

SATELC
Mairie de La Clusaz

Remplacement du TSF4 Col de Balme
et aménagement de pistes associées
La Clusaz (74)

Note en réponse à l'avis de la Mission
Régionale d'Autorité environnementale
(MRAe) du 3 décembre 2024

27 janvier 2025
N/Réf. : 2019187

CHAPITRE 1. RAPPEL DU CONTEXTE

Un dossier de demande d'autorisation environnementale a été déposé conjointement par la SATELC et la commune de La Clusaz pour un projet de remplacement du TSF4 Col de Balme et aménagement de pistes associées.

Ce projet a fait l'objet d'une évaluation environnementale (KARUM, 03/10/2024). L'Autorité environnementale a été saisie de ce dossier le 04/10/2024 et a émis un avis le 03/12/2024 (Avis n° 2024-ARA-AP-1774).

Le présent document constitue la note en réponse aux remarques de la MRAE, selon les attendus de l'article L122-1-VI du code de l'Environnement.

CHAPITRE 2. REPONSES AUX REMARQUES DE LA MRAE

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
9/20	<i>L'autorité environnementale recommande de présenter de manière détaillée le programme des opérations du domaine de montagne de la commune de la Clusaz, établi pour la période 2024-2028, ainsi que celles en réflexion.</i>

Le programme des opérations du domaine de montagne de la commune de la Clusaz est pensé sur un territoire bien déterminé qui correspond à l'emprise du domaine skiable de la Clusaz sur le territoire communal de la Clusaz.

Les projets futurs d'aménagement connus ont été présentés dans les pages 169 et suivantes de l'évaluation environnementale.

Ces projets évoluent avec le temps en fonction des études et des contraintes rencontrées. Il est toutefois possible d'apporter des précisions sur ces projets :

REALISATION D'UNE LUGE 4 SAISONS SUR LE BAS DU SECTEUR DU BOSSONNET

Ce projet va être réalisé en 2025. Il s'agit d'une luge sur rail représentant une piste de montée d'environ 300 ml et une piste de descente d'environ 700 ml. La luge sur rail sera équipée de 26 véhicules en ligne. Cet équipement vise clairement une exploitation possible en toute saison et en après ski, et constitue un premier aménagement dans la logique de diversification et de résilience que s'impose la SATELC.

AMENAGEMENT D'UNE ZONE LUDIQUE VTT ET AUTRES ACTIVITES DANS LES BOIS SUR L'ESPACE DU LOUVETEAU

Ce projet prévoit la création d'une nouvelle piste de VTT, spécialement adaptée à l'apprentissage et à l'évolution des enfants. Il se composera aussi d'une tyrolienne dans les arbres d'environ 250 ml ainsi qu'un autre espace d'évolution au milieu des arbres dont les équipements et aménagements n'ont pas encore été clairement identifiés à ce jour.

DOUBLE UTILISATION DE FONCIER CREE POUR L'ACTIVITE DE MAINTENANCE DE REMONTEE MECANIQUE POUR LES TRANSFORMER EN EXPERIENCE A DESTINATION DES CLIENTS

Un des premiers aménagements concernant cette thématique est l'ouverture début 2025 de l'espace immersif de la gare de Beau Regard. Cet espace réutilise et mutualise l'exploitation d'un garage à cabines pour créer un espace immersif et offrir une expérience unique aux pratiquants.

Ce projet constitue une première pierre dans la voie de la diversification. Suivront d'autres projets qui mutualiseront des nouvelles expériences sur des remontées mécaniques existantes. Ces futurs projets ne sont pas encore au stade de la concrétisation.

ADAPTATION ET RENFORCEMENT D'UNE ZONE DEBUTANTE (ZONE COMMUNE AVEC L'AMENAGEMENT DE LA ZONE LUDIQUE) SUR L'ESPACE DU LOUVETEAU A 1500 M

Ce projet anticipe les contraintes liées au dérèglement climatique et a pour vocation de remonter en altitude les espaces débutants situés sur les parties les plus basse de la Clusaz. Le projet vise à reprofiler des pistes de ski existantes de façon à mieux les sécuriser et mieux les adapter à des skieurs débutants et des enfants. Ces aménagements s'accompagneront de la mise en place de tapis roulants, équipements spécifiquement pensés pour la desserte de ce genre d'aménagement. L'équipement en neige de culture de ce secteur existant déjà, seules quelques adaptations seront nécessaires pour produire de la neige efficacement au bon endroit.

RENFORT DE NEIGE DE CULTURE DES LIAISONS ENTRE LES DIFFERENTS SECTEURS DE SKI POUR MIEUX UTILISER LES RESSOURCES EXISTANTES SUR CERTAINS SECTEURS

L'objectif est ici d'améliorer et de sécuriser les liaisons entre les différents secteurs de ski de la Clusaz. La prochaine réalisation sera l'équipement du secteur pistes des Mélèzes/Combe des Juments qui impliquera du reprofilage de piste ainsi que l'ajout d'un réseau de neige de culture équipé d'une vingtaine d'enneigeurs. Cet aménagement est envisagé pour 2026.

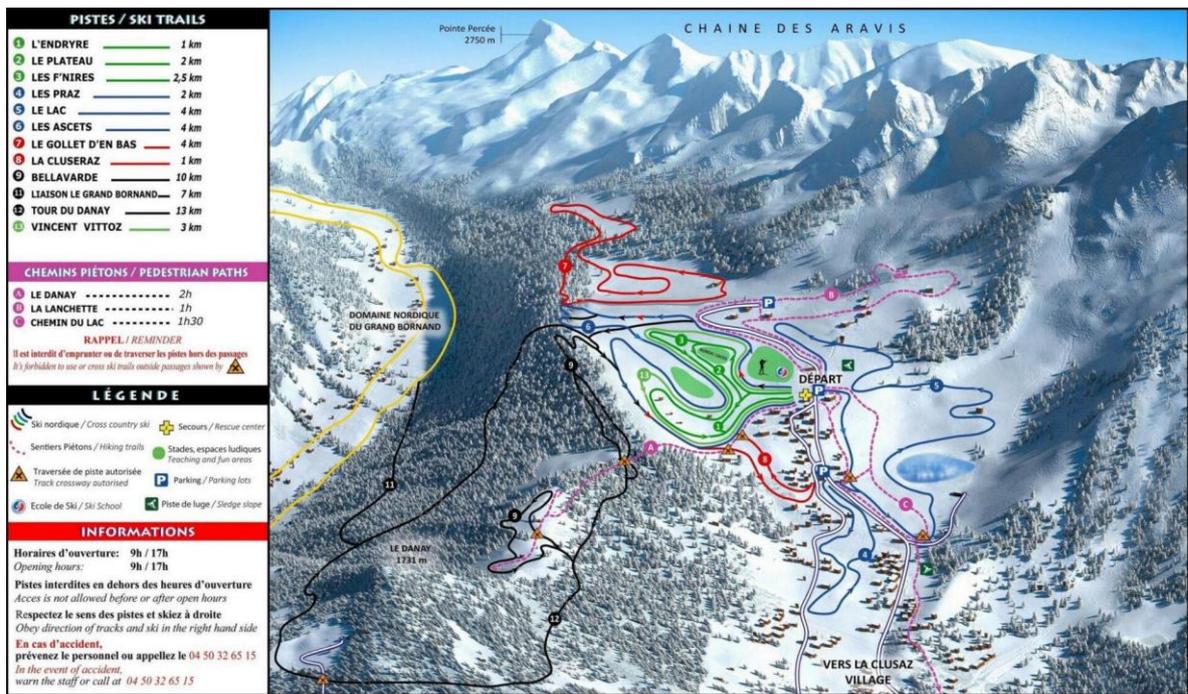
N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
10/20	<i>L'autorité environnementale recommande d'analyser les liens fonctionnels entre les différentes opérations en cours ou projetées au sein de la station ou de la commune de La Clusaz, tous calendriers et maîtres d'ouvrage confondus, y compris celles permettant la connexion aux autres stations du domaine des Aravis.</i>

La commune n'a pas – et ne peut pas avoir - connaissance de tous les projets envisagés sur son territoire. Ainsi ceux développés par des opérateurs privés peuvent n'être portés à sa connaissance qu'au moment de demandes d'autorisations. Ils ne peuvent donc être pris en compte. En revanche, elle a connaissance de ceux qu'elle porte en direct ou de ceux portés par ses délégataires ou par les autres collectivités publiques.

Les projets relatifs au domaine de montagne sont cités dans l'étude d'impact et feront l'objet des modalités d'analyse présentées dans celle-ci. Par ailleurs, il n'est pas envisagé, à court, moyen ou long terme, de nouvelles liaisons avec les autres domaines skiables des Aravis.

Concernant le domaine de ski nordique des Confins aucune nouvelle liaison n'est envisagée vers le domaine de ski nordique du Grand Bornand. Celle-ci existe déjà via les pistes « Tour du Danay » et « Liaison Grand Bornand ».

Le versant nord du domaine verra la transformation d'une piste forestière existante, d'une longueur d'environ 1km, en piste de ski de fond. Celle-ci bénéficiera d'un enneigement naturel et ne sera pas équipée d'installation de neige de culture. Elle reliera 2 pistes existantes, permettant ainsi de créer une nouvelle boucle qui pourra rester ouverte en période de faible enneigement. L'exploitation du site pourra ainsi être maintenue. Compte tenu de sa faible longueur (environ 1 km) elle ne générera pas une augmentation de l'attractivité ni de la fréquentation du site.



Les autres opérations de la station, déjà lancées ou en cours d'étude, portent essentiellement sur une amélioration et une adaptation des infrastructures en milieu déjà urbanisé. Elles relèvent toutes d'une même volonté de transition et d'adaptation de la station. Plusieurs axes sont envisagés :

- > Favoriser la transition énergétique et les mobilités :
 - Création d'un réseau de chaleur urbain à chaufferie bois. Celui-ci diminuera drastiquement le recours aux énergies fossiles des installations de chauffage et réduira de 3 000 téqCO₂ / an les émissions de CO₂ ;
 - Rénovation et agrandissement du Pont de l'Ars. L'objectif est de faciliter la circulation des bus en entrée de village afin de développer l'usage des transports collectifs au sein de la station mais également comme moyen d'accès à celle-ci. Les travaux sécuriseront en outre les mobilités piétonnes dans le secteur.
- > Renforcer l'attractivité du village pour les habitants permanents : la restructuration du cœur de village comportera notamment la création d'une maison de santé et de logements sociaux.
- > Renforcer l'offre touristique 4 saisons pour les visiteurs déjà présents dans la station : création d'un pôle sportif indoor en cœur de village.

Enfin La Clusaz sera site d'accueil des épreuves de ski de fond des Jeux Olympiques et Paralympiques 2030. Dans cette démarche, La Clusaz s'inscrit pleinement dans la volonté des régions Auvergne Rhône-Alpes et Provence Alpes Côte-d'Azur, porteuses de la candidature, de travailler à des Jeux sobres. Ainsi le site de compétition retenu – plateau des Confins - existe déjà et a déjà accueilli des épreuves de ski internationales (Coupe du Monde). L'essentiel des aménagements est donc réalisé. Ceux restant à réaliser, dont le détail n'est pour l'heure non arrêté définitivement par le Comité d'Organisation celui-ci n'étant pas encore créé à la date du 10 janvier 2025, s'inscriront pleinement dans une démarche vertueuse et viseront à laisser un héritage à long terme pour le territoire :

- > Réduction au maximum des travaux impactant les terrains naturels et agricoles,
- > Amélioration des conditions d'accueil des publics scolaires et des groupes,
- > Amélioration de la voirie pour favoriser l'accès des transports collectifs au site et réduire ainsi à terme l'usage de la voiture individuelle.

Dans le cadre des JOP 2030 il n'est pas prévu de construire un village des athlètes dans la station. Ceux-ci, ainsi que les autres populations dédiées, seront logés dans les structures hôtelières et touristiques existantes.

Ainsi, que ce soit celles prévues en milieu urbain ou celles liées aux JOP 2030, les opérations envisagées non aucun lien fonctionnel avec le projet du col de Balme.

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
10/20	<i>L'Autorité environnementale recommande de confirmer ou de faire évoluer le périmètre du projet d'ensemble (programme 2024-2028 du domaine de montagne, master plan de diversification de la commune...) en conséquence.</i>

La SATELC confirme que le périmètre du projet d'ensemble est et restera l'emprise du domaine skiable de la Clusaz situé sur le périmètre du territoire communal de la Clusaz. Ce périmètre semble pertinent au regard de la vision/maitrise des aménagements projetés et au regard de la géographie du site, compte tenu des limites physiques du territoire.

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
10/20	<i>L'Autorité environnementale recommande de produire une évaluation environnementale du projet d'ensemble.</i>

La SATELC a rencontré les services de l'Etat à l'automne 2024 afin de présenter ses projets et la vision qu'elle en avait en termes de gestion de projets dans le temps et d'articulation autour des thématiques études d'impacts / globalité des impacts. Il a été convenu qu'une vision d'ensemble et une évaluation environnementale globale seraient mises en place pour tous les prochains projets mais que l'évaluation environnementale de Balme resterait suffisante à elle-même compte tenu des plannings d'investissement et de traitement administratif des dossiers d'autorisation. Ainsi, la SATELC travaille dès maintenant à la production d'une évaluation environnementale globale qui sera amendée en fonction des avancées sur les différents projets.

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
11/20	<i>L'Autorité environnementale recommande de décrire clairement tous les aménagements constitutifs de l'opération (terrassements, réseau de neige de culture et dispositif de déclenchement des avalanches) et de préciser, de manière exhaustive, les volumes de terrassements, notamment ceux de la piste « Crintiaux » et ceux liés au réseau de neige de culture.</i>

Pour rappel, le projet vise à remplacer le télésiège du Col de Balme (TSF4) construit en 1993 par un télésiège débrayable 6 places. Ce remplacement s'accompagne de travaux d'aménagement des pistes existantes :

- > La reprise des pistes de ski « Bergerie » et « Blanchot » : terrassements pour lier l'appareil à des pistes plus accessibles aux skieurs débutants et enneigées en totalité ;
- > Des terrassements localisés sur les pistes de ski Crintiaux et Tête Blanche pour supprimer et sécuriser des portions actuellement difficiles à skier.

La reprise de ces pistes de ski sera couplée à la mise en place d'un réseau pour la neige de culture, uniquement sur les pistes Bergerie et Blanchot, afin de fiabiliser l'enneigement dans la Combe de Balme sur les prochaines décennies.

Enfin, un dispositif de déclenchement des avalanches sera installé pour sécuriser le travail des équipes et fiabiliser l'ouverture des pistes de ski.

Des précisions concernant chaque opération sont données ci-dessous afin d'éclaircir certains aspects du dossier.

PRECISIONS CONCERNANT LE DEMONTAGE DU TELESIEGE TSF4 ACTUEL

Le projet prévoit le démontage et donc la suppression sur le domaine skiable de La Clusaz du télésiège du Col de Balme (télésiège fixe 4 places).

Les étapes de l'opération et les détails techniques sont présentés au chapitre 1.5.1 de l'évaluation environnementale.

Le démontage de la remontée mécanique nécessitera 96 rotations d'hélicoptères pour un total d'environ 6h en cumulé (3h de Super PUMA et 3h de B3).

PRECISIONS CONCERNANT L'INSTALLATION DE LA NOUVELLE REMONTEE MECANIQUE

L'installation de la nouvelle remontée mécanique comprendra plusieurs opérations de terrassements :

- Terrassement pour le montage de la G1,
- Terrassement pour le montage de la G2,
- Terrassements des 14 pylônes,
- Terrassements sous la ligne pour les hauteurs de survol.

Le plan localisant l'ensemble de ces zones est présenté à la page 7 et les détails concernant les volumes et les surfaces de terrassement sont présentés ci-dessous.

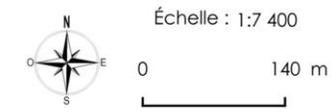
TELESIEGE		DEBLAIS (M ³)	REMBLAIS (M ³)	SURFACE (M ²)
Terrassements G1		1 000	1 000	1 850
Terrassements G2		12 700	1 300	2 930
Terrassements de ligne	P5	5 800	0	1 473
	P6	20	20	180
	P8	70	70	197
	P9	30	30	130
Pylônes	P1	90	90	140
	P2	140	140	160
	P3	230	230	220
	P4	200	200	200
	P5	160	160	190
	P6	260	260	230
	P7	110	110	150
	P8	210	210	210
	P9	140	140	160
	P10	150	150	170
	P11	210	210	210
	P12	180	180	210
	P13	420	420	480
	P14	420	420	460
TOTAL		22 540	5 340	9 950

Les autres précisions techniques concernant l'installation de la remontée mécanique sont données au chapitre 1.5.2 de l'évaluation environnementale.



Projet TSD Col de Balme

-  Axe de la ligne
-  Gares
-  Pylônes
-  Zones de terrassement sous la ligne



Conception: KARUM n°2019187 / A.MAIRE
 Fond de carte : IGN : ORTHO (2023)
 Source de données : ABEST, CNA
 Date : 06/01/2025

PRECISIONS CONCERNANT LE REPROFILAGE DES PISTES DE SKI

Le nouvel appareil TSD6 du Col de Balme s'accompagnera du reprofilage des pistes de ski Bergerie et Blanchot avec comme objectif de pouvoir proposer un itinéraire qui se déroule sur la totalité du dénivelé.

De plus, des terrassements de faible envergure seront localisés sur les pistes de ski Crintiaux et Tête Blanche pour supprimer et sécuriser des portions actuellement difficiles à skier. Ces terrassements permettront de valoriser les matériaux excédentaires issus des terrassements pour le TSD Col de Balme et ainsi d'éviter les allers-retours de camions dans la vallée.

La démarche reste toujours de minimiser les impacts en travaillant de façon la plus compact possible dans le temps et sur tous les aménagements à réaliser. Cette démarche permet d'avoir des périodes de travaux optimisées, limitant les travaux dans le temps. Cela évite d'avoir tous les ans un chantier dans la combe de Balme, et donc des impacts chantiers long et impactant à terme.

Un tableau récapitulatif des surfaces et volume reprofilés par zones est donné ci-dessous :

NOM DE LA PISTE/ZONE	DEBLAIS (M ³)	REMBLAIS (M ³)	SURFACE (M ²)
PISTE BERGERIE	19 350	20 150	34 085
PISTE BLANCHOT	24 685	42 750	40 374
PISTE CRINTIAUX	1 600	45	1 700
PISTE TETE BLANCHE	10	1 940	2 495
TOTAL	45 645	64 885	78 654

La cartographie en page 9 présente les pistes de ski qui feront l'objet de terrassements.

PRECISIONS CONCERNANT LE RESEAU NEIGE DE CULTURE

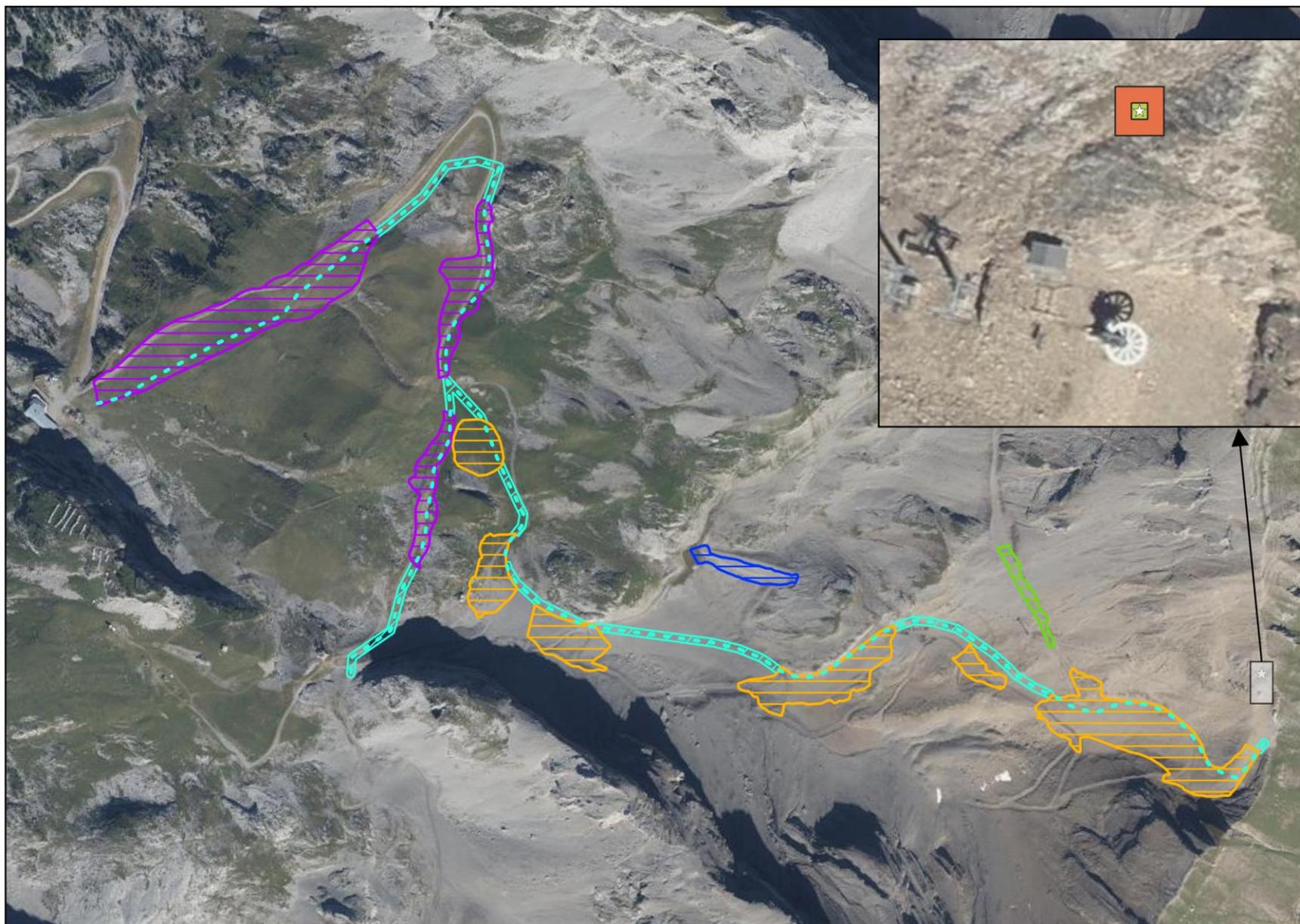
Dans le cadre du projet de remplacement du télésiège du Col de Balme, la régie des pistes de la commune a engagé une réflexion globale au sujet du réseau neige actuel et futur, lié aux nouveaux aménagements prévus. Profitant des opérations de reprofilage de plusieurs pistes de ski, des canalisations pour un réseau neige seront installées.

Aussi, le projet prévoit l'extension du réseau neige sur la piste Bergerie avec l'installation de canalisations et d'enneigeurs en 2025 puis l'équipement de la piste Blanchot, en même temps que les terrassements des pistes, liés au télésiège dont les travaux sont programmés en 2026. **Aucun réseau neige n'est prévu sur les pistes Tête Blanche et Crintiaux.**

Les zones de terrassements sont majoritairement comprises dans celles prévues pour les opérations de reprofilage des pistes. Toutefois, certaines portions du réseau neige s'ajoutent à ces surfaces. Les volumes de terrassement de la tranchée de réseau neige sont de 6 561 m³ de déblai pour la piste Bergerie et 6 925 m³ pour la piste Blanchot. Ces déblais sont remis en remblai sur place pour combler la tranchée (matériaux à l'équilibre).

A terme, le projet prévoit de renforcer l'équipement sur une longueur de 2,77 km avec 49 nouveaux enneigeurs nécessitant une consommation d'environ 31 400 m³/an. Les surfaces à enneiger sont de 53 300 m² sur la piste Blanchot et 30 300 m² sur la piste Bergerie.

Les autres précisions techniques concernant l'installation du réseau neige de culture sont données au chapitre 1.5.4 de l'évaluation environnementale.



Pistes de ski reprofilées

-  Bergerie
-  Blanchot
-  Crintiaux
-  Tete Blanche

Création d'un réseau neige

-  Réseau neige
-  Terrassements hors pistes

Dispositif de déclenchement d'avalanches

-  O'BelX
-  Massif d'ancrage définitif (1 m²)
-  Surface de travaux (9 m²)



Conception: KARUM n°2019187 / A.MAIRE
 Fond de carte : IGN : ORTHO (2023)
 Source de données : ABEST
 Date : 08/01/2025

PRECISIONS CONCERNANT LES DISPOSITIFS DE DECLENCHEMENT DES AVALANCHES

Un O'BellX (dispositif de déclenchement des avalanches) sera installé sur la falaise surplombant l'arrivée du futur télésiège de Balme. Cet équipement sera installé en lieu et place d'un point de tir manuel déjà existant. L'installation de l'équipement a pour objectif de gagner en rapidité d'exécution mais également de sécuriser l'intervention du personnel en charge du déclenchement des avalanches.

Au vu de la nature du sol, la plateforme de l'équipement au sol sera de 100 cm par 100 cm (soit 1 m²), nécessitant une fouille sur une surface de 9 m² environ. Cette surface apparaît comme négligeable.

L'installation d'un O'BellX permettra d'effectuer des tirs plus tôt le matin puisqu'ils seront réalisés depuis le village sur un ordinateur. En effet, aujourd'hui les tirs sont effectués à la main, engendrant parfois du retard sur la remontée, lié au temps de montée en dameuse. Ainsi, la séquence de tir qui permet de mettre en sécurité les pistes et le futur TSD est plus rapide et n'exposera pas les équipes sur le terrain. L'utilisation d'un O'BellX n'engendrera pas plus de nuisance sonore que les tirs manuels. Concernant la fréquence des tirs, aucune modification significative n'est à prévoir dans le nombre de tirs (pour une année équivalente en termes d'enneigement).

SYNTHESE DU PROJET

	REMONTEE MECANIQUE				PISTES				RESEAU NEIGE	TOTAL
	GARE AVALE	GARE AMONT	TERRASSEMENTS	PYLONES	BERGERIE	BLANCHOT	CRINTIAUX	TETE BLANCHE		
Volume de déblais (m ³)	1 000	12 700	5 920	2 920	19 350	24 685	1 600	10	13 486	81 671
Volume de remblais (m ³)	1 000	1 300	120	2 920	20 150	42 750	45	1 940	13 486	83 711
Surface terrassée (m ²)	1 850	2 930	1 980	3 190	34 085	40 374	1 700	2 495	12 492	101 096

Les points suivants sont à retenir :

- > Le projet est équilibré remblais/déblais. L'écart résiduel est compensé par le foisonnement des matériaux.
- > Aucune surface ne sera défrichée ni même déboisée.
- > La surface à terrasser est d'environ 10 ha.

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
11/20	<i>L'Autorité environnementale recommande de préciser la fréquentation actuelle et projetée sur le périmètre d'influence du télésiège du Col de la Balme ainsi que les flux induits, y compris en cas d'exploitation hors période d'enneigement, de confirmer ou d'adapter l'aire d'étude et de compléter l'évaluation des incidences en conséquence. Elle recommande en outre de faire porter l'évaluation environnementale sur l'ensemble des composantes de l'opération et du projet.</i>

Les remontées mécaniques du secteur de Balme constituent un secteur majeur dans le domaine skiable de la Clusaz, compte tenu de nombreuses caractéristiques favorables : enneigement naturel, exposition, qualité des pistes de ski, dénivelé....

Toutefois, hors saison hivernale, le secteur reste moins attractif : en effet, les éléments qui font sa force l'hiver deviennent des inconvénients l'été : persistance du manteau neigeux, secteur frais, ambiance minérale....

Face à ce constat, de nombreux autres sites de la Clusaz ont la préférence des utilisateurs hors saison hivernale, comme le massif de Beaufort et le Col des Aravis.

Enfin, le secteur de Balme reste excentré du village, ce qui ne favorise pas le développement d'activités hors ski.

Ainsi, il n'est pas envisagé à ce jour de développement d'activités sur les 4 saisons dans ce secteur.

Par conséquent, la combe de Balme et le futur du télésiège du Col de Balme n'auront pas vocation à ouvrir en été ou en intersaison.

Coté fréquentation, le projet du nouveau télésiège de Balme vise clairement à améliorer les conditions d'accès au sommet du domaine skiable de la Clusaz.

En effet, la technologie de télésiège débrayable permettra aux skieurs débutants et aux piétons d'accéder plus facilement au sommet de Balme et de pouvoir redescendre par siège si nécessaire, ce qui n'est pas le cas actuellement.

Parallèlement, le reprofilage des pistes de ski vise à réduire la difficulté de la piste de Blanchot, afin de permettre à un plus grand nombre de profiter du secteur de Balme, réservé jusqu'alors à une clientèle expérimentée.

Ces points d'amélioration vont mathématiquement induire une augmentation de la fréquentation, les aménagements proposés visant à rendre plus attractif le secteur.

Ainsi, la SATELC envisage une augmentation entre 10 et 20 % du nombre de passages de skieurs sur la remontée du Col de Balme, cette dernière représentant environ un tiers des passages des remontées mécaniques du secteur. Cette augmentation devrait permettre de retrouver des fréquentations connues sur les années 2013-2014 par exemple.

Attention, à ce jour, le télésiège actuel est un limitateur de skieurs de par sa technologie et son débit limité. Sa limite ne compense pas toutefois le nombre de skieurs qui vient fréquenter le secteur, attirés par le site et prêt à attendre parfois longtemps à la file d'attente du télésiège du Col de Balme pour skier sur la zone. Ainsi, plus de skieurs sur le télésiège ne signifiera pas forcément plus de skieurs sur la zone, ces derniers étant actuellement « bloqués » ou « stockés » sur les files d'attente.

De plus, comme expliqué sur les pages 135 et 136 de l'évaluation environnementale, la Clusaz ne vise pas une augmentation de la fréquentation de son domaine skiable mais sa stabilisation.

De même, le domaine skiable ne cherche pas à favoriser un secteur plus qu'un autre et ce dans un objectif de répartir au mieux les flux skieurs sur l'ensemble des secteurs du domaine skiable, gage de sécurité et d'une meilleure expérience client.

Le remplacement du télésiège du col de Balme répond ainsi à une problématique de remplacement d'appareil et d'amélioration des conditions d'exploitation et d'utilisations. Il n'entre pas dans une logique de développement ou d'accroissement de l'activité du domaine skiable.

La meilleure illustration n'est qu'aucun nouveau parking ou aucun nouveau programme immobilier touristique n'est lié au remplacement de cet appareil.

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
13/20	<i>L'Autorité environnementale recommande de mettre en cohérence les données relatives au réseau de neige de culture, existant et projeté, notamment ses caractéristiques techniques, ainsi que de compléter l'analyse des variantes par le bilan des consommations en eau nécessaires à l'enneigement des différentes variantes étudiées.</i>

Pour rappel, à ce jour, aucun réseau neige n'est installé sur les pistes de la combe de Balme. Le réseau neige existant s'arrête juste en amont de la G2 de la télécabine de la Balme (3 enneigeurs installés).

Dans le cadre du projet de remplacement du télésiège du Col de Balme, la régie des pistes de la commune a donc engagé une réflexion globale au sujet du réseau neige actuel et futur, lié aux nouveaux aménagements prévus. Profitant des opérations de reprofilage de plusieurs pistes de ski, des canalisations pour un réseau neige seront installées.

Aussi, le projet prévoit l'extension du réseau neige sur les pistes Bergerie et Blanchot. **Aucun réseau neige n'est prévu sur les pistes Tête Blanche et Crintiaux.**

Les zones de terrassements sont majoritairement comprises dans celles prévues pour les opérations de reprofilage des pistes. Toutefois, certaines portions du réseau neige s'ajoutent à ces surfaces. Les volumes de terrassement de la tranchée de réseau neige sont de 6 561 m³ de déblai pour la piste Bergerie et 6 925 m³ pour la piste Blanchot. Ces déblais sont remis en remblai sur place pour combler la tranchée.

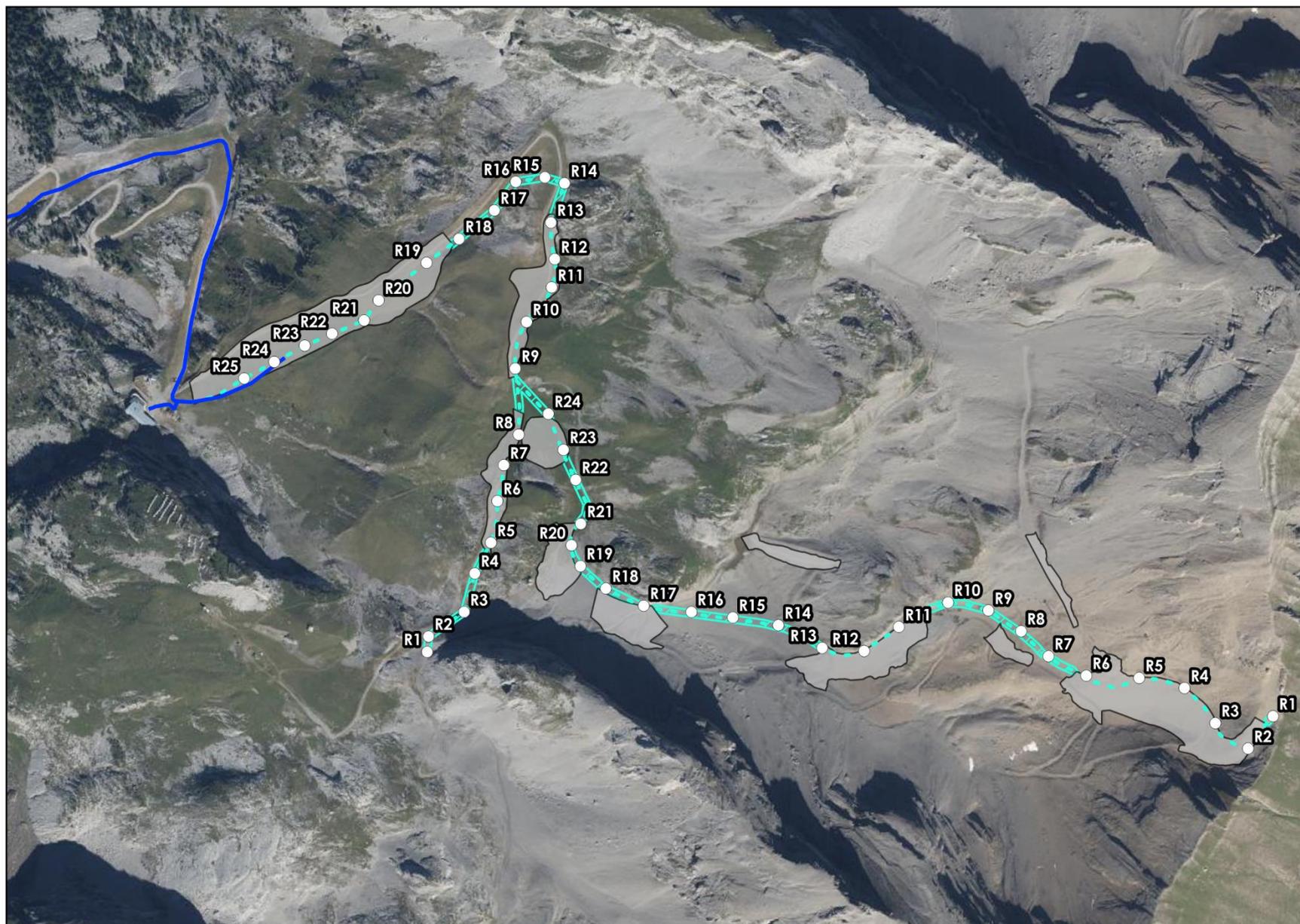
A terme, le projet prévoit de renforcer l'équipement sur une longueur de 2,77 km avec 49 nouveaux enneigeurs nécessitant une consommation d'environ 31 400 m³/an. Les surfaces à enneiger sont de 53 300 m² sur la piste Blanchot et 30 300 m² sur la piste Bergerie.

Les autres précisions techniques concernant l'installation du réseau neige de culture sont données au chapitre 1.5.4 de l'évaluation environnementale.

PRECISIONS CONCERNANT LES VARIANTES

Pour rappel, une seule variante avait été envisagée concernant l'installation du réseau neige de culture (cf. pages 215-216 de l'évaluation environnementale).

Cette variante possédait une longueur légèrement supérieure à celle de la solution retenue car elle faisait plus de zig-zag (en lien avec la variante 2 des pistes de ski, voir page 213 de l'évaluation environnementale). Aussi, la différence de consommation en eau était négligeable entre cette variante et le projet retenu.



Reprofilage de pistes

Surfaces de terrassement pour les pistes de ski

Réseau neige

Réseau neige existant

Réseau neige à créer

Surfaces de terrassement pour les portions de réseau neige situées en dehors des pistes

Enneigeurs



Conception: KARUM n°2019187 / A.MAIRE
 Fond de carte: IGN: ORTHO (2023)
 Source de données: ABEST
 Date: 06/01/2025

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
13/20	<i>L'Autorité environnementale recommande de présenter l'analyse des inventaires des habitats et de la flore, de décrire les protocoles d'inventaires pour la flore, et d'étendre les inventaires à tous les groupes faunistiques, afin de s'assurer de sa pertinence et s'il y a lieu, de revoir les niveaux d'enjeux.</i>

L'analyse des zones naturelles d'intérêt, des habitats naturels et de la flore a bien été menée dans le cadre du projet mais apparaissent manquants dans l'évaluation environnementale déposée auprès des services de l'Etat le 04/10/2024. Les chapitres correspondants sont donc présentés en annexe 3 du présent document.

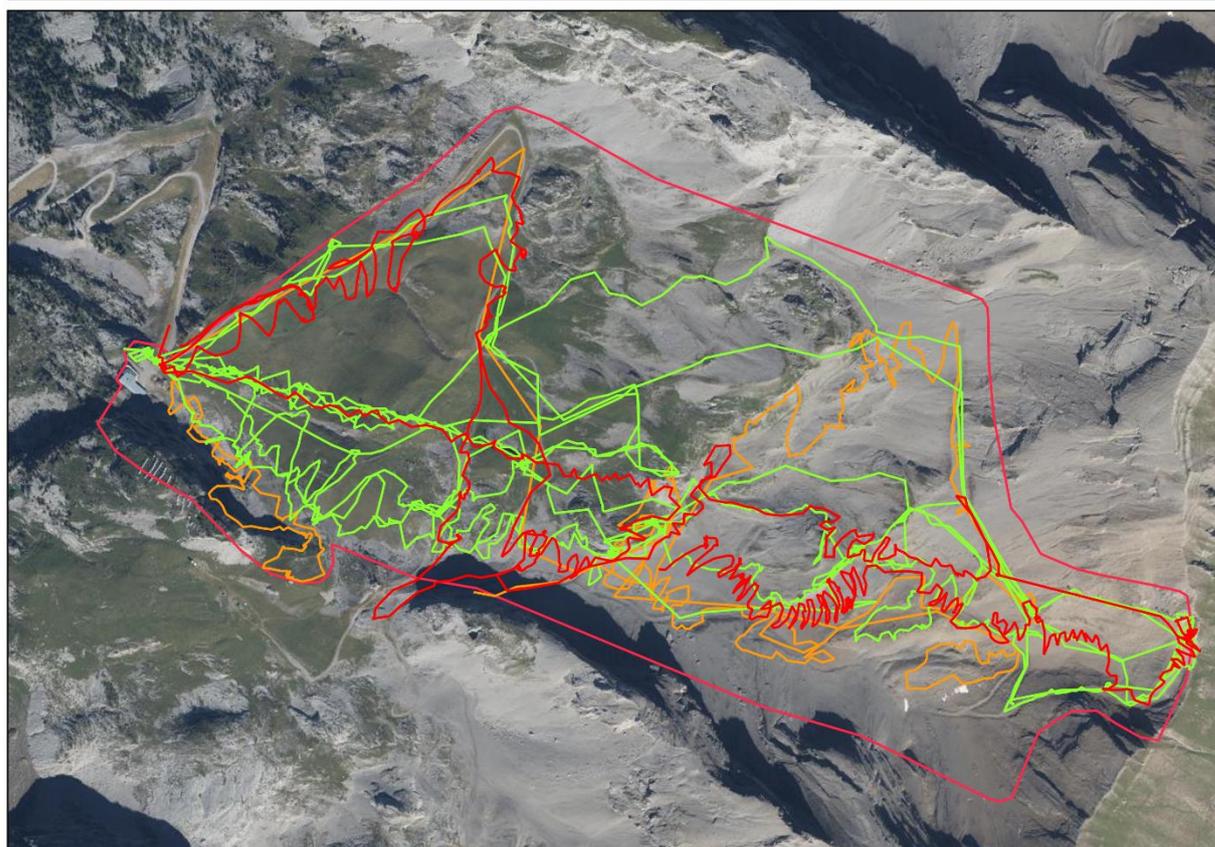
PROTOCOLES D'INVENTAIRE MIS EN PLACE DANS LE CADRE DE L'ETUDE

HABITATS NATURELS ET FLORE

La méthodologie mise en place pour l'inventaire des habitats naturels et de la flore est présentée au chapitre 9.2 de l'évaluation environnementale. La carte ci-dessous présente les tracés suivis lors des différentes années d'inventaire.

SATELC et Services des pistes de la Clusaz - Remplacement du TS Col de Balme et aménagements de pistes associées

Tracés suivis pour l'inventaire des habitats naturels et de la flore



Zone d'étude
Tracés d'inventaire
— 2020
— 2022
— 2024

Échelle : 1:8 000
 0 160 m

Conception: KARUM n°2019187 / A.MAIRE
 Fond de carte : IGN : ORTHO (2023)
 Source de données : ABEST
 Date : 06/01/2025

FAUNE

Pour rappel, le détail des protocoles et la justification du choix des groupes faunistiques inventoriés apparaît au chapitre 9.2.4 de l'évaluation environnementale. Aussi, les groupes faunistiques inventoriés sont ceux qui comportent des espèces protégées et/ou menacées potentiellement présentes sur la zone d'étude. L'absence d'habitats favorables à la présence d'espèces protégées et/ou menacées appartenant aux groupes des mollusques, crustacés, odonates, coléoptères, orthoptères et poissons justifient le fait de ne pas avoir inventorié ces groupes.

Concernant les chiroptères, les inventaires réalisés semblent suffisants au regard du projet et des potentialités d'accueil du site. En effet, il est important de rappeler que le projet n'impactera aucun gîte de reproduction ou d'hivernage. Seuls des espaces de chasse seront impactés par les terrassements. Or, l'altitude élevée, les températures froides et la faible couverture végétale de la combe de Balme ne sont pas propices à la présence d'une grande diversité de chauves-souris. En outre, l'intégralité des espèces de ce groupe étant protégées, les mesures d'évitement et de réduction mises en place s'appliqueront à l'ensemble des chauves-souris fréquentant la combe de Balme.

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
17/20	<i>L'Autorité environnementale recommande de préciser les incidences du projet notamment concernant les surfaces impactées de la plante hôte des papillons après mesures d'évitement et de réduction.</i>

Pour rappel, une seule espèce de papillon protégée se reproduit dans la combe de Balme, il s'agit de l'Azuré du serpolet, dont la plante hôte, le Thym serpolet, est présent en grande quantité dans les pelouses alpines. En effet, près de 4 hectares de Thym ont été relevés lors des inventaires. Cette surface est toutefois loin d'être exhaustive à l'échelle de la combe de Balme, la recherche des plantes hôtes s'étant limitée aux secteurs concernés par le projet.

Comme expliqué dans l'évaluation environnementale, le projet impactera environ 3 800 m² de Thym, dont seulement 1 830 m² sont réellement favorables à l'installation des fourmis du genre *Myrmica* dont l'Azuré du serpolet a besoin pour réaliser son cycle de vie. En effet, environ 1 990 m² de Thym sont situés sur des secteurs fortement terrassés (sol très compact autour d'anciens pylônes) ou entre des dalles rocheuses, où les fourmis ne peuvent pas construire leur fourmilière.

Les 1 830 m² d'habitats favorables impactés représentent moins de 5% de la surface totale de plantes hôtes inventoriée (et non disponible à l'échelle de la combe) et sont de surcroît répartis en une multitude de petites surfaces, majoritairement localisées sur les talus des pistes existantes. A noter enfin que sur ces 1 830 m², les fourmis ne sont probablement pas présentes partout, diminuant encore la surface d'habitats favorables à la reproduction de l'Azuré du serpolet. **Le niveau d'incidence brut du projet lié à la destruction d'habitats favorables à l'Azuré du serpolet est donc considéré comme non significatif.**

Le risque de destruction d'individus (sous forme d'œufs et de chenilles) est directement lié à la surface de Thym impacté. Toutefois, comme dit ci-dessus, moins de 1 830 m² seront impactés par le projet. Cette surface est divisée en une multitude de petites surfaces, sur lesquelles les fourmis *Myrmica* ne sont probablement pas toujours présentes. Le niveau d'incidence brut du projet lié **au risque de destruction d'individus d'Azuré du serpolet est donc faible et non significatif puisqu'il ne remet pas en cause le maintien de la population à l'échelle de la Combe de Balme.**

Pour rappel, un ensemble de mesures d'évitement et de réduction seront mises en place pour minimiser autant que possible l'impact sur les habitats de l'Azuré du serpolet. Aussi, des mises en défens seront installées autour des stations de thym situées à proximité immédiate des zones de travaux. De plus, une mesure de revégétalisation des secteurs terrassés par un apport de semences locales (MR 7) est prévue dans le cadre du projet. Les semences qui seront appliquées dans le cadre de cette revégétalisation devront contenir des graines de Thym serpolet. L'habitat naturel redeviendra fonctionnel pour l'Azuré du serpolet seulement si les fourmis du genre *Myrmica* recolonisent le sol. Cette résilience de l'habitat fera l'objet d'une mesure de suivi (voir pages 38-39 de cette note).

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
17/20	L'Autorité environnementale recommande d'évaluer les incidences sur la faune des dispositifs de déclenchement des avalanches et de leur exploitation.

Depuis le dépôt du dossier, une étude des risques d'avalanches a été réalisée sur le projet du TSD de Balme par la société TORAVAL. L'étude complète est présente en annexe du présent document. Dans le secteur de Balme, elle conclue de la manière suivante :

« Le choix du scénario pour le dimensionnement des pylônes est à la discrétion du maître d'ouvrage. Ce choix est motivé par les deux considérations suivantes :

- > L'acceptation d'un risque « industriel » plus ou moins important. Prendre une période de retour $T = 30$ ans impliquent que le maître d'ouvrage accepte la survenue possible d'une défaillance majeure sur cet appareil au cours de sa durée d'exploitation (au moins la période d'amortissement usuelle), alors que prendre $T = 100$ ans implique qu'il considère que le risque à considérer est similaire à celui accepté pour des habitations permanentes en France dans le cadre actuel des plans de prévision des risques (PPR) ;
- > Le degré de confiance apporté par le PIDA actuel. Si le maître d'ouvrage considère que le PIDA est effectif dans toutes les situations critiques, il peut considérer que le scénario pour le dimensionnement implique une avalanche dite accidentelle 1. Dans le cas contraire, si le maître d'ouvrage considère que le PIDA peut connaître une défaillance, alors il faudrait opter pour un scénario d'avalanche dite naturelle 2. Cette distinction entre PIDA fonctionnel et PIDA défaillant est importante pour évaluer le volume de neige mobilisable par l'avalanche de projet (voir § 3.1).

L'étude s'est fondée sur quatre scénarios d'avalanche de projet :

- (1) avalanche accidentelle rare ($T \sim 30$ ans) dans le cadre d'un PIDA,
- (2) avalanche accidentelle exceptionnelle ($T \sim 100$ ans) dans le cadre d'un PIDA,
- (3) avalanche naturelle rare ($T \sim 30$ ans) en cas de défaillance du PIDA, et
- (4) avalanche naturelle rare ($T \sim 100$ ans) toujours en cas de défaillance du PIDA.

Voici le détail des résultats pour chacun des quatre scénarios :

(1, 2) Le TSD projeté est soumis à un risque significatif d'avalanche sur plusieurs tronçons. Si le PIDA peut être exécuté continûment (c'est-à-dire sans aucune interruption quelles que soient les circonstances), les avalanches ne concernent que les pylônes de la ligne. Aux franchissements de zones où les avalanches peuvent former des dépôts épais, les valeurs de pression maximale peuvent être élevées, notamment vers 2090 m et 2300 m. La gare de départ peut être soumise à un plâtrage ou voir des langues d'avalanche mourir à proximité (avec des dépôts de faible épaisseur) ; la capacité de dommages à la structure de la G1 est faible.

(3) L'interruption du PIDA peut conduire à une augmentation très sensible du risque. Pour les avalanches trentennales ($T \sim 30$ ans), l'accroissement du risque concerne la gare de départ, qui peut être touchée de façon plus marquée par une avalanche en fin de vie. Dans la zone d'écoulement, les caractéristiques dynamiques de l'avalanche sont un peu plus élevées que ce qui a été obtenu pour le calcul considérant un PIDA actif (pression cinétique jusqu'à 50 kPa) : le TSD projeté est soumis à un risque d'avalanche fort le long de la ligne et modéré à proximité de la gare de départ. Pour le maître d'ouvrage, opter pour ce scénario devrait impliquer des mesures de protection de la gare de départ.

(4) Toujours dans l'hypothèse d'un PIDA défaillant et d'une avalanche de très grande ampleur (avalanche centennale $T \sim 100$ ans), on note que les efforts sont un peu plus importants que pour l'avalanche trentennale, mais compte tenu du caractère « Weibull 3 », les différences entre avalanches trentennale et centennale sont modérées. En ce qui concerne la gare de départ, les sollicitations sont significativement plus élevées car l'installation se situe dans la zone d'arrêt des avalanches majeures. Au-dessus de 2300 m les pressions cinétiques sont élevées (60 kPa à 100 kPa). »

Aussi, le maître d'ouvrage a choisi d'intégrer dans son projet l'installation d'un seul O'BellX supplémentaire, sur un point de tir déjà existant mais aujourd'hui déclenché manuellement. L'installation de l'équipement a pour objectif de gagner en rapidité d'exécution mais également de sécuriser l'intervention du personnel en charge du déclenchement des avalanches.

Au vu de la nature du sol, la plateforme de l'équipement au sol sera de 100 cm par 100 cm (soit 1 m²), nécessitant une fouille sur une surface de 9 m² environ. Cette surface apparaît comme négligeable et n'est pas de nature à engendrer un impact significatif sur les habitats naturels et la flore en place.

L'installation d'un O'BellX permettra d'effectuer des tirs plus tôt le matin puisqu'ils seront réalisés depuis le village sur un ordinateur. En effet, aujourd'hui les tirs sont effectués à la main, engendrant parfois du retard sur la remontée, lié au temps de montée en dameuse. Ainsi, la séquence de tir qui permet de mettre en sécurité les pistes et le futur télésiège est plus rapide et n'exposera pas les équipes sur le terrain. L'utilisation d'un O'BellX n'engendrera pas plus de nuisance sonore que les tirs manuels. Concernant la fréquence des tirs, aucune modification significative n'est à prévoir dans le nombre de tirs (pour une année équivalente en termes d'enneigement). La situation future sera identique à la situation actuelle en termes de fonctionnement du dispositif. Aussi, aucun impact significatif n'est à prévoir sur la faune sauvage.



Exemple d'un O'BellX

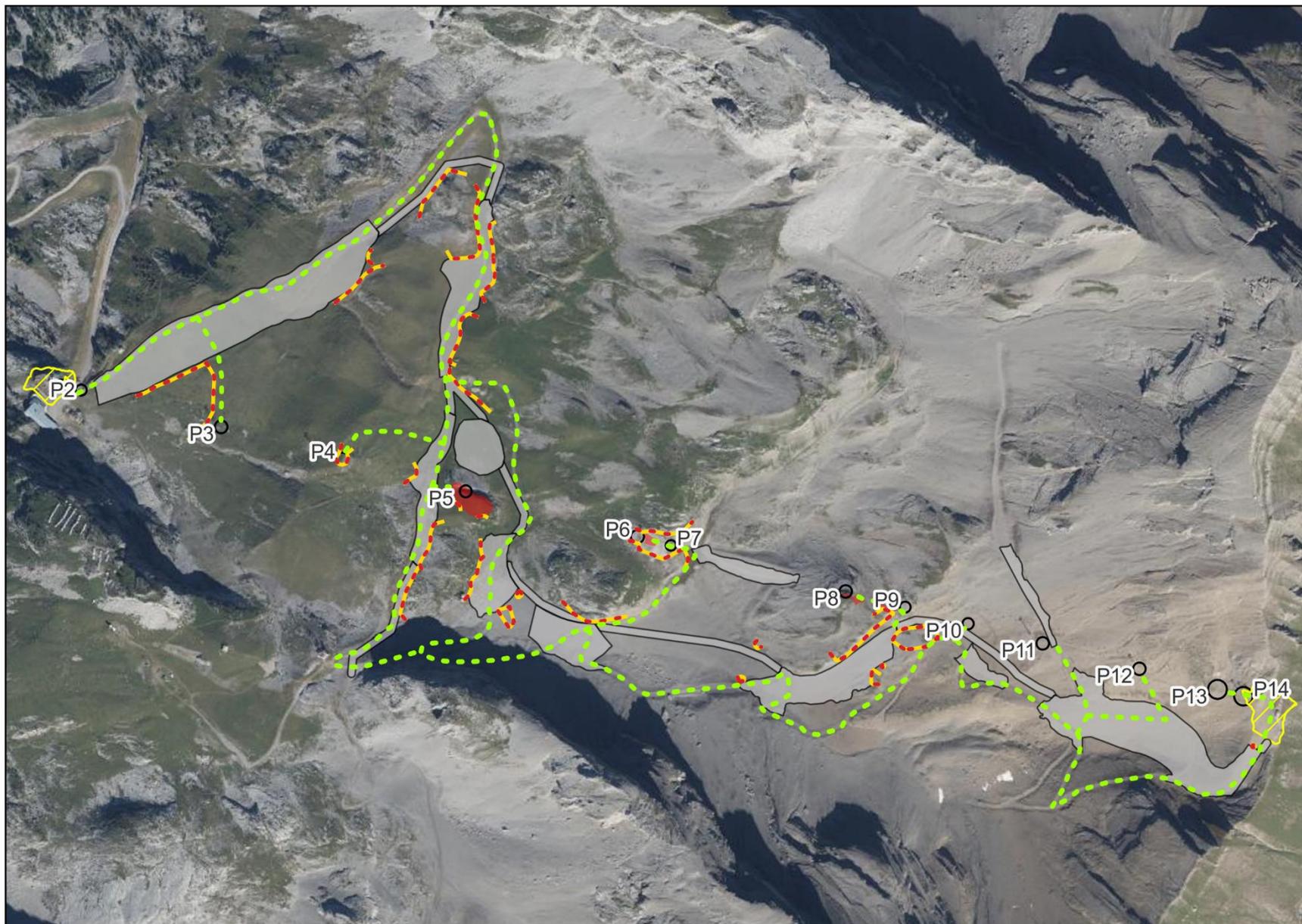
N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
17/20	<p><i>L'Autorité environnementale recommande de présenter ou renforcer les mesures d'évitement et de réduction prises lors des travaux de terrassement et de démantèlement, et de construction de la remontée mécanique, afin de s'assurer l'absence résiduelle sur la faune et notamment sur les oiseaux, notamment concernant le calendrier d'intervention.</i></p> <p><i>L'Autorité environnementale recommande de s'assurer de l'absence d'incidences résiduelles significatives sur les espèces protégées et dans la négative, après avoir renforcé les mesures d'évitement et de réduction, de définir les mesures de compensation nécessaires.</i></p>

Pour rappel, le tableau de la séquence ERC proposée est visible en pages 219 à 225 de l'évaluation environnementale. Il est considéré que les mesures qui seront mises en place par le maître d'ouvrage permettent d'aboutir à des incidences résiduelles non significatives sur les espèces protégées. Aucune mesure de compensation n'est donc requise dans le cadre du projet.

Des précisions concernant certaines mesures sont apportées ci-après.

ME 2 : PLAN DE CIRCULATION DES ENGINS DE CHANTIER

La cartographie des voies d'accès est présentée en page suivante. Les voies d'accès évitent tous les secteurs qui seront mis en défens dans le cadre de la mesure ME 3.

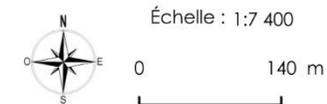


Projet

-  Pistes de ski reprofilées et réseau neige
-  Gares de la remontée mécanique
-  Terrassements des pylônes
-  Terrassements de ligne
-  Mise en défens

Voies d'accès

-  Cheminement des engins



Conception: KARUM n°2019187 / A.MAIRE
 Fond de carte : IGN : ORTHO (2023)
 Source de données : ABEST, CNA
 Date : 23/01/2025

ME 3 : MISE EN DEFENS DES ZONES SUJETTES A INCIDENCES POTENTIELLES

L'installation de mises en défens autour des enjeux écologiques relevés permettra de n'avoir aucun impact sur la flore protégée et les zones humides. Les mises en défens permettront également de limiter les surfaces de thym impactées par les terrassements. En effet, suite à la mise en place du balisage et sous réserve de leur respect par les conducteurs d'engins, seules les surfaces de thym situées dans les zones de terrassement seront impactées, soit environ 1 830 m².

MR 6 : REVEGETALISATION DES SURFACES TERRASSEES PAR LA TECHNIQUE D'ETREPAGE ET MR 7 : REVEGETALISATION COMPLEMENTAIRE DES SURFACES TERRASSEES PAR APPORT D'UN SEMIS DE PLANTES HERBACEES LOCALES

Les deux mesures de revégétalisation (étrépage et ensemencement) ont toutes deux pour objectifs de :

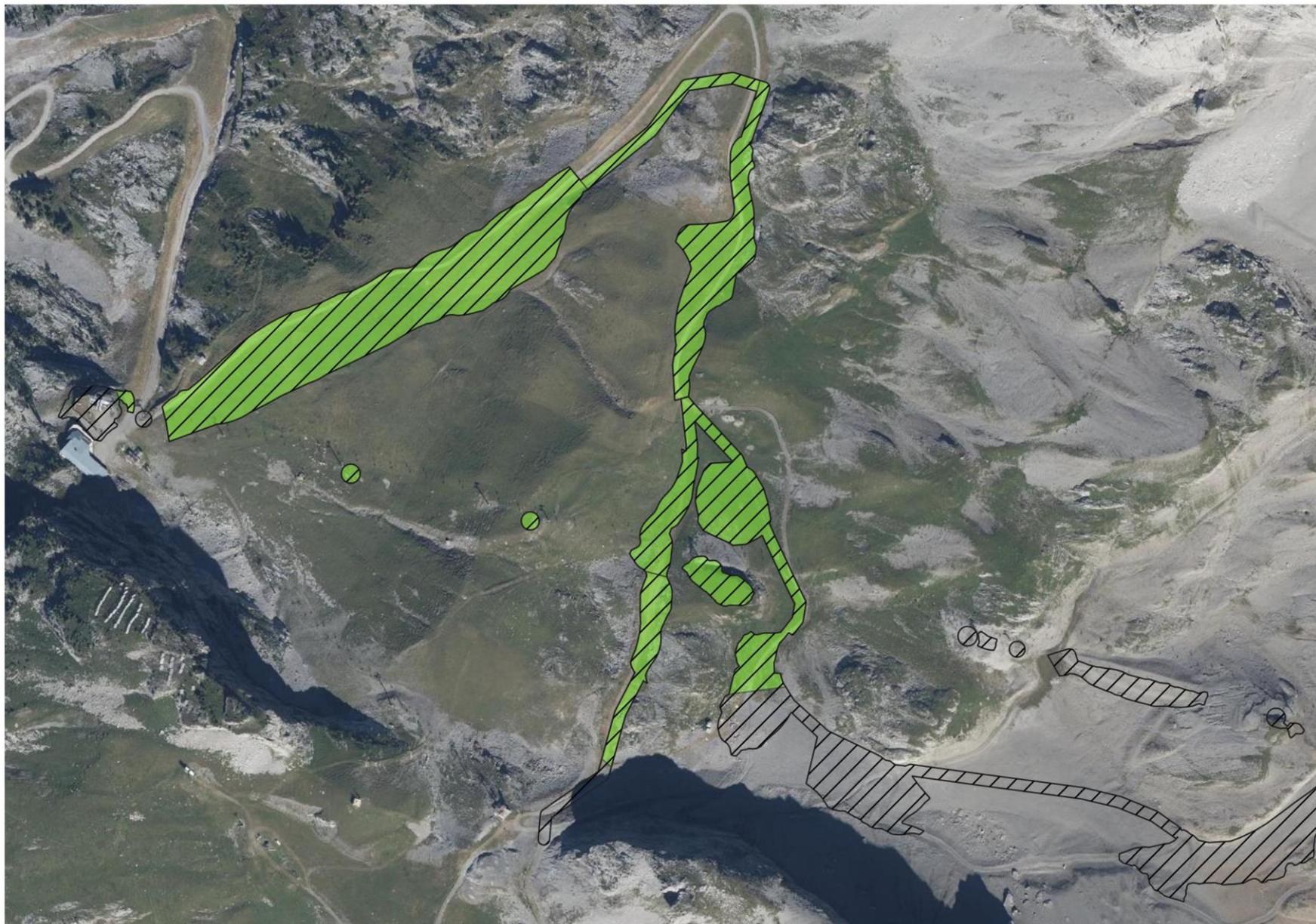
- > Favoriser le maintien de l'homogénéité paysagère des secteurs d'alpage qui caractérisent le versant ;
- > Favoriser le maintien des cortèges d'espèces végétales existants ;
- > Favoriser la remise en état rapide des milieux naturels ;
- > Préserver l'horizon superficiel des sols, et limiter l'érosion des sols.

Elles sont complémentaires et présentées séparément car à ce stade du projet, il n'est pas possible de définir précisément les surfaces concernées par l'une ou l'autre des techniques. En effet, la revégétalisation des sols n'a un intérêt que dans les milieux contenant une couverture végétale, soit une surface de 4,7 ha en bas de la Combe de Balme (cf. carte en page suivante). La technique de l'étrépage étant la plus efficace et la plus rapide en termes de reprise de la végétation, elle sera à privilégier autant que possible. Toutefois, au vu de la nature très rocailleuse du sol dans la combe de Balme, il reste peu probable de pouvoir recourir à l'étrépage sur de grandes surfaces.

Dans le cas où la technique de l'étrépage ne serait pas du tout applicable, l'apport d'un semis de plantes herbacées locales et contenant du Thym serpolet (plante hôte de l'Azuré du serpolet) sera nécessaire sur la totalité des surfaces terrassées, soit environ 4,7 ha.

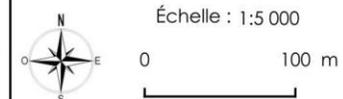
Les détails techniques et le coût des deux méthodes sont présentés dans les fiches mesures de l'évaluation environnementale (chapitre 7.2).

MR 6 et MR 7 : Revégétalisation des surfaces terrassées



Légende

-  Zones de terrassement
-  Zones terrassées à revégétaliser (soit par la technique de l'étrépage, soit par apport d'un semis)



Conception: KARUM n°2019187 / A.MAIRE
Fond de carte : IGN : ORTHO (2023)
Source de données : KARUM
Date : 06/01/2025

MR 9 : ADAPTATION DU CALENDRIER DES TRAVAUX AFIN D'ÉVITER LES PERIODES SENSIBLES POUR LA FAUNE

L'adaptation des périodes de terrassement vise bien à éviter tout risque de destruction d'individus et de nichées d'oiseaux nichant au sol au cours des différentes opérations de terrassement inscrites au projet. Aussi, la mesure précise que :

- > Aucune contrainte n'est donnée concernant les terrassements de la G1, située sur un site déjà entièrement anthropisé.
- > Sur toutes les autres surfaces de terrassement (G2, pylônes, pistes de ski, réseau neige), les travaux devront être réalisés soit en dehors de la période de reproduction des oiseaux nichant au sol dans les milieux rupestres (de début septembre à fin avril), soit immédiatement après le retrait de la neige (qu'elle soit par fonte naturelle ou par déneigement), de manière à éviter que les oiseaux n'aient le temps de s'installer.

MOIS DE L'ANNEE	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Cortège d'oiseaux des milieux rupestres et ouverts					Reproduction (présence des couvées)							
Fonctionnement du domaine skiable	■	■	■									■
Période favorable pour les terrassements				Autorisé si les terrassements commencent dès le retrait de la neige (immédiatement après sa fonte ou son déneigement)					Absence de contrainte			

En rouge : période sensible pour la faune sauvage

La mise en place d'effaroucheurs n'est pas envisagée dans le cadre du projet, pour plusieurs raisons :

- La nature du sol rend difficile la mise en place des piquets,
- La surface potentiellement favorable à la nidification des oiseaux est très grande (environ 10 ha de terrassement), ce qui engendrerait des coûts et un temps de mise en œuvre trop important,
- Aucun retour d'expérience n'a permis à ce jour de montrer l'efficacité d'une telle mesure.

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
18/20	<i>L'Autorité environnementale recommande d'approfondir l'analyse des incidences du projet sur l'atteinte des objectifs assignés aux sites Natura 2000, en tenant compte des espèces d'intérêt communautaire pouvant se déplacer au-delà de la distance d'éloignement entre les sites Natura 2000 et la zone du projet, et de préciser les mesures ERC qui s'avèreraient nécessaires.</i>

Pour rappel, la zone d'étude immédiate n'est pas située dans un site Natura 2000 mais à proximité immédiate du site Directive Habitats et Oiseaux « Les Aravis ».

Les espèces responsables de la désignation du site Natura 2000 ont fait l'objet d'une analyse des incidences au chapitre 3.3.2 de l'évaluation environnementale. L'Apollon, le Lièvre variable et le Bouquetin des Alpes n'étant pas responsables de la désignation du site, elles n'ont pas été incluses dans cette analyse. Toutefois, ces espèces fréquentant la zone d'étude, elles ont bien été prises en compte dans l'analyse des incidences du projet, dans les chapitres respectifs sur les rhopalocères et les mammifères.

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
19/20	<i>L'Autorité environnementale recommande de rehausser le niveau d'enjeu des aléas naturels (avalanches et chutes de blocs), en intégrant les conséquences du changement climatique dans leur évaluation.</i>

Les conséquences du changement climatiques aux altitudes de la combe de Balme portent principalement sur les conséquences de la fonte d'un pergélisol. Les sondages géotechniques effectués ont permis de constater l'absence de pergélisol. Les aléas naturels avalanche et chutes de blocs ont été pris en compte puisque chacun de ces aléas a fait l'objet d'une étude spécifique dans le cadre du projet.

Ces études sont en annexes de la présente note de réponse.

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
19/20	<i>L'Autorité environnementale recommande de préciser les évolutions du projet et les dispositions constructives des ouvrages justifiant de la bonne prise en compte du phénomène avalancheux et de celui de chute de blocs, ainsi rehaussé.</i>

Depuis le dépôt du dossier, les études géotechniques ont été approfondies à l'aide de visites de terrain précises durant lesquelles des sondages et des forages ont permis de préciser les conditions géotechniques du site. Cette analyse a permis de définir des préconisations en phase chantier et en phase exploitation, pour adapter le projet à la géologie et au risque de chute de blocs.

Les études géotechniques de conception G2 – AVP réalisées par EQUATERRE sont présentées en annexe du présent dossier. Une étude a été réalisée sur le projet de télésiège et une seconde sur le projet de reprofilage de la piste de ski Blanchot.

Les contraintes géotechniques principales du site sont :

- > Circulation d'eau à profondeur variable et intéressant le projet,
- > Matériaux aval du site sensibles aux variations de teneur en eau et au remaniement par les engins,
- > Substratum compact très difficilement rippable à la pelle mécanique dès 0.2 à 2.1m de profondeur/TN,
- > Substratum rocheux découpé en banc décimétriques à métriques avec un pendage conforme à la pente générale du versant (risque de glissement banc sur banc),
- > Rocher stratifié et fracturé favorisant l'aléa « chute de bloc »,
- > Pente d'éboulis en situation d'équilibre limite.

Ces contraintes sont en interférences avec les caractéristiques du projet suivantes :

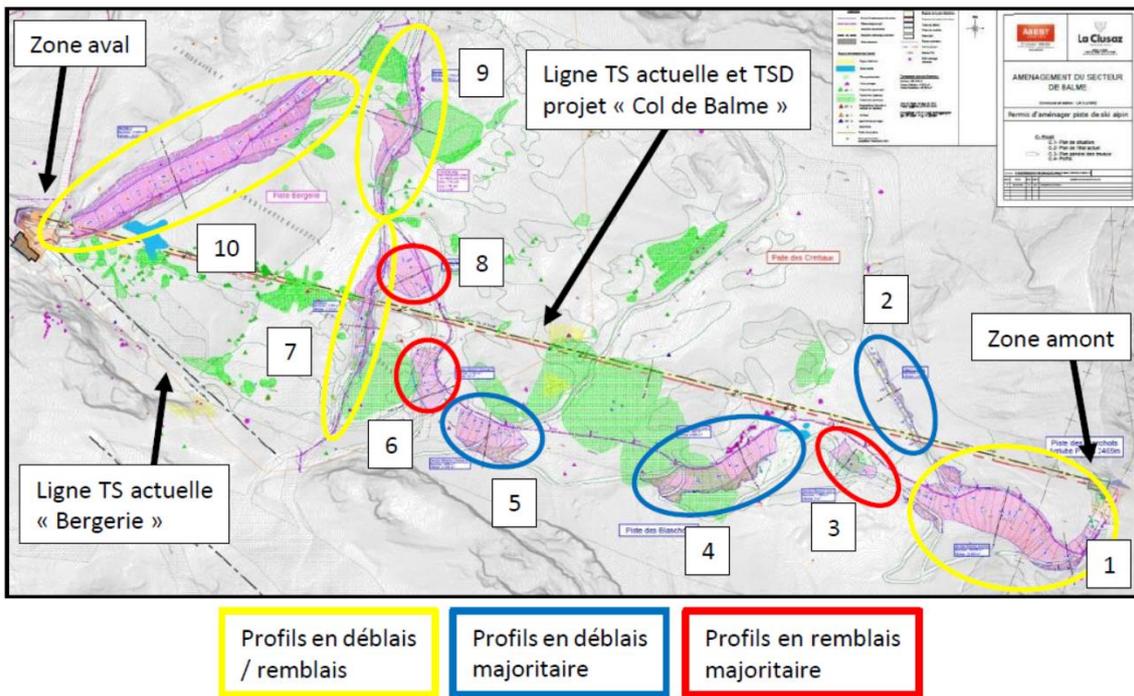
- > Projet de grande étendue,
- > Profils de terrassement en déblais/remblais,
- > Réutilisation des matériaux du site envisagée.

Face à ce constat, les incidences géotechniques sont les suivantes :

- > Adoucir les talus de déblais à 3H/2V dans la couverture meuble et les éboulis sans matrice pour limiter l'impact du ravinement,
- > Adapter la pente des talus de déblai rocheux à l'inclinaison des couches ou prévoir un épinglage des bancs en situation de perte de butée de pied,
- > Prévoir la mise en œuvre d'éperons drainants en blocs d'enrochement au droit des plus fortes venues d'eau recoupée en terrassement,
- > Mise en œuvre de dispositif pour le traitement de chute de bloc dès la phase de terrassement (grillage + épinglage et pièges à blocs),
- > Solliciter l'assise compacte rocheuse ou morainique pour fonder les remblais de hauteurs importante (> 5.0m),
- > Drainage des écoulements de versant en sous face de remblais avec l'utilisation de matériaux drainants,
- > Utilisation d'outils de terrassement puissants (minage + BRH) à partir de 2.0 m de profondeur/TN en moyenne.

Les différents principes d'adaptation au sol envisagés ou envisageables sont développés ci-après avec la prise en compte des risques et limites qui y sont liés. Les zones de travaux concernant les pistes de ski ont été séparées en 10 entités distinctes. Pour chacune d'entre elles, des préconisations à respecter en phases travaux ont été données dans l'étude géotechnique et sont affichées ci-dessous.

Les conclusions de l'étude réalisée sur le projet de télésiège et les préconisations qui en découlent sont présentées dans le rapport en question, pylône par pylône et pour chacune des gares.



ZONE 1 A 4

- > Il faudra prévoir la mise en œuvre de petits masques en enrochement dans les zones de plus fortes venues d'eau, avec cunettes de pied de talus et évacuation périphérique
- > Prévoir une pelle mécanique puissante munie d'un BRH et d'une dent ripper pour terrasser au sein du substratum rocheux affleurant et au-delà. Une augmentation du rendement des terrassements pourra être obtenue à l'aide d'explosif en l'absence d'existant proche.
- > Prévoir la mise en œuvre de plates-formes d'accroche drainées de 5.0m de largeur sous la zone de remblai. Le drainage pourra être réalisé à partir de tranchées drainantes avec les matériaux rocheux de couverture type éboulis bruts et le rocher calcaire présent dans les zones de déblai de la partie amont de la Combe de Balme (zone de sondage S1, S2, S7, S13, S14 et S16 ou le substratum calcaire est identifié à partir de 0.5 à 2.3m de profondeur/TN)
- > Les remblais de plus de 5.0m de hauteur seront ancrés sur le substratum compact du site par l'intermédiaire de barrettes en petits blocs d'enrochement (purge partielle sous les plates-formes d'accroches).
- > Les talus de remblais ne devront pas excéder une pente de 3H/2V (33°/horizontale). Ces talus seront impérativement mis en œuvre par temps sec avec un compactage des matériaux en mode vibrant par couches minces
- > Les talus de déblais définitifs seront imprimés d'une pente maximum de l'ordre de 3H/2V environ pour limiter le risque de glissement bancs sur bancs des terrassements orientés vers l'Ouest. Dans le cas contraire, il faudra prévoir en la mise en œuvre d'un épinglage des talus pour stabiliser les bancs rocheux en situation de défaut de butée de pied. Au stade actuel de l'étude, le clouage des bancs rocheux devra être prévu dans la zone du profil n°1. Au niveau du profil n°5, la pente devrait pouvoir être optimisée à 1/1.

- > La conception et les zones d'application de ces confortements devront être discutées avec la maîtrise d'œuvre.

ZONE 5 A 6

- > Il faudra prévoir la mise en œuvre de petits masques en enrochement dans les zones de plus fortes venues d'eau, avec cunettes de pied de talus et évacuation périphérique
- > Prévoir une pelle mécanique puissante munie d'un BRH et d'une dent ripper pour terrasser au sein du substratum rocheux affleurant et au-delà. Une augmentation du rendement des terrassements pourra être obtenue à l'aide d'explosif en l'absence d'existant proche.
- > Prévoir la mise en œuvre de plates-formes d'accroche drainées de 5.0m de largeur sous la zone de remblai. Le drainage pourra être réalisé à partir de tranchées drainantes avec les matériaux rocheux de couverture type éboulis bruts et le rocher calcaire présent dans les zones de déblai de la partie amont de la Combe de Balme (zone de sondage S18, S20 et S22 ou le substratum calcaire n'a pas été identifié jusqu'à 2.5m de profondeur/TN)

NOTA : les éboulis bruts de cette partie intermédiaire du versant, présentent localement une part de fine plus importante. Leur mise en œuvre en remblai nécessite une intervention par temps sec pour limiter l'exposition des matériaux à un risque variations de teneur en eau. Il faudra également prévoir une mise en œuvre en remblai à l'avancement de l'extraction dans les zones en déblai (limiter les stock tampon avec exposition des matériaux aux intempéries)

- > Les remblais seront ancrés sur le substratum compact du site par l'intermédiaire de barrettes en petits blocs d'enrochement (purge partielle sous les plates-formes d'accroches).
- > Les talus de remblais ne devront pas excéder une pente de 3H/2V (33°/horizontale). Ces talus seront impérativement mis en œuvre par temps sec avec un compactage des matériaux en mode vibrant par couches minces
- > Les talus de déblais définitifs seront imprimés d'une pente maximum de l'ordre de 3H/2V environ pour limiter le risque d'instabilité dans les éboulis. Dans la pratique, il s'agira de prolonger les pentes existantes avec la même inclinaison.
- > La conception et les zones d'application de ces confortements devront être discutées avec la maîtrise d'œuvre.

ZONE 7 A 10

- > Il faudra prévoir la mise en œuvre de petits masques en enrochement dans les zones de plus fortes venues d'eau, avec cunettes de pied de talus et évacuation périphérique
- > Prévoir une pelle mécanique puissante munie d'un BRH et d'une dent ripper pour terrasser au sein du substratum rocheux affleurant et au-delà. Une augmentation du rendement des terrassements pourra être obtenue à l'aide d'explosif en l'absence d'existant proche.

- > Prévoir la mise en œuvre de plates-formes d'accroche drainées de 5.0m de largeur sous la zone de remblai. Le drainage devra être réalisé à partir de tranchées drainantes avec des matériaux de type graves non traités ou équivalent et devra être compacté par couche mince.

NOTA : les limons caillouto-graveleux à blocs d'éboulis présents sur l'ensemble de la partie aval du versant, présentent une forte sensibilité à l'eau. Leur mise en œuvre en remblai nécessite une intervention par temps sec pour limiter l'exposition des matériaux à un risque variations de teneur en eau. Il faudra également prévoir une mise en œuvre en remblai à l'avancement de l'extraction dans les zones en déblai (limiter les stock tampon avec exposition des matériaux aux intempéries)

- > Les remblais seront ancrés sur le substratum compact du site par l'intermédiaire de barrettes en petits blocs d'enrochement (purge partielle sous les plates-formes d'accroches).
- > Les talus de remblais ne devront pas excéder une pente de 3H/2V (33°/horizontale). Ces talus seront impérativement mis en œuvre par temps sec avec un compactage des matériaux en mode vibrant par couches minces
- > Les talus de déblais définitifs seront imprimés d'une pente maximum de l'ordre de 3H/2V environ pour limiter le risque de glissement bancs sur bancs des terrassements orientés vers l'Ouest.
- > Au stade actuel de l'étude, les talus de déblai sont redressés à 1/1 au droit profils n°9 et 11. Il faudra prévoir en la mise en œuvre d'un épinglage des talus pour stabiliser les bancs rocheux en situation de défaut de butée de pied.
- > La conception et les zones d'application de ces confortements devront être discutées avec la maîtrise d'œuvre.

La conception des ouvrages géotechnique et leur supervision lors de l'exécution relèvent d'une mission spécifique de type G2PRO/G4.

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
19/20	<i>L'Autorité environnementale recommande de présenter les mesures prises pour ne pas aggraver l'exposition de la population à ces aléas et ne pas augmenter les risques en présence ; des mesures de suivi du risque seront également à prévoir.</i>

Extrait de l'étude géotechnique de conception G2 – AVP réalisée par EQUATERRE :

« Le projet s'inscrit dans un versant rocheux avec une absence totale de couverture végétale dans sa partie supérieure. En effet, située à une altitude supérieure à 2000 m, les travaux de terrassement seront entrepris dans un environnement minéral de l'étage alpin.

Le plan de prévention des risques naturels de la commune classe la zone en aléa moyen à fort de chute de blocs. Sur le terrain cet aléa se traduit par le développement de vaste zone d'éboulis vifs. Soulignons cependant que le tracé du projet reprend le tracé de la piste actuelle.

Dans ces conditions, le projet n'expose pas d'avantage les populations à l'aléa chute de blocs.

Dans l'optique de ne pas aggraver les risques et de ne pas en provoquer de nouveaux dans le cadre des travaux de terrassement, il conviendra de respecter les dispositions constructives suivantes :

- > Adoucir si possible les talus rocheux orientés principalement vers l'ouest à une pente équivalente au pendage des bancs pour limiter le risque de glissement banc sur banc (cf. méthodologie générale des terrassements).
- > Prévoir un épinglage des bancs rocheux en situation de perte de butée. L'épinglage sera réalisé avec des ancrages métallique de type GEWI 28 mm avec un scellement au-delà du plan de rupture référence. Le maillage des clous sera adapté à la rugosité des bancs et aux masses engagées
- > Sur les rampants de talus rocheux, prévoir la pose d'un grillage antichute de blocs double torsadé sur les talus rocheux avec un maillage adapté à la granulométrie des blocs produit par l'action des agents climatique. D'après la granulométrie des éboulis visibles sur le site, une maille de 60 x 80 mm semble bien adaptée
- > Au niveau de la gare d'arrivé du TSD et de la plateforme de débarquement, il faudra prévoir une protection de la falaise l'aide d'un prolongement du dispositif existant.

Dans l'optique de limiter le risque de chute de bloc lié aux terrassements généraux de la plateforme de débarquement, nous recommandons également la mise en œuvre de dispositif de protection dans le versant Sud de col de Balme. On pourra s'orienter vers la pose de barrières ancrées dans la pente en contre des terrassements. »



Exemple de barrière ancrée – Source : Etude géotechnique G2 EQUATERRE

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
22/20	<i>L'Autorité environnementale recommande de démontrer le caractère suffisant de la ressource en eau, à l'échéance de l'opération, tenant compte de l'évolution des besoins en eau des domaines skiables alpin et nordique pour assurer leur enneigement artificiel le cas échéant, et des autres usages de l'eau (notamment l'alimentation en eau potable).</i>

Concernant l'alimentation en eau du domaine skiable nordique de la Clusaz, la commune dispose d'une autorisation de prélèvement dans le lac des Confins au titre de la Police de l'eau accordée en 2003 (n° CB-2003-07) pour un volume de 10 000 m³/an. Ces prélèvements sont faits de manière raisonnée afin d'assurer la pratique sur les zones les plus sensibles du domaine.

	2019-20	2020-21	2021-22	2022-23	2023-24
Mise en route	12-11-19	30-11-20	4-11-21	23-11-22	25-11-23
Fin de la production	22-01-20	8-01-21	6-01-22	20-01-23	14-01-24
Nombre de jours / heure	9 jours 136 h	9 jours 158 h	7 jours 90 h	9 jours 120 h	9 jours 130 h
Quantité d'eau utilisée Dont retour lac	6 302 m ³ 420 m ³	7963 m ³ 288 m ³	4657 m ³ 88 m ³	5 941 m ³ 43 m ³	6 307 m ³ 54 m ³
Quantité d'eau utilisée	5882 m ³	7 675 m ³	4 569 m ³	5 898 m ³	6 253 m ³

Il est envisagé de créer une extension de 3 regards sur le réseau de neige actuel. En effet le site actuel de production est éloigné des zones à enneiger ce qui implique le déplacement des volumes de neige à l'aide des engins de damage. L'objectif de l'extension est de rapprocher la production de la zone à enneiger et ainsi réduire le recours aux engins. Les volumes produits seront ainsi minimisés. En tout état de cause il n'est pas envisagé de solliciter une autorisation de prélèvements supplémentaires.

En aucun cas le prélèvement dédié à l'espace nordique ne servira à l'alimentation en eau des enneigeurs prévus sur le secteur du Col de Balme.

L'étude Climsnow a permis de tester des scénarios de recours à la neige de culture et par conséquent de consommation d'eau afin de mettre en évidence les projets qui ont du sens vis-à-vis de l'évolution climatique. Ces scénarios ont été poussés à leur maximum de façon à ce que la SATELC puisse prendre les bonnes décisions et surtout éviter les investissements qui seraient rapidement « annulés » par les effets du dérèglement climatique.

Les volumes annoncés dans l'étude Climsnow concernent l'ensemble de ces projets. Il est ainsi logique que les volumes d'eau générés par Climsnow, à terme, et sur la base de scénarios maximisant, soient supérieurs à ceux qui seront réellement opérationnels dans le cadre des projets de confortation de la neige de culture.

Par conséquent, la station maintient les chiffres évoqués page 30 de l'évaluation environnementale et qui correspondent aux besoins actuels et futurs réellement quantifiés, en rapport avec les besoins d'extension réellement validés par la station (385 906 m³) et non la totalité des scénarios probables estimés par Climsnow (entre 600 000 et 800 000 m³). Notons que la SATELC a suivi les préconisations de Climsnow en menant une étude de l'évolution de la disponibilité en eau, étude jointe en annexe 9 de l'évaluation environnementale et qui confirme la disponibilité en eau pour la neige de culture du domaine skiable de la Clusaz.

Notons enfin que l'étude Climsnow déduit sa consommation maximum (page 33 de l'étude) d'une installation de neige de culture uniquement équipée d'enneigeur monofluide, alors que l'installation actuelle de la Clusaz est composée uniquement

d'enneigeur bifluïdes, correspondant donc à la fourchette basse des consommations d'eau.

