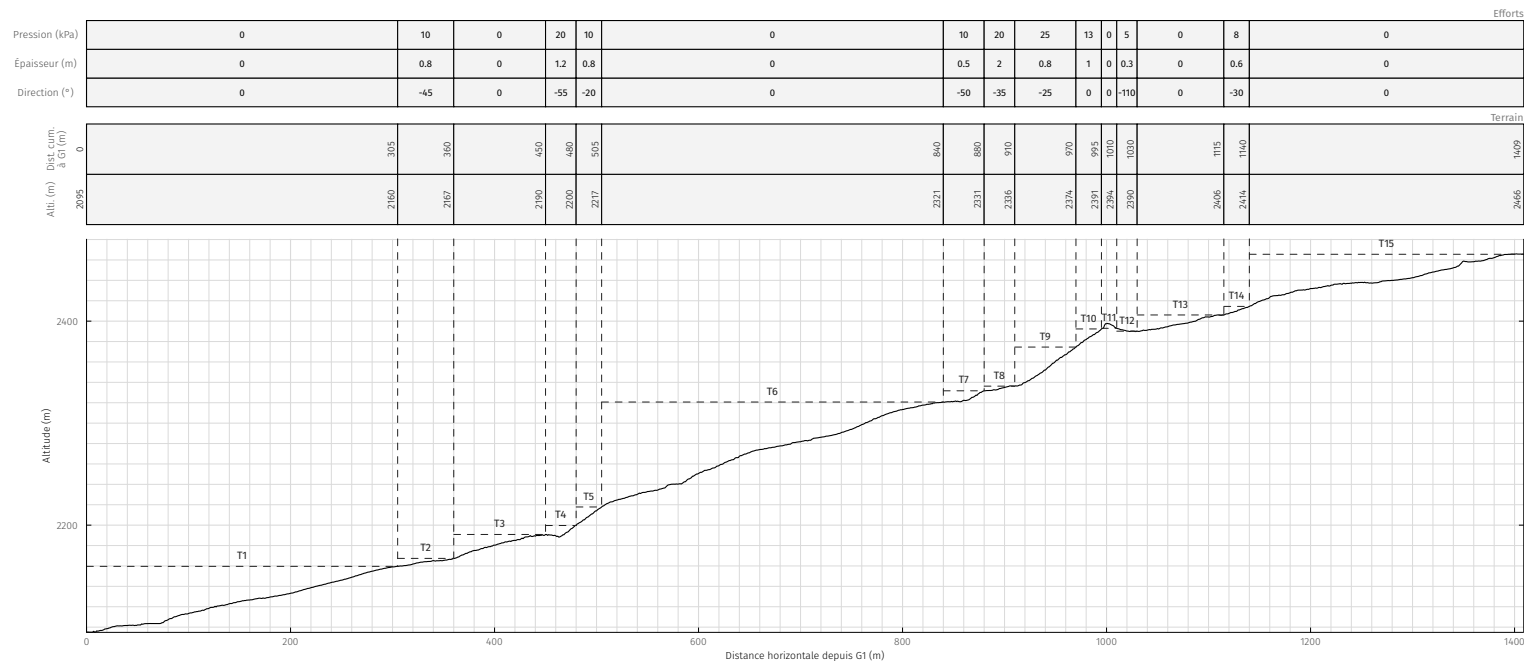


Figure 4.1 – Avalanches naturelles rares pour le projet de TSD ($T \sim 30$ ans).



Projet: TSD du Grand Coin - Val Cenis

Diagramme généré par vulnOSE.sh

Date: 18 juin 2025

Réf.: DCE TSD du Grand Coin

Sources: r.avac 3.1.5

Système de coordonnées: Lambert93

Position G1: x = 1001706, y = 6470887

Position G2: x = 1002642, y = 6469833

Hypothèses de calcul:

Période de retour considérée: 100 ans

Défaillance du PIDA

Épaisseur de neige au sol: 240 cm

Type d'avalanche: coulante

Origine des abscisses: axe poulie G1

Incertitude sur les épaisseurs au sol: ± 50 cm

Incertitude sur les pressions: ± 15 kPa

Incertitude sur les épaisseurs: ± 50 cm

Incertitude sur les directions: $\pm 20^\circ$

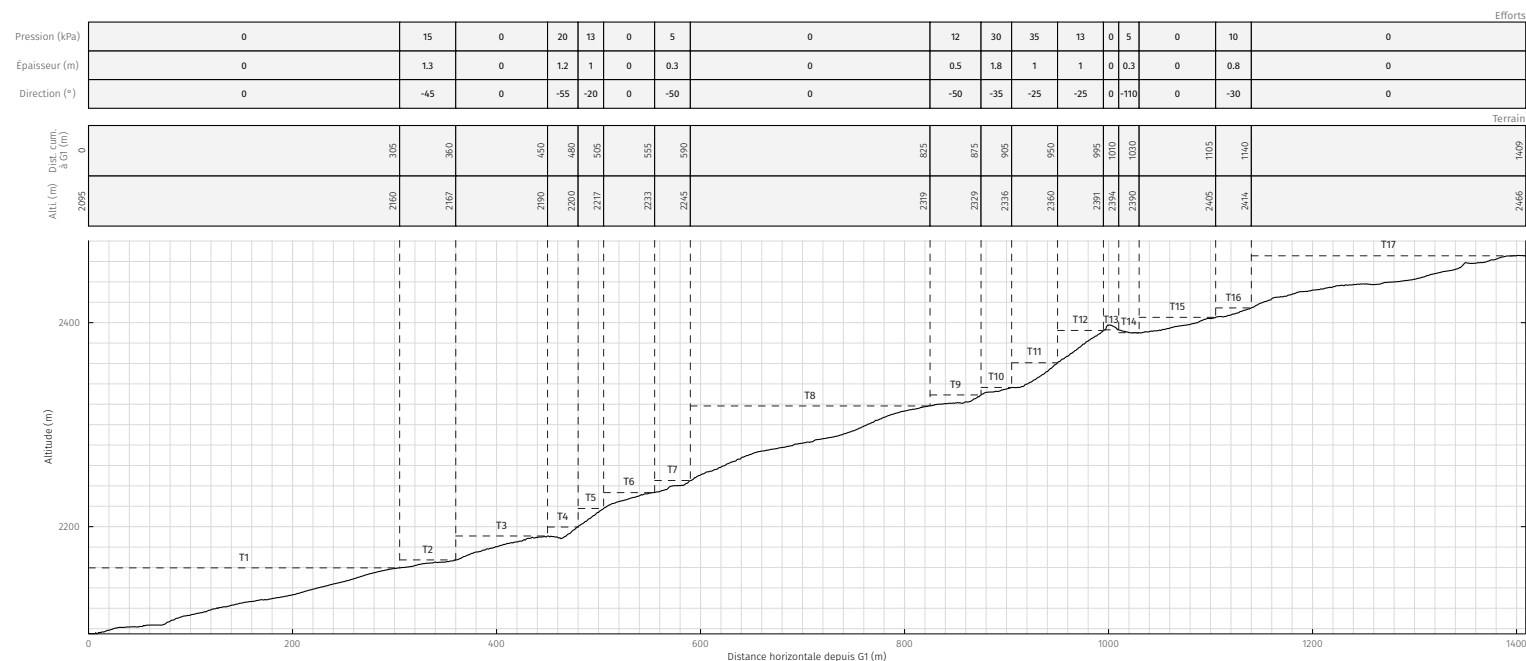


Figure 4.2 – Avalanches naturelles exceptionnelles pour le projet de TSD ($T \sim 100$ ans).

Cette étude a été réalisée par Toraval groupement d'ingénieurs-conseils.



<http://www.toraval.fr>

<http://www.toraval.ch>

Toraval Suisse : Chemin des Chardonnerets 13, CH-1008 Prilly

Toraval France : 2838 route des Annuits, F-73 400 Ugine

- chargés d'étude :
 - Christophe Ancey (ancey@toraval.ch)
 - Vincent Bain (bain@toraval.fr)
- commanditaire de l'étude : SEM du Mont Cenis
- maîtrise d'œuvre : CNA
- le corps de ce rapport contient 70 pages.
- pièce annexée : représentation tridimensionnelle

http://telec.toraval.fr/3d/grandcoin_2025.html

ANNEXE 9 : ETUDE GEOTECHNIQUE D'AVANT-PROJET (EQUATERRE)

SEM Val Cenis173 rue du Vieux Moulin
73480 Lanslevillard Val Cenis**Nos références : sm-2506003 LANSLEVILLARD (73) – TSD DU GRAND COIN***Etude préliminaire d'étude géotechnique - phase DAET***A l'attention de Monsieur FLAMMIER Yves**

Monsieur,

Nous vous prions de bien vouloir trouver ci-joint notre étude géotechnique correspondant à l'affaire citée en objet.

Nous restons à votre entière disposition pour tous renseignements complémentaires éventuels.

Bien sincèrement.

Pour EQUATERRE SUD EST**Le 26/06/2025****S. MOILLE****EQUATERRE SUD EST**23A - Les Pléiades - Park Nord
74370 Epagny Metz-Tessy
Tél. 04 50 88 14 36
Siret 518 674 023 00016**Diffusion :** Tous les Intervenants (§ 1.2.)

SEM Val Cenis**VAL CENIS (73)**
*TSD DU GRAND COIN***ETUDE GEOTECHNIQUE**
(Phase D.A.E.T.)

Etude Géotechnique d'avant-projet

Mission : G1 ES-PGC (Norme NFP 94-500)

Ind.	Date	Etabli par	Vérifié par	Objet de la modification
A	26/06/2025	-	S. MOILLE	Première diffusion

Affaire n°2506003**Siège Social : EQUATERRE SUD EST - 23 A - Les Pléiades - Park Nord – 74370 Epagny Metz-Tessy****☎ 04 50 88 14 36** - Mail : agence@equaterre-sudest.fr

Agence Isère : Centre d'Affaires Le Concorde 24 Rue Lamartine – 38320 EYBENS ☎ 04.56.38.13.32 / 📠 04.56.38.13.33

SAS EQUATERRE sud est, au capital de 50 000 Euros / R.C.S Annecy n° 518 674 023 - APE 7112 B