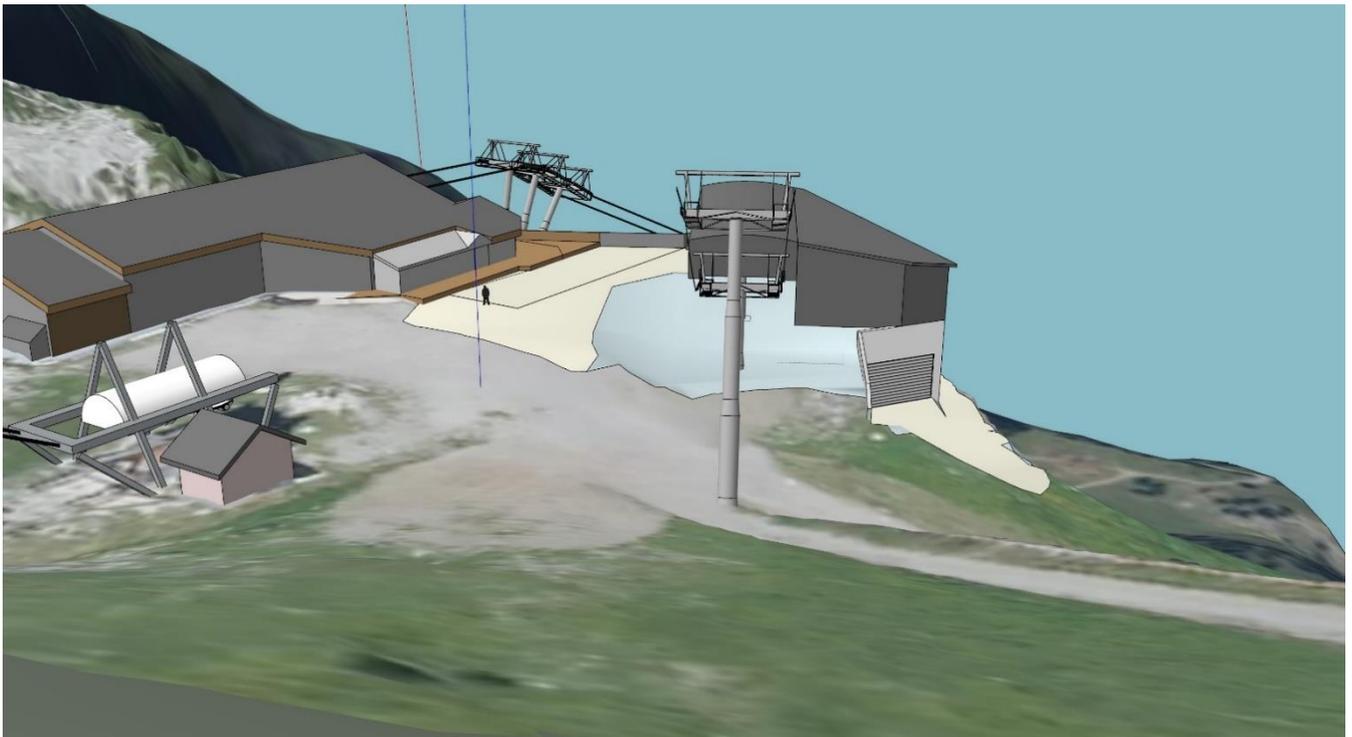
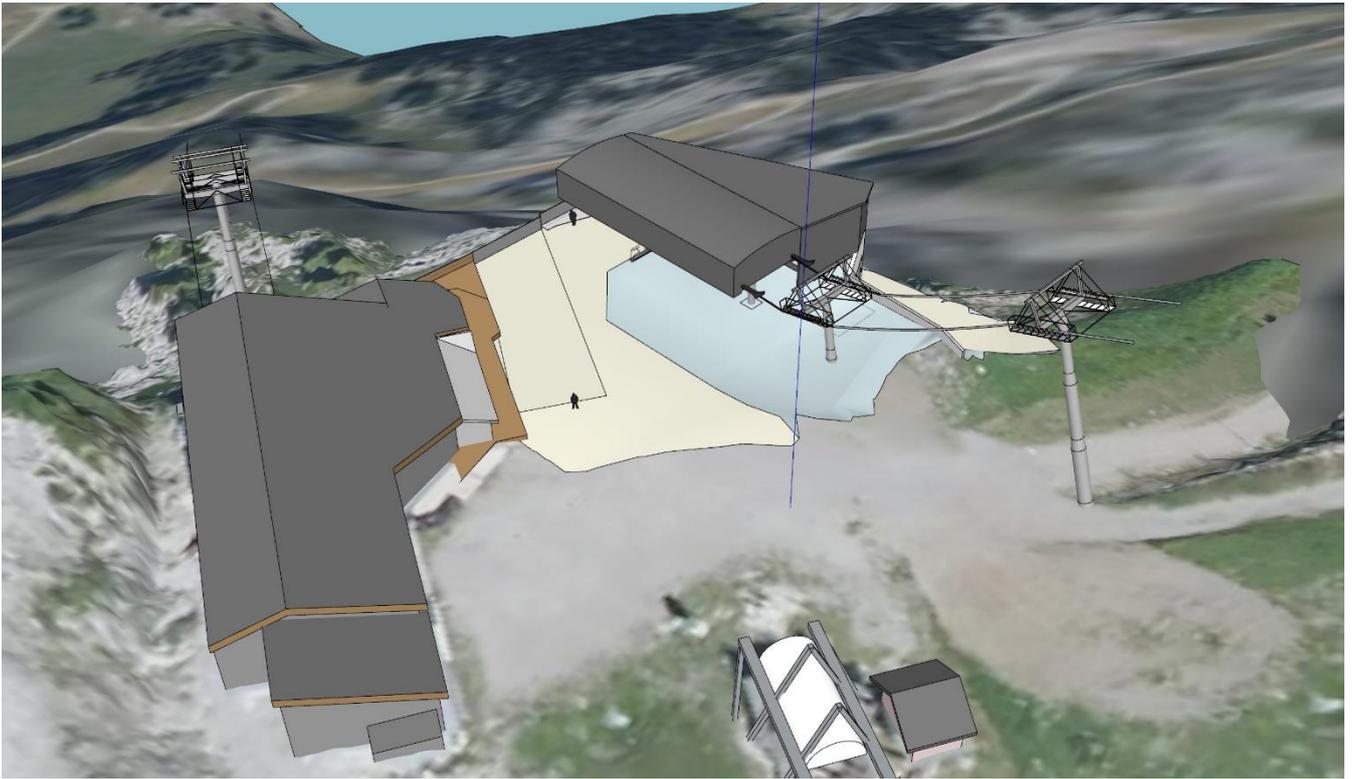
L'étude de la ressource en eau avec l'évolution climatique située en annexe de l'évaluation environnementale montre que la ressource en eau nécessaire à la production de neige de culture sera toujours disponible dans la limite des seuils de prélèvement autorisés. L'usage eau potable est pris en compte dans cette étude en suivant le schéma directeur de l'exploitant Ô des Aravis. L'usage en eau potable sera toujours prioritaire sur l'usage de la neige de culture.

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
22/20	<i>L'Autorité environnementale recommande de démontrer, au moyen notamment de photomontages, le niveau d'intégration paysagère de l'ensemble de l'opération, à différentes échelles, y compris en période hivernale et depuis différents points de vue, et de préciser les mesures prises pour éviter ou réduire les incidences de l'opération sur le paysage.</i>

Le maître d'ouvrage travaille actuellement à ce sujet avec les deux maîtres d'œuvre du projet (CNA pour la remontée mécanique et ABEST pour les pistes et le réseau neige). Au stade de l'avant-projet, les insertions ci-dessous sont disponibles et apportent différents points de vue, à différentes saisons. Elles permettent de se rendre compte de la volumétrie générale des bâtiments du projet. Une approche plus fine des façades sera réalisée ultérieurement, lorsque tous les détails nécessaires au projet seront finalisés.



Gare amont en situation hivernale en neige - Source : CNA



Photomontages de la gare aval - Source : CNA



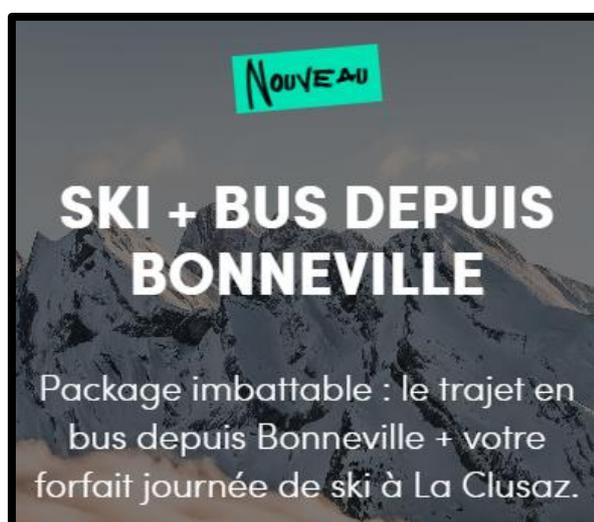
Photomontages de la gare aval - Source : CNA

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
25/20	<p><i>L'Autorité environnementale recommande d'intégrer dans le bilan des émissions des gaz à effet de serre l'ensemble des émissions induites par l'opération et notamment celles liées aux déplacements des usagers et à l'exploitation des bâtiments.</i></p> <p><i>L'Autorité environnementale recommande d'actualiser le bilan des émissions de GES en cas d'exploitation « 4 saisons » de la remontée mécanique.</i></p> <p><i>L'Autorité environnementale recommande de préciser comment l'opération contribue à l'atteinte de l'objectif national de neutralité carbone à l'horizon 2050 et le cas échéant de présenter les mesures complémentaires prises à cette fin.</i></p>

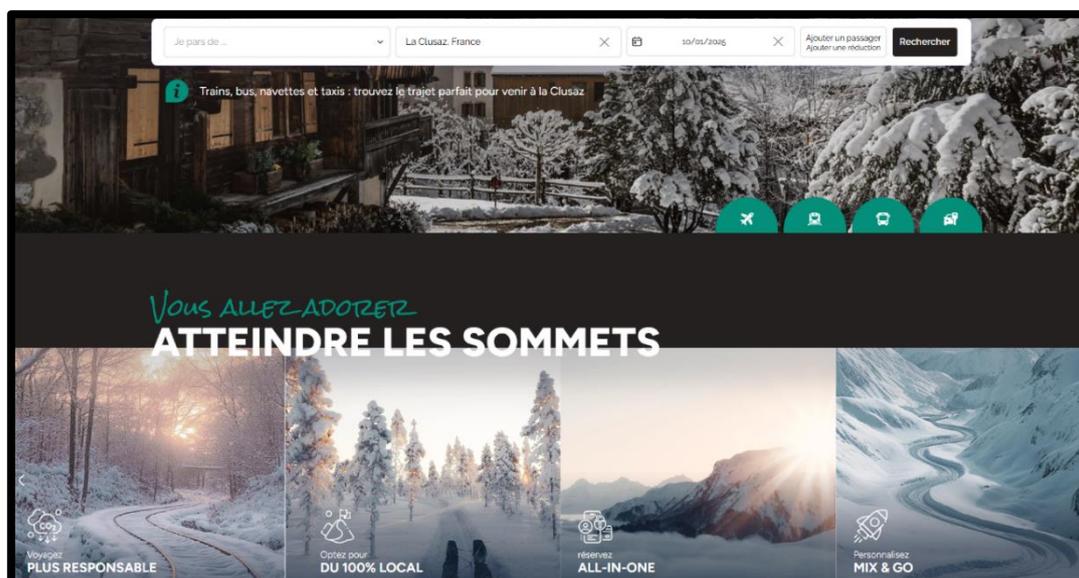
Il n'est pas possible de quantifier précisément et spécifiquement au télésiège du col de Balme les émissions induites par le déplacement des usagers. En effet, ces derniers ne viennent pas spécifiquement pour l'appareil mais pour un séjour à la montagne ou à la Clusaz. Dans ce contexte, une répartition liée proprement à l'appareil est non quantifiable tant les motivations de choix de destinations peuvent varier en fonction des personnes concernées.

Toutefois, nous pouvons rappeler que l'exploitation d'un domaine skiable ne représente que 3 % des émissions de la station de ski (page 133 de l'évaluation environnementale).

La SATELC et la commune sont pleinement conscientes que les émissions principales de la destination touristique de la Clusaz proviennent essentiellement des moyens de transport pour accéder à la destination. La tâche est compliquée mais les structures s'efforcent de promouvoir les transports collectifs en ayant une politique commerciale incitative comme le montre l'illustration suivante.



De plus, l'application spécifique « gotolaclusaz » permet d'étudier les alternatives d'accès à la station tout en favorisant le recours aux moyens de transport plus responsables.



The screenshot shows a search interface for La Clusaz. At the top, there are input fields for 'Tours, France', 'La Clusaz, France', and the date '18/01/2025'. A search button labeled 'Rechercher' is on the right. Below the search bar, a map shows the route from Tours, France to La Clusaz, France. To the right of the map, two transport options are presented:

LE PLUS ECOLOGIQUE	LE PLUS ECONOMIQUE
TRAIN	AUTOCAR - LONGUE DISTANCE
En moyenne, entre 04:54 et 11:01 de trajet.	En moyenne, entre 04:06 et 11:01 de trajet.
En moyenne, entre 31 et 177 euros.	En moyenne, entre 13 et 67 euros.
2.87 kg Co2	13.94 kg Co2

Avec ces moyens, la station incite donc concrètement à limiter les émissions de CO₂ liées au transport.

Concernant l'exploitation des bâtiments liés au télésiège, ces derniers seront soit neufs soit réutilisés pour partie. Dans tous les cas, ils feront l'objet d'une isolation adaptée aux normes en vigueur et cohérent avec les conditions climatiques de façon à limiter les consommations d'énergie pour le chauffage et par conséquent les GES. La volonté de la SATELC de configurer des bâtiments compacts et réunissant l'ensemble des activités sous une même enveloppe de chauffage va aussi dans cette logique.

Comme expliqué dans les paragraphes de réponse précédents, la SATELC n'envisage pas une exploitation 4 saisons de la remontée mécanique pour les raisons évoquées dans les paragraphes précédents. Le bilan des émissions de GES n'est donc pas à actualiser dans ce sens.

L'opération de réaménagement contribue à atteindre l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050 de la façon suivante :

- > Les avancées technologiques des appareils depuis 30 ans font que le moteur du nouvel appareil aura une puissance équivalente à celui actuel (autour des 500 kW) alors que le système passera à des sièges débrayables, une vitesse de câble et un débit plus élevé.
- > Le nouvel appareil ne nécessitera que très peu de maintenance jusqu'en 2050 (2 grandes visites en 25 ans) alors que le maintien de l'appareil existant nécessitera une grande maintenance tous les 5 ans. Ce genre d'opération nécessite à chaque fois de nombreuses opérations de démontage-remontage, et le recours à l'hélicoptère est fréquent, pour ne pas dire indispensable, compte tenu de l'accessibilité du site. Ces opérations d'entretien optimisées visent à diminuer les émissions de GES de l'appareil en exploitation.
- > Le nouvel appareil, via le stockage des sièges en gare, permettra un dégivrage rapide de l'appareil, renforcé par le fait que le givre fait partie des composantes de plus en plus prégnante sur ce genre d'appareil dans un contexte de modification climatique. Actuellement, chaque opération de dégivrage nécessite l'amenée de personnel par scooter ou dameuse, ces véhicules consommant du carburant contribuant au GES de l'exploitation de l'appareil. Le nouvel appareil diminuera considérablement la sensibilité au givre du télésiège avec ses sièges stockés en gare. On estime qu'il réduira de 60 % ces opérations de dégivrage avec recours de véhicules spécifiques.
- > La SATELC utilise d'ores et déjà, et volontairement, des énergies à faible émissions carbone :
 - L'électricité est exclusivement issue d'une production hydroélectrique au niveau du barrage de Seyssel en Savoie, situé à une trentaine de kilomètres à vol d'oiseau de la Clusaz.
 - Les carburants alimentant le parc roulant et les dameuses de la SATELC est uniquement du HVO, un biocarburant d'origine 100 % renouvelable. Il est fabriqué à partir d'huiles végétales, résiduelles ou de déchets. Il est certifié durable conformément à la directive énergies renouvelables de l'Union Européenne. Il a permis de diminuer de 95 % les émissions de CO₂ dès l'année 2024.
- > D'une manière générale, la SATELC travaille son exploitation et ses investissements de façon à limiter le plus possible son impact carbone comme évoqué page 134 de l'évaluation environnementale.
- > L'incitation à la réduction de consommation d'énergie chaque jour : adaptation des vitesses des appareils en fonction de la fréquentation, limitation du nombre de sièges/cabine en fonction de la fréquentation, recours aux énergies renouvelables, récupération des eaux pluviales, mesure continue du manteau neigeux, ...

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
25/20	L'Autorité environnementale recommande d'intégrer dans l'analyse des effets conjugués de l'opération, les différents projets passés ou en cours afin de requalifier le niveau d'incidences et renforcer les mesures ERC, le cas échéant.

Comme indiqué en pages 166-167 de l'évaluation environnementale, l'article R122-5 du code de l'environnement précise que l'analyse des incidences cumulées d'un projet sur d'autres projets d'aménagement connus doit porter sur « **problèmes environnementaux relatifs à l'utilisation des ressources naturelles et des zones revêtant une importance particulière pour l'environnement susceptibles d'être touchées.** » Il précise également les projets devant faire l'objet d'une analyse des effets cumulés : « Les projets existants sont ceux qui, lors du dépôt du dossier de demande comprenant l'évaluation environnementale, ont été réalisés. Les projets approuvés sont ceux qui, lors du dépôt du dossier de demande comprenant l'évaluation environnementale, ont fait l'objet d'une décision leur permettant d'être réalisés.

Sont compris, en outre, les projets qui, lors du dépôt du dossier de demande comprenant l'évaluation environnementale :

- ont fait l'objet d'une **étude d'incidence environnementale** au titre de l'article R. 181-14 **et d'une consultation du public** ;
- ont fait l'objet d'une **évaluation environnementale** au titre du présent code **et pour lesquels un avis de l'autorité environnementale a été rendu public.** »

Il apparaît donc clairement que les projets devant faire l'objet d'une analyse des effets cumulés sont ceux étant existants ou approuvés et ayant fait l'objet d'une étude d'incidence environnementale et enquête publique ou d'une évaluation environnementale avec un avis de l'Autorité environnementale rendu public. **Les conditions sont donc bien cumulatives.**

Pour rappel, les incidences résiduelles du projet de la SATELC ne sont pas cumulatives avec le projet de télésiège des Aiglons, comme démontré en page 168-169 de l'évaluation environnementale. Hormis le projet de La Colombière, les projets cités par la MRAE dans son avis n'ont pas fait l'objet d'une étude d'incidences environnementale avec une enquête publique, ni même d'une évaluation environnementale avec un avis de l'Autorité environnementale rendu public.

Aussi, seul le projet de retenue de La Colombière est ajouté à l'**analyse des effets cumulés, pour ce qui concerne l'utilisation des ressources naturelles et les zones revêtant une importance particulière pour l'environnement.**

Le projet de retenue de la Colombière n'a pas d'impact cumulé vis-à-vis de la ressource en eau puisqu'il n'augmente pas le prélèvement mais seulement la capacité de stockage. Les volumes de terrassements sont équilibrés sur chacun des projets, il n'y a donc pas de cumul d'impact en termes d'utilisation des ressources naturelles.

Les habitats impactés par le projet de la Colombière (cf. ci-après) sont complètement différents de ceux du projet de la combe de Balme, notamment du fait de la différence d'altitude. De plus, les deux projets ne se situent pas du tout dans les mêmes zones revêtant une importance particulière pour l'environnement (ZNIEFF, Natura 2000, ...). Il n'existe donc aucun cumul d'impact sur les zones naturelles d'intérêt et la biodiversité. Les 2 projets sont physiquement séparés de près de 7 km à vol d'oiseau.

Les habitats

La zone d'étude comporte 5 habitats d'intérêt communautaire prioritaires et 6 habitats humides.

Code Corine Biotope/ Code EUR	Intitulé	Habitat d'intérêt communautaire (directive « Habitats »)	Habitat humide au titre de l'arrêté du 24 juin 2008
31.611	Fourrés d'Aulnes verts alpiens		
31.871	Clairières herbacées forestières	-	-
31.872	Clairières à couvert arbustif	-	-
36.5	Prairies alpines et subalpines fertilisées	-	-
37.1	Communautés à Reine des prés et communautés associées	HIC 6430-1 « Mégaphorbiaies mésotrophes collinéennes »	*
37.21	Prairies humides atlantiques et subatlantiques	-	*
37.215	Prairies à Renouée bistorte	-	*
37.81	Mégaphorbiaies alpines et subalpines	HIC 6430-8 Mégaphorbiaies montagnardes et subalpines des Alpes, du Jura, des Vosges et du Massif central	-

Code Corine Biotope/ Code EUR	Intitulé	Habitat d'intérêt communautaire (directive « Habitats »)	Habitat humide au titre de l'arrêté du 24 juin 2008
42.21	Pessières	HIC 9410 « Forêts acidophiles à Picea des étages montagnard à alpin »	-
43	Forêt mixte	-	-
44.2	Galleries d'Aulnes blancs	HIC 91E0-4 « Aulnaies blanches »	*
51.1	Tourbières hautes à peu près naturelles	HIC 7110* Tourbières hautes actives	*
54.4	Bas-marais acides	-	*
86.2	Village	-	-
87.2	Zones rudérales	-	-

*Habitat prioritaire

Ainsi les mesures environnementales et paysagères que propose le maître d'ouvrage sont adaptées et proportionnées aux enjeux et aux incidences attendues du projet.

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
26/20	<i>L'Autorité environnementale recommande de reconsidérer l'analyse des effets cumulés au regard des compléments à apporter en matière de biodiversité (état initial à compléter, analyse des incidences Natura 2000 à étayer).</i>

Comme énoncé ci-avant, les chapitres sur les habitats naturels, la flore et les zonages naturels étaient manquants dans la version déposée à la DREAL le 04/10/2024. Toutefois, il ne s'agissait que d'une erreur d'affichage, et ces thématiques ont donc bien fait l'objet d'une évaluation des incidences directes, indirectes et cumulées avec d'autres projets.

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
26/20	<i>L'autorité environnementale recommande d'étendre le dispositif de suivi à l'ensemble des enjeux environnementaux et des mesures s'y rapportant, et particulièrement à la flore protégée, des papillons et de leur plante hôte, à l'avifaune (notamment l'efficacité du dispositif anticollision pour les galliformes et les rapaces), au Lièvre variable et au Bouquetin des Alpes, au paysage, aux aléas naturels, et à la ressource en eau.</i>

SUIVI DES ALEAS NATURELS

La SATELC parcourt toute l'année son territoire de domaine skiable. Son personnel est en première ligne pour constater et suivre tous les aléas naturels qui pourraient survenir au niveau des pistes de ski comme pour les remontées mécaniques. Cela peut aller d'une simple chute d'arbre à un glissement de terrain ou une chute de bloc.

Tout aléas de ce type fait l'objet d'un signalement et d'un traitement approprié pour corriger l'aléas et faire en sorte qu'il ne se reproduise plus. Le suivi des aléas naturels est donc pris en compte.

SUIVI DE LA RESSOURCE EN EAU

Pareillement, le suivi de la ressource en eau pour la neige de culture est scrupuleusement respecté par les services de la mairie de la Clusaz en charge de la production de neige. Ce service dispose d'équipements de mesure qui permettent de connaître chaque consommation d'eau d'enneigeur sur le domaine skiable et les consommations d'eau des prélèvements pour l'alimentation des retenues d'altitudes. Les nouveaux enneigeurs de Balme entreront dans ce dispositif.

Ces mesures sont transmises chaque année au services compétents de la Préfecture de la Haute-Savoie.

SUIVI DE LA FLORE PROTEGEE

Le suivi botanique prévu dans la MS 2 sera réalisé 1 fois par an, à la même période, pendant les trois premières années, puis aux années N+5, N+7 et N+10 après la réalisation des travaux.

Un suivi de la flore protégée sera également mis en place durant plusieurs années après la fin de travaux. Il sera réalisé sur les zones mises en défens (pour s'assurer du maintien des individus inventoriés) et sur les zones terrassées (pour évaluer la recolonisation par les espèces protégées). Ce suivi sera réalisé durant 5 ans à partir de l'année N+1 (N étant la fin de l'année des travaux).

SUIVI DE LA FAUNE

Un suivi de la faune sera réalisé durant plusieurs années après la fin de travaux, afin de s'assurer que les espèces recolonisent les secteurs terrassés. En cohérence avec les enjeux environnementaux relevés lors des inventaires préalables au dépôt du dossier, les groupes qui feront l'objet d'un suivi sont les suivants : papillons, oiseaux, mammifères.

Le suivi est détaillé dans la fiche ci-après.

MS 3 : SUIVI DE LA FAUNE

TYPE DE MESURES					PHASE D'APPLICATION DE LA MESURE				
E	R	C	A	S	Phase de conception		Phase de travaux	Phase d'exploitation	
THÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE CONCERNÉE					Paysage et patrimoine	Milieux physiques	Biodiversité	Pollutions et nuisances	Environnement humain

> Objectif

S'assurer de la recolonisation et du maintien des espèces animales sur les zones de travaux et dans la combe de Balme.

> Description

Le suivi de l'efficacité des mesures proposées sera effectué pour mieux capitaliser les résultats obtenus. Il sera réalisé par un écologue.

Les groupes faunistiques qui seront suivis découlent des enjeux relevés lors des inventaires préalables au dépôt du dossier :

- > Un suivi des mammifères (Bouquetin des Alpes et Lièvre variable notamment). Il s'agira de réaliser des observations opportunistes à chaque passage sur le site dédié à l'inventaire des autres groupes faunistiques (cf. taxons ci-dessous). Les traces de présence seront activement recherchées (empreintes, excréments, ...). Chaque observation sera caractérisée et cartographiée. Le suivi des mammifères sera réalisé durant 5 ans à partir de l'année N+1 (N étant la fin de l'année des travaux).
- > Un suivi des oiseaux avec la réalisation d'Indice Ponctuel d'Abondance (IPA). Les points IPA seront les mêmes que ceux réalisés lors de l'étude, le matin, par temps calme (les intempéries, le vent et le froid vif seront évités), à intervalles de 30 minutes et maximum 5 heures après le lever du jour (pic d'activités). Deux passages seront réalisés chaque année, aux mois de juin et juillet. Le suivi des oiseaux sera réalisé durant 5 ans à partir de l'année N+1 (N étant la fin de l'année des travaux).
- > Un suivi de la population d'Azuré du serpolet. Dans un premier temps, il s'agira de vérifier la résilience de l'habitat de l'espèce. Pour cela, le thym serpolet (plante hôte) et les fourmis du genre *Myrmica* (fourmi hôte) seront recherchés à partir de l'année N+2 sur les zones terrassées, afin de leur laisser le temps de recoloniser le sol. Le suivi de l'habitat sera réalisé durant 5 ans après la fin des travaux (N+2 à N+6). Il sera considéré que si au bout des 5 années, l'habitat n'est pas redevenu favorable à la reproduction de l'Azuré du serpolet (absence de thym et/ou de fourmis), il ne le sera jamais pour l'espèce.

Un suivi des individus d'Azuré du serpolet sera déclenché dès qu'une zone est recolonisée de manière satisfaisante par le thym. Deux recherches annuelles seront alors réalisées entre le 15/07 et le 15/08. Lorsque le suivi « individus » sera déclenché, il conviendra également de réaliser l'inventaire sur les zones témoins, où l'espèce a déjà été observée lors des inventaires préalables au dépôt du dossier. Le suivi « individus » se poursuivra ensuite pendant 5 ans à partir du moment où la zone est redevenue favorable à la reproduction de l'Azuré du serpolet

> Budget estimatif

Des rapports de suivi seront transmis à la DREAL chaque année qui permettront de conclure sur l'état de conservation des populations à l'échelle de la Combe de Balme et ainsi de pouvoir tirer des conclusions quant au besoin ou non de mettre en place des mesures en cas d'échec ou d'écart par rapport à la situation attendue.

4 journées de terrain et 2 journées de rédaction seront consacrées chaque année à la réalisation des suivis faune soit un total d'environ **4 500 €** par an (budget total de 22 500€ sur les 5 premières années du suivi).

SUIVI DE L'INTEGRATION PAYSAGERE

Comme la remarque justement la MRAe, la mesure MS2 concernant les mesures d'étrépage et de revégétalisation, doit permettre d'évaluer la reprise et la réussite de la végétalisation et de bénéficier d'un retour d'expérience à valoriser ultérieurement. Dans cet objectif, la mesure MS 2 intègre l'aspect paysager et prévoit donc un suivi annuel sur 3 ans a minima, par un paysagiste, sur la base de cinq indicateurs (cohérences architecturale et topographique, traitements des surfaces, végétalisations arborée et herbacée). Le suivi paysager sera réalisé durant les 3 premières années suivant la fin des travaux puis sera reconduit annuellement jusqu'à ce que l'intégration paysagère du projet soit considérée comme acquise par le bureau d'étude en charge du suivi. Si au bout des 3 premières années de suivi, les résultats sont satisfaisants, il ne sera pas pertinent de poursuivre le suivi au-delà.

N° DE PAGE DE L'AVIS	REMARQUE DE LA MRAE
27/20	<i>L'Autorité environnementale recommande de prendre en compte dans le résumé non technique les recommandations du présent avis.</i>

Les précisions apportées dans cette note en réponse sont mises à jour dans le résumé non technique joint au présent document.

CHAPITRE 3. ANNEXES

ANNEXE 1 : ETUDE DES RISQUES D'AVALANCHES SUR LE PROJET DE TSD DE BALME – TORAVAL – OCTOBRE 2024



Ingénieurs-conseils

**Étude des risques d'avalanches sur le
projet de TSD de Balme
Station de La Clusaz, Haute-Savoie**

Rapport

Octobre 2024

Table des matières

1	Contexte nivo-météorologique	6
1.1	Données météorologiques	6
1.2	conditions climatiques	6
1.2.1	Vue générale	6
1.2.2	Valeurs sur les stations voisines de La Clusaz	7
1.3	Analyse des précipitations	8
1.3.1	Méthode	8
1.3.2	Aperçu général sur la chronique des précipitations de neige	8
1.3.3	Analyse par la méthode du renouvellement	12
1.3.4	Analyse par la théorie des valeurs extrêmes	16
1.4	Épaisseur du manteau neigeux	18
1.5	Effet de l'altitude	20
1.6	Synthèse	22
2	Analyse du risque d'avalanche	23
2.1	Méthodes	23
2.2	Données	23
2.3	Éléments historiques	24
2.3.1	Enquête permanente sur les avalanches	24
2.3.2	Carte de localisation des phénomènes d'avalanches	25
2.3.3	PIDA et témoignage du service des pistes	28
2.4	Analyse spatiale du risque d'avalanche	31
2.4.1	Principe	31
2.4.2	Secteur de la Petite Torchère	33
2.4.3	Secteur de la Grande Torchère	33
2.4.4	Secteur de la Roualle	35

2.5	Synthèse	38
3	Analyse par simulation numérique des avalanches	39
3.1	Principe et hypothèses du calcul	39
3.1.1	Modèle utilisé pour le calcul	39
3.1.2	Paramètres utilisés pour le calcul	40
3.1.3	Hypothèses et rendu du calcul	41
3.2	Résultats des simulations numériques	43
3.2.1	Avalanches dans le cadre d'un PIDA	43
3.2.2	Avalanches naturelles	48
4	Synthèse	53

Objet de l'étude

Contexte

LA STATION DE LA CLUSAZ étudie le remplacement de l'actuel télésiège à pinces fixes de la *combe de Balme* par un nouvel appareil. L'exploitant souhaite disposer d'une étude des phénomènes d'avalanches menaçant le projet. L'appareil et le périmètre de notre zone d'étude sont localisés sur la figure 1.

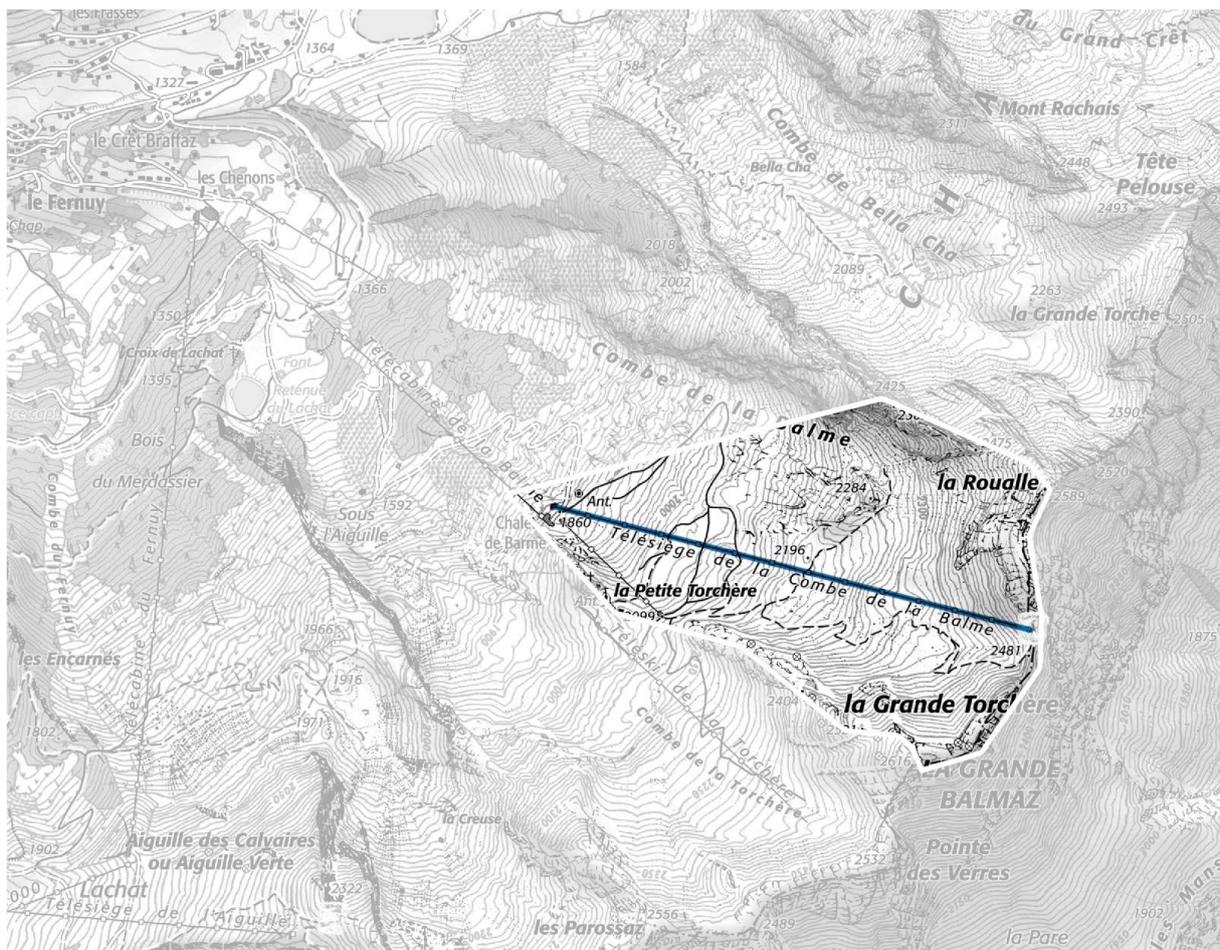


Figure 1 – Localisation de la remontée mécanique (segment bleu) et de la zone d'étude (contour blanc). Échelle 1:25 000. Fond topographique Géoportail © IGN Paris 2024.

Mission

La station de La Clusaz demande au groupement Toraval de caractériser les phénomènes d'avalanches affectant le projet. Nous fournissons une appréciation du risque d'avalanche sur le nouvel appareil, accompagnée d'un tableau des efforts d'avalanches 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 interactive du versant à l'adresse suivante :

http://telec.toraval.fr/3d/clusaz_2024.html

Contexte nivo-météorologique

1.1 Données météorologiques

L'analyse nivo-météorologique s'est appuyée sur les documents suivants :

- les données nivo-météorologiques de la station de La Clusaz (les Converses) située à une altitude de 1180 m et fonctionnant depuis 1959 ;
- les données nivo-météorologiques de la station de La Clusaz située à une altitude de 1597 m au niveau de la G2 du télémix du Bossonnet et fonctionnant depuis 2016 ;
- les données nivo-météorologiques de la station du Grand-Bornand située à une altitude de 1300 m et fonctionnant depuis 1992 ;
- 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) ;
- la thèse d'A. Djerboua, « Prédétermination des pluies et crues extrêmes dans les Alpes franco-italiennes. Prévion quantitative des pluies journalières par la méthode des analogues », thèse de doctorat, INPG, Grenoble (2001).

1.2 conditions climatiques

1.2.1 Vue générale

La Clusaz se situe à la périphérie d'une zone très humide, qui couvre les massifs des Aravis, du Chablais, des Bauges, et les Aiguilles Rouges (voir figure 1.1). Cette zone est relativement homogène en termes de précipitations même si naturellement les effets du relief, dont la variabilité est très marquée, se font sentir sur les précipitations de longue durée (plus de 24 h). Suivant en quelque sorte le principe « premier arrosé, plus enneigé », on note à altitude égale un meilleur enneigement sur la bordure occidentale (Aravis côté Thônes), que dans le Val d'Arly et les précipitations extrêmes y sont également plus fortes.

La pluie journalière décennale à La Clusaz est de l'ordre de 90 mm alors que la pluie journalière centennale est dans la fourchette 115–130 mm. En termes de chutes de neige cumulées sur 3 jours, il faut s'attendre à des valeurs de l'ordre de 160 cm pour une période de retour $T = 10$ ans et 230 cm pour $T = 100$ ans vers 1500 m ; ce sont donc des valeurs relativement

fortes compte tenu de l'altitude modeste du site (elles sont comparables à ce que l'on trouve pour les stations d'altitude des Alpes du Nord, au-dessus de 1800–2000 m).

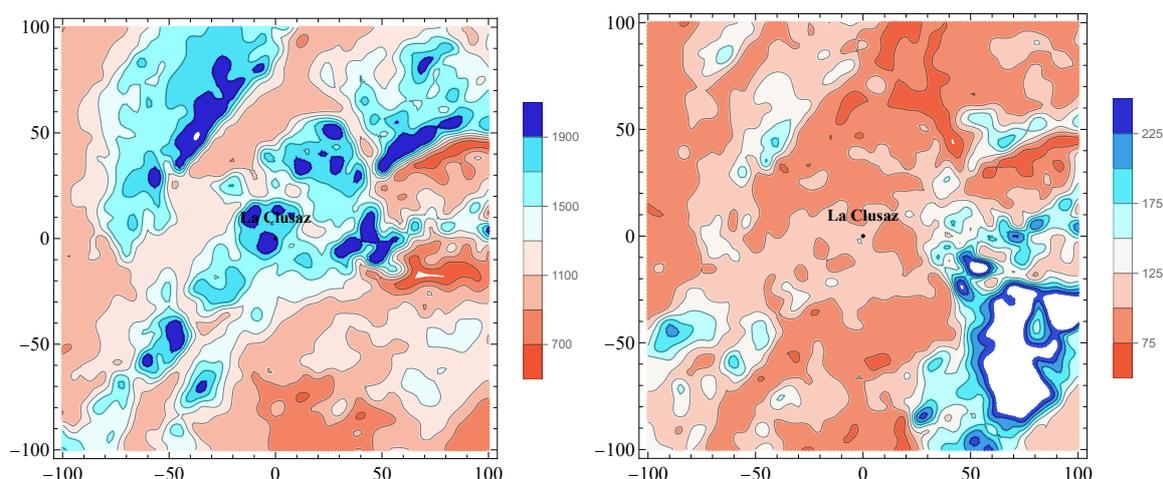


Figure 1.1 – Carte des isovaleurs des cumuls moyens annuels de précipitation (à gauche) et des plus fortes précipitations journalières observées sur la période 1971–2008 (à droite). Valeurs en mm. Les données ont été cadrées sur La Clusaz (indiquée par un point). Source: données Alpine Precipitation Grid Dataset (EURO4M-APGD) (doi:10.18751/Climate/Griddata/APGD/1.0).

Si les valeurs journalières n'atteignent pas de valeurs records (comme par exemple dans les Alpes du Sud), les cumuls de précipitation sur plusieurs jours peuvent devenir impressionnants et sont assez proches des valeurs remarquables mesurées sur les Préalpes. Ainsi, le cumul moyen annuel de précipitations excède 1930 mm sur La Clusaz, soit le double des valeurs observées sur la haute Tarentaise (900 mm), et proche des records mesurés à Saint-Pierre-de-Chartreuse (2050 mm).

La situation particulière du massif des Aravis en fait une zone sensible à toutes les dépressions d'ouest (40 % des passages perturbés), de sud-ouest (25 %), et de nord-ouest (20 %). Les épisodes de nord-ouest sont particulièrement redoutables car ils s'accompagnent en général d'une diminution de température et la neige peut s'abaisser à basse altitude. L'intensité des précipitations peut être particulièrement importante et ce d'autant que le massif du Mont-Blanc est en toute première ligne pour ce type de passage perturbé. Comme l'a montré l'épisode de novembre 1996, de très fortes chutes de neige peuvent être également provoquées par le contact d'air chaud et humide pulsé par un courant de sud (Méditerranée) avec de l'air froid venu du nord ou stocké dans les vallées. Compte tenu du réchauffement climatique, ce dernier type de scénario peut devenir plus fréquent dans les années à venir.

1.2.2 Valeurs sur les stations voisines de La Clusaz

Le tableau 1.1 récapitule les quantiles de précipitation (neige) durant la saison « hivernale » (c'est-à-dire ici du 15 novembre au 15 mai) et en fonction de la période de retour T et de la durée de la précipitation. On ne considère ici que des durées de 1 ou 3 jours, qui servent classiquement à faire l'analyse statistique. On note immédiatement une grande disparité des valeurs, bien marquée pour $T = 100$ ans avec un écart d'environ 55 % entre Megève et Le Grand-Bornand. L'altitude, mais surtout la position (voir *supra*, § 1.2.1) sont les paramètres-clés de cette variabilité régionale.

Tableau 1.1 – Stations de mesures météorologiques à proximité de La Clusaz. On indique la distance D de la station (par rapport au chef-lieu), son altitude, la date de création du poste (année à partir de laquelle on a des mesures continues), puis les quantiles de précipitations (solides) en cm pour des durées de 1 et 3 jours en fonction de la période de retour T .

	D (km)	alt (m)	créat.	$T = 10$ ans		$T = 30$ ans		$T = 100$ ans	
				P_1	P_3	P_1	P_3	P_1	P_3
La Clusaz	0	1180	1959	48	92	54	106	59	118
Megève	16	1080	1959	58	105	67	123	77	140
Le Grand-Bornand	5,5	1300	1992	59	71	65	155	71	185

1.3 Analyse des précipitations

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 » :

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

On va aussi considérer un modèle plus simple à ajuster, une loi exponentielle, à partir d'un modèle dit de *renouvellement* :

$$C = \mu + \sigma \ln T. \quad (1.2)$$

1.3.2 Aperçu général sur la chronique des précipitations de neige

Nous reportons sur la figure 1.2 la distribution dans le temps de ces chutes de neige journalières. L'agglomération en amas de points résulte simplement du caractère saisonnier des chutes de neige. Le caractère aléatoire des chutes de neige, notamment la densité des amas et les valeurs extrêmes observées sur une saison, sont très variables d'une année à l'autre.

Le cumul des chutes de neige sur de longues périodes est également très variable. Si on s'intéresse à la distribution des cumuls mensuels, la figure 1.3 montre la variabilité des mesures depuis 1959 (1992 pour Le Grand-Bornand). Si on passe au cumul sur une saison entière (de décembre à avril), on note des variations également très importantes :

- dans la fourchette 96–832 cm (moyenne saisonnière 440 cm sur la période 1959–2022) pour La Clusaz, et
- dans la fourchette 225–970 cm (moyenne saisonnière 568 cm sur la période 1992–2022) pour Le Grand-Bornand.

Sans surprise on retrouve cette disparité si l'on examine l'épaisseur moyenne du manteau neigeux. On note toutefois qu'il n'y a pas de corrélation directe systématique entre précipitations mensuelles et épaisseur moyennée du manteau neigeux, ce qui est normal car la température et le vent sont des facteurs essentiels de conservation d'un manteau neigeux.

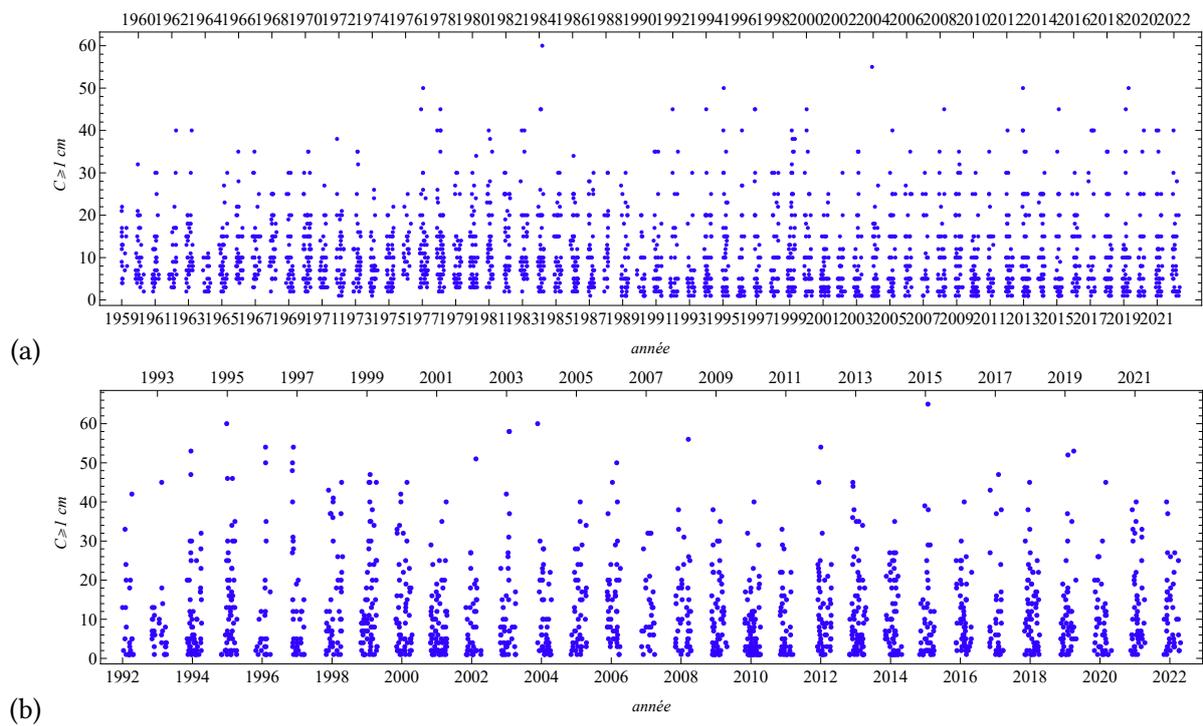


Figure 1.2 – Répartition dans le temps des chutes de neige journalières sur (a) La Clusaz et (b) Le Grand-Bornand .

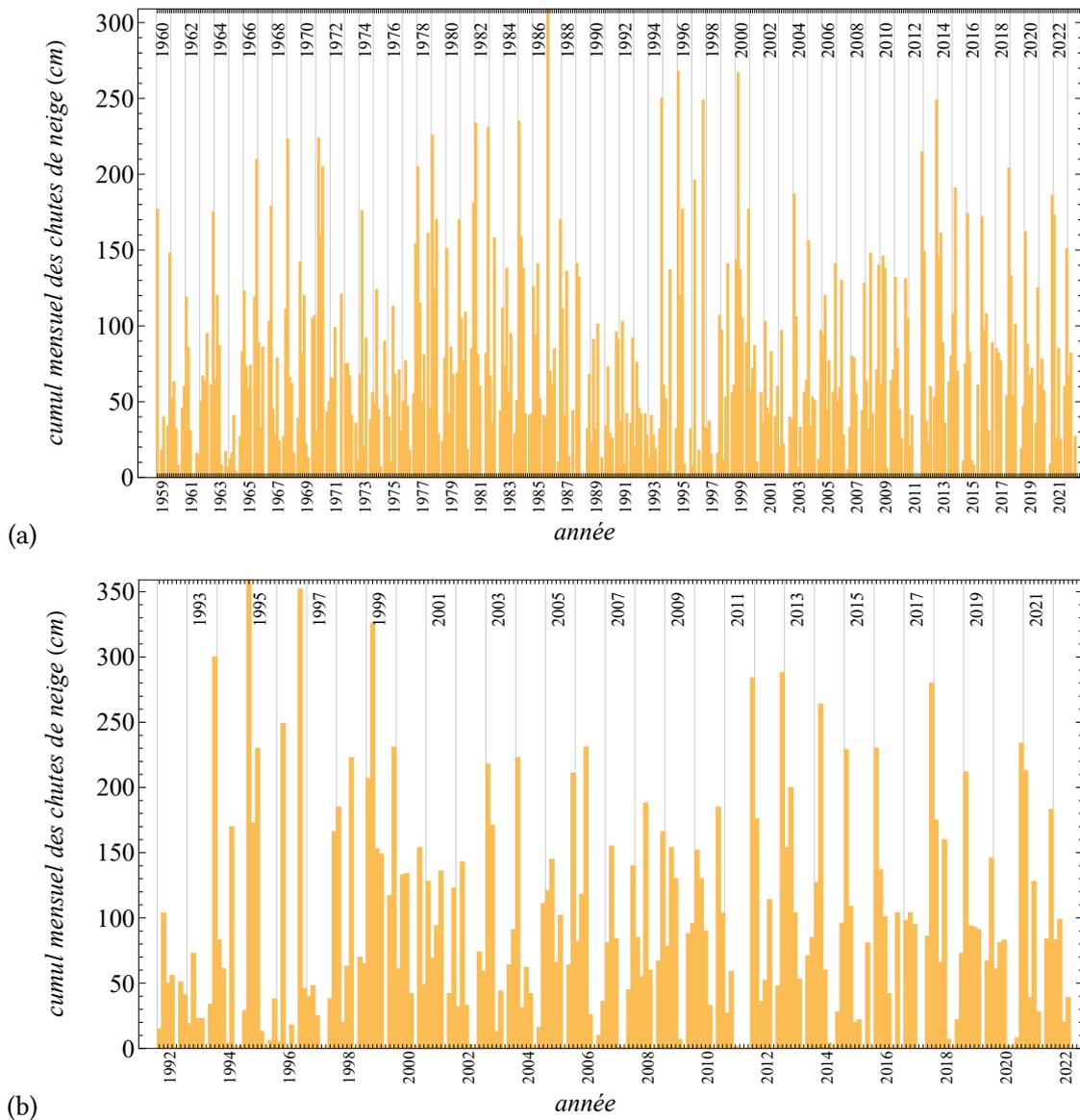


Figure 1.3 – Variation dans le temps des cumuls mensuels de chutes de neige sur (a) La Clusaz, (b) Le Grand-Bornand.

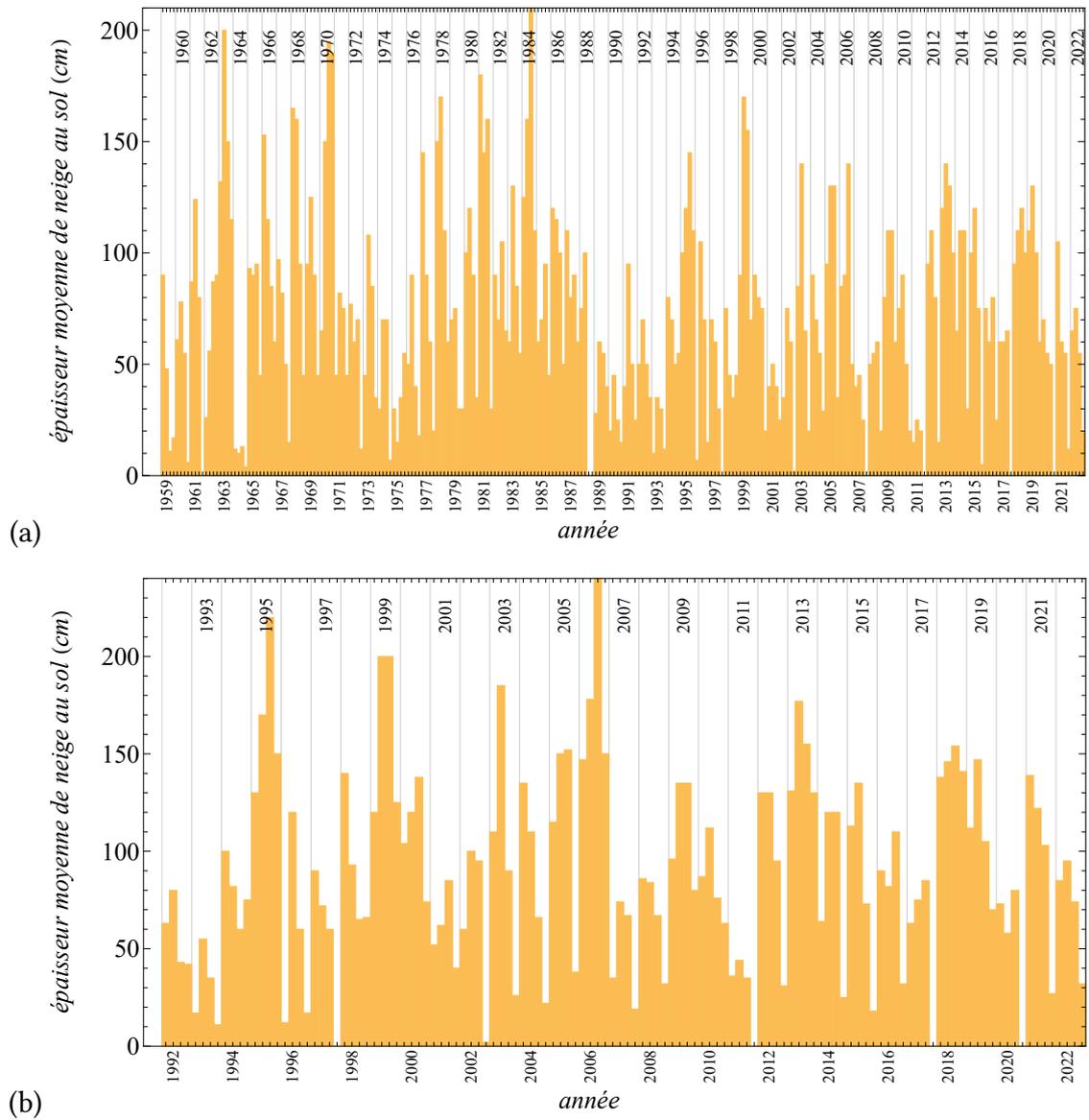


Figure 1.4 – Variation dans le temps des épaisseurs du manteau neigeux moyennées sur un mois sur (a) La Clusaz, (b) Le Grand-Bornand.

1.3.3 Analyse par la méthode du renouvellement

Nous avons appliqué la méthode du renouvellement avec les données observées sur les postes autour de La Clusaz. Moyennant certaines hypothèses sur la distribution des chutes de neige dans le temps et la variation de leur intensité, on aboutit à une loi approchée de la forme (pour T grand) :

$$C \approx s + \frac{\ln \lambda}{\mu_*} + \frac{1}{\mu_*} \ln T \quad (1.3)$$

On note $\sigma = 1/\mu_*$ le gradex des précipitations et $\mu = s + \ln \lambda/\mu_*$ le mode. Nous reportons dans les tableaux 1.2 à 1.3 les valeurs de ces deux paramètres en fonction de la durée considérée pour la précipitation ainsi que la valeur des chutes de neige pour $T = 10$ ans, $T = 100$ ans, et $T = 300$ ans pour les deux postes de mesures autour de La Clusaz.

Tableau 1.2 – Valeurs des coefficients μ et σ , déterminés par la méthode du renouvellement (seuil fixé à 10 cm à 60 cm selon la durée) pour La Clusaz. Quantiles des chutes de neige décennales, centennales, et tricentennales pour les durées allant de 1 à 6 jours. Valeurs en cm.

	1 j	2 j	3 j	4 j	5 j	6 j
μ	32,3	51,8	67,8	81,9	94,6	106,0
σ	7,70	12,1	15,3	18,1	20,5	22,6
$C(T = 10)$	50	80	103	124	142	158
$C(T = 100)$	59	93	120	143	164	183
$C(T = 300)$	68	107	138	165	189	210

Tableau 1.3 – Valeurs des coefficients μ et σ , déterminés par la méthode du renouvellement (seuil fixé à 10 cm à 60 cm selon la durée) pour Le Grand-Bornand. Quantiles des chutes de neige décennales, centennales, et tricentennales pour les durées allant de 1 à 6 jours. Valeurs en cm.

	1 j	2 j	3 j	4 j	5 j	6 j
μ	43,0	70,7	91,9	108,0	122,0	135,0
σ	9,90	16,1	20,1	21,8	23,3	25,2
$C(T = 10)$	66	108	138	158	175	193
$C(T = 100)$	77	125	160	182	201	221
$C(T = 300)$	88	145	185	208	229	251

On trouve que pour les périodes de retour supérieures à 5–10 ans à La Clusaz, les points de mesure tendent à être situés au-dessous des lois ajustées pour les durées de 2 à 6 jours alors que le modèle du renouvellement donne la bonne tendance pour les chutes journalières. Pour les durées de 5 à 6 jours, on note une saturation des valeurs de cumul. Cela indique que le modèle du renouvellement fournit une description correcte pour les chutes journalières, mais sous-estime ce qui peut se produire pour des durées plus importantes et qu’au-delà de 4 jours de précipitations, il y a un phénomène de saturation des valeurs. En revanche, pour le poste du Grand-Bornand, aucun phénomène de saturation n’est observé.

La méthode du renouvellement peut également être appliquée à des épisodes au sens employé par Météo-France, c’est-à-dire une succession continue (sans interruption) de chutes de neige sur plusieurs jours¹. En prenant un seuil de 100 cm, on a pu ajuster une loi exponentielle [éq. (1.3)] pour La Clusaz :

$$C = 73,8 + 27,2 \ln T, \quad (1.4)$$

1. un épisode est suivi et précédé d’un jour sans précipitations

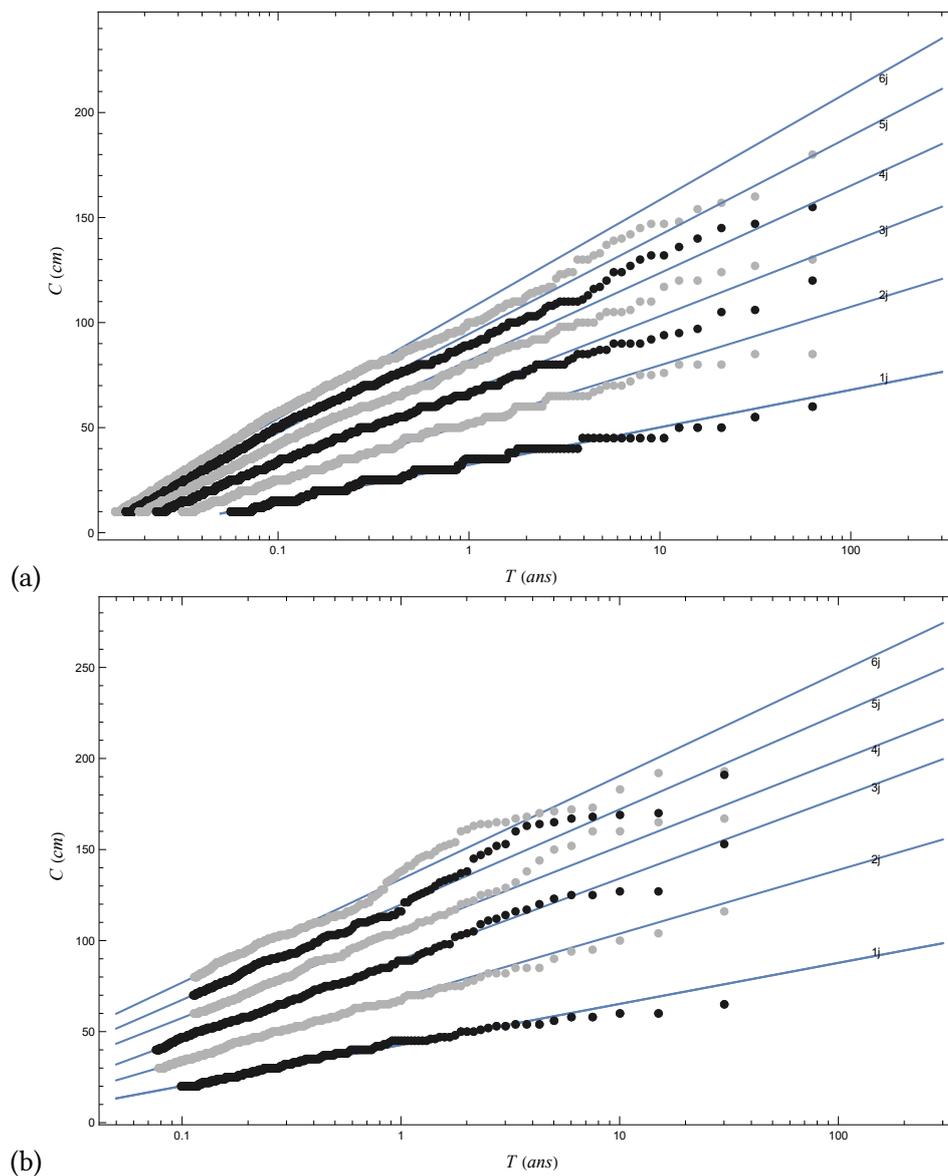


Figure 1.5 – Variation de la chute de neige de durée 1–6 jours en fonction de la période de retour pour (a) La Clusaz, (b) Le Grand-Bornand. Points: valeurs mesurées affectées d’une période de retour empirique; courbes: loi exponentielle (1.3) ajustée sur les données.

pour Le Grand-Bornand

$$C = 105,0 + 34,5 \ln T. \quad (1.5)$$

Le résultat est reporté sur la figure 1.6. Dans les tableaux 1.4 à 1.5, on a également reporté tous les épisodes de neige ayant dépassé un seuil de 100 cm sur La Clusaz et Le Grand-Bornand. On a indiqué la période de retour en se servant des équations (1.4) à (1.5). On note que pour les deux stations, l’événement le plus fort (ou parmi les plus forts) est celui de novembre 1996 avec de 2 à 3,6 m de cumul de neige en deux semaines. Il a été produit par la rencontre d’air chaud et humide pulsé de la Méditerranée et d’air froid polaire. Il a été responsable d’une activité avalancheuse importante dans les Alpes du Sud. Pour Le Grand-Bornand on note que les événements les plus importants (plus de 150 cm de neige) ne sont pas en continuité avec les phénomènes plus courants. On retrouve ici ce qui apparaît pour les chutes de neige journalières, à savoir le fort potentiel du Grand-Bornand à recevoir des cumuls de neige significatifs.

Tableau 1.4 – Liste des épisodes de neige ayant amené plus de 100 cm sur La Clusaz depuis janvier 1959.

date	durée (j)	<i>C</i> (cm)	<i>T</i> (ans)
22 décembre 1968	7	103	3
20 mars 2008	7	104	3
1 février 2003	6	105	3
12 janvier 2021	6	108	4
9 février 1973	5	109	4
6 février 1988	6	109	4
5 février 1970	8	110	4
2 décembre 2012	4	110	4
19 janvier 1984	6	112	4
14 décembre 2011	8	113	4
21 décembre 1993	6	114	4
16 février 1999	9	117	5
28 janvier 1978	3	120	5
19 mars 1978	9	121	6
30 novembre 1976	8	122	6
11 janvier 1986	6	123	6
13 janvier 1977	4	124	6
2 janvier 1959	9	129	8
28 janvier 2015	11	144	13
5 février 1999	5	147	15
1 décembre 2021	11	148	15
14 janvier 1981	7	151	17
27 janvier 2019	8	160	24
18 novembre 1996	13	249	633

Tableau 1.5 – Liste des épisodes de neige ayant amené plus de 150 cm sur Le Grand-Bornand depuis janvier 1992.

date	durée (j)	<i>C</i> (cm)	<i>T</i> (ans)
14 décembre 2011	8	155	4
21 décembre 1993	6	164	4
1 février 2003	6	171	5
28 janvier 2015	6	172	5
27 janvier 2019	8	176	6
7 décembre 2017	12	179	7
4 février 1999	8	198	11
28 février 2006	13	221	19
25 novembre 2021	17	247	36
18 novembre 1996	15	358	600

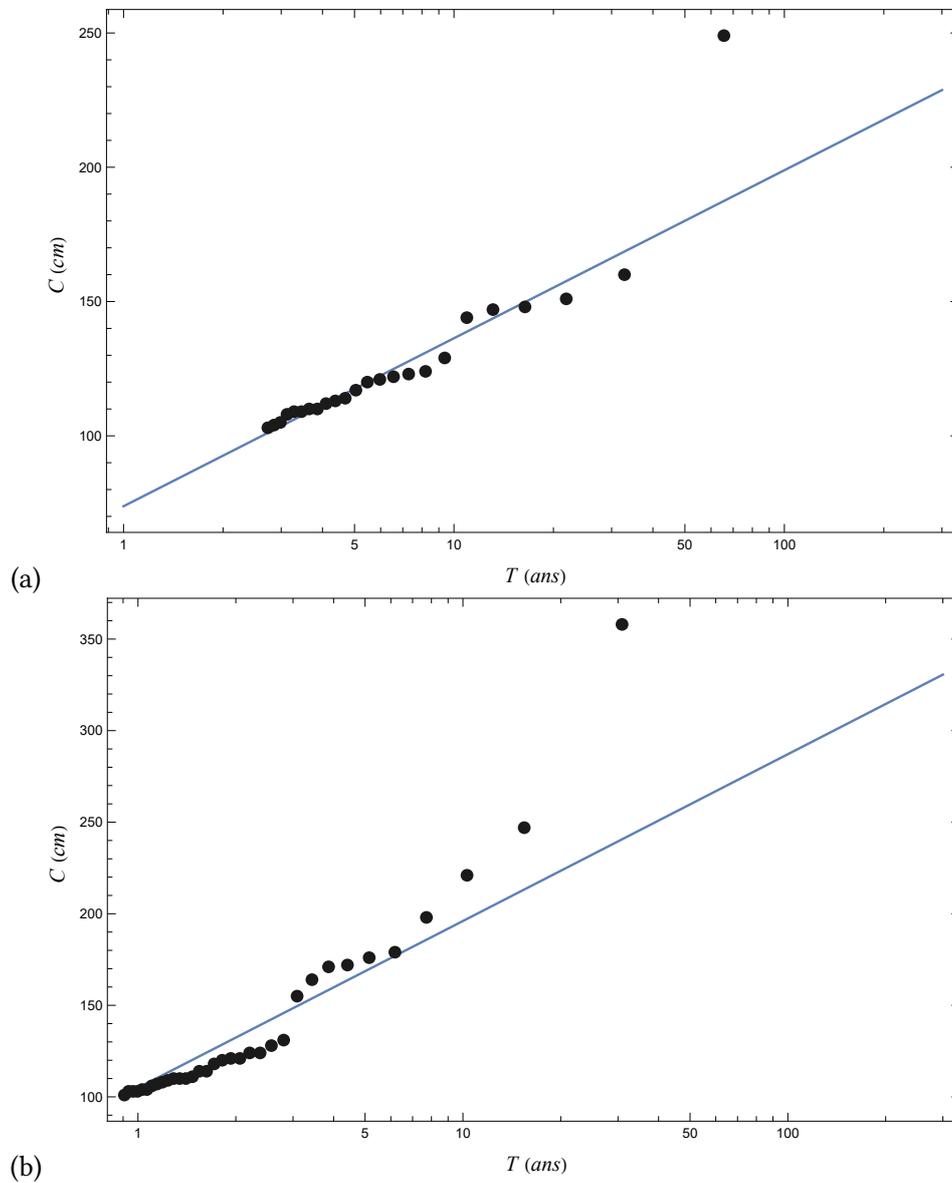


Figure 1.6 – Variation de la chute de neige de durée quelconque en fonction de la période de retour (a) La Clusaz, (b) Le Grand-Bornand. Points : valeurs mesurées affectées d’une période de retour empirique ; courbes : loi exponentielle [éq. (1.4) et (1.5)] ajustée sur les données.

1.3.4 Analyse par la théorie des valeurs extrêmes

Nous reportons ici le résultat récapitulatif pour les chutes de neige sur des durées de 1 à 6 jours pour La Clusaz et Le Grand-Bornand. Une loi de valeurs extrêmes (LVE) a été ajustée sur les données des maxima annuels par la méthode bayésienne. Les tableaux 1.6 à 1.7 donnent la valeur des paramètres ξ , μ , et σ et quelques quantiles de chutes de neige extrêmes. La figure 1.7 fournit l'ensemble des données et l'ajustement par des lois de valeurs extrêmes.

Tableau 1.6 – Estimation par la méthode bayésienne des coefficients ξ , μ , et σ pour la loi des valeurs extrêmes (LVE) pour des chutes de neige de 1 à 6 jours à La Clusaz. On a reporté les quantiles (en cm) pour les périodes de retour décennale, trentennale, et centennale. Valeurs en cm.

	1 j	2 j	3 j	4 j	5 j	6 j
μ	32,1	48,4	58,5	66,1	73,1	78,3
σ	8,41	14,7	17,5	20,8	23,1	25,4
ξ	-0,168	-0,250	-0,139	-0,138	-0,102	-0,0740
$C(T = 10)$	48	74	92	106	120	131
$C(T = 30)$	54	82	106	122	139	154
$C(T = 100)$	59	89	118	137	158	177

Tableau 1.7 – Estimation par la méthode bayésienne des coefficients ξ , μ , et σ pour la loi des valeurs extrêmes (LVE) pour des chutes de neige de 1 à 6 jours au Grand-Bornand. On a reporté les quantiles (en cm) pour les périodes de retour décennale, trentennale, et centennale. Valeurs en cm.

	1 j	2 j	3 j	4 j	5 j	6 j
μ	40,6	60,1	75,5	85,6	95,9	106,
σ	9,71	14,3	21,2	25,8	28,8	28,8
ξ	-0,211	0,0780	0,0170	0,0350	-0,00100	-0,0550
$C(T = 10)$	58	95	124	146	161	167
$C(T = 30)$	64	115	149	178	193	194
$C(T = 100)$	69	139	177	215	228	223

On note principalement que le calage d'une loi de valeurs extrêmes sur les maxima annuels donne une image des précipitations extrêmes très différente de ce que donne la méthode du renouvellement :

- il y a un caractère « Weibull » marqué ($\xi < 0$) qui fait que les chutes de neige exceptionnelles sont en continuité avec les chutes de neige observées usuellement, voire tendent vers un seuil, pour La Clusaz. En revanche, Le Grand-Bornand affiche un caractère Fréchet, qui fait craindre des épisodes de neige extrêmes sans commune mesure avec l'ordinaire ;
- les méthodes fournissent des quantiles similaires pour les chutes de neige (par exemple, pour les chutes journalières, le cumul va de 55 à 69 cm pour $T = 100$ ans selon la méthode employée et le poste étudié). Les écarts entre méthodes ne dépassent pas 15 % ;
- les maxima annuels laissent apparaître une saturation des valeurs pour La Clusaz. En revanche, le poste du Grand-Bornand montre un potentiel de mauvaises surprises pour les chutes de neige de durée 2 à 3 j.

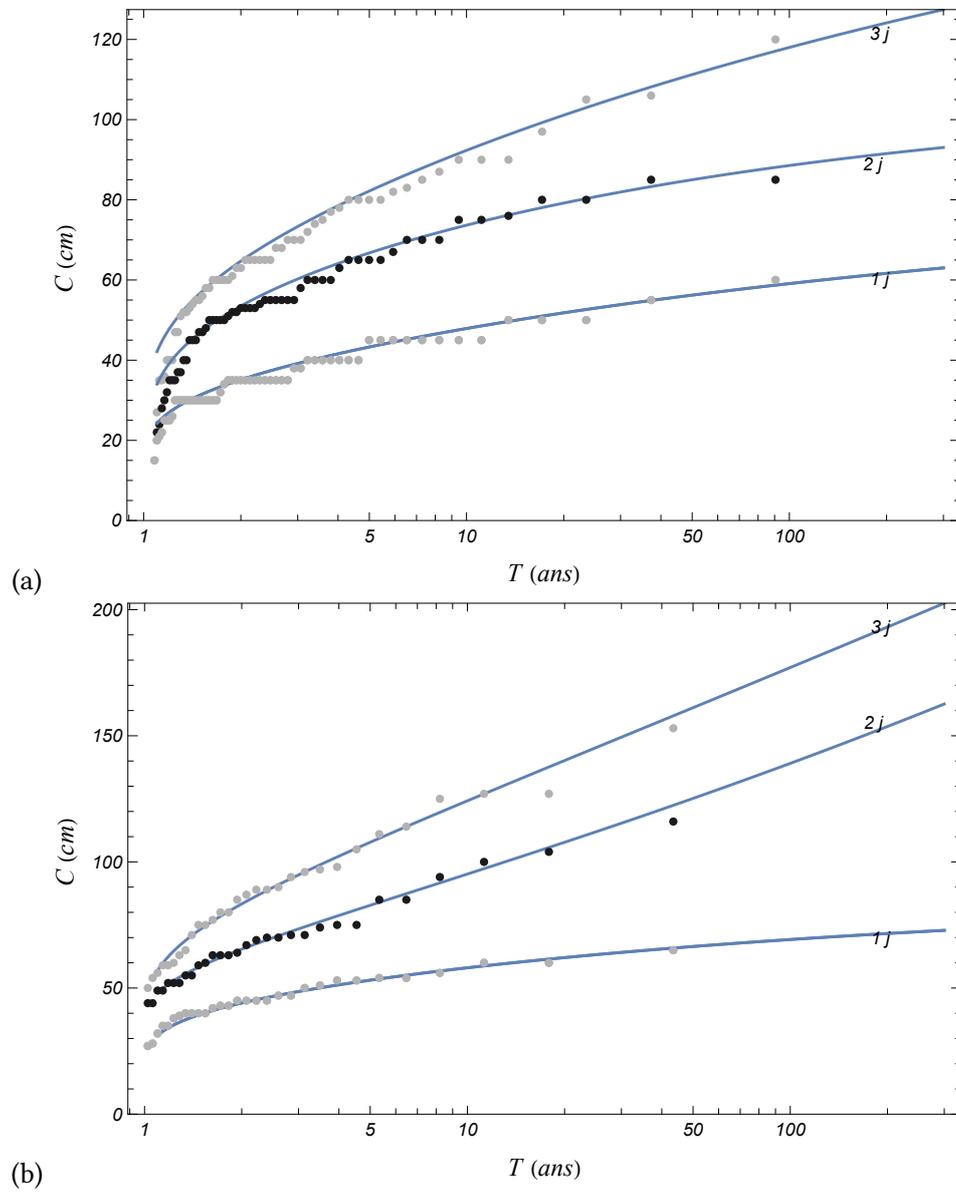


Figure 1.7 – Distribution des maxima annuels de chutes de neige sur des durées de 1 à 3 jours en fonction de la période de retour T pour (a) La Clusaz, (b) Le Grand-Bornand.

1.4 Épaisseur du manteau neigeux

Les valeurs moyennes (moyennes mensuelles) de l'épaisseur de neige au sol (depuis 1959 pour La Clusaz et 1992 pour Le Grand-Bornand) sont reportées sur la figure 1.4. La variation de la hauteur de neige au sol en fonction de la période de retour est reportée sur la figure 1.8. On notera des différences assez faibles d'épaisseur du manteau neigeux entre le modèle de Gumbel et de Weibull aux grandes périodes de retour ($T > 10$ ans).

Les paramètres de la loi de valeurs extrêmes [équation (1.1)] calée sur les données sont reportés dans les tableaux 1.8 et 1.9.

Tableau 1.8 – Estimation par inférence bayésienne des coefficients ξ , μ , et σ pour la loi des valeurs extrêmes (LVE) et la loi de Gumbel pour les maxima annuels de l'épaisseur journalière du manteau neigeux sur La Clusaz à 1200 m. On a reporté la valeur négative du maximum de vraisemblance et les quantiles (en cm) pour les périodes de retour décennale à centennale. On a aussi indiqué entre parenthèses l'intervalle de confiance à 95 % pour ξ , μ , et σ et les intervalles de variations pour les quantiles. B est le facteur de Bayes (probabilité que le modèle LVE soit le plus performant).

	LVE	Gumbel
μ	92,08 ($\pm 14,2$)	91,51 ($\pm 13,8$)
σ	31,22 ($\pm 8,34$)	30,54 ($\pm 2,58$)
ξ	-0,02 ($\pm 0,010$)	0
B	38 %	62 %
$C(T = 10)$	161 (130–201)	160 (142–179)
$C(T = 30)$	194 (146–269)	195 (170–219)
$C(T = 100)$	228 (159–358)	232 (201–263)

Tableau 1.9 – Estimation par inférence bayésienne des coefficients ξ , μ , et σ pour la loi des valeurs extrêmes (LVE) et la loi de Gumbel pour les maxima annuels de l'épaisseur journalière du manteau neigeux sur Le Grand-Bornand à 1300 m. On a reporté la valeur négative du maximum de vraisemblance et les quantiles (en cm) pour les périodes de retour décennale à centennale. On a aussi indiqué entre parenthèses l'intervalle de confiance à 95 % pour ξ , μ , et σ et les intervalles de variations pour les quantiles. B est le facteur de Bayes (probabilité que le modèle LVE soit le plus performant).

	LVE	Gumbel
μ	113,05 ($\pm 25,5$)	113,67 ($\pm 26,1$)
σ	31,26 ($\pm 13,1$)	31,58 ($\pm 3,67$)
ξ	0,1 ($\pm 0,0270$)	0
B	36 %	64 %
$C(T = 10)$	192 (146–268)	185 (159–211)
$C(T = 30)$	240 (161–413)	221 (186–255)
$C(T = 100)$	297 (173–670)	259 (216–302)

On notera l'incertitude (chiffres entre parenthèses) considérable associée à la détermination de $H(T)$ compte tenu des séries de données courtes. On prendra garde également qu'il s'agit de valeurs journalières maximales, c'est-à-dire des maxima observés sur une journée (les valeurs moyennées sur plusieurs jours sont plus faibles à cause du tassement de la neige).

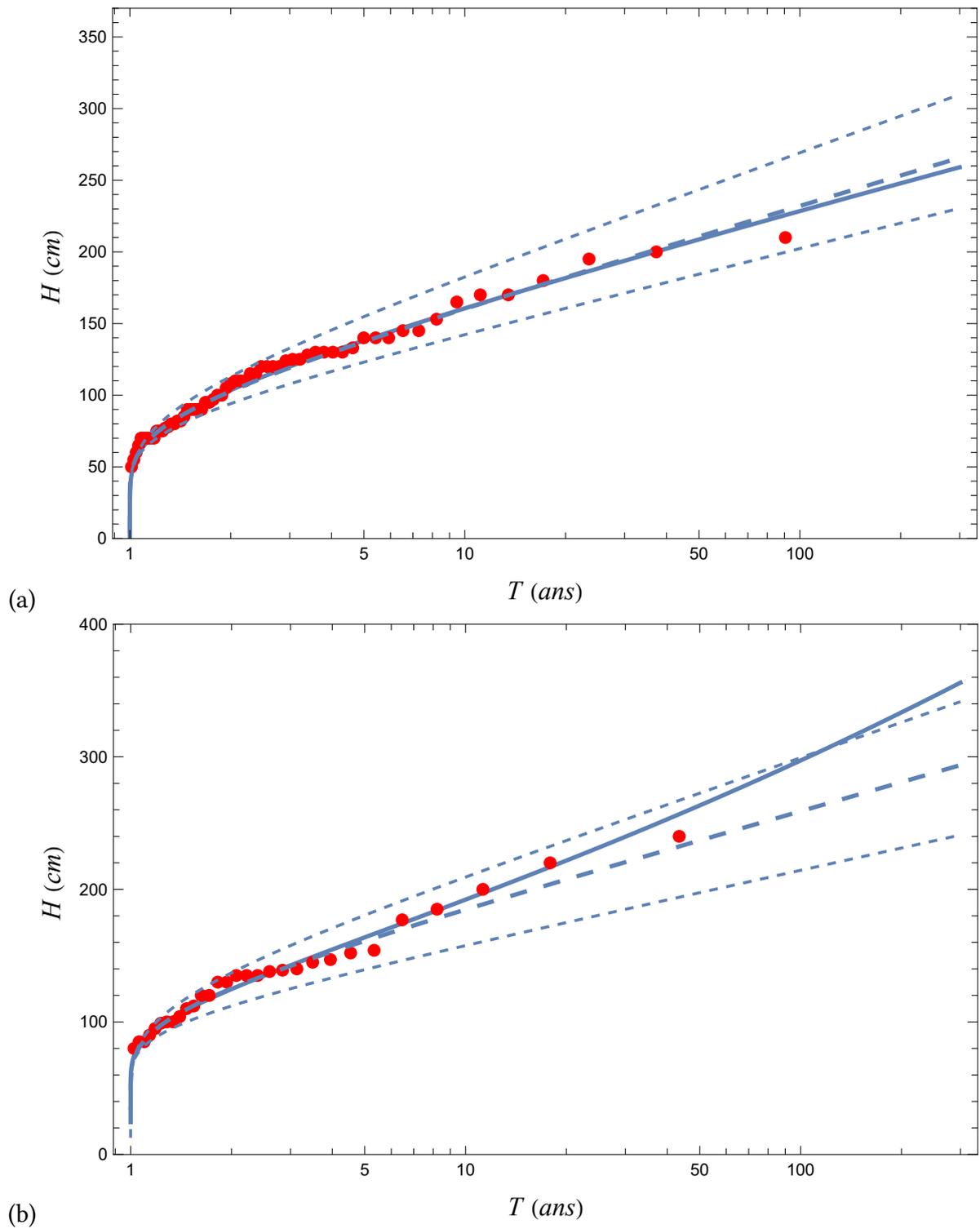


Figure 1.8 – Variation de l'épaisseur maximale de neige au sol (sur une journée) en fonction de la période de retour sur (a) La Clusaz à 1200 m d'altitude et (b) Le Grand-Bornand à 1300 m. Les courbes en tireté fin représentent l'intervalle de confiance pour la loi de Gumbel.

1.5 Effet de l'altitude

L'effet de l'altitude sur l'enneigement pourrait en principe être étudié en comparant les postes situés à 1180 m, 1300 m, et 1597 m. On ne trouve pas de variation significative des chutes de neige aux différences altitudes, mais en revanche, l'enneigement croît avec l'altitude : avec environ 100 m de différence avec Les Converses, le manteau neigeux du poste du Grand-Bornand est épais d'environ 10 cm de plus que celui des Converses (voir figure 1.9). Avec un écart de 400 m en altitude, la différence d'épaisseur du manteau neigeux atteint 50 cm (voir figure 1.10).

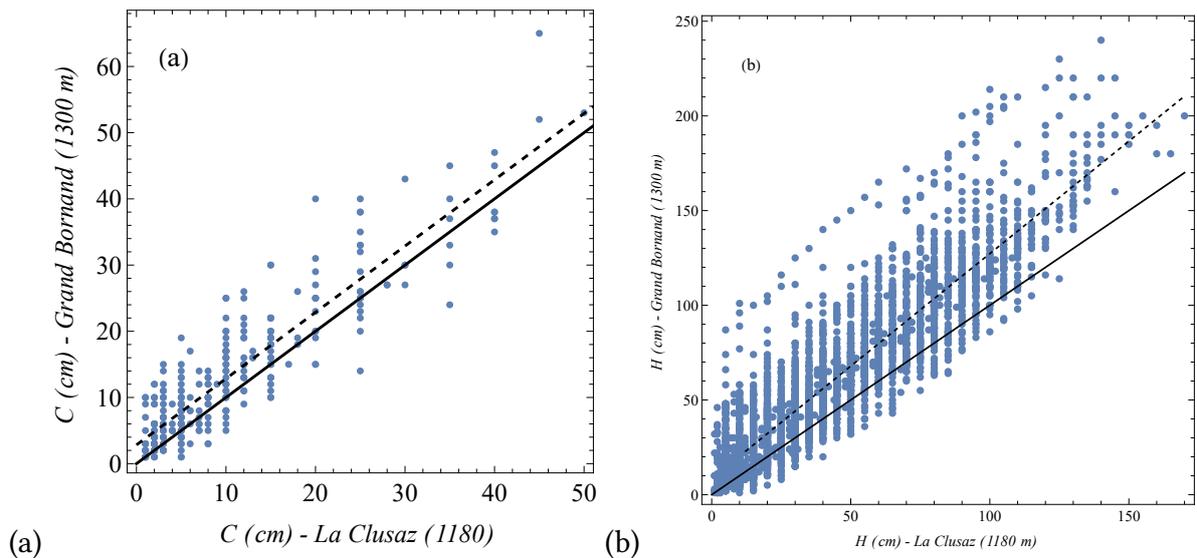


Figure 1.9 – Relation entre enneigement à 1180 m (Les Converses) et 1600 m (G2 télémix du Bossonnet) pendant la période 2016-22. (a) chutes de neige, (b) épaisseur de neige au sol. La droite continue montre l'accord parfait entre les deux postes, tandis que la courbe discontinue montre une régression linéaire : (a) $C_{1600} = 2,8 + C_{1180}$ et (b) $H_{1597} = 8,5 + 1,19H_{1180}$ (en cm).

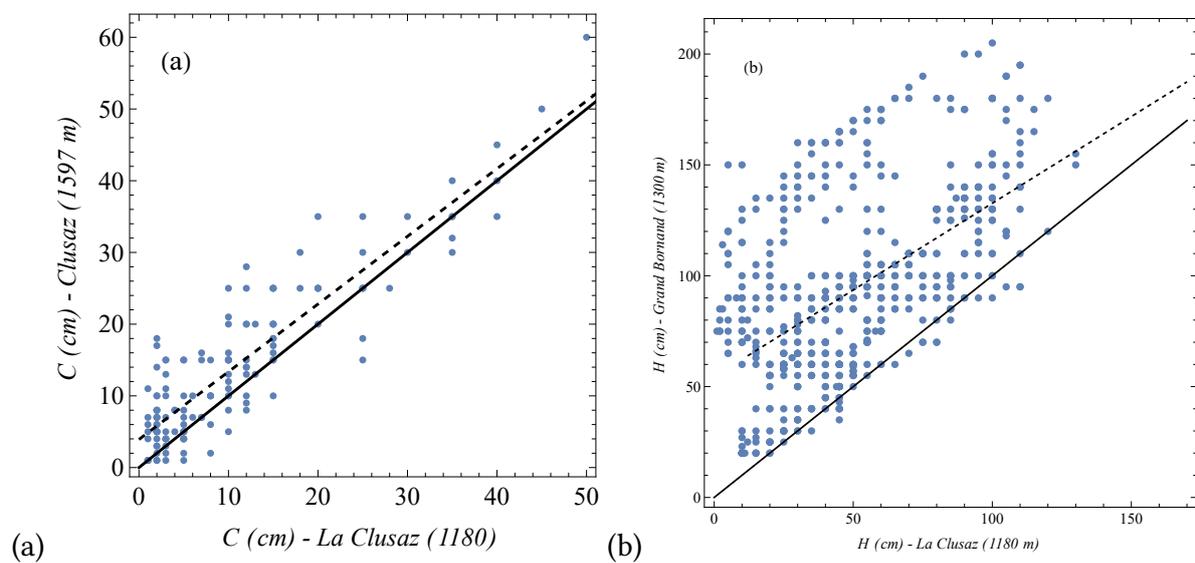


Figure 1.10 – Relation entre enneigement à La Clusaz 1180 m et au Grand-Bornand 1300 m pendant la période 1992–2022. (a) chutes de neige, (b) épaisseur de neige au sol. La droite continue montre l'accord parfait entre les deux postes, tandis que la courbe discontinue montre une régression linéaire : (a) $C_{1300} = 3,9 + 0,94C_{1180}$ et (b) $H_{1300} = 54,4 + 0,78xH_{1180}$ (en cm).

1.6 Synthèse

L'analyse statistique des conditions nivométriques sur les trois postes autour de la remontée mécanique projetée (La Clusaz 1180 m et 1597 m, Le Grand-Bornand 1300 m) a révélé des points intéressants :

- si le cumul annuel est significatif (de l'ordre de 5 m de cumul saisonnier à 1200 m), il varie fortement d'une année à l'autre (il y a un facteur 9 entre le plus faible et le plus fort cumuls);
- il existe des différences notables entre les postes de La Clusaz et du Grand-Bornand. Une partie de ces différences peut s'expliquer par la différence d'altitude (120 m) et de position des deux postes, mais il faut aussi noter que la durée est également différente : 30 ans de mesures pour Le Grand-Bornand contre un peu plus de 60 ans pour La Clusaz ;
- l'analyse des postes montre une image contrastée de la climatologie locale :
 - le poste de La Clusaz affiche un franc comportement Weibull ($\xi < 0$), ce qui s'interprète en disant que les phénomènes exceptionnels sont en continuité avec les observations courantes et que de ce point de vue-là, il n'y a pas de mauvaise surprise ;
 - en revanche, le poste du Grand-Bornand est typiquement Fréchet, avec un cumul de neige aux grandes périodes de retour bien différent de celui observable aux petites périodes de retour. Cela est particulièrement vrai pour les chutes de neige sur deux jours. Il existe donc un potentiel de mauvaises surprises selon ce point de vue ;
 - on note que les deux postes de La Clusaz (1180 m) et du Grand-Bornand ont connu un événement exceptionnel en termes de cumul de neige (novembre 1996), dont le cumul de neige (de 250 à 360 cm de neige en deux semaines) est bien supérieur aux autres valeurs. Cet épisode a été généré par la rencontre de deux masses d'air très différentes. Le scénario se rencontre plutôt dans les massifs montagneux sous influence méditerranéenne (Ubaye, Queyras, haute Maurienne). Il montre qu'il est également possible, avec une fréquence d'occurrence moindre, dans les Alpes internes. Comme nous redoutons que ce type de scénario devienne plus fréquent avec le réchauffement climatique (et comme cela a été observé déjà sur plusieurs postes des Alpes du Sud et des Pyrénées), il faut porter une attention particulière à ce type d'événement.

Les zones de départ des avalanches qui menacent la remontée mécanique sont situées dans une large tranche d'altitudes (de 1950 m à 2550 m) bien au-dessus de l'altitude des postes de mesure. Il convient de corriger cette différence d'altitude par rapport aux postes de mesures en fond de vallée lors du calcul (on prendra un gradient hypsométrique de 3 cm par tranche de 100 m d'altitude). Aussi, par la suite on retient comme valeur de référence à 1200 m :

- $T = 30$ ans : $C_1 = 60$ cm (cumul journalier de neige), $C_3 = 150$ cm (cumul de neige sur trois jours), et $H = 240$ cm (épaisseur de neige au sol mesurée selon verticale) ;
- $T = 100$ ans : $C_1 = 75$ cm (cumul journalier de neige), $C_3 = 180$ cm (cumul de neige sur trois jours), et $H = 300$ cm (épaisseur de neige au sol mesurée selon verticale).

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 août 2022 ;
- 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 fond topographique, issu du levé lidar de l'IGN (programme LidarHD) daté du 13 juillet 2022 ;
- l'orthophotoplan BDOrtho de l'IGN (source geoportail.fr) ;
- la couverture de photographies aériennes : plusieurs missions de l'IGN et l'IFN de 1980 à 2009.

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 AJ64 et AJ65 de l'atlas de l'EPA (voir figure 2.1).

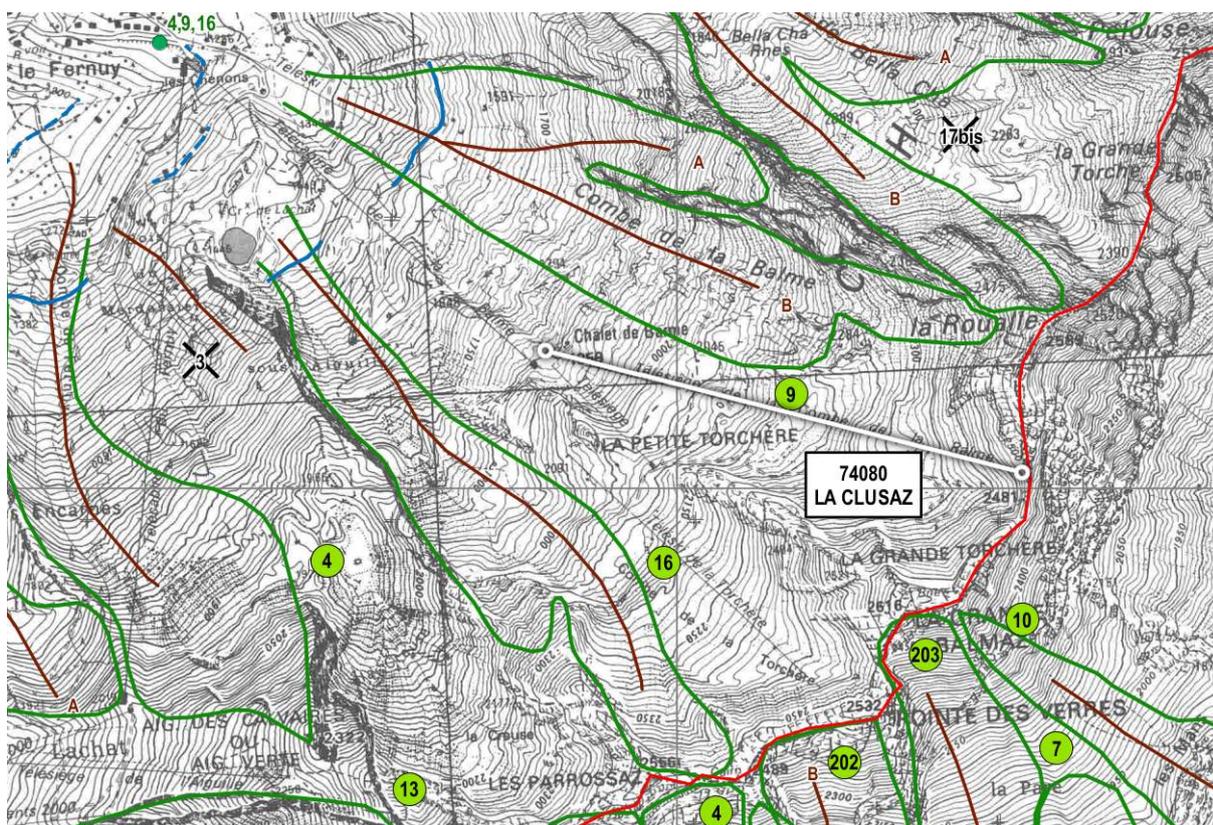


Figure 2.1 – Atlas de l'EPA, édition 2012. Les appareils sont reportés en surimpression. Échelle 1:25 000. © IGN-Paris 2003, © MEDDE-ONF-Irstea 2012.

Le site d'observation n° 9 est voisin de notre zone d'étude (voir figure 2.1). Bien que le site EPA ne recouvre pas à proprement parler notre zone d'étude, il peut être intéressant d'examiner le contenu de l'EPA pour ce site. Malheureusement l'enquête n'est pas très instructive ici, notamment le carnet forestier historique ne comporte pas d'information concernant d'éventuels dommages à des remontées mécaniques. Signalons simplement la mention faite de l'avalanche de février 1988 qui a parcouru tout le versant (de 2450 à 1400 m).

Sinon d'attester que des avalanches de grandes dimensions se produisent parfois dans la combe de Balme, l'EPA ne nous apporte pas d'information quant à l'exposition du projet de remontée mécanique aux phénomènes d'avalanches.

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).

Le secteur étudié figure sur les feuilles AJ64 et AJ65 de l'atlas de la CLPA. Cette version de la carte dressée en 2016 est une réédition de la feuille *Thônes - Aravis* réalisée en 1995, elle-même réédition de la feuille *Les Aravis - Haute Savoie* datant de 1973. La figure 2.2 fournit un extrait du document à jour.

Avalanches reconnues par photo-interprétation

Le travail de photo-interprétation de la carte est hérité de la première édition, réalisée en 1973 sur le fond topographique à l'échelle 1:20 000. Comme on le voit sur la figure 2.2 c'est un fond relativement précis sur La Clusaz (vis-à-vis de la qualité habituelle de ce levé au 1:20 000 qui sur certaines régions des Alpes est très médiocre) ; cela dit, on constate que les tracés d'avalanches sont très approximatifs en-deçà d'un certain niveau de détail, et le plus souvent discordants sur la topographie.

Le photo-interprète a distingué deux systèmes :

- de grandes avalanches parcourent la combe depuis le sommet de la Roualle jusqu'aux abords du hameau du Fernuy. Une partie des écoulements est déviée en direction du sud-ouest vers 2250 m. Le contour de la zone de dépôt est peu réaliste, cela suggère une erreur de dessin commise au moment de la confection de la carte. On ne comprend pas bien comment une avalanche suffisamment conséquente pour occuper toute la largeur du vallon présenterait un dépôt de cette forme, et on imaginerait plutôt que l'avalanche se prolonge jusqu'aux abords du projet de nouvelle gare amont du TSF de Balme ;
- un unique contour d'avalanche incorpore les pentes sud-ouest de la Roualle et l'ensemble des pentes du revers nord de la Grande Torchère. On ne sait pas si c'est une volonté du cartographe de décrire un tel phénomène ou bien s'il s'agit d'une simplification de dessin. Cela nous apparaît peu pertinent pour la compréhension du fonctionnement avalancheux. L'avalanche se propage jusqu'à 2040 en se scindant en deux branches. Ce mode de représentation monolithique ne permet pas de savoir quelle est la contribution de telle ou telle zone de départ dans la formation des chenaux d'écoulement et zones de dépôt.

Avalanches reconnues par recueil de témoignages

Les avalanches n^{os} 15 et 16 occupent la quasi totalité de la combe. Ce sont des tracés massifs qui correspondent peut-être à des événements relatés, mais les fiches signalétiques de la première enquête sont peu disertes sur les informations qui ont conduit à établir ces contours. Comme ils englobent un grand nombre de zones de départ qui d'ordinaire fonctionnent de manière isolée, on perd toute lisibilité des trajectoires. Lors de la mise à jour de 2009, pour ces avalanches majeures dans leurs dimensions, l'enquêteur a porté la remarque suivante dans les deux fiches : « Il s'agit d'événements anciens qui ne se sont que très rarement produits depuis la mise en route de la station. Il semble que les derniers événements importants se soient produits autour des années 80 ».

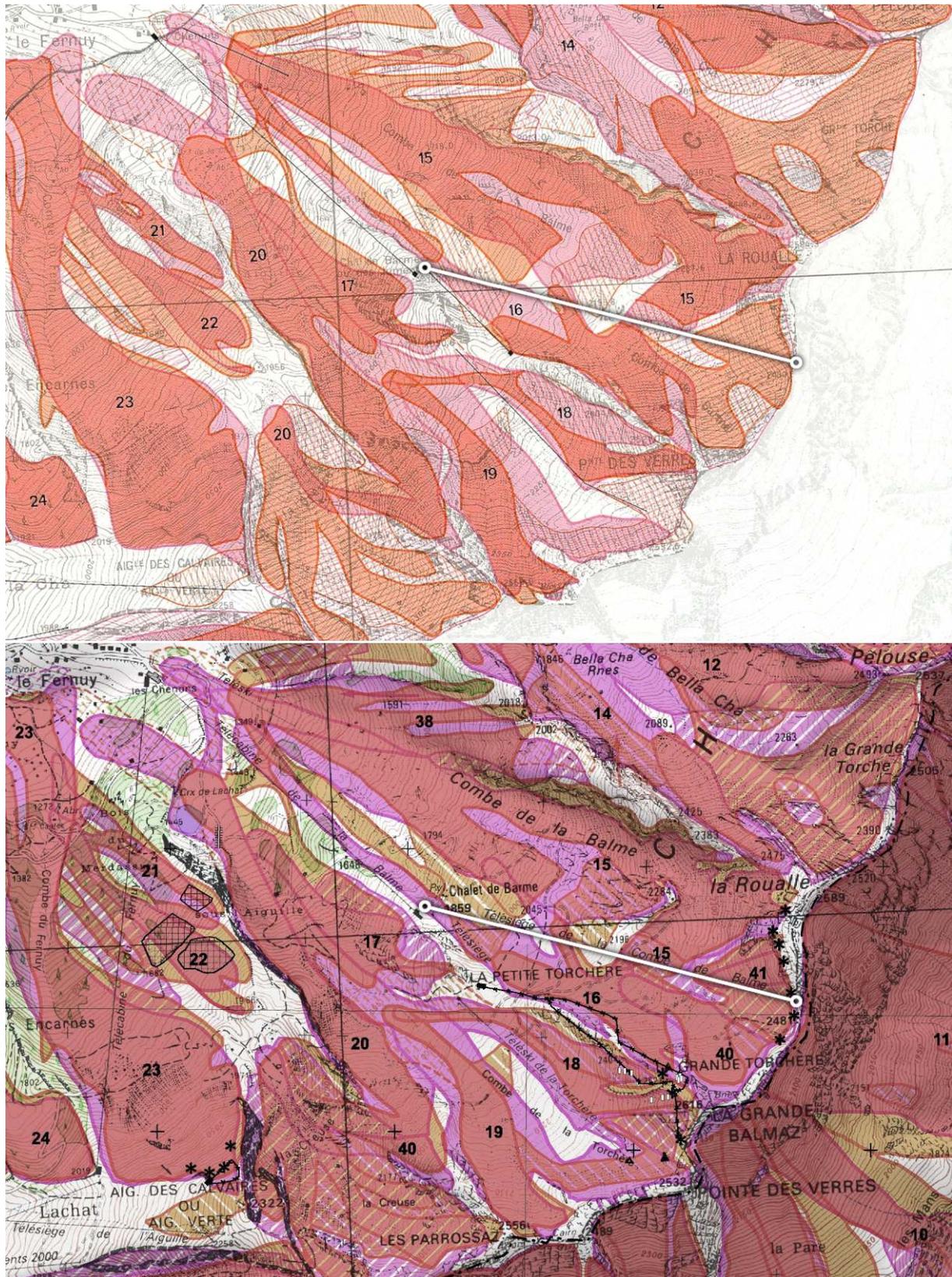


Figure 2.2 – Haut: extrait de la CLPA *Les Aravis - Haute Savoie* (1973); bas: extrait de l'atlas de la CLPA (2016). L'appareil est reporté en surimpression. Échelle 1:25 000. © IGN-Paris 2013, © MEEM-ONF-Irstea 2016.

La version récente de la carte ajoute les avalanches n^{os} 40 et 41 dans la partie haute de la combe. Notons que les fiches signalétiques de ces deux avalanches sont interverties. La fiche correspondant à l'avalanche n° 41 évoque des cassures de plaques déclenchées préventivement (gazex). L'enquêteur note : « L'avalanche atteint la ligne de télésiège de la Balme sans y faire de dégâts ». Au sujet de l'emprise n° 40 les informations délivrées dans la fiche sont semblables : de fréquentes avalanches provoquées par déclenchement préventif qui peuvent descendre jusque sur les replats de la combe situés vers 2200 m d'altitude. La carte actuelle localise les dispositifs de déclenchement préventif des avalanches (catex, gazex), que nous retrouvons positionnés plus précisément à la section suivante, figure 2.3.

En bref la CLPA dans le cas présent nous est peu utile pour caractériser le fonctionnement des avalanches de la combe de Balme.

2.3.3 PIDA et témoignage du service des pistes

La station dispose d'un plan d'intervention pour le déclenchement des avalanches (PIDA). Les avalanches de ce secteur sont déclenchées préventivement par grenadage manuel, câble transporteur d'explosifs, grenadage par hélicoptère, et par des explosifs à gaz (gazex, O'Bellx). La figure 2.3 fournit un extrait de la cartographie du PIDA reportée sur notre fond de plan, où sont représentés les différents points de tir du secteur ainsi que les emprises habituelles des avalanches déclenchées.

De nos échanges avec le personnel du service des pistes de La Clusaz nous retenons les points suivants.

- Le secteur de la combe de Balme fait l'objet d'un PIDA régulier, à la mesure des conditions nivométriques parfois sévères qui y règnent. Les régimes perturbés apportant d'abondantes chutes de neige sont essentiellement de secteur ouest, et dans une moindre mesure sud-ouest. Les perturbations de nord favorisent surtout l'ablation sur les systèmes d'avalanches du secteur de Balme.
- La plateforme du chalet de Barne est touchée par des coulées qui descendent parfois sur le bâtiment en franchissant la barre rocheuse : ce sont des écoulements provenant de zones de départ (identifiées p_{11} sur notre schéma de fonctionnement, figure 2.5) désormais équipés de claies. Un point de tir par grenadage manuel est maintenu cependant pour traiter une vire de la facette nord de la Petite Torchère.
- La gare du TSF3 de Bergerie a été plusieurs fois touchée par des avalanches. L'une d'elles au cours des années 1990 avait empli la gare jusqu'à la poulie, déplacé le chalet, sans causer de dommage sérieux à l'appareil.
- Les témoins évoquent des avalanches issues de la Grande Torchère qui atteignent la ligne vers 2170 m sans causer de grands dommages (les échelles des pylônes sont intactes). Avant que ne soit construite la digue (entre les reliefs s_3 et s_{62} , voir figure 2.5) les avalanches franchissaient occasionnellement le verrou, se déposant parfois jusque sur la piste de Balme.

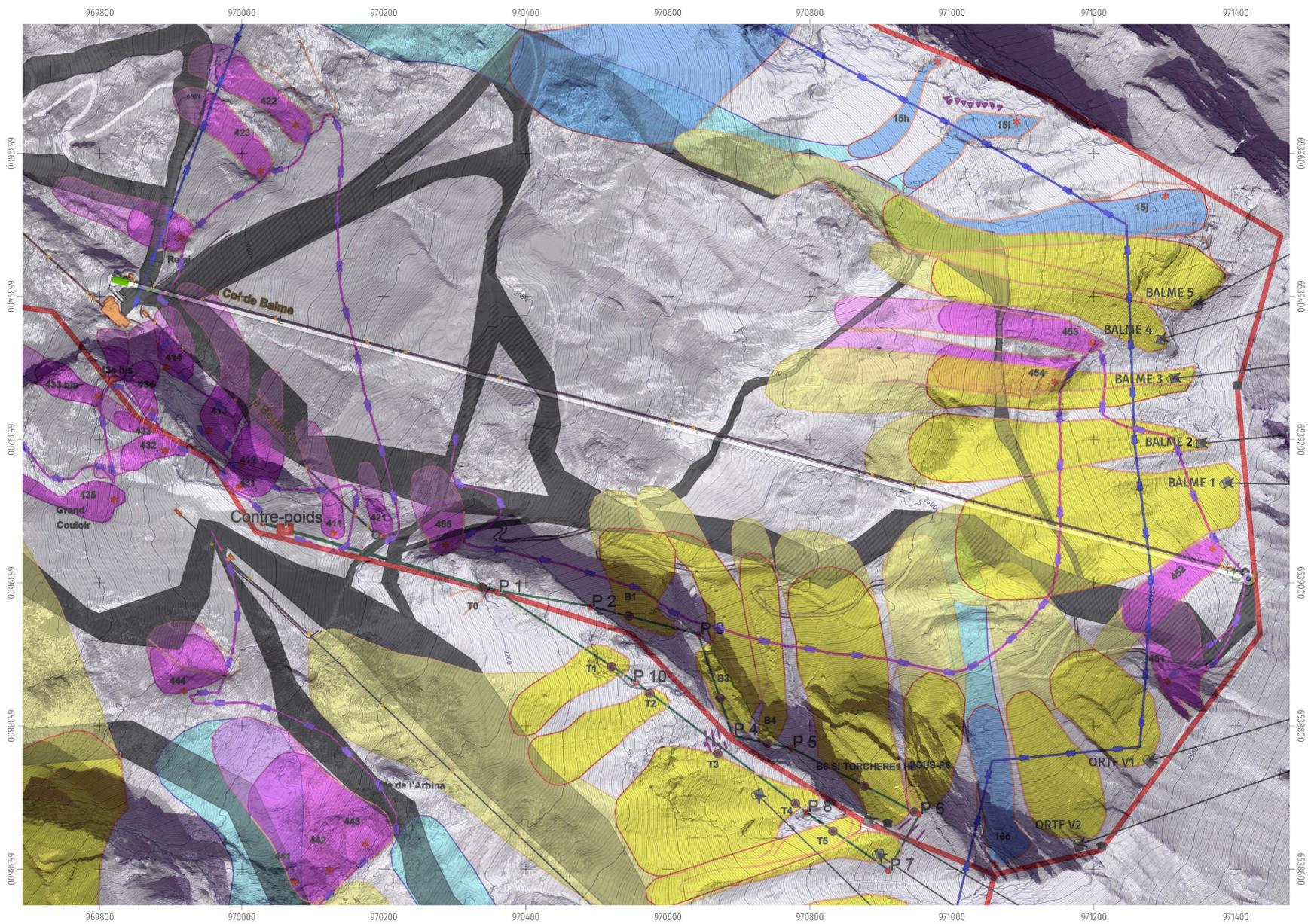


Figure 2.3 – Extrait du PIDA de La Clusaz reporté sur notre fond topographique. Source : service des pistes. L'appareil en projet est reporté en surimpression (tracé blanc). Échelle 1:8 000.

Une copie d'un cahier nous a été remise, dans lequel de nombreuses informations ont été consignées par le service des pistes, depuis les années 1970 jusqu'à aujourd'hui. Nous retenons de la lecture de ce cahier quelques points intéressants pour notre analyse du site.

- En mars 1978 une avalanche est entrée dans le bar du chalet de Barme, enfonçant la porte. À nouveau en janvier 1981 une avalanche atteint la plateforme, s'arrête contre la porte du bar, entre dans la gare du téléski de Bergerie, enfonce la porte du poste de secours.
- En janvier 1978 puis au printemps 1979 de grosses avalanches affectent la pente dite des paravalanches¹ (pas encore présents à l'époque). Les dépôts de neige sont observés sur la piste de Choucas et la piste de Balme, c'est-à-dire autour de 1900 m d'altitude.
- Le premier télésiège du Col de Balme est construit en 1979, mis en service seulement à l'automne 1980. En janvier 1980 une avalanche partie naturellement dans cette même pente touche les pylônes 6 à 8, sans dommage (voir figure 2.4).
- Le catex de Torchère est réalisé en 1984.
- À l'été 1988 le téléski de Bergerie est remplacé par l'actuel TSF3 Poma.
- Le 22 décembre 1991 un tir au catex (B3, voir figure 2.3) donne un résultat exceptionnel : le télésiège de Balme déraille au niveau du P6, la gare aval du télésiège de Bergerie est déplacée, l'alimentation électrique de l'appareil arrachée.
- À l'été 1993 le TSF2 de Balme est remplacé par l'actuel TSF4; le même été sont bâtis sur la plateforme de Barme le garage pour les engins de damage et une salle pour le personnel.
- Hiver 1994-1995 : les trois premiers gazex de Grande Balme sont construits. En 1995 des filets paravalanche équipent la pente des paravalanches citée précédemment. Ils seront démontés au cours des années 2000. En 1996 ce sont les gazex ORTF qui sont construits.

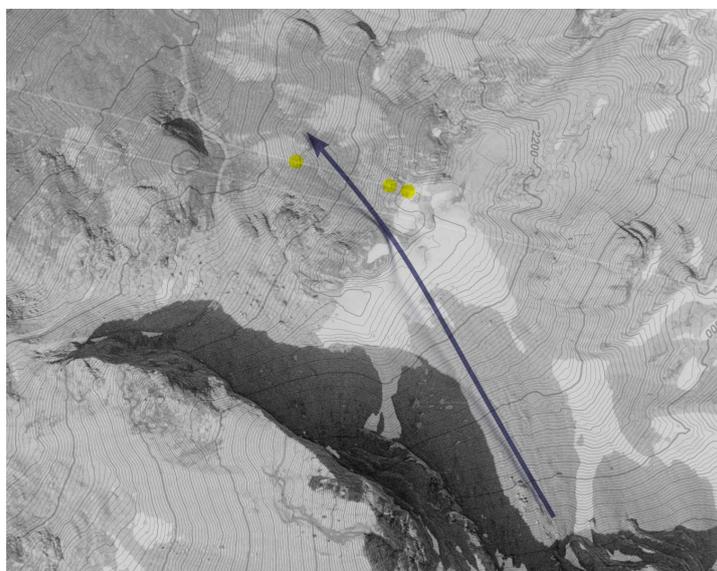


Figure 2.4 – Vue sur l'ancien télésiège de Balme, construit en 1979. Une avalanche issue de la *pente des paravalanches* a touché les pylônes 6, 7, 8 (surlignés ici en jaune). La flèche bleue indique la trajectoire présumée de l'avalanche. L'appareil en projet est reporté en surimpression (tracé blanc). Orthorectification *approximative* d'un cliché aérien de 1980, échelle 1:8 000. Prise de vue aérienne ©IGN.

1. couloir nommé p_{31} dans notre schéma de fonctionnement, figure 2.5

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'IGN et l'IFN² ;
- l'exploitation du levé topographique lidar ;
- nos observations de terrain effectuées le 11 août 2022.

↪ La symbolique utilisée pour les cartes est la suivante :

- traits rouges : délimitation des panneaux déclencheurs intéressant le projet ;
- traits verts : délimitation des panneaux déclencheurs n'intéressant pas le projet ;
- 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 2.5 accompagne les commentaires qui suivent.

Le contexte général du site est celui de la haute montagne, étagé entre 1850 et 2600 m. Cet étage est caractérisé par l'absence de végétation haute. La couverture végétale se limite à une pelouse alpine qui laisse place à des éboulis au-dessus de 2200 m, c'est-à-dire que les indices du passage des avalanches sont ici très ténus, et notre analyse spatiale repose essentiellement sur les formes du relief, parfois l'examen des culots de neige les plus volumineux qui peuvent persister sur les photographies aériennes d'été.

2. plusieurs missions aériennes ont été examinées :

- mission IGN C3530-0021_1980_F3530-3630 du 3 septembre 1980, clichés 59 et 60 ;
- mission IGN C3330-0034_1982_IFN73_IRC du 8 août 1983, clichés 1512 et 1513 ;
- mission IGN C3428-0021_1984_IFN74_IRC du 29 juillet 1984, clichés 1141 et 1142 ;
- mission IGN CN95000014_1995_IFN74_IRC du 4 août 1995, clichés 1034 et 1035 ;
- mission IGN CA00s00932_2000_FD0174_250 du 27 juin 2000, clichés 65 et 66 ;
- mission IGN CA02s00032_2001_FD0073_250 du 13 août 2001, clichés 4797 et 4799 ;
- mission IGN CP09000352_FDF73F45x051 du 31 août 2009, clichés 2883 à 2885.

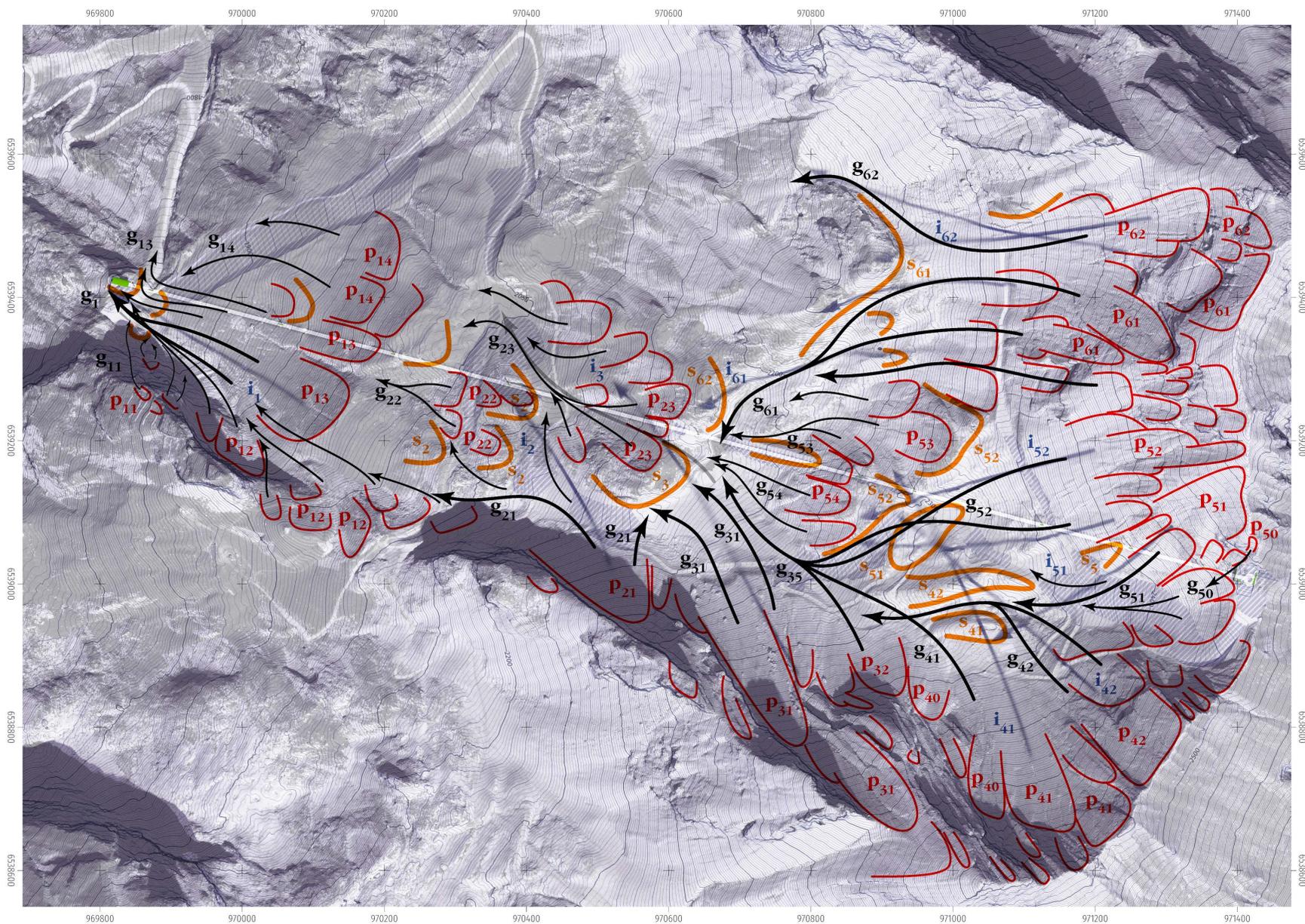


Figure 2.5 – Schéma de fonctionnement des avalanches. Le tracé blanc localise le projet. La topographie représentée incorpore les terrassements du projet (zones de hachures). Échelle 1:8 000. Fond topographique LidarHD IGN, orthophotoplan Géoportail © IGN 2024. Système de coordonnées Lambert 93.

2.4.2 Secteur de la Petite Torchère

Morphologie La partie inférieure de l'installation est située au pied du versant nord très escarpé de la Petite Torchère, qui la domine sur une dénivellation de près de deux cents mètres. C'est une face rocheuse qui recèle peu de zones d'accumulation de la neige au droit de la gare : les vires les plus grandes, notées p_{11} sur la figure 2.5, ont quelques dizaines de mètres carrés de superficie. En se déplaçant vers le sud de cet escarpement on trouve des pentes p_{12} plus vastes (2 ha au total) qui sont sans doute sensibles aux accumulations de neige par les vents de secteur nord-ouest notamment. Ce système de pentes globalement orientées au nord fait place à l'est à un versant régulier (panneaux p_{13} , p_{14}) de près de 3.5 ha incliné à 33° .

Exception fait des panneaux p_{14} , l'ensemble des zones d'accumulation identifiées précédemment³ est drainé dans un relief transversalement convexe qui favorise la concentration des flux sur la plateforme du Chalet de Barme.

Phénomènes Les panneaux p_{11} disséminés dans la barre rocheuse alimentent des coulées de neige de faible volume (trajectoires g_{11}). L'extrême raideur des pentes confère à ces écoulements des vitesses élevées, par conséquent une capacité de dommage plutôt grande au regard des volumes mobilisés. La purge des panneaux p_{12} donne naissance à des avalanches plus volumineuses, à plus forte raison lorsque ces panneaux jouent un rôle de détonateur pour les panneaux p_{13} , conduisant alors à la formation d'avalanches de plusieurs dizaines de milliers de mètres cubes sous des conditions nivo-météorologique sévère. Les phénomènes courants atteignent systématiquement le bas du goulet sur la gare du télésiège de Bergerie et à proximité de la gare du télésiège de Balme. Les avalanches coulantes en conditions rares (période de retour $T \sim 30$ ans) peuvent former des dépôts qui saturent en grande partie la plateforme, trajectoire g_1 . Les avalanches coulantes rapides initiées dans les pentes p_{12} adoptent une trajectoire inertielle i_1 qui touche la gare de Bergerie dans une moindre mesure la gare de départ du projet.

2.4.3 Secteur de la Grande Torchère

La combe de Balme est bordée en rive gauche par l'arête nord-ouest de la Grande Torchère. C'est un ensemble de pentes orientées au nord, étagé entre 2100 et 2600 m qui s'étend sur une largeur de plus d'un kilomètre. Le modelé rocheux de l'arête et la morphologie des cônes d'éboulis nous permettent de scinder ce vaste secteur en trois systèmes probablement indépendants les uns des autres vis-à-vis du fonctionnement avalancheux. Un point commun à ces systèmes est qu'ils occupent une position d'abri derrière les barres rocheuses, parfois fort hautes, lors d'épisodes perturbés de secteur nord-ouest.

Système inférieur

Un large cône d'éboulis identifié p_{21} ⁴ constitue une zone d'accumulation inclinée à 37° sur une superficie d'environ 1.5 ha. Le profil transversal très nettement convexe favorise la formation d'avalanches qui s'étalent, suivant des directions allant du nord-est au nord-ouest, trajectoires g_{21} . Vers 2100 m d'altitude la topographie est marquée par plusieurs convexités s_2 . Sous des conditions nivométriques exceptionnelles, les avalanches les plus volumineuses issues des pentes p_{21} sont efficacement divisées et freinées par ce relief accidenté. Les revers nord-ouest de ces reliefs s_2 constituent de petites zones d'accumulation p_{22} qui donnent lieu à

3. ces zones correspondent aux points de tir par grenadage manuel du PIDA, référencés 4xx

4. point de tir catex référencé B1 au PIDA

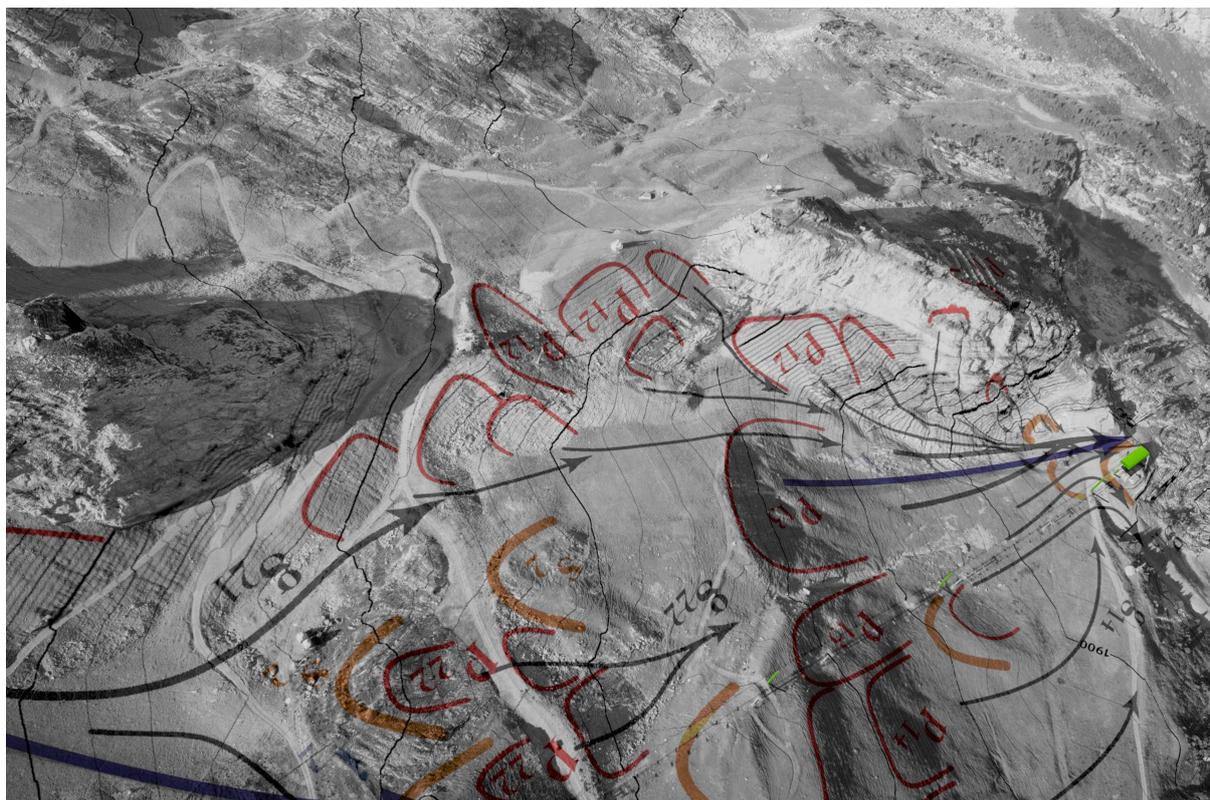


Figure 2.6 – Vue aérienne oblique partielle du schéma de fonctionnement des avalanches au voisinage du projet de gare aval.

des purges sous des conditions d'instabilité marquée. Ce sont des écoulements de faible volume qui s'arrêtent autour de la cote 2020 m, trajectoire g_{22} . Notons que le terrassement prévu au droit du pylône P5 du projet constitue une zone de décrochement probable de coulées. Les avalanches de neige froide et sèche adoptent plusieurs trajectoires sur le panneau conique p_{21} ; nous retenons comme trajectoire principale celle qui est matérialisée par la flèche i_2 : des effets de souffle peuvent affecter l'axe de la remontée mécanique.

Par commodité de présentation, nous associons à ce système inférieur les pentes notées p_{23} , bien qu'elles soient indépendantes sur un plan fonctionnel. Ce sont des avalanches coulantes de taille moyenne qui parcourent ce vallon, croisant l'axe de la ligne entre 2150 et 2100 m, trajectoire g_{23} .

Système médian

C'est un long couloir orienté au nord-ouest. On y distingue un étage de deux panneaux notés p_{31} ⁵. Leur superficie cumulée de près de 5 ha, leur étage à haute altitude entre 2200 et 2550 m, leur profil transversal légèrement convexe, enfin la rectitude de leur tracé en font une zone de déclenchement de grandes avalanches y compris sous des conditions nivométriques ordinaires. Les flux d'avalanches coulantes suivent les trajectoires g_{31} . Le bas de la pente est obstrué par un large promontoire s_3 , formant à son pied une zone en dépression favorable à l'arrêt et au stockage des flux. Lors d'épisodes perturbés rares ($T \sim 30$ ans) il est probable qu'une partie des flux franchissent ce verrou par l'ouest et par l'est, rejoignant ainsi les trajectoires g_{21} , g_{23} pour se déposer autour de la cote 2100 m. Sous ces conditions rares le

5. points de tir catex référencés B3, B4, B6, et gazex 1.5 m³ de Torchère

projet d'appareil est touché par les écoulements au franchissement du verrou s_3/s_{62} .

Comme on l'a dit précédemment les caractéristiques du site favorisent l'occurrence de grandes avalanches. La régularité du profil permet que se développent des avalanches en aérosol entretenues par une forte reprise entre 2200 et 2300 m. Nous retenons l'axe i_3 comme direction principale du flux, bien que là encore un faisceau de trajectoires multiples soit possible. Les outils de l'analyse spatiale seuls ne permettent pas d'estimer précisément le potentiel de dommage de ces phénomènes sur la ligne, mais il est plausible que sous des conditions nivo-météorologiques sévères des dégâts puissent être déplorés (échelles ou passerelles endommagées, véhicules chahutés).

Système amont

Le secteur présente un ensemble de larges pentes organisées en cirque, formant une grande réserve de zones d'accumulation p_{40} à p_{42} ⁶. La superficie mobilisable est estimée à 6.5 ha : les avalanches qui s'y produisent, notamment en cas de déclenchement simultané de tout ou partie de ces panneaux, peuvent être très volumineuses. Toutefois :

- la dénivellation des sections raides est moindre que dans le système précédent, soit à peu près 200 m de pentes inclinées à plus de 35°;
- le terrain est très accidenté au-dessous de 2350 m : un modelé typique de glacier rocheux forme des bourrelets s_{41} , s_{42} de mensurations hectométriques⁷ ;
- l'orientation générale du vallon dévie les flux vers le nord-ouest.

Il résulte que les avalanches coulantes gravitaires, même de grand volume, sont tenues à bonne distance du projet, suivant les trajectoires g_{41} , g_{42} , g_{35} .

S'agissant des avalanches rapides, il faut envisager pour ce système deux trajectoires inertielles principales i_{41} , i_{42} . La plupart des phénomènes voient leur énergie nettement dissipée au passage des singularités s_4 et s_{51} ; nous estimons que les effets dommageables sur l'appareil demeurent faibles.

2.4.4 Secteur de la Roualle

Il s'agit des versants ouest et sud-ouest de la Roualle. Comme précédemment avec la rive gauche, nous scindons ce secteur de la rive droite de la combe de Balme en deux systèmes. Ils sont suffisamment cloisonnés pour considérer qu'ils n'entretiennent pas de relation fonctionnelle forte. Si comme précédemment pour la rive gauche on cherche un point commun à ces systèmes, c'est leur moindre sensibilité aux accumulations de neige transportée par les vents dominants qu'il faut signaler.

Système sud-ouest

Morphologie Ce sont deux facettes d'orientation sensiblement différente qui délimitent les panneaux p_{51} et p_{52} . La superficie cumulée des pentes inclinées à 35° est d'environ 6 ha. L'exposition générale au sud-ouest favorise un retour plus rapide à la stabilité du manteau neigeux par rapport aux pentes nord du secteur décrit précédemment ; l'activité avalanche associée aux chutes de neige récente y est sans doute moins fréquente, moins intense. En revanche le même critère d'exposition favorise l'activité avalancheuse d'isothermie. Ces pentes

6. points de tir gazex ORTF V1, ORTF V2, grenadage hélico H6 et 16c

7. il est très probable que ces reliefs soient efficacement nivelés par les dépôts des premières avalanches chaque hiver

dominant le fond de vallon accidenté décrit précédemment (reliefs s_4 , s_{51}). La zone s_{51} forme un replat imposant qui est en mesure d'intercepter de grands volumes de neige.

En contrebas de ces zones de dépôt intermédiaires, un ressaut d'une cinquantaine de mètres de dénivellation localise les panneaux p_{53} et p_{54} qui constituent des zones de départ d'avalanches de petite dimension.

Pour compléter notre description de la morphologie du système il convient de mentionner la présence du petit couloir nommé p_{50} . D'une superficie d'à peine 500 m^2 il forme toutefois une zone d'accumulation qui menacerait la gare amont du projet s'il n'était pas prévu qu'elle soit enterrée.

Phénomènes Le versant sud-ouest de la Roualle est somme toute assez peu compartimenté, de sorte qu'une purge simultanée des panneaux p_{51} et p_{52} n'est pas exclue en cas d'instabilité très marquée du manteau neigeux. L'activité avalancheuse consécutive à un épisode de neige peut prendre la forme d'avalanches de neige sèche rapides au comportement inertiel. Nous identifions trois trajectoires principales parmi la multitude des directions que peuvent suivre ces phénomènes : les flux i_{51} provenant du panneau p_{51} suivent deux directions divergentes sous l'effet de l'arête s_5 , tandis que les flux issus du panneau p_{52} se propagent dans la combe s_{51} , préférentiellement sur sa rive droite, trajectoire i_{52} . Le projet de remontée mécanique est concerné par ces phénomènes ; notons que le franchissement du relief s_5 peut être considéré comme un point de moindre intensité des efforts.

De façon similaire pour les écoulements gravitaires, nous identifions des flux scindés de part et d'autre de la singularité s_5 . Le projet de remontée mécanique est impacté par ces phénomènes. Les avalanches coulantes rapides mobilisant une couche de neige épaisse ont une capacité de dommage significative, liée :

- à la composante cinétique de la pression dans les portions raides du versant lorsque les flux sont animés d'une vitesse élevée,
- et à la composante hydrostatique de la pression au pied des pentes, lorsque les flux ralentissent et voient leur épaisseur augmenter.

Les panneaux p_{53} , p_{54} alimentent des avalanches de taille modeste. Le nouvel appareil est concerné par ces phénomènes, sans qu'ils constituent une menace forte.

Le couloir p_{50} enfin alimente de petites coulées qui se déversent à l'entrée du projet de gare amont. Le bâtiment partiellement enterré (voir figure 2.7) sera probablement peu menacé par ces coulées, mais il faut remarquer que les purges sans doute très fréquentes peuvent entraver le fonctionnement de l'appareil si rien n'est prévu pour évacuer gravitairement les dépôts de neige en entrée de gare⁸.

Système ouest

Bien que déjà éloignée des enjeux étudiés, nous examinons la face ouest de la Roualle. Culminant à près de 2600 m la face escarpée se développe sur une dénivellation de 300 m inclinés à plus de 40° au-dessus de 2450 m. Nous schématisons grossièrement la multitude de panneaux d'accumulation de la face en deux groupes p_{61} et p_{62} , simple artifice permettant de distinguer les volumes de neige qui seront transférés respectivement vers le sud-ouest et vers l'ouest du gros promontoire s_{61} . En ignorant d'emblée les pentes p_{62} , nous estimons à environ 6 ha la superficie des zones de départ susceptibles d'alimenter des écoulements en direction du sud-ouest.

8. la raideur du versant permet de modéliser localement à peu de frais une déviation du flux à l'ouest de la gare

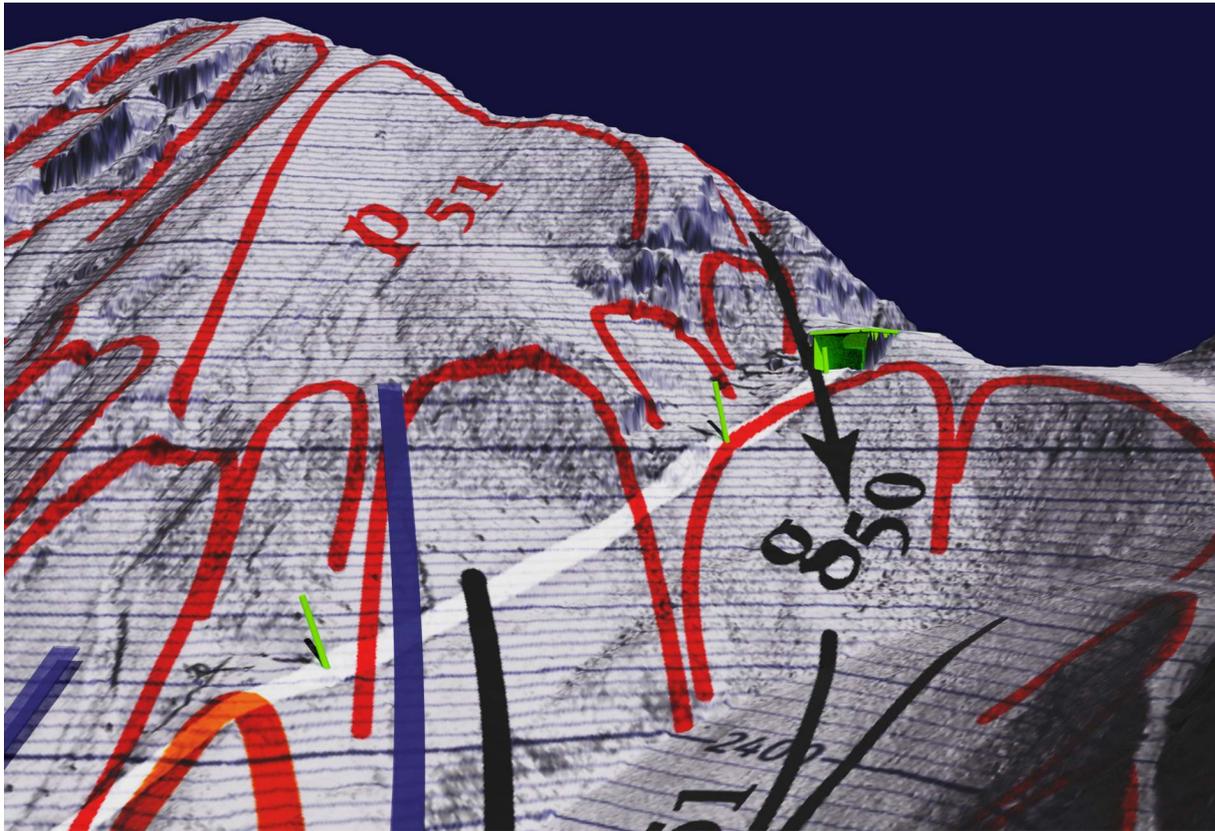


Figure 2.7 – Vue oblique partielle du schéma de fonctionnement des avalanches au voisinage du projet de gare amont. Le bâtiment figuré en jaune sur le schéma est intégré dans un terrassement.

Au-dessous de 2300 m, c'est-à-dire entre les promontoires s_{52} et s_{61} le profil transversal du versant devient nettement concave, forçant les écoulements à la convergence. Les dépôts de grandes avalanches coulantes, trajectoire g_{61} , se déposent dans le talweg, jusqu'à croiser la ligne à 2180 m. Compte tenu de la hauteur probablement importante des dépôts, on considère que la composante hydrostatique de la pression sera ici prépondérante, leur conférant une capacité de dommage significative.

Les avalanches inertielles de la face peuvent là aussi suivre de multiples trajectoires ; outre les flux i_{62} qui ne concernent pas le projet, il faut considérer que certaines avalanches rapides peuvent suivre la trajectoire i_{61} , animées d'une vitesse encore importante au franchissement du relief s_{62} . Les effets de souffle de ces avalanches peuvent occasionner des désordres à l'appareil.

2.5 Synthèse

La remontée mécanique projetée est concernée par une activité avalancheuse dont localement l'intensité est potentiellement forte. Il faut toutefois souligner que :

- le tracé du nouvel appareil est presque identique à celui du TSF4 de Balme, qui est exploité depuis bientôt une trentaine d'années sans souci majeur ;
- le PIDA a été mis en œuvre pendant près de cinquante années d'exploitation du domaine skiable, ce qui manifestement montre qu'il est possible de garantir l'intégrité de l'appareil dans un contexte avalancheux menaçant à l'aide de déclenchements préventifs ;
- sur le plan constructif, les efforts d'avalanches imposés à la ligne peuvent être supportés par des pylônes spécifiquement dimensionnés dès lors que les avalanches sont traitées dans le cadre du PIDA. Si le PIDA devait être défaillant, des avalanches mobilisant un gros volume de neige sont susceptibles de créer des sollicitations très fortes sur les pylônes, avec des intensités qui sont difficiles à supporter par des structures auto-renforcées. Un complément de protection nécessiterait des ouvrages spécifiques de protection (tels que des étraves).

La gare de départ du projet se situe au même endroit que l'actuelle gare. Celle-ci n'a pas été impactée par des avalanches au cours des trente dernières années (le TSF de Balme a été construit en 1993). Sous des conditions nivo-météorologiques rares, il est toutefois possible que des dépôts d'avalanches atteignent l'installation, *a fortiori* en cas de défaillance du PIDA. Lorsque le PIDA est opérationnel, la plupart des dépôts de neige au voisinage de cette gare sont de faible épaisseur compte tenu de l'élévation importante de la plateforme par rapport au terrain naturel.

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 1993, 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 avalanches » par Christophe Ancey (Presses Polytechniques Fédérales de Lausanne, Lausanne, 2006). Nous utilisons actuellement la version AVAC 3.1. Depuis l'été 2019, le code AVAC a été rendu librement téléchargeable depuis GitHub ; 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 $\bar{u}(x, y, t)$ et sa hauteur $h(x, t)$. La masse volumique est supposée constante. 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

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

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

3.1.2 Paramètres utilisés pour le calcul

Les deux paramètres μ et ξ doivent être ajustés à partir des données de terrain. Il s'agit plus d'une modélisation conceptuelle du frottement que physique car les paramètres ne sont pas mesurables. Le tableau 3.1 reporte les valeurs utilisées pour les calculs (l'épaisseur d_0 est l'épaisseur de neige qui sert à estimer l'épaisseur de la cassure dans les zones de départ, c'est-à-dire dans la tranche 1950–2550 m)². 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.

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

	avec <i>pida</i>		sans <i>pida</i>	
	$T = 30$	$T = 100$	$T = 30$	$T = 100$
d_0 (cm)	60	75	150	180
H (cm)	240	300	240	300
μ (-)	0,35	0,30	0,30	0,25
ξ (m·s ⁻²)	800	1000	900	1200
ρ (kg·m ⁻³)	300	300	300	300

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. Les épaisseurs de neige au sol sont corrigées en tenant compte d'un gradient hypsométrique de 3 cm par tranche de 100 m d'altitude. Le principe du calcul est explicité dans la note suivante : Burkard, A., und B. Salm, *Die Bestimmung der mittleren Anrissmächtigkeit d_0 zur Berechnung von Fliesslawinen*, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos, 1992

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 T :**
 - **avalanches rares**, $T \sim 30$ ans. Cette période de retour correspond à la durée usuelle d’amortissement d’une remontée mécanique.
 - **avalanches exceptionnelles**, $T \sim 100$ ans. Cette période de retour est celle considérée dans le zonage avalanche pour les secteurs urbanisés.

Prendre une période de retour $T = 30$ ans implique que le maître d’ouvrage accepte la survenue d’une défaillance majeure sur l’appareil au cours de sa durée d’exploitation, alors que prendre $T = 100$ ans implique qu’il considère que le risque à considérer est similaire à celui accepté pour des habitations permanentes en France dans le cadre actuel des PPR. Dans les calculs, nous avons considéré que la période de retour de l’avalanche coïncidait avec celle des chutes de neige.

- 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.
- 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.
- 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.
- **On considère deux types de scénarios prenant en compte ou non le PIDA :**
 - *avalanche naturelle*: l’action du PIDA est ignorée (on se place dans le cas de figure très défavorable où le PIDA n’aurait pu être mené à bien pendant plusieurs jours); dans ce cas, c’est tout le volume de neige accumulée sur trois jours qui est mobilisé. Pour un scénario (signalé par la mention « naturelle » dans le tableau 3.1), l’action du PIDA n’est pas prise en compte;
 - *avalanche déclenchée dans le cadre d’un PIDA*: dans ce cas, on considère que c’est le cumul de neige journalier peut qui est mobilisé par l’avalanche (signalé par la mention « pida » dans le tableau 3.1).
- 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), qui ne sont pas significatifs pour une structure telle qu’un télésiège.

- Pour les efforts des avalanches, on distingue³ :
 - *pression cinétique* : c’est la pression d’impact

$$p_c = \frac{1}{2} \rho \bar{u}^2$$

exercée par l’avalanche quand elle est dans un régime inertiel et rencontre un obstacle de petites dimensions ;

- *pression « hydrostatique »* : c’est une poussée de type hydrostatique

$$p_h = C_d \rho g h$$

exercée par l’avalanche quand elle est dans un régime gravitaire. Elle dépend d’un coefficient de traînée C_d ici pris égal à 4.

Dans la phase d’écoulement sur un versant ouvert, la pression est généralement une pression cinétique. Pour des avalanches en régime gravitaire, la pression est surtout due à la poussée de la neige à l’amont du pylône, surtout s’il y a confinement de l’écoulement (du fait du terrain naturel ou si l’avalanche se chenalise entre deux bourrelets latéraux). On définit une pression maximale comme étant :

$$p_{max} = \max(p_c, p_h), \quad (3.1)$$

pour les zones et phases d’écoulement préférentiellement en régime gravitaire.

La réglementation pourrait imposer à court terme d’imposer la prise en compte de la rep-tation 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, 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.

3. Voir Kyburz, M., B. Sovilla, J. Gaume, and C. Ancey, Physics-based estimates of drag coefficients for the impact pressure calculation of dense snow avalanches, *Engineering Structures*, **254**, 113478, 2022.

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 dans le cadre d'un PIDA

↪ Voir : cartes 3.2 et 3.3 pour $T = 30$ ans ; cartes 3.4 et 3.5 pour $T = 100$ ans. Coordonnées Lambert 93. Échelle 1 : 8000.

Les simulations montrent que la ligne traverse plusieurs panneaux, dont la purge provoque des avalanches de petite taille. Les écoulements sont peu épais (de l'ordre de 80 cm dans la zone d'écoulement, et des dépôts de l'ordre de 6 m dans la zone de dépôt près de la G1). Des effets de souffle légers peuvent plâtrer la gare. Quoique le volume de neige corresponde au cumul journalier de neige, les pressions cinétiques sont localement significatives (entre 30 kPa et 40 kPa), et dans la zone de dépôt, on peut potentiellement atteindre des valeurs de poussée hydrostatique dépassant 80 kPa. Dès la période de retour $T = 30$ ans, la gare de départ est touchée par des avalanches en fin de vie ; des hauteurs de dépôt de l'ordre de 2 m à 4 m sont probables pour de telles avalanches.

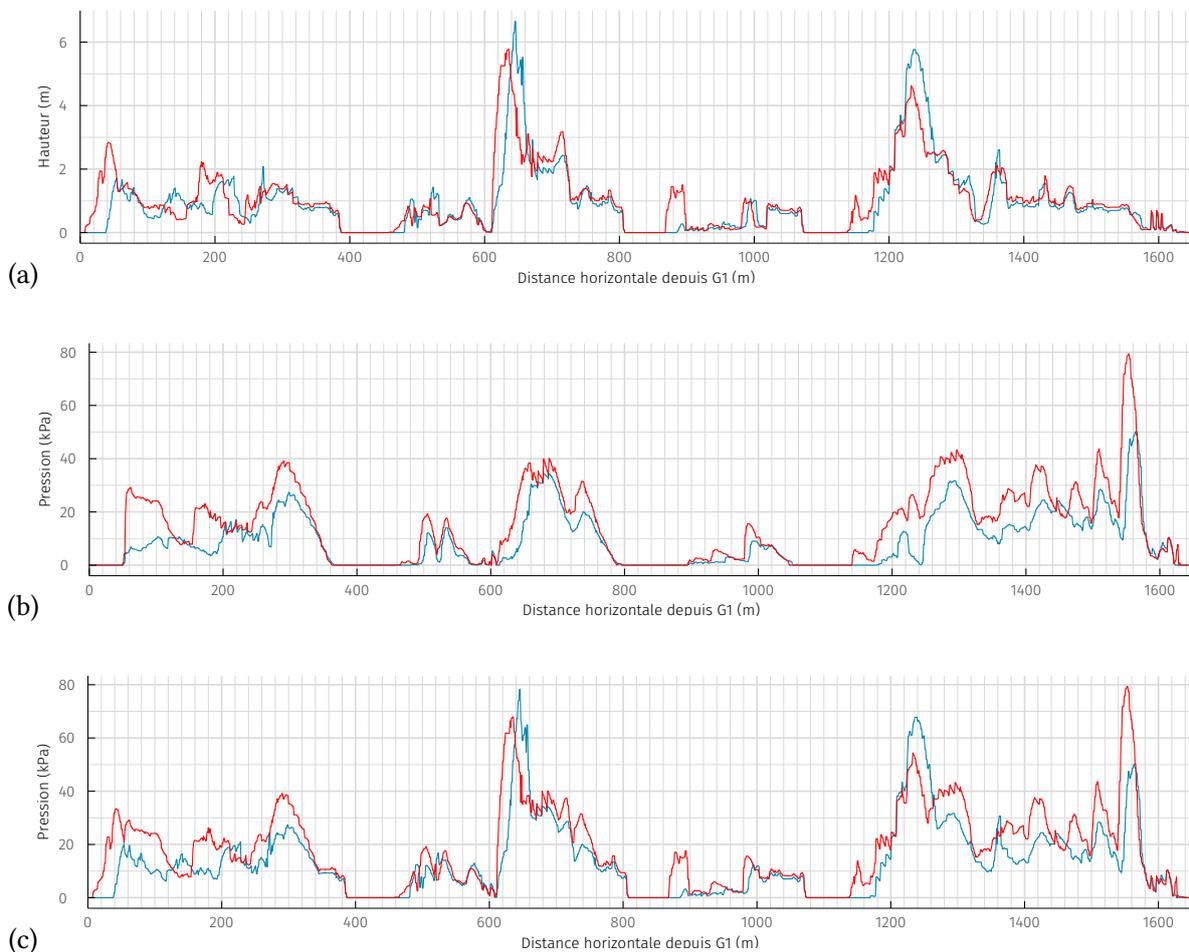


Figure 3.1 – Variation de (a) la hauteur d'écoulement, (b) la pression cinétique, et (c) la pression maximale – calculée selon l'équation (3.1) – le long de la ligne du TSD pour des avalanches $T = 30$ ans (trait bleu) et $T = 100$ ans (trait rouge) dans le cadre d'un PIDA.

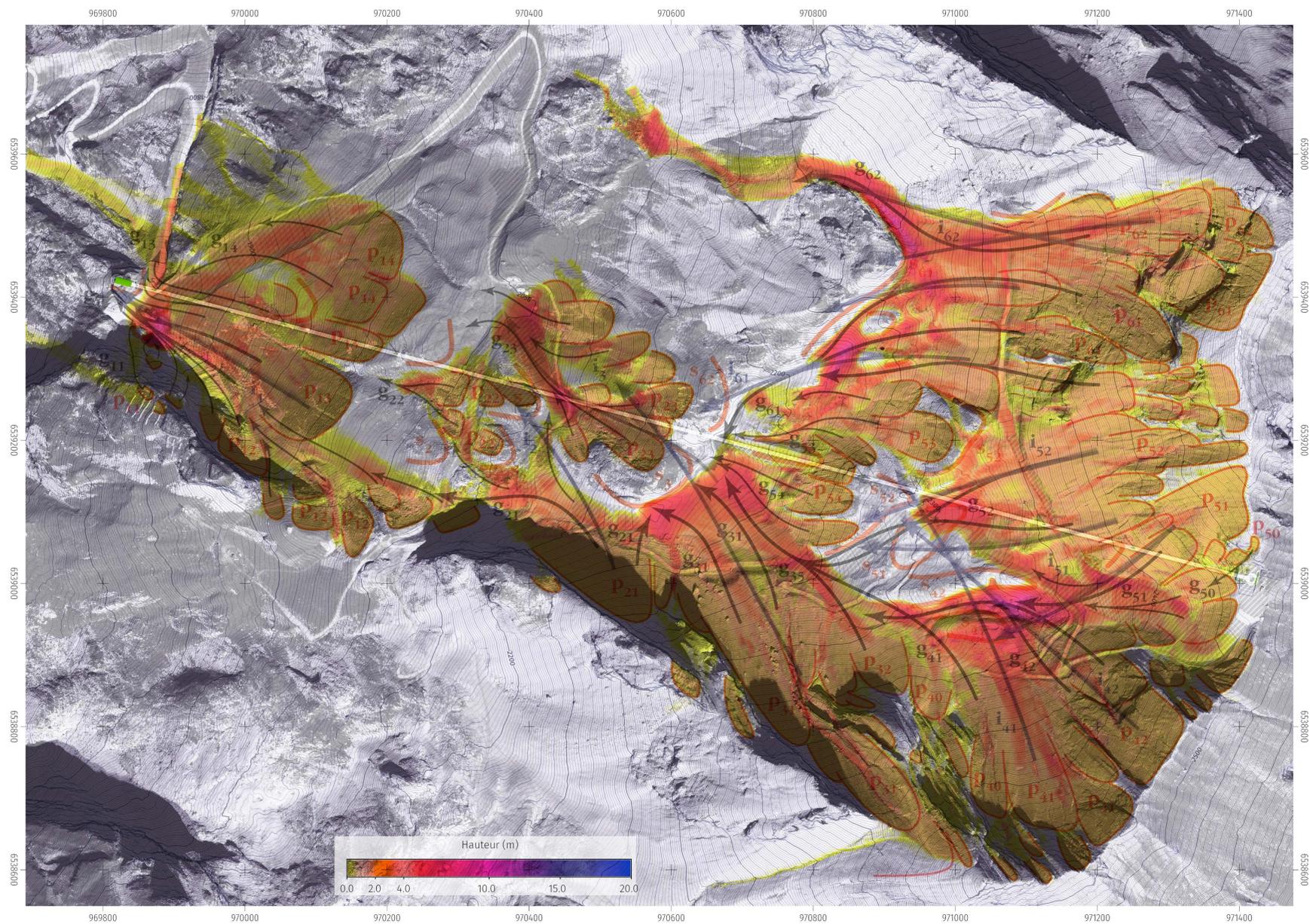


Figure 3.2 – Carte des simulations numériques montrant l’emprise maximale et la variation des hauteurs maximales pour $T = 30$ ans et des avalanches coulantes dans le cadre d’un PIDA. Échelle 1:8 000.

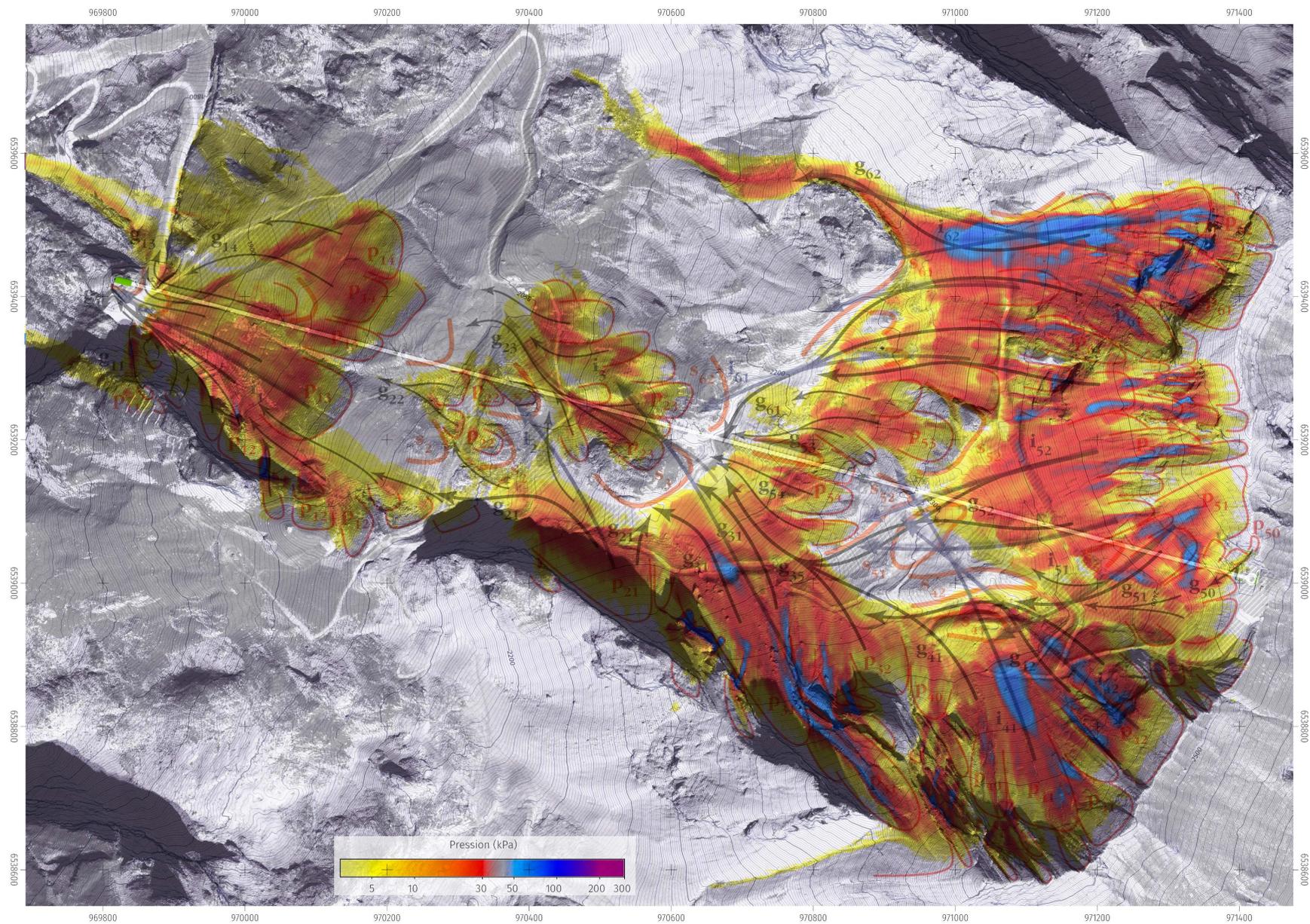


Figure 3.3 – Carte des simulations numériques montrant l’emprise maximale et la distribution des pressions cinétiques $p = \frac{1}{2}\rho\bar{u}^2$ maximales au sein de l’avalanche pour $T = 30$ ans dans le cadre d’un PIDA. Échelle 1:8 000.

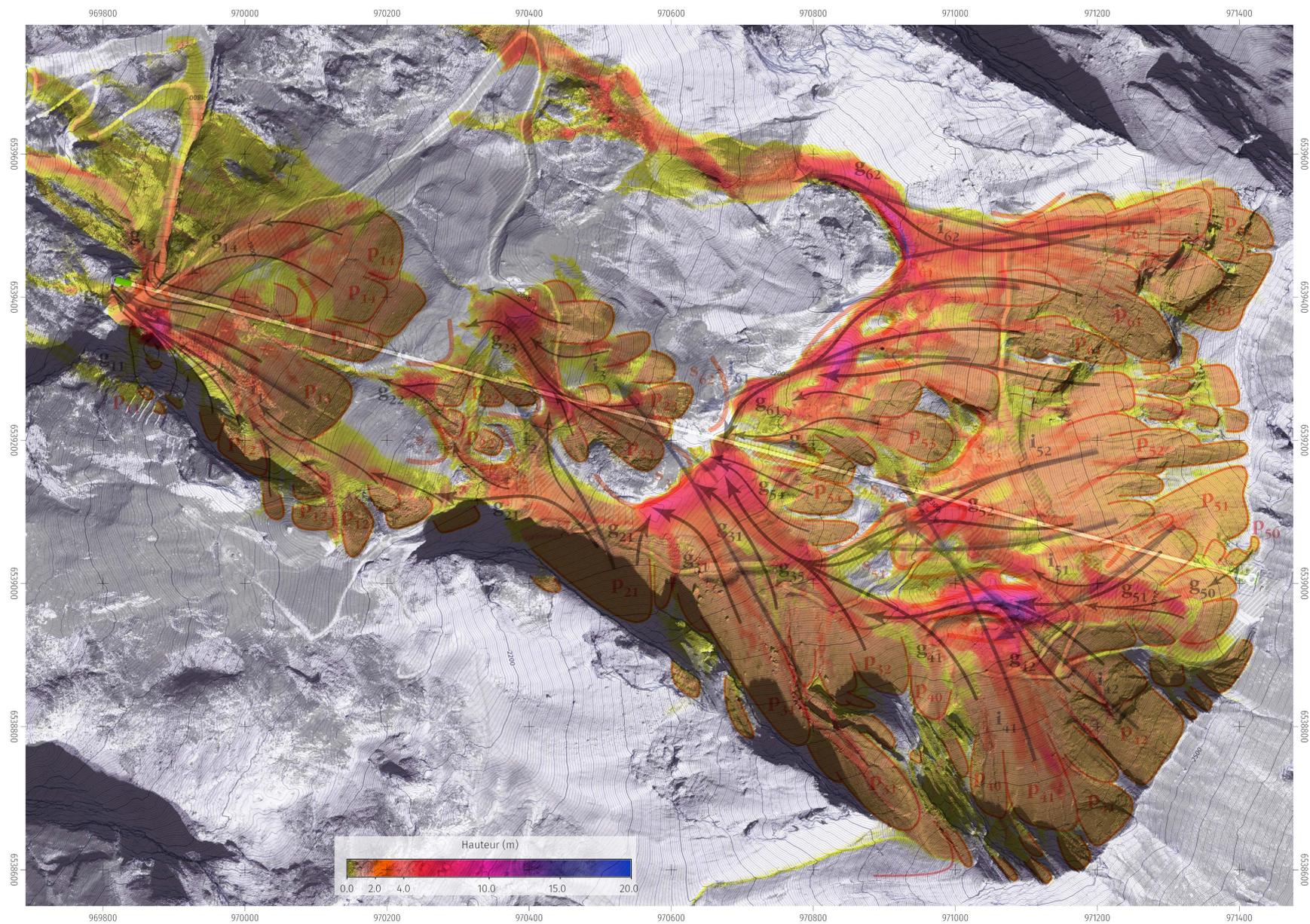


Figure 3.4 – Carte des simulations numériques montrant l’emprise maximale et la variation des hauteurs maximales pour $T = 100$ ans et des avalanches coulantes dans le cadre d’un PIDA. Échelle 1:8 000.

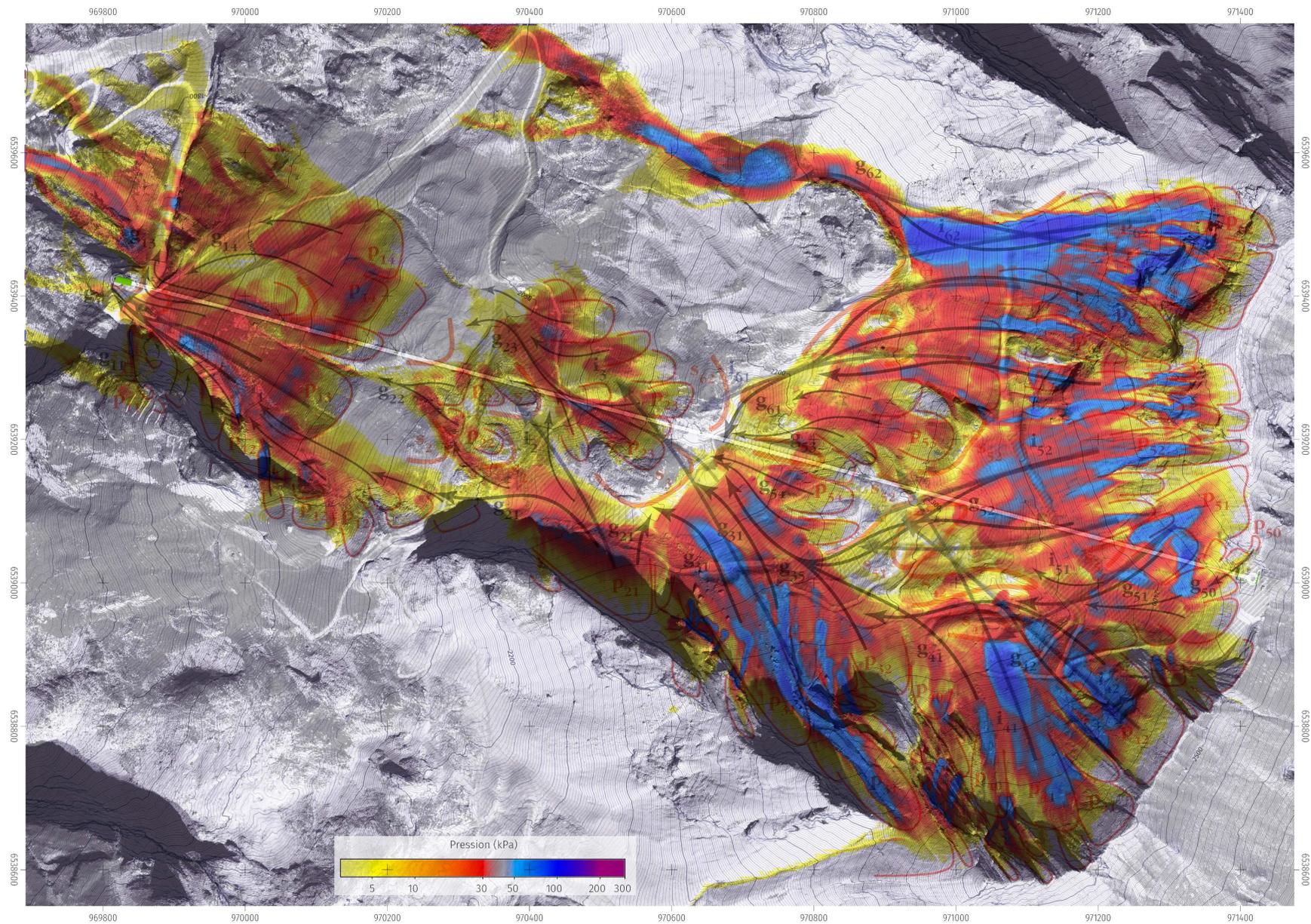


Figure 3.5 – Carte des simulations numériques montrant l’emprise maximale et la distribution des pressions cinétiques $p = \frac{1}{2}\rho\bar{u}^2$ maximales au sein de l’avalanche pour $T = 100$ ans dans le cadre d’un PIDA. Échelle 1:8 000.

3.2.2 Avalanches naturelles

↪ Voir : cartes 3.7 et 3.8 pour $T = 30$ ans ; cartes 3.9 et 3.10 pour $T = 100$ ans. Coordonnées Lambert 93. Échelle 1 : 8000.

En mobilisant des volumes de neige significativement plus importants (plus d'un facteur 2), les avalanches naturelles génèrent des pressions cinétiques (jusqu'à 120 kPa) et des poussées hydrostatiques (dans la fourchette 100 kPa à 200 kPa) dans certains secteurs. La gare de départ est particulièrement exposée, avec un risque important de dommages à la structure. Les emprises sont également plus étendues que pour les avalanches déclenchées dans le cadre du PIDA.



Figure 3.6 – Variation de (a) la hauteur d'écoulement, (b) la pression cinétique, et (c) la pression maximale – calculée selon l'équation (3.1) – le long de la ligne du TSD pour des avalanches naturelles $T = 30$ ans (trait bleu) et $T = 100$ ans (trait rouge).