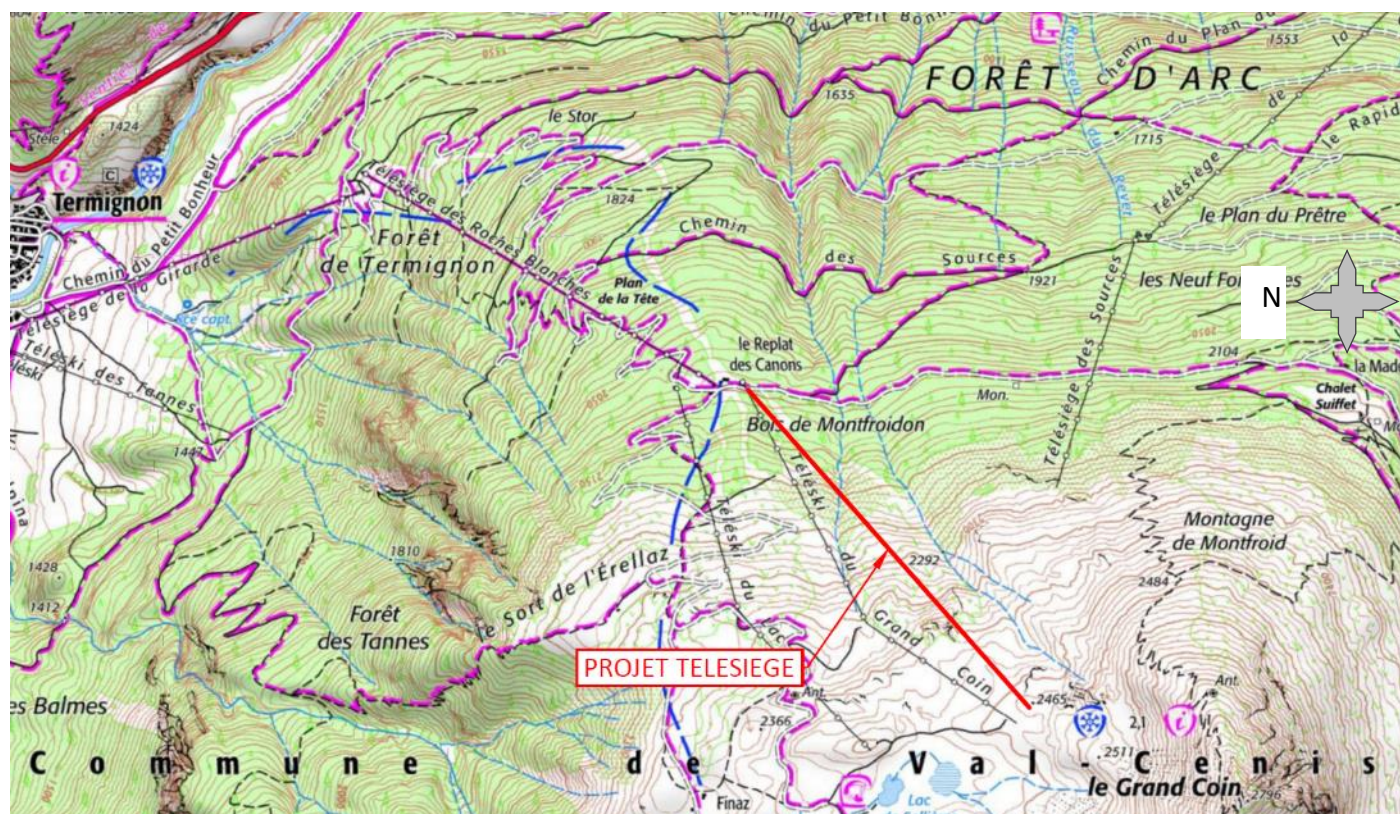
TABLE DES MATIERES

1. GENERALITES	4
1.1 Situation	4
1.2 Les intervenants.....	4
1.4 La mission	5
1.5 Assurance.....	5
1.6 Les documents fournis	5
1.7 Les documents à nous communiquer en phase G2 AVP.....	5
1.8 Documents de référence	6
1.9 Les questions posées.....	6
1.10 Les opérations effectuées	6
2. ANALYSE.....	7
2.1 Les données du projet	7
2.1.1 La remontée mécanique	7
2.1.3 Données sur les réseaux	8
2.2 Les données du sol	9
2.2.1 La géomorphologie	9
2.2.2 Géologie du site	11
2.2.3 L'hydrogéologie et réseau hydrographique	12
2.3 Risques naturels.....	13
2.4 Sismicité du site	13
2.5 Aléas en lien avec le changement climatique	14
3. CONCLUSION.....	15
4. REMARQUES GENERALES	16
4.1 Limites de l'étude.....	16
4.2 Définition normalisée de la présente mission	16
4.3 Autre(s) remarque(s).....	16

1. GENERALITES

1.1 Situation

Département : SAVOIE (73)
Commune : VAL CENIS
Départ : Replat des Canons
Arrivée : Lac de Sollières



* source: www.géoportail.fr © 2011 - IGN

1.2 Les intervenants

INTERVENANTS	SOCIETES	RESPONSABLES	MAILS
MAÎTRE D'OUVRAGE	SEM Val Cenise VAL CENIS VANOISE	M. FLAMMIER	info@valcenis.ski ;
MAITRE D'ŒUVRE	CNA	M. MOGUET	pierre.moguet@cna-mo.com ;

1.4 La mission

Le présent rapport d'étude préliminaire (phase D.A.E.T.) s'inscrit dans le cadre d'une mission comprenant des Investigations géotechniques et la rédaction d'une étude géotechnique d'avant-projet de type G1, au sens de la norme NFP 94-500, elle est strictement limitée à la phase avancement projet indiquée ci-après.