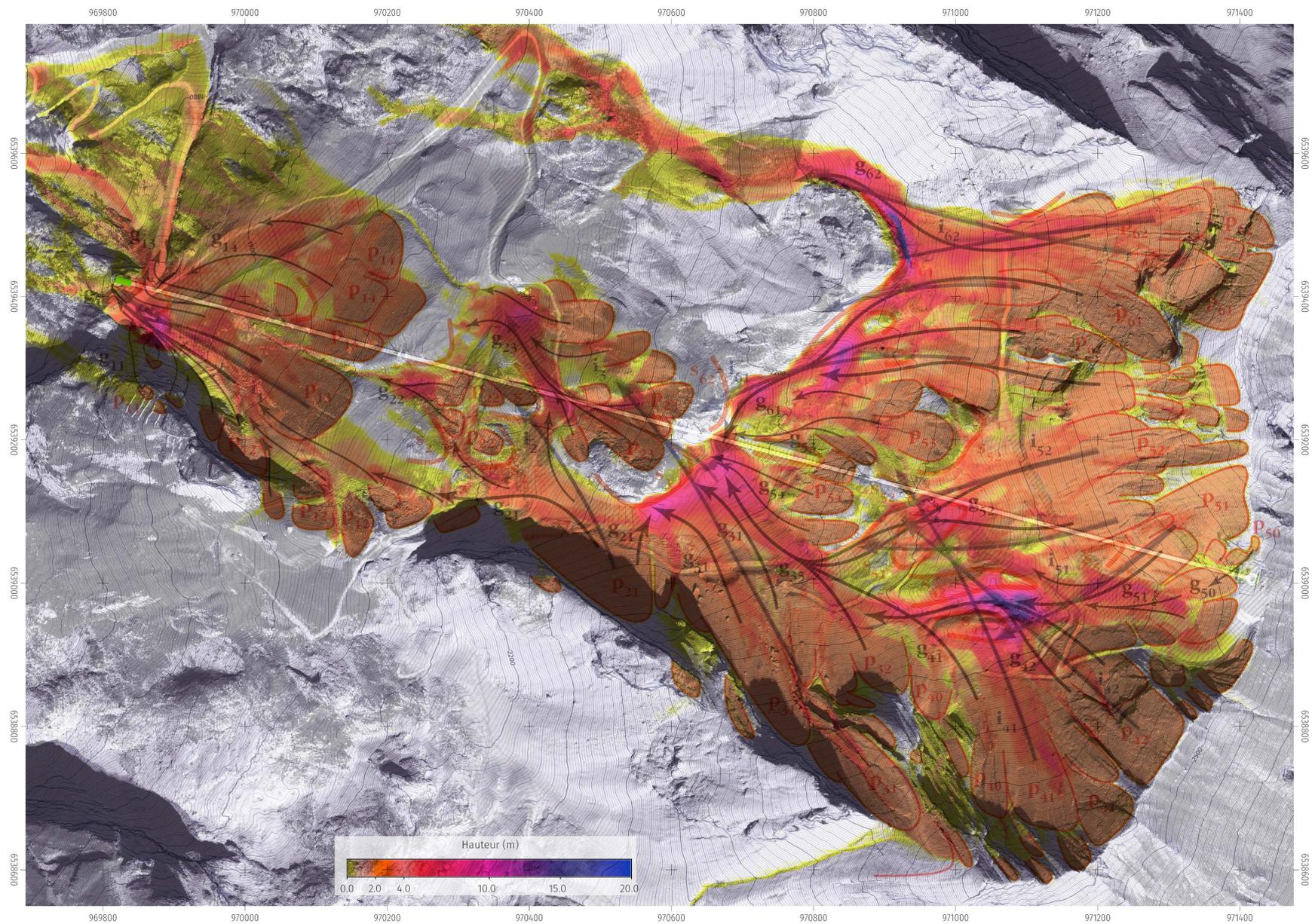


Figure 3.7 – Carte des simulations numériques montrant l’emprise maximale et la variation des hauteurs maximales pour $T = 30$ ans et des avalanches coulantes naturelles. Échelle 1:8 000.

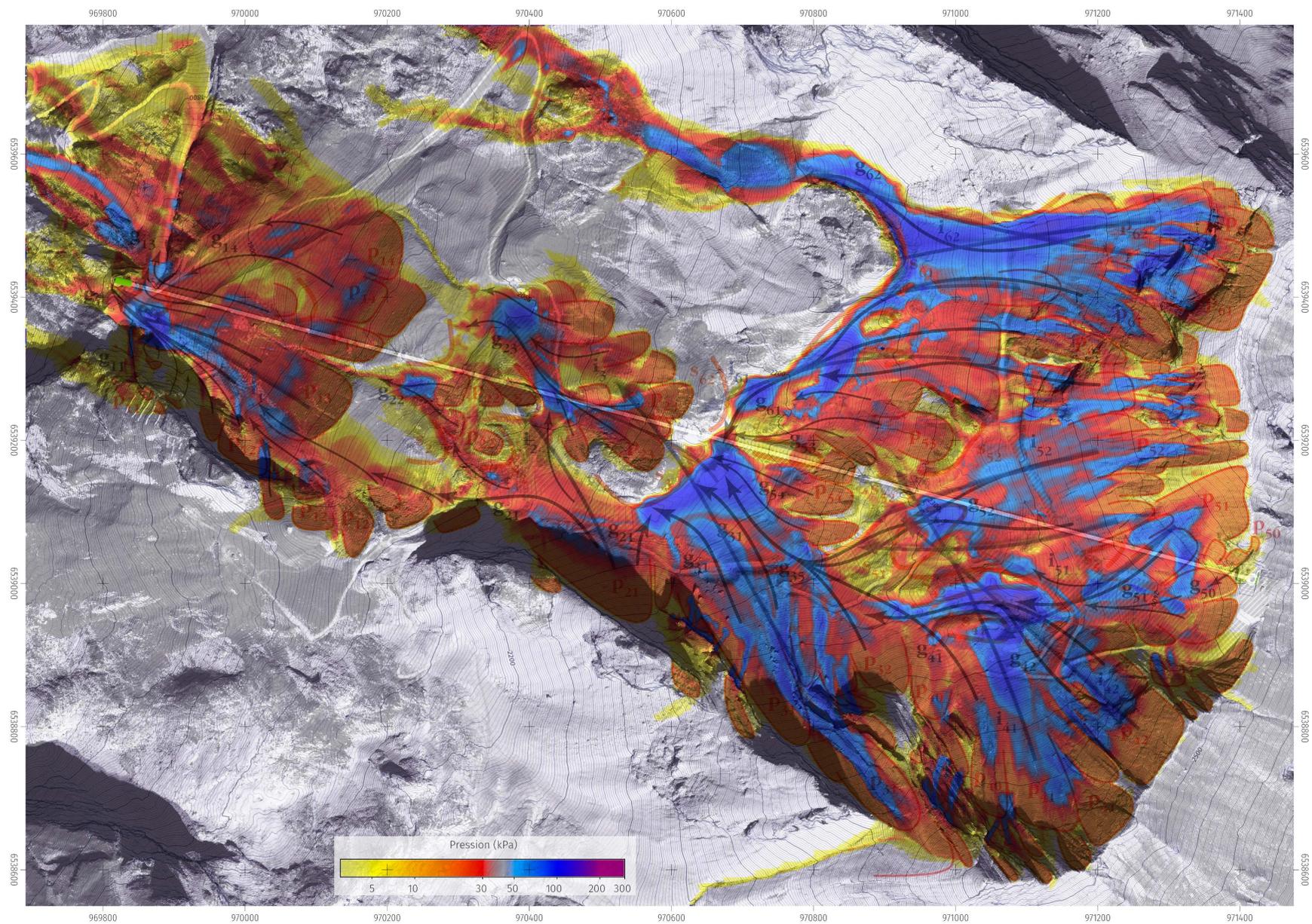


Figure 3.8 – Carte des simulations numériques montrant l’emprise maximale et la distribution des pressions maximales pour $T = 30$ ans et des avalanches coulantes naturelles. Échelle 1:8 000.

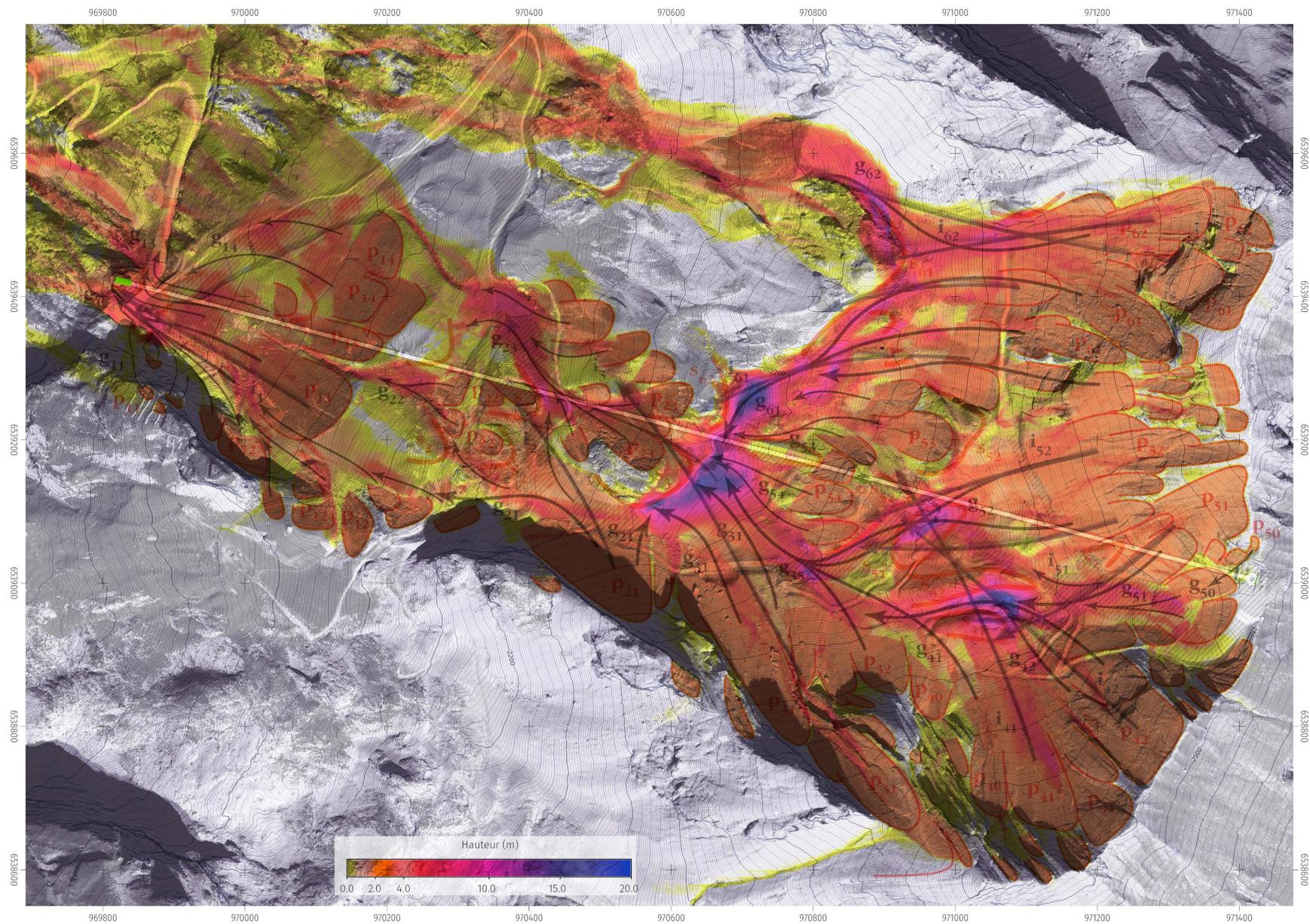


Figure 3.9 – Carte des simulations numériques montrant l’emprise maximale et la variation des hauteurs maximales pour $T = 100$ ans et des avalanches coulantes naturelles. Échelle 1:8 000.

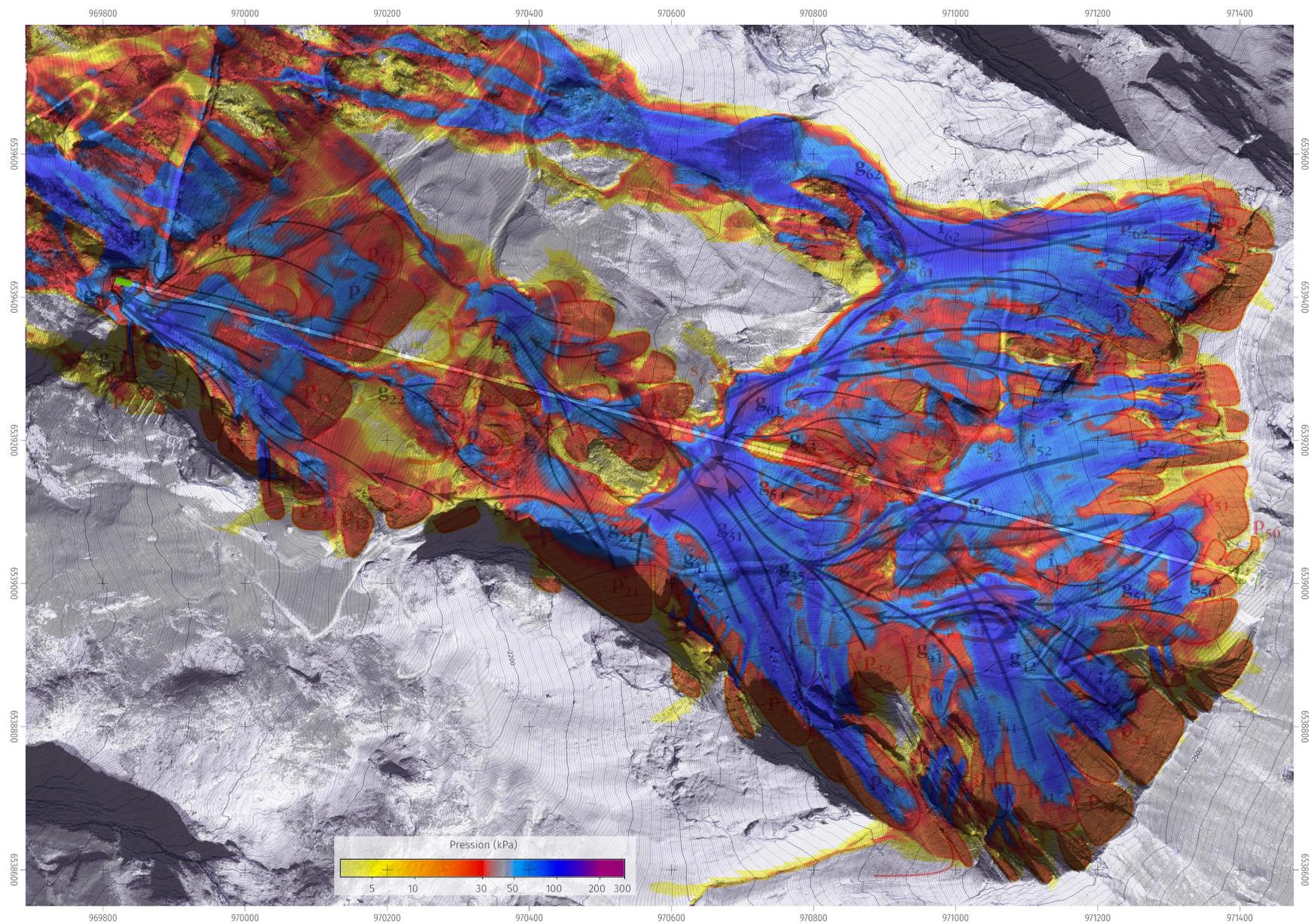


Figure 3.10 – Carte des simulations numériques montrant l’emprise maximale et la distribution des pressions maximales pour $T = 100$ ans et des avalanches coulantes naturelles. Échelle 1:8 000.

Synthèse

Le choix du scénario pour le dimensionnement des pylônes est à la discrétion du maître d'ouvrage. Ce choix est motivé par les deux considérations suivantes :

- l'acceptation d'un risque « industriel » plus ou moins important. Prendre une période de retour $T = 30$ ans implique que le maître d'ouvrage accepte la survenue possible d'une défaillance majeure sur cet appareil au cours de sa durée d'exploitation (au moins la période d'amortissement usuelle), alors que prendre $T = 100$ ans implique qu'il considère que le risque à considérer est similaire à celui accepté pour des habitations permanentes en France dans le cadre actuel des plans de prévision des risques (PPR) ;
- le degré de confiance apporté par le PIDA actuel. Si le maître d'ouvrage considère que le PIDA est effectif dans toutes les situations critiques, il peut considérer que le scénario pour le dimensionnement implique une avalanche dite accidentelle¹. Dans le cas contraire, si le maître d'ouvrage considère que le PIDA peut connaître une défaillance, alors il faudrait opter pour un scénario d'avalanche dite naturelle². Cette distinction entre PIDA fonctionnel et PIDA défaillant est importante pour évaluer le volume de neige mobilisable par l'avalanche de projet (voir § 3.1).

1. La terminologie est peu heureuse car une « avalanche accidentelle » est souvent comprise comme une « avalanche associée à un accident » alors que c'est l'antonyme d' « avalanche naturelle ». Toutefois, cette terminologie étant consacrée par la pratique, nous l'employons ici. Une avalanche accidentelle est une avalanche dont le départ est provoqué par une intervention humaine.

2. Une avalanche naturelle est une avalanche dont le départ est spontané (sans intervention humaine)

L'étude s'est fondée sur quatre scénarios d'avalanche de projet :

- (1) avalanche accidentelle rare ($T \sim 30$ ans) dans le cadre d'un PIDA,
- (2) avalanche accidentelle exceptionnelle ($T \sim 100$ ans) dans le cadre d'un PIDA,
- (3) avalanche naturelle rare ($T \sim 30$ ans) en cas de défaillance du PIDA, et
- (4) avalanche naturelle rare ($T \sim 100$ ans) toujours en cas de défaillance du PIDA.

Les tableaux 4.1 à 4.4 fournissent les efforts (pression et hauteur d'écoulement) pour chacun des tronçons de la ligne du TSD. Dans les diagrammes, lorsque les segments de ligne étaient concernés par des avalanches provenant à la fois du versant Grande Torchère et de celui de la Roualle, nous avons indiqué deux angles d'incidence distincts. Voici le détail des résultats pour chacun des quatre scénarios :

- (1, 2) **Le TSD projeté est soumis à un risque significatif d'avalanche sur plusieurs tronçons.** Si le PIDA peut être exécuté continûment (c'est-à-dire sans aucune interruption quelles que soient les circonstances), les avalanches ne concernent que les pylônes de la ligne. Au franchissements de zones où les avalanches peuvent former des dépôts épais, les valeurs de pression maximale peuvent être élevées, notamment vers 2090 m et 2300 m. La gare de départ peut être soumise à un plâtrage ou voir des langues d'avalanche mourir à proximité (avec des dépôts de faible épaisseur) ; la capacité de dommages à la structure de la G1 est faible. Le tableau 4.1 fournit les valeurs typiques par tronçon des efforts exercés par l'avalanche de projet sur la ligne projetée.
- (3) L'interruption du PIDA peut conduire à une augmentation très sensible du risque. Pour les avalanches trentennales ($T \sim 30$ ans), l'accroissement du risque concerne la gare de départ, qui peut être touchée de façon plus marquée par une avalanche en fin de vie. Dans la zone d'écoulement, les caractéristiques dynamiques de l'avalanche sont un peu plus élevées que ce qui a été obtenu pour le calcul considérant un PIDA actif (pression cinétique jusqu'à 50 kPa) : **le TSD projeté est soumis à un risque d'avalanche fort le long de la ligne et modéré à proximité de la gare de départ.** Le tableau 4.3 fournit les valeurs typiques par tronçon des efforts exercés par l'avalanche de projet sur la ligne projetée. Pour le maître d'ouvrage, opter pour ce scénario devrait impliquer des mesures de protection de la gare de départ.
- (4) Toujours dans l'hypothèse d'un PIDA défaillant et d'une avalanche de très grande ampleur (avalanche centennale $T \sim 100$ ans), on note que les efforts sont un peu plus importants que pour l'avalanche trentennale, mais compte tenu du caractère « Weibull³ », les différences entre avalanches trentennale et centennale sont modérées. En ce qui concerne la gare de départ, les sollicitations sont significativement plus élevées car l'installation se situe dans la zone d'arrêt des avalanches majeures. Au-dessus de 2300 m les pressions cinétiques sont élevées (60 kPa à 100 kPa). Le tableau 4.4 fournit les valeurs typiques par tronçon des efforts exercés par l'avalanche de projet sur la ligne projetée.

► Pour plus d'informations sur les grandeurs employées ici, télécharger le document

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

3. Cela veut dire que les cumuls de neige restent en-deçà d'un certain seuil aux grandes périodes de retour.



Projet: TSD de Balme - La Clusaz

Diagramme généré par vulnOSE.sh

Date: 4 octobre 2024

Réf.: DCE TSD de Balme

Sources: r.avac 3.1.5

Système de coordonnées: Lambert93

Position G1: x = 969820, y = 6539424

Position G2: x = 971417, y = 6539006

Hypothèses de calcul:

Période de retour considérée: 30 ans

PIDA opérationnel

Épaisseur de neige au sol: 240 cm

Type d'avalanche: coulante

Origine des abscisses: X_{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: $\pm 20^\circ$

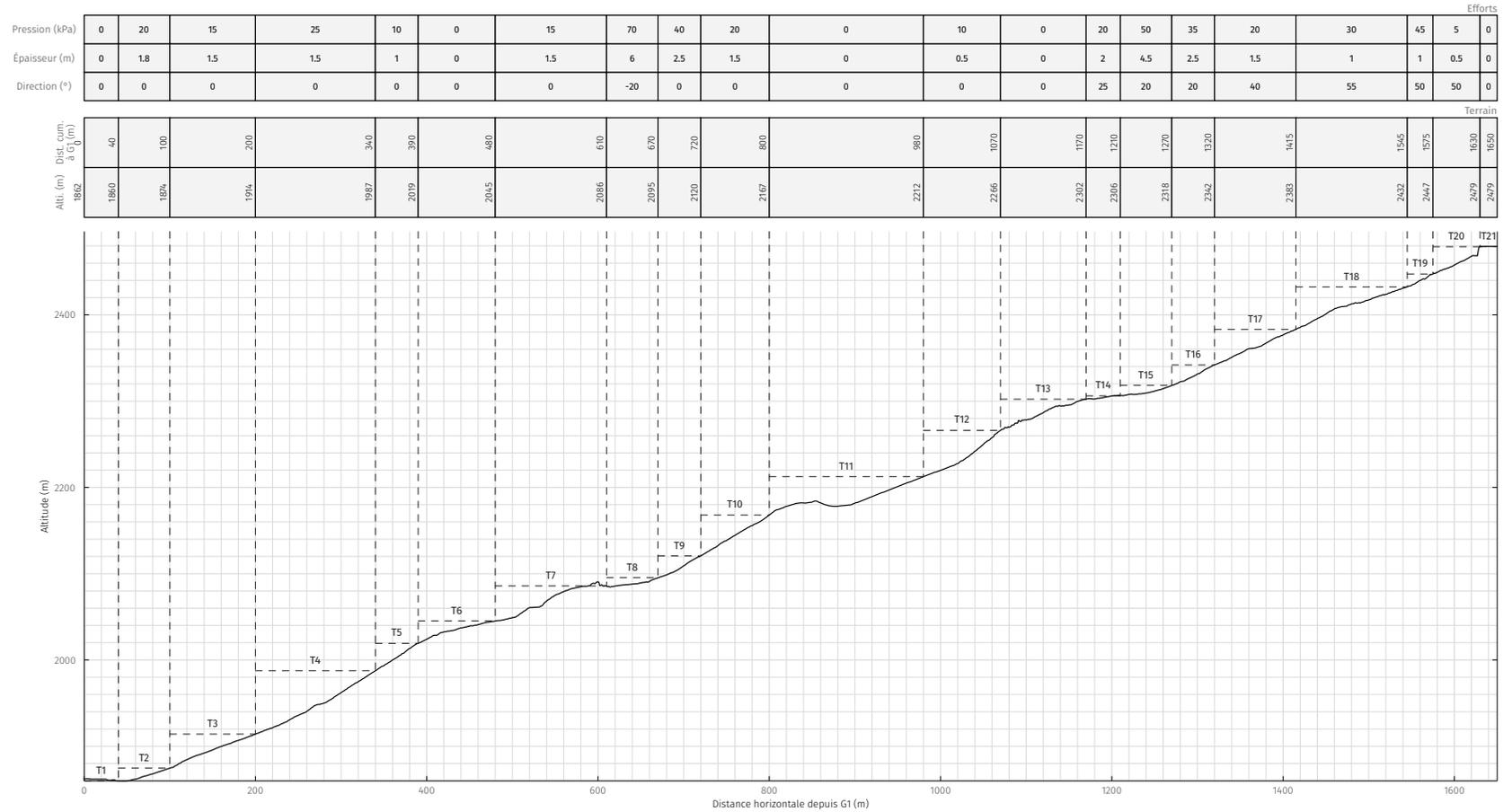


Figure 4.1 – Avalanches rares pour le TSD ($T \sim 30$ ans) dans le cadre d'un PIDA.



Projet: TSD de Balme - La Clusaz

Diagramme généré par vulnOSE.sh

Date: 4 octobre 2024

Réf.: DCE TSD de Balme

Sources: r.avac 3.1.5

Système de coordonnées: Lambert93

Position G1: x = 969820, y = 6539424

Position G2: x = 971417, y = 6539006

Hypothèses de calcul:

Période de retour considérée: 100 ans

PIDA opérationnel

Épaisseur de neige au sol: 300 cm

Type d'avalanche: coulante

Origine des abscisses: X_{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: $\pm 20^\circ$

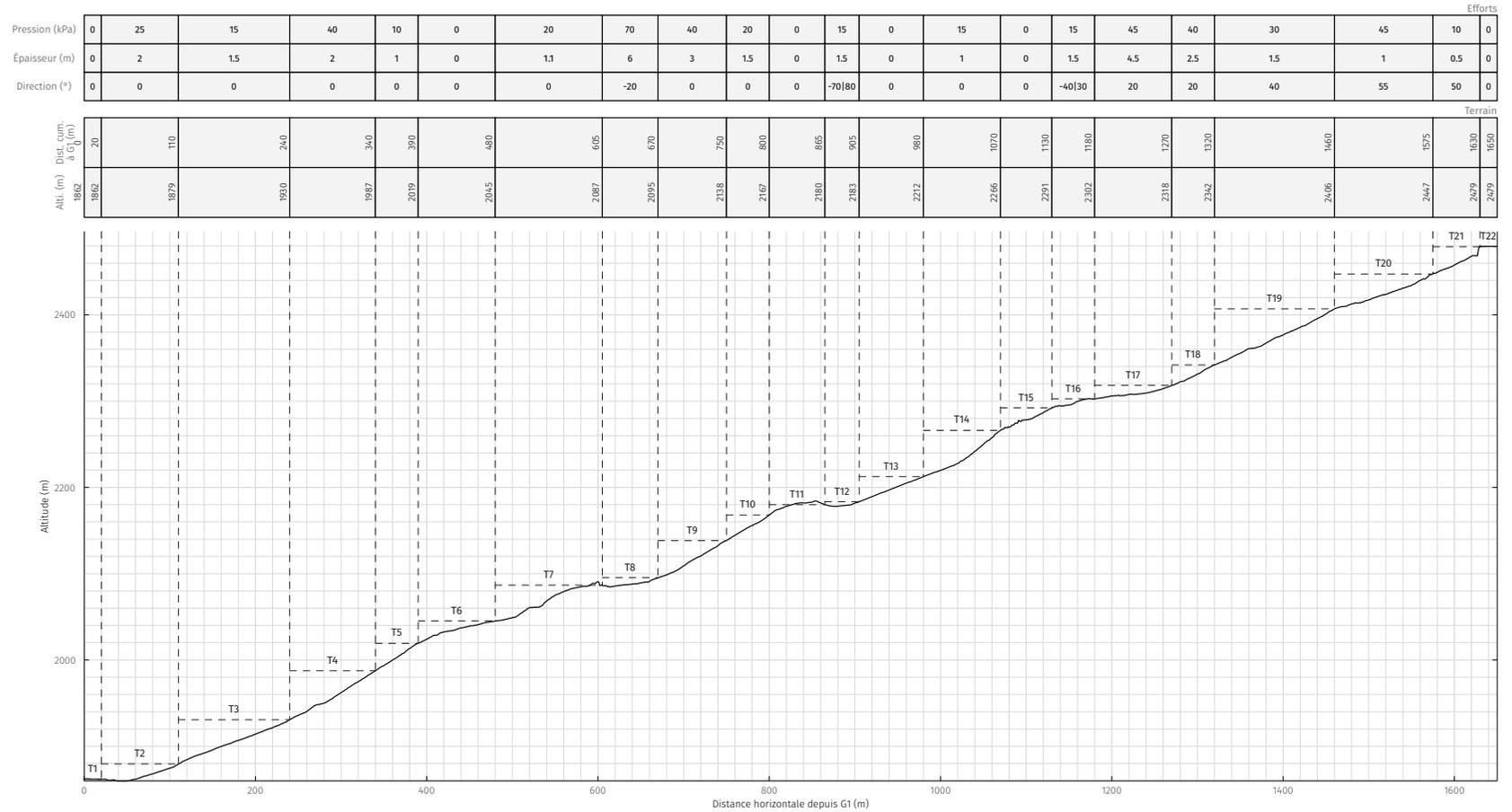


Figure 4.2 – Avalanches rares pour le TSD ($T \sim 100$ ans) dans le cadre d'un PIDA.



Projet: TSD de Balme - La Clusaz

Diagramme généré par vulnOSE.sh

Date: 4 octobre 2024

Réf.: DCE TSD de Balme

Sources: r.avac 3.1.5

Système de coordonnées: Lambert93

Position G1: x = 969820, y = 6539424

Position G2: x = 971417, y = 6539006

Hypothèses de calcul:

Période de retour considérée: 30 ans

Défaillance du PIDA

Épaisseur de neige au sol: 240 cm

Type d'avalanche: coulante

Origine des abscisses: X_{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: $\pm 20^\circ$

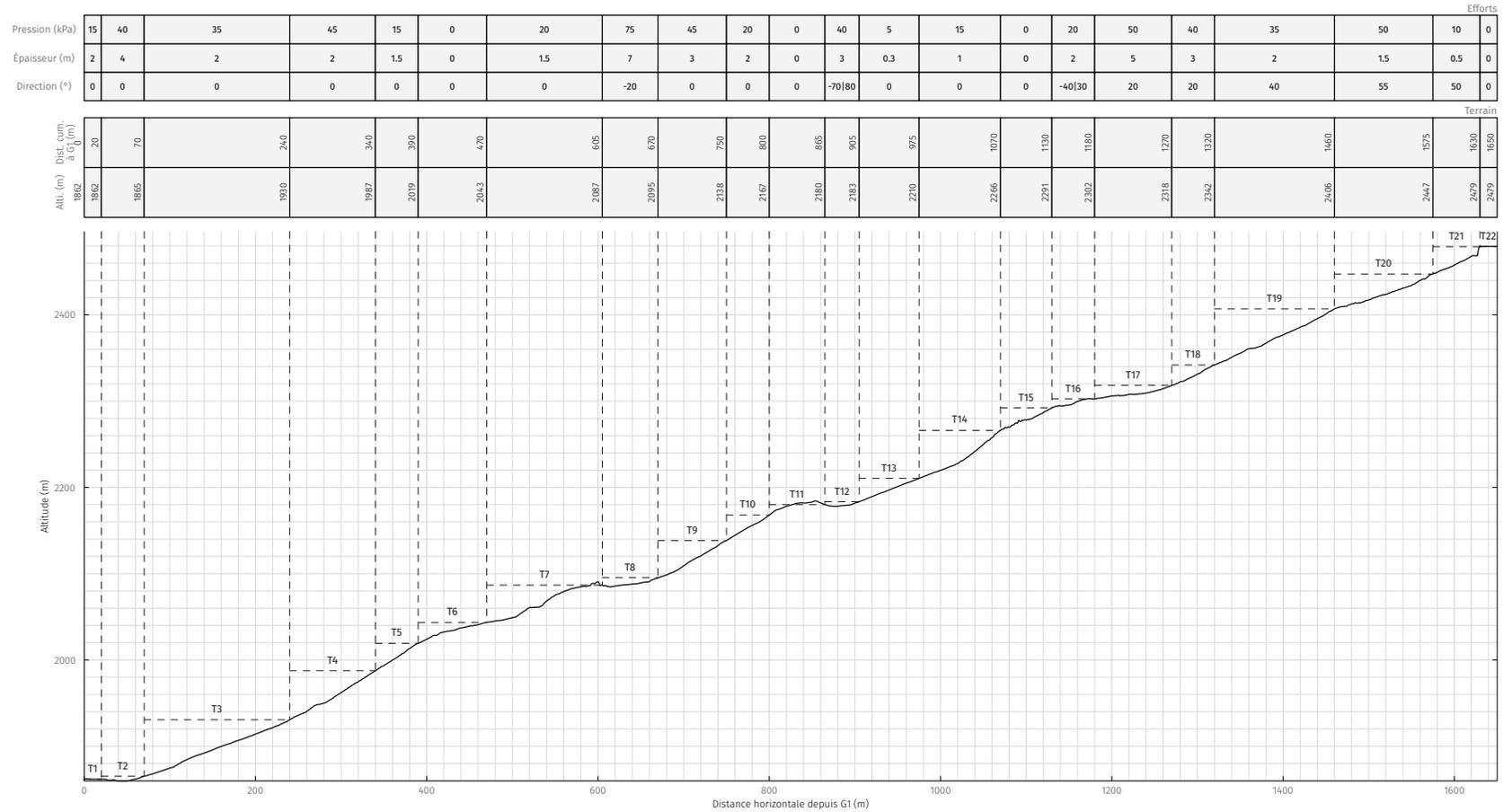


Figure 4.3 – Avalanches naturelles rares pour le TSD ($T \sim 30$ ans).



Projet: TSD de Balme - La Clusaz

Diagramme généré par vulnOSE.sh

Date: 4 octobre 2024

Réf.: DCE TSD de Balme

Sources: r.avac 3.1.5

Système de coordonnées: Lambert93

Position G1: x = 969820, y = 6539424

Position G2: x = 971417, y = 6539006

Hypothèses de calcul:

Période de retour considérée: 100 ans

Défaillance du PIDA

Épaisseur de neige au sol: 300 cm

Type d'avalanche: coulante

Origine des abscisses: X_{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: $\pm 20^\circ$

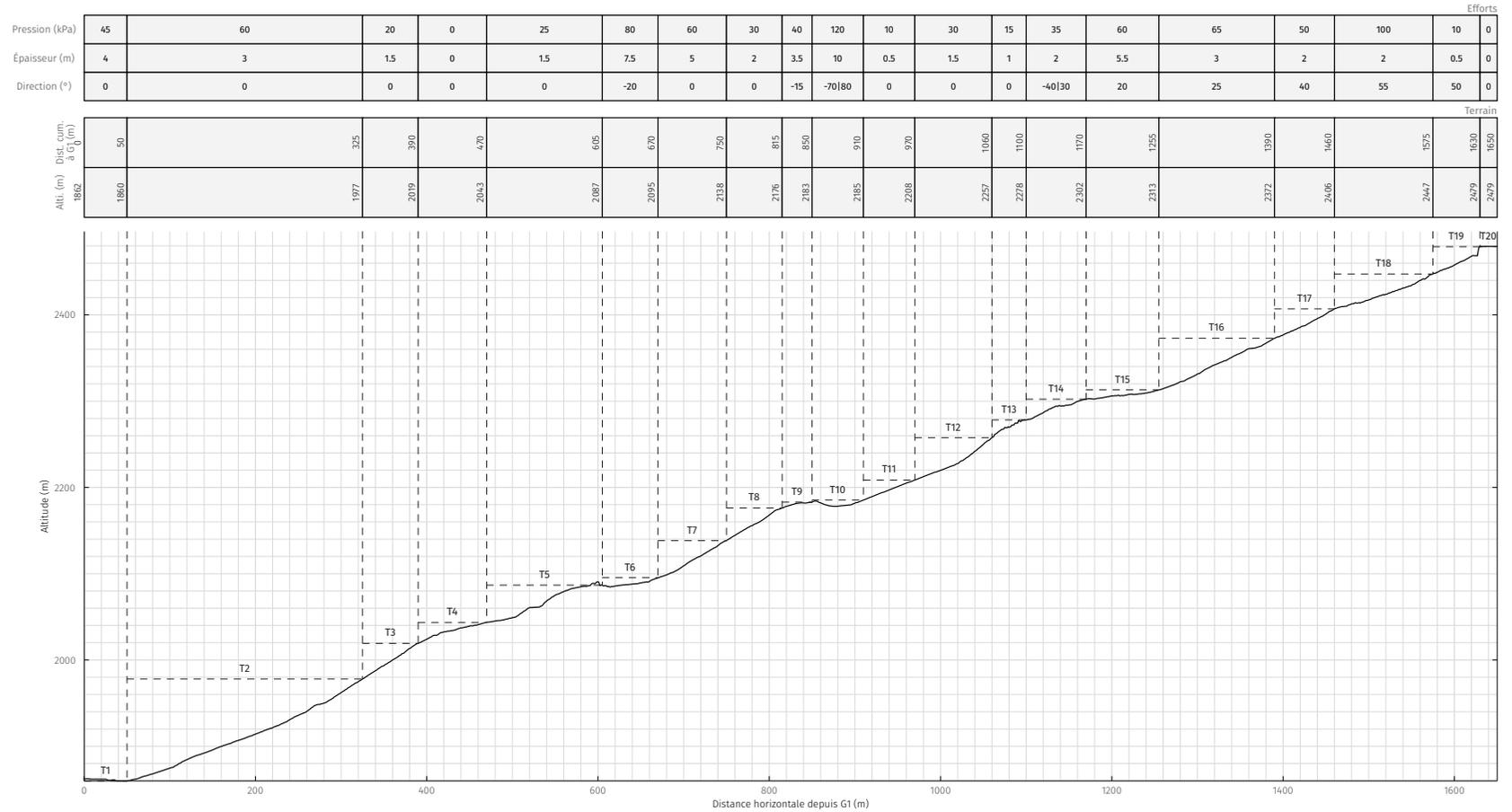


Figure 4.4 – Avalanches naturelles exceptionnelles pour le TSD ($T \sim 100$ ans).

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 : SATELC
- maîtrise d'œuvre : CNA
- le corps de ce rapport contient 59 pages.
- pièce annexée : représentation tridimensionnelle

http://telec.toraval.fr/3d/clusaz_2024.html

ANNEXE 2 : ETUDES GEOTECHNIQUES DE CONCEPTION G2 AVP – EQUATERRE – DECEMBRE 2024

**MAIRIE LA CLUSAZ
3219 Route des Aravis
74220 LA CLUSAZ**

Nos références : sm/rc - 2205054 - La Clusaz (74) - Piste Blanchot

Objet : – Etude géotechnique G2 AVP – Ind B

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 20/12/2024

S. MOILLE





La Clusaz (74)
Piste Blanchot/Bergerie

ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION
Mission : G2 - AVP (Norme NFP 94-500)

Concertation préalable avec l'ingénierie indispensable
Voir synthèse en tête de rapport

Ind.	Date	Etabli par	Vérfié par	Objet de la modification
A	31/10/2024	R. CALDI	S. MOILLE	Première diffusion
B	20/12/2024		S. MOILLE	Précision sur l'aléa chute de blocs

Affaire n° 2205054

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	5
1.1 Situation	5
1.2 Les intervenants	5
1.3 La mission	6
1.4 Documents de référence.....	6
1.4.1 Les documents fournis	6
1.4.2 Documents géotechniques.....	6
1.5 Les questions posées	6
1.6 Les opérations effectuées	7
1.7 Assurance	7
2. ANALYSE.....	8
2.1 Les données du projet	8
2.1.1 L'ouvrage	8
2.1.3 Données sur les réseaux.....	13
2.1.4 Sensibilité générale	14
2.2 Les données du sol.....	15
2.2.1 Données générales	15
2.2.2 Géologie du site.....	20
2.2.3 L'eau souterraine.....	21
2.2.4 Caractéristiques mécaniques	22
2.2.5 Stabilité.....	23
2.2.6 Sismicité du site	25
2.2.7 Sensibilité du sol.....	27
3. L'ADAPTATION AU SOL.....	28
3.1 Interaction Sol/Structure	28
3.2 Orientations préalables	30
3.3 Terrassements généraux et soutènements	31
3.3.1 Conditions prévisibles de terrassements et aléas, à intégrer dans la conception et le planning..	31
3.3.2 Rappel des conditions prévisibles de réutilisation technique des matériaux.	32
3.3.3 Méthodologie générale	33
3.3.4 Gestion de l'aléa chute de bloc	36
4. REMARQUES GENERALES	41
4.1 Limites de l'étude	41
4.2 Définition normalisée de la présente mission	41
4.3 Autre(s) remarque(s)	41

PIECES ANNEXES

Plan d'implantation des sondages

Jeu de photographies

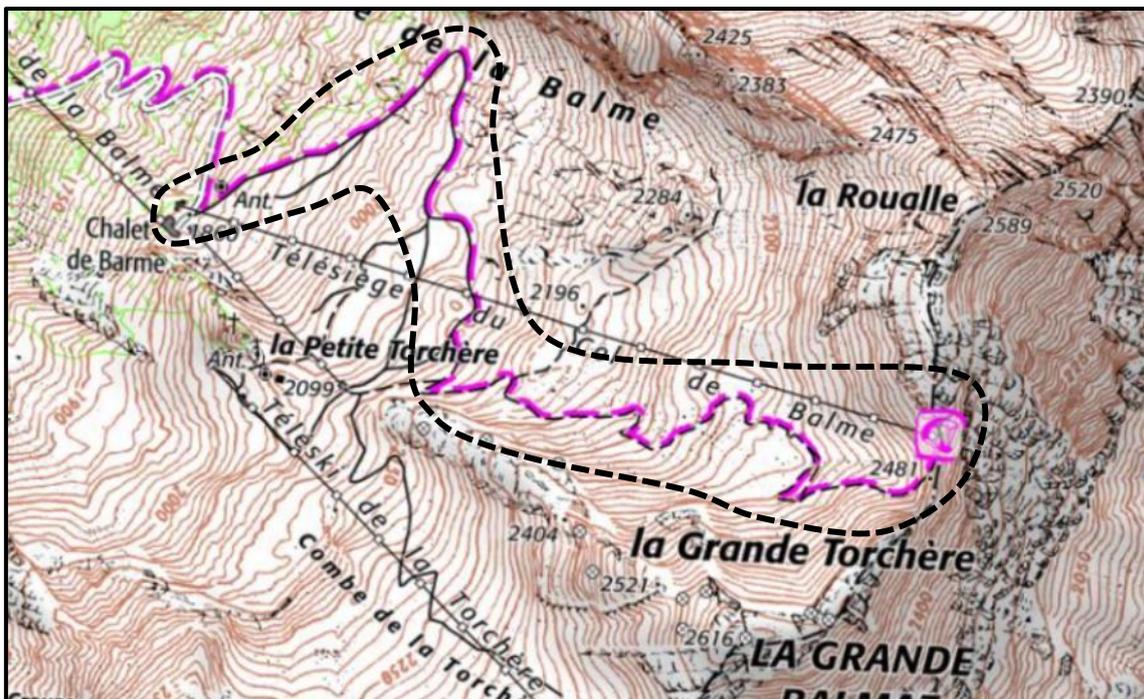
Tableau récapitulatif des sondages

Résultats d'analyses en laboratoire

1. GENERALITES

1.1 Situation

Département : HAUTE SAVOIE (74)
Commune : La Clusaz
Adresse : « Piste Blanchot » et « Piste Bergerie »



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

1.2 Les intervenants

INTERVENANTS	SOCIETES	RESPONSABLES	MAILS
MAÎTRE D'OUVRAGE	MAIRIE DE LA CLUSAZ SATELC	M. RECHON-REGUET	michael.rochon-roguet@satelc.fr ;
MAÎTRE D'OEUVRE	ABEST	M. RACT	b.ract@abest.fr ;

Convention souscrite :

Notre proposition n° 2205054.

Votre commande : Reçue par mail

1.3 La mission

La présente étude s'inscrit dans le cadre d'une mission comprenant des Investigations géotechniques et la rédaction d'une étude géotechnique d'avant-projet de type G2 (AVP), 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	ESQ	APS	AVP/APD	PRO	DCE/ACT	EXE/VISA	DET/AOR

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

Ces remarques font partie intégrante du rapport et doivent être prises en compte par la maîtrise d'œuvre dans l'analyse du projet.

1.4 Documents de référence

1.4.1 Les documents fournis

Documents	Echelle	Origine / référence	Indice	Date
Plan général des travaux secteur Balme, piste Blanchot	1/1000	ABEST Ingénierie	K	09/09/24
Profils des terrassements	1/250	ABEST Ingénierie	0	23/09/24
Proposition de modification de profil (mail ABSET du 4/12/2024)	-	ABEST Ingénierie		04/12/2024

1.4.2 Documents géotechniques

Site Infoterre (BRGM)

Site Prim.net

PPR de la commune de : La Clusaz

1.5 Les questions posées

Il s'agit de préciser, dans le cadre de la mission décrite au paragraphe 2.3, les points suivants :

1. La nature et les caractéristiques mécaniques des horizons rencontrés permettant le pré dimensionnement des infrastructures du projet.
2. Les principes généraux de construction de l'ouvrage, liés à la géotechnique :
 - Terrassements
 - Soutènements
 - Fondations dallages
 - Dispositions vis à vis de l'eau souterraine.

1.6 Les opérations effectuées

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

- Visite préalable du site, et analyse géomorphologique avec levés d'affleurement rocheux
- Sondages à la pelle mécanique (36 sondages).
- Prélèvement d'échantillons pour analyse en laboratoire
- Forages avec enregistrement de paramètres poussés à 10m en moyenne.
- Synthèse et rédaction d'un rapport d'étude géotechnique d'avant-projet.

1.7 Assurance

La SAS 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.

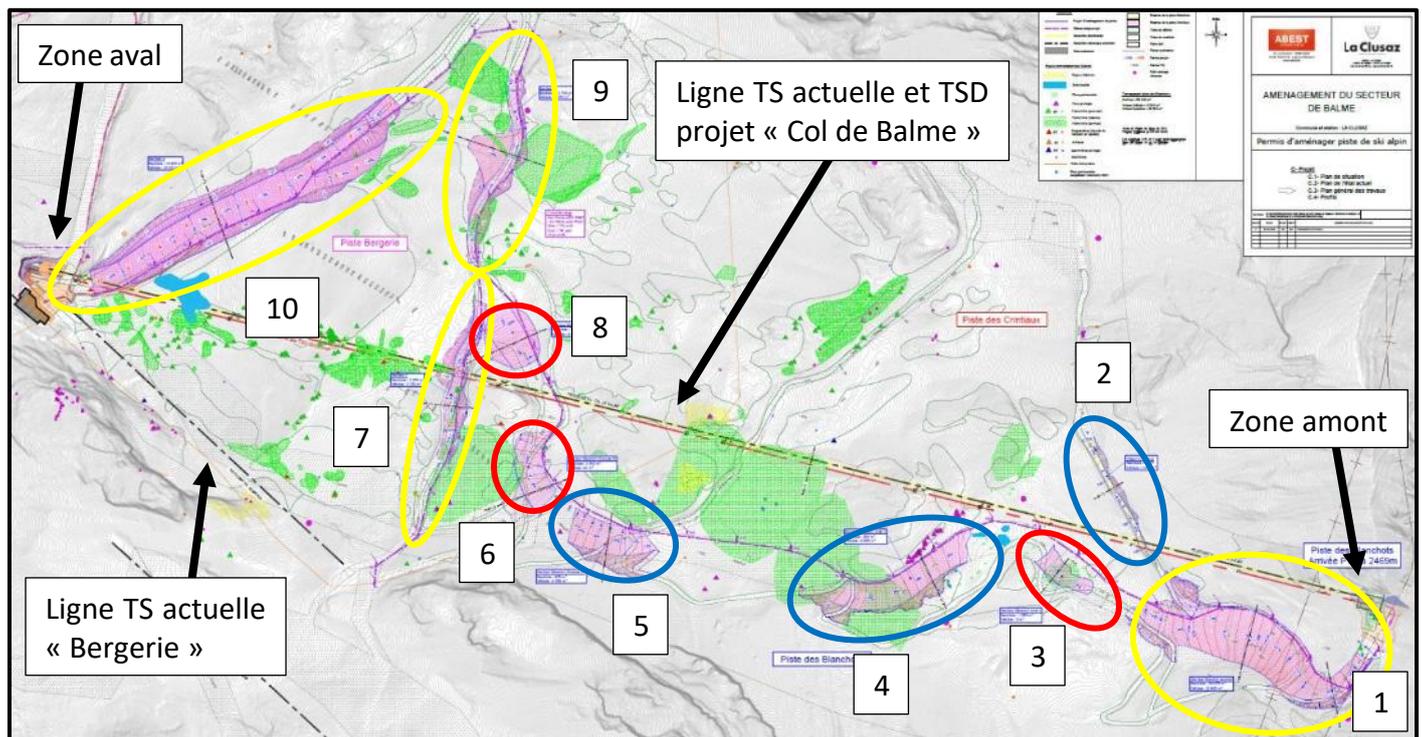
2. ANALYSE

2.1 Les données du projet

2.1.1 L'ouvrage

Le projet consiste en la réalisation de terrassements de la « Piste Blanchot » et de la « Piste Bergerie » dans l'optique d'améliorer la piste actuelle.

Le profil des terrassements se trouvent majoritairement en déblai/remblais avec des hauteurs de 2.0 à 7.4m/TN répartis sur 10 zones distinctes.



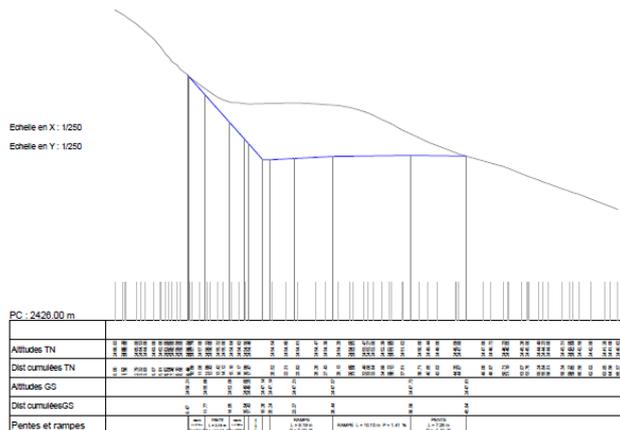
Profils en déblais / remblais

Profils en déblais majoritaire

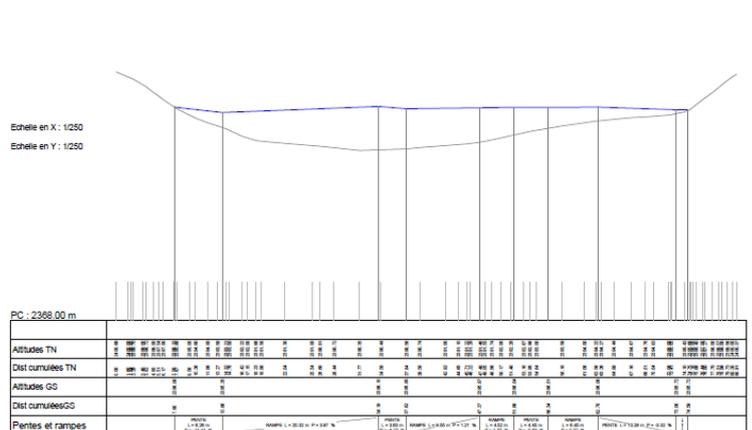
Profils en remblais majoritaire

Profils en travers de la zone 1 : (sans échelle)

PISTE SOMMET BLANCHOT
PROFIL N°1



PISTE SOMMET BLANCHOT
PROFIL N°2



Aperçu général de la zone 2 :



Aperçu général de la zone 3 :



Aperçu général de la zone 4 :



Aperçu général de la zone 5 :



Aperçu général de la zone 6 :



Aperçu général de la zone 7 :



Aperçu général de la zone 8 :



Aperçu général de la zone 9 :



Aperçu général de la zone 10 :



2.1.2 Z.I.G., risques potentiels et enjeux technico-économiques

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

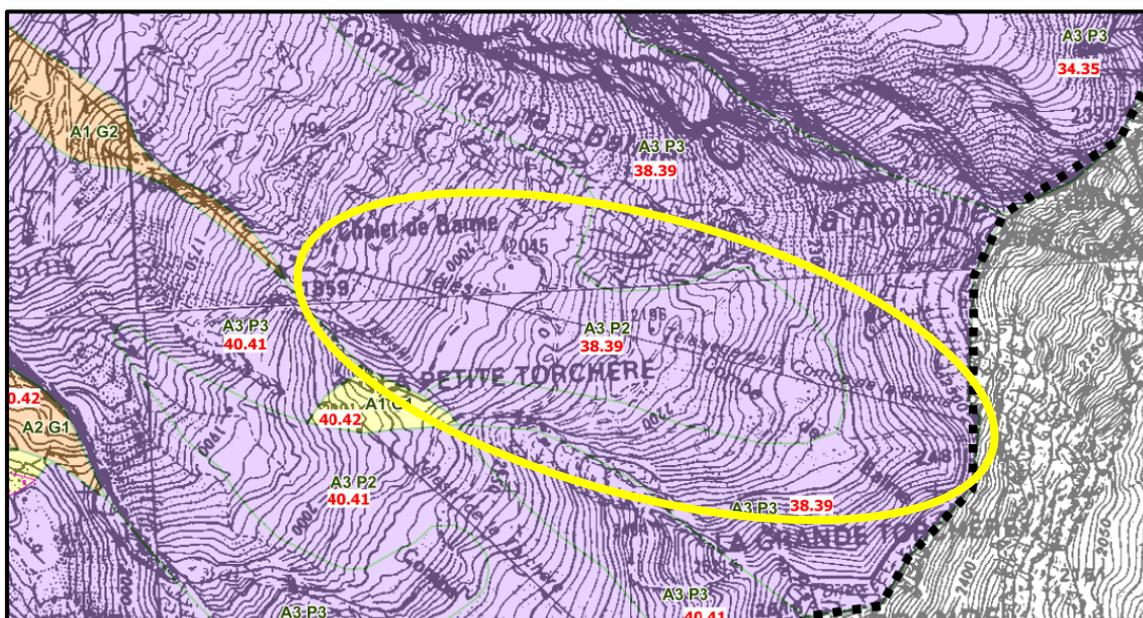
Volume du terrain au sein duquel il y a interaction entre l'ouvrage ou l'aménagement du terrain (du fait de sa réalisation et de son exploitation) et l'environnement (sols et ouvrages environnants).

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

Nous retiendrons :

- Versant de « La Combe de Balme » entièrement concerné par l'aléa avalanche et chute de pierre (degrés 3 : Fort), au sens du PPR en vigueur

Le maître d'ouvrage et l'équipe de maîtrise d'œuvre devront se référer au règlement applicable au site et à l'ouvrage en vigueur à la date du dépôt de PC ou de construction.



* source : <http://www.haute-savoie.gouv.fr> ©

- ZIG étendue mais limitée à l'emprise du projet, hors pylônes 2 & 3 actuels du TS « Col de Balme » au sein de l'emprise du projet d'amélioration de piste.
- TS « Bergerie » actuel et projet TSD « Col de Balme » en dehors de l'emprise du projet d'amélioration de piste.
- Réseaux important dans l'emprise du projet, notamment en zone 10 (réseaux enneigeurs).
- Pollution : le diagnostic de qualité des sols ne relève pas de la mission confiée à Equaterre

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>

2.1.4 Sensibilité générale

(Sont développés dans ce chapitre les problèmes implicites liés à l'ouvrage et à la Z.I.G.)

- **Projet de grande étendue.**
- **Profils de terrassement en déblais/remblais.**
- **Réutilisation des matériaux du site envisagée.**

2.2 Les données du sol

2.2.1 Données générales

- Morphologie : **Forte pente irrégulière**

Le site s'inscrit au sein d'un versant orienté vers l'Ouest et de forte pente.

Lors de la visite du site, nous n'avons pas identifié d'indice traduisant un risque d'instabilité naturelle par fluage ou par glissement de grande ampleur

Cependant, les chutes de blocs sont importantes et se matérialisent par des pierriers en situation d'équilibre, notamment sur la moitié amont du versant.

Soulignons que la moitié aval du versant se trouve sur une pente raide et constante globalement herbeuse, à l'inverse de la moitié amont, qui se trouve sur des vastes pentes d'éboulis et sur le substratum rocheux.

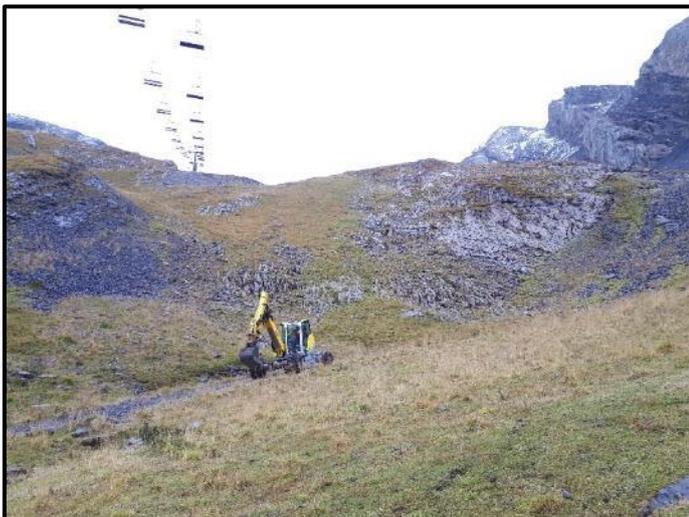
Aperçu général du versant depuis le Col de Balme :



Aperçu général de la partie supérieure du versant :



Aperçu général de la partie intermédiaire du versant :



Aperçu général de la partie inférieure du versant :



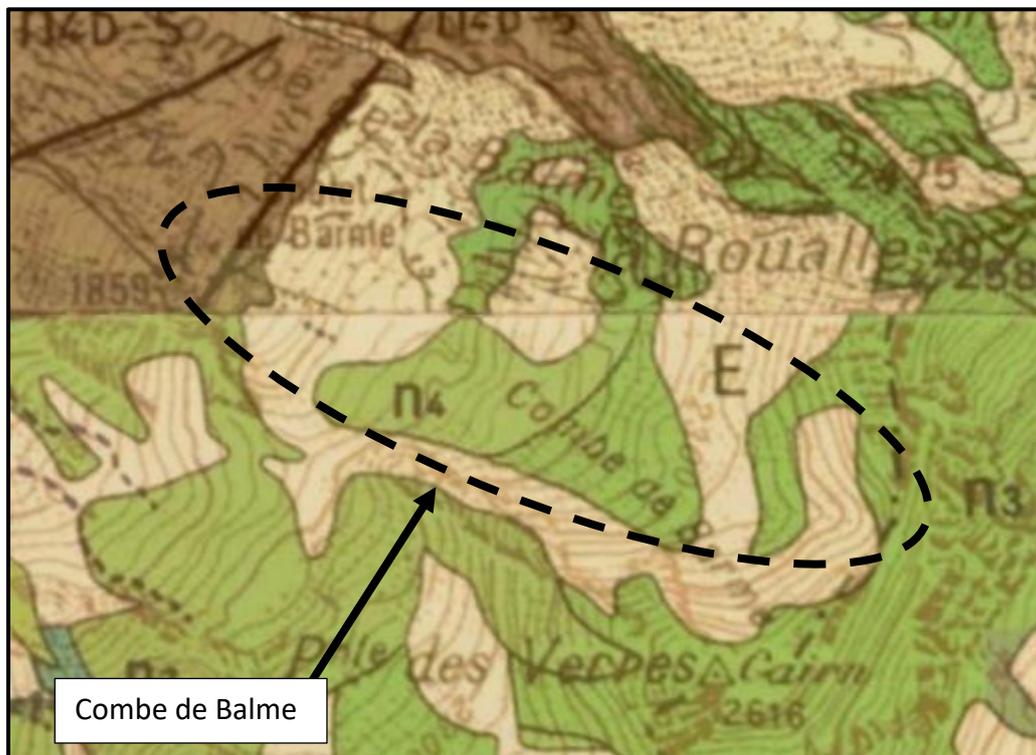
Aperçu général du versant depuis la fin de la piste « Blanchot », au niveau de la plateforme du Chalet de Barme :



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

- **Contexte :** **Plaquage d'éboulis et/ou moraine limoneuse à blocs en plaquage sur rocher type calcaire**

Il s'agit du type de dépôt principal rencontré sur ce site.



* Source : www.infoterre.fr © BRGM 2010

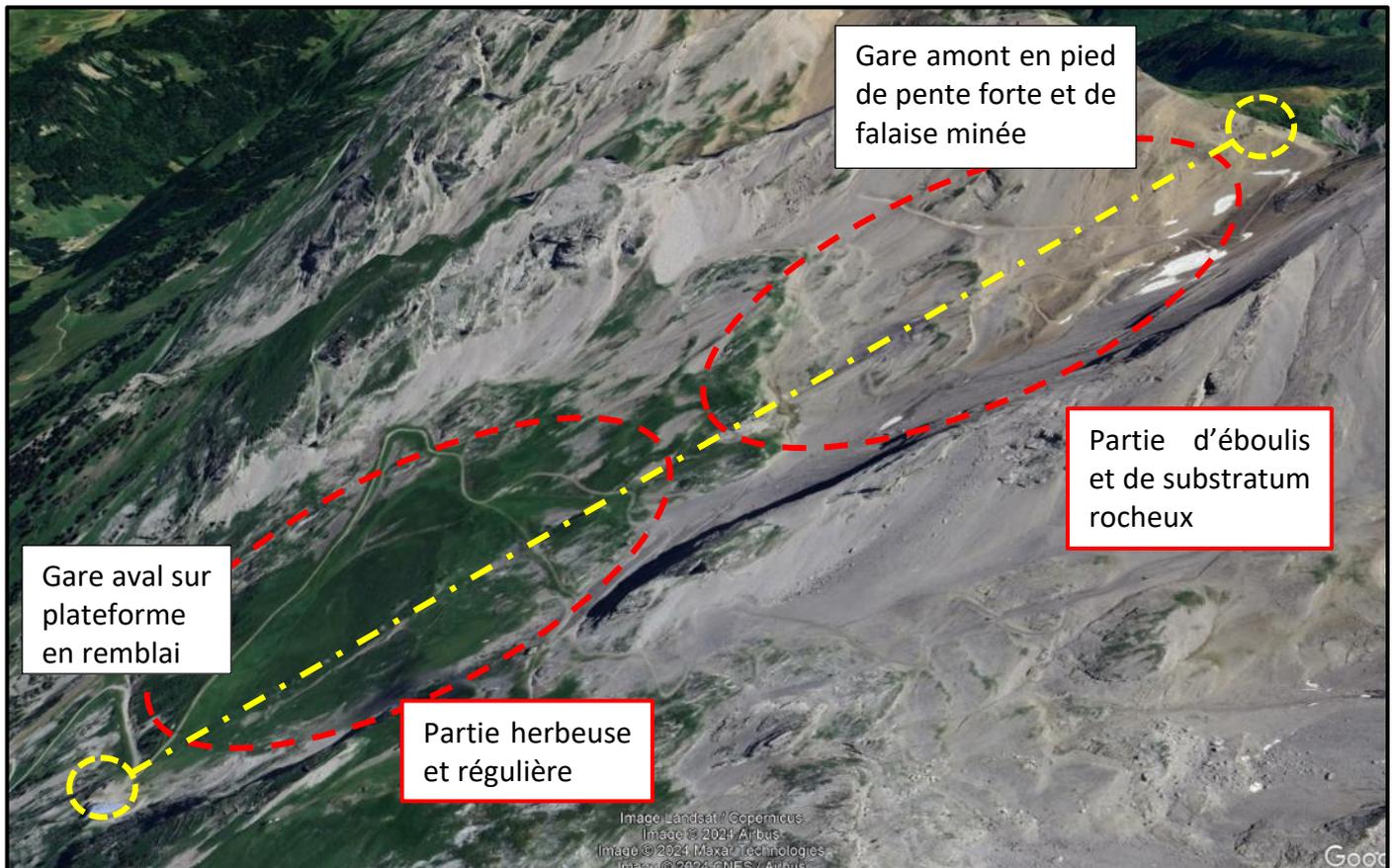
- **Dominante :** **éboulis à blocs et/ou limons graveleux à blocs sur substratum rocheux calcaire**

Il s'agit de la nature principale des matériaux rencontrés.

- **Particularité :**
 - Horizons de couverture à dominante limoneuse
 - Venues d'eau de versant à répartition aléatoire.
 - Alimentations en eau très variables dans le temps
 - Chute de compacité en profondeur
 - Sensibilité à l'eau et aux sollicitations mécaniques des matériaux limoneux et argileux
 - Matériaux de consolidation très variable selon teneur en eau.
 - Instabilité en présence d'eau.
 - Sur profondeurs rapides et importantes des horizons remarquables
 - Hétérogénéité de granulométrie à variation rapide
 - Pendages variables des bancs rocheux.
 - Remblais de la plateforme aval de consistance et nature très variable.
 - Blocs volumineux possibles
 - Substratum rocheux très compact en profondeur.

[Chaque ensemble typologie – contexte – dominante, amène un lot de spécificités géologiques représentatives des « problèmes » potentiels à intégrer dans la réflexion d'adaptation sol/structure.]

Aperçu général du versant :



Les levés d'affleurements montrent que le rocher est présent régulièrement en surface, notamment sur la moitié amont du versant, cependant ce dernier peut être masqué par plusieurs mètres d'éboulis.

Le rocher est globalement calcaire avec un pendage conforme à la pente générale du versant sur l'ensemble du tracé (entre 25° - 45°)

Aperçu du substratum rocheux affleurant et des éboulis en partie amont :



Aperçu de la transition en milieu de versant entre les parties d'éboulis amont et les parties herbeuse aval

:



Aperçu des parties herbeuses avec la présence locale de partie d'éboulis en partie aval :



2.2.2 Géologie du site

[Ceci concerne le sol au droit du projet, mais également au droit de la ZIG : Il s'agit d'une interprétation la plus juste possible, déduite et interpolée à partir des sondages ponctuels. Seule la vision en « vraie grandeur », c'est à dire à l'ouverture peut garantir l'exactitude de l'organisation géologique. En effet, le sol est par définition discontinu et répond à des logiques de formation non purement mathématiques ou statistiques.]

Partie amont :

Le site est homogène en plan, constitué verticalement par :

- **Eboulis et blocs calcaires à cailloutis imbriqués** jusqu'à 0.5 à 2.5 m de profondeur/TN et au-delà.

NOTA : ces éboulis sont accompagnés d'une matrice limoneuse qui se raréfie jusqu'à disparaître à l'amont.

- **Substratum compact morainique et/ou rocheux** au-delà

Partie aval :

Le site est homogène en plan, constitué verticalement par :

- **Eboulis et blocs calcaires à cailloutis imbriqués** jusqu'à 0.5 à 2.5 m de profondeur/TN et au-delà.

NOTA : ces éboulis sont accompagnés d'une matrice limoneuse qui abonde à l'aval.

ET / OU

- **Limons caillouto-graveleux à blocs d'éboulis** jusqu'à 0.2 à 3.3 m de profondeur/TN et au-delà.

- **Substratum compact morainique et/ou rocheux** au-delà

Le rocher est de nature calcaire, découpé en bancs décimétrique à demi métrique avec un pendage conforme à la pente générale du versant incliné entre 30 et 40° en moyenne.

Aperçu du pendage des bancs rocheux :



[Pour les terrains plus en profondeur, les faciès ne sont le fait que d'une interprétation du géotechnicien basée sur les résultats des cuttings de sondages destructifs ou sur les résultats des autres essais, mais ne résultent en aucun cas d'une description visuelle contractuelle du matériau in-situ telle que celle pouvant être effectuée au droit de puits à la pelle mécanique ou à l'aide de sondages carottés (échantillons prélevés). Si la Maîtrise d'œuvre le souhaite de tels sondages visuels pourront être chiffrés et mis en œuvre lors d'une campagne d'investigations complémentaires.]

Pour plus de détail, la géologie du site, au droit des essais réalisés, est reportée dans le tableau récapitulatif joint en annexe.

2.2.3 L'eau souterraine

L'hydrogéologie du site se résume à des circulations de versant au sein des zones d'éboulis et des plaquages limoneux, par contraste de perméabilité avec le substratum rocheux, globalement imperméable.

Le réseau hydrographique superficiel est assez développé. Les eaux de ruissellement sont canalisées au sein des éboulis +/- limoneux et au toit du substratum rocheux.

Des circulations ont été recoupées en sondage, à partir de -0.2 à -2.7m de profondeur/TN et existent de manière pérenne durant le cycle hivernal et par période durant le cycle estival.

Nous avons identifié la présence d'une zone humide, se trouvant dans l'emprise du projet de pylône P10, à l'aval de la zone 3, en partie amont.

Cette zone humide est en réalité « un système de trop plein » naturel de l'accumulation des eaux de ruissellements venants de l'amont.

Pas de notion de Phe du fait de circulations de versant, avec exutoire gravitaire aval.

Toutefois, s'agissant de matériaux argileux / limoneux en partie aval, toute venue d'eau piégée en point bas non drainé, ne sera pas infiltrée, avec risque d'accumulation (effet piscine).

2.2.4 Caractéristiques mécaniques

Nous retiendrons :

- Une compacité moyenne des limons caillouto-graveleux à éboulis et blocs identifiés en partie aval jusqu'à 0.2 à 3.3m de profondeur/TN
- Une compacité moyenne des éboulis et blocs calcaire +/- limono-caillouteux identifiés en partie aval et amont
- Ailleurs et au-delà, une très bonne compacité du substratum rocheux : **cet horizon de référence est donc très difficilement rippable à partir de 0.2 à 2.1m de profondeur/TN.**

La détermination précise des conditions de remblais doit en toute rigueur faire l'objet d'une analyse en référence au GTR 92. Nous retiendrons les grandes lignes générales suivantes :

	Probabilité de réemploi	Classement GTR
Eboulis et blocs calcaires	Bonne après étalement de la granulométrie	VC2G3 (ancienne : C1B4)
Limons caillouto-graveleux à éboulis	Faible : matériaux très sensibles à l'eau sans squelette graveleux	F1 (ancienne : C1A1) à VC2I1 (ancienne : C1B5)
Substratum rocheux calcaire	Moyenne à bonne : sensible à l'eau et à l'action gel / dégel	R3 à R5

D'une manière générale, nous retiendrons que les matériaux limono caillouteux de la partie aval du site sont assez sensibles aux variations de teneur en eau et aux sollicitations mécaniques. **Ceci se traduit sur le terrain par une rapide décompression en cas d'exposition aux circulations d'eau souterraines et/ou aux intempéries et au trafic des engins.**

Les éboulis et le substratum rocheux présentent globalement une bonne aptitude à une réutilisation en remblai de piste.

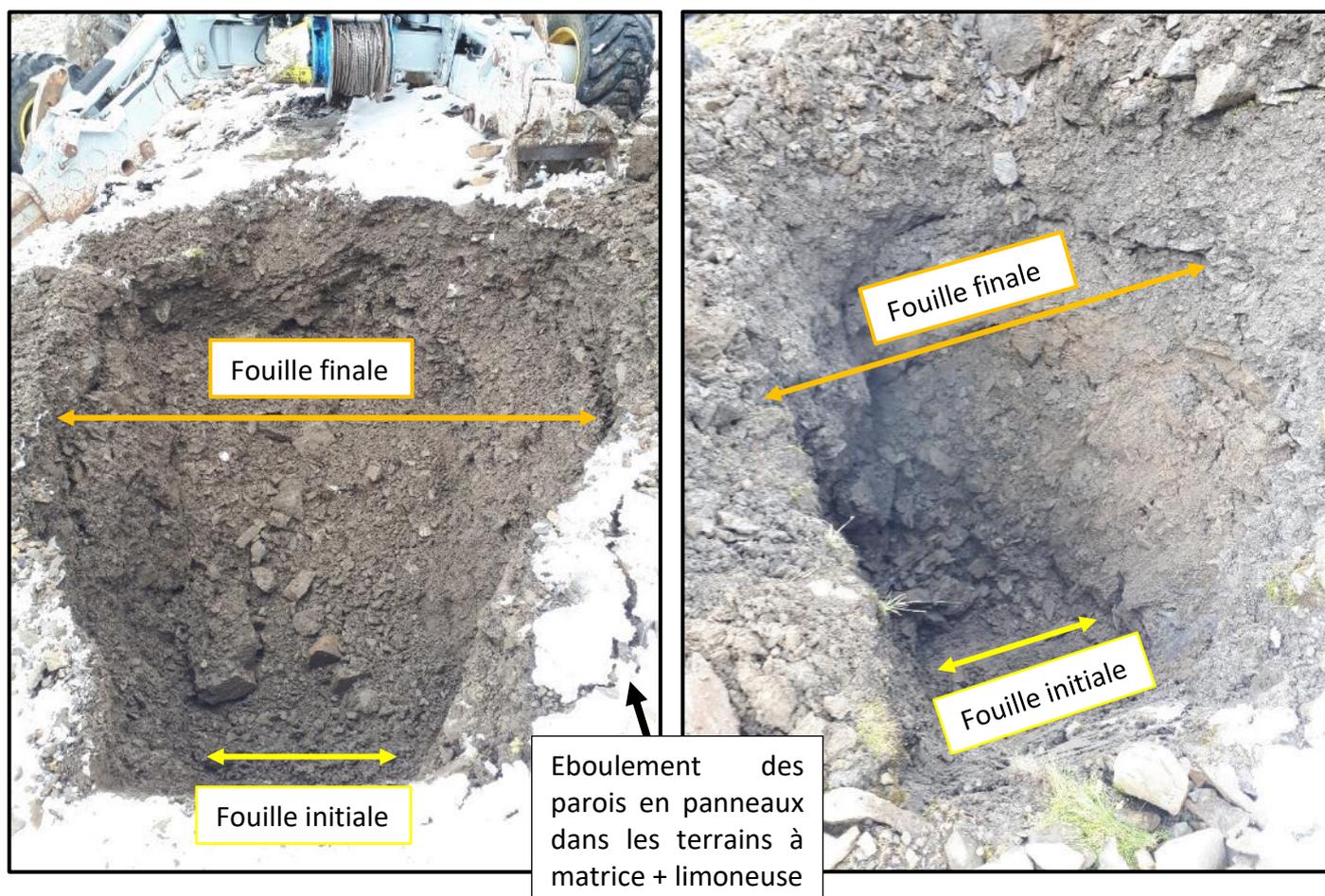
2.2.5 Stabilité

Les sondages à la pelle réalisés sur l'ensemble des pylônes, des gares et de la piste Blanchot montrent à l'échelle des parois verticales des puits à la pelle, une **très mauvaise tenue des parois** sur l'ensemble des matériaux de couverture, notamment concernant les éboulis et blocs calcaires.

De manière général, le rocher est

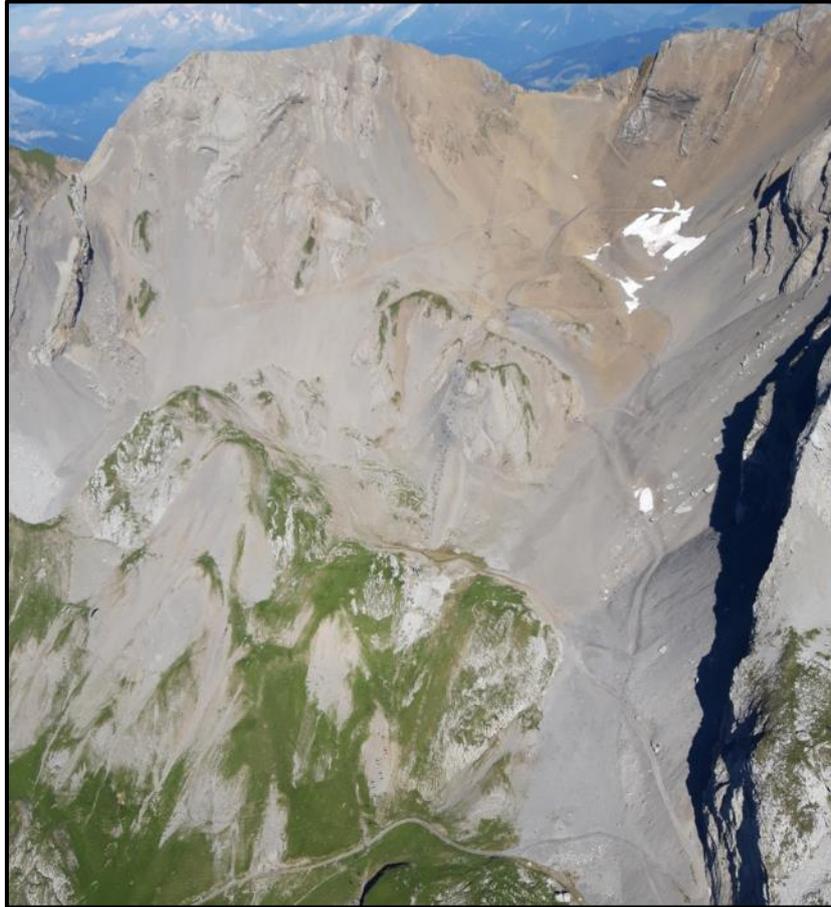
Il faudra anticiper, à l'échelle des terrassements :

- Des phénomènes d'instabilité des talus, pour des pentes supérieures à 3H/2V, en phase provisoire **et** définitive
- Des phénomènes de glissement banc sur banc dans le rocher stratifié
- **Un risque de glissement plan à l'interface couverture/substratum**
- **Un risque de glissement banc sur banc du rocher (pendage conforme à la pente du versant)**
- Une érosion rapide des talus sous l'action des agents climatiques et des venues d'eau.
- **Un élargissement non contrôlé des fouilles de type puits (hors-profil).**



D'une manière générale, le projet s'inscrit dans un versant rocheux dont la stratification et la fracturation favorise la production de blocs de 100 à 300 mm de diamètre.

Aperçu du versant et des nombreuses zones d'éboulis vifs :



Aperçu du rocher stratifié et fracturé en zone amont :



Le projet est donc exposé à un risque de chute de bloc, en particulier sur la partie amont du terrassement.

La falaise actuelle au niveau de la zone de débarquement est équipée de grillage antichute de bloc pour limiter l'aléa.



2.2.6 Sismicité du site

Nous retiendrons les éléments géotechniques suivants :

- Données règlementaires :

Normes et documents règlementaires pris en compte dans le présent rapport :

NF EN 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
Zone 1	Très faible	0,4	A	1	I	0,8
Zone 2	Faible	0,7	B	1,35	II	1
Zone 3	Modéré	1,1	C	1,5	III	1,2
Zone 4	Moyen	1,6	D	1,6	IV	1,4
			E	1,8		

Influence du sol S_T

Coefficient d'importance γ_I

Classe de sol : A & B

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 : $a_g = \gamma_1 \cdot S_T \cdot a_{gr}$

Les exigences sur le bâti neuf dépendent de la catégorie d'importance du bâtiment (à définir par le maître d'ouvrage et le bureau de contrôle) et de la zone de sismicité.

Caractérisation des classes de sol selon les Eurocodes 8

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres		
		Vs,30 (m/s)	NSPT (bl/30cm)	Cu (Pa)
A	Rocher ou tout autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant.	> 800		
B	Dépôts raides de sable, de graviers ou d'argile surconsolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive de propriétés mécaniques avec la profondeur.	360-800	> 50	> 250
C	Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres.	180-360	15-50	70-250
D	Dépôts de sol sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant une majorité des sols cohérents mous à fermes.	< 180	< 15	< 70
E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de Vs de classes C ou D et une épaisseur comprise entre 5 m environ et 20 m, reposant sur un matériau plus raide avec Vs > 800 m/s			
S ₁	Dépôts composés, ou contenant, une couche d'au moins 10 m d'épaisseur d'argiles molles/vases avec un indice de plasticité élevé (PI > 40) et une teneur en eau importante	< 100 (indicative)		10-20
S ₂	Dépôts de sols liquéfiables d'argiles sensibles ou tout autre profil de sol non compris dans les classes A à E ou S ₁			

Vs,30 est la vitesse moyenne des ondes de cisaillement. Le site est classé suivant la valeur de Vs,30 si celle-ci est disponible, sinon, la valeur de NSPT sera utilisée. NSPT est le nombre de coups au pénétromètre dynamique SPT (Standard Penetration Test) ; Cu est la cohésion non drainée.

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

2.2.7 Sensibilité du sol

(Sont développés dans ce chapitre les problèmes implicites liés à ce type de terrain)

Points particuliers :

- **Circulation d'eau à profondeur variable et intéressant le projet.**
- **Matériaux aval du site sensibles aux variations de teneur en eau et au remaniement par les engins.**
- **Substratum compact très difficilement rippable à la pelle mécanique dès 0.2 à 2.1m de profondeur/TN.**
- **Substratum rocheux découpé en banc décimétriques à métriques avec un pendage conforme à la pente générale du versant (risque de glissement banc sur banc)**
- **Rocher stratifié et fracturé favorisant l'aléa « chute de bloc »**
- **Pente d'éboulis en situation d'équilibre limite.**

3. L'ADAPTATION AU SOL

3.1 Interaction Sol/Structure

De ce qui précède, il découle les incidences géotechniques suivantes :

SOL	STRUCTURE
<ul style="list-style-type: none"> • Circulation d'eau à profondeur variable et intéressant le projet. • Matériaux aval du site sensibles aux variations de teneur en eau et au remaniement par les engins. • Substratum compact très difficilement rippable à la pelle mécanique dès 0.2 à 2.1m de profondeur/TN. • Substratum rocheux découpé en banc décimétriques à métriques avec un pendage conforme à la pente générale du versant (risque de glissement banc sur banc) • Rocher stratifié et fracturé favorisant l'aléa « chute de bloc » • Pente d'éboulis en situation d'équilibre limite. 	<ul style="list-style-type: none"> • Projet de grande étendue. • Profils de terrassement en déblais/remblais. • Réutilisation des matériaux du site envisagée.

Domaine d'application	Aléa	Principaux Enjeux (vulnérabilité)	Risque	Niveau de risque (Aléa X Enjeux)
Eau	Circulations de versant Ruissellement	Talus de déblai/remblai	Erosion des talus	3
Terrassement	Glissement banc sur banc Chute de blocs. Pointements rocheux difficilement rippables	Talus de déblai Aménagements de plateforme Ouvrages de GC	Domages corporels Déstabilisation des pentes amont avec fort recul Arrêt de chantier Utilisation d'outils de terrassement puissants de type BRH	4
Fondations	Hétérogénéité du sol support au niveau de l'arase Sur profondeur du sol de fondation	Mouvement de terre en remblais	Instabilité des assises de remblais Purges au niveau des plateformes d'accroche	3

	Sols sensibles aux variations de teneur en eau			
--	--	--	--	--

Codes (estimations Equaterre) :

1 – Non identifié	2 - Possible	3 - Probable	4 – Très probable	5 - Certain
-------------------	--------------	--------------	-------------------	-------------



Sont indiqués ici les principes constructifs par catégories d'enjeux identifiés, afin de gérer les risques correspondants

INCIDENCES GEOTECHNIQUES

- Adoucir les talus de déblais à 3H/2V dans la couverture meuble et les éboulis sans matrice pour limiter l'impact du ravinement
- Adapter la pente des talus de déblai rocheux à l'inclinaison des couches ou prévoir un épinglage des bancs en situation de perte de butée de pied
- Prévoir la mise en œuvre d'éperons drainants en blocs d'enrochement au droit des plus fortes venues d'eau recoupée en terrassement
- Mise en œuvre de dispositif pour le traitement de chute de bloc dès la phase de terrassement (grillage + épinglage et pièges à blocs).
- Solliciter l'assise compacte rocheuse ou morainique pour fonder les remblais de hauteurs importante (> 5.0m)
- Drainage des écoulements de versant en sous face de remblais avec l'utilisation de matériaux drainants
- Utilisation d'outils de terrassement puissants (minage + BRH) à partir de 2.0m de profondeur/TN en moyenne.

3.2 Orientations préalables

Les contraintes géotechniques principales du site sont :

- **Circulation d'eau à profondeur variable et intéressant le projet.**
- **Matériaux aval du site sensibles aux variations de teneur en eau et au remaniement par les engins.**
- **Substratum compact très difficilement rippable à la pelle mécanique dès 0.2 à 2.1m de profondeur/TN.**
- **Substratum rocheux découpé en banc décimétriques à métriques avec un pendage conforme à la pente générale du versant (risque de glissement banc sur banc)**
- **Rocher stratifié et fracturé favorisant l'aléa « chute de bloc »**
- **Pente d'éboulis en situation d'équilibre limite.**

Ces contraintes sont en interférences avec les caractéristiques du projet suivantes :

- **Projet de grande étendue.**
- **Profils de terrassement en déblais/remblais.**
- **Réutilisation des matériaux du site envisagée.**

De ce qui précède il apparaît que les dispositions constructives principales seront liées à l'utilisation d'outils de terrassements puissants type minage ou BRH à partir de 0.2m à 2.1m de profondeur/TN ainsi que la réalisation de remblais par temps secs sur les plateformes d'accroche drainantes

Pour limiter le risque de glissement bancs sur bancs des talus de la zone amont orientés vers l'Ouest, il faudra prévoir d'adoucir les talus une pente de l'ordre de 33° (3H/2V) compte tenu du pendage conforme des bancs rocheux.

Dans le cas contraire, la mise en œuvre de technique d'épinglage sera nécessaire pour compenser la perte de butée des bancs rocheux.

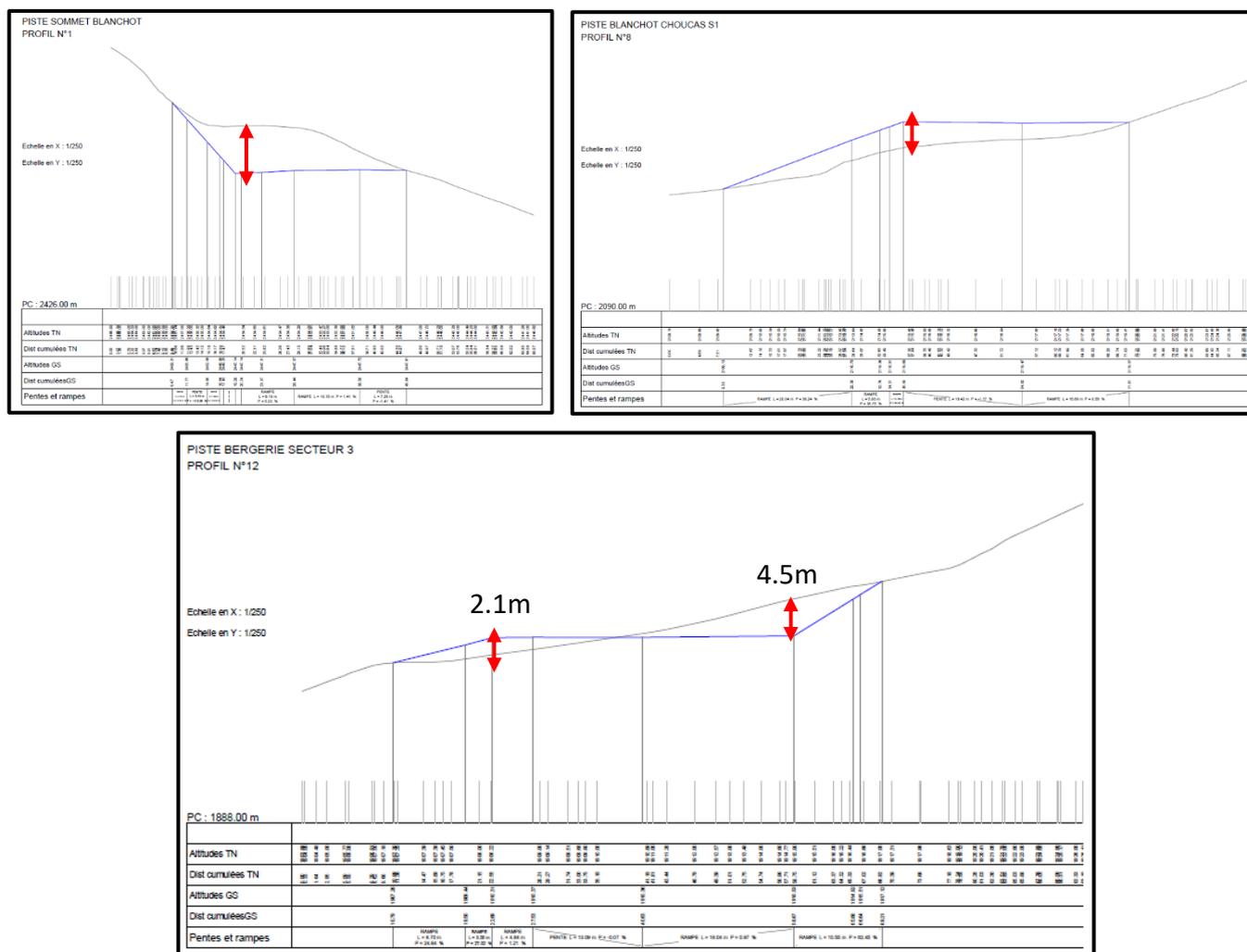
D'une manière plus générale, toutes mesures devront être prises pour limiter l'impact de l'aléa « chute de bloc » dès la phase de terrassement.

En effet, le projet d'inscrit dans un versant rocheux dont la stratification et la fracturation favorise la production de blocs de 300 à 400 mm de diamètre.

Les différents principes d'adaptation au sol envisagés ou envisageables sont développés ci-après avec la prise en compte des risques et limites qui y sont liés.

3.3 Terrassements généraux et soutènements

Le projet nécessite des travaux de terrassements définitifs en déblais/remblais de 2.0 à 7.4m de hauteur environ pour l'ensemble du versant.



3.3.1 Conditions prévisibles de terrassements et aléas, à intégrer dans la conception et le planning.

- **Blocs volumineux et substratum rocheux :** Prévoir l'utilisations d'outils de terrassements puissants de type BRH et/ou minage pour l'ensemble du tracé
- **Risque de glissement bancs sur bancs des talus orienté vers l'Ouest et le Nord-Ouest.**
- **Talus en sol meuble :** Compte tenu des matériaux, les talus devront être adoucis à 3H/2V
- **Impact des intempéries :** le sol constitutif de l'arase étant très sensible aux variations de teneur en eau et sollicitations mécaniques
- **Circulation d'eau :** Toute venue d'eau devra être drainée gravitairement. Les fondations devront être coulées dans des fouilles sèches et purgées si elles nécessitent un assèchement.
- **Rocher stratifié et fracturé favorisant un risque de chute de bloc.**

3.3.2 Rappel des conditions prévisibles de réutilisation technique des matériaux.

La détermination précise des conditions de remblais doit en toute rigueur faire l'objet d'une analyse en référence au GTR 92. Nous retiendrons les grandes lignes générales suivantes :

	Probabilité de réemploi	Classement GTR
Eboulis et blocs calcaire	Bonne après étalement de la granulométrie	VC2G3 (ancienne : C1B4)
Limons caillouto-graveleux à éboulis	Faible à moyenne : matériaux très sensibles à l'eau sans squelette graveleux	F1 (ancienne : C1A1) à VC2I1 (ancienne : C1B5)
Substratum rocheux calcaire	Moyenne : sensible à l'eau et à l'action gel / dégel	R3 à R5

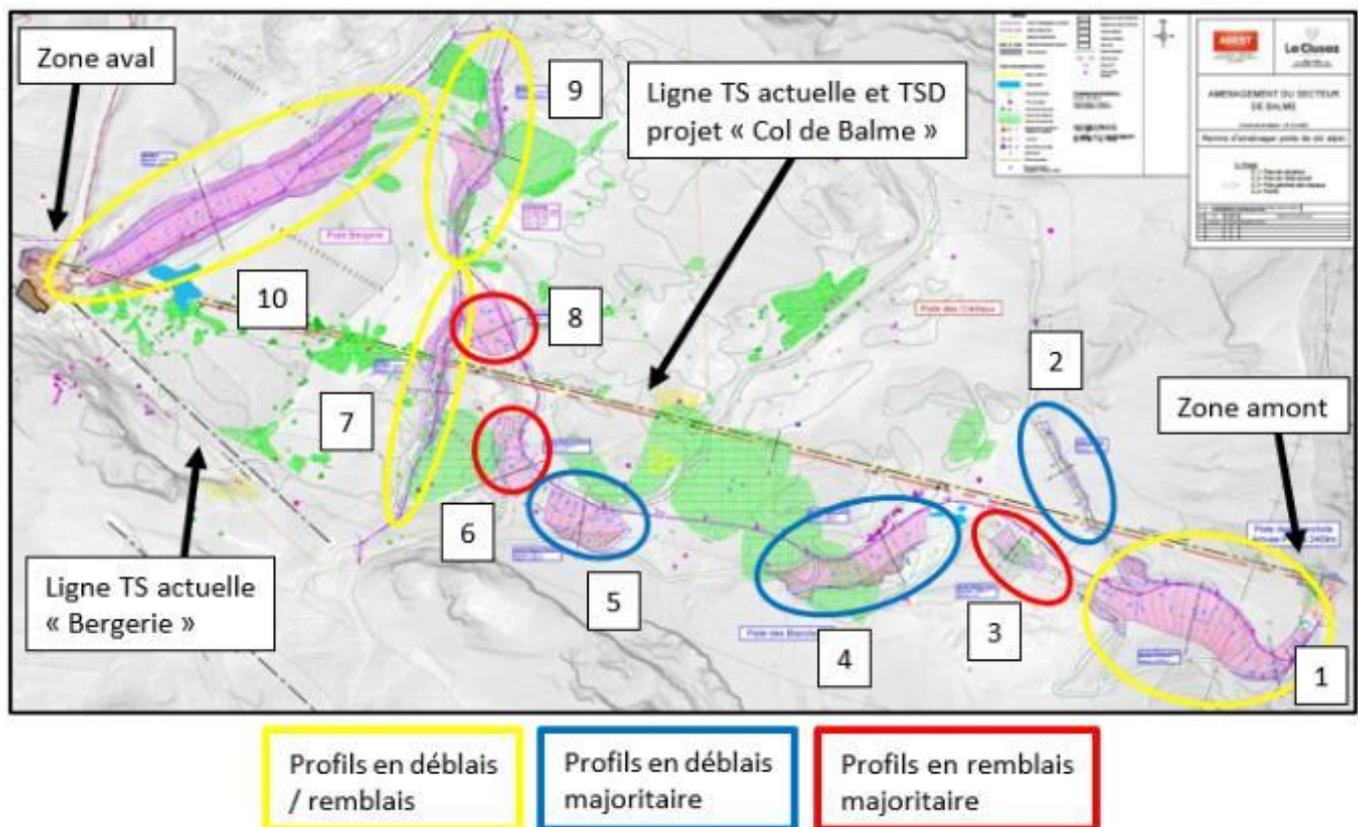
D'une manière générale, nous retiendrons que les matériaux limono caillouteux de la partie aval du site sont assez sensibles aux variations de teneur en eau et aux sollicitations mécaniques. **Ceci se traduit sur le terrain par une rapide décompression en cas d'exposition aux circulations d'eau souterraines et/ou aux intempéries et au trafic des engins.**

Les éboulis et le substratum rocheux présentent globalement une bonne aptitude à une réutilisation en remblai de piste.

3.3.3 Méthodologie générale

Pour rappel, le projet consiste en la réalisation de terrassement de la « Piste Blanchot » et de la piste « Bergerie » dans l'optique d'améliorer les largeurs et les profils actuels

Les profils des terrassements se trouvent majoritairement en déblais/remblais selon le plan de projet suivant :



3.3.3.1 Zone 1 à 4 :

- Il faudra prévoir la mise en œuvre de petits masques en enrochement dans les zones de plus fortes venues d'eau, avec cunettes de pied de talus et évacuation périphérique
- **Prévoir une pelle mécanique puissante munie d'un BRH et d'une dent ripper pour terrasser au sein du substratum rocheux affleurant et au-delà.** Une augmentation du rendement des terrassements pourra être obtenue à l'aide d'explosif en l'absence d'existant proche.
- **Prévoir la mise en œuvre de plates-formes d'accroche drainées de 5.0m de largeur sous la zone de remblai.** Le drainage pourra être réalisé à partir de tranchées drainantes avec les matériaux rocheux de couverture type éboulis bruts et le rocher calcaire présent dans les zones de déblai de la partie amont de la Combe de Balme (zone de sondage S1, S2, S7, S13, S14 et S16 ou le substratum calcaire est identifié à partir de 0.5 à 2.3m de profondeur/TN)

- **Les remblais de plus de 5.0m de hauteur seront ancrés sur le substratum compact du site** par l'intermédiaire de barrettes en petits blocs d'enrochement (purge partielle sous les plates-formes d'accroches).
- **Les talus de remblais ne devront pas excéder une pente de 3H/2V (33°/horizontale).** Ces talus seront impérativement mis en œuvre par temps sec avec un compactage des matériaux en mode vibrant par couches minces
- **Les talus de déblais définitifs seront imprimés d'une pente maximum de l'ordre de 3H/2V environ pour limiter le risque de glissement bancs sur bancs des terrassements orientés vers l'Ouest.**

Dans le cas contraire, il faudra prévoir en la mise en œuvre d'un épinglage des talus pour stabiliser les bancs rocheux en situation de défaut de butée de pied.

Au stade actuel de l'étude, **le clouage des bancs rocheux devra être prévu dans la zone du profil n°1.**

Au niveau du profil n°5, la pente devrait pouvoir être optimisée à 1/1.

La conception et les zones d'application de ces confortements devront être discutées avec la maîtrise d'œuvre.

3.3.3.2 Zone 5 à 6 :

- Il faudra prévoir la mise en œuvre de petits masques en enrochement dans les zones de plus fortes venues d'eau, avec cunettes de pied de talus et évacuation périphérique
- **Prévoir une pelle mécanique puissante munie d'un BRH et d'une dent ripper pour terrasser au sein du substratum rocheux affleurant et au-delà.** Une augmentation du rendement des terrassements pourra être obtenue à l'aide d'explosif en l'absence d'existant proche.
- **Prévoir la mise en œuvre de plates-formes d'accroche drainées de 5.0m de largeur sous la zone de remblai.** Le drainage pourra être réalisé à partir de tranchées drainantes **avec les matériaux rocheux de couverture type éboulis bruts et le rocher calcaire présent dans les zones de déblai de la partie amont de la Combe de Balme (zone de sondage S18, S20 et S22 ou le substratum calcaire n'a pas été identifié jusqu'à 2.5m de profondeur/TN)**

NOTA : les éboulis bruts de cette partie intermédiaire du versant, présentent localement une part de fine plus importante. Leur mise en œuvre en remblai nécessite une intervention par temps sec pour limiter l'exposition des matériaux à un risque variations de teneur en eau. Il faudra également prévoir une mise en œuvre en remblai à l'avancement de l'extraction dans les zones en déblai (limiter les stock tampon avec exposition des matériaux aux intempéries)

- **Les remblais seront ancrés sur le substratum compact du site** par l'intermédiaire de barrettes en petits blocs d'enrochement (purge partielle sous les plates-formes d'accroches).

- **Les talus de remblais ne devront pas excéder une pente de 3H/2V (33°/horizontale).** Ces talus seront impérativement mis en œuvre par temps sec avec un compactage des matériaux en mode vibrant par couches minces
- **Les talus de déblais définitifs seront imprimés d'une pente maximum de l'ordre de 3H/2V environ pour limiter le risque d'instabilité dans les éboulis.**

Dans la pratique, il s'agira de prolonger les pentes existantes avec la même inclinaison.

La conception et les zones d'application de ces confortements devront être discutées avec la maîtrise d'œuvre.

3.3.3.3 Zone 7 à 10 :

- Il faudra prévoir la mise en œuvre de petits masques en enrochement dans les zones de plus fortes venues d'eau, avec cunettes de pied de talus et évacuation périphérique
- **Prévoir une pelle mécanique puissante munie d'un BRH et d'une dent ripper pour terrasser au sein du substratum rocheux affleurant et au-delà.** Une augmentation du rendement des terrassements pourra être obtenue à l'aide d'explosif en l'absence d'existant proche.
- **Prévoir la mise en œuvre de plates-formes d'accroche drainées de 5.0m de largeur sous la zone de remblai.** Le drainage devra être réalisé à partir de tranchées drainantes **avec des matériaux de type graves non traités ou équivalent et devra être compacté par couche mince.**

NOTA : les limons caillouto-graveleux à blocs d'éboulis présents sur l'ensemble de la partie aval du versant, présentent une forte sensibilité à l'eau. Leur mise en œuvre en remblai nécessite une intervention par temps sec pour limiter l'exposition des matériaux à un risque variations de teneur en eau. Il faudra également prévoir une mise en œuvre en remblai à l'avancement de l'extraction dans les zones en déblai (limiter les stock tampon avec exposition des matériaux aux intempéries)

- **Les remblais seront ancrés sur le substratum compact du site** par l'intermédiaire de barrettes en petits blocs d'enrochement (purge partielle sous les plates-formes d'accroches).
- **Les talus de remblais ne devront pas excéder une pente de 3H/2V (33°/horizontale).** Ces talus seront impérativement mis en œuvre par temps sec avec un compactage des matériaux en mode vibrant par couches minces
- **Les talus de déblais définitifs seront imprimés d'une pente maximum de l'ordre de 3H/2V environ pour limiter le risque de glissement bancs sur bancs des terrassements orientés vers l'Ouest.**

Au stade actuel de l'étude, les talus de déblai sont redressés à 1/1 au droit profils n°9 et 11. Il faudra prévoir en la mise en œuvre d'un épinglage des talus pour stabiliser les bancs rocheux en situation de défaut de butée de pied.

La conception et les zones d'application de ces confortements devront être discutées avec la maîtrise d'œuvre.

La conception des ouvrages géotechnique et leur supervision lors de l'exécution relèvent d'une mission spécifique de type G2PRO/G4.

3.3.4 Gestion de l'aléa chute de bloc

Le projet s'inscrit dans un versant rocheux avec une absence totale de couverture végétale dans sa partie supérieure. En effet, située à une altitude supérieure à 2000 m, les travaux de terrassement seront entrepris dans un environnement minéral de l'étage alpin.

Le plan de prévention des risques naturels de la commune classe la zone en aléa moyen à fort de chute de blocs. Sur le terrain cet aléa se traduit par le développement de vaste zone d'éboulis vifs.

Soulignons cependant que le tracé du projet reprend le tracé de la piste actuelle.

Aperçu de la partie supérieure du tracé :

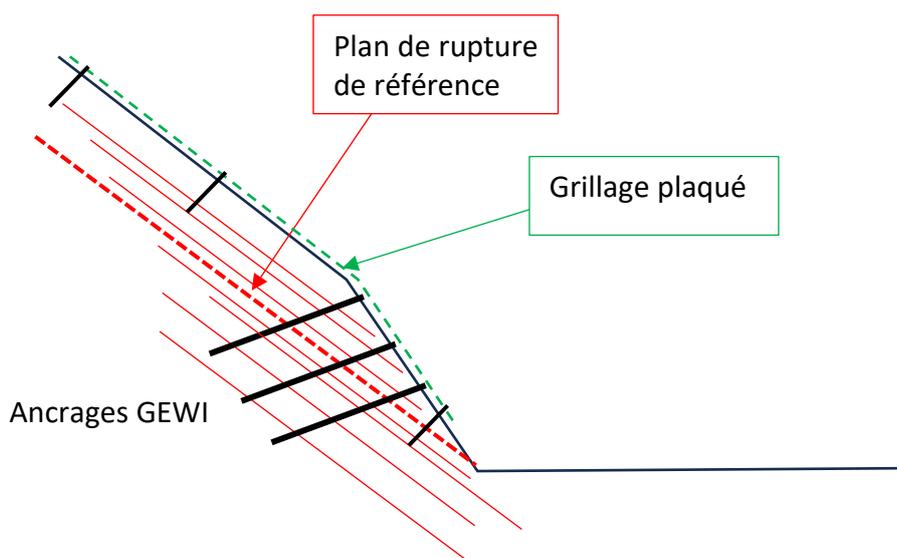


Dans ces conditions, le projet n'expose pas d'avantage les populations à l'aléa chute de blocs.

Dans l'optique de ne pas aggraver les risques et de ne pas en provoquer de nouveaux dans le cadre des travaux de terrassement, il conviendra de respecter les dispositions constructives suivantes :

- Adoucir si possible les talus rocheux orientés principalement vers l'ouest à une pente équivalente au pendage des bancs pour limiter le risque de glissement banc sur banc (cf. méthodologie générale des terrassement).
- Prévoir un épinglage des bancs rocheux en situation de perte de butée. L'épinglage sera réalisé avec des ancrages métallique de type GEWI 28 mm avec un scellement au-delà du plan de rupture référence. Le maillage des clous sera adapté à la rugosité des bancs et aux masses engagées
- Sur les rampants de talus rocheux, prévoir la pose d'un grillage antichute de blocs double torsadé sur les talus rocheux avec un maillage adapté à la granulométrie des blocs produit par l'action des agents climatique. D'après la granulométrie des éboulis visibles sur le site, une maille de 60 x 80 mm semble bien adaptée

Schéma de principe :



Exemple de chute de blocs liée à l'érosion des talus de la piste actuelle :



Au niveau de la gare d'arrivé du TSD et de la plateforme de débarquement, il faudra prévoir une protection de la falaise l'aide d'un prolongement du dispositif existant.

Etat des lieux : grillage cloué



Dans l'optique de limiter le risque de chute de bloc lié aux terrassements généraux de la plateforme de débarquement, nous recommandons également la mise en œuvre de dispositif de protection dans le versant Sud de col de Balme.

On pourra s'orienter vers la pose de barrières ancrées dans la pente en contre des terrassements



Localisation des barrières ancrées :



La conception des ouvrages géotechniques et leur supervision lors de l'exécution relèvent d'une mission spécifique de type G2PRO/G4.

4. REMARQUES GENERALES

4.1 Limites de l'étude

La présente mission G2 - AVP - (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 20/12/2024

Pour EQUATERRE SUD EST

Le président
S. MOILLE

L'Ingénieur,
R. CALDI



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

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

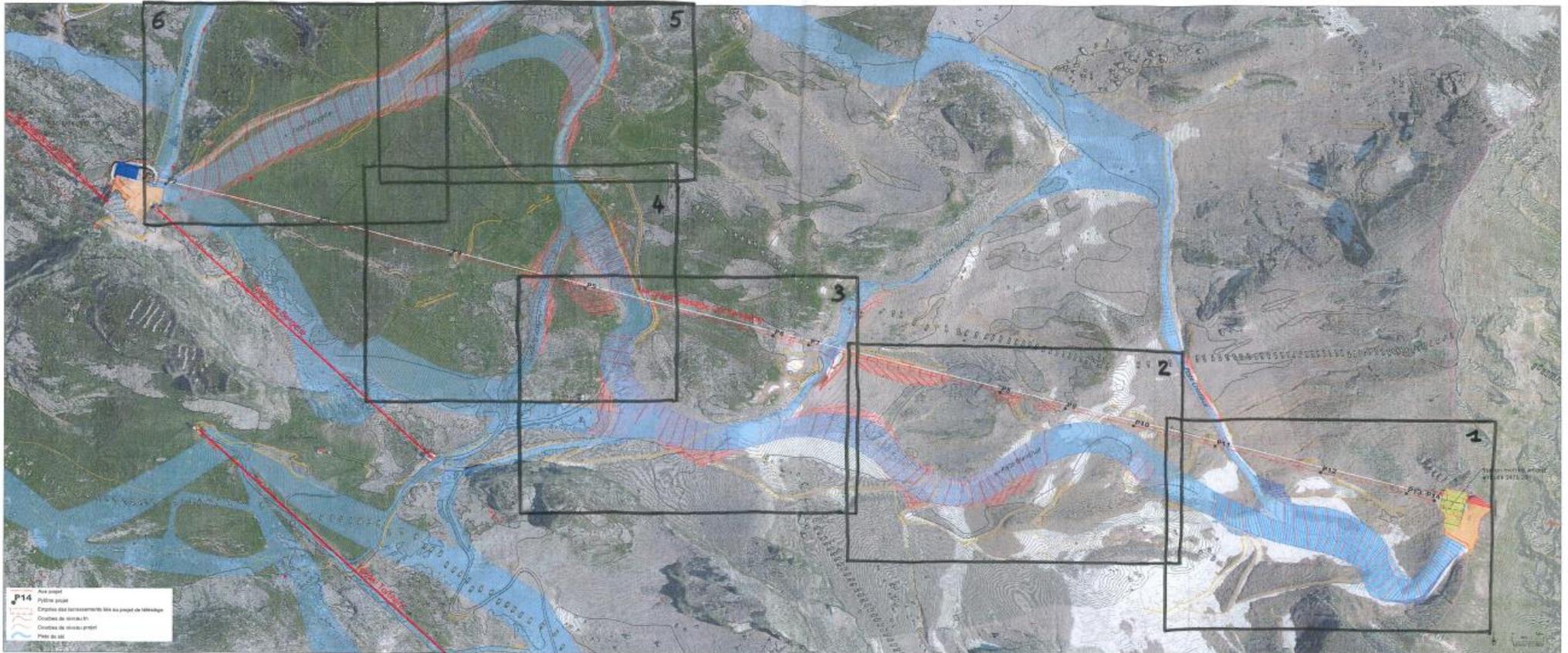
(Sans échelle)

Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchots

Date : 01/10/2024



<table border="1"> <tr> <th>REVISION</th> <th>DATE</th> <th>DESCRIPTION</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	REVISION	DATE	DESCRIPTION				<table border="1"> <tr> <th>OPERATION</th> <th>DATE</th> <th>DESCRIPTION</th> </tr> <tr> <td>REEMPLACEMENT TUBES DE SONDAGE</td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	OPERATION	DATE	DESCRIPTION	REEMPLACEMENT TUBES DE SONDAGE			<table border="1"> <tr> <th>DOCUMENT</th> <th>DATE</th> <th>DESCRIPTION</th> </tr> <tr> <td>PLAN MAJUSCULE</td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	DOCUMENT	DATE	DESCRIPTION	PLAN MAJUSCULE			<table border="1"> <tr> <td> EQUATERRE SUD EST 6 rue de l'Europe 74960 MEYTHET TEL : 04 50 67 92 50 FAX : 04 50 67 64 08 sud-est@equaterre-geotechnique.fr </td> <td> C&M 0450 1000 0000 0450 1000 0000 0450 1000 0000 </td> </tr> </table>	EQUATERRE SUD EST 6 rue de l'Europe 74960 MEYTHET TEL : 04 50 67 92 50 FAX : 04 50 67 64 08 sud-est@equaterre-geotechnique.fr	C&M 0450 1000 0000 0450 1000 0000 0450 1000 0000
REVISION	DATE	DESCRIPTION																					
OPERATION	DATE	DESCRIPTION																					
REEMPLACEMENT TUBES DE SONDAGE																							
DOCUMENT	DATE	DESCRIPTION																					
PLAN MAJUSCULE																							
EQUATERRE SUD EST 6 rue de l'Europe 74960 MEYTHET TEL : 04 50 67 92 50 FAX : 04 50 67 64 08 sud-est@equaterre-geotechnique.fr	C&M 0450 1000 0000 0450 1000 0000 0450 1000 0000																						

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

(Sans échelle)

Site :	La Clusaz
Affaire :	2205054
Projet :	TSD Balme + Piste Blanchots
Date :	01/10/2024

1/6

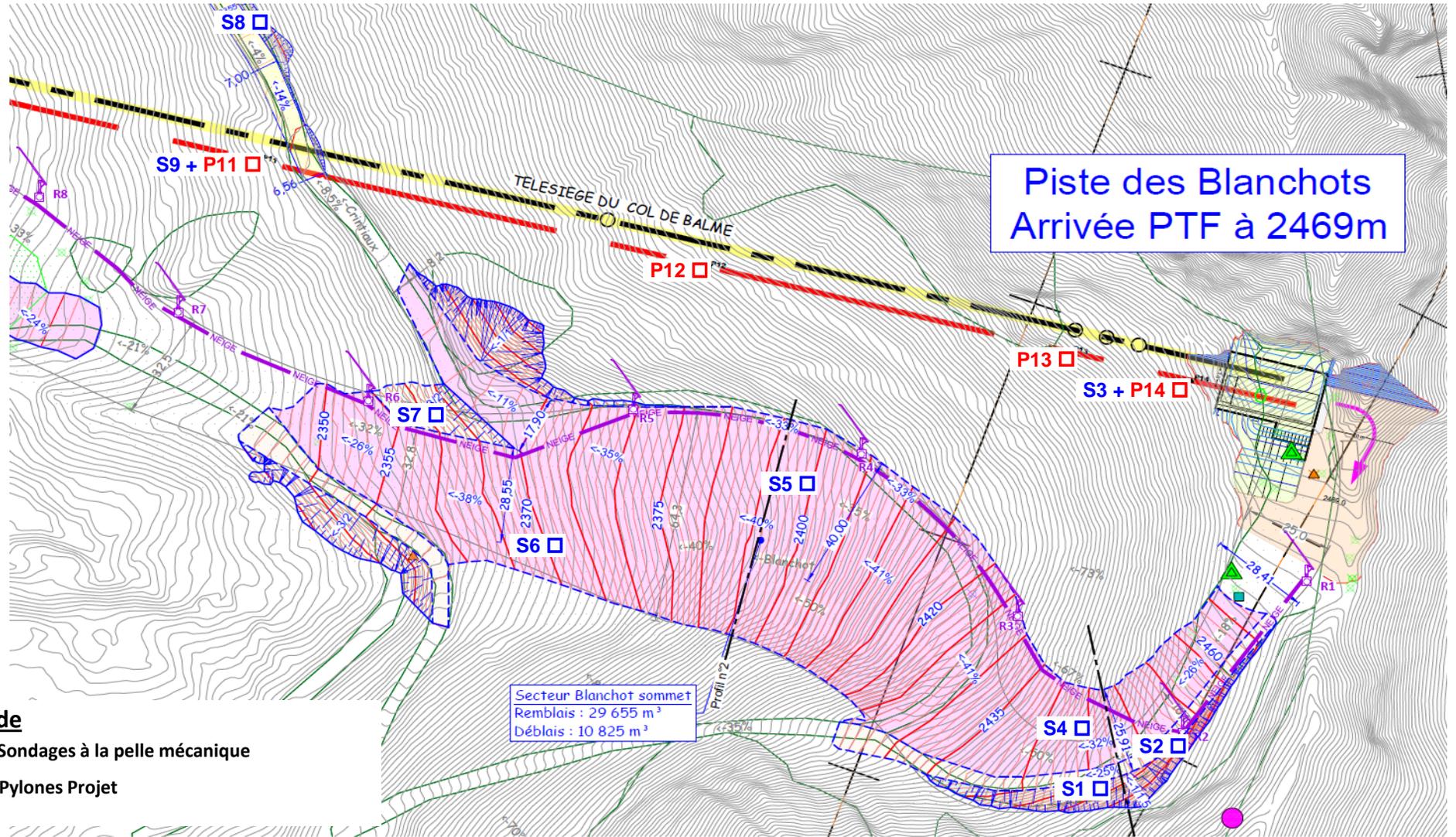


TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS DE SOL

Rappel: Il s'agit ici d'un tableau factuel, c'est-à-dire qui retranscrit les observations sans interprétation. Par exemple: venue d'eau à x m, exprime une profondeur d'arrivée, sans préjuger de sa nature (nappe, saturation, venues d'eau ponctuelles, chenal, etc...). L'interprétation est, elle, exprimée dans le corps du rapport.

Site :	La Clusaz
Affaire :	2205054
Projet :	TSD Balme + Piste Blancho
Date :	01/10/2024

		COUPES DES SONDAGES											Profondeur (en m/TN) de la base de chaque faciès géologique reconnu (et non pas épaisseur) et cote NGF (en italique)	
		PELLE MECANIQUE + PYLONES											Stabilité parois	REMARQUES
		S1	S2	S3 - P14	P13	P12	S4	S5	S6	S7	S8	S9 - P11		
		0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN		
Exemple Sondage S7 	Altitude sondages ⇒	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
	Eboulis et blocs calcaire à cailloutis imbriqués	>-1,4 <i>Blocs</i>	-1,0 <i>99,0</i>	>-1,6 <i>Eboulement + Cable P16</i>	-1,5 <i>98,5</i>	-	>-1,5 <i>Eboulement</i>	>-2,5 <i>Eboulement</i>	>-1,8 <i>Eboulement</i>	-2,3 <i>97,7</i>	>-2,5 <i>Eboulement</i>	-0,5 <i>99,5</i>	Très mauvaise , éboulement immédiat, avec ovalisation de la fouille importante	Blocs calcaire de > 0,5m à 1,5m Légerement plus limoneux au droit de S3, S4, S5, S6, S17 et S8 Echantillon S6 à -0,6m/TN
	Limons caillouto-graveleux à éboulis et blocs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mauvaise , éboulement des parois rapides avec hors profil important	
	Remblais limono-caillouto-graveleux	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mauvaise , éboulement des parois rapides avec hors profil important	
	Substratum rocheux calcaire	-	>-1,4 <i>Substratum</i>	-	>-1,5 ? <i>Substratum</i>	0,0 <i>Substratum affleurant</i>	-	-	-	>-2,5 <i>Substratum</i>	-	>-0,6 <i>Substratum</i>	Bonne , rocher franc compact	Substratum calcaire, avec un pendage compris entre 25 - 45° conforme à la pente sur l'ensemble du massif
	Eau souterraine													

Légende :

Pour chaque sondage, les valeurs soulignées (et cote correspondante) indiquent la profondeur du toit de l'horizon de fondation en m/TN (hors notion d'ancrage ou de mises hors gel).

Nota : Les éléments en *gras italique* correspondent à la cause du refus rencontré à la pelle mécanique ou à la cote de la base de l'horizon rencontré

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

(Sans échelle)

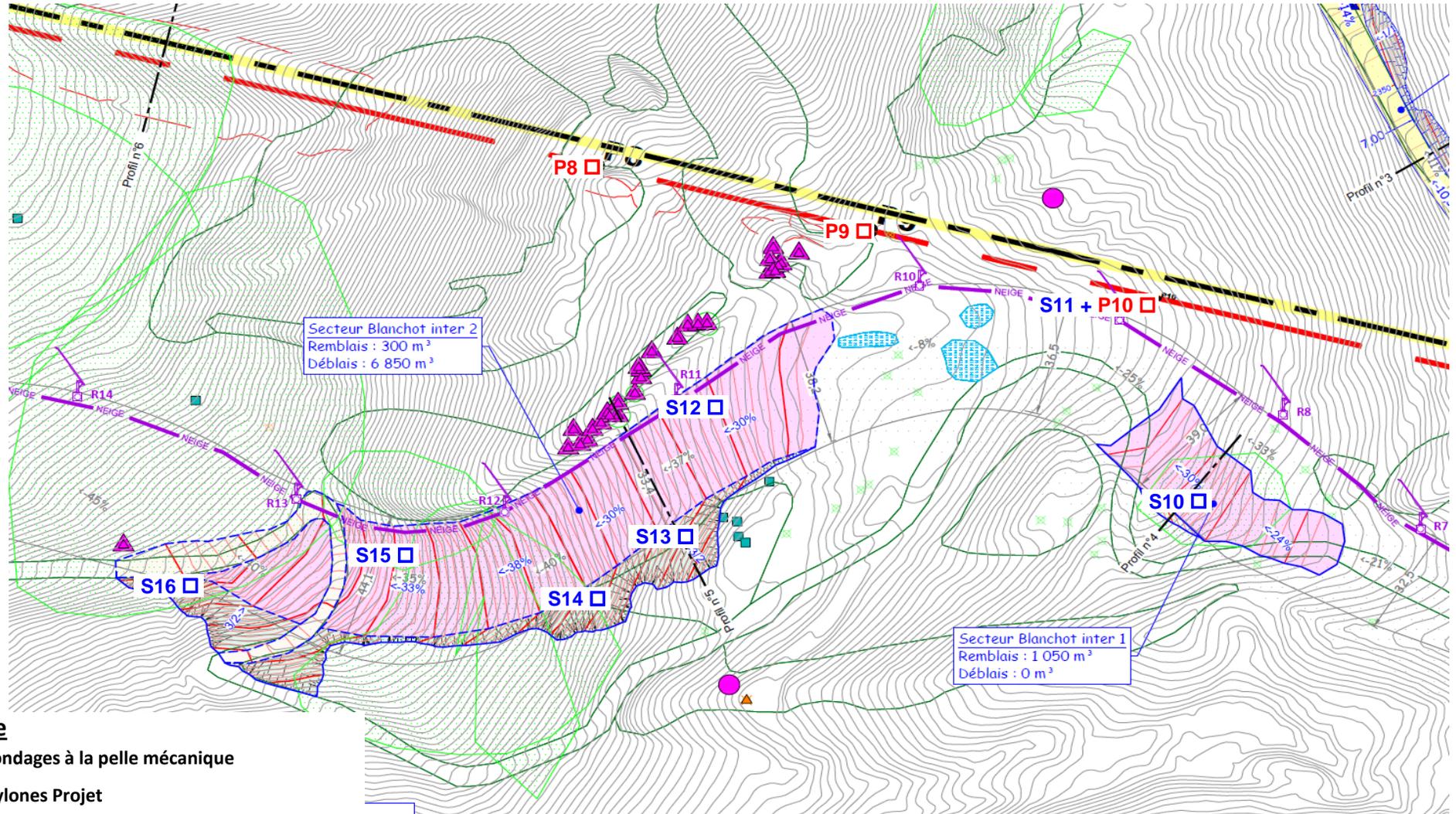
Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchots

Date : 01/10/2024

2/6



Légende

- S1 Sondages à la pelle mécanique
- P1 Pylones Projet

TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS DE SOL

Rappel: Il s'agit ici d'un tableau factuel, c'est-à-dire qui retranscrit les observations sans interprétation. Par exemple: venue d'eau à x m , exprime une profondeur d'arrivée, sans préjuger de sa nature (nappe, saturation, venues d'eau ponctuelles, chenal, etc...). L'interprétation est, elle, exprimée dans le corps du rapport.

Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchot

Date : 01/10/2024

Exemple Sondage S15	Coupe géologique	COUPES DES SONDAGES									Profondeur (en m/TN) de la base de chaque faciès géologique reconnu (et non pas épaisseur) et cote NGF (en italique)	
		PELLE MECANIQUE + PYLONES									Stabilité parois	REMARQUES
		S10	S11 - P10	P9	P8	S12	S13	S14	S15	S16		
0 m/TN	Altitude sondages ⇨	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
-1,5m/TN	Eboulis et blocs calcaire à cailloutis imbriqués	-1,4 <i>98,6</i>	>2,7 <i>Eboulement</i>	-	-	-1,0 <i>99,0</i>	-0,5 <i>99,5</i>	-1,9 <i>98,1</i>	-1,5 <i>98,5</i>	-1,9 <i>98,1</i>	Très mauvaise , éboulement immédiat, avec ovalisation de la fouille importante	Blocs calcaire de > 0,5m à 1,5m Plus limoneux au droit de S10, S11, S12, S13, S14, S15
	Limons caillouto-graveleux à éboulis et blocs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mauvaise , éboulement des parois rapides avec hors profil important	
	Remblais limono-caillouto-graveleux	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mauvaise , éboulement des parois rapides avec hors profil important	
>-1,6m/TN	Substratum rocheux calcaire	>-1,7 <i>Substratum</i>		0,0 <i>Substratum affleurant</i>	0,0 <i>Substratum affleurant</i>	>-1,1 <i>Substratum</i>	-0,6 <i>Substratum</i>	>-2,1 <i>Substratum</i>	>-1,6 <i>Substratum</i>	>-1,9 <i>Substratum ou bloc</i>	Bonne , rocher franc compact	Substratum calcaire, avec un pendage compris entre 25 - 45° conforme à la pente sur l'ensemble du massif
	Eau souterraine		-0,7 <i>Sous-eau</i>					-1,9 <i>Circulation</i>		-0,2 <i>Circulation</i>		

Légende :

Pour chaque sondage, les valeurs soulignées (et cote correspondante) indiquent la profondeur du toit de l'horizon de fondation en m/TN (hors notion d'ancrage ou de mises hors gel).

Nota : Les éléments en **gras italique** correspondent à la cause du refus rencontré à la pelle mécanique ou à la cote de la base de l'horizon rencontré

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

(Sans échelle)

Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchots

Date : 01/10/2024

3/6

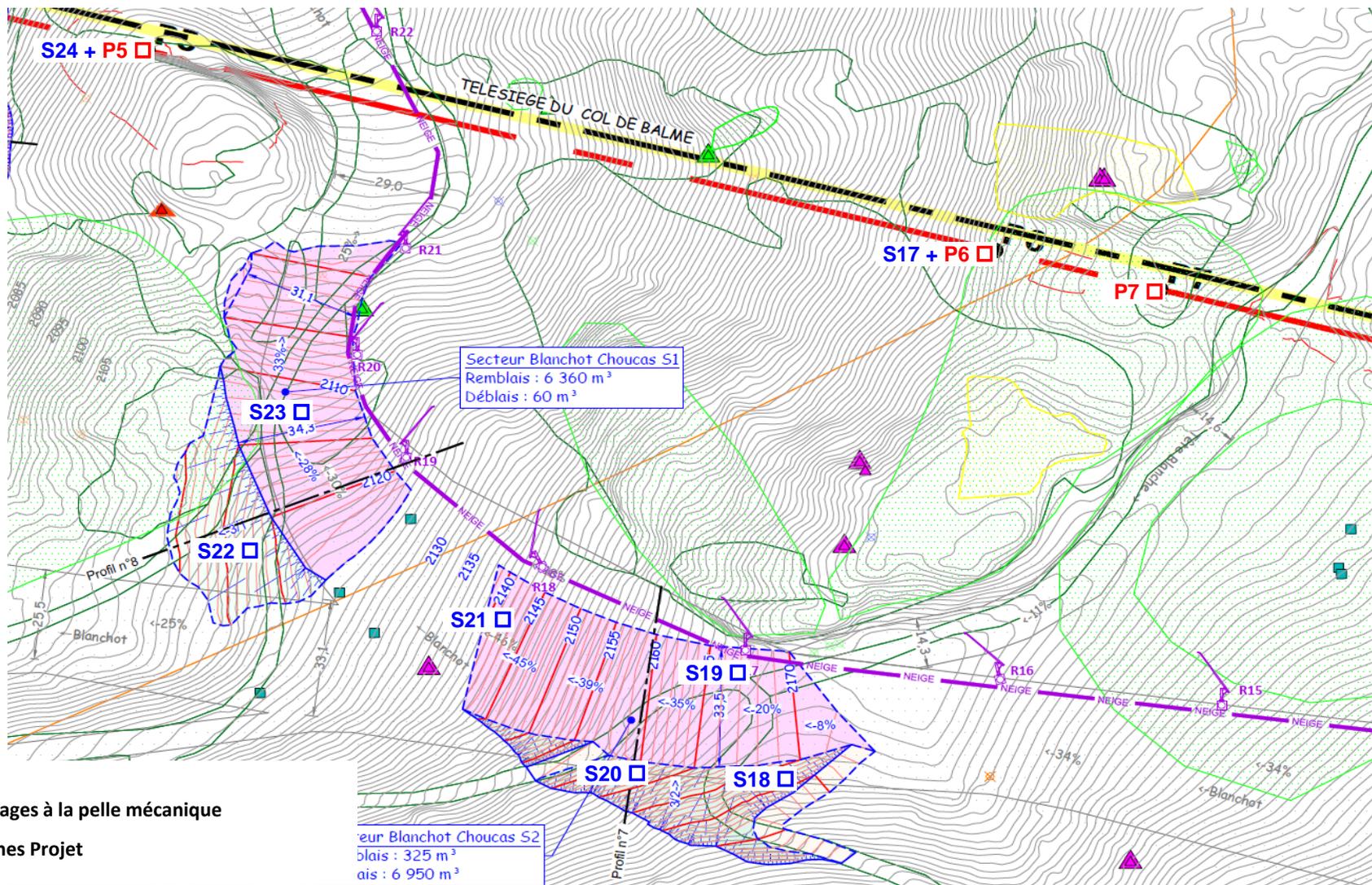


TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS DE SOL

Rappel: Il s'agit ici d'un tableau factuel, c'est-à-dire qui retranscrit les observations sans interprétation. Par exemple: venue d'eau à x m, exprime une profondeur d'arrivée, sans préjuger de sa nature (nappe, saturation, venues d'eau ponctuelles, chenal, etc...). L'interprétation est, elle, exprimée dans le corps du rapport.

Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchot

Date : 01/10/2024

Exemple Sondage S23	Coupe géologique	COUPES DES SONDAGES									Profondeur (en m/TN) de la base de chaque faciès géologique reconnu (et non pas épaisseur) et cote NGF (en italique)	Stabilité parois	REMARQUES
		PELLE MECANIQUE + PYLONES											
		S17 - P6	P7	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24 - P5			
0 m/TN	Altitude sondages ⇨	0/TN <i>100,0</i>	0/TN <i>100,0</i>	0/TN <i>100,0</i>	0/TN <i>100,0</i>	0/TN <i>100,0</i>	0/TN <i>100,0</i>	0/TN <i>100,0</i>	0/TN <i>100,0</i>	0/TN <i>100,0</i>			
1,5m/TN	Eboulis et blocs calcaire à cailloutis imbriqués	-0,5 <i>99,5</i>	- <i>Eboulement</i>	>-2,5 <i>99,4</i>	-0,6 <i>99,4</i>	>-1,2 <i>Blocs</i>	-0,5 <i>99,5</i>	>-0,5 <i>Blocs</i>	1,5 <i>101,5</i>	-1,5 <i>98,5</i>	Très mauvaise , éboulement immédiat, avec ovalisation de la fouille importante	Blocs calcaire de > 0,5m à 1,5m Légerement plus limoneux au droit de S18, S19	
-	Limons caillouto-graveleux à éboulis et blocs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mauvaise , éboulement des parois rapides avec hors profil important		
-	Remblais limono-caillouto-graveleux	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mauvaise , éboulement des parois rapides avec hors profil important		
>-1,6m/TN	Substratum rocheux calcaire	>-0,6 <i>Substratum</i>	0,0 <i>Substratum affleurant</i>	-	>-0,7 <i>Substratum</i>	-	-0,6 <i>Substratum</i>	-	>-1,6 <i>Substratum ou blocs</i>	>-1,6 <i>Substratum</i>	Bonne , rocher franc compact	Substratum calcaire, avec un pendage compris entre 25 - 45° conforme à la pente sur l'ensemble du massif	
	Eau souterraine												

Légende :

Pour chaque sondage, les valeurs soulignées (et cote correspondante) indiquent la profondeur du toit de l'horizon de fondation en m/TN (hors notion d'ancrage ou de mises hors gel).

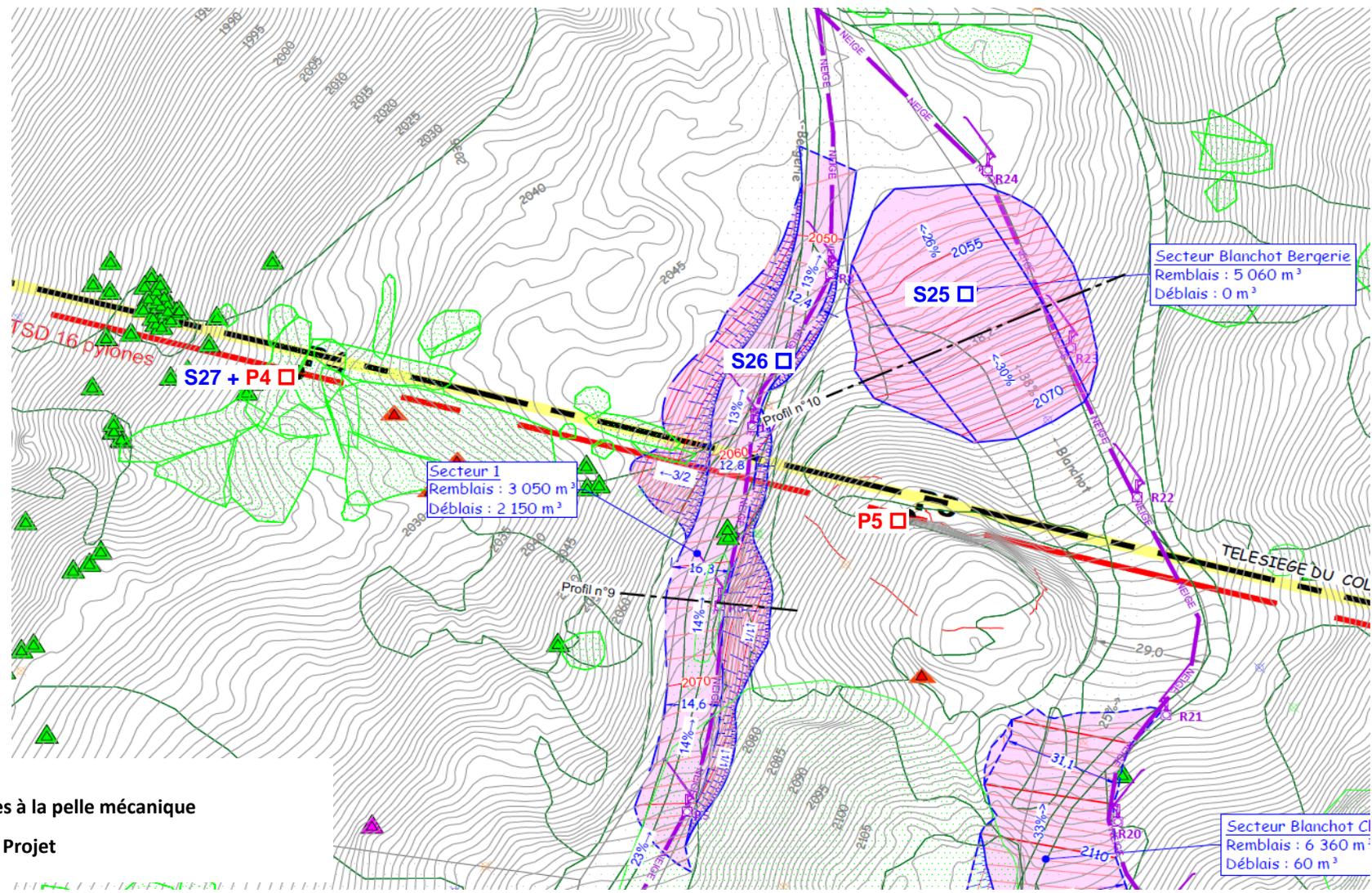
Nota : Les éléments en **gras italique** correspondent à la cause du refus rencontré à la pelle mécanique ou à la cote de la base de l'horizon rencontré

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

(Sans échelle)

Site :	La Clusaz
Affaire :	2205054
Projet :	TSD Balme + Piste Blanchots
Date :	01/10/2024

4/6



Légende

- S1 Sondages à la pelle mécanique
- P1 Pylones Projet

TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS DE SOL

Rappel: Il s'agit ici d'un tableau factuel, c'est-à-dire qui retranscrit les observations sans interprétation. Par exemple: venue d'eau à x m , exprime une profondeur d'arrivée, sans préjuger de sa nature (nappe, saturation, venues d'eau ponctuelles, chenal, etc...). L'interprétation est, elle, exprimée dans le corps du rapport.

Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchot

Date : 01/10/2024

Exemple Sondage S26 + ech	Coupe géologique	COUPES DES SONDAGES				Profondeur (en m/TN) de la base de chaque faciès géologique reconnu (et non pas épaisseur) et cote NGF (en italique)	
		PELLE MECANIQUE + PYLONES					
		S25	S26 + ech	S27 - P4	P5	Stabilité parois	REMARQUES
0/TN	0/TN	0/TN	0/TN				
0 m/TN	Altitude sondages →	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>		
	Eboulis et blocs calcaire à cailloutis imbriqués	-	-	>-2,8 <i>Eboulement</i>	-1,6 <i>98,4</i>	Très mauvaise, éboulement immédiat, avec ovalisation de la fouille importante	
	Limons caillouto-graveleux à éboulis et blocs	-1,9 <i>98,1</i>	-0,2 <i>99,8</i>	-	-	Mauvaise, éboulement des parois rapides avec hors profil important	Présence de blocs d'éboulis >1,5m Echantillon S26 à -0,1m/TN
	Remblais limono-caillouto-graveleux	-	-	-	-	Mauvaise, éboulement des parois rapides avec hors profil important	
>-0,2m/TN	Substratum rocheux calcaire	>-1,9 <i>Substratum</i>	>-0,2 <i>Substratum</i>		>-1,6 <i>Substratum</i>	Bonne, rocher franc compact	Substratum calcaire, avec un pendage compris entre 25 - 45° conforme à la pente sur l'ensemble du massif
	Eau souterraine						

Légende :

Pour chaque sondage, les valeurs soulignées (et cote correspondante) indiquent la profondeur du toit de l'horizon de fondation en m/TN (hors notion d'ancrage ou de mises hors gel).

Nota : Les éléments en *gras italique* correspondent à la cause du refus rencontré à la pelle mécanique ou à la cote de la base de l'horizon rencontré

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

(Sans échelle)

Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchots

Date : 01/10/2024

5/6

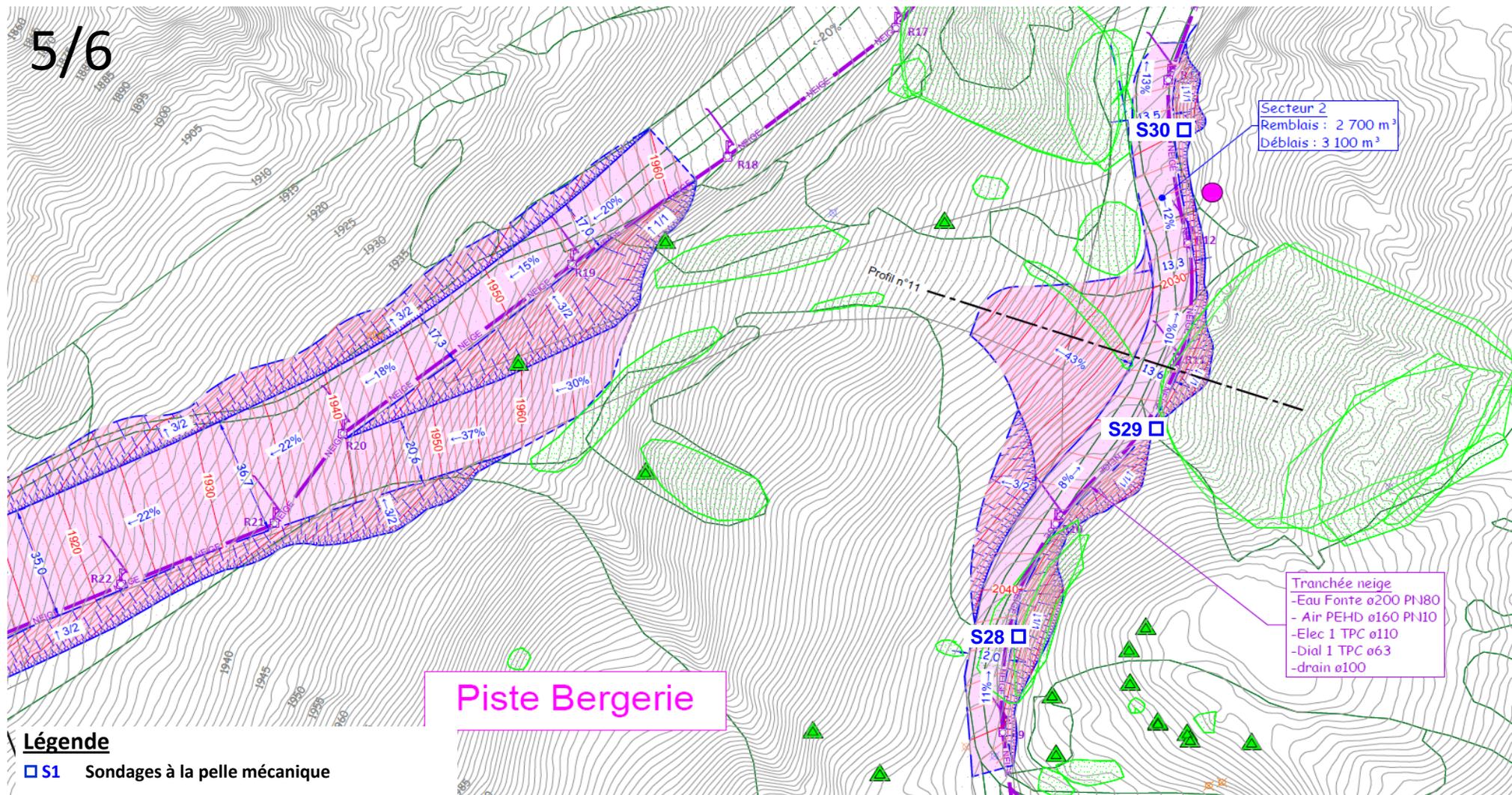




TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS DE SOL

Rappel: Il s'agit ici d'un tableau factuel, c'est-à-dire qui retranscrit les observations sans interprétation. Par exemple: venue d'eau à x m , exprime une profondeur d'arrivée, sans préjuger de sa nature (nappe, saturation, venues d'eau ponctuelles, chenal, etc...).
L'interprétation est, elle, exprimée dans le corps du rapport.

Site :	La Clusaz
Affaire :	2205054
Projet :	TSD Balme + Piste Blanchot
Date :	01/10/2024

Exemple Sondage S23	Coupe géologique	COUPES DES SONDAGES			Profondeur (en m/TN) de la base de chaque faciès géologique reconnu (et non pas épaisseur) et cote NGF (en italique)	
		PELLE MECANIQUE + PYLONES			Stabilité parois	REMARQUES
		S28 + ech	S29	S30		
		0/TN	0/TN	0/TN		
Altitude sondages →		<i>100,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>		
0 m/TN	Eboulis et blocs calcaire à cailloutis imbriqués	-	-	-	Très mauvaise , éboulement immédiat, avec ovalisation de la fouille importante	
1,5m/TN	Limons caillouto-graveleux à éboulis et blocs	>-1,9 <i>Blocs</i>	>-2,2 <i>Eboulement</i>	-1,1 <i>98,9</i>	Mauvaise , éboulement des parois rapides avec hors profil important	Présence de bloc calcaire éboulis >1,0 à 2,0m Echantillon S28 à -1,0m/TN
>-1,6m/TN	Remblais limono-caillouto-graveleux	-	-	-	Mauvaise , éboulement des parois rapides avec hors profil important	
	Substratum rocheux calcaire	-	-	>-1,1 <i>Substratum</i>	Bonne , rocher franc compact	Substratum calcaire, avec un pendage compris entre 25 - 45° conforme à la pente sur l'ensemble du massif
	Eau souterraine					

Légende :

Pour chaque sondage, les valeurs soulignées (et cote correspondante) indiquent la profondeur du toit de l'horizon de fondation en m/TN (hors notion d'ancrage ou de mises hors gel).

Nota : Les éléments en *gras italique* correspondent à la cause du refus rencontré à la pelle mécanique ou à la cote de la base de l'horizon rencontré

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

(Sans échelle)

Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchots

Date : 01/10/2024

Légende

□ S1 Sondages à la pelle mécanique

□ P1 Pylones Projet

6/6

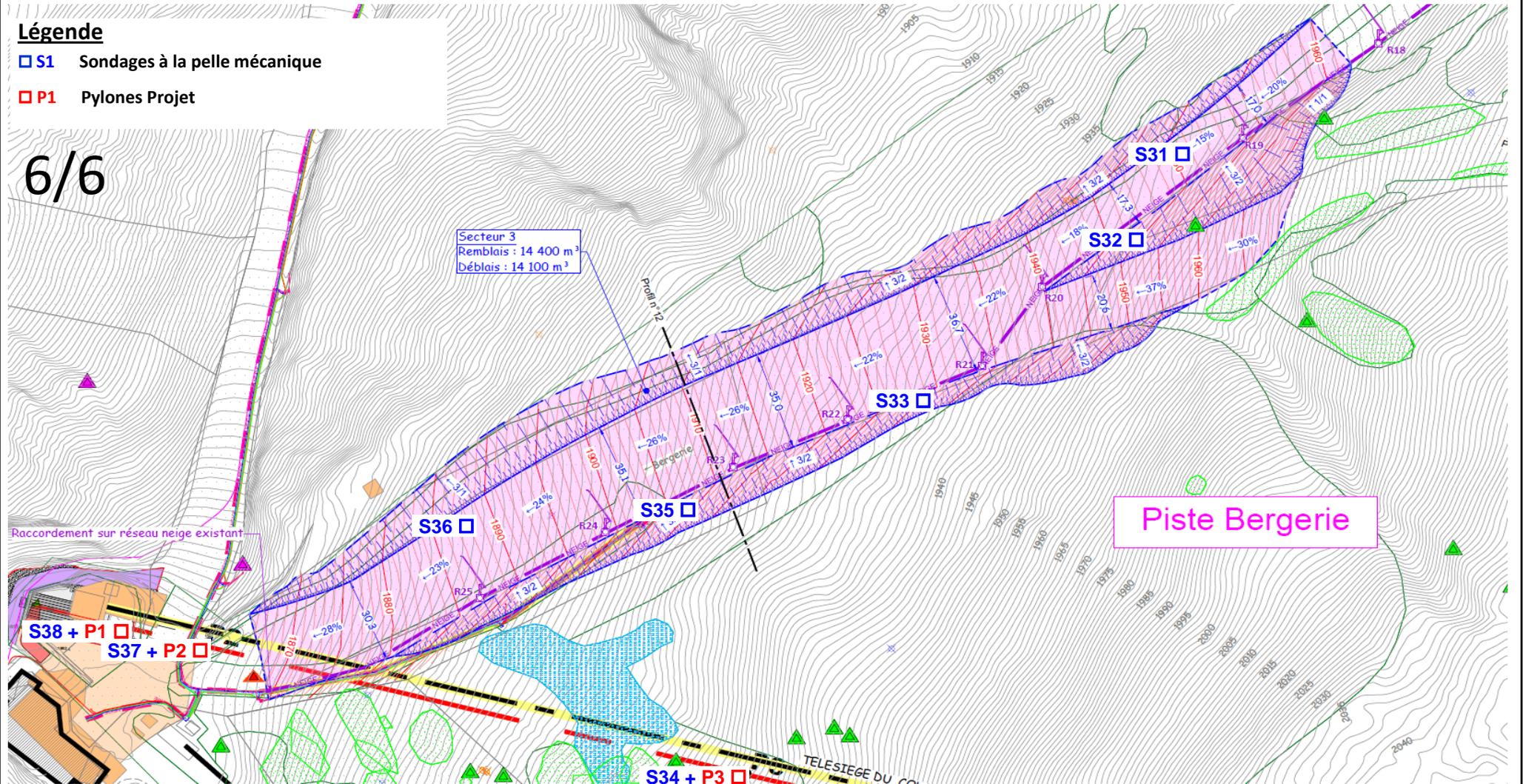


TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS DE SOL

Rappel: Il s'agit ici d'un tableau factuel, c'est-à-dire qui retranscrit les observations sans interprétation. Par exemple: venue d'eau à x m , exprime une profondeur d'arrivée, sans préjuger de sa nature (nappe, saturation, venues d'eau ponctuelles, chenal, etc...). L'interprétation est, elle, exprimée dans le corps du rapport.

Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchot

Date : 01/10/2024

Exemple Sondage S31	Coupe géologique	COUPES DES SONDAGES								Profondeur (en m/TN) de la base de chaque faciès géologique reconnu (et non pas épaisseur) et cote NGF (en italique)	Stabilité parois	REMARQUES
		PELLE MECANIQUE + PYLONES										
		S31	S32 + ech	S33 + ech	S34 - P3	S35 + ech	S36	S37 - P2	S38 - P1			
		0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN			
Altitude sondages →		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0			
0 m/TN	Eboulis et blocs calcaire à cailloutis imbriqués	-0,5	-	-	-	-	-	-	-		Très mauvaise, éboulement immédiat, avec ovalisation de la fouille importante	Blocs calcaire de > 0,5m à 1,5m Légerement plus limoneux au droit de S31
-0,5m/TN	Limons caillouto-graveleux à éboulis et blocs	-	>-3,2	>-3,3	>-3,1	>-2,7	>-2,1	>-3,3	-		Mauvaise, éboulement des parois rapides avec hors profil important	S32 remanié jusqu'à -0,8m/TN (présence ficelle), argilo-graveleux en fond de pelle Echantillon S32, S33 et S35 à -1,5, -1,0 et -2,0m/TN
-	Remblais limono-caillouto-graveleux	-	-	-	-	-	-	-	>-3,3		Mauvaise, éboulement des parois rapides avec hors profil important	
>-0,5m/TN	Substratum rocheux calcaire	>-0,5	-	-	-	-	-	-	-		Bonne, rocher franc compact	Substratum calcaire, avec un pendage compris entre 25 - 45° conforme à la pente sur l'ensemble du massif
	Eau souterraine			-2,7								
				Circulation	Humide							

Légende :

Pour chaque sondage, les valeurs soulignées (et cote correspondante) indiquent la profondeur du toit de l'horizon de fondation en m/TN (hors notion d'ancrage ou de mises hors gel).

Nota : Les éléments en *gras italique* correspondent à la cause du refus rencontré à la pelle mécanique ou à la cote de la base de l'horizon rencontré

SATELC
3219 route des Aravis
74220 LA CLUSAZ

Nos références : sm/rc - 2205054 - La Clusaz (74) - TSD du col de Balme

Objet : – Etude géotechnique G2 AVP – Ind A

A l'attention de Monsieur RECHON-REGUET

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 31/10/2024

S. MOILLE



SATELC**La Clusaz (74)**
TSD du col de Balme**ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION****Mission : G2 - AVP (Norme NFP 94-500)**

Ind.	Date	Etabli par	Vérifié par	Objet de la modification
A	31/10/2024	R. CALDI	S. MOILLE	Première diffusion

Affaire n° 2205054**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	5
1.1 Situation	5
1.2 Les intervenants	6
La mission	6
1.3 Documents de référence.....	6
1.3.1 Les documents fournis	6
1.3.2 Documents géotechniques.....	6
1.3.3 Les documents à nous communiquer.....	7
1.4 Les questions posées	7
1.5 Les opérations effectuées	7
1.6 Assurance	7
2. ANALYSE.....	8
2.1 Les données du projet	8
2.1.1 La remontée mécanique.....	8
2.1.2 Les gares.....	9
2.1.4 Données sur les réseaux.....	12
2.2 Les données du sol.....	13
2.2.1 La géomorphologie.....	13
2.2.2 Géologie du site.....	16
2.2.3 Synthèse des investigations	18
2.2.4 Hydrogéologie et hydrographie.....	23
2.2.5 Sismicité du site.....	25
2.2.6 Caractéristiques mécaniques	26
2.2.7 Stabilité en excavation et stabilité d'ensemble.....	27
3. ADAPTATION AU SOL.....	28
3.1 Orientations générales	28
3.2 Gare aval	29
3.3 Gare amont	29
3.4 Remarques générales	30
3.4.1 Conditions prévisibles de terrassements et aléas, à intégrer dans la conception et le planning..	30
3.4.2 Méthodologie générale	30
3.4.3 Poussée des terres.....	31
3.4.4 Conditions prévisibles de réutilisation technique des matériaux.	32
3.5 Fondations des gares	32
3.6 Fondations des pylônes	33
3.6.1 Dispositions constructives particulières.....	35

4. REMARQUES GENERALES	39
4.1 Limites de l'étude	39
4.2 Définition normalisée de la présente mission	39
4.3 Autre(s) remarque(s)	39

PIECES ANNEXES

Plan d'implantation des sondages

Jeu de photographies

Tableau récapitulatif des sondages

Coupes de forages

Fiches pylones

Résultats d'analyses en laboratoire

1. GENERALITES

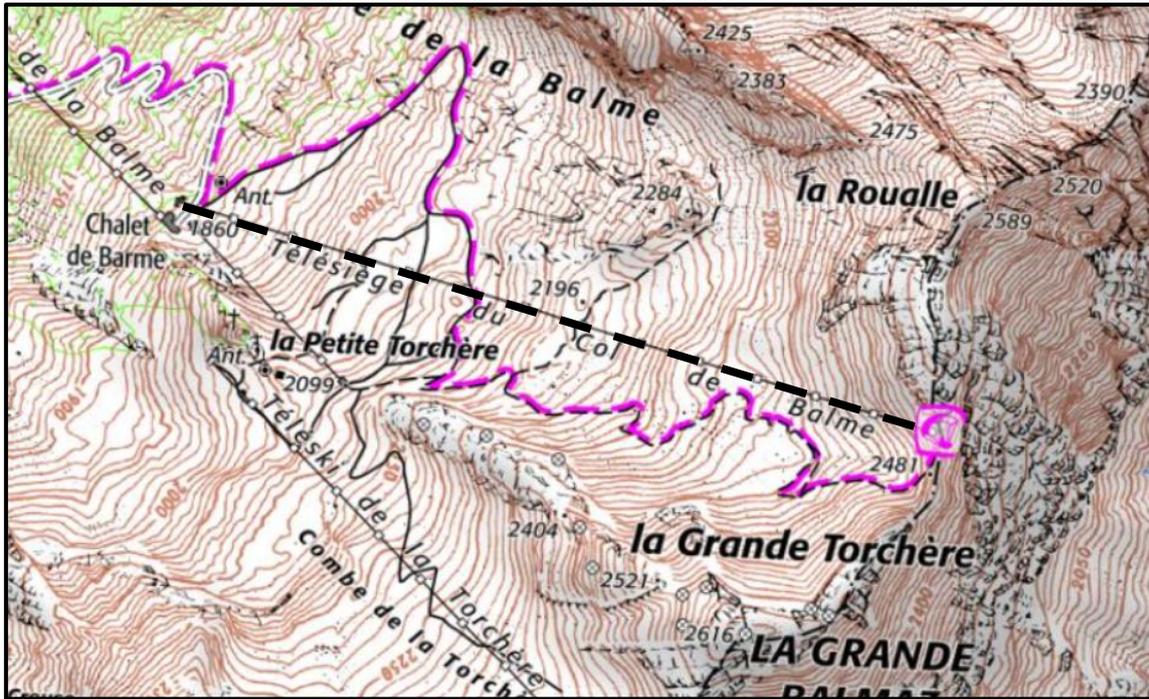
1.1 Situation

Département : HAUTE SAVOIE (74)

Commune : La Clusaz

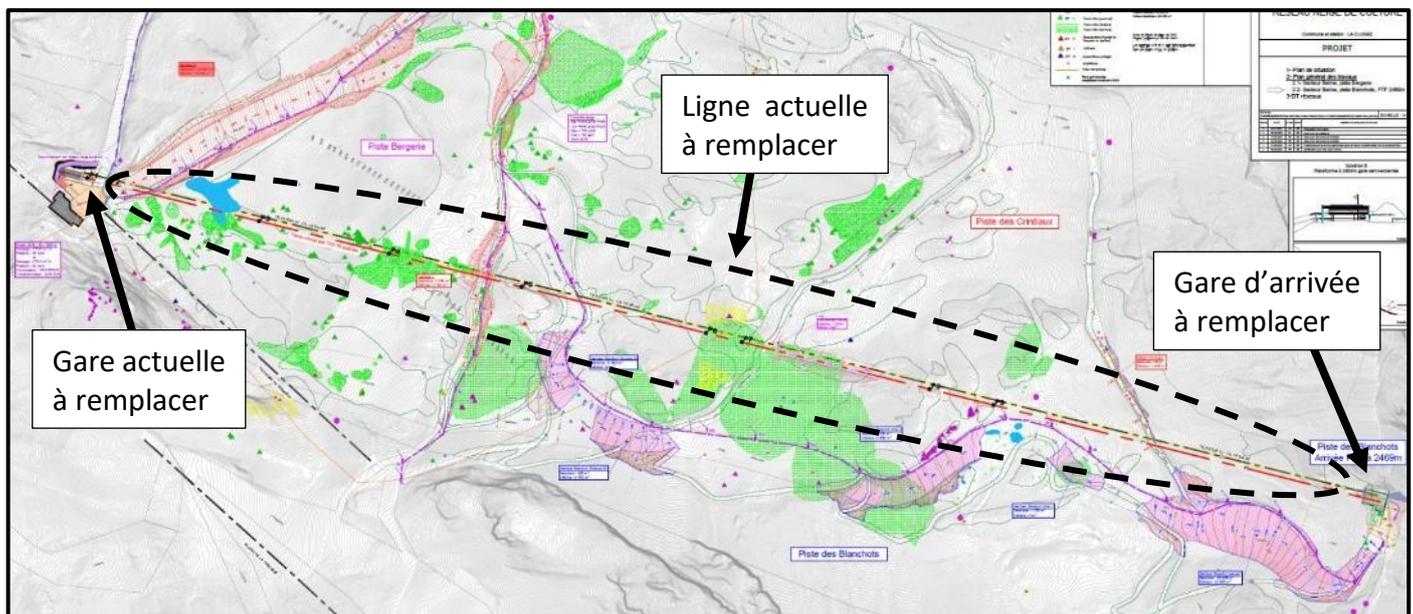
Départ : Gare de départ télésiège du Col de Balme actuel – Chalet de Barme

Arrivée : Gare d'arrivée télésiège du Col de Balme actuel – Sommet Combe de Balme



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

Aperçu du projet :



1.2 Les intervenants

INTERVENANTS	SOCIETES	RESPONSABLES	MAILS
MAÎTRE D'OUVRAGE	SATELC	M. RECHON-REGUET	michael.rochon-roguet@satelic.fr ;
MAÎTRE D'OEUVRE	CNA	M MOGUET	pierre.moguet@cna-mo.com ;

Convention souscrite :

Notre proposition n° 2205054.

Votre commande : Reçue par mail

La mission

La présente étude s'inscrit dans le cadre d'une mission comprenant des Investigations géotechniques et la rédaction d'une étude géotechnique d'avant-projet de type G2 (AVP), 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	ESQ	APS	AVP/APD	PRO	DCE/ACT	EXE/VISA	DET/AOR

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

Ces remarques font partie intégrante du rapport et doivent être prises en compte par la maîtrise d'œuvre dans l'analyse du projet.

1.3 Documents de référence

1.3.1 Les documents fournis

Documents	Echelle	Origine / référence	Indice	Date
Plan d'aménagement du secteur de Balme	1/1000	ABEST Ingénierie	K	09.09.2024
Profil de ligne	1/1000	CNA	CHANTIER	23.09.2024
Plan d'aménagement en gare de départ	1/500 – 1/250	CNA	Doc. BASE	25.05.2023
Plan d'aménagement en gare d'arrivée	1/750	CNA	Doc. BASE	17.05.2022

1.3.2 Documents géotechniques

Site Infoterre (BRGM)

Site Prim.net

PPR de la commune de : La Clusaz

1.3.3 Les documents à nous communiquer

Plan ligne à jour

Plan d'aménagement G1 et G2 à jour

1.4 Les questions posées

Il s'agit de préciser, dans le cadre de la mission décrite au paragraphe 2.3, les points suivants :

- **La nature et les caractéristiques mécaniques des horizons rencontrés permettant le pré dimensionnement des infrastructures du projet.**
- **Les principes généraux de construction de l'ouvrage, liés à la géotechnique :**
 - Terrassements
 - Soutènements
 - Fondations dallages
 - Dispositions vis à vis de l'eau souterraine.
- **Les principes généraux d'adaptation au sol des voiries.**

1.5 Les opérations effectuées

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

- Visite préalable du site, pré implantation et nivellement des sondages.
- Reprise des éléments géotechniques existants (mission G1 PGC ind. B du 31.10.2023)
- Enquête géologique et hydrogéologique.
- Analyse géomorphologique et levé d'affleurement.
- Sondages à la pelle mécanique (14 sondages).
- Prélèvement d'échantillons pour analyse en laboratoire
- Forages avec enregistrement de paramètres poussés à 15 et 20 m.
- Synthèse et rédaction d'un rapport d'étude géotechnique d'avant-projet.

1.6 Assurance

La SAS 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.

2. ANALYSE

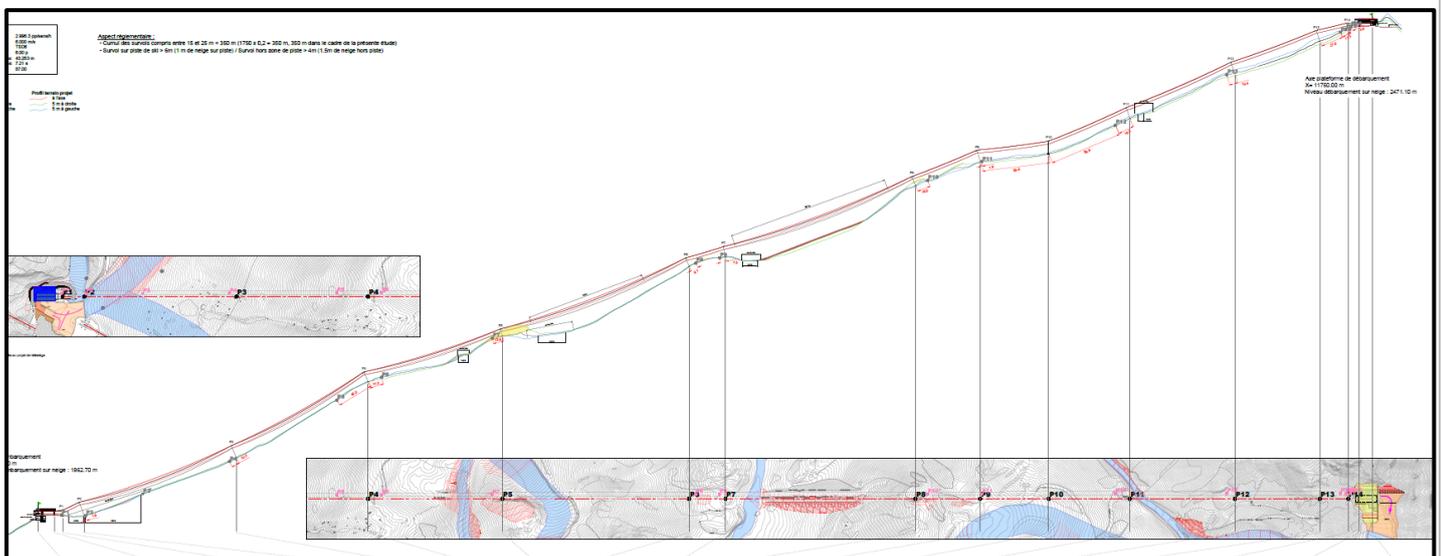
2.1 Les données du projet

2.1.1 La remontée mécanique

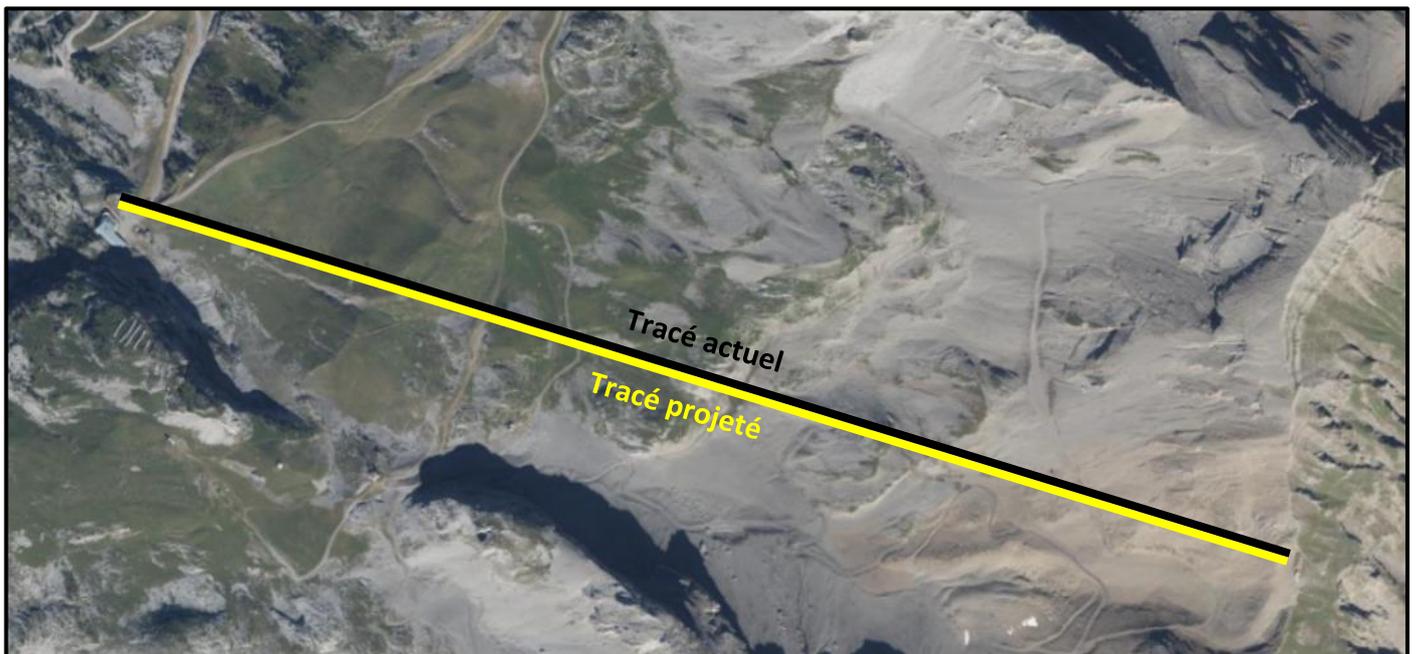
Le projet consiste en la construction d'un télésiège débrayable implanté sur le même tracé que le télésiège du Col de Balme existant (ligne projet écartée de 4.0m de la ligne existante).

En effet, les positions des gares de départ et d'arrivée sont décalées de 4.0m au Sud, des gares existantes.

La distance horizontale du télésiège est de 1650m environ pour un dénivelé de 610m environ. Le nombre de pylônes est de 14 unités à ce stade du projet.



Localisation :

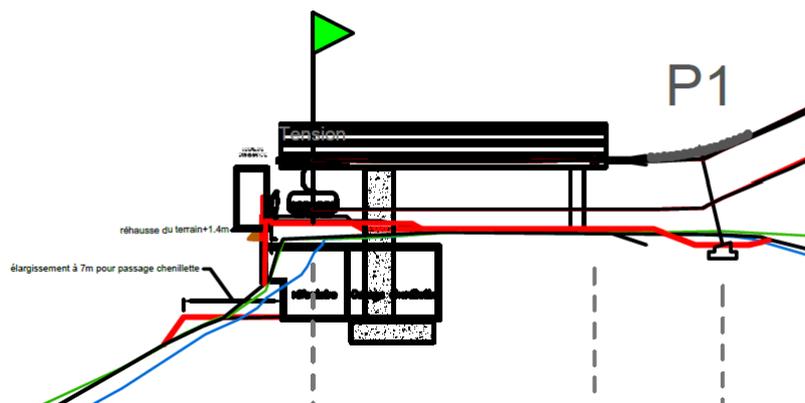


2.1.2 Les gares

A ce jour, nous retiendrons les principaux éléments suivants :

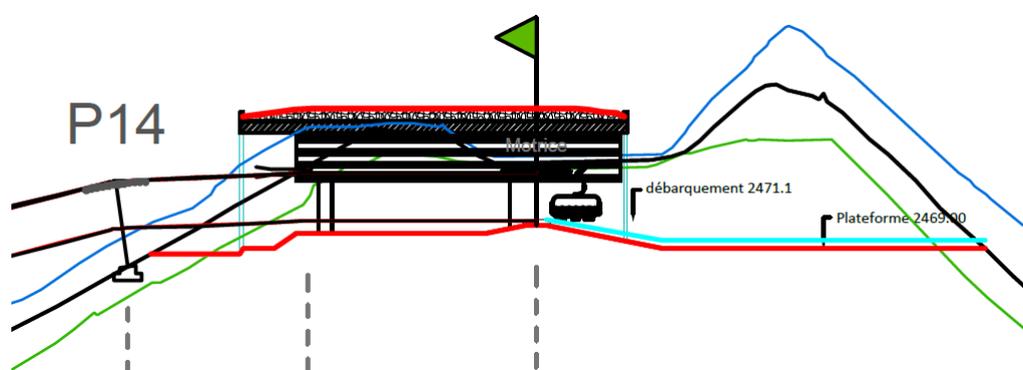
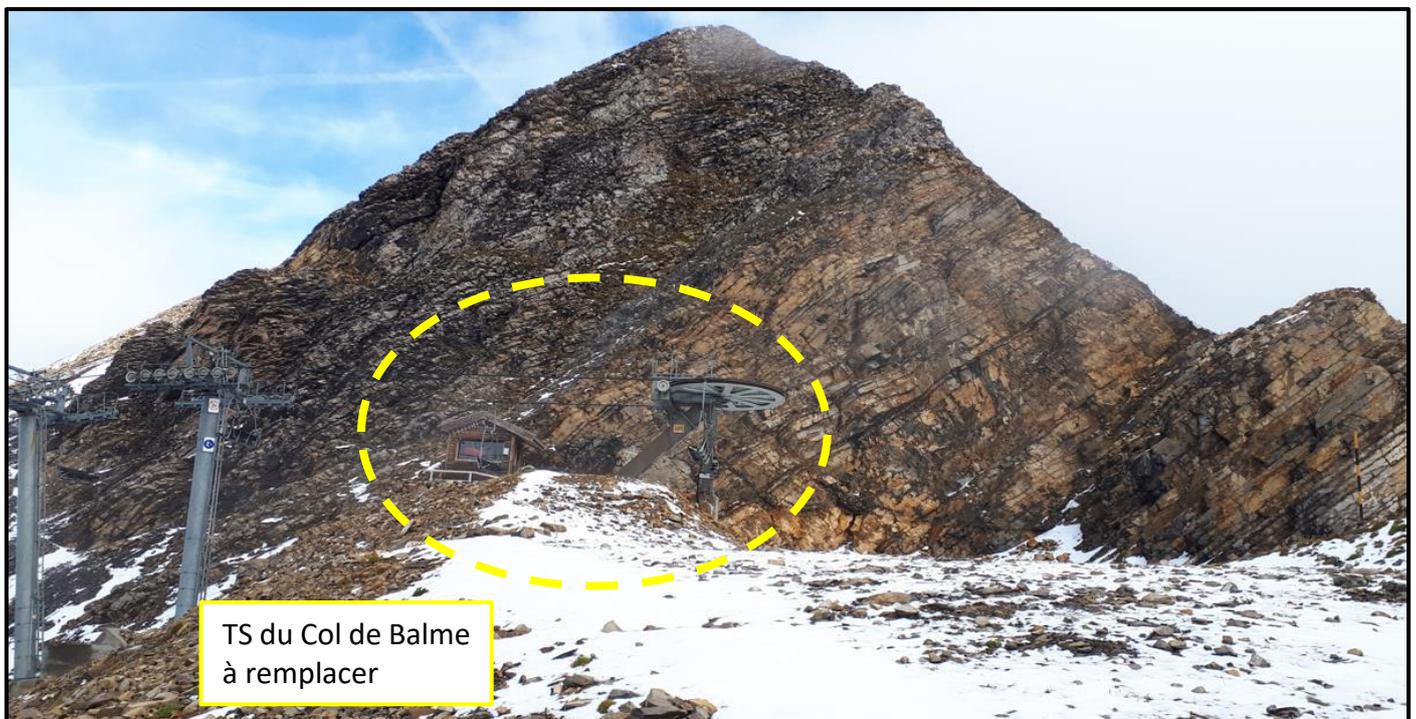
Gare aval :

- Type : Bâtiment GC
- Dimensions : 25.0 x 9.0 m environ de forme rectangulaire.
- Nombre de niveaux : SS + Rez
- Calage de niveau bas : Vers 1862.2 mNGF, soit au niveau du TN actuel.
- Structure : Mixte : béton et métallique, peu rigide et peu déformable
- Trame : Ponctuelle de portée à préciser
- Descentes de charge : A préciser par le BET Structure, (sans doute d'intensité modérée).
- Dallages : Dallage faiblement chargé
- Etat des lieux à la date d'intervention : Plateforme remblayée (occupée par 2 gares de départ, 1 gare d'arrivée, 1 sous-sol et un bâtiment : secours, restaurant etc.)