Missions normalisées NFP 94-500	G1(ES)	G1 (PGC)	G2	G2	G2	G4	G4
Présente mission Equaterre		X					
Phase avancement projet MO	DAET	DAET	AVP/APD	PRO	DCE/ACT	EXE/VISA	DET/AOR

Le détail du contenu de la présente mission est reporté au chapitre des remarques générales.

Convention souscrite : Notre proposition n° 2506003
 Votre commande : Reçue par mail

1.5 Assurance

La SARL Equaterre SUD EST est titulaire d'un contrat d'Assurance Professionnelle BTP Ingénierie Economie de la Construction.

Les conventions spéciales souscrites concernent :

- La Responsabilité Professionnelle de l'Ingénierie Bâtiment (montant des travaux inférieur à 26 M€)
- La Responsabilité Professionnelle de l'Ingénierie Génie Civil (montant des travaux inférieur à 6 M€)

Nota : Pour des montants de travaux supérieurs à ceux précités, une augmentation de garantie décennale avec ou sans abrogation de la règle proportionnelle, une plus-value pour complément de garantie sera facturée à la demande du maître d'ouvrage en sus de la présente mission --- (nous consulter)

Nos garanties RC et décennales ne deviennent effectives qu'au règlement de la totalité des sommes dues par le maître d'ouvrage désigné dans le présent document.

1.6 Les documents fournis

Documents	Echelle	Origine / référence	Indice	Date
Profil en long	1/1000	CNA	VAC_230205	31/03/2025
Plan de masse	1/1000	CNA	VAC_230205	29/01/2025

1.7 Les documents à nous communiquer en phase G2 AVP

Plan général d'aménagement

Profils en long

1.8 Documents de référence

Site Infoterre (BRGM)

Site Prim.net

PPR de la commune de : LANSLEVILLARD

1.9 Les questions posées

Il s'agit de préciser, dans le cadre de la mission décrite au paragraphe 1.3, les points suivants :

1. La nature et les caractéristiques mécaniques des horizons rencontrés.
2. Les principes généraux de construction des ouvrages pylônes, massifs et hangar, liés à la géotechnique :
 - Terrassements
 - Fondations
 - Dispositions vis à vis de l'eau souterraine.

1.10 Les opérations effectuées

Pour répondre aux questions posées, nous avons réalisé les postes suivants :

- Visite du site
- Enquête géologique et hydrogéologique.
- Analyse géomorphologique et levé d'affleurement.
- Synthèse et rédaction du présent rapport préliminaire d'étude géotechnique.

2. ANALYSE

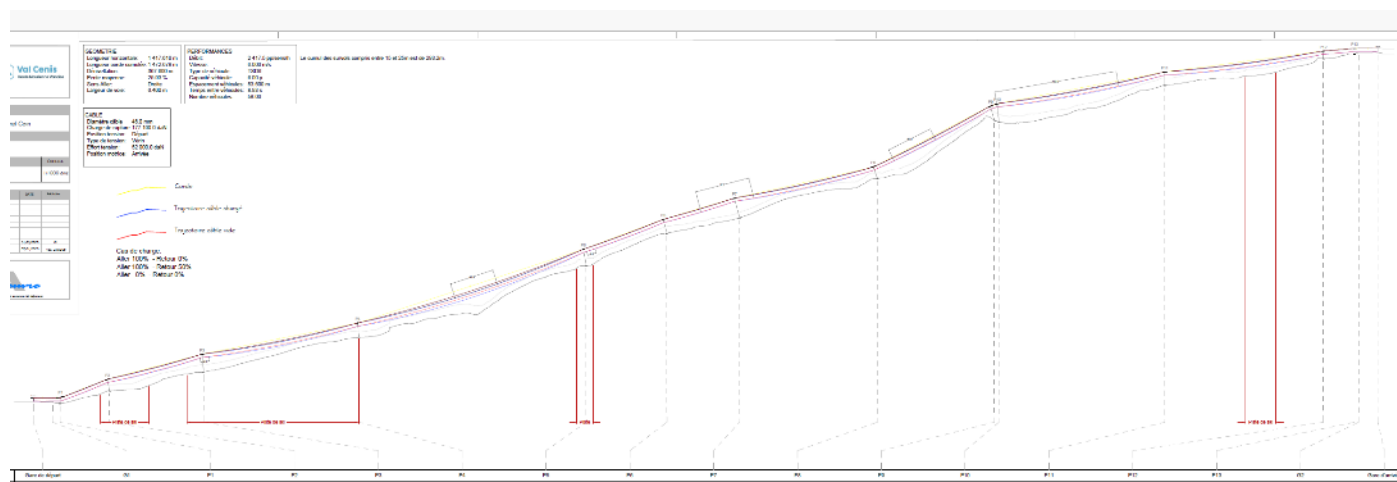
2.1 Les données du projet

2.1.1 La remontée mécanique

Le projet consiste en la construction d'un télésiège débrayable implanté sur le sommet du versant du Nord-Ouest de la forêt de Termignon.

La distance horizontale du télésiège sera de 1417 m environ pour un dénivelé de 367m environ. Le nombre de pylônes est de 13 unités à ce stade du projet

Profil en long :

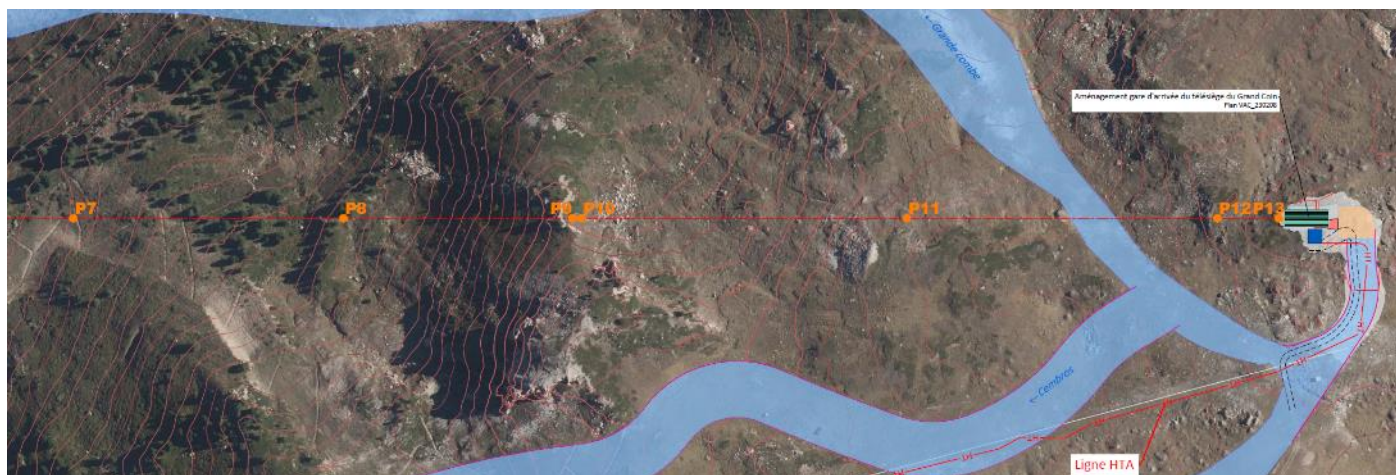


Localisation :

Aperçu de la moitié aval



Aperçu de la moitié amont



2.1.2 Z.I.G., Enjeux - vulnérabilités

(Zone d'influence géotechnique, NFP 94-500)

Volume du terrain au sein duquel il y a interaction entre l'ouvrage ou l'aménagement du terrain (du fait de sa réalisation et de son exploitation) et l'environnement (sols et ouvrages environnants).

Sa forme et son extension sont spécifiques à chaque site et chaque ouvrage.

Nous retiendrons :

- Existant à démolir en gare aval (G1 TK du GRAND COIN)
- ZIG limitée à l'emprise du projet des pylônes de ligne
- Réseaux sensibles à proximité de la gare aval

2.1.3 Données sur les réseaux

La maîtrise d'œuvre devra s'assurer de la position et de la bonne adéquation des réseaux existants au fonctionnement futur de l'ouvrage (Obligation à partir du 1^{er} juillet 2012).

En particulier, les réseaux EP devront être parfaitement reconnus et étudiés dans le cas de drainage gravitaire des futures parties enterrées.

Les réseaux secs alimentés depuis l'amont devront faire l'objet d'un traitement approprié selon les règles de l'art.

<http://www.reseaux-et-canalisation.ineris.fr> / <http://www.reseaux-et-canalisation.gouv.fr>