Gare amont :

- Type : Bâtiment GC
- Dimensions : 25.0 x 9.0 m environ de forme rectangulaire.
- Nombre de niveaux : Rez
- Calage de niveau bas : Vers 2470.2 mNGF, soit enterré de 2.0 à 4.0m par rapport au TN.
- Structure : Mixte : béton et métallique, peu rigide et peu déformable
- Trame : Ponctuelle de portée à préciser
- Descentes de charge : A préciser par le BET Structure, (sans doute d'intensité modérée).
- Dallages : Dallage faiblement chargé
- Etat des lieux à la date d'intervention : Plateforme en déblais, taillée dans le substratum rocheux lors de la mise en place de la gare d'arrivée existante.



2.1.3 Z.I.G., risques potentiels et enjeux technico-économiques

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

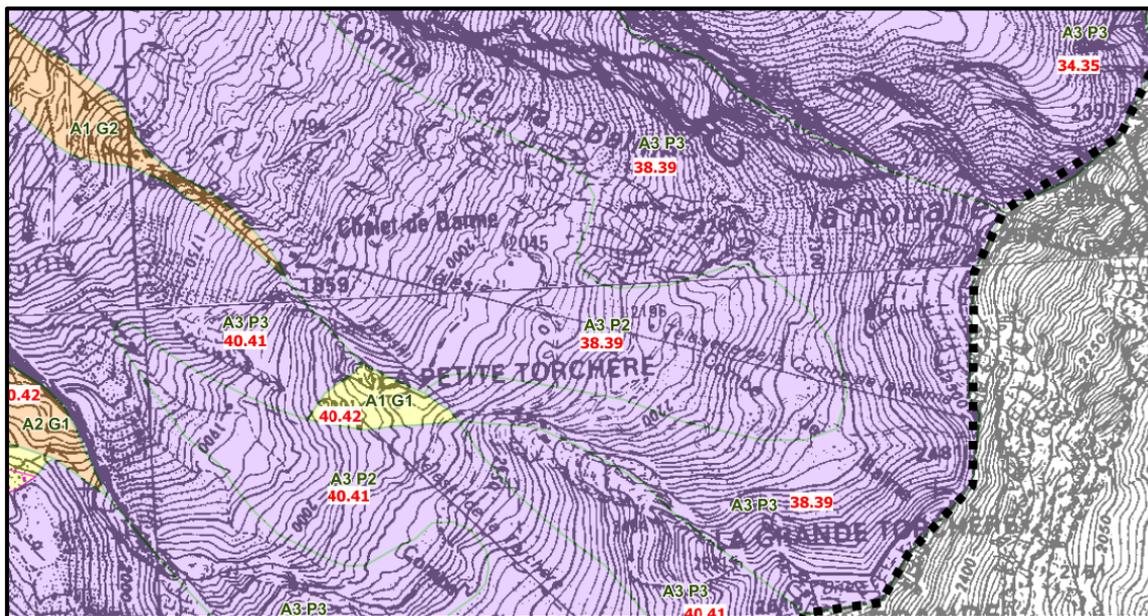
Volume du terrain au sein duquel il y a interaction entre l'ouvrage ou l'aménagement du terrain (du fait de sa réalisation et de son exploitation) et l'environnement (sols et ouvrages environnants).

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

Nous retiendrons :

- Ligne entièrement concernée par l'aléa avalanche et chute de pierre (degrés 3 : Fort), au sens du PPR en vigueur

Le maître d'ouvrage et l'équipe de maîtrise d'œuvre devront se référer au règlement applicable au site et à l'ouvrage en vigueur à la date du dépôt de PC ou de construction.



* source : <http://www.haute-savoie.gouv.fr> ©

- Nous retiendrons :
 - Gares existantes (départ et arrivée) à démolir, vestiges de fondations possibles
 - Conservation du sous-sol existant, se trouvant sous la plateforme de la G1 existante
 - ZIG limité à l'emprise du projet des pylônes de la ligne
 - Mur en enrochement de hauteur importante à conserver en G1
- NOTA : le mur à fait l'objet d'un renforcement par clouage
- Mur en enrochement de hauteur moyenne à conserver à proximité du P9 actuel
 - Pente continue et importante à proximité immédiate de la G2
- Réseaux à proximité de la gare aval (eau, électricité, EU etc.)

2.1.4 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

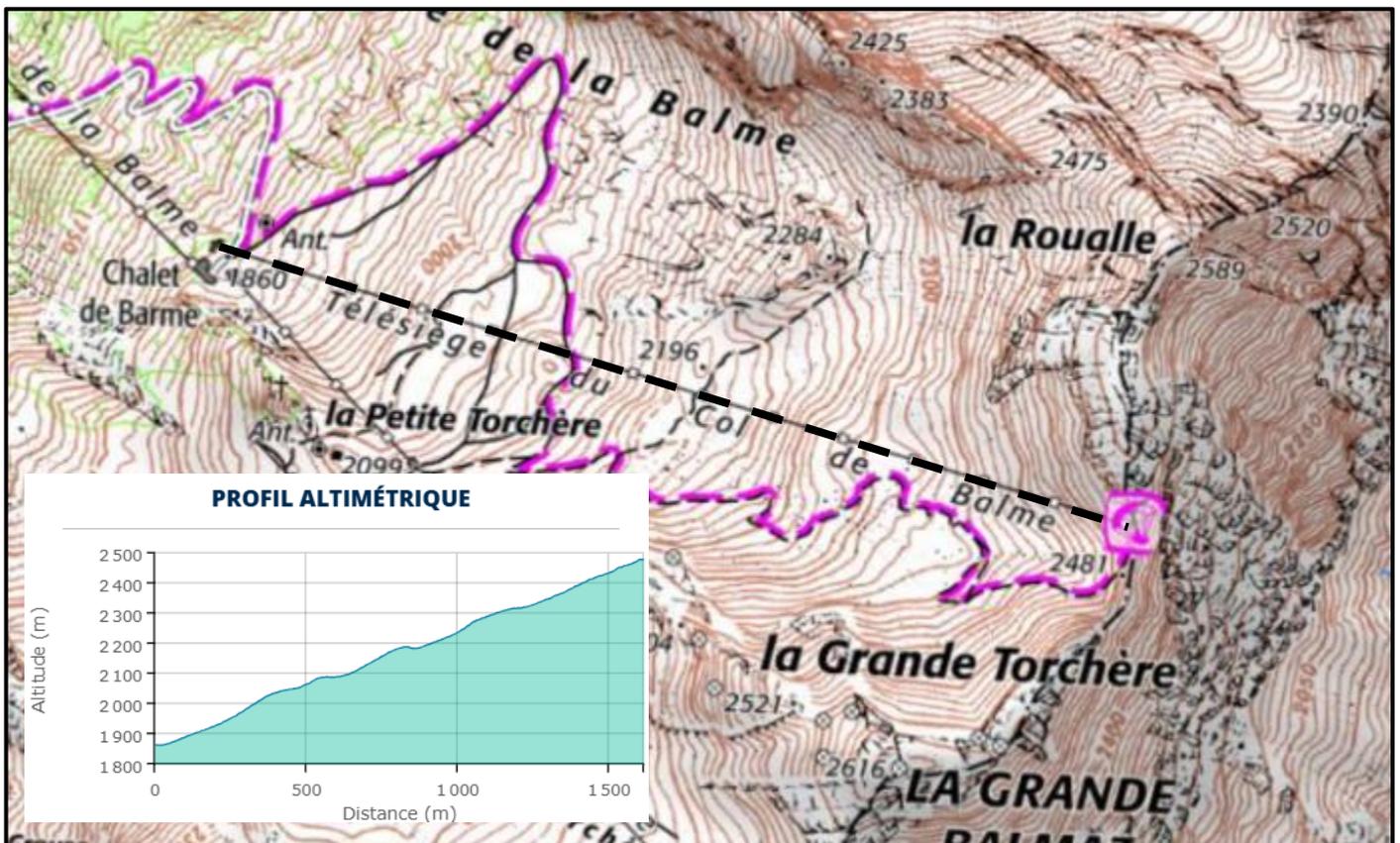
2.2.1 La géomorphologie

- 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 au sein d'un versant orienté vers l'Ouest et de forte pente

Le tracé est implanté sur une pente globalement régulière, avec quelques replats.



Aperçu général du versant depuis la gare amont :



Aperçu général de la partie supérieur du tracé :



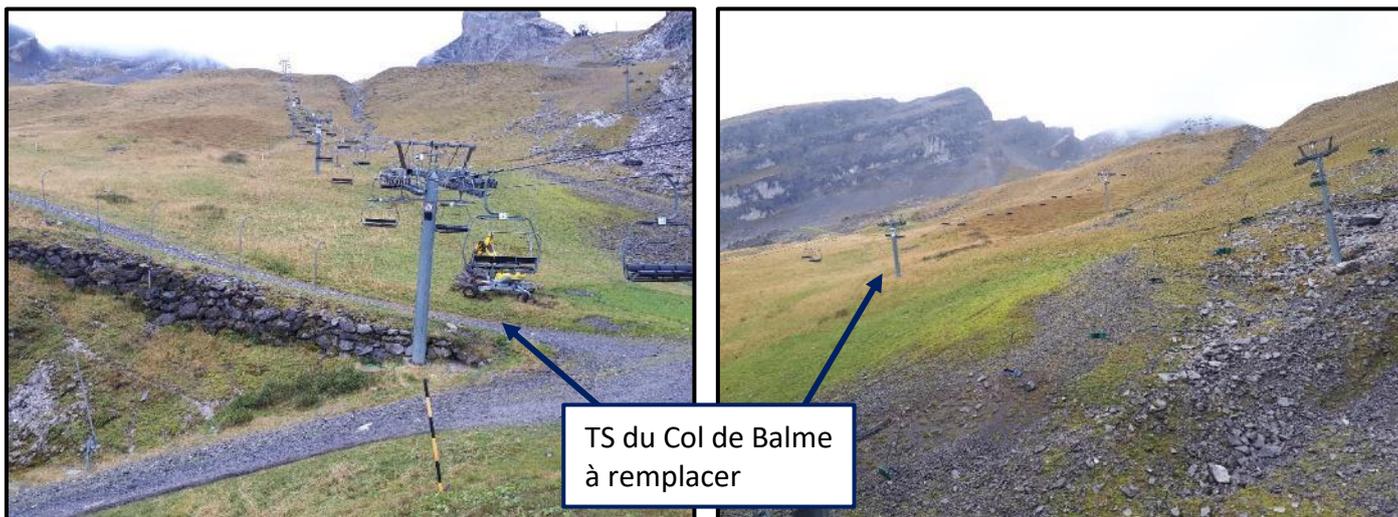
Aperçu général de la partie intermédiaire du tracé :



Aperçu général de la partie inférieur du tracé :



Aperçu général du versant depuis la gare aval :



Soulignons que le tracé de la nouvelle ligne TSD emprunte la trajectoire des pistes : Blanchot, Tête Blanche, Bergerie et Crintiaux. Ces pistes nécessiteront des mouvements de terre importants en déblai/remblai compte tenu du réaménagement prévu de la piste Blanchot.

La moitié aval du tracé se trouve sur une pente raide et constante globalement herbeuse, à l'inverse de la moitié amont du tracé, qui se trouve sur des vastes pentes d'éboulis et sur le substratum rocheux.

Lors de la visite du site, nous n'avons pas identifié de zone de glissement actif de grande ampleur, cependant, les chutes de blocs sont importantes et se matérialisent par des pierriers en situation d'équilibre, notamment sur la moitié amont du tracé.

L'extrémité aval du projet est implanté sur une plateforme d'origine anthropique, il s'agit de remblai soutenue par un enrochement massif, qui a fait l'objet d'un renforcement par clouage.

Aperçu de l'enrochement de la plateforme en remblai aval et du SS de cette dernière :



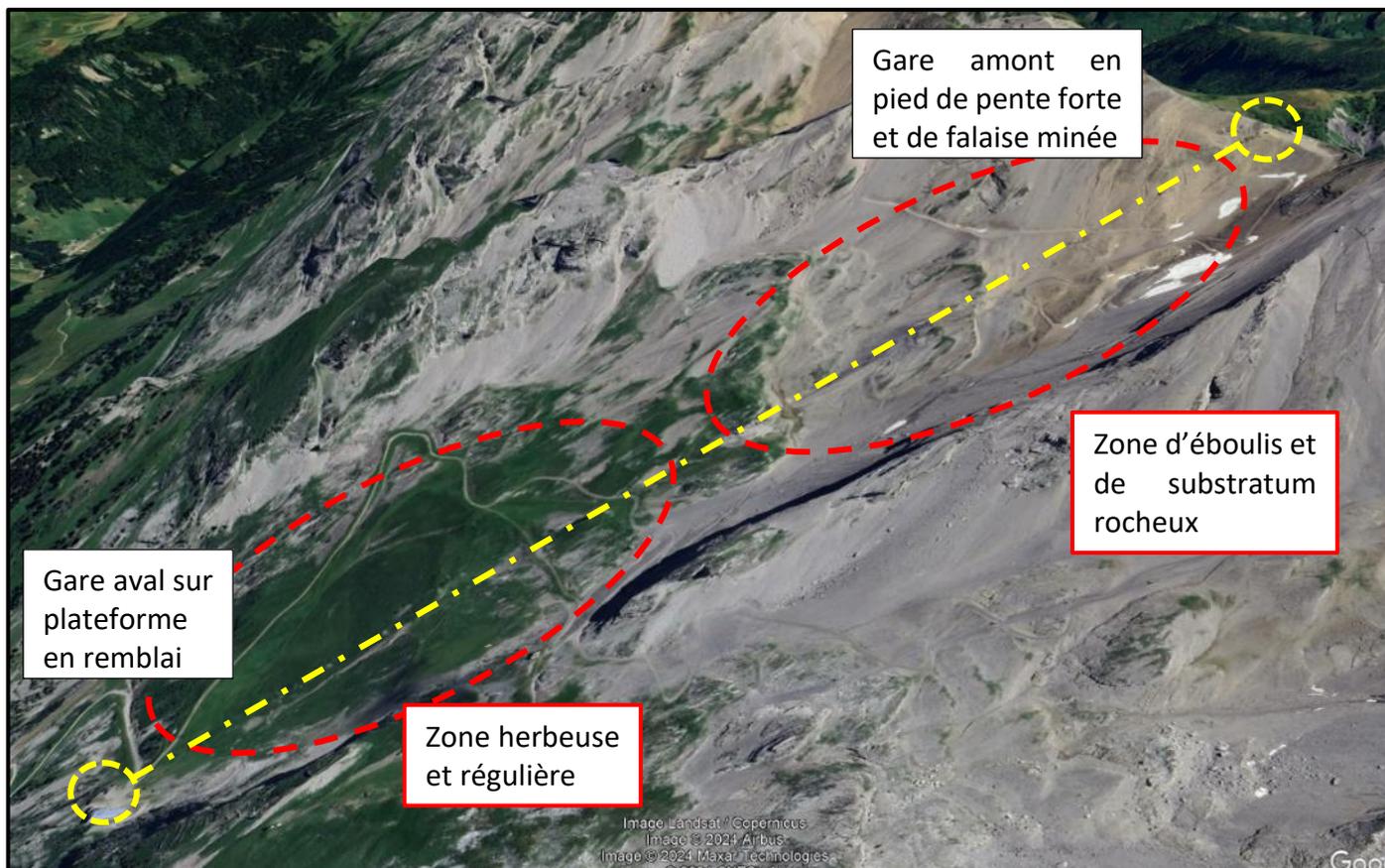
2.2.2 Géologie du site

D'après la carte géologique du site, le projet s'inscrit dans un contexte général de formations rocheuses à dominante calcaire avec des plaquage morainiques et d'éboulis importants (carte géologique 1/50 000).



Source : www.infoterre.fr BRGM 2010

Aperçu général du versant :



Les levés d'affleurements montrent que le rocher est présent régulièrement en surface, notamment sur la moitié amont du tracé, cependant ce dernier peut être couvert par plusieurs mètres d'éboulis.

Le rocher est globalement calcaire avec un pendage conforme à la pente sur l'ensemble du tracé (entre 25° - 45°)

Aperçu du substratum rocheux affleurent et des éboulis en partie amont :



Aperçu de la transition en milieu de tracé entre les zones d'éboulis amont et les zones herbeuses aval :



Aperçu des zones herbeuses avec la présence locale de zones d'éboulis en partie aval :



2.2.3 Synthèse des investigations

2.2.3.1 Pour la gare aval et le pylône P1 :

Au niveau de la gare de départ, les aménagements actuels (G1 Col de Balme + Bergerie, G2 La Balme, bâtiment de secours, sous-sol et restaurant) ont nécessité la réalisation d'une plateforme de plus de 7.0m de hauteur en moyenne.

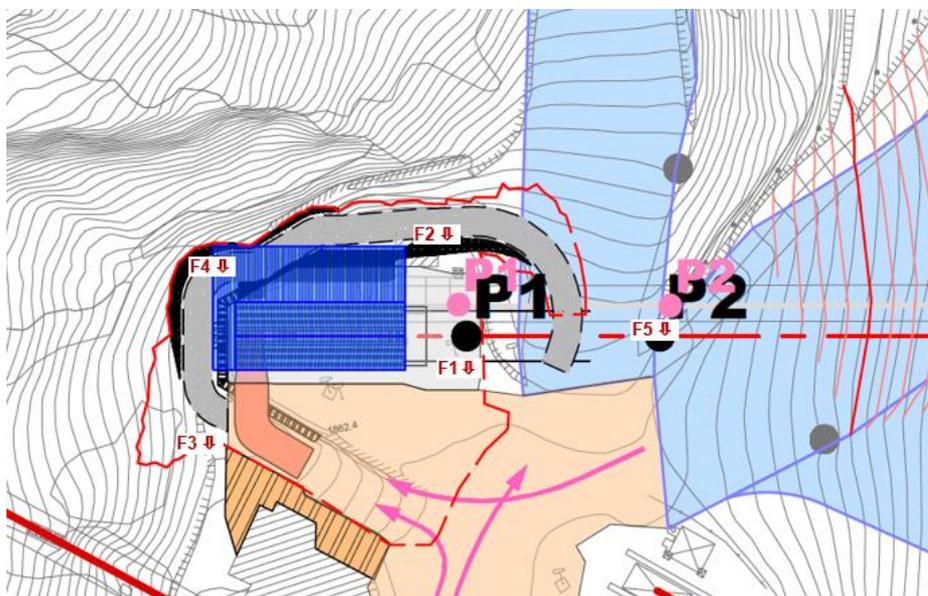
Lors des investigations sur site, les sondages à la pelle mécanique et les forages avec enregistrements de paramètres ont révélé les horizons suivants :

- **Limons caillouteux graveleux à éboulis et blocs** jusqu'à 2.6 à 3.3m de profondeur/TN et au-delà, au niveau du projet de pylône P2.

OU

- **Remblais limono-caillouto-graveleux à blocs** jusqu'à 5.3 à 7.2m de profondeur/TN, au niveau de la plateforme remblayée et à l'aval de cette dernière.
- **Substratum rocheux calcaire sous couverture limoneuse ou remblayée** jusqu'à 12.4m de profondeur/TN et au-delà, au niveau de la plateforme remblayée, à l'aval et à l'amont.

Pour plus de détail, la géologie du site, au droit des essais réalisés, est reportée dans le tableau récapitulatif ci-dessous :



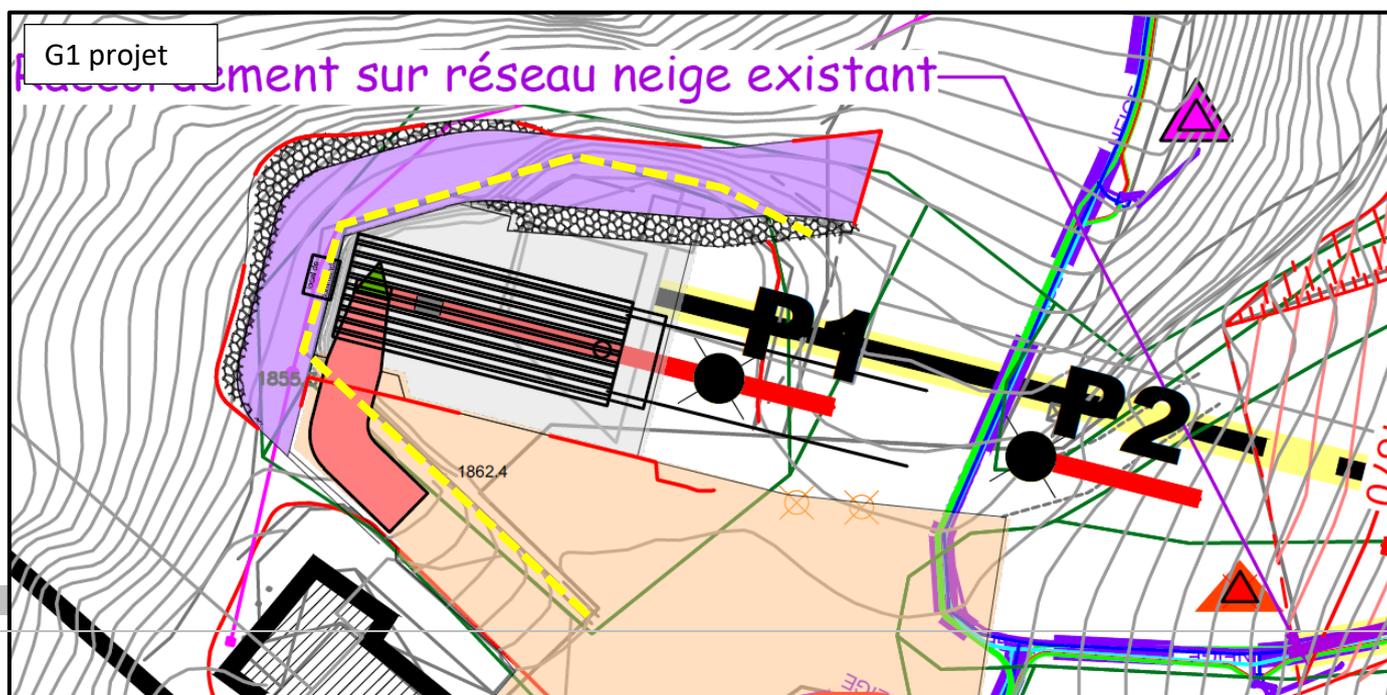
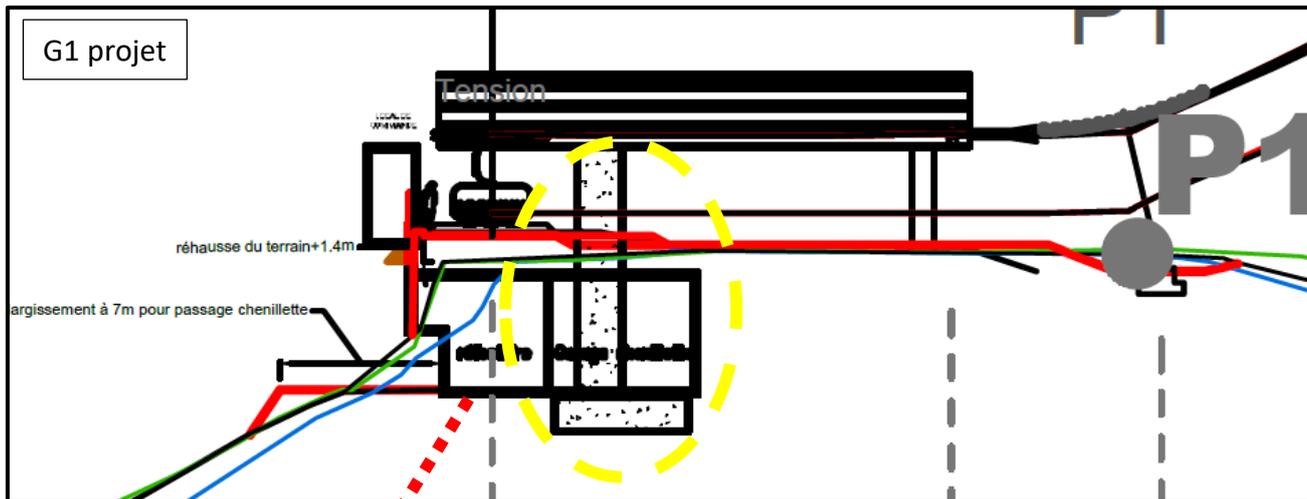
A des fins d'analyse, nous retiendrons les profondeurs du toit du rocher :

Essai	F1	F2	F3	F4	F5
Cote du bon sol m/TN*	-5,3	-7,2	-5,2	-7,7	-2,6
Cote du bon sol mNGF*	1856.1	1854.0	1850.8	1847.5	1858.6

De ce qui précède et en prenant en compte l'implantation décalée de la gare projet/actuelle, on retiendra la présence de remblai hétérogène jusqu'à -5.3 à -7.2m/TN environ. Au-delà, on retiendra le substratum calcaire compact.

Nous n'avons aucune information concernant les massifs existants de la G1.

A noter, que le décalage de la gare de départ à l'Ouest de la plateforme engendrera une interaction complexe entre le projet G1 et le sous-sol enterré sous la plateforme :



2.2.3.2 Au droit des pylônes de lignes de la partie herbeuse (moitié zone aval) :

Pour les pylônes P2, P3 et P4, la géologie se résume à la présence de limons caillouto-graveleux à blocs et/ou d'éboulis à blocs calcaire légèrement limoneux sur plusieurs mètres d'épaisseur. Cette épaisseur ne nous a pas toujours permis d'identifier le substratum compact calcaire au droit de ces 3 pylônes.

Lors des investigations sur site, les sondages à la pelle mécanique ont révélé les horizons suivants :

- **Limons caillouteux graveleux à éboulis et blocs** jusqu'à 3,3 à 3.1m de profondeur/TN et au-delà, au niveau du projet de pylône P2 et P3.
- **Substratum rocheux calcaire sous couverture de limons** à partir de 2.6m de profondeur/TN et au-delà, à proximité du projet pylône P2 d'après le forage F5.
- **Eboulis et blocs calcaire à cailloutis imbriqués, légèrement limoneux** jusqu'à 2.8m de profondeur/TN, au niveau du projet de pylône P4.

Pour plus de détail, la géologie du site, au droit des essais réalisés, est reportée dans le tableau récapitulatif dessous

Coupe géologique	Pylone 2	Pylone 3	Pylone 4
	0/TN	0/TN	0/TN
Eboulis et blocs calcaire à cailloutis imbriqués	-	-	>-2,8 <i>Eboulement</i>
Limons caillouto-graveleux à éboulis et blocs	-3,3 <i>refus sur blocs</i>	>-3,1 <i>Eboulement</i>	-
Remblais limono-caillouto-graveleux	-	-	-
Substratum rocheux calcaire	<5,6		
	<i>d'après F5</i>		

Nous n'avons aucune information concernant les massifs existants des pylônes P2, P3 et P4, cependant, ces derniers doivent probablement solliciter l'assise limoneuse et/ou l'horizon d'éboulis caillouto-limoneux.

2.2.3.3 Au droit des pylônes de lignes de la zone d'éboulis (moitié partie amont) :

Pour les pylônes P5, P6, P10, P11, P13 et P14, la géologie se résume à la présence d'éboulis calcaire +/- caillouteux et limoneux, globalement métrique. Cette épaisseur et la difficulté de réaliser la fouille dans de bonnes conditions ne nous ont pas permis d'identifier le substratum compact calcaire au droit des pylônes P10, (P13*) et P14. Ainsi, le substratum rocheux a bien été identifié au droit des pylônes P5, P6 et P11 (et P13*).

* : Le sondage au droit de P13 n'a pas été réalisé compte tenu de la difficulté d'accès dans les éboulis, cependant, le rocher affleure à quelques mètres et plonge au droit du pylône projeté.

Pour les pylônes P7, P8, P9 et P12, le substratum compact calcaire est affleurant et franc au droit de ces derniers.

Lors des investigations sur site, les sondages à la pelle mécanique ont révélé les horizons suivants :

- **Eboulis et blocs calcaires à cailloutis imbriqués, légèrement limoneux** jusqu'à 0.5m à 2.7m de profondeur/TN et au-delà, au niveau du projet de pylône P5, P6, P10, P11, P13 et P14.
A noter que plus l'on monte en altitude, plus la partie limoneuse devient inexistante

OU

- **Substratum rocheux calcaire affleurant** au niveau des pylônes P7, P8, P9 et P12.
- **Substratum rocheux calcaire sous couverture d'éboulis** jusqu'à 1.6m de profondeur/TN et au-delà, au niveau de la plateforme remblayée, à l'aval et à l'amont.

Pour plus de détail, la géologie du site, au droit des essais réalisés, est reportée dans le tableau récapitulatif ci-dessous :

Coupe géologique	COUPES DES SONDAGES										Profondeur (en m/TN) de la base de chaque faciès géologique reconnu (et non pas épaisseur) et cote NGF (en italique)		
	PYLONES										Stabilité parois	REMARQUES	
	Pylone 5	Pylone 6	Pylone 7	Pylone 8	Pylone 9	Pylone 10	Pylone 11	Pylone 12	Pylone 13	Pylone 14			
	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN			
Eboulis et blocs calcaire à cailloutis imbriqués	-1,6	-0,5	-	-	-	<-2,7	-0,5	-	<-2,0 ???	<-1,6		Très mauvaise, éboulement immédiat, avec ovalisation de la fouille importante	Blocs calcaire de > 0,5m à 1,5m Légerement plus limoneux au droit de P11, P10, P5, P4,
						<i>Eboulement</i>				<i>Eboulement + Cable P16</i>			
Substratum rocheux calcaire	>-1,6	>-0,6	0,0	0,0	0,0		>-0,6	0,0				Bonne, rocher franc compact	Substratum calcaire, avec un pendage compris entre 25 - 45° conforme à la pente sur l'ensemble du massif
	<i>Substratum</i>	<i>Substratum</i>	<i>Substratum affleurant</i>	<i>Substratum affleurant</i>	<i>Substratum affleurant</i>		<i>Substratum</i>	<i>Substratum affleurant</i>					
Eau souterraine						-0,7							Accumulation des eaux de versants au droit de P10, remplissage de la fouille en eau
						<i>Sous-eau</i>							

Nous n'avons aucune information concernant les massifs existants des pylônes P5 à P14, cependant, ces derniers doivent probablement solliciter le substratum rocheux et/ou l'horizon d'éboulis à cailloutis imbriqués.

2.2.3.4 Pour la gare amont :

Au niveau de la gare d'arrivée, les aménagements actuels (G2 Col de Balme et filet de protection contre paroi rocheuse) ont nécessité la réalisation d'une plateforme en déblais de plus de 4.0m de hauteur. La G2 projet prévoit de recréer une plateforme à la cote 2469.0 mNGF, soit à -4.5m/TN actuel.

Lors de notre visite sur site, nous avons remarqué que la plateforme G2 était composée des horizons suivants :

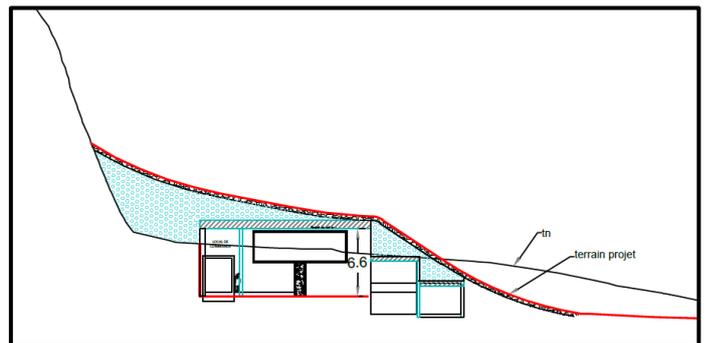
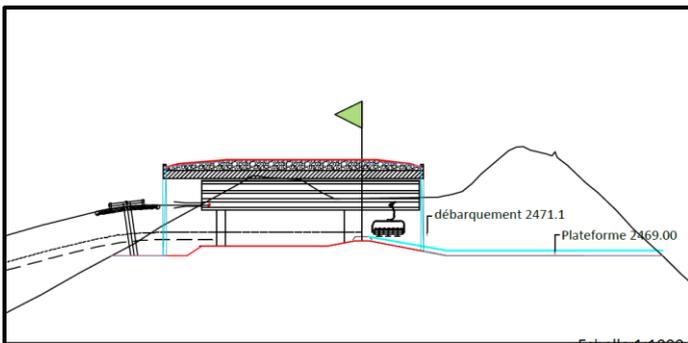
- **Eboulis et blocs calcaire (probablement remblayé et compacté)** au niveau de la plateforme G2
- **Substratum rocheux calcaire affleurant** autour de la plateforme et plongeant au droit de cette dernière.

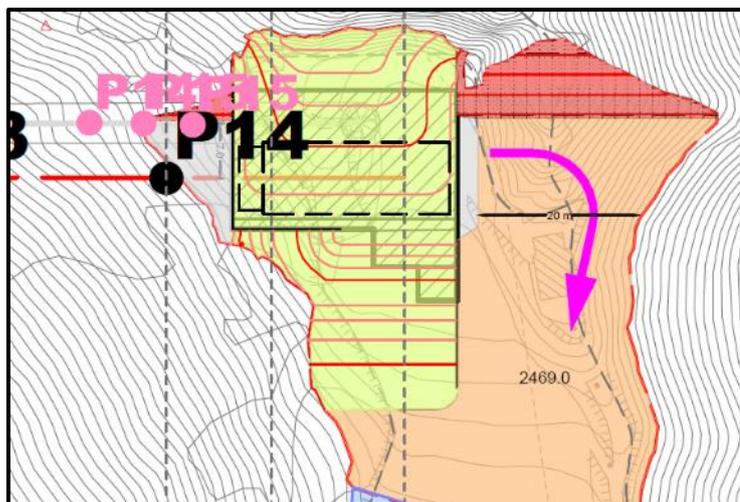
Pour plus de détail, la géologie du site, au droit des essais réalisés, est reportée dans le tableau récapitulatif joint en annexe

De ce qui précède et en prenant en compte l'implantation décalée de la gare projet/actuelle, on retiendra la présence d'horizon d'éboulis compactés et remblayés (lors de la mise en place de la G2 actuelle) d'épaisseur probablement inférieure à 3.0m. Au-delà, on retiendra le substratum calcaire compact.

Nous n'avons aucune information concernant les massifs existants de la G2, cependant, ces derniers doivent probablement solliciter le substratum rocheux compact se trouvant sous la plateforme, probablement à partir de -3.0m/TN.

A noter, que l'abaissement de la plateforme de 4.5m de hauteur/TN et l'enterrement de la G2 projet, nécessitera des travaux d'ampleurs modérés (minage, filet etc.)





2.2.4 Hydrogéologie et hydrographie

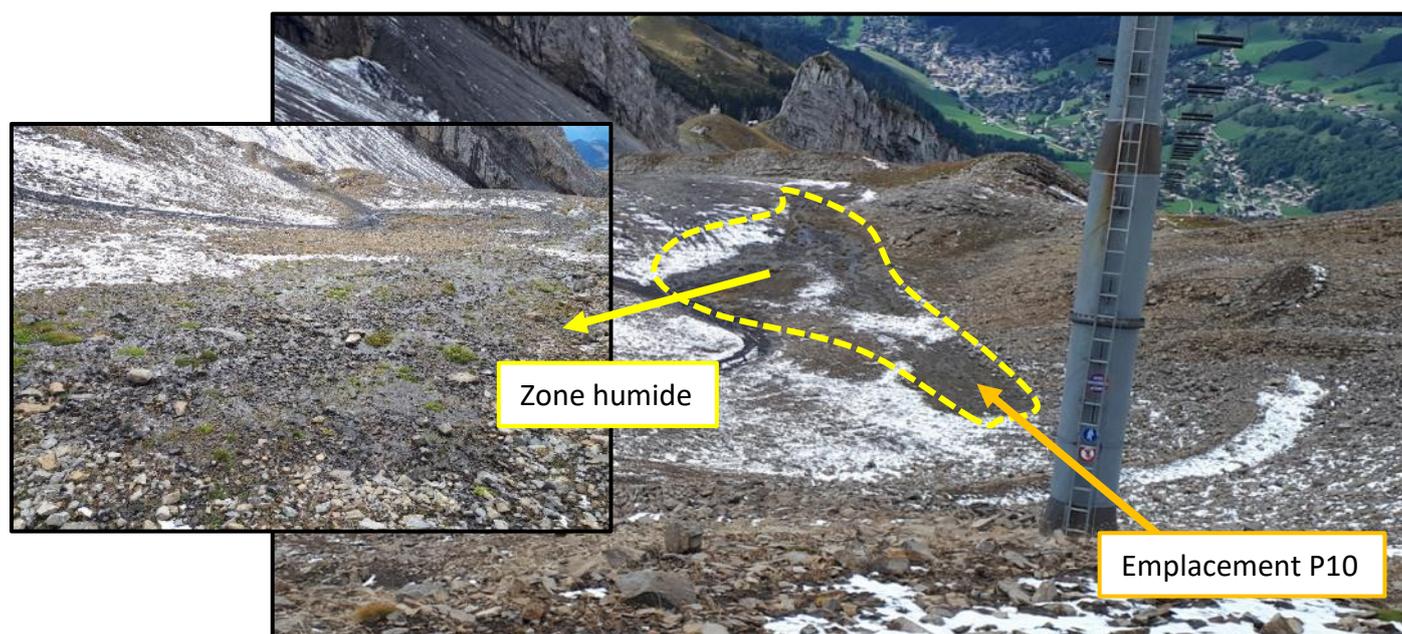
L'hydrogéologie du site se résume à des circulations de versant au sein des zones d'éboulis et des plaquages limoneux, par contraste de perméabilité avec le substratum rocheux, globalement imperméable.

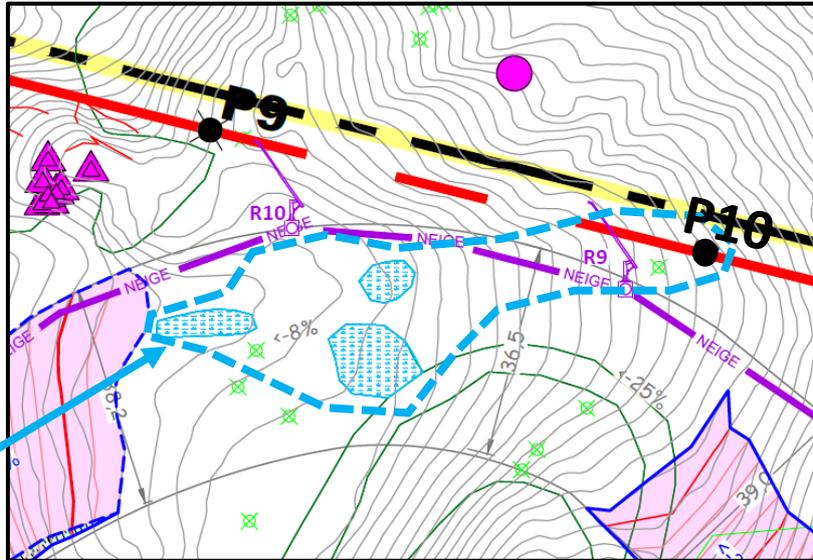
Le réseau hydrographique superficiel est assez développé. Les eaux de ruissellement sont canalisées au seins des éboulis +/- limoneux et au toit du substratum rocheux.

Des circulations ont été recoupées en sondage, à partir de -0.2 à -2.7m de profondeur/TN et existent de manière pérenne durant le cycle hivernal et par période durant le cycle estival.

Dans ces conditions, l'ensemble des ouvrages (G1, pylônes, G2) seront concernés par des circulations de versant.

Nous avons identifié la présence d'une zone humide, dans l'emprise du tracé, au droit du pylône projet P10. Cette zone humide est en réalité « un système de trop plein » naturel de l'accumulation des eaux de ruissellements venants de l'amont.



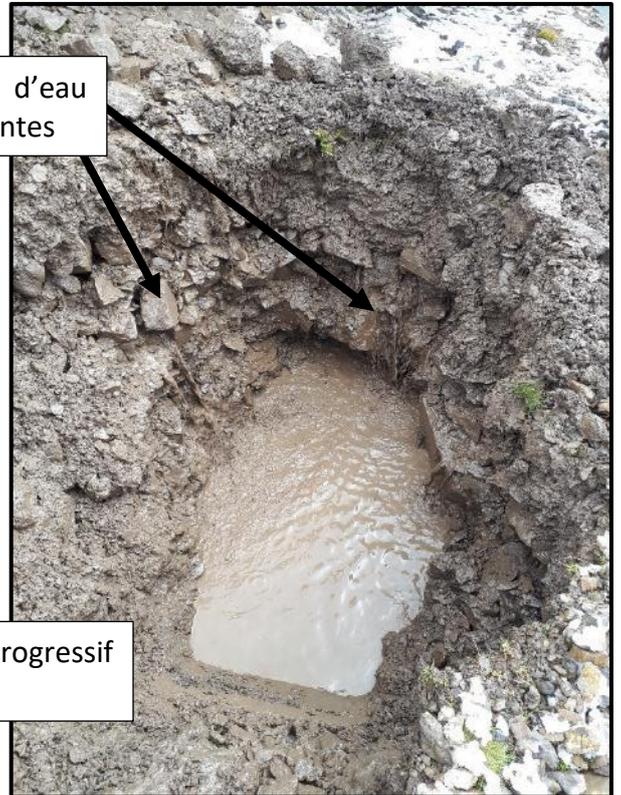


Zone humide
(emprise réelle)

Aperçu de la fouille réalisée au droit de P10 :



Venues d'eau
abondantes



Remplissage progressif
de la fouille

2.2.5 Sismicité du site

Nous retiendrons les éléments géotechniques suivants :

- Données règlementaires :

Normes et documents règlementaires pris en compte dans le présent rapport :

NF EN 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
Zone 1	Très faible	0,4	A	1	I	0,8
Zone 2	Faible	0,7	B	1,35	II	1
Zone 3	Modéré	1,1	C	1,5	III	1,2
Zone 4	Moyen	1,6	D	1,6	IV	1,4
			E	1,8		

Influence du sol S_T

Coefficient d'importance γ_I

Classe de sol : B pour P3 et P4

Classe de sol : A pour G1, G2, P1, P2 et P5 à P14

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

Les exigences sur le bâti neuf dépendent de la catégorie d'importance du bâtiment (à définir par le maître d'ouvrage et le bureau de contrôle) et de la zone de sismicité.

Caractérisation des classes de sol selon les Eurocodes 8

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres		
		Vs,30 (m/s)	NSPT (bl/30cm)	Cu (Pa)
A	Rocher ou tout autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant.	> 800		
B	Dépôts raides de sable, de graviers ou d'argile surconsolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive de propriétés mécaniques avec la profondeur.	360-800	> 50	> 250
C	Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres.	180-360	15-50	70-250
D	Dépôts de sol sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant une majorité des sols cohérents mous à fermes.	< 180	< 15	< 70
E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de Vs de classes C ou D et une épaisseur comprise entre 5 m environ et 20 m, reposant sur un matériau plus raide avec Vs > 800 m/s			
S ₁	Dépôts composés, ou contenant, une couche d'au moins 10 m d'épaisseur d'argiles molles/vases avec un indice de plasticité élevé (PI > 40) et une teneur en eau importante	< 100 (indicative)		10-20
S ₂	Dépôts de sols liquéfiables d'argiles sensibles ou tout autre profil de sol non compris dans les classes A à E ou S1			

Vs,30 est la vitesse moyenne des ondes de cisaillement. Le site est classé suivant la valeur de Vs,30 si celle-ci est disponible, sinon, la valeur de NSPT sera utilisée. NSPT est le nombre de coups au pénétromètre dynamique SPT (Standard Penetration Test) ; Cu est la cohésion non drainée.

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

2.2.6 Caractéristiques mécaniques

Nous retiendrons :

- Une faible compacité des remblais et de la couverture meuble, globalement compressible et hétérogène au droit de la G1, jusqu'à 5.3 à 7.2m de profondeur/TN
- Une compacité moyenne des limons caillouto-graveleux à éboulis et blocs au droit des pylônes P2 et P3, jusqu'à 3.1 à 3.1m de profondeur/TN
- Une compacité moyenne des éboulis et blocs calcaire +/- limono-caillouteux au droit des pylônes P4 à P6, P10, P11, P13 et P14.
- Ailleurs et au-delà, une très bonne compacité du substratum rocheux : horizon de référence non rippable à la pelle mécanique.

Ces caractéristiques mécaniques n'ont cependant pas été vérifiées avec un essai pénétrométrique, elles correspondent à une approximation de nos sondages à la pelle mécanique.

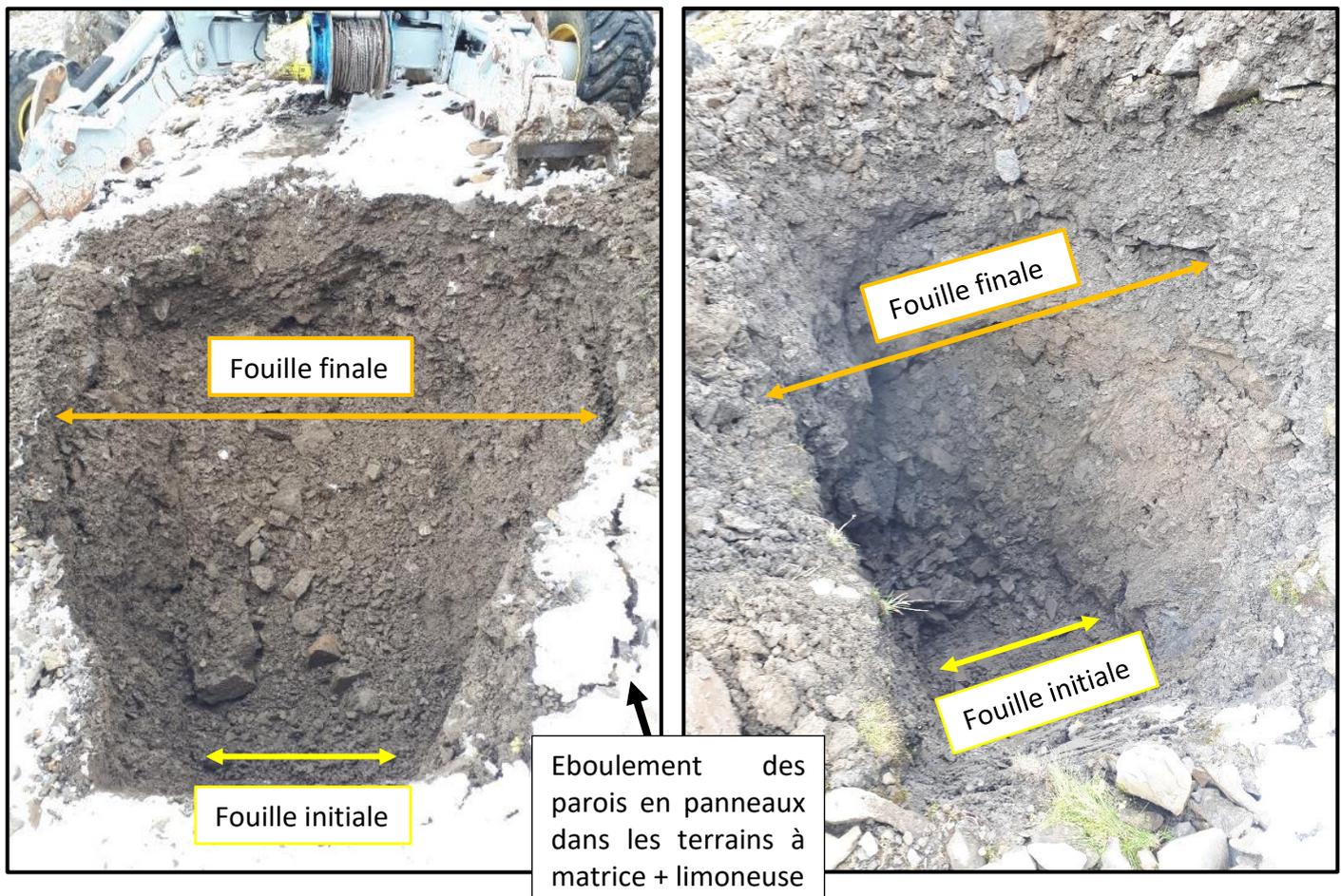
D'une manière générale, nous retiendrons que les matériaux du site sont très sensibles aux variations de teneur en eau et aux remaniements. **Ceci se traduit sur le terrain par une rapide décompression en cas d'exposition aux circulations d'eau souterraines et/ou aux intempéries et au trafic des engins.**

2.2.7 Stabilité en excavation et stabilité d'ensemble

Les sondages à la pelle réalisés sur l'ensemble des pylônes, des gares et de la piste Blanchot montrent à l'échelle des parois verticales des puits à la pelle, une **très mauvaise tenue des parois** sur l'ensemble des matériaux de couverture, notamment concernant les éboulis et blocs calcaires.

Il faudra anticiper, à l'échelle des terrassements :

- Des phénomènes d'instabilité des talus, pour des pentes supérieures à 3H/2V, en phase provisoire **et** définitive
- Des phénomènes de glissement banc sur banc dans le rocher stratifié
- Un risque de glissement plan à l'interface couverture/substratum
- Une érosion rapide des talus sous l'action des agents climatiques et des venues d'eau.
- **Un élargissement non contrôlé des fouilles de type puits (hors-profil).**



Soulignons également que les pentes d'éboulis sont probablement en situation d'équilibre limite. En effet, la pente du versant d'approche de l'angle de frottement interne des matériaux ($\beta = \phi$).

Il faudra donc anticiper un risque de fluage des pentes au niveau des pylônes P13 et P14. D'après enquête auprès de l'exploitant, aucun mouvement des pylônes de ligne existant n'est constaté depuis la mise en service de l'appareil.

3. ADAPTATION AU SOL

3.1 Orientations générales

Bien que le versant étudié soit concerné par un aléa fort de chute de pierres et d'avalanche, le tracé du projet ne présente pas de contrainte géotechnique majeure s'opposant à la réalisation du projet.

En effet, l'appareil existant depuis 20 ans implanté globalement sur le même tracé que le projet ne présente pas de désordre apparent. Cependant, il faudra prévoir des ouvrages de protection type merlon ou équivalent (à définir sur le site en fonction de l'implantation précises des pylônes) pour se prémunir des risques de chutes de blocs et d'avalanche.

En respectant ces mesures et en se référant au règlement applicable au site et à l'ouvrage, le projet peut donc être implanté sur le tracé tel que défini à ce stade de l'étude.

L'adaptation des fondations des pylônes de lignes visera à solliciter autant que possible le substratum rocheux compacts.

En gare aval, il faudra prévoir une solution de fondation profonde avec des hauteurs de fut importantes afin de solliciter l'assise rocheuse compacte identifiée entre 5.3 et 7.2m de profondeur/TN. Cette complexité provient de l'emplacement de la nouvelle gare de départ, en effet cette dernière est décalée de quelques mètres à l'Ouest par rapport à la G1 existante. Etant donné que la plateforme possède, sur sa partie aval Ouest un sous-sol technique (matériel, base de vie, espace de stockage), le poteau de fondation de la nouvelle G1 traversera inévitablement le sous-sol existant sur toute sa hauteur.

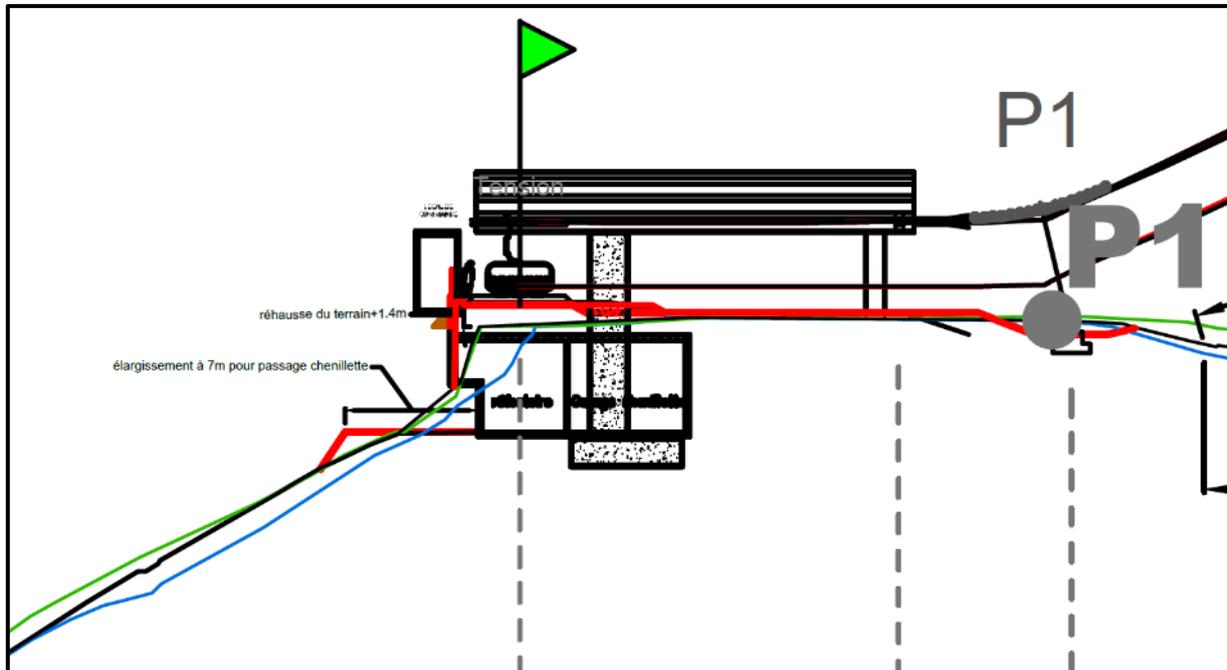
En gare amont, le substratum rocheux probablement peu profond permettra la réalisation d'appuis simples et superficiels.

De ce qui précède, il apparait que les dispositions constructives majeurs seront liées :

- A la réalisation de la gare de départ en interaction avec le sous-sol existant de la plateforme
- A la réalisation des massifs de pylônes P1, P3 P4, P10 (sous-eau), P13 et P14 dans un contexte géologique et/ou topographique complexe (pente importante, éboulement constant, substratum non atteint etc.)
- A la réalisation de la gare d'arrivée, avec un abaissement de la plateforme existante puis un remblaiement de la gare, une fois réalisée.

3.2 Gare aval

La gare aval ne nécessite pas de travaux de terrassement majeurs, de l'ordre de 1.4m environ sur la partie Ouest de la plateforme existante.

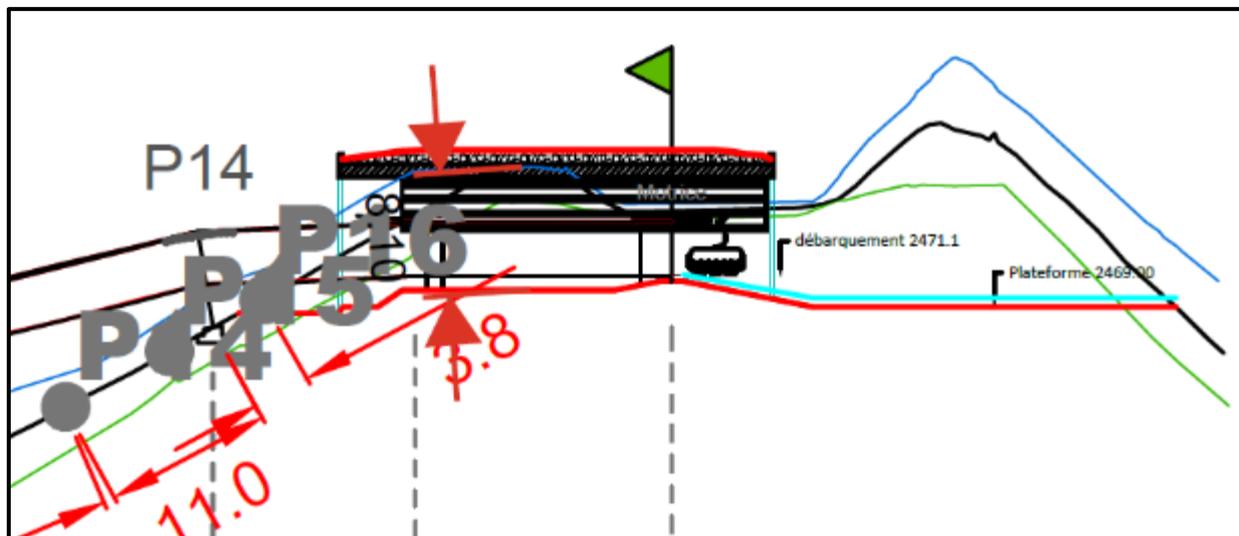


Le décalage de la gare de départ à l'Ouest de la plateforme engendrera une interaction complexe entre le projet G1 et le sous-sol enterré sous la plateforme.

La réalisation des fouilles des massifs nécessitera des terrassements conséquents, en prévoyant une démolition partielle du toit du sous-sol existant ainsi qu'une reprise en sous-œuvre, au niveau du dallage du sous-sol pour permettre la réalisation de la fondation et du poteau de la G1.

3.3 Gare amont

En gare amont, le projet prévoit un abaissement de l'ordre de 4.5m de hauteur de la plateforme existante.



Le substratum rocheux probablement peu profond permettra la réalisation d'appuis simples et superficiels, dans la pratique, l'abaissement de la plateforme mettra à nu le substratum rocheux.

Il faudra anticiper la pose de grillages cloués sur les talus de déblais de terrassement, ainsi que sur les nouvelles parois du substratum mise à nu lors de la création de la plateforme.

Ces parois seront fracturées et très propices à la production de blocs métriques notamment pendant le cycle de gel/dégel.

Une étude trajectographique sera nécessaire pour définir les ouvrages de protection au niveau des zones de débarquement.

3.4 Remarques générales

3.4.1 Conditions prévisibles de terrassements et aléas, à intégrer dans la conception et le planning.

- **Blocs volumineux et substratum rocheux** : Prévoir l'utilisations d'outils de terrassements puissants de type BRH et/ou minage pour l'ensemble du tracé
- **Vestiges de fondations** : Prévoir la purge des vestiges de fondations des existants
- **Talus** : Compte tenu des matériaux, les talus devront être limités à 3H/2V, dès la phase provisoires
- **Impact des intempéries** : le sol constitutif de l'arase étant très sensible aux variations de teneur en eau et sollicitations mécaniques
- **Circulation d'eau** : Toute venue d'eau devra être drainée gravitairement. Les fondations devront être coulées dans des fouilles sèches et purgées si elles nécessitent un assèchement.

3.4.2 Méthodologie générale

En phase provisoire :

- Les talus provisoires non soutenus, devront être limités à 3H/2V. Au-delà, un renforcement et/ou butonnage devront être entrepris dans les délais les plus brefs.
- Il faudra prévoir la mise en œuvre de petits masques en enrochements dans les zones de plus fortes venues d'eau, avec cunettes de pied de talus et évacuation périphérique.
- Toutes mesures devront être prises pour préserver l'état de surface de la pleine masse (Captage de l'eau, protection, terrassement en rétro, circulation limitée).
- Prévoir une pelle mécanique puissante munie d'un BRH.

En phase définitive :

- Les talus de remblais ne devront pas excéder une pente de 3H/2V (33°/horizontale). Ces talus seront impérativement mis en œuvre par temps sec.
- Prévoir la mise en œuvre de plateformes d'accroche préalables dans le terrain, et le serrage du remblai, au minimum par chenillage à la pelle mécanique.
- Les talus de déblais définitifs seront imprimés d'une pente maximum de 3H/2V (33°/horizontale).

Si ces pentes ne peuvent être appliquées (pour des raisons d'insertion du projet dans la pente, par exemple), il faudra alors prévoir des ouvrages de soutènement spécifiques, dûment dimensionnés.

3.4.3 Poussée des terres

Les murs de soutènement, tant en enrochements qu'en béton, devront être fondés selon les préconisations pour les fondations. Les parties arrière devront être drainées, et leur dimensionnement devra reprendre les valeurs énoncées ci-dessus.

Nota : Apporter les corrections d'usage en cas de surcharge et de talus en tête d'ouvrage.

Pour le calcul des parties enterrées, nous retiendrons les valeurs suivantes :

3.4.3.1 Matériaux en place non remaniés :

Faciès	Profondeur de la base (m/TN)	Phi' (°)	Cohésion C' (kPa)	Densité (kN/m ³)
Remblais limono-caillouto-graveleux	5.3 à 7.2	30	0	20
Eboulis et blocs à matrice +/- limoneuse	2.6 à 3.3	25	0	18
Limons caillouto-graveleux à blocs d'éboulis	0.5 à 2.8	28	0	20
Rocher	Affleurant à 1.6	40	10	27

Les valeurs de Phi' et c' pourront être précisées en phase G2 PRO

3.4.3.2 Matériaux en remblai :

Faciès	Phi' (°)	Cohésion C' (kPa)	Densité (kN/m ³)
Matériaux du site, remaniés	25	0	18
Graves d'apport	35	0	18

3.4.4 Conditions prévisibles de réutilisation technique des matériaux.

La détermination précise des conditions de remblais doit en toute rigueur faire l'objet d'une analyse en référence au GTR 92. Nous retiendrons les grandes lignes générales suivantes :

	Probabilité de réemploi	Type d'analyse
Rocher	Faible à très bonne selon texture	Los Angeles - Micro Deval - Chimie

3.5 Fondations des gares

[Il s'agit de la réalisation de semelles filantes et/ou isolées encastrées à une cote hors gel, avec rattrapages limités au mètre.]

On s'orientera vers cette solution à condition que les fondations soient en tout point encastrées d'au moins 30 cm dans l'horizon de référence : **Ici le substratum rocheux**

A des fins d'analyse, nous retiendrons les profondeurs du toit de l'horizon de fondation :

Gare	G1	G2
Cote du bon sol m/TN*	-5.3 à -7.2	>-1.6
Cote du bon sol mNGF*	<u>1857.1</u>	<u>2474.0</u>

* Cote du bon sol hors encastrement

En gare amont, le bon sol sera atteint rapidement sous le TN, quoiqu'il en soit le bon sol sera certainement atteint lors de l'abaissement de la plateforme actuel.

En gare aval, compte tenu de la complexité des interactions entre le projet et l'existant et de l'épaisseur pluri-métrique des remblais de la plateforme, le bon sol sera atteint après avoir traversé les remblais (vers 5.3 à 7.2 m de profondeur/TN). La réalisation d'un contrôle de fond de fouille sera impérative afin de s'assurer d'avoir traversé les remblais et de limiter les contraintes vis-à-vis de l'existant.

3.5.1.1 Valeurs de pré dimensionnement

Pour le pré dimensionnement des semelles, nous retiendrons :

Gare aval (Rocher) :

CONTRAINTE ADMISSIBLE (ELS) : $q_a = 0.4$ Mpa

CONTRAINTE DE CALCUL (ELU) : $q = 0.664$ Mpa

Gare amont (Rocher) :

CONTRAINTE ADMISSIBLE (ELS) : $q_a = 0.4 \text{ MPa}$

CONTRAINTE DE CALCUL (ELU) : $q = 0.664 \text{ MPa}$

Les tassements correspondants resteront faibles, de l'ordre du centimètre, et acquis principalement en cours de construction, si les sujétions suivantes sont bien respectées.

3.5.1.2 Sujétions de réalisation

- Purge intégrale des vestiges de fondations existantes
- Coulage d'un béton de propreté dès ouverture.
- Bien s'assurer de traverser les couches altérées en fondation.
- Fondations protégées à la cote hors gel H : **1.4m (gare amont) et 1.3 (gare aval)**
- Respecter la règle des 3H/2V entre les fondations en décrochés de niveaux.
- Mise en œuvre d'un drain périphérique vers un exutoire pérenne ou prise en compte des poussées hydrostatiques résiduelles

3.6 Fondations des pylônes

Le principe de fondations des pylônes est développé dans les fiches spécifiques en annexe.

La profondeur de l'assise de fondation doit satisfaire le plus contraignant des trois critères suivants :

- Protection contre le gel, en tout point du massif, y compris à l'aval de la fouille.
- Horizon de fondation (donnée géologique) atteint en tout point du massif, y compris à l'aval de la fouille
- Justification de la stabilité d'ensemble conditionnée par l'épaisseur de remblais (analyse B.E.T. Structure nécessaire pour chaque pylône).

Les deux exemples suivants peuvent expliciter cette approche, pour les deux premiers critères.

Exemple : 1) Horizon de fondation : rocher altéré à 0.5m/TN.
Cote hors gel (déterminée par la formule ci-après) : 1.5m

Dans ce cas, l'assise de la fondation sera déterminée par la cote hors gel, soit -1.5 m/TN

Exemple : 2) Horizon de fondation : moraine à -2.0m/TN.
Cote hors gel : 1.7m/TN

Dans ce cas, l'assise de la fondation sera déterminée par la profondeur de l'horizon de fondation, soit - 2.0m/TN (la protection contre le gel étant acquise de fait).

Définition de la bêche aval* :

Comme précisé ci-dessus, la bêche aval peut être utilisée dans les terrains pentés, dans l'optique de limiter les terrassements de déblais côté amont, ou d'assurer le critère d'encastrement hors-gel à l'aval.

* D'après le « Guide Pratique des Fondations de Remontées Mécanique » (STRM-CEBTP), la cote D de protection contre le gel a pour expression :

$$D = 80 + \frac{3 \times z}{100}$$

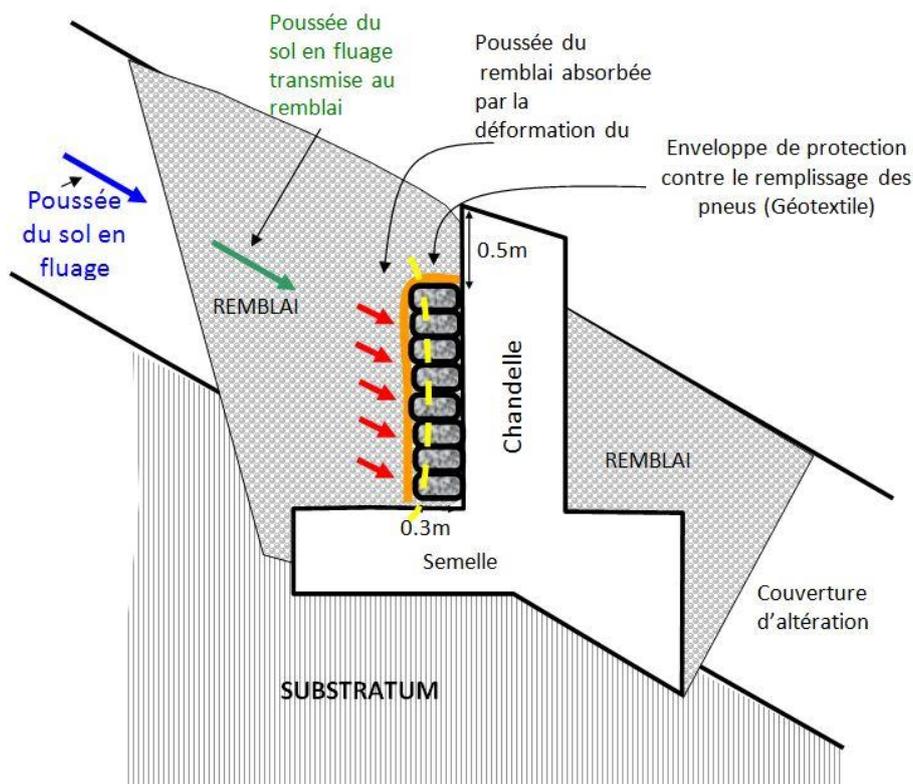
Avec : D = cote de protection contre le gel, en centimètre
Z = altitude en mètre
80 cm pour la Haute-Savoie

Située à une altitude maximum de l'ordre de 1850m, la cote hors gel réglementaire à respecter est de **135 cm en gare aval.**

Située à une altitude maximum de l'ordre de 2470m, la cote hors gel réglementaire à respecter est de **155 cm en gare amont.**

Pour les pylônes, nous retiendrons une cote hors-gel de **-1.50m/TN.**

Des dispositifs de réduction de la poussée des terres sur les faces amont des fondations pourront également être mis en œuvre pour amortir les efforts horizontaux liés au fluage des terrains de couverture (à définir en fonction de l'épaisseur de la couverture au droit des appuis la ligne).



De plus les circulations d'eau souterraine facteur d'instabilité pour les fondations des pylônes seront drainées à l'exception de P10 situé en zone humide. Pour ce cas particulier, le massif devra prendre en compte une déjaugue liée à la nappe d'accompagnement local.

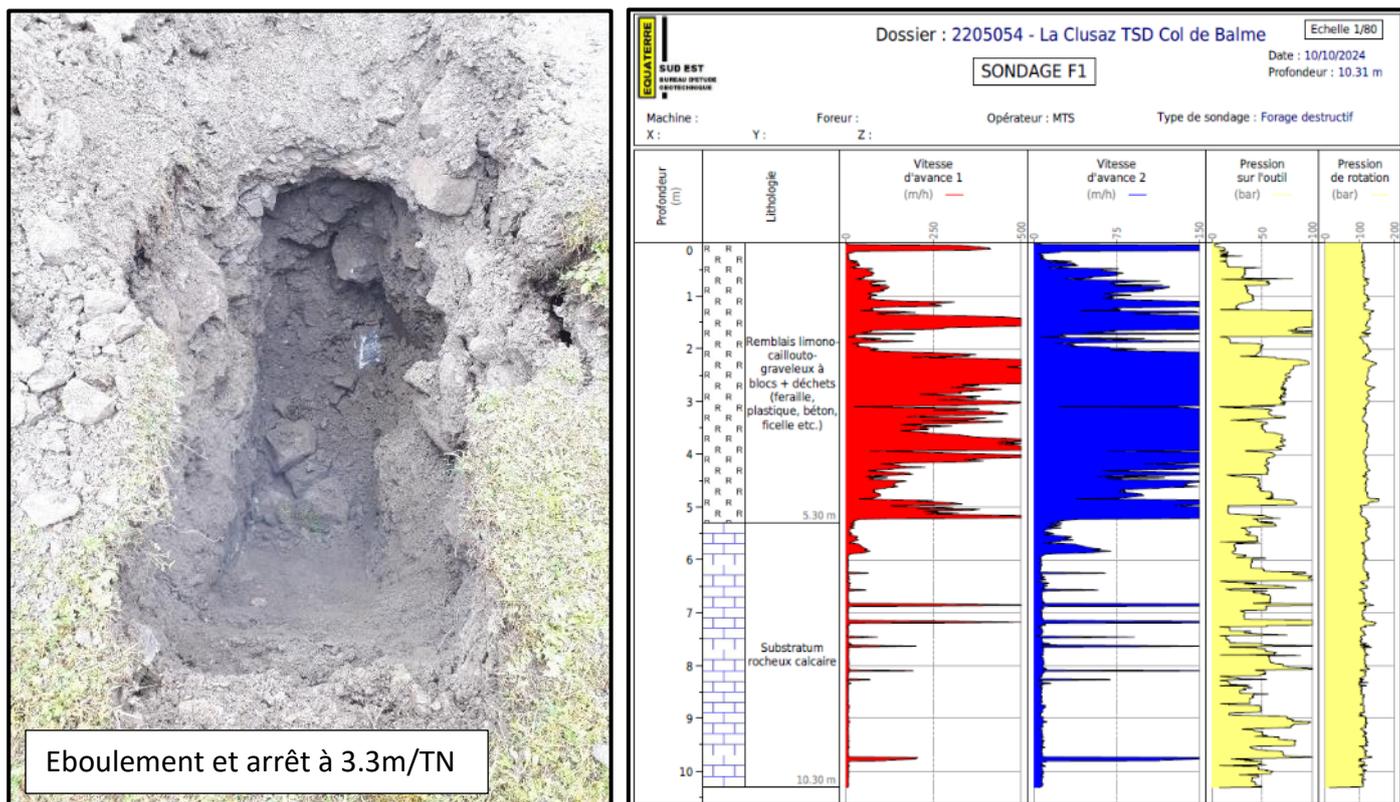
3.6.1 Dispositions constructives particulières

3.6.1.1 Pylônes P1

Le pylône P1 nécessite une adaptation particulière au sol compte tenu du contexte géologique singulier.

En effet, ce pylône se situe au sein de la plateforme de la G1 remblayée sur plusieurs mètres d'épaisseur. Il s'agira de traverser les horizons remblayés et d'ancrer les fondations du pylône P1 dans le substratum rocheux, identifié à partir de 5.3m de profondeur/TN.

Aperçu des remblais de la plateforme, et du forage réalisé au droit de P1 :



3.6.1.2 Pylônes P3 et P4

Les pylônes P3 et P4 nécessitent une adaptation particulière au sol compte tenu du contexte géologique et topographique singulier.

En effet, ces pylônes se situent au sein d'une forte pente, proche des 50 à 60%, ne permettant pas la réalisation de terrassement dans de bonnes conditions (absence de stockage latéralement, instabilité en phase provisoire, terrassement volumineux etc.)

Par ailleurs, rappelons que les matériaux de couverture recoupés au droit des pylônes P3 et P4 sont issus des éboulis de pente qui se sont consolidés avec une matrice limoneuse. Ces matériaux sont présents sur 3.1 et 2.8m d'épaisseur environ et présentent une mauvaise stabilité en talus de déblais (absence de cohésion, sous cavage etc.), le substratum rocheux n'a donc pas été identifié au droit de ces pylônes.

Aperçu des fouilles et des matériaux au droit de P3 et P4 :



3.6.1.3 Pylônes P10

Le pylône P10 nécessite une adaptation particulière au sol compte tenu du contexte géologique et hydrogéologique singulier.

En effet, ce pylône se situe au sein d'une zone humide agissant comme un « collecteur » des eaux de ruissellements amonts, de plus la couverture recoupée au droit du pylône est issue des éboulis bruts, très légèrement limoneux.

La très mauvaise stabilité en talus de déblais (absence de cohésion, sous cavage etc.) et les éboulements perpétuels de la fouille associés à une saturation des matériaux et des venues d'eau, ont limités notre excavation dans cet horizon à 2.7m de profondeur/TN. le substratum rocheux n'a donc pas été identifié au droit de ce pylône.

Aperçu de la fouille et des matériaux au droit de P10 :



3.6.1.4 Pylônes P13 et P14

Les pylônes P13 et P14 nécessitent une adaptation particulière au sol compte tenu du contexte géologique et topographique singulier.

En effet, ces pylônes se situent au sein d'une forte pente, proche des 60%, ne permettant pas la réalisation de terrassement dans de bonnes conditions (absence de stockage latéralement, instabilité en phase provisoire, terrassement volumineux etc.)

Concernant les pylônes P14, la couverture recoupée au droit du pylône est issue des éboulis bruts, se trouvant globalement en état d'équilibre. La très mauvaise stabilité en talus de déblais (absence de cohésion, sous cavage etc.) et les éboulements perpétuels de la fouille, ont limités nos excavations dans cet horizon à 1.6m de profondeur/TN. Le substratum rocheux n'a donc pas été identifié au droit de ce pylônes.

Aperçu des fouilles et des matériaux au droit de P14 :



Pour le pylône P13, les conditions d'accès difficiles n'ont permis d'atteindre la zone d'implantation du projet avec la pelle araignée.

Au stade actuel de l'étude, il faudra donc envisager la mise en œuvre d'un dispositif de blindage des fouilles de type paroi clouée à l'amont et panneaux ERDOX ou équivalent à l'aval pour assurer la sécurité des personnels de chantier.

La paroi clouée amont permettra également de limiter les effets du fluage des la couverture d'éboulis sur la stabilité des massifs de fondation.

La mise au point des technique de réalisation des pylônes P13 et P14 nécessite une mission G2 PRO et une réunion d'ingénierie avec les acteurs du projet.

4. REMARQUES GENERALES

4.1 Limites de l'étude

La présente mission G2 - AVP - (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 31/10/2024

Pour *EQUATERRE SUD EST*

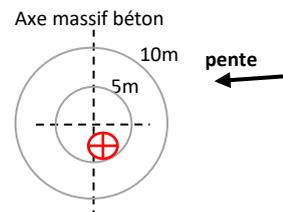
**Le président
S. MOILLE**

**L'Ingénieur,
R.CALDI**



PYLONE n°: P1
Date : 01/10/2024
Sondage : S38 + F1

Position du sondage :



LES DONNEES DU SOL

* GEOLOGIE :

De (m/TN)	A (m/TN)	
0.0	2.10	Remblais limono-gravelo-caillouteux à blocs d'éboulis
2.10	5,3	Remblais limono-gravelo-caillouteux à blocs d'éboulis à déchets (ficelle, planche bois, câble)
5,3	>10	Rocher calcaire

* HYDROLOGIE-HYDROGEOLOGIE :

- Circulation erratiques certaines par contraste de perméabilité
- Présence de nombreux réseaux EP et EU passant sous la plateforme

* MORPHOLOGIE :

- Plateforme de la gare de départ
- Substratum rocheux calcaire présent autour de la plateforme. Pendage : 25° - 36° - 305 NO, conforme à la pente générale du massif.

ADAPTATION AU SOL

* **Horizon de fondation** : rocher calcaire

* **Profondeur du toit de l'horizon de fondation** : -5,3 m/TN

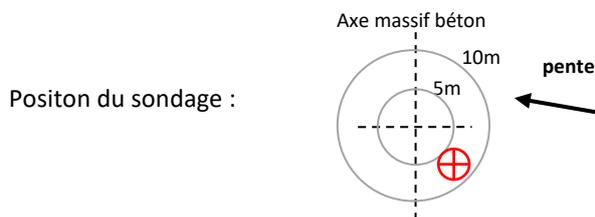
* **Dimensionnement** :

ELS (MPa)	ELU (MPa)	γ (kN/m ³)	ϕ	C' (kPa)
0.4	0.664	18	30°	0

* **Sujétions** :

- Adoucir les talus de déblai à 3H/2V en phase provisoire
- Purge des blocs en fond de fouille et/ou écrêtage des points durs au BRH
- Utilisation d'outils de terrassements puissants (BRH) pour écrêter les blocs du remblai
- Drainage gravitaire du fond de fouille dès ouverture (tranchée d'évacuation)
- Mise en œuvre de gravelette avec drain périphérique (100mm) et géotextile anticontaminant
- Prévoir un rattrapage gros béton côté aval dans le cas où l'horizon de fondation ne serait pas atteint

PYLONE n°: P2
Date : 01/10/2024
Sondage : S37 + F5



LES DONNEES DU SOL

* GEOLOGIE :

De (m/TN)	A (m/TN)	
0.0	3,5	Limons-caillouto-graveleux à nombreux blocs d'éboulis métriques >1.5m
3,5	>5,6	Rocher calcaire

* HYDROLOGIE-HYDROGEOLOGIE :

- Circulation erratiques certaines par contraste de perméabilité

* MORPHOLOGIE :

- Pente continue de l'ordre de 30%
- Adoucissement de la pente à l'aval au niveau de la route d'accès et de la plateforme de la gare d'arrivée.
- Substratum rocheux calcaire présent autour de la plateforme. Pendage : 25° - 36° - 305 NO, conforme à la pente générale du massif.

ADAPTATION AU SOL

* **Horizon de fondation** : Limons-caillouto-graveleux

* **Profondeur du toit de l'horizon de fondation** : hors gel 1.3m/TN.

* **Dimensionnement** :

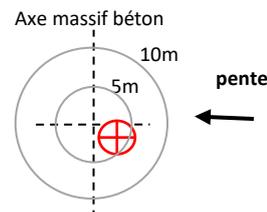
ELS (MPa)	ELU (MPa)	γ (kN/m ³)	φ	C' (kPa)
0.25	0.415	18	30°	0

* **Sujétions** :

- Adoucir les talus de déblai à 1/1 en phase provisoire
- Purge des blocs en fond de fouille et/ou écrêtage des points durs au BRH
- Drainage gravitaire du fond de fouille dès ouverture (tranchée d'évacuation)
- Mise en œuvre de gravelette avec drain périphérique (100mm) et géotextile anticontaminant
- Bèche hors-gel à l'aval ou remblai de mise hors-gel

PYLONE n°: P3
Date : 01/10/2024
Sondage : S34

Position du sondage :



LES DONNEES DU SOL

* GEOLOGIE :

De (m/TN)	A (m/TN)	
0.0	Au-delà de 3,1	Limons-caillouto-graveleux à nombreux blocs d'éboulis métriques >1.0m

* HYDROLOGIE-HYDROGEOLOGIE :

- Circulation erratiques certaines par contraste de perméabilité
- Forte humidité dès 2.0m de profondeur/TN

* MORPHOLOGIE :

- Pente continue de l'ordre de 37%
- Aucun substratum rocheux apparent autour de la zone du pylône.

ADAPTATION AU SOL

- * **Horizon de fondation** : Limons-caillouto-graveleux
- * **Profondeur du toit de l'horizon de fondation** : hors gel 1.3m/TN.
- * **Dimensionnement** :

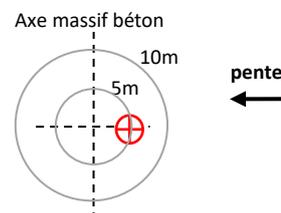
ELS (MPa)	ELU (MPa)	γ (kN/m ³)	φ	C' (kPa)
0.25	0.415	18	30°	0

* **Sujétions** :

- Adoucir les talus de déblai à 1/1 en phase provisoire
- Purgé des blocs en fond de fouille et/ou écrêtage des points durs au BRH
- Drainage gravitaire du fond de fouille dès ouverture (tranchée d'évacuation)
- Mise en œuvre de gravelette avec drain périphérique (100mm) et géotextile anticontaminant
- Prévoir un rattrapage gros béton côté aval dans le cas où l'horizon de fondation ne serait pas atteint
- Bèche hors-gel à l'aval ou remblai de mise hors-gel

PYLONE n°: P4
Date : 01/10/2024
Sondage : S27

Position du sondage :



LES DONNEES DU SOL

* GEOLOGIE :

De (m/TN)	A (m/TN)	
0.0	Au-delà de 2,8 m	Limons-caillouto-graveleux à nombreux blocs d'éboulis

* HYDROLOGIE-HYDROGEOLOGIE :

- Circulation erratiques certaines par contraste de perméabilité

* MORPHOLOGIE :

- Pente continue de l'ordre de 48%
- Aucun substratum rocheux apparent autour de la zone du pylône

ADAPTATION AU SOL

* **Horizon de fondation** : Limons-caillouto-graveleux

* **Profondeur du toit de l'horizon de fondation** : hors gel 1.3m/TN.