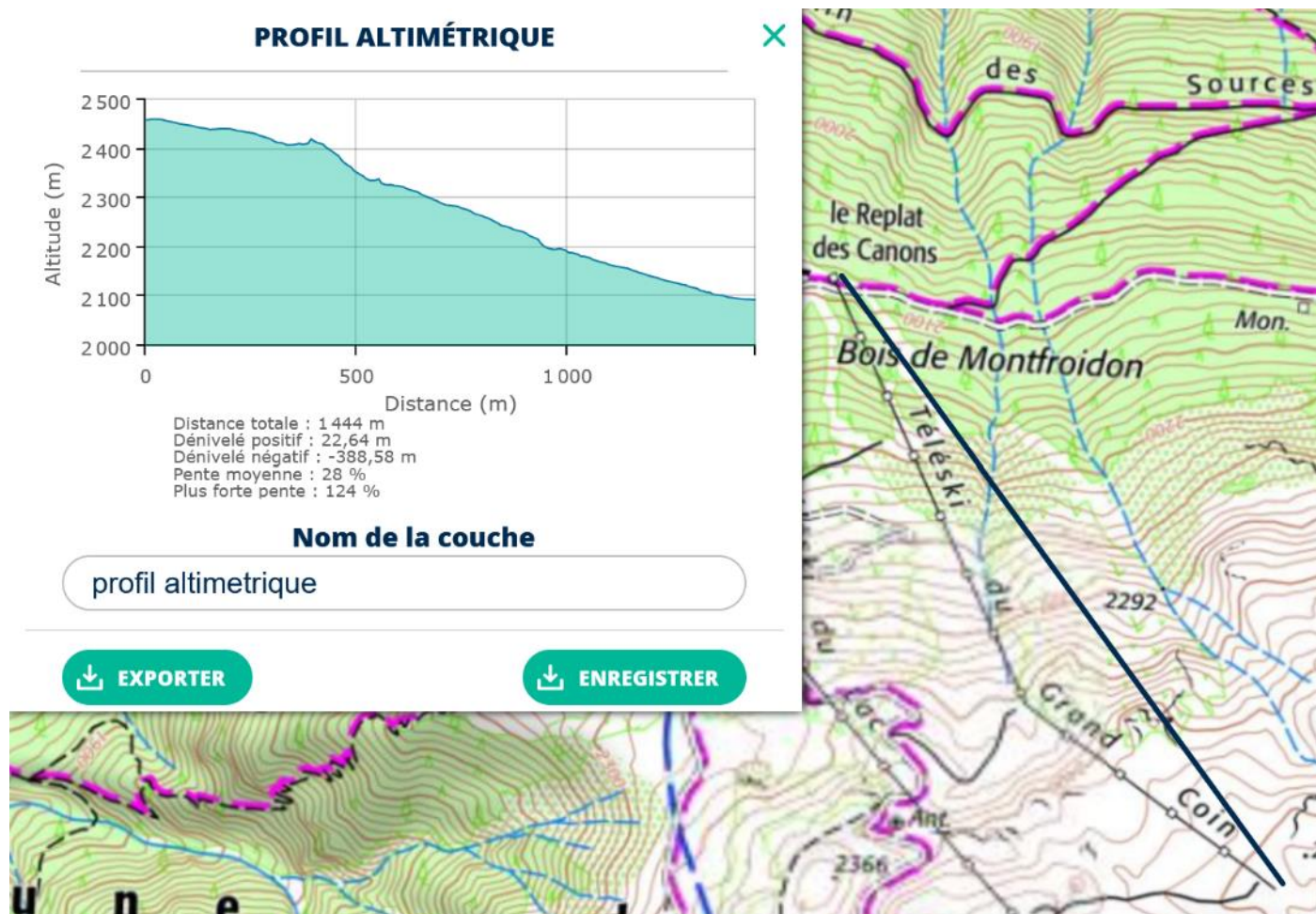
2.2 Les données du sol

2.2.1 La géomorphologie

Typologie : Versant

[La typologie du site définit un domaine où la géologie correspond à une même logique de formation (grandes vallées alpines, bassins péri-alpins, versants...)]

Le site s'inscrit dans un versant orienté vers le Nord-Ouest et de pente moyenne (28%)



Il s'agit d'un versant herbeux et de forêt, au relief assez régulier traduisant une bonne stabilité naturelle.

Nous n'avons pas observé d'objet géologique significatif (falaise, cône d'éboulis, faille active, zone de glissement de terrain actif...) dans l'environnement immédiat du projet.

Nous n'avons pas observé de chute de blocs récente au pied des escarpements rocheux

Aperçu du versant :

Vue de la partie amont du tracé



Vue depuis la zone intermédiaire de la ligne

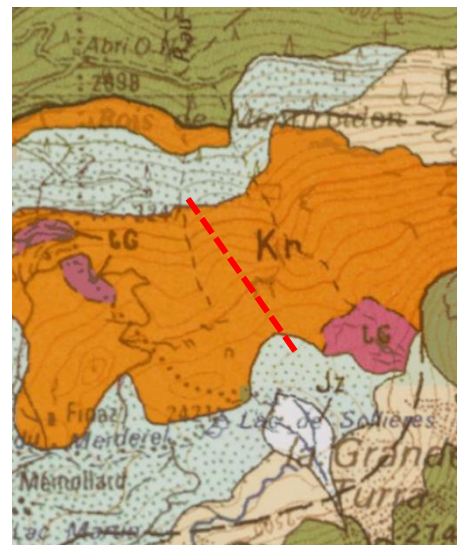


2.2.2 Géologie du site

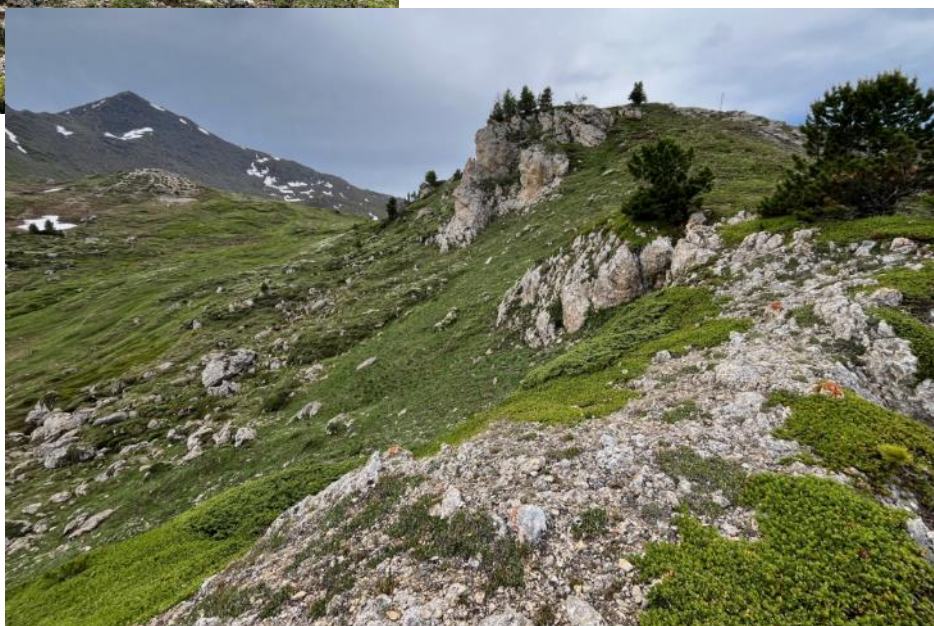
Carte géologique 1/50 000.

* Source : www.infoterre.fr © BRGM 2010

Le site s'inscrit dans un contexte général de formation rocheuse de type évaporite (Cargneule et Dolomie) avec des plaquages de moraine ou de colluvion d'épaisseur pluri-métrique.