* **Dimensionnement** :

*

ELS (MPa)	ELU (MPa)	γ (kN/m ³)	ϕ	C' (kPa)
0.25	0.415	18	30°	0

* **Sujétions** :

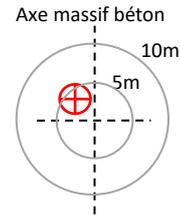
- Adoucir les talus de déblai à 1/1 en phase provisoire
- Purge des blocs en fond de fouille et/ou écrêtage des points durs au BRH
- Purges des blocs instables dans les talus ou mise en œuvre d'un grillage plaqué sur les talus provisoires
- Drainage gravitaire du fond de fouille dès ouverture (tranchée d'évacuation)
- Mise en œuvre de gravelette avec drain périphérique (100mm) et géotextile anticontaminant
- Bèche hors-gel à l'aval ou remblai de mise hors-gel

PYLONE n°: P5

Date : 01/10/2024

Sondage : S24

Position du sondage :



LES DONNEES DU SOL

* GEOLOGIE :

De (m/TN)	A (m/TN)	
0.0	0.2	TV à blocs d'éboulis
0.2	1.6	Eboulis calcaire à cailloutis imbriqués
1.6	Au-delà	Substratum rocheux calcaire

* HYDROLOGIE-HYDROGEOLOGIE :

- Circulation erratiques certaines par contraste de perméabilité au toit du rocher

* MORPHOLOGIE :

- Replat topographique sur une faible surface, au droit du pylône.
- Eperon rocheux massif de 10m de hauteur à 1.0m du projet. Pendage : 25° - 32° conforme à la pente NO

ADAPTATION AU SOL

* **Horizon de fondation** : Rocher

* **Profondeur du toit de l'horizon de fondation** : 1.6 m/TN.

* **Dimensionnement** :

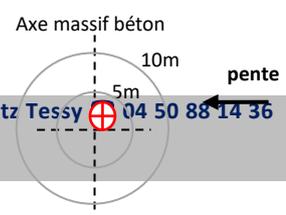
ELS (MPa)	ELU (MPa)	γ (kN/m ³)	φ	C' (kPa)
0.4	0.664	18	30°	0

* **Sujétions** :

- Adoucir les talus de déblai à 1/1 en phase provisoire
- Purge des blocs en fond de fouille et/ou écrêtage des points durs au BRH
- Utilisation d'outils de terrassements puissants (BRH et/ou minage)
- Purges des blocs instables dans les talus ou mise en œuvre d'un grillage plaqué sur les talus provisoires
- Drainage gravitaire du fond de fouille dès ouverture (tranchée d'évacuation)
- Mise en œuvre de gravelette avec drain périphérique (100mm) et géotextile anticontaminant
- Prévoir un rattrapage gros béton côté aval dans le cas où l'horizon de fondation ne serait pas atteint
- Bèche hors-gel à l'aval ou remblai de mise hors-gel

PYLONE n°: P6

Position du sondage :



Date : 30/09/2024

Sondage : S17

LES DONNEES DU SOL

* GEOLOGIE :

De (m/TN)	A (m/TN)	
0.0	0.5	Eboulis calcaire à cailloutis imbriqués
0.5	Au-delà	Substratum rocheux calcaire

* HYDROLOGIE-HYDROGEOLOGIE :

- Circulation erratiques certaines par contraste de perméabilité au toit du rocher

* MORPHOLOGIE :

- Pente continue au droit du pylône de 53%.
- Substratum rocheux présent sur le versant, à environ 10m au Nord du projet

ADAPTATION AU SOL

* **Horizon de fondation** : Rocher

* **Profondeur du toit de l'horizon de fondation** : 0.5 m/TN.

* **Dimensionnement** :

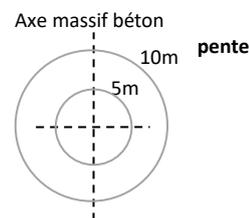
ELS (MPa)	ELU (MPa)	γ (kN/m ³)	φ	C' (kPa)
0.4	0.664	18	30°	0

* **Sujétions** :

- Adoucir les talus de déblai à 1/1 en phase provisoire
- Utilisation d'outils de terrassements puissants (BRH et/ou minage)
- Purges des blocs instables dans les talus ou mise en œuvre d'un grillage plaqué sur les talus provisoires
- Drainage gravitaire du fond de fouille dès ouverture (tranchée d'évacuation)
- Mise en œuvre de gravelette avec drain périphérique (100mm) et géotextile anticontaminant
- Prévoir un rattrapage gros béton côté aval dans le cas où l'horizon de fondation ne serait pas atteint
- Bèche hors-gel à l'aval ou remblai de mise hors-gel

PYLONE n°: P7
Date : 31/09/2024
Sondage : Non réalisé

Position du sondage :



LES DONNEES DU SOL

* GEOLOGIE :

De (m/TN)	A (m/TN)	
0.0	Au-delà	Substratum rocheux calcaire

* HYDROLOGIE-HYDROGEOLOGIE :

- Ruissellement au toit du rocher

* MORPHOLOGIE :

- Replat topographique au droit du pylône, avec une accentuation verticale de la pente à l'Est du pylône.
- Substratum rocheux présent au droit du projet, sous la forme d'un bombement calcaire.

ADAPTATION AU SOL

* **Horizon de fondation** : Rocher

* **Profondeur du toit de l'horizon de fondation** : En surface

* **Dimensionnement** :

ELS (MPa)	ELU (MPa)	γ (kN/m ³)	φ	C' (kPa)
0.4	0,664	18	30°	0

* **Sujétions** :

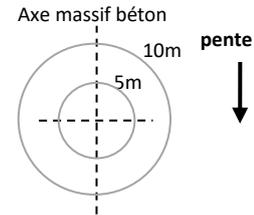
- Adoucir les talus de déblai à 1/1 en phase provisoire
- Utilisation d'outils de terrassements puissants (BRH et/ou minage)
- Purges des blocs instables dans les talus ou mise en œuvre d'un grillage plaqué sur les talus provisoires
- Drainage gravitaire du fond de fouille dès ouverture (tranchée d'évacuation)
- Mise en œuvre de gravelette avec drain périphérique (100mm) et géotextile anticontaminant
- Prévoir un rattrapage gros béton côté aval dans le cas où l'horizon de fondation ne serait pas atteint
- Bèche hors-gel à l'aval ou remblai de mise hors-gel

PYLONE n°: P8

Date : 31/09/2024

Sondage : Non réalisé

Position du sondage :



LES DONNEES DU SOL

* GEOLOGIE :

De (m/TN)	A (m/TN)	
0.0	0.3 ?	Eboulis calcaire à cailloutis imbriqués
0.3 ?	Au-delà	Substratum rocheux calcaire

* HYDROLOGIE-HYDROGEOLOGIE :

- Ruissellement au toit du rocher

* MORPHOLOGIE :

- Pente continue au droit du pylône de 60%.
- Substratum rocheux présent au droit et à l'aval du projet, sous forme de banc calcaire formant une dalle massive. Pendage : 35° - 300 NO

ADAPTATION AU SOL

* **Horizon de fondation** : Rocher

* **Profondeur du toit de l'horizon de fondation** : 0.3 m/TN.

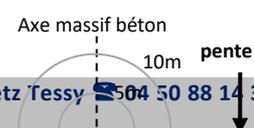
* **Dimensionnement** :

ELS (MPa)	ELU (MPa)	γ (kN/m ³)	φ	C' (kPa)
0.4	0.664	18	30°	0

* **Sujétions** :

- Adoucir les talus de déblai à 1/1 en phase provisoire
-
- Utilisation d'outils de terrassements puissants (BRH et/ou minage)
- Purges des blocs instables dans les talus ou mise en œuvre d'un grillage plaqué sur les talus provisoires
- Drainage gravitaire du fond de fouille dès ouverture (tranchée d'évacuation)
- Mise en œuvre de gravelette avec drain périphérique (100mm) et géotextile anticontaminant
- Prévoir un rattrapage gros béton côté aval dans le cas où l'horizon de fondation ne serait pas atteint
- Bèche hors-gel à l'aval ou remblai de mise hors-gel

PYLONE n°: P9



Date : 31/09/2024

Sondage : Non réalisé

LES DONNEES DU SOL

* GEOLOGIE :

De (m/TN)	A (m/TN)	
0.0	0.3 ?	Eboulis calcaire à cailloutis imbriqués
0.3 ?	Au-delà	Substratum rocheux calcaire-marneux

* HYDROLOGIE-HYDROGEOLOGIE :

- Ruissellement au toit du rocher

* MORPHOLOGIE :

- Leger replat, s'accroissant par une pente aval de 30%
- Substratum rocheux présent au droit et à l'aval du projet, sous forme de banc calcaire. Pendage : 32° - 40° - 310 NO

ADAPTATION AU SOL

* **Horizon de fondation** : Rocher

* **Profondeur du toit de l'horizon de fondation** : 0.3 m/TN.

* **Dimensionnement** :

ELS (MPa)	ELU (MPa)	γ (kN/m ³)	φ	C' (kPa)
0.4	0.664	18	30°	0

* **Sujétions** :

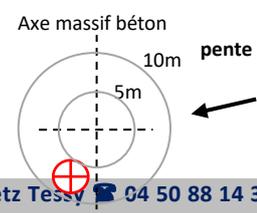
- Adoucir les talus de déblai à 1/1 en phase provisoire
- Utilisation d'outils de terrassements puissants (BRH et/ou minage)
- Purges des blocs instables dans les talus ou mise en œuvre d'un grillage plaqué sur les talus provisoires
- Drainage gravitaire du fond de fouille dès ouverture (tranchée d'évacuation)
- Mise en œuvre de gravelette avec drain périphérique (100mm) et géotextile anticontaminant
- Prévoir un rattrapage gros béton côté aval dans le cas où l'horizon de fondation ne serait pas atteint
- Bèche hors-gel à l'aval ou remblai de mise hors-gel

PYLONE n°: P10

Date : 31/09/2024

Sondage : S11

Position du sondage :



LES DONNEES DU SOL

* GEOLOGIE :

De (m/TN)	A (m/TN)	
0.0	0.7	Eboulis calcaire à cailloutis imbriqués
0.7	Au-delà	Eboulis calcaire à cailloutis imbriqués sous-eau

* HYDROLOGIE-HYDROGEOLOGIE :

- Circulation de versant très forte dès 0.7m de profondeur/TN, amenant à un remplissage rapide de la fouille

* MORPHOLOGIE :

- Pente continue de l'ordre de 20%
- Zone humide à l'aval du pylône, dans le virage d'accès au col. Résurgence des eaux de versants en ce point.

ADAPTATION AU SOL

* **Horizon de fondation** : Eboulis calcaire à cailloutis imbriqués **sous-eau**

* **Profondeur du toit de l'horizon de fondation** : hors gel 1.4 m/TN.

* **Dimensionnement** :

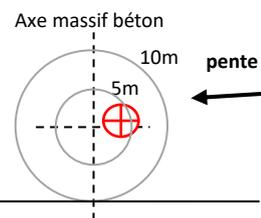
ELS (MPa)	ELU (MPa)	γ (kN/m ³)	ϕ	C' (kPa)
0.25	0.415	18	30°	0

* **Sujétions** :

- Adoucir les talus de déblai à 3H/2V en phase provisoire
- Purge des blocs en fond de fouille et/ou écrêtage des points durs au BRH
- Purges des blocs instables dans les talus
- Drainage gravitaire du fond de fouille dès ouverture (tranchée d'évacuation gravitaire)
- Mise en œuvre de gravelette avec drain périphérique (100mm) et géotextile anticontaminant
- Prévoir un rattrapage gros béton côté aval dans le cas où l'horizon de fondation ne serait pas atteint
- Bèche hors-gel à l'aval ou remblai de mise hors-gel

PYLONE n°: P11
Date : 31/09/2024
Sondage : S9

Position du sondage :



LES DONNEES DU SOL

* GEOLOGIE :

De (m/TN)	A (m/TN)	
0.0	0.5	Eboulis calcaire à cailloutis imbriqués, légèrement limoneux
0.5	Au-delà	Substratum rocheux calcaire-marneux

* HYDROLOGIE-HYDROGEOLOGIE :

- Ruissellement au toit du rocher
- Circulation erratiques certaines par contraste de perméabilité au seins des éboulis de couverture

* MORPHOLOGIE :

- Pente continue de l'ordre 40%
- Substratum rocheux en fond de fouille, sous forme de banc calcaire. Pendage 30° - 40° - conforme à la pente.

ADAPTATION AU SOL

* **Horizon de fondation** : Rocher

* **Profondeur du toit de l'horizon de fondation** : 0.5 m/TN.

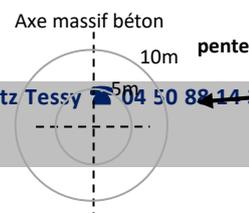
* **Dimensionnement** :

ELS (MPa)	ELU (MPa)	γ (kN/m ³)	φ	C' (kPa)
0.4	0.664	18	30°	0

* **Sujétions** :

- Adoucir les talus de déblai à 3H/2V en phase provisoire
- Utilisation d'outils de terrassements puissants (BRH et/ou minage)
- Purgés des blocs instables dans les talus ou mise en œuvre d'un grillage plaqué sur les talus provisoires
- Drainage gravitaire du fond de fouille dès ouverture (tranchée d'évacuation)
- Mise en œuvre de gravelette avec drain périphérique (100mm) et géotextile anticontaminant
- Prévoir un rattrapage gros béton côté aval dans le cas où l'horizon de fondation ne serait pas atteint
- Bèche hors-gel à l'aval ou remblai de mise hors-gel

PYLONE n°: P12



Date : 31/09/2024

Sondage : Non réalisé

LES DONNEES DU SOL

* GEOLOGIE :

De (m/TN)	A (m/TN)	
0.0	0.0	Substratum rocheux calcaire

* HYDROLOGIE-HYDROGEOLOGIE :

- Ruissellement au toit du rocher

* MORPHOLOGIE :

- Pente continue de l'ordre 50%
- Substratum rocheux fracturé en nodule présent sous forme de banc calcaire. Pendage 38° - 40° - 285 NO.

ADAPTATION AU SOL

* **Horizon de fondation** : Rocher

* **Profondeur du toit de l'horizon de fondation** : En surface

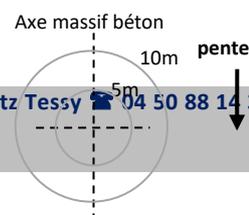
* **Dimensionnement** :

ELS (MPa)	ELU (MPa)	γ (kN/m ³)	φ	C' (kPa)
0.4	0.664	18	30°	0

* **Sujétions** :

- Adoucir les talus de déblai à 3H/2V en phase provisoire
- Utilisation d'outils de terrassements puissants (BRH et/ou minage)
- Purges des blocs instables dans les talus ou mise en œuvre d'un grillage plaqué sur les talus provisoires
- Drainage gravitaire du fond de fouille dès ouverture (tranchée d'évacuation)
- Mise en œuvre de gravelette avec drain périphérique (100mm) et géotextile anticontaminant
- Prévoir un rattrapage gros béton côté aval dans le cas où l'horizon de fondation ne serait pas atteint
- Bèche hors-gel à l'aval ou remblai de mise hors-gel

PYLONE n°: P13



Date : 31/09/2024

Sondage : Non réalisé

LES DONNEES DU SOL

* GEOLOGIE :

De (m/TN)	A (m/TN)	
0.0	>1.5 ?	Eboulis calcaire à cailloutis imbriqués

* HYDROLOGIE-HYDROGEOLOGIE :

- Ruissellement au toit du rocher
- Circulation erratiques certaines par contraste de perméabilité au sein des éboulis de couverture

* MORPHOLOGIE :

- Pente continue de l'ordre 51%
- Substratum rocheux affleurant à proximité sous forme de banc calcaire. Pendage 30° - 40° - conforme à la pente.

ADAPTATION AU SOL

* **Horizon de fondation** : Eboulis

* **Profondeur du toit de l'horizon de fondation** : 1.5 m/TN.

* **Dimensionnement** :

ELS (MPa)	ELU (MPa)	γ (kN/m ³)	φ	C' (kPa)
0.25	0.315	18	35°	0

* **Sujétions** :

- * **Renforcer le talus de déblai amont avec une paroi clouée ou équivalent**
- * Purge des blocs en fond de fouille et/ou écrêtage des points durs au BRH
- * Utilisation d'outils de terrassements puissants (BRH et/ou minage)
- * Drainage gravitaire du fond de fouille dès ouverture (tranchée d'évacuation)
- * Mise en œuvre de gravelette avec drain périphérique (100mm) et géotextile anticontaminant
- * Prévoir un rattrapage gros béton côté aval dans le cas où l'horizon de fondation ne serait pas atteint
- * Bèche hors-gel à l'aval ou remblai de mise hors-gel
- * Prévoir un dispositif pour limiter la poussée des terres à l'amont à l'aide de pneu VL

PYLONE n°: P14

Date : 31/09/2024

Position du sondage :



Sondage : S3

LES DONNEES DU SOL

* GEOLOGIE :

De (m/TN)	A (m/TN)	
0.0	1.5	Eboulis calcaire à cailloutis imbriqués, légèrement limoneux, à blocs >1.5m
1.5	>2.4 ?	Eboulis calcaire à cailloutis imbriqués, légèrement limoneux, à blocs >1.5m

* HYDROLOGIE-HYDROGEOLOGIE :

- Ruissellement au toit du rocher
- Circulation erratiques certaines par contraste de perméabilité au seins des éboulis de couverture

* MORPHOLOGIE :

- Pente continue de l'ordre 48%
- Substratum rocheux en fond de fouille, sous forme de banc calcaire. Pendage 38° - 42° - 2880, conforme à la pente.

ADAPTATION AU SOL

* **Horizon de fondation** : Eblouis

* **Profondeur du toit de l'horizon de fondation** : 2.4 m/TN.

* **Dimensionnement** :

ELS (MPa)	ELU (MPa)	γ (kN/m ³)	ϕ	C' (kPa)
0.25	0.315	18	35°	0

* **Sujétions** :

- **Renforcer le talus de déblai amont avec une paroi clouée ou équivalent**
- Purge des blocs en fond de fouille et/ou écrêtage des points durs au BRH
- Utilisation d'outils de terrassements puissants (BRH et/ou minage)
- Drainage gravitaire du fond de fouille dès ouverture (tranchée d'évacuation)
- Mise en œuvre de gravelette avec drain périphérique (100mm) et géotextile anticontaminant
- Prévoir un rattrapage gros béton côté aval dans le cas où l'horizon de fondation ne serait pas atteint
- Bèche hors-gel à l'aval ou remblai de mise hors-gel
- Prévoir un dispositif pour limiter la poussée des terres à l'amont à l'aide de pneu VL

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

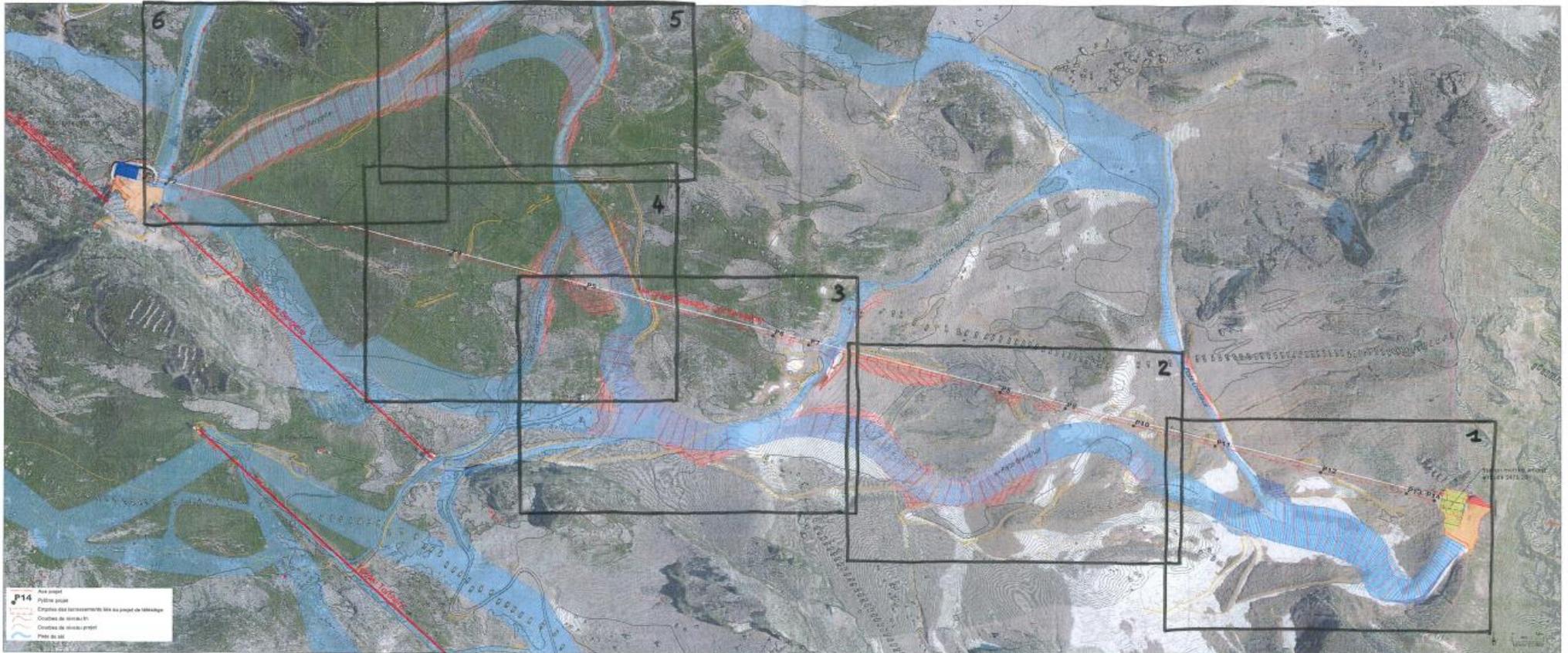
(Sans échelle)

Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchots

Date : 01/10/2024



PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

(Sans échelle)

Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchots

Date : 01/10/2024

1/6

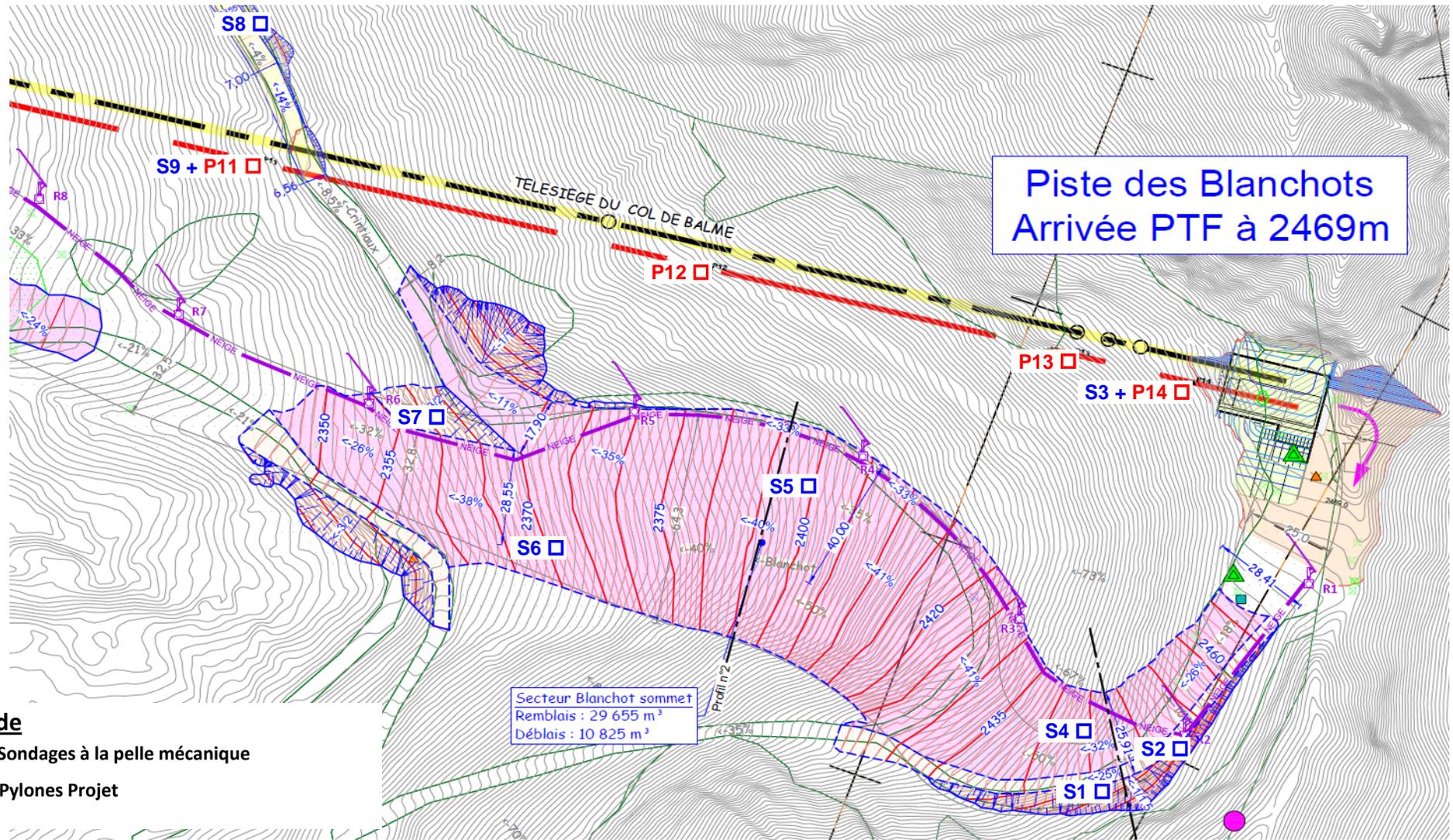


TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS DE SOL

Rappel: Il s'agit ici d'un tableau factuel, c'est-à-dire qui retranscrit les observations sans interprétation. Par exemple: venue d'eau à x m , exprime une profondeur d'arrivée, sans préjuger de sa nature (nappe, saturation, venues d'eau ponctuelles, chenal, etc...). L'interprétation est, elle, exprimée dans le corps du rapport.

Site :	La Clusaz
Affaire :	2205054
Projet :	TSD Balme + Piste Blancho
Date :	01/10/2024

		COUPES DES SONDAGES											Profondeur (en m/TN) de la base de chaque faciès géologique reconnu (et non pas épaisseur) et cote NGF (en italique)	
		PELLE MECANIQUE + PYLONES												
Exemple Sondage S7	Coupe géologique	S1	S2	S3 - P14	P13	P12	S4	S5	S6	S7	S8	S9 - P11	Stabilité parois	REMARQUES
		0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN		
	Altitude sondages ⇒	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
0 m/TN	Eboulis et blocs calcaire à cailloutis imbriqués	>-1,4	-1,0	>-1,6	-1,5	-	>-1,5	>-2,5	>-1,8	-2,3	>-2,5	-0,5	Très mauvaise, éboulement immédiat, avec ovalisation de la fouille importante	Blocs calcaire de > 0,5m à 1,5m Légerement plus limoneux au droit de S3, S4, S5, S6, S17 et S8 Echantillon S6 à -0,6m/TN
-2,3m/TN	Limons caillouto-graveleux à éboulis et blocs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mauvaise, éboulement des parois rapides avec hors profil important	
>-2,5m/TN	Remblais limono-caillouto-graveleux	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mauvaise, éboulement des parois rapides avec hors profil important	
	Substratum rocheux calcaire	-	>-1,4	-	>-1,5 ?	0,0	-	-	-	>-2,5	-	>-0,6	Bonne, rocher franc compact	Substratum calcaire, avec un pendage compris entre 25 - 45° conforme à la pente sur l'ensemble du massif
	Eau souterraine													

Légende :

Pour chaque sondage, les valeurs soulignées (et cote correspondante) indiquent la profondeur du toit de l'horizon de fondation en m/TN (hors notion d'ancrage ou de mises hors gel).

Nota : Les éléments en *gras italique* correspondent à la cause du refus rencontré à la pelle mécanique ou à la cote de la base de l'horizon rencontré

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

(Sans échelle)

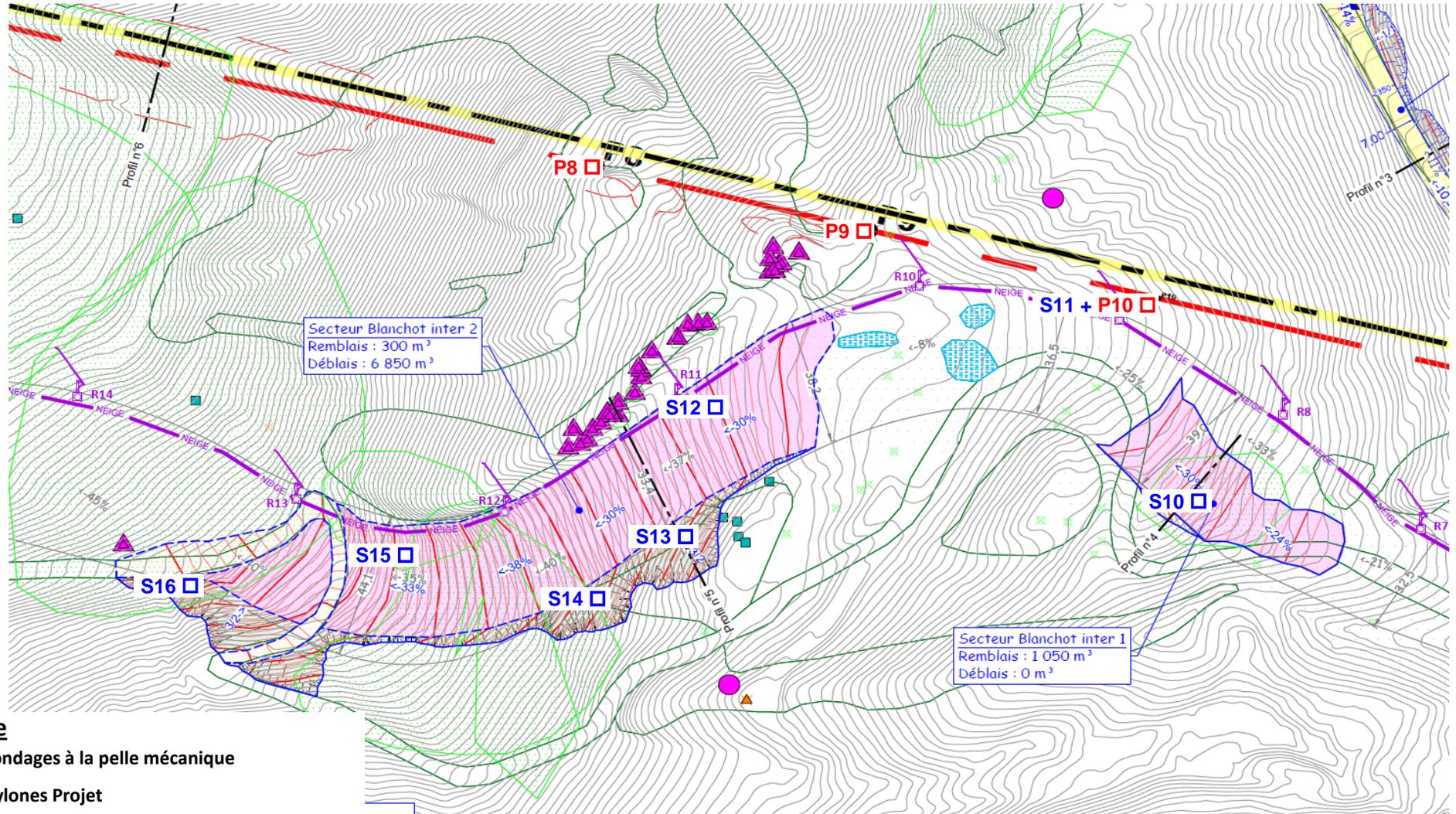
Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchots

Date : 01/10/2024

2/6



Légende

- S1 Sondages à la pelle mécanique
- P1 Pylones Projet

TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS DE SOL

Rappel: Il s'agit ici d'un tableau factuel, c'est-à-dire qui retranscrit les observations sans interprétation. Par exemple: venue d'eau à x m, exprime une profondeur d'arrivée, sans préjuger de sa nature (nappe, saturation, venues d'eau ponctuelles, chenal, etc...). L'interprétation est, elle, exprimée dans le corps du rapport.

Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchot

Date : 01/10/2024

Exemple Sondage S15	Coupe géologique	COUPES DES SONDAGES									Profondeur (en m/TN) de la base de chaque faciès géologique reconnu (et non pas épaisseur) et cote NGF (en italique)	
		PELLE MECANIQUE + PYLONES									Stabilité parois	REMARQUES
		S10	S11 - P10	P9	P8	S12	S13	S14	S15	S16		
0 m/TN	Altitude sondages ⇨	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
-1,5m/TN	Eboulis et blocs calcaire à cailloutis imbriqués	-1,4 <i>98,6</i>	>2,7 <i>Eboulement</i>	-	-	-1,0 <i>99,0</i>	-0,5 <i>99,5</i>	-1,9 <i>98,1</i>	-1,5 <i>98,5</i>	-1,9 <i>98,1</i>	Très mauvaise , éboulement immédiat, avec ovalisation de la fouille importante	Blocs calcaire de > 0,5m à 1,5m Plus limoneux au droit de S10, S11, S12, S13, S14, S15
	Limons caillouto-graveleux à éboulis et blocs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mauvaise , éboulement des parois rapides avec hors profil important	
	Remblais limono-caillouto-graveleux	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mauvaise , éboulement des parois rapides avec hors profil important	
>-1,6m/TN	Substratum rocheux calcaire	>-1,7 <i>Substratum</i>		0,0 <i>Substratum affleurant</i>	0,0 <i>Substratum affleurant</i>	>-1,1 <i>Substratum</i>	-0,6 <i>Substratum</i>	>-2,1 <i>Substratum</i>	>-1,6 <i>Substratum</i>	>-1,9 <i>Substratum ou bloc</i>	Bonne , rocher franc compact	Substratum calcaire, avec un pendage compris entre 25 - 45° conforme à la pente sur l'ensemble du massif
	Eau souterraine		-0,7 <i>Sous-eau</i>					-1,9 <i>Circulation</i>		-0,2 <i>Circulation</i>		

Légende :

Pour chaque sondage, les valeurs soulignées (et cote correspondante) indiquent la profondeur du toit de l'horizon de fondation en m/TN (hors notion d'ancrage ou de mises hors gel).

Nota : Les éléments en **gras italique** correspondent à la cause du refus rencontré à la pelle mécanique ou à la cote de la base de l'horizon rencontré

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

(Sans échelle)

Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchots

Date : 01/10/2024

3/6

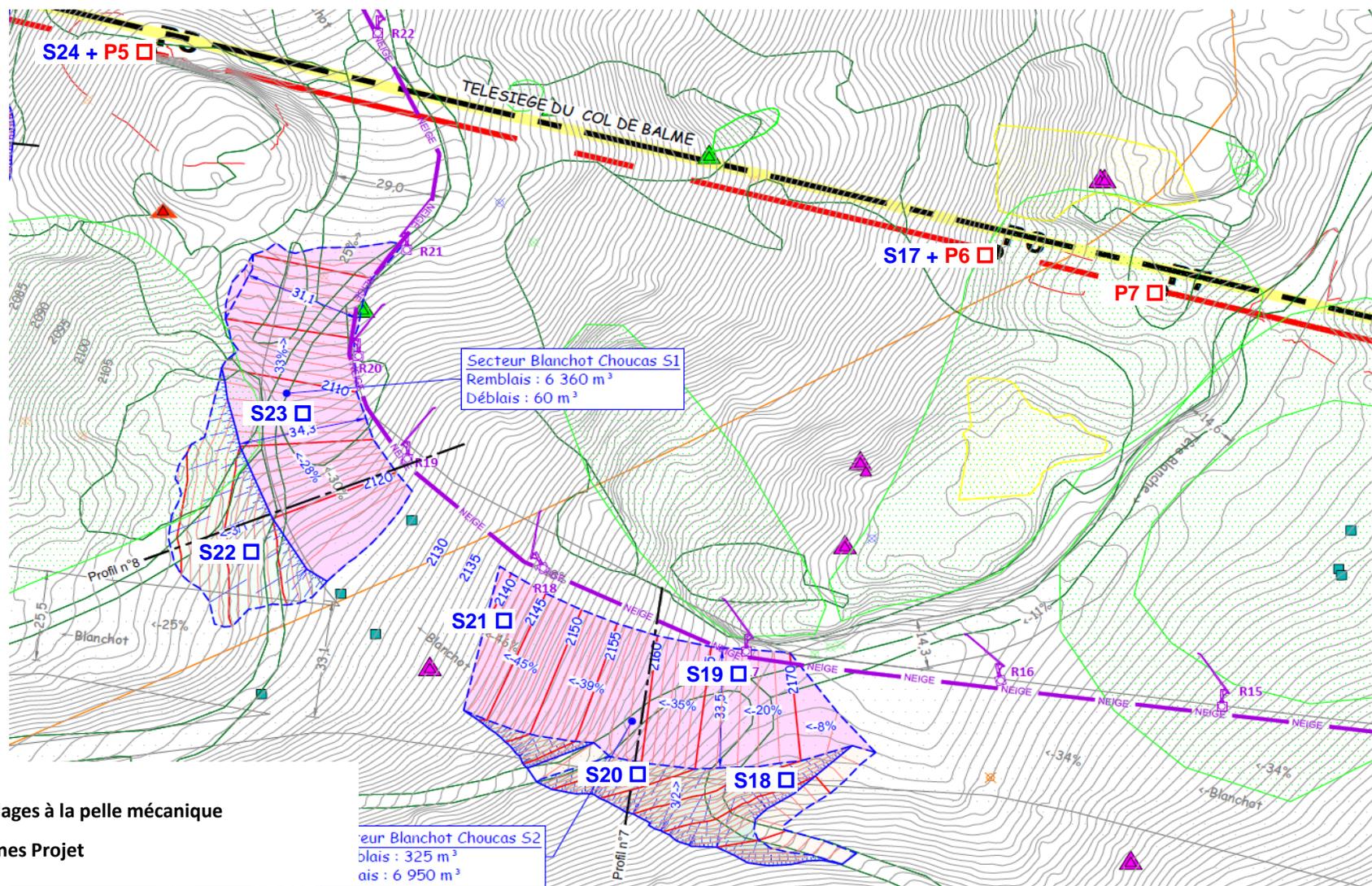


TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS DE SOL

Rappel: Il s'agit ici d'un tableau factuel, c'est-à-dire qui retranscrit les observations sans interprétation. Par exemple: venue d'eau à x m, exprime une profondeur d'arrivée, sans préjuger de sa nature (nappe, saturation, venues d'eau ponctuelles, chenal, etc...). L'interprétation est, elle, exprimée dans le corps du rapport.

Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchot

Date : 01/10/2024

Exemple Sondage S23	Coupe géologique	COUPES DES SONDAGES									Profondeur (en m/TN) de la base de chaque faciès géologique reconnu (et non pas épaisseur) et cote NGF (en italique)	Stabilité parois	REMARQUES
		PELLE MECANIQUE + PYLONES											
		S17 - P6	P7	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24 - P5			
0 m/TN	Altitude sondages ⇨	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN		
1,5m/TN	Eboulis et blocs calcaire à cailloutis imbriqués	-0,5	-	>-2,5	-0,6	>-1,2	-0,5	>-0,5	1,5	-1,5		Très mauvaise , éboulement immédiat, avec ovalisation de la fouille importante	Blocs calcaire de > 0,5m à 1,5m Légèrement plus limoneux au droit de S18, S19
	Limons caillouto-graveleux à éboulis et blocs	-	-	-	-	-	-	-	-	-		Mauvaise , éboulement des parois rapides avec hors profil important	
	Remblais limono-caillouto-graveleux	-	-	-	-	-	-	-	-	-		Mauvaise , éboulement des parois rapides avec hors profil important	
>-1,6m/TN	Substratum rocheux calcaire	>-0,6	0,0	-	>-0,7	-	-0,6	-	>-1,6	>-1,6		Bonne , rocher franc compact	Substratum calcaire, avec un pendage compris entre 25 - 45° conforme à la pente sur l'ensemble du massif
	Eau souterraine												

Légende :

Pour chaque sondage, les valeurs soulignées (et cote correspondante) indiquent la profondeur du toit de l'horizon de fondation en m/TN (hors notion d'ancrage ou de mises hors gel).

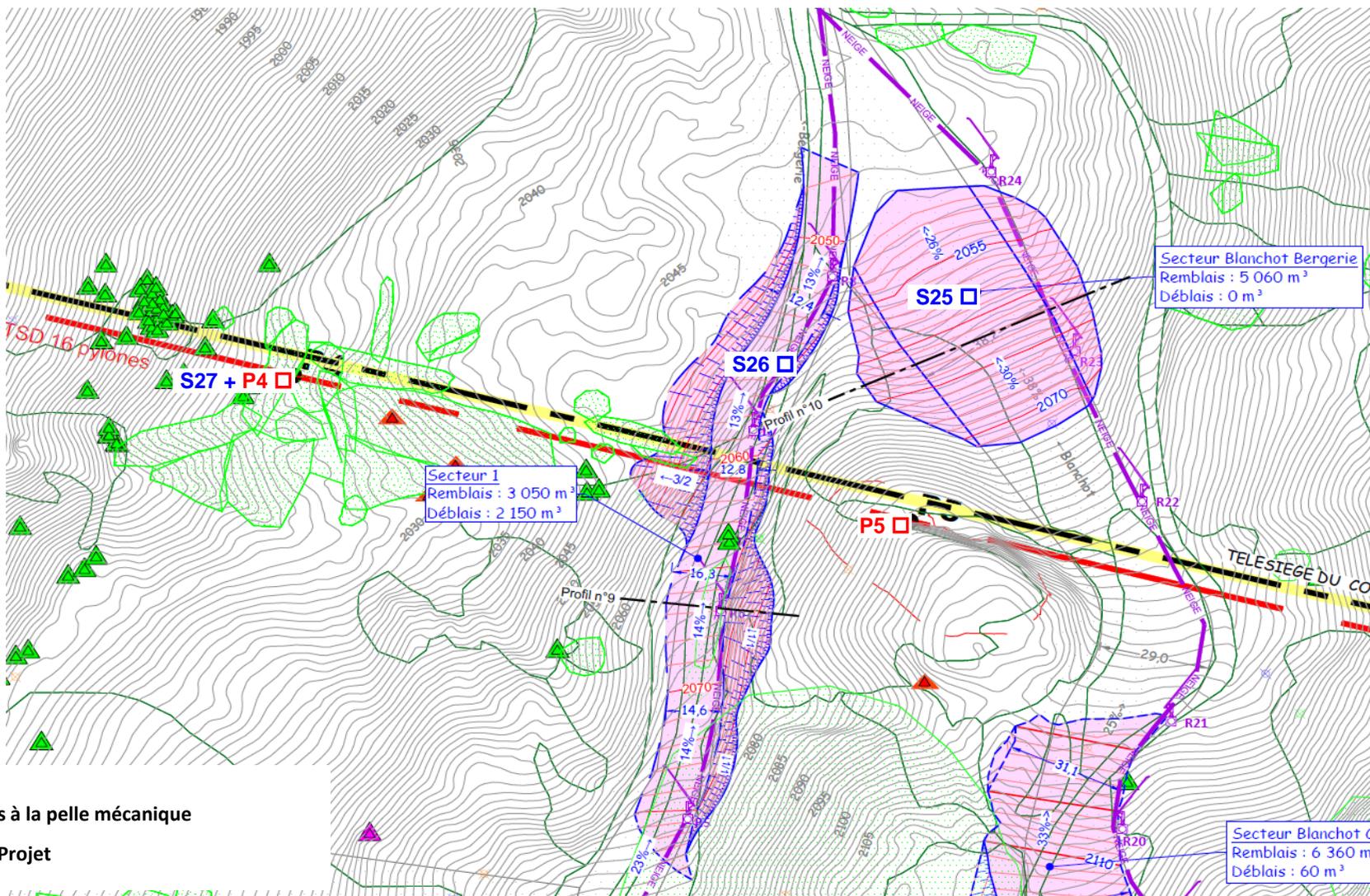
Nota : Les éléments en **gras italique** correspondent à la cause du refus rencontré à la pelle mécanique ou à la cote de la base de l'horizon rencontré

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

(Sans échelle)

Site :	La Clusaz
Affaire :	2205054
Projet :	TSD Balme + Piste Blanchots
Date :	01/10/2024

4/6



**TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES
 INVESTIGATIONS DE SOL**

Rappel: Il s'agit ici d'un tableau factuel, c'est-à-dire qui retranscrit les observations sans interprétation. Par exemple: venue d'eau à x m , exprime une profondeur d'arrivée, sans préjuger de sa nature (nappe, saturation, venues d'eau ponctuelles, chenal, etc...). L'interprétation est, elle, exprimée dans le corps du rapport.

Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchot

Date : 01/10/2024

Exemple Sondage S26 + ech	Coupe géologique	COUPES DES SONDAGES				Profondeur (en m/TN) de la base de chaque faciès géologique reconnu (et non pas épaisseur) et cote NGF (en italique)	
		PELLE MECANIQUE + PYLONES					
		S25	S26 + ech	S27 - P4	P5	Stabilité parois	REMARQUES
		0/TN	0/TN	0/TN	0/TN		
	Altitude sondages →	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>		
0 m/TN	Eboulis et blocs calcaire à cailloutis imbriqués	-	-	>-2,8 <i>Eboulement</i>	-1,6 <i>98,4</i>	Très mauvaise, éboulement immédiat, avec ovalisation de la fouille importante	
	Limons caillouto-graveleux à éboulis et blocs	-1,9 <i>98,1</i>	-0,2 <i>99,8</i>	-	-	Mauvaise, éboulement des parois rapides avec hors profil important	Présence de blocs d'éboulis >1,5m Echantillon S26 à -0,1m/TN
	Remblais limono-caillouto-graveleux	-	-	-	-	Mauvaise, éboulement des parois rapides avec hors profil important	
>-0,2m/TN	Substratum rocheux calcaire	>-1,9 <i>Substratum</i>	>-0,2 <i>Substratum</i>		>-1,6 <i>Substratum</i>	Bonne, rocher franc compact	Substratum calcaire, avec un pendage compris entre 25 - 45° conforme à la pente sur l'ensemble du massif
	Eau souterraine						

Légende :

Pour chaque sondage, les valeurs soulignées (et cote correspondante) indiquent la profondeur du toit de l'horizon de fondation en m/TN (hors notion d'ancrage ou de mises hors gel).

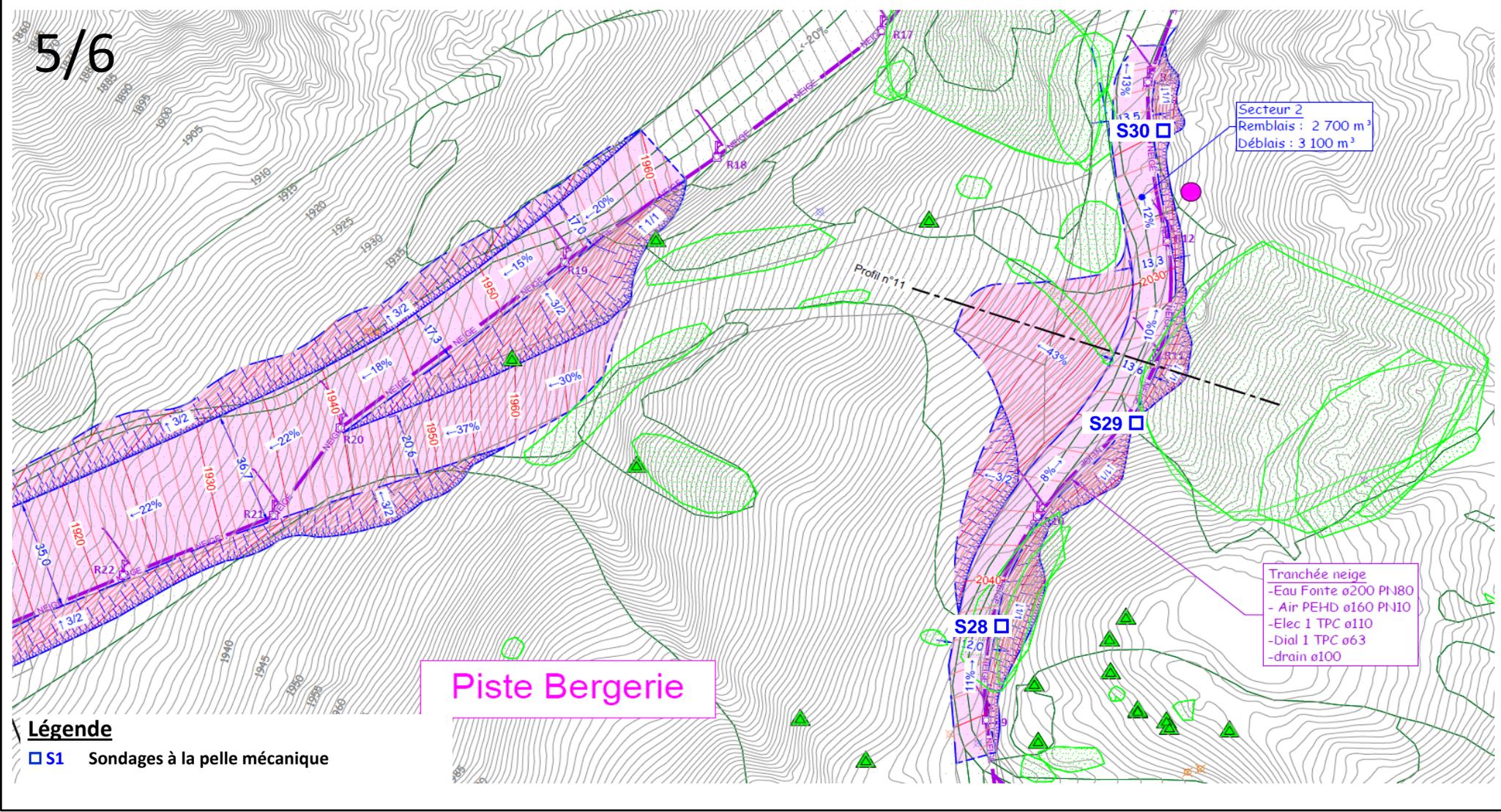
Nota : Les éléments en *gras italique* correspondent à la cause du refus rencontré à la pelle mécanique ou à la cote de la base de l'horizon rencontré

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

(Sans échelle)

Site :	La Clusaz
Affaire :	2205054
Projet :	TSD Balme + Piste Blanchots
Date :	01/10/2024

5/6



Secteur 2
Remblais : 2 700 m³
Déblais : 3 100 m³

Tranchée neige
- Eau Fonte ø200 PN80
- Air PEHD ø160 PN10
- Elec 1 TPC ø110
- Dial 1 TPC ø63
- drain ø100

Piste Bergerie

Légende

□ S1 Sondages à la pelle mécanique

TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS DE SOL

Rappel: Il s'agit ici d'un tableau factuel, c'est-à-dire qui retranscrit les observations sans interprétation. Par exemple: venue d'eau à x m , exprime une profondeur d'arrivée, sans préjuger de sa nature (nappe, saturation, venues d'eau ponctuelles, chenal, etc...).
 L'interprétation est, elle, exprimée dans le corps du rapport.

Site :	La Clusaz
Affaire :	2205054
Projet :	TSD Balme + Piste Blanchot
Date :	01/10/2024

Exemple Sondage S23	Coupe géologique	COUPES DES SONDAGES			Stabilité parois	REMARQUES
		PELLE MECANIQUE + PYLONES				
		S28 + ech	S29	S30		
		0/TN	0/TN	0/TN		
Altitude sondages →		<i>100,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>		
0 m/TN	Eboulis et blocs calcaire à cailloutis imbriqués	-	-	-	Très mauvaise, éboulement immédiat, avec ovalisation de la fouille importante	
1,5m/TN	Limons caillouto-graveleux à éboulis et blocs	>-1,9 <i>Blocs</i>	>-2,2 <i>Eboulement</i>	-1,1 <i>98,9</i>	Mauvaise, éboulement des parois rapides avec hors profil important	Présence de bloc calcaire éboulis >1,0 à 2,0m Echantillon S28 à -1,0m/TN
>-1,6m/TN	Remblais limono-caillouto-graveleux	-	-	-	Mauvaise, éboulement des parois rapides avec hors profil important	
	Substratum rocheux calcaire	-	-	>-1,1 <i>Substratum</i>	Bonne, rocher franc compact	Substratum calcaire, avec un pendage compris entre 25 - 45° conforme à la pente sur l'ensemble du massif
	Eau souterraine					

Légende :

Pour chaque sondage, les valeurs soulignées (et cote correspondante) indiquent la profondeur du toit de l'horizon de fondation en m/TN (hors notion d'ancrage ou de mises hors gel).

Nota : Les éléments en *gras italique* correspondent à la cause du refus rencontré à la pelle mécanique ou à la cote de la base de l'horizon rencontré

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

(Sans échelle)

Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchots

Date : 01/10/2024

Légende

□ S1 Sondages à la pelle mécanique

□ P1 Pylones Projet

6/6

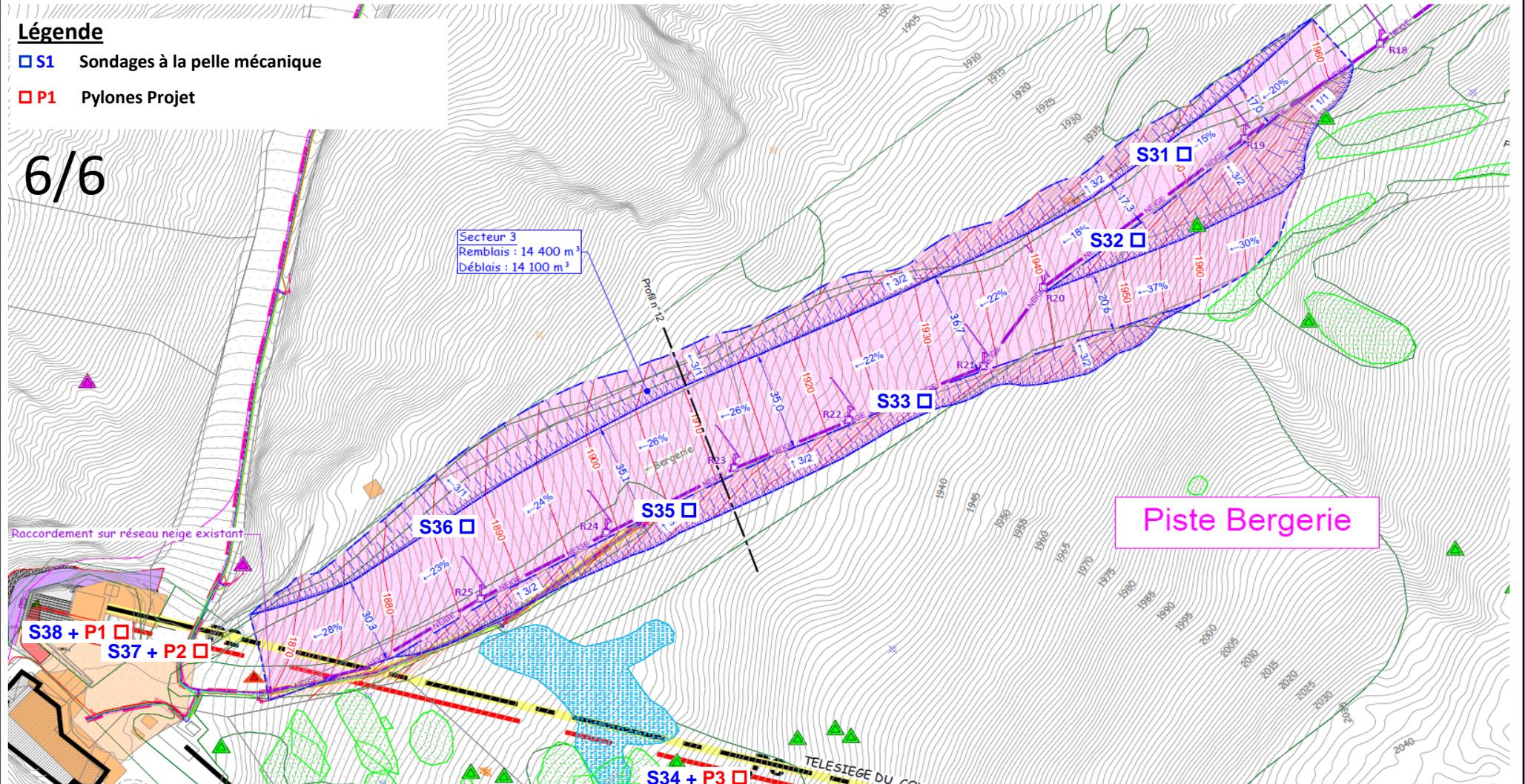


TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS DE SOL

Rappel: Il s'agit ici d'un tableau factuel, c'est-à-dire qui retranscrit les observations sans interprétation. Par exemple: venue d'eau à x m , exprime une profondeur d'arrivée, sans préjuger de sa nature (nappe, saturation, venues d'eau ponctuelles, chenal, etc...). L'interprétation est, elle, exprimée dans le corps du rapport.

Site : La Clusaz

Affaire : 2205054

Projet : TSD Balme + Piste Blanchot

Date : 01/10/2024

Exemple Sondage S31	Coupe géologique	COUPES DES SONDAGES								Profondeur (en m/TN) de la base de chaque faciès géologique reconnu (et non pas épaisseur) et cote NGF (en italique)	Stabilité parois	REMARQUES
		PELLE MECANIQUE + PYLONES										
		S31	S32 + ech	S33 + ech	S34 - P3	S35 + ech	S36	S37 - P2	S38 - P1			
		0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN			
Altitude sondages ⇨		<u>100,0</u>	<u>100,0</u>	<u>100,0</u>	<u>100,0</u>	<u>100,0</u>	<u>100,0</u>	<u>100,0</u>	<u>100,0</u>			
0 m/TN	Eboulis et blocs calcaire à cailloutis imbriqués	-0,5	-	-	-	-	-	-	-		Très mauvaise, éboulement immédiat, avec ovalisation de la fouille importante	Blocs calcaire de > 0,5m à 1,5m Légerement plus limoneux au droit de S31
-0,5m/TN	Limons caillouto-graveleux à éboulis et blocs	-	>-3,2	>-3,3	>-3,1	>-2,7	>-2,1	>-3,3	-		Mauvaise, éboulement des parois rapides avec hors profil important	S32 remanié jusqu'à -0,8m/TN (présence ficelle), argilo-graveleux en fond de pelle Echantillon S32, S33 et S35 à -1,5, -1,0 et -2,0m/TN
-	Remblais limono-caillouto-graveleux	-	-	-	-	-	-	-	>-3,3		Mauvaise, éboulement des parois rapides avec hors profil important	
>-0,5m/TN	Substratum rocheux calcaire	>-0,5	-	-	-	-	-	-	-		Bonne, rocher franc compact	Substratum calcaire, avec un pendage compris entre 25 - 45° conforme à la pente sur l'ensemble du massif
	Eau souterraine			-2,7								
				Circulation	Humide							

Légende :

Pour chaque sondage, les valeurs soulignées (et cote correspondante) indiquent la profondeur du toit de l'horizon de fondation en m/TN (hors notion d'ancrage ou de mises hors gel).

Nota : Les éléments en *gras italique* correspondent à la cause du refus rencontré à la pelle mécanique ou à la cote de la base de l'horizon rencontré

TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS DE SOL

Rappel: Il s'agit ici d'un tableau factuel, c'est-à-dire qui retranscrit les observations sans interprétation. Par exemple: venue d'eau à x m , exprime une profondeur d'arrivée, sans préjuger de sa nature (nappe, saturation, venues d'eau ponctuelles, chenal, etc...). L'interprétation est, elle, exprimée dans le corps du rapport.

Site :	La Clusaz
Affaire :	2205054
Projet :	TSD Balme + Piste Blanchot
Date :	01/10/2024

		COUPES DES SONDAGES													Profondeur (en m/TN) de la base de chaque faciès géologique reconnu (et non pas épaisseur) et cote NGF (en italique)		
		PYLONES													Stabilité parois	REMARQUES	
Exemple Sondage Pylone 5	Coupe géologique	Pylone 2	Pylone 3	Pylone 4	Pylone 5	Pylone 6	Pylone 7	Pylone 8	Pylone 9	Pylone 10	Pylone 11	Pylone 12	Pylone 13	Pylone 14			
0 m/TN		0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN	0/TN		
	Eboulis et blocs calcaire à cailloutis imbriqués	-	-	>-2,8 <i>Eboulement</i>	<u>-1,6</u>	<u>-0,5</u>	-	-	-	<-2,7 <i>Eboulement</i>	-0,5	-	<-2,0 ???	<-1,6 <i>Eboulement + Cable P16</i>		Très mauvaise, éboulement immédiat, avec ovalisation de la fouille importante	Blocs calcaire de > 0,5m à 1,5m Légerement plus limoneux au droit de P11, P10, P5, P4,
	Limons caillouto-graveleux à éboulis et blocs	-3,3 <i>refus sur blocs</i>	>-3,1 <i>Eboulement</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		Mauvaise, éboulement des parois rapides avec hors profil important	Présence de nombreux blocs d'éboulis massifs > 1,0 à 1,5m
	Remblais limono-caillouto-graveleux	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		Mauvaise, éboulement des parois rapides avec hors profil important	Remblai présentant des blocs d'éboulis Déchets plus important à partir de
>-1,6	Substratum rocheux calcaire	<5,6 <i>d'après F5</i>			>-1,6 <i>Substratum</i>	>-0,6 <i>Substratum</i>	0,0 <i>Substratum affleurant</i>	0,0 <i>Substratum affleurant</i>	0,0 <i>Substratum affleurant</i>		>-0,6 <i>Substratum</i>	0,0 <i>Substratum affleurant</i>				Bonne, rocher franc compact	Substratum calcaire, avec un pendage compris entre 25 - 45° conforme à la pente sur l'ensemble du massif
	Eau souterraine									-0,7 <i>Sous-eau</i>							Accumulation des eaux de versants au droit de P10, remplissage de la fouille en eau

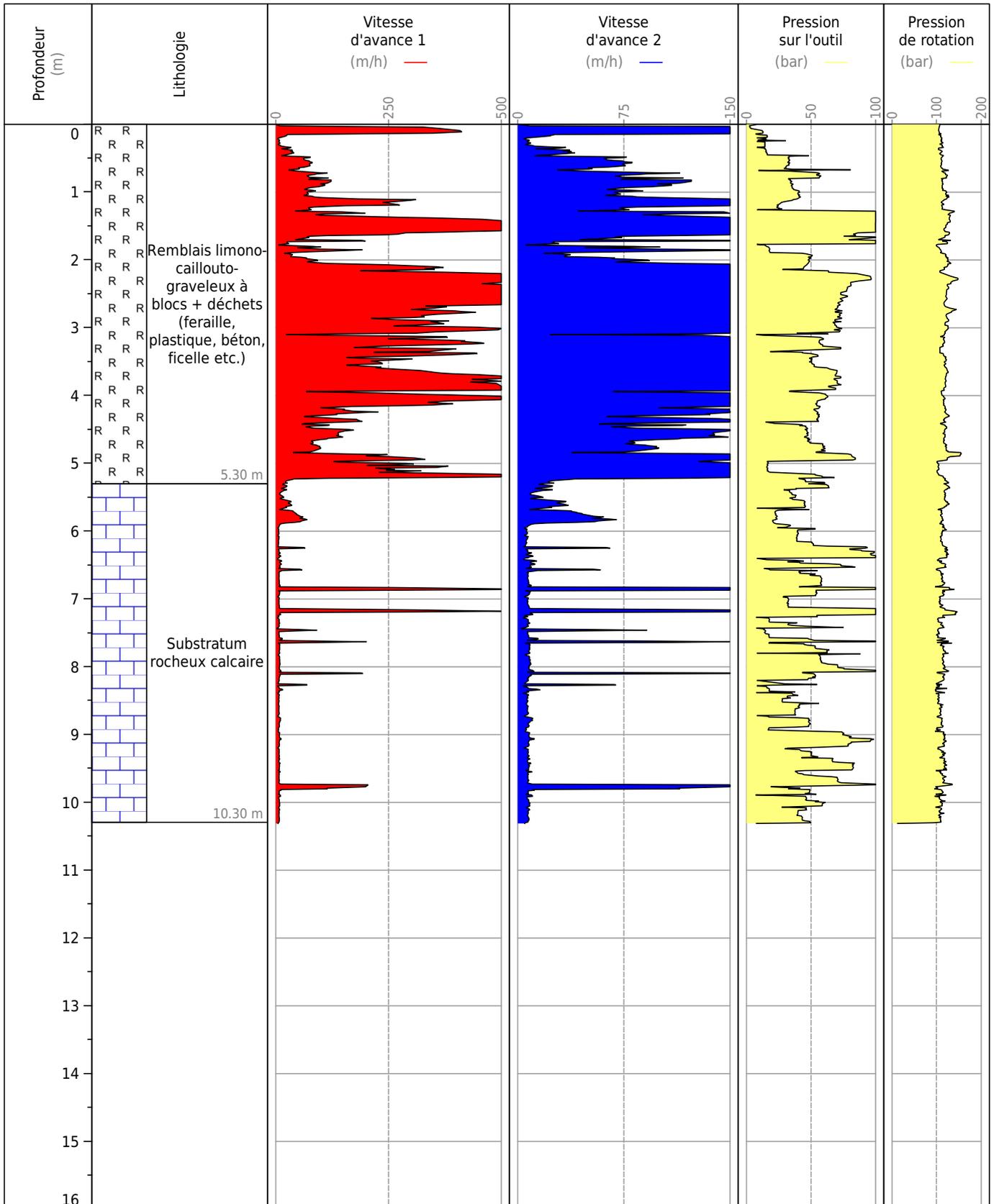
Légende :

Pour chaque sondage, les valeurs soulignées (et cote correspondante) indiquent la profondeur du toit de l'horizon de fondation en m/TN (hors notion d'ancrage ou de mises hors gel).

Nota : Les éléments en *gras italique* correspondent à la cause du refus rencontré à la pelle mécanique ou à la cote de la base de l'horizon rencontré

SONDAGE F1

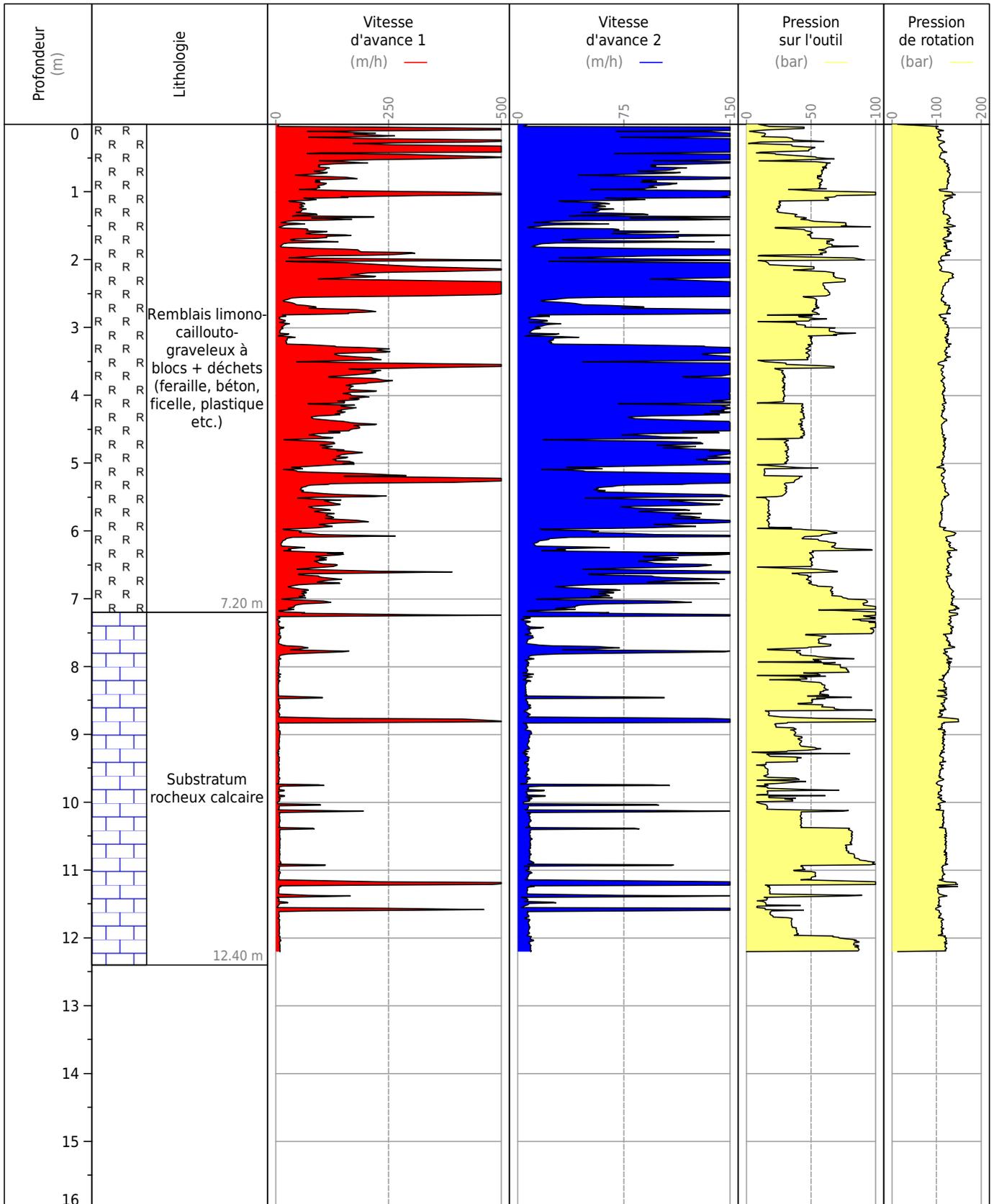
Machine : X : Y : Z : Foreur : Opérateur : MTS Type de sondage : Forage destructif



Obs. :

SONDAGE F2

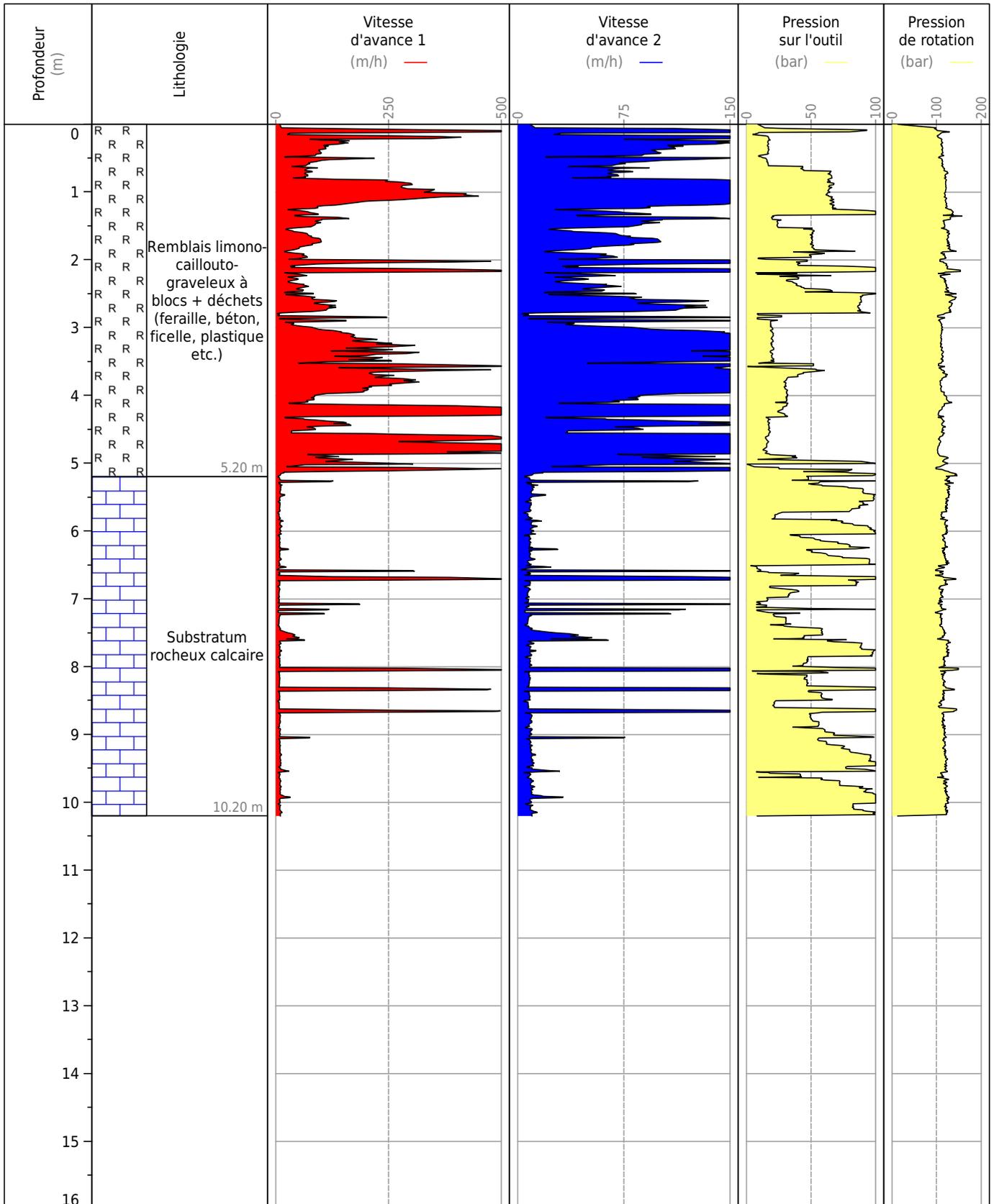
Machine : X : Y : Z : Foreur : Opérateur : MTS Type de sondage : Forage destructif



Obs. :

SONDAGE F3

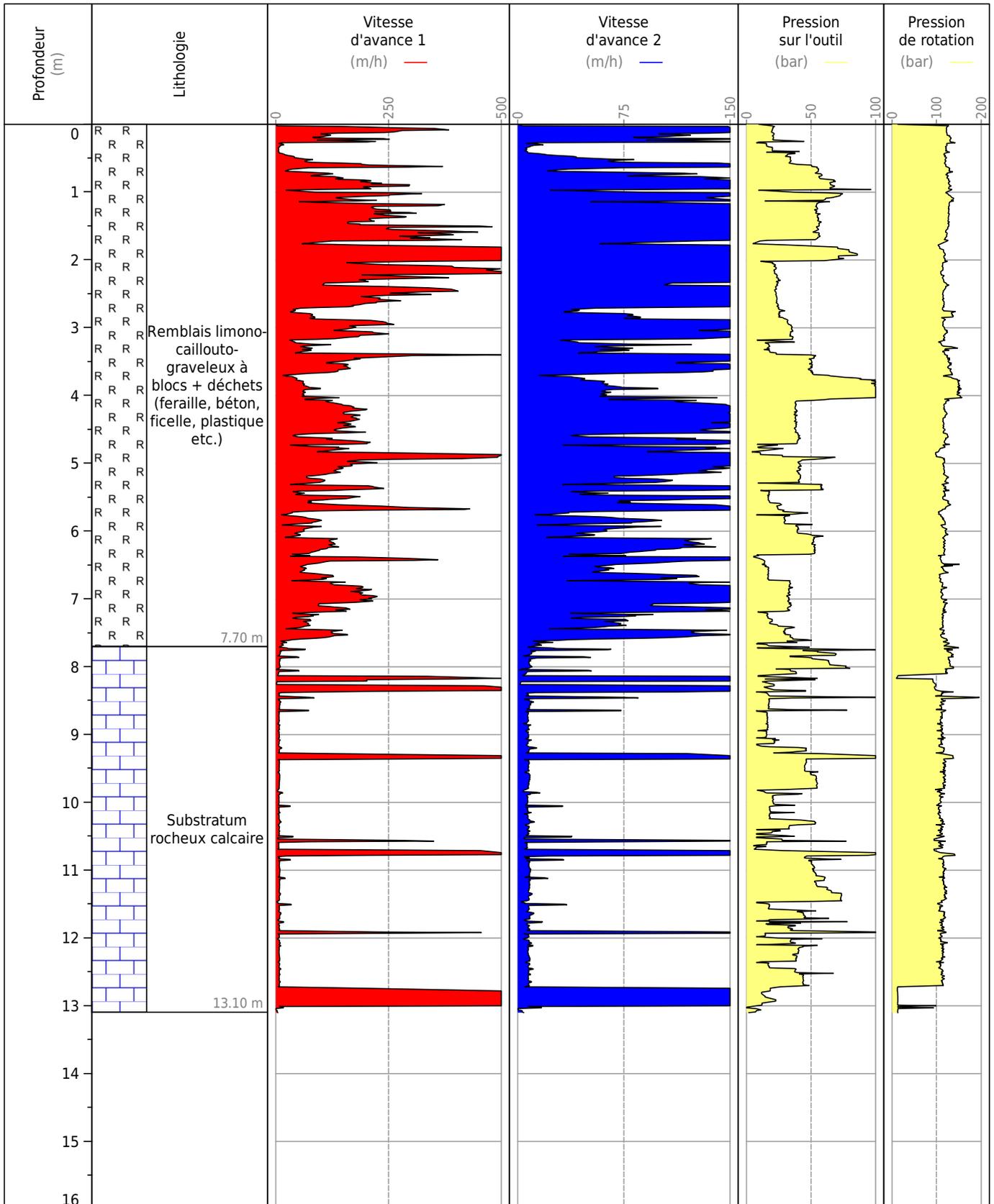
Machine : X : Y : Z : Foreur : Opérateur : MTS Type de sondage : Forage destructif



Obs. :

SONDAGE F4

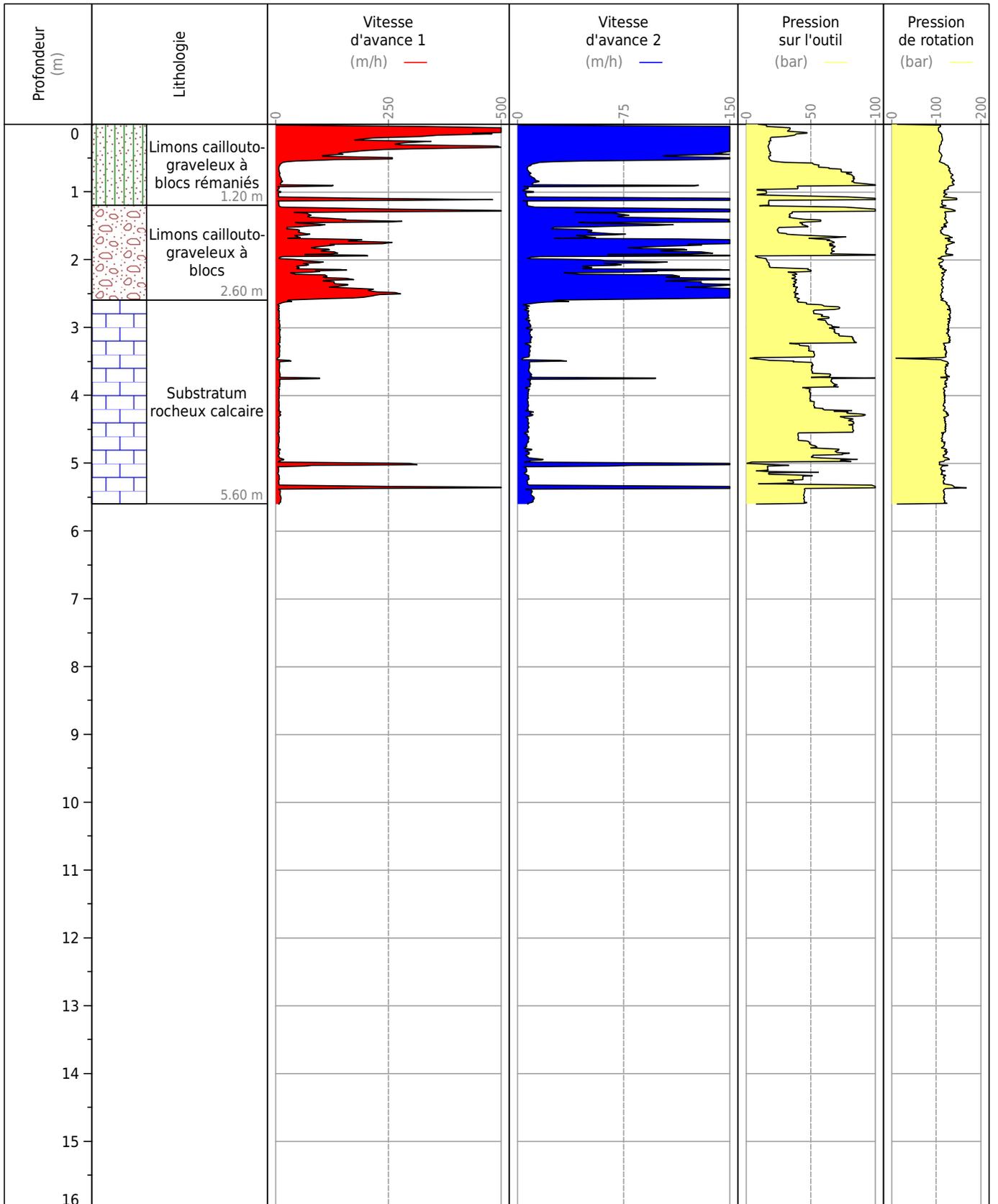
Machine : X : Y : Z : Foreur : Opérateur : MTS Type de sondage : Forage destructif



Obs. :

SONDAGE F5

Machine : Foreur : Opérateur : MTS Type de sondage : Forage destructif
 X : Y : Z :



Obs. :

3.1. BIODIVERSITE

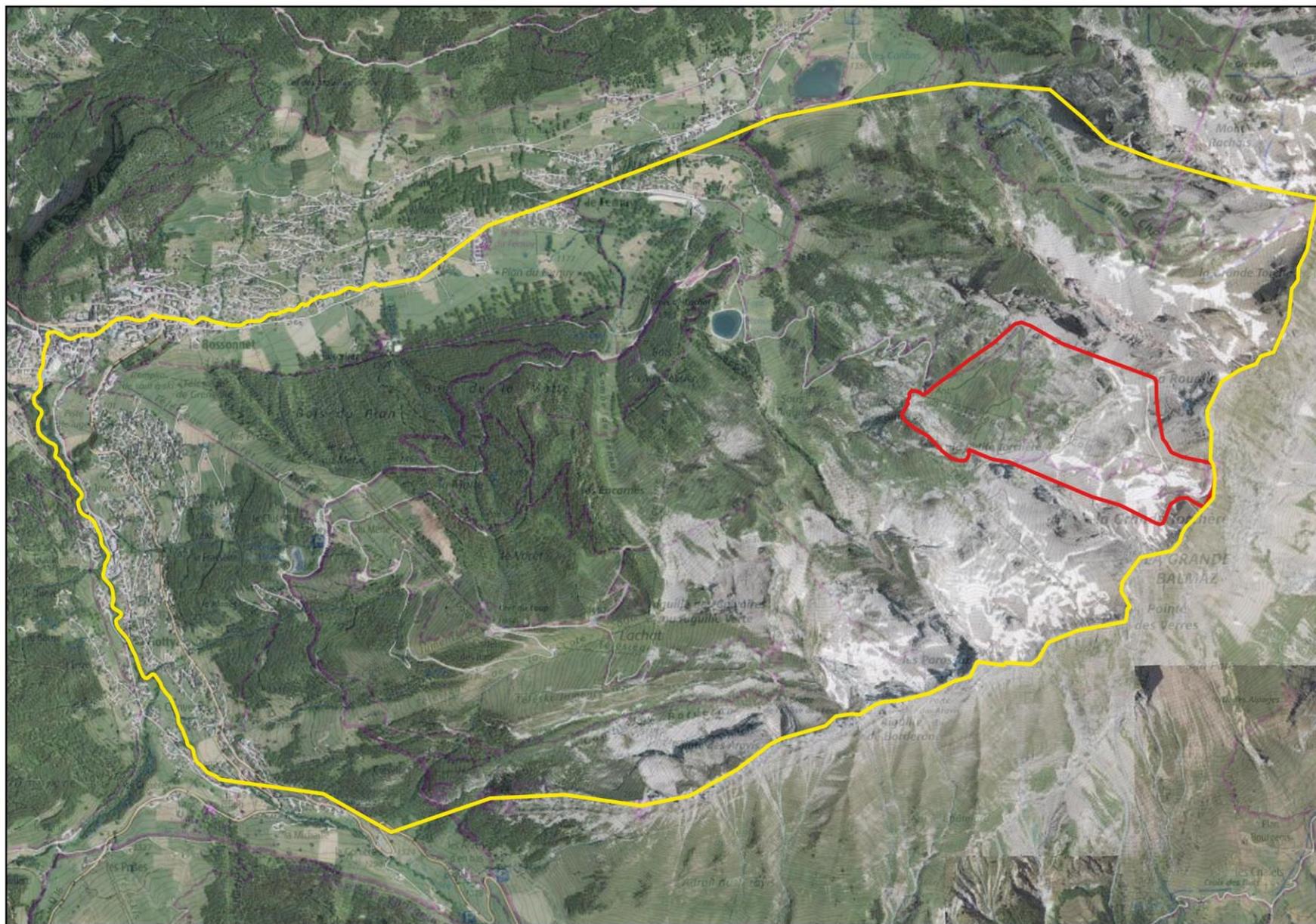
La méthodologie retenue pour l'analyse des enjeux sur la biodiversité est détaillée dans le chapitre « Méthodes » de la présente étude. Il a ainsi été fait l'application du principe de proportionnalité, au regard de l'importance et de la nature du projet ainsi que la sensibilité environnementale de la zone susceptible d'être affectée par le projet. Ainsi, il y est explicité les périmètres d'études et les raisons pour lesquels seuls les taxons étudiés plus précisément sont ceux présentés dans les paragraphes ci-après.