Le rocher est régulièrement visible sous forme d'affleurement sur la partie amont de la ligne



La cargneule, une roche dolomitique bréchique, présente plusieurs contraintes géotechniques importantes :

1. **Discontinuités et fractures** : La cargneule est souvent caractérisée par une texture vacuolaire ou caverneuse, ce qui peut entraîner des discontinuités et des fractures dans le massif rocheux

Ces discontinuités peuvent affecter la stabilité des structures construites sur ou dans cette roche.

2. **Variabilité des propriétés mécaniques** : Les propriétés mécaniques de la cargneule peuvent varier considérablement en fonction de son degré de bréchification et de la présence de fractures

Cela rend la prévision de son comportement sous charge complexe

3. **Réactivité chimique** : La cargneule peut réagir chimiquement avec les eaux souterraines, entraînant des modifications de ses propriétés mécaniques et chimiques au fil du temps.

4. **Présence de gypse** : La cargneule est parfois associée à des écailles de gypse, roche blanchâtre très tendre, soluble et chimiquement agressive (forte teneur en sulfate).

Un affleurement de gypse est visible à proximité de la gare amont

2.2.3 L'hydrogéologie et réseau hydrographique

L'hydrogéologie du site se résume à des circulations de versant au sein des plaquages de moraine et au sein des colluvions sont possibles par contraste de perméabilité avec le substratum rocheux, en période de fonte ou de fortes précipitations.

L'eau souterraine constitue donc une variable du site.

Nous n'avons pas identifié de zone humide ou hydromorphe sur l'ensemble du tracé.

La trace de l'appareil recoupe à l'aval un léger talweg siège d'écoulements non permanent. L'implantation actuelle des pylônes permet cependant d'enjamber cette zone.



2.3 Risques naturels

Le projet n'est pas concerné par un plan de prévention des risques naturels prévisibles.

Sur le terrain, nous n'avons pas observé de phénomène naturel à risque pour le projet : absence de zone de glissement de terrain actif, pas de falaise avec un potentiel de chute de blocs.

2.4 Sismicité du site

Nous retiendrons les éléments géotechniques suivants :

- Données règlementaires :

Normes

1998-1, 1998-5 : Règles de l'Eurocode 8 (Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 5 : Fondations, soutènements et aspects géotechniques).

Zone de sismicité selon décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010

Zone de sismicité	Niveau d'aléa	a_{gr} (m/s ²)	Classes de sol	S (zones 1 à 4)	Catégorie d'importance	Coefficient d'importance γ_I
			A	1		
Zone 1	Très faible	0,4	B	1,35	I	0,8
Zone 2	Faible	0,7	C	1,5	II	1
Zone 3	Modéré	1,1	D	1,6	III	1,2
Zone 4	Moyen	1,6	E	1,8	IV	1,4

Influence du sol S_T

Coefficient d'importance γ_I

Classe de sol : A
Coefficient topographique : 1.0

Les matériaux du site, compte tenu de leur nature, de leur compacité et de leur saturation en eau ne sont pas classés dans les matériaux à caractère potentiellement liquéfiable.

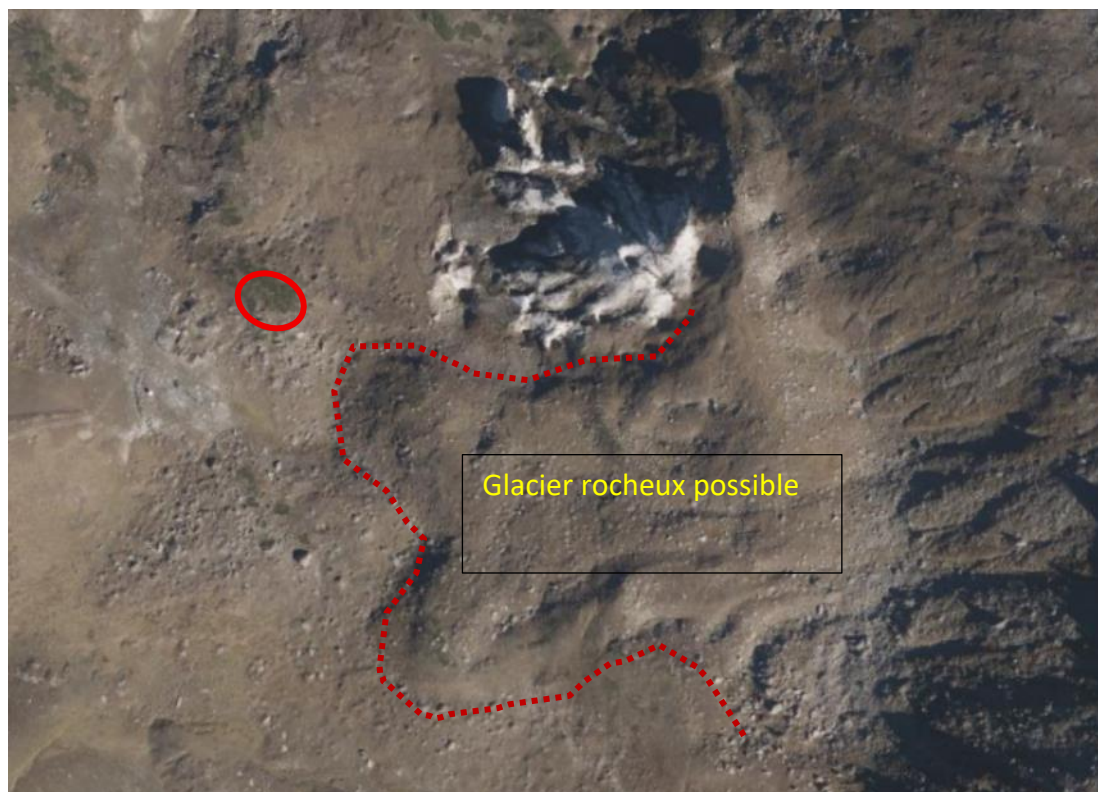
Accélération nominale : $a_g = \gamma_I \cdot S_T \cdot a_{gr}$

Pour tout complément, se reporter aux sites www.developpement-durable.gouv.fr - www.planseisme.fr et www.prim.net...

2.5 Aléas en lien avec le changement climatique

Situé globalement à moins de 2500 m d'altitude sur un versant Nord-Ouest, le risque de fonte du permafrost peut être écarté sur la majeure partie du tracé du projet.

Cependant, au niveau de la gare amont, les expressions géomorphologiques d'un glacier rocheux (lobes et langues) semblent visibles dans les pentes au-dessus de la zone d'implantation des massifs.



Des reconnaissances profondes à l'aide forage devront être réalisées au droit de la gare pour valider l'absence de permafrost en interférence avec les fondations.

Sur le tracé, nous n'avons pas identifié d'objet géologique de type falaise ou très forte pente sensible au phénomène d'instabilité de type glissement de terrain ou clouée de boue.

Le réseau hydrographique est peu développé et le talweg principal recoupé par le tracé du projet est largement enjambé par les pylônes de ligne.

De ce qui précède, il apparaît que Le projet ne paraît pas trop exposé aux aléas en lien avec le changement climatique.

3. CONCLUSION

Le site ne présente pas de contrainte géotechnique majeure s'opposant à la réalisation du projet, comme en témoigne le fonctionnement de l'appareil existant à proximité (TK du GRAND COIN).

L'adaptation des fondations des pylônes de ligne visera à solliciter autant que possible le substratum morainique compact et/ou rocheux.

Le rocher affleurant au niveau du 1/3 de la ligne est très souvent caractérisé par une texture vacuolaire ou caverneuse, ce qui peut entraîner des discontinuités et des fractures facteur d'instabilité

Il faudra anticiper l'utilisation d'outils de terrassement puissants de type BRH pour excaver le rocher. Les talus de déblais seront équipés d'un grillage antichute de bloc pour protéger les personnels de chantier exposés à un risque de chute de blocs à l'échelle de la fouille des massifs de fondation.

En gare aval il faudra prévoir une solution de fondations en béton de rattrapage pour traverser les matériaux des remblais d'aménagement de la zone pour atteindre l'assise rocheuse ou morainique

En gare amont, les terrains morainiques à blocs devraient permettre la réalisation d'appuis simples et superficiels après vérification de l'absence de permafrost.

Ces contraintes nécessitent une étude géotechnique approfondie pour chaque pylône pour évaluer la stabilité et la sécurité des projets de construction impliquant notamment la cargneule.

4. REMARQUES GENERALES

4.1 Limites de l'étude

La présente mission G1 - (Norme NFP 94-500) n'aborde pas les points suivants :

- La géométrie des fondations.
- Les délais, planning, quantités et coûts d'exécution.
- Les consultations d'entreprise, l'analyse des offres, la signature des marchés...
- Le dimensionnement des ouvrages géotechniques.
- Le suivi d'exécution et la participation à la réception des travaux.

Ces aspects du projet, relevant du domaine de la conception, nécessitent la réalisation de missions de maîtrise d'œuvre géotechnique de type G2-G3-G4 (Investigations géotechniques), au sens de la norme NFP 94-500. (Cf. Extrait en annexe)

Nota : En l'absence d'une mission G4 (suivi d'exécution) au minimum, les comptes rendus de chantier adressés par la maîtrise d'œuvre seront considérés comme non lus et ne nous seront de ce fait pas opposables.

4.2 Définition normalisée de la présente mission

(Cf. Extrait en annexe)

4.3 Autre(s) remarque(s)

La présente étude a été menée selon l'état du projet porté à notre connaissance au jour de l'intervention. Toute modification devra nous être soumise pour avis, afin de contrôler si ces modifications ne remettent pas en cause tout ou partie des conclusions de ce rapport (mission complémentaire éventuelle), car l'adaptation au sol d'un projet, est fonction de la nature du terrain, mais également de la nature de ce qui est construit. Nous ne sommes en aucun cas responsables de l'utilisation frauduleuse de la présente étude pour tout autre projet.

A Epagny Metz-Tessy, le 26/06/2025

Pour EQUATERRE SUD EST

**Le Président
S. MOILLE**

**L'Ingénieur,
S. MOILLE**



Siège Social : EQUATERRE SUD EST - 23 A - Les Pléiades - Park Nord – 74370 Epagny Metz-Tessy

☎ 04 50 88 14 36 - Mail : agence@equaterre-sudest.fr

Agence Isère : Centre d'Affaires Le Concorde 24 Rue Lamartine – 38320 EYBENS ☎ 04.56.38.13.32 / 📠 04.56.38.13.33

SAS EQUATERRE sud est, au capital de 50 000 Euros / R.C.S Annecy n° 518 674 023 - APE 7112 B