Deux emprises de zones d'étude ont été prises en compte pour l'élaboration du dossier (cf. plan figurant en page suivante) :

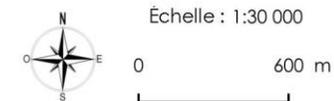
- > **Une zone d'étude immédiate** ; qui correspond à la zone de projet envisagé et ses abords proches.
- > **La zone d'étude élargie** ; qui comprend la zone d'étude immédiate. La zone d'étude élargie se base sur le relief et englobe l'ensemble du versant descendant vers le village de la Clusaz. A l'ouest, il est délimité par le cours d'eau Le Nom et au sud par la crête du massif des Aravis. La zone d'étude élargie englobe également la Combe de Bella Cha située à côté de celle de Balme (au nord). Elle est entièrement située sur la commune de La Clusaz.

Les données présentées au sein de la zone d'étude élargie proviennent de données bibliographiques.

Zones d'étude



-  Zone d'étude
-  Zone d'étude élargie



Conception: KARUM n°2019187 / A.MAIRE
Fond de carte : IGN BD ORTHO (2020)
Source de données : KARUM
Date : 13/10/2023

3.1.1. TRAME ECOLOGIQUE

La Trame Verte et Bleue (TVB) est un outil d'aménagement du territoire dont l'objectif est d'enrayer la perte de biodiversité. Issu des lois Grenelle, le Schéma Régional de Cohérence Écologique (SRCE) identifie et favorise la mise en œuvre opérationnelle de la TVB à l'échelle de la région.

En effet, la conservation des espèces (animales et végétales) passe par le maintien d'un réseau de milieux naturels, interconnectés entre eux, afin d'assurer, notamment, la pérennité des espèces par le brassage génétique des populations.

Le SRCE identifie ainsi différents enjeux relatifs à la TVB tels que les réservoirs de biodiversité, qui sont des espaces dans lesquels la biodiversité est la plus riche ou la mieux représentée, où les espèces peuvent effectuer tout ou partie de leur cycle de vie (alimentation, reproduction, repos) et les corridors écologiques, qui relient les réservoirs dans les espaces contraints. Aujourd'hui, le SRCE est inclus dans le Schéma Régional d'Aménagement de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET), qui fixe les objectifs à moyen et long terme sur le territoire.

3.1.1.1. TRAME ECOLOGIQUE A L'ECHELLE REGIONALE PUIS COMMUNALE

Au niveau régional, la Trame Verte et Bleue (TVB) se décline dans le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET) de la région Auvergne Rhône Alpes, approuvé le 10 avril 2020.

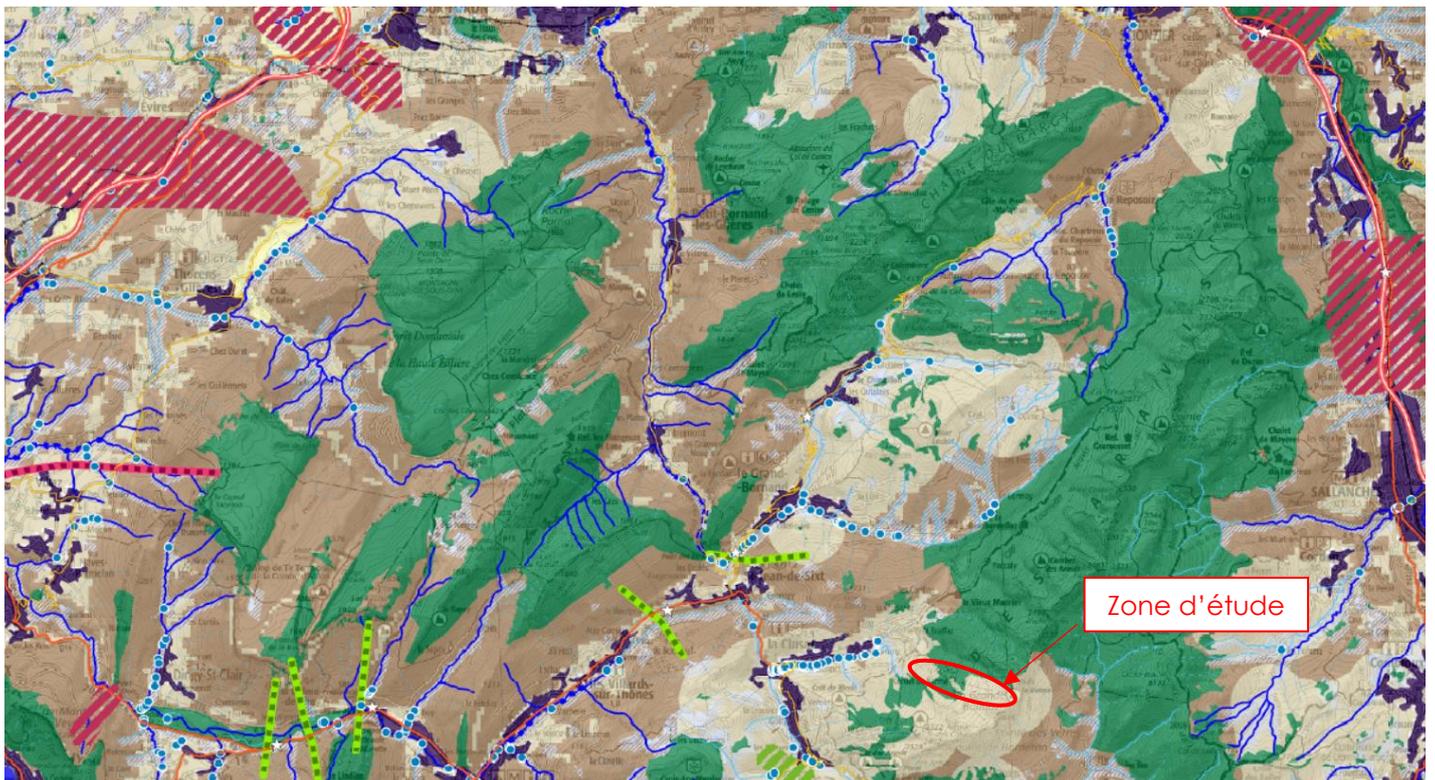
D'après le SRADDET, la zone d'étude liée au projet se situe dans un secteur composé d'une certaine densité en termes de réservoirs de biodiversité liés à la trame verte régionale. Ces réservoirs de biodiversité sont reliés par des espaces perméables dont la fonctionnalité est faible.

Le secteur n'est pas concerné par la trame aquatique et n'est pas une zone prioritaire à enjeux pour les contrats verts et bleus.

Il est à noter que l'analyse du SRADDET reste sommaire en raison de l'échelle à laquelle la cartographie a été réalisée. C'est pourquoi, pour plus de précision, le SRCE a été étudié.

D'après la cartographie du SRCE, présentée ci-après, la zone d'étude se situe sur des entités différentes :

- Des réservoirs terrestres de biodiversité ;
- Des espaces de perméabilité terrestre pour connecter les différents réservoirs. Ces espaces possèdent une perméabilité moyenne.



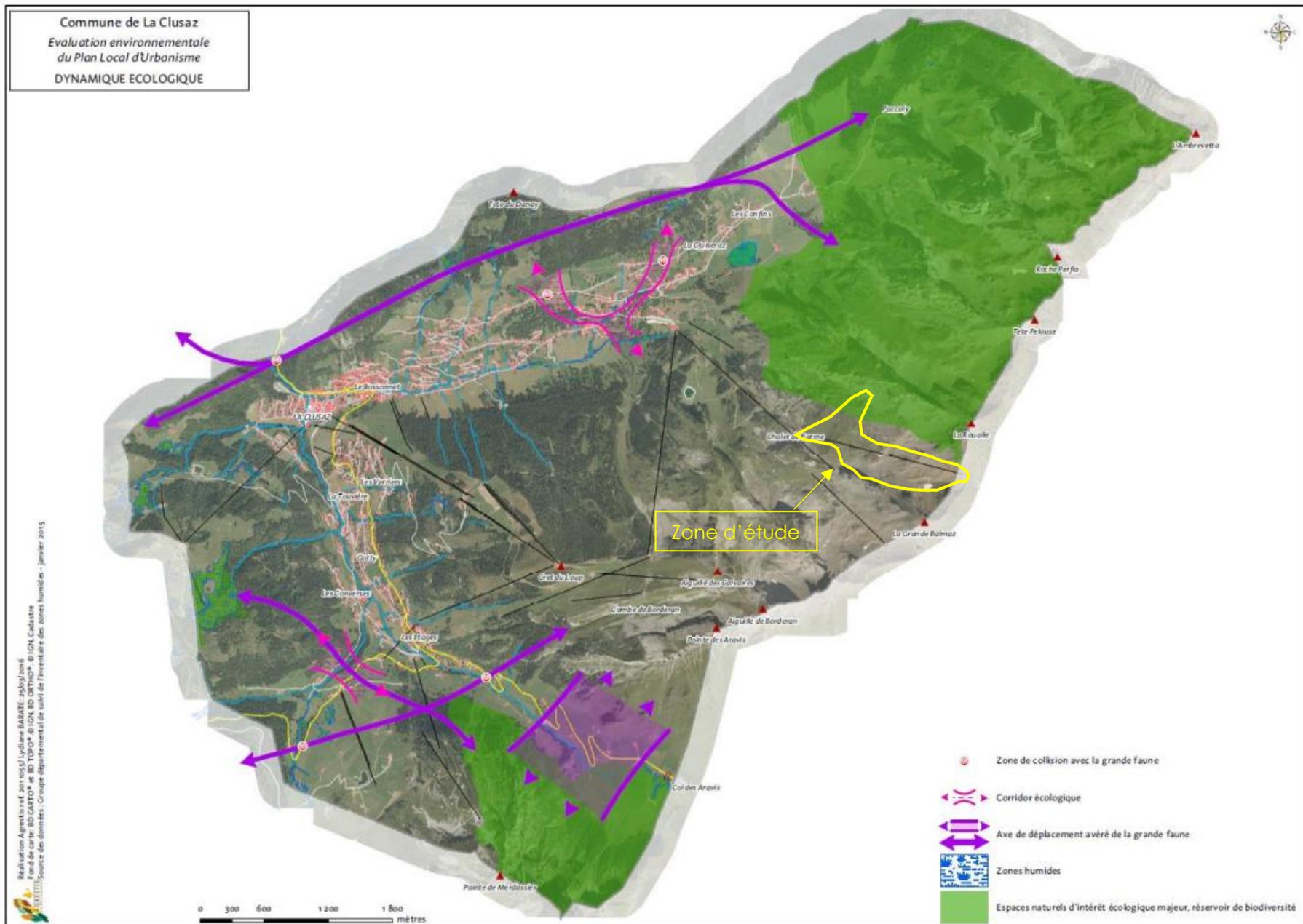
Extrait de l'Atlas cartographique du SRCE Rhône-Alpes (feuille C06)

3.1.1.2. TRAME ECOLOGIQUE A L'ECHELLE COMMUNALE

A l'échelle communale, la Trame Verte et Bleue (TVB) se décline dans le Plan Local d'Urbanisme (PLU) de la commune de La Clusaz, approuvé le 10 avril 2017.

Sur le territoire de La Clusaz (cf. carte ci-dessous), la chaîne des Aravis forme un vaste espace naturel d'intérêt écologique majeur. Cet espace est toutefois entrecoupé d'espaces anthropisés dont le domaine skiable de La Clusaz.

La zone d'étude, située dans ce domaine skiable, est placée en dehors des corridors écologiques et axes de déplacement principaux de la faune sauvage. Elle est également située en dehors de la trame aquatique et des zones humides identifiées sur le territoire communal.



Carte du réseau écologique du territoire communal de la Clusaz – Extrait du PLU de La Clusaz

3.1.1.3. TRAME ECOLOGIQUE A L'ECHELLE LOCALE

La zone d'étude est non urbanisée et principalement dédiée à l'activité pastorale en saison estivale et aux sports de glisse en période hivernale. Elle est située en dehors des corridors identifiés à l'échelle locale, ce qui indique qu'elle n'est pas un axe privilégié par la faune sauvage lors de ses déplacements. Les mammifères fréquentent toutefois le secteur pour la recherche de nourriture notamment (Bouquetin des Alpes, Lièvre variable, Chamois, ...).

Des remontées mécaniques sont déjà existantes mais la zone d'étude peut être considérée à ce jour comme un espace de libre circulation pour la faune sauvage terrestre, dont les infrastructures du domaine skiable (remontées mécaniques, piste de ski aménagées...) ne constituent pas un élément contraignant pour le déplacement des espèces (animales ou végétales). Il existe toutefois un risque de collision de l'avifaune avec les câbles des remontées mécaniques.

Peu de contraintes d'origine anthropique sont donc notées vis-à-vis du déplacement des espèces. En revanche, le relief de la zone étant assez prononcé à l'est (barrière matérialisée par la présence de falaises), le site présente des contraintes naturelles fortes faisant obstacle à la circulation de la faune. En effet, la Combe de Balme représente un cul-de-sac pour la faune sauvage.

La zone d'étude est faiblement favorable pour le déplacement des espèces terrestres, surtout du fait de la présence d'une barrière naturelle matérialisée par les falaises à l'est. Les remontées mécaniques existantes (obstacles anthropiques) ne représentent pas un réel obstacle au déplacement hormis pour les oiseaux pouvant entrer en collision avec. L'enjeu concernant les dynamiques écologiques est considéré comme **faible**.

3.1.2. ZONAGES NATURA 2000

Le réseau Natura 2000 est né de la volonté de conserver, de rétablir dans un état favorable les habitats naturels et les populations animales et végétales de son territoire, tout en tenant compte des activités sociales, économiques, culturelles et régionales présentes sur les sites désignés.

Deux directives européennes précisent cette démarche : la directive « Oiseaux » publiée le 02/04/1979 et la directive « Habitats Faune Flore » publiée le 21/05/1992.

Ce réseau est constitué de deux types de zones :

- > Les « Zones Spéciales de Conservation » ou ZSC, désignées par les Etats membres au titre de la directive Habitats-Faune-Flore.
- > Les « Zones de Protection Spéciale » ou ZPS, désignées au titre de la directive Oiseaux, elles concernent principalement la conservation des oiseaux sauvages. Elles représentent des espaces importants pour la survie et la reproduction d'une liste d'espèces d'oiseaux fixée par arrêté du ministre chargé de l'environnement.

Le réseau Natura 2000 n'a pas pour objectif de créer des sanctuaires, ces zones doivent continuer à être utilisées par l'homme, en respectant les richesses naturelles présentes.

Le but de la démarche Natura 2000 est de trouver un point d'équilibre entre les activités humaines et la préservation de la nature.

La zone d'étude immédiate n'est concernée par aucun site Natura 2000. Le site le plus proche et situé dans la zone d'étude élargie, correspond au site Directive Habitats et Oiseaux « Les Aravis » (cf. carte figurant en page suivante).

TYPE DE ZONAGE	ZONE D'ÉTUDE ÉLARGIE	ZONE D'ÉTUDE IMMÉDIATE
ZSC « Les Aravis »	Concernée	Non concernée
ZPS « Les Aravis »	Concernée	Non concernée

Plusieurs espèces et habitats d'intérêt communautaire sont présents dans ce site Natura 2000. Aussi, la zone d'étude immédiate étant accolée au site Natura 2000, les espèces à grand rayon d'action peuvent tout à fait fréquenter le site du projet, a minima pour leur déplacement. Aussi, les espèces d'intérêt communautaires ayant contribué à la désignation du site Natura 2000 sont présentées ci-dessous. En revanche, les habitats ne sont pas présentés, puisque la zone d'étude immédiate dans laquelle est inscrit le projet, reste en dehors des périmètres de protection.

	NOM VERNACULAIRE	NOM LATIN	PRESENCE DE L'ESPECE SUR LA ZONE D'ETUDE	PRESENCE D'HABITATS D'ESPECES FAVORABLES SUR LA ZONE D'ETUDE
Espèces communautaires	Loup gris	<i>Canis lupus</i>	Possible	Déplacement
	Lynx boréal	<i>Lynx lynx</i>	Non	Non
	Azuré de la Sanguisorbe	<i>Phengaris teleius</i>	Non	Non
	Azuré des Paluds	<i>Phengaris nausithous</i>	Non	Non
	Damier de la Succise	<i>Euphydryas aurinia</i>	Non	Non

	NOM VERNACULAIRE	NOM LATIN	PRESENCE DE L'ESPECE SUR LA ZONE D'ETUDE	PRESENCE D'HABITATS FAVORABLES SUR LA ZONE D'ETUDE*
Espèces communautaires	Grand-duc d'Europe	<i>Bubo bubo</i>	Oui	Alimentation
	Chevêchette d'Europe	<i>Glaucidium passerinum</i>	Non	Non
	Chouette de Tengmalm	<i>Aegolius funereus</i>	Non	Non
	Pic noir	<i>Dryocopus martius</i>	Non	Non
	Pie-grièche écorcheur	<i>Lanius collurio</i>	Non	Non
	Crave à bec rouge	<i>Pyrhocorax pyrrhocorax</i>	Oui	Reproduction
	Lagopède des Alpes	<i>Lagopus muta helvetica</i>	Oui	Reproduction
	Tétras lyre	<i>Lyrurus tetrix</i>	Possible	Alimentation
	Perdrix bartavelle	<i>Alectoris graeca</i>	Possible	Reproduction
	Bondrée apivore	<i>Pernis apivorus</i>	Non	Non
	Milan royal	<i>Milvus milvus</i>	Non	Non
	Milan noir	<i>Milvus migrans</i>	Non	Non
	Gypaète barbu	<i>Gypaetus barbatus</i>	Oui	Alimentation
	Vautour fauve	<i>Gyps fulvus</i>	Oui	Alimentation
	Circaète Jean-le-Blanc	<i>Circaetus gallicus</i>	Possible	Alimentation
	Aigle royal	<i>Aquila chrysaetos</i>	Oui	Alimentation
	Faucon pèlerin	<i>Falco peregrinus</i>	Possible	Alimentation
	Gélinotte des bois	<i>Bonasa bonasia</i>	Non	Non
Bécasse des bois	<i>Scolopax rusticola</i>	Non	Non	

Les espèces surlignées en vert sont celles représentant un enjeu de par leur présence avérée sur le site d'étude et leur utilisation des habitats naturels.

L'enjeu est considéré comme **moyen**. En effet, la zone d'étude immédiate n'est située dans aucune zone Natura 2000 mais se situe à proximité directe du site des Aravis. Aussi, certaines espèces d'intérêt communautaire ayant un grand rayon d'action peuvent tout à fait fréquenter la zone d'étude notamment par le passage d'individus lors de leurs déplacements ou leur recherche alimentaire.



-  Zone d'étude élargie
-  Zone d'étude
-  Emprise des travaux
-  Sites NATURA 2000 ZPS
-  Sites NATURA 2000 ZSC



Conception: KARUM n°2019187 /
A.MAIRE
Fond de carte : IGN : SCAN 25
(2023), ORTHO (2020)
Source de données : DREAL AURA
Date : 13/09/2024

3.1.3. AUTRES ZONAGES NATURE

Sources : Institut national de l'information géographique et forestière (IGN)

Le tableau ci-dessous liste les différents types de zonages patrimoniaux potentiellement concernés par les zones d'étude.

En raison des potentiels enjeux, seuls les zonages concernés par la zone d'étude élargie feront l'objet d'une description détaillée par la suite. Lorsque les zonages ne sont pas concernés par les zones d'études, il est considéré un enjeu nul.

TYPE DE ZONAGE		ZONE D'ÉTUDE ÉLARGIE	ZONE D'ÉTUDE IMMÉDIATE
Zonage d'inventaire	ZNIEFF	Concerné	Concerné
	Zones humides de l'inventaire départemental	Concerné	Non concerné
	Tourbières de l'inventaire régional	Non concerné	Non concerné
	Pelouses sèches de l'inventaire départemental	Non concerné	Non concerné
Zonage de protection (contraignant)	Cœur de parc national	Non concerné	Non concerné
	Arrêté de protection Biotope	Non concerné	Non concerné
	Arrêté de protection Habitats Naturels	Non concerné	Non concerné
	Réserve naturelle	Non concerné	Non concerné
	Réserve biologique ou de biosphère	Non concerné	Non concerné
Zonage de gestion	Réserve nationale de chasse et de la faune sauvage	Non concerné	Non concerné
	Sites RAMSAR	Non concerné	Non concerné
	Parc naturel régional	Non concerné	Non concerné
	Espace naturel sensible local ou départemental	Non concerné	Non concerné
	Aire optimale d'adhésion à la charte de parc national	Non concerné	Non concerné

3.1.3.1. ZNIEFF

Source : <https://inpn.mnhn.fr/accueil/index> (consulté le 25/07/2023)

Les Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF) constituent un inventaire national des espaces naturels d'intérêt. Elles n'ont pas de valeur juridique mais constituent un outil scientifique de connaissance de la valeur écologique des milieux naturels. Il existe deux types de ZNIEFF :

- > Les ZNIEFF de type I : zones de faibles surfaces à fort intérêt biologique ou écologique ;
- > Les ZNIEFF de type II : grands ensembles naturels riches offrant des potentialités biologiques importantes.

Les zones d'étude immédiate et élargie sont toutes les deux concernées par la ZNIEFF de type II n°7422 « Chaîne des Aravis » et la ZNIEFF de type I n°74220004 « Chaîne des Aravis ».

ZNIEFF DE TYPE II N°7422 « CHAÎNE DES ARAVIS »

Source : <https://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/820031674>

La chaîne des Aravis apparaît comme une grandiose muraille de calcaire (elle culmine à 2 752 m à la Pointe Percée), rythmée par une succession très régulière de cirques glaciaires (particulièrement marquée sur le versant de la vallée du Borne).

Répartis dans les zones de végétation subalpine et alpine, les milieux naturels sont riches et variés et ceci d'autant plus que la végétation, calcicole dans son ensemble du fait de la nature dominante du substrat, présente cependant des enclaves silicicole et acidophile.

Les milieux forestiers ne sont cependant pas très développés mais les Aravis sont particulièrement représentatifs en ce qui concerne les landes à rhododendron, les pelouses alpines, les grandes zones rocheuses et les éboulis.

La flore est remarquable, que ce soit celle des prairies de fauche et formations à hautes herbes ou « mégaphorbiaies » (Aconit paniculé, Stemmacanthe rhapsodique...), des forêts (Asarum d'Europe, Racine de corail, Cyclamen d'Europe, Sabot de vénus, Lycopode en massue, Listère à feuilles cordées, Epipogon sans feuille...), des secteurs secs ou rocheux (Epervière tomenteuse, Aster amelle, Gentiane croquette, Orchis odorant, Limodore à feuilles avortées, Primevère oreille d'ours, Saussurée déprimée...), ou des zones d'altitude (Androsace de Suisse, Androsace pubescente...).

L'avifaune de montagne est bien représentée (galliformes notamment, mais aussi oiseaux rupicoles : Chocard à bec jaune, Crève à bec rouge, Hirondelle de rochers, Merle de roche, Tichodrome échelette...). Parmi les espèces les plus spectaculaires, on compte de nouveau le Gypaète Barbu, enfin de retour à la suite de l'extinction de l'espèce dans les Alpes au début du siècle dernier. Cette diversité concerne aussi les mammifères (Chamois, Lièvre variable), de même que les insectes (Azuré de la croquette, de la sanguisorbe et des paluds, libellules...).

Le zonage de type II souligne les multiples interactions existant au sein de cet ensemble, dont les espaces les plus représentatifs en termes d'habitats ou d'espèces remarquables (écosystèmes montagnards, pelouses sèches, lacs...) sont retranscrits à travers plusieurs vastes zones de type I.

Le zonage de type II souligne particulièrement les fonctionnalités naturelles liées à la préservation des populations animales ou végétales :

- > En tant que zone d'alimentation ou de reproduction pour de multiples espèces, dont celles précédemment citées ainsi que d'autres exigeant un large domaine vital (Bouquetin des Alpes, Aigle royal, Gypaète barbu, ...) ;
- > À travers les connections existant avec les autres ensembles naturels voisins de l'ensemble Bornes – Aravis, du Faucigny et du Beaufortain ;
- > Il met enfin en exergue la sensibilité particulière de la faune souterraine, tributaire des réseaux karstiques et très dépendante de la qualité des eaux provenant du bassin versant.

L'ensemble présente par ailleurs un évident intérêt paysager (il est cité comme exceptionnel dans l'inventaire régional des paysages), mais aussi géologique et géomorphologique (remarquable modelé glaciaire...).

ZNIEFF DE TYPE I N°74220004 « CHAÎNE DES ARAVIS »

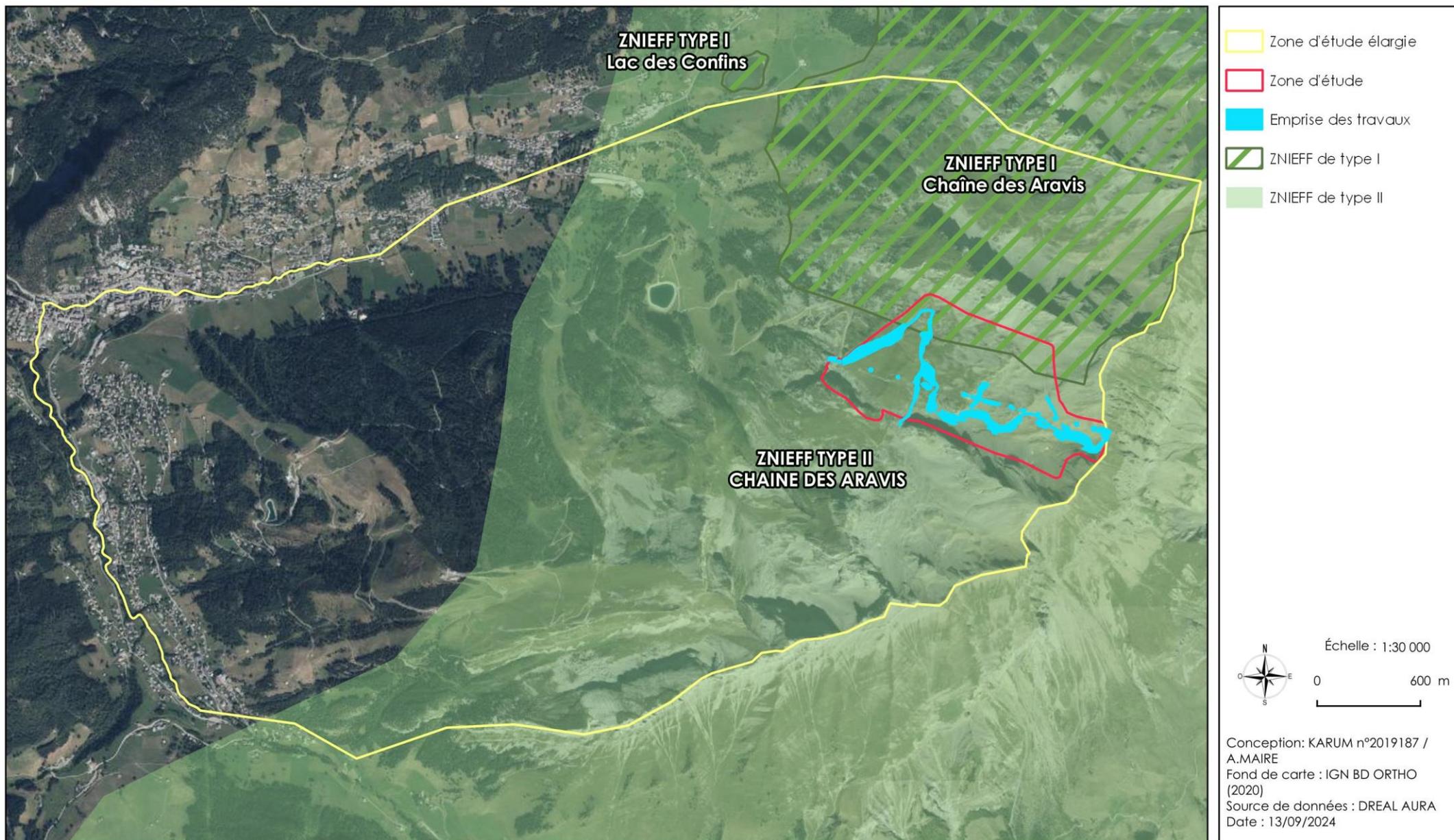
Source : <https://inpn.mnhn.fr/zone/znief/820031670>

La vaste chaîne des Aravis s'étend sur plusieurs dizaines de kilomètres de la vallée de l'Arve au nord à Ugine au sud. Le secteur ici délimité se limite à sa moitié septentrionale. Il englobe un remarquable édifice sédimentaire, essentiellement calcaire et s'étageant de 600 m d'altitude au nord à 2 752 m à la Pointe Percée. Sur le flanc occidental de la chaîne, une dizaine de Combes étendues à toute la hauteur du versant constituent une curiosité géomorphologique du plus bel effet. De plus, dans la partie supérieure, plusieurs petites combes fermées d'origine glaciaire (Doran, Les Fours...) contribuent à diversifier le paysage et les conditions biologiques locales. Les multiples situations écologiques liées à des conditions altitudinales, géologiques ou topographiques extrêmes favorisent une faune et une flore exceptionnellement riches. La forêt est très peu représentée et les formations herbacées (prairies, pâturage, pelouses d'altitude) et rocheuses (parois, lapiaz, amas de gros blocs et pierriers) sont largement majoritaires.

Très diversifiée, la faune comprend la majorité des espèces montagnardes classiques : Cerf élaphe, Bouquetin, Chamois, Marmotte, Aigle royal, Gypaète (le site choisi pour les réintroductions dans les Alpes françaises est situé dans le massif), Perdrix bartavelle, Lagopède, Tétràs lyre, ... Parmi les invertébrés, on peut citer divers papillons comme l'Apollon, le Damier de la Succise et deux Azurés, celui du serpolet et celui de la sanguisorbe. Ce dernier parvient, dans certaines "mouilles" situées au nord du site, à ses plus hautes altitudes connues en France.

La flore compte plusieurs centaines d'espèces recensées, dont pas moins d'une quinzaine d'espèces protégées (Sabot de Vénus, Epipogon sans feuilles, Laïche vaginée...) et bien d'autres plantes rares telles que la Saussurée déprimée, la Renoncule à feuilles de parnassie ou la Fétuque à fleurs étroites.

L'enjeu sera considéré comme **fort** dans la mesure où les zones d'étude immédiate et élargie sont concernées par deux ZNIEFF comportant des enjeux patrimoniaux fort.



3.1.3.2. ZONES HUMIDES

La définition générale d'une zone humide est prévue par l'article L. 211-1, I, 1° du code de l'environnement (modifié par la loi n°2020-105 du 10/02/2020) : « on entend par zone humide les terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire, ou dont la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année ».

Les zones humides sont reconnues pour leur fonction hydraulique (régulation des crues, soutien à l'étiage...), leur intérêt socio-économiques (usage agricole, cadre de vie...), et leur intérêt écologique fort (richesse en espèces rare et sensibles...). Ces particularités confèrent à ces milieux un aspect essentiel qu'il convient de conserver.

ZONES HUMIDES DE L'INVENTAIRE DEPARTEMENTAL

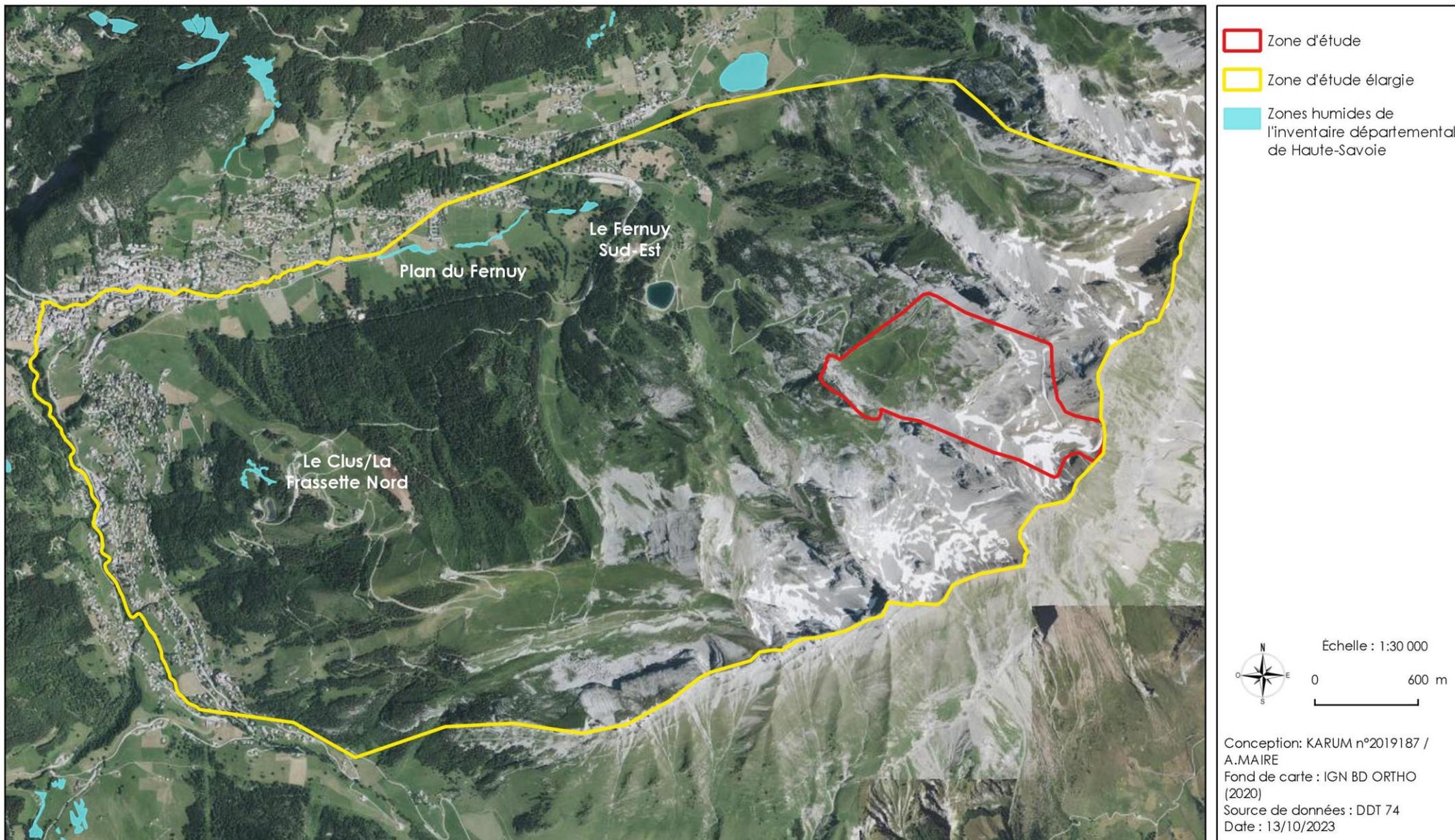
L'inventaire départemental des zones humides est un outil d'information et d'alerte, non exhaustif, qui n'a pas de portée réglementaire.

Aucune zone humide de l'inventaire départemental n'est répertoriée dans la zone d'étude immédiate.

Sur la zone d'étude élargie, seules trois zones humides sont recensées. Elles sont répertoriées dans le tableau ci-dessous et illustrées sur la carte figurant en page suivante.

NOM ET CODE DE LA ZONE HUMIDE	DISTANCE DE LA ZONE HUMIDE PAR RAPPORT A LA ZONE D'ETUDE IMMEDIATE	INTERET CONNU (D'APRES LES FICHES DESCRIPTIVES)	COMMENTAIRE
Le Clus/La Frassette Nord 74ASTERS0479	3,2 km	Intérêt floristique et faunistique fort Intérêt hydraulique limité	Bassin d'alimentation de cette zone humide non intercepté par la zone de projet
Le Fernuy Sud-Est 74ASTERS2944	1,6 km	Intérêt floristique, faunistique et hydraulique non évalué	Bassin d'alimentation de cette zone humide non intercepté par la zone de projet
Plan du Fernuy 74ASTERS2945	1,9 km	Intérêt floristique et hydraulique non évalué Intérêt floristique ordinaire	Bassin d'alimentation de cette zone humide non intercepté par la zone de projet

L'enjeu est considéré comme **faible** dans la mesure où plusieurs zones humides sont situées dans l'emprise de la zone d'étude élargie, mais toutes sont déconnectées hydrauliquement de la zone d'étude immédiate, car situées plusieurs kilomètres en aval.



3.1.4. HABITATS

La méthodologie d'inventaire ainsi que les références réglementaires et bibliographiques sont exposées au chapitre « Méthodes d'élaboration ».

BIBLIOGRAPHIE

On retrouve dans la zone d'étude élargie la zone Natura 2000 « Les Aravis » (FR8201701) et la ZNIEFF de type 1 « Chaîne des Aravis » (820031670) qui mentionnent les habitats communautaires suivants :

- > 3150 - Lacs eutrophes naturels avec végétation du Magnopotamion ou Hydrocharition
- > **4060 - Landes alpines et boréales**
- > **6170 - Pelouses calcaires alpines et subalpines**
- > **6410 - Prairies à Molinia sur sols calcaires, tourbeux ou argilo-limoneux (Molinion caeruleae)**
- > **6430 - Mégaphorbiaies hygrophiles d'ourlets planifoliaires et des étages montagnards à alpin**
- > 6520 - Prairies de fauche de montagne
- > **7230 - Tourbières basses alcalines**
- > **8120 - Éboulis calcaires et de schistes calcaires des étages montagnard à alpin (Thlaspietea rotundifolii)**
- > **8210 - Pentes rocheuses calcaires avec végétation chasmophytique**
- > 9150 - Hêtraies calcicoles média-européennes à Cephalanthero-Fagion
- > 9410 - Forêts acidophiles à Picea des étages montagnards à alpin (Vaccinio-Piceetea)
- > 9430 - Forêts montagnardes et subalpines à Pinus uncinata (*si sur substrat gypseux ou calcaire)

D'après les vues aériennes, les habitats surlignés en gras sont potentiellement présents sur la zone d'étude du projet.

HABITATS NATURELS INVENTORIES

La zone d'étude est localisée entre 1 860 et 2 480 m d'altitude, en versant ouest / nord-ouest, sur le domaine skiable de la Clusaz. Les habitats se divisent en deux grands ensembles selon les altitudes considérées. Jusqu'à 2 100 m, ce sont les milieux de pelouses qui dominent ; au-delà, les habitats sont minéraux et peu végétalisés.



Vue sur la combe depuis sa partie haute. Source : KARUM

37 habitats naturels et semi-naturels ont été identifiés sur la zone d'étude :

- > Sources à *Philonotis* et à *Saxifraga stellaris* (D2.2C12) ;
- > Pâturages permanents mésotrophes et prairies de post-pâturage (E2.1) ;
- > Prairies occidentales à *Canche cespiteuse* (E3.413) ;
- > Pelouses alpines et subalpines calcicoles (E4.4) ;
- > Pelouses calciphiles en gradins et guirlandes (E4.43) ;
- > Pelouses en gradins et guirlandes et éboulis calcaires (E4.43xH2.4) ;
- > Pelouses en gradins et guirlandes et pavements calcaires (E4.43xH3.511) ;
- > Pâturages à *Leontodon hispidus* (E4.52) ;
- > Terrains remaniés et pistes de ski (E5.1) ;
- > Landes à *Rhododendron ferrugineux* alpines (F2.221) ;
- > Landes à *Rhododendron ferrugineux* sur pavements calcaires (F2.221xH3.511) ;
- > Tapis de *Dryas* (F2.2911) ;
- > Eboulis calcaires et pelouses en gradins et guirlandes (H2.4xE4.43) ;
- > Eboulis calcaires et ultrabasiques des zones montagneuses tempérées (H2.4) ;
- > Eboulis calcaires remaniés (H2.4xJ4.2) ;
- > Eboulis des Alpes sur calcschistes (H2.41) ;
- > Eboulis à *Thlaspi rotundifolium* (H2.42) ;
- > Eboulis à *Thlaspi rotundifolium* et communautés des falaises calcaires alpines (H2.42xH3.251) ;
- > Eboulis à *Thlaspi rotundifolium* et pelouses alpines calcicoles (H2.42xE4.4) ;

- > Eboulis à *Thlaspi rotundifolium* et pelouses boréo-alpines calciclinales des combes à neige (H2.42xE4.12) ;
- > Eboulis calcaires et pavements, dalles et dômes rocheux (H2.42xH3.51) ;
- > Eboulis calcaires et pelouses en gradins et guirlandes (H2.42xE4.43) ;
- > Communautés héliophiles des falaises calcaires alpines (H3.25) ;
- > Falaises calcaires alpines et éboulis à *Thlaspi rotundifolium* (H3.251x H2.42) ;
- > Falaises calcaires alpines et pelouses alpines calcicoles (H3.251xE4.4) ;
- > Falaises calcaires alpines et pelouses en gradins et guirlandes (H3.251xE4.43) ;
- > Falaises calcaires alpines et pelouses en gradins et guirlandes (H3.251xH4.43) ;
- > Pavements, dalles et dômes rocheux et pelouses en gradins et guirlandes (H3.51xE4.43) ;
- > Pavements, dalles rocheuses, dômes rocheux (H3.51) ;
- > Pavements, dalles rocheuses, dômes rocheux et pelouses alpines calcicoles (H3.51xE4.4) ;
- > Pavements, dalles rocheuses, dômes rocheux et pelouses boréo-alpines calciclinales des combes à neige (H3.51xE4.12) ;
- > Pavements calcaires (H3.511) ;
- > Pavements calcaires et pelouses en gradins et guirlandes (H3.511xE4.43) ;
- > Affleurements et rochers érodés à végétation clairsemée (H3.62) ;
- > Affleurements rocheux et pelouses alpines calcicoles (H3.62xE4.4) ;
- > Affleurements rocheux et pelouses boréo-alpines calciclinales des combes à neige (H3.62xE4.12) ;
- > Affleurements rocheux et pelouses en gradins et guirlandes (H3.62xE4.43) ;

Trois habitats d'origine anthropique sont également représentés :

- > Sentiers (H5.61) ;
- > Bâtiments de la station de ski (J2.31) ;
- > Pistes 4x4 (J4.2).

Les listes floristiques de chaque habitat sont présentées en annexe 1 de l'évaluation environnementale.

Les habitats d'origine anthropique (infrastructures, pistes carrossables), ne font pas l'objet de listes, car ils ne présentent pas de végétation.

Les habitats mixtes sont caractérisés par des habitats difficilement séparables sur le terrain au vu de l'échelle de travail. Les secteurs non prospectés sont caractérisés par des zones d'éboulis, d'affleurement rocheux ou des pelouses sur fortes pentes ne permettant pas l'accès.

Une cartographie des habitats identifiés est disponible ci-après.

ANALYSE DES SENSIBILITES

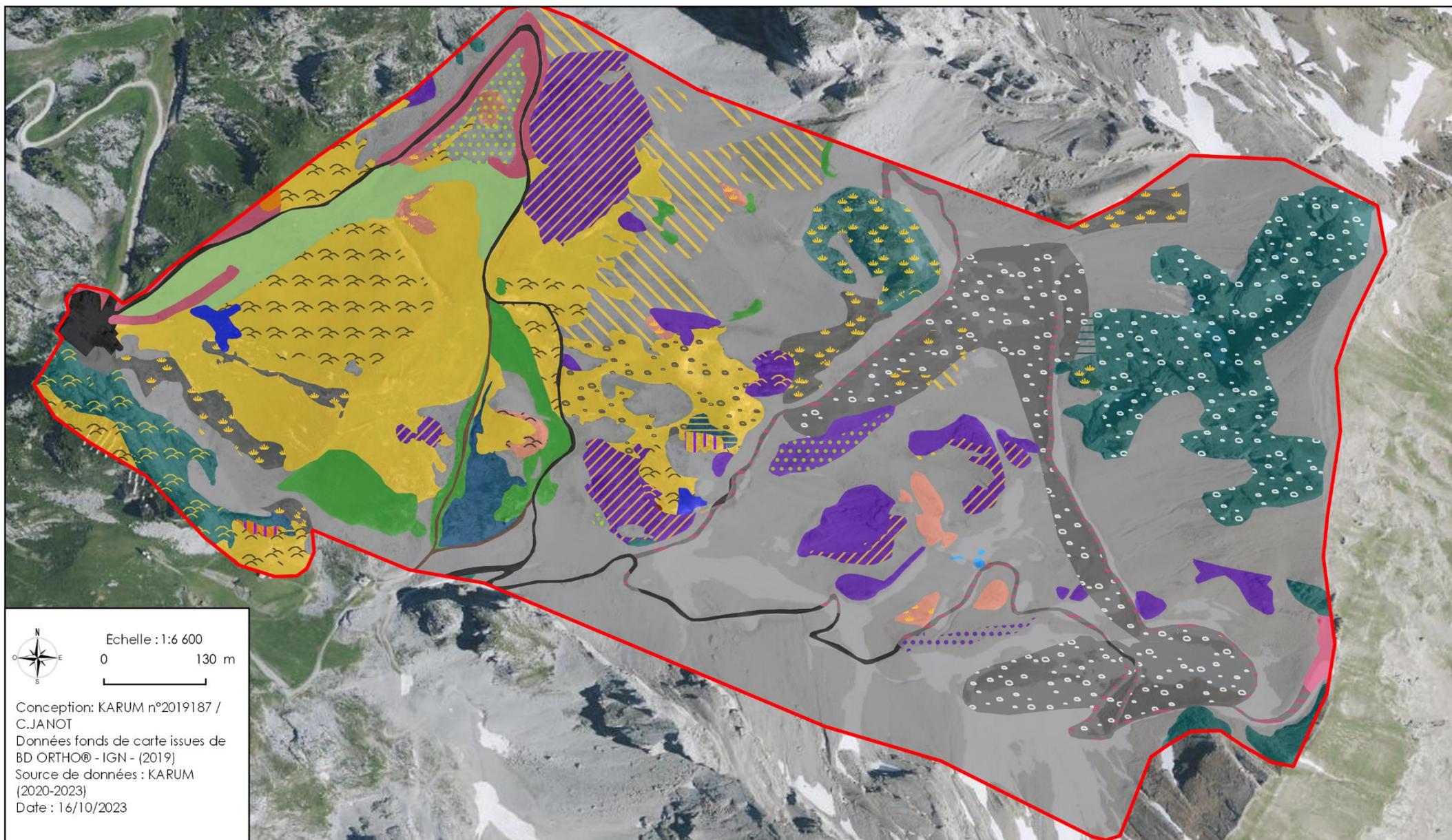
Un grand nombre d'habitats ont été inventoriés (37) et la majorité de ces habitats sont mixtes (21). C'est-à-dire que l'on retrouve 16 habitats simples, dont 9 habitats d'intérêts communautaires (*) comprenant un habitat prioritaire (**):

- > Sources à *Philonotis* et à *Saxifraga stellaris* (D2.2C12) ;
- > Pâturages permanents mésotrophes et prairies de post-pâturage (E2.1) ;
- > Prairies occidentales à *Canche cespiteuse* (E3.413) ;
- > Pelouses alpines et subalpines calcicoles (E4.4) * ;
- > Pelouses calciphiles en gradins et guirlandes (E4.43) * ;
- > Pâturages à *Leontodon hispidus* (E4.52) ;
- > Terrains remaniés et pistes de ski (E5.1) ;
- > Landes à *Rhododendron ferrugineum* alpines (F2.221) * ;
- > Tapis de *Dryas* (F2.2911) * ;
- > Éboulis calcaires et ultrabasiques des zones montagneuses tempérées (H2.4) * ;
- > Éboulis des Alpes sur calcschistes (H2.41*) ;
- > Éboulis à *Thlaspi rotundifolium* (H2.42) * ;
- > Communautés héliophiles des falaises calcaires alpines (H3.25) * ;
- > Pavements, dalles rocheuses, dômes rocheux (H3.51) ;
- > Pavements calcaires (H3.511) ** ;
- > Affleurements et rochers érodés à végétation clairsemée (H3.62) ;

Sur le terrain, les habitats s'hybrident et l'on retrouve donc des habitats communautaires qui peuvent être mixés entre eux et/ou avec des habitats non communautaires. Ce patchwork rend compte d'une grande diversité faunistique et floristique indispensable au bon fonctionnement de l'écosystème.

Les habitats communautaires sont pour la plupart associés aux rochers calcaires et sont peu menacés sur l'espace alpin. Ils permettent le développement d'espèces protégées/menacées leur étant inféodées et restent néanmoins sensibles aux aménagements et à la fragmentation.

Cartographie des habitats 1/2



Cartographie des habitats 2/2

Légende

 Zone d'étude

Habitats

 Sources à *Philonotis* et à *Saxifraga stellaris* (D2.2C12)

 Pâturages permanents mésotrophes et prairies de post-pâturage (E2.1)

 Prairies occidentales à *Canche cespitosa* (E3.413)

 Pelouses alpines et subalpines calcicoles (E4.4)

 Pelouses calciphiles en gradins et guirlandes (E4.43)

 Pelouses en gradins et guirlandes et éboulis calcaires (E4.43xH2.4)

 Pelouses en gradins et guirlandes et pavements calcaires (E4.43xH3.511)

 Pâturages à *Leontodon hispidus* (E4.52)

 Terrains remaniés et pistes de ski (E5.1)

 Landes à *Rhododendron ferrugineum* alpines (F2.221)

 Landes à *Rhododendron ferrugineum* sur pavements calcaires (F2.221xH3.511)

 Tapis de *Dryas* (F2.2911)

 Eboulis calcaires et ultrabasiques des zones montagneuses tempérées (H2.4)

 Eboulis calcaires et pelouses en gradins et guirlandes (H2.4xE4.43 ; H2.42xE4.43)

 Eboulis calcaires remaniés (H2.4xJ4.2)

 Eboulis des Alpes sur calcschistes (H2.41)

 Eboulis à *Thlaspi rotundifolium* (H2.42)

 Eboulis à *Thlaspi rotundifolium* et pelouses boréo-alpines calciclinales des combes à neige (H2.42xE4.12)

 Eboulis à *Thlaspi rotundifolium* et pelouses alpines calcicoles (H2.42xE4.4)

 Eboulis à *Thlaspi rotundifolium* et communautés des falaises calcaires alpines (H2.42xH3.251)

 Eboulis calcaires et pavements, dalles et dômes rocheux (H2.42xH3.51)

 Communautés héliophiles des falaises calcaires alpines (H3.251)

 Falaises calcaires alpines et pelouses alpines calcicoles (H3.251xE4.4)

 Falaises calcaires alpines et pelouses en gradins et guirlandes (H3.251xE4.43)

 Falaises calcaires alpines et éboulis à *Thlaspi rotundifolium* (H3.251xH2.42)

 Pavements, dalles rocheuses, dômes rocheux (H3.51)

 Pavements, dalles rocheuses, dômes rocheux et pelouses boréo-alpines calciclinales des combes à neige (H3.51xE4.12)

 Pavements, dalles rocheuses, dômes rocheux et pelouses alpines calcicoles (H3.51xE4.4)

 Pavements, dalles et dômes rocheux et pelouses en gradins et guirlandes (H3.51xE4.43)

 Pavements calcaires (H3.511)

 Pavements calcaires et pelouses en gradins et guirlandes (H3.511xE4.43)

 Affleurements et rochers érodés à végétation clairsemée (H3.62)

 Affleurements rocheux et pelouses boréo-alpines calciclinales des combes à neige (H3.62xE4.12)

 Affleurements rocheux et pelouses alpines calcicoles (H3.62xE4.4)

 Affleurements rocheux et pelouses en gradins et guirlandes (H3.62xE4.43)

 Sentiers (H5.61)

 Bâtiments de la station de ski (J2.31)

 Pistes 4x4 (J2.4)

Conception: KARUM n°2019187 /
C.JANOT
Source de données : KARUM
(2020-2023)
Date : 29/09/2023

ZONES HUMIDES

L'arrêté du 24 juin 2008 modifié par l'arrêté du 1^{er} octobre 2009 fournit une liste des habitats caractéristiques de zones humides et une liste des espèces hygrophiles indiquant la présence de zones humides lorsqu'elles couvrent plus de 50% de la surface d'un secteur donné.

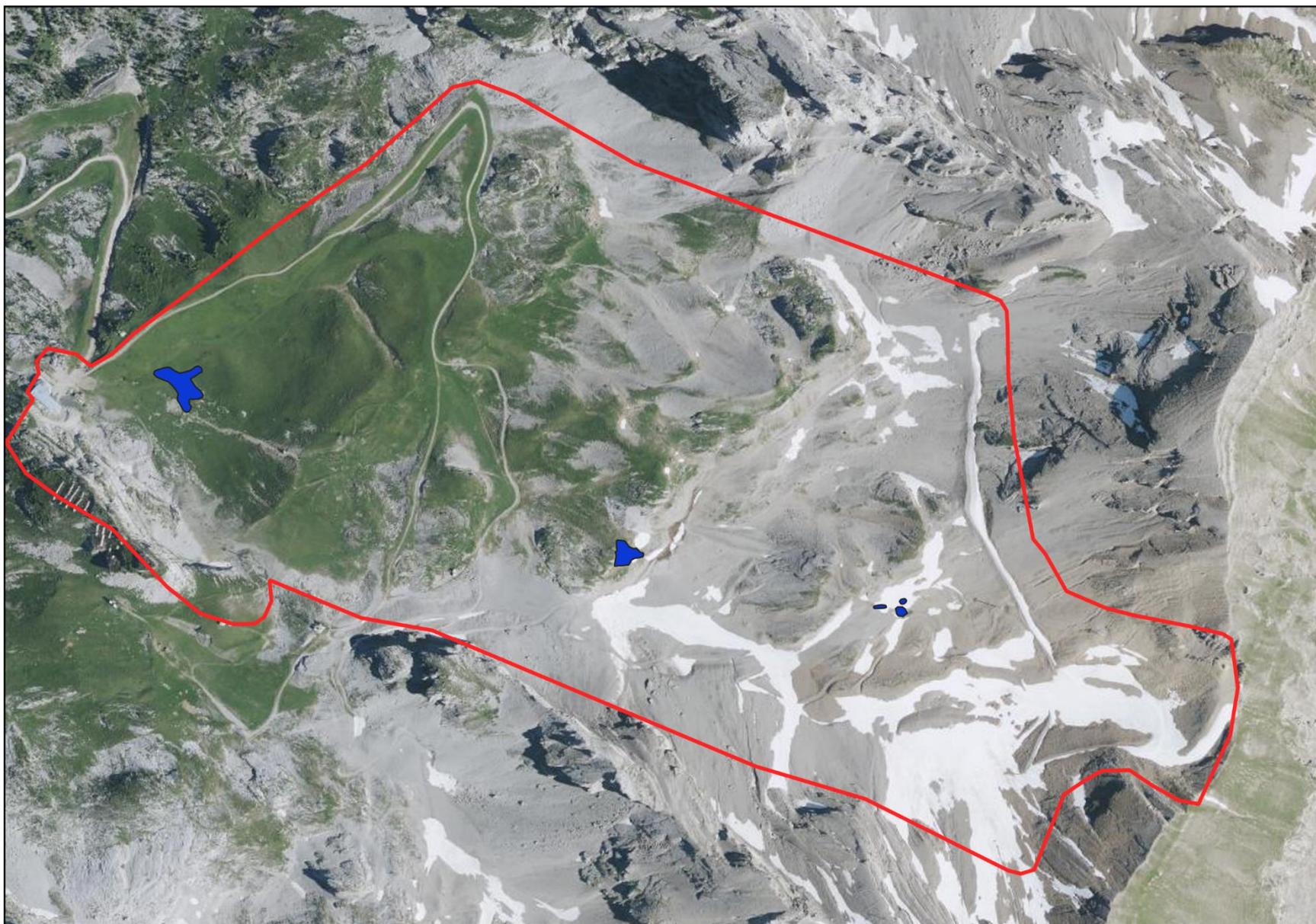
L'application du critère de végétation de cet arrêté a permis de délimiter deux habitats humides couvrant 2 052,8 m² sur la zone d'étude, à savoir :

- > Les sources à *Philonotis* et à *Saxifraga stellaris* (D2.2C12). Cet habitat occupe de petites surfaces et est donc vulnérable à toutes sortes de perturbations telles que les prélèvements d'eau, les aménagements et le pâturage. Ces sources jouent un rôle important pour la faune mais aussi la flore puisque de nombreuses espèces leurs sont inféodées. À l'échelle des Alpes cet habitat est en régression.
- > La prairie occidentale à Canche cespiteuse (E3.413). Cet habitat est favorisé par le pâturage et est composé d'un cortège d'espèces communes.

La zone d'étude comprend peu de zones humides ce qui peut s'expliquer par la porosité du calcaire. Il en découle un besoin important de préserver ces habitats à l'échelle du massif des Aravis.

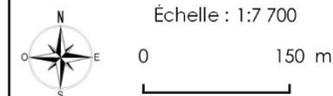
La délimitation des zones humides pourrait être précisée par la réalisation de sondages pédologiques autour des secteurs déjà identifiés comme humides. L'analyse de sol serait notamment possible autour de la prairie à Canche cespiteuse (entourée d'habitats de pelouses). En revanche, les habitats en contact avec les sources à *Philonotis* et *Saxifraga stellaris* sont des éboulis, il n'est donc pas possible d'y réaliser des sondages.

Une cartographie localise les zones humides identifiées sur la zone d'étude en page suivante.



Légende

-  Zone d'étude
-  Zones humides



Conception: KARUM n°2019187 / C.JANOT
Données fonds de carte issues de BD ORTHO® - IGN - (2019)
Source de données : KARUM (2020-2023)
Date : 16/10/2023

BILAN DES HABITATS NATURELS

Le tableau bilan ci-dessous indique, pour chaque habitat, la valeur patrimoniale ainsi que la surface d'occupation sur la zone d'étude du projet, critères à partir desquels est ensuite déterminé leur niveau d'enjeu écologique de chacun. Une cartographie synthétise les enjeux pour les habitats naturels dans les pages suivantes.

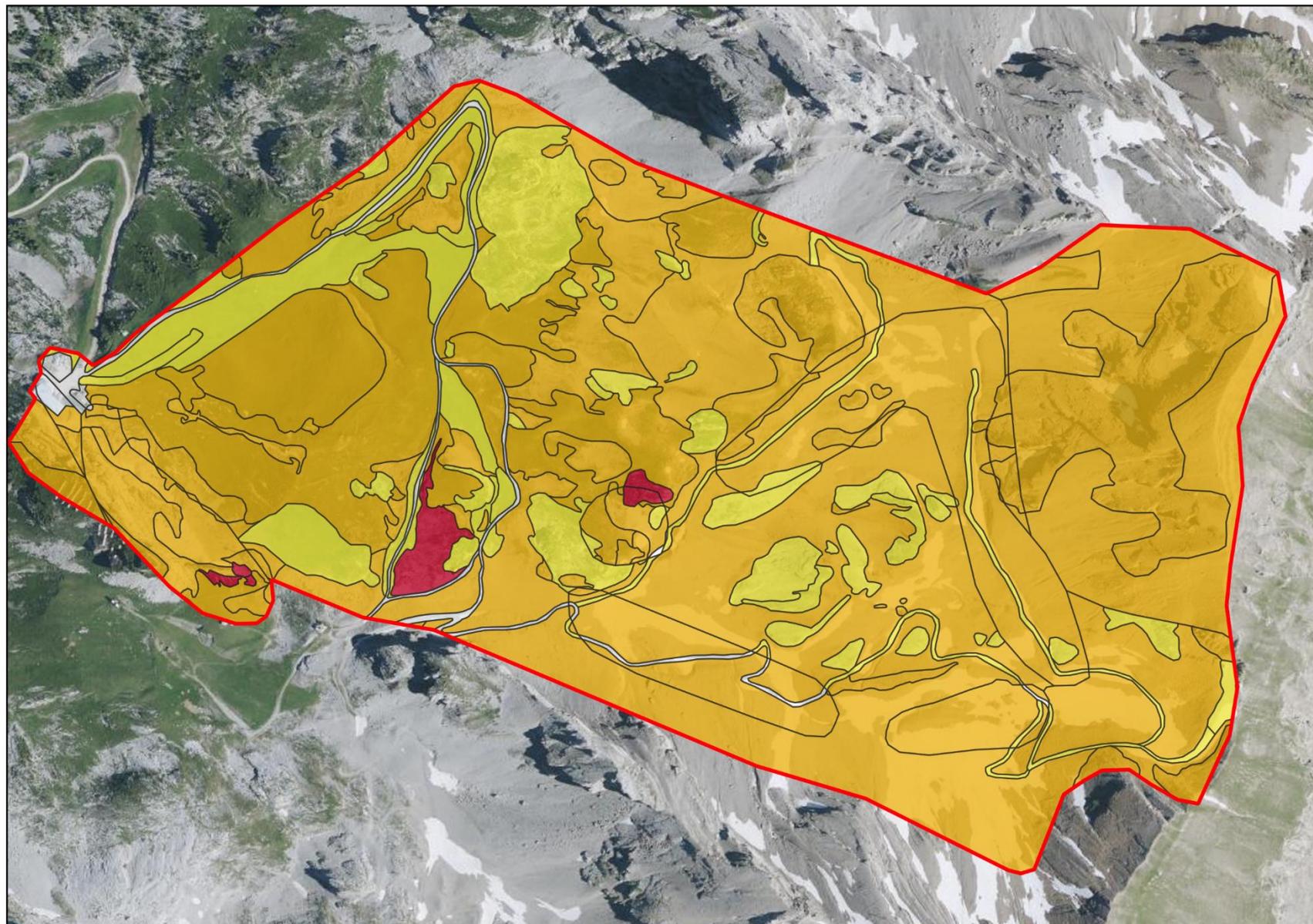
HABITAT NATUREL (EUNIS)	HABITAT D'INTERET COMMUNAUTAIRE ¹	ZONE HUMIDE ²	SURFACE OCCUPEE SUR LA ZONE D'ETUDE		NIVEAU D'ENJEUX
			EN M ²	EN %	
Sources à <i>Philonotis</i> et à <i>Saxifraga stellaris</i> (D2.2C12)	-	H.	257	0,02	MOYEN
Pâturages permanents mésotrophes et prairies de post-pâturage (E2.1)	-	p.	24714	2,35	FAIBLE
Prairies occidentales à <i>Canche cespitosa</i> (E3.413)	-	H.	2594	0,25	MOYEN
Pelouses alpines et subalpines calcicoles (E4.4)	6170	-	78920	7,5	MOYEN
Pelouses calciphiles en gradins et guirlandes (E4.43)	6170	-	60796	5,78	MOYEN
Pelouses en gradins et guirlandes et éboulis calcaires (E4.43xH2.4)	6170	-	21963	2,09	MOYEN
Pelouses en gradins et guirlandes et pavements calcaires (E4.43xH3.511)	6170	-	995	0,09	FORT
Pâturages à <i>Leontodon hispidus</i> (E4.52)	-	-	25073	2,38	FAIBLE
Terrains remaniés et pistes de ski (E5.1)	-	-	15824	1,5	FAIBLE
Landes à <i>Rhododendron ferrugineum</i> alpines (F2.221)	4060	p.	521	0,05	MOYEN
Landes à <i>Rhododendron ferrugineum</i> sur pavements calcaires (F2.221xH3.511)	4060	p.	588	0,06	FORT
Tapis de <i>Dryas</i> (F2.2911)	4060-2	-	49	0	MOYEN
Eboulis calcaires et pelouses en gradins et guirlandes (H2.4xE4.43)	8120	-	8523	0,81	MOYEN
Eboulis calcaires et ultrabasiques des zones montagneuses tempérées (H2.4)	8120	-	1003	0,1	MOYEN

HABITAT NATUREL (EUNIS)	HABITAT D'INTERET COMMUNAUTAIRE ¹	ZONE HUMIDE ²	SURFACE OCCUPEE SUR LA ZONE D'ETUDE		NIVEAU D'ENJEUX
			EN M ²	EN %	
Eboulis calcaires remaniés (H2.4xJ4.2)	-	-	14046	1,34	FAIBLE
Eboulis des Alpes sur calcschistes (H2.41)	8120-1	-	74077	7,04	MOYEN
Eboulis à Thlaspi rotundifolium (H2.42)	8120-2	-	425018	40,41	MOYEN
Eboulis à Thlaspi rotundifolium et communautés des falaises calcaires alpines (H2.42xH3.251)	8120-2	-	915	0,09	MOYEN
Eboulis à Thlaspi rotundifolium et pelouses alpines calcicoles (H2.42xE4.4)	8120-2	-	40406	3,84	MOYEN
Eboulis à Thlaspi rotundifolium et pelouses boréo-alpines calciclinales des combes à neige (H2.42xE4.12)	8120-2	-	7272	0,69	MOYEN
Eboulis calcaires et pavements, dalles et dômes rocheux (H2.42xH3.51)	8120-2	-	2437	0,23	MOYEN
Eboulis calcaires et pelouses en gradins et guirlandes (H2.42xE4.43)	8120-2	-	17112	1,63	MOYEN
Communautés héliophiles des falaises calcaires alpines (H3.25)	8210-12	-	10471	1	MOYEN
Falaises calcaires alpines et éboulis à Thlaspi rotundifolium (H3.251xH2.42)	8210-12	-	71167	6,77	MOYEN
Falaises calcaires alpines et pelouses alpines calcicoles (H3.251xE4.4)	8210-12	-	16660	1,58	MOYEN
Falaises calcaires alpines et pelouses en gradins et guirlandes (H3.251xE4.43)	8210-12	-	14570	1,39	MOYEN
Falaises calcaires alpines et pelouses en gradins et guirlandes (H3.251xH4.43)	8210-12	-	4430	0,42	MOYEN
Pavements, dalles et dômes rocheux et pelouses en gradins et guirlandes (H3.51xE4.43)	-	-	3114	0,3	FAIBLE
Pavements, dalles rocheuses, dômes rocheux (H3.51)	-	-	22638	2,15	FAIBLE
Pavements, dalles rocheuses, dômes rocheux et pelouses alpines calcicoles (H3.51xE4.4)	-	-	43367	4,12	FAIBLE

HABITAT NATUREL (EUNIS)	HABITAT D'INTERET COMMUNAUTAIRE ¹	ZONE HUMIDE ²	SURFACE OCCUPEE SUR LA ZONE D'ETUDE		NIVEAU D'ENJEUX
			EN M ²	EN %	
Pavements, dalles rocheuses, dômes rocheux et pelouses boréo-alpines calciclinales des combes à neige (H3.51xE4.12)	-	-	4390	0,42	FAIBLE
Pavements calcaires (H3.511)	8240*	-	8286	0,79	FORT
Pavements calcaires et pelouses en gradins et guirlandes (H3.511xE4.43)	8240*	-	1246	0,12	FORT
Affleurements et rochers érodés à végétation clairsemée (H3.62)	-	-	4085	0,39	FAIBLE
Affleurements rocheux et pelouses alpines calcicoles (H3.62xE4.4)	-	-	4154	0,39	FAIBLE
Affleurements rocheux et pelouses boréo-alpines calciclinales des combes à neige (H3.62xE4.12)	-	-	1317	0,13	FAIBLE
Affleurements rocheux et pelouses en gradins et guirlandes (H3.62xE4.43)	-	-	1562	0,15	FAIBLE
Sentiers (H5.61)	-	-	1999	0,19	NUL
Bâtiments de la station de ski (J2.31)	-	-	3166	0,3	NUL
Pistes 4x4 (J4.2)	-	-	12160	1,16	NUL
TOTAL			1 051 885 m²	100 %	MOYEN

¹ D'après les Cahiers d'habitats Natura 2000 ; ² Habitat caractéristique de zones humides suivant le critère de végétation ; * Habitat d'intérêt communautaire prioritaire

L'enjeu global est considéré comme **moyen**.



Légende

 Zone d'étude

Enjeux

 Fort

 Moyen

 Faible

 Nul



Échelle : 1:7 700

0 150 m

Conception: KARUM n°2019187 /
C.JANOT

Données fonds de carte issues de
BD ORTHO® - IGN - (2019)

Source de données : KARUM
(2020-2023)

Date : 16/10/2023

3.1.5. FLORE

La méthodologie d'inventaire ainsi que les références réglementaires et bibliographiques sont exposées au chapitre « Méthodes d'élaboration ».

3.1.5.1. ESPECE PROTEGEE ET/OU MENACEE D'EXTINCTION

DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

Le tableau figurant ci-dessous dresse la liste des espèces végétales d'intérêt patrimonial et/ou envahissantes signalées par la bibliographie comme présentes sur la commune de la Clusaz où est localisée la zone d'étude du projet.

Par flore d'intérêt patrimonial s'entendent ici les espèces végétales protégées par la réglementation en vigueur et/ou indiquées comme menacées d'extinction en région Rhône-Alpes selon la Liste Rouge régionale de la flore vasculaire.

Par flore envahissante s'entendent ici les espèces végétales exotiques envahissantes qui ont été introduites par l'homme en dehors de leurs aires de répartition ou de dispersion naturelle qui ont la faculté de s'établir (reproduction sans intervention humaine) et d'étendre leurs aires de distribution (avec en général une augmentation des effectifs des populations).

Pour chaque espèce listée, le tableau précise, sur la base de son écologie et de son aire de distribution altitudinale, si sa présence sur la zone d'étude du projet peut être considérée comme « Non probable », « Peu probable » ou « Probable ».

Les espèces potentiellement présentes, issues de la bibliographie, sont les suivantes :

NOM SCIENTIFIQUE	NOM VERNACULAIRE	PN/PR*	LRR**	PRESENCE SUR LA ZONE
<i>Androsace helvetica</i> (L.) All., 1785	Androsace de Suisse	PN1	LC	Probable
<i>Androsace pubescens</i> DC., 1805	Androsace pubescente	PN1	LC	Probable
<i>Aquilegia alpina</i> L., 1753	Ancolie des Alpes, Cornette des Alpes	PN1	LC	Peu probable
<i>Buxbaumia viridis</i> (Moug. ex Lam. & DC.) Brid. ex Moug. & Nestl.	Buxbaumie verte	PN1	NE	Non probable
<i>Carex firma</i> Mygind ex Host, 1797	Laïche rigide	PN1	VU	Probable
<i>Carex lasiocarpa</i> Ehrh., 1784	Laïche à fruit barbu, Laïche à fruit velu, Laïche filiforme	PR	EN	Peu probable
<i>Carex limosa</i> L., 1753	Laïche des tourbières, Laïche des vases, Laïche des bourniers	PN1	EN	Peu probable
<i>Carex ornithopoda</i> subsp. <i>ornithopodioides</i> (Hausm.) Nyman, 1882	Laïche faux Pied-d'oiseau	PN1	LC	Probable
<i>Carex pauciflora</i> Lightf., 1777	Laïche pauciflore	PR	EN	Non probable
<i>Chamorchis alpina</i> (L.) Rich., 1817	Chaméorchis des Alpes, Orchis des Alpes, Orchis nain, Herminie des Alpes	PR	LC	Probable
<i>Cypripedium calceolus</i> L., 1753	Sabot de Vénus, Pantoufle-de-Notre-Dame	PN1	LC	Non probable

NOM SCIENTIFIQUE	NOM VERNACULAIRE	PN/PR*	LRR**	PRESENCE SUR LA ZONE
<i>Cystopteris montana</i> (Lam.) Desv., 1827	Cystoptéris des montagnes, Cystoptéride des montagnes	PN1	NT	Probable
<i>Drosera rotundifolia</i> L., 1753	Rossolis à feuilles rondes	PN2	NT	Peu probable
<i>Gagea lutea</i> (L.) Ker Gawl., 1809	Gagée jaune, Gagée des bois, Etoile jaune, Ornithogale jaune,	PN1	LC	Non probable
<i>Gymnadenia odoratissima</i> (L.) Rich., 1817	Gymnadenie odorante, Orchis odorant	PR	LC	Probable
<i>Lycopodium alpinum</i> L., 1753	Lycopode des Alpes	PN1	LC	Probable
<i>Orthotrichum rogeri</i> Brid.	Orthotric de Roger	PN1	NE	Non probable
<i>Potamogeton alpinus</i> Balb., 1804	Potamot des Alpes	PR	VU	Non probable
<i>Pinguicula grandiflora</i> f. <i>grandiflora</i>	Grassette à grandes fleurs	PR	EN	Peu probable
<i>Saxifraga muscoides</i> All., 1773	Saxifrage fausse-mousse	PN1	LC	Probable
<i>Trichophorum alpinum</i> (L.) Pers., 1805	Scirpe de Hudson	PR	EN	Non probable
<i>Utricularia minor</i> L., 1753	Petite utriculaire, Utrriculaire mineure	PR	EN	Non probable
<i>Vaccinium microcarpum</i> (Turcz. ex Rupr.) Schmalh., 1871	Canneberge à petits fruits, Airelle à petit fruit	PR	EN	Non probable
<i>Viola cenisia</i> L., 1763	Violette du mont Cenis	-	VU	Probable

*Protection nationale (PN) et/ou régionale (PR) - **Liste rouge régionale (LRR) : statut de menace de chaque espèce. NE : non évaluée, NA : non applicable, DD : données insuffisantes, LC : préoccupation mineure, NT : quasi-menacée, VU : vulnérable, EN : en danger, CR : en danger critique.

DONNEES D'INVENTAIRE

Cinq espèces végétales patrimoniales ont été identifiées sur la zone d'étude.

NOM SCIENTIFIQUE	NOM VERNACULAIRE	PN/PR*	LRR**	ABONDANCE	NIVEAU D'ENJEU
<i>Androsace pubescens</i> DC., 1805	Androsace pubescente	PN	LC	11 stations, 11 individus	FORT
<i>Carex firma</i> Mygind ex Host, 1797	Laïche rigide	PN	VU	51 stations, 558 individus	FORT
<i>Carex ornithopoda</i> subsp. <i>ornithopodioides</i> (Hausm.) Nyman, 1882	Laïche faux Pied-d'oiseau	PN	LC	87 stations, 228 individus	MOYEN
<i>Primula lutea</i> Vill., 1787	Oreille d'ours	PN	LC	45 stations, 52 individus	MOYEN
<i>Viola cenisia</i> L., 1763	Violette du Mont Cenis	-	VU	3 stations	MOYEN

*Protection nationale (PN) et/ou régionale (PR) - **Liste rouge régionale (LRR) : statut de menace de chaque espèce. NE : non évaluée, NA : non applicable, DD : données insuffisantes, LC : préoccupation mineure, NT : quasi-menacée, VU : vulnérable, EN : en danger, CR : en danger critique.



Androsace pubescens DC., 1805. Source : KARUM 2022



Carex firma Mygind ex Host, 1797. Source : KARUM 2023



Carex ornithopoda subsp. *ornithopodioides* (Hausm.) Nyman, 1882. Source : KARUM 2020



Primula lutea Vill., 1787. Source : KARUM 2023



Viola cenisia L., 1763. Source : KARUM 2024

ANALYSE DES SENSIBILITES

Les quatre premières espèces patrimoniales sont protégées au niveau national. Elles se développent toutes dans des habitats peu accessibles mais restent néanmoins rares. L'Androsace pubescente et la Laïche faux-pied d'oiseau sont les espèces qui pâtissent le plus des aménagements réalisés en haute montagne puisqu'elles se développent dans les éboulis et les crêtes calcaires, alors que les deux autres sont plus associées aux rochers et falaises calcaires. Ces quatre espèces sont donc peu menacées. Les effectifs

retrouvés sur la zone d'étude sont caractéristiques de populations en bonne santé sauf pour l'Androsace pubescente qui n'est présente que sur 11 stations.

La cinquième espèce patrimoniale, la Violette du Mont-Cenis n'est pas protégée par la réglementation en vigueur, mais reste rare dans le secteur. Elle est en outre classée comme menacée (VU, vulnérable) dans la liste rouge régionale. Elle s'installe dans les pierriers instables et est impactée par les terrassements liés aux pistes de ski en milieux rocheux. Très peu de stations ont été retrouvées sur la zone d'étude, ce qui augmente leur importance écologique dans le secteur.

Les cinq espèces font l'objet d'une fiche descriptive en annexes de l'évaluation environnementale et sont localisées sur la carte présentée ci-dessous.

L'enjeu est considéré comme **fort**.

3.1.5.2. ESPECES EXOTIQUES ENVAHISSANTES

Une espèce exotique envahissante est une espèce introduite hors de son aire de répartition naturelle par l'Homme (volontairement ou fortuitement) et dont l'implantation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences écologiques ou économiques ou sanitaires négatives. (UICN 2000, McNeely et al. 2001, McNeely 2001, Genovesi & Shine, 2003)

DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

Le tableau suivant dresse la liste des espèces végétales exotiques envahissantes signalées par la bibliographie comme présentes sur la commune de La Clusaz dont le territoire constitue la zone d'étude élargi du projet pour la flore.

Pour ce faire, l'Observatoire Biodiv' AURA de la biodiversité en région Auvergne – Rhône-Alpes a été consultée.

Pour chaque espèce listée, le tableau précise pour chacune d'entre elles, sur la base de leur écologie et de leur aire de distribution altitudinale, si leur présence sur la zone d'étude du projet peut être considérée comme « Probable » ou « Improbable ».

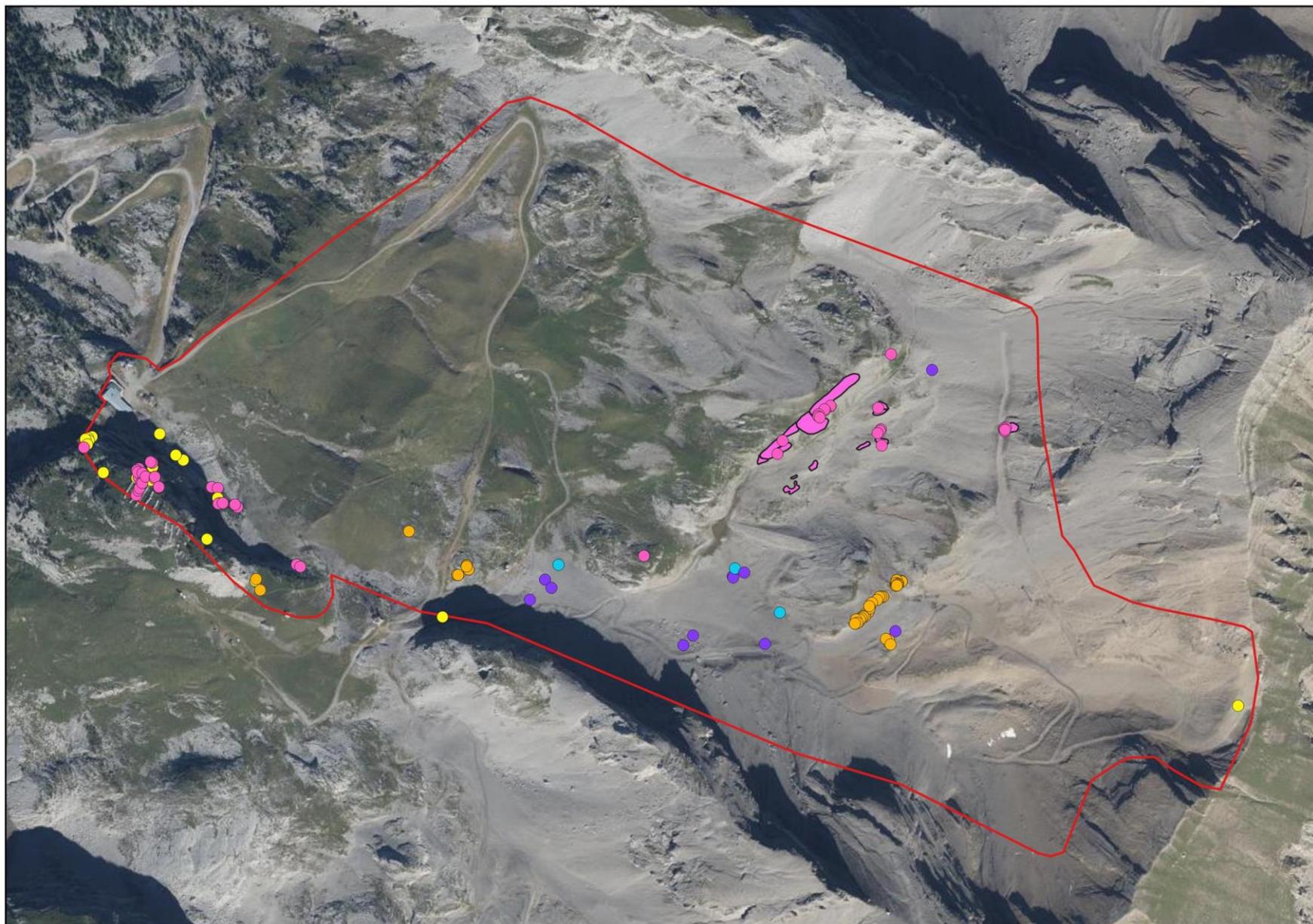
NOM SCIENTIFIQUE	NOM VERNACULAIRE	PN/PR*	LRR**	PRESENCE SUR LA ZONE
Espèces exotiques envahissantes				
<i>Elodea canadensis</i> Michx., 1803	Elodée du Canada	-		Non probable

DONNEES D'INVENTAIRE

Aucune espèce végétale exotiques envahissante n'a été relevée sur la zone d'étude du projet et ses abords.

ANALYSE DES SENSIBILITES

Au regard de ces éléments, un niveau d'enjeu **nul** sera ici retenu.



Légende

 Zone d'étude

Flore patrimoniale protégée (ponctuelle)

-  *Androsace pubescens*
-  *Carex firma*
-  *Carex ornithopoda* subsp. *ornithopodioides*
-  *Primula lutea*

Flore patrimoniale non protégée (ponctuelle)

-  *Viola cenisia* L., 1763

Flore patrimoniale protégée (surfactive)

 *Carex firma*



Conception: KARUM n°2019187 / C.JANOT & A. DELGADO TENLLADO
Données fonds de carte issues de BD ORTHO® - IGN - (2022)
Source de données : KARUM (2020-2024)
Date : 30/08/2024