



SATA Alpe d'Huez

Projet de remplacement du télésiège du Villarais et aménagements associés *Villard Reculas/Huez (38)*

Evaluation environnementale Pièce n°3

Pièce 1 : Résumé non technique de l'évaluation environnementale

Pièce 2 : Evaluation environnementale

Pièce 3 : Annexes de l'évaluation environnementale

11 juillet 2025
Réf. : 2022022



TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	1
ANNEXE 1 : Étude géotechnique préalable et analyse des risques naturels – SAGE septembre 2024.....	2
ANNEXE 2 : Etude de risques nivologiques – bureau d'études ALEA, novembre 2024	3
ANNEXE 3 : Etude d'ombres portées – ATEAM Architectes, juillet 2025.....	4
ANNEXE 4 : Flore inventoriée pour chaque habitat.....	5
ANNEXE 5 : Calcul des émissions de GES du projet	9
5.1. Phase travaux.....	9
5.2. Phase exploitation.....	11

ANNEXE 1 : ÉTUDE GEOTECHNIQUE PREALABLE ET ANALYSE DES RISQUES NATURELS – SAGE SEPTEMBRE 2024



PROJET DE LA TC VILLARAIIS

VILLARD-RECULAS et HUEZ Station de l'Alpe d'Huez (38)

Étude géotechnique préalable Analyse des risques naturels (DAET) (G1 ES+PGC)

RP 13812-1

		SOCIETE ALPINE DE GEOTECHNIQUE 2, rue de la Condamine – B.P. 17 - 38610 GIERES ☎ 04.76.44.75.72				
n° RP	Ind.	Date	Commentaires	Établi par	Vérifié par	Approuvé par
13812-1	A	19/09/2024	Établissement du rapport	G. CHAMEL	M. CAMUS	L. LORIER

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	5
2. CONTEXTE GENERAL	7
2.1. PRESENTATION GENERALE DU PROJET	7
2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE	8
2.3. CONTEXTES HYDROLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES	8
2.4. RISQUES NATURELS – REGLEMENTATION	9
2.5. RISQUES NATURELS – RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE	10
2.6. OUVRAGES EXISTANTS A PROXIMITES – RECHERCHE D’ARCHIVES.....	10
2.7. PHOTOS AERIENNES D’ARCHIVES	11
2.8. ZONE D’INFLUENCE GEOTECHNIQUE (ZIG)	12
3. OBSERVATIONS DE TERRAIN	13
4. ANALYSE DES RISQUES NATURELS (HORS AVALANCHES)	16
4.1. MOUVEMENTS DE TERRAIN	16
4.2. CHUTES DE BLOCS	16
4.3. AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT DE CAVITES	16
4.4. CRUES TORRENTIELLES/INONDATIONS	16
4.5. ALEA AMIANTE ENVIRONNEMENTALE	16
4.6. ALEA RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES	16
4.7. POTENTIEL RADON	16
4.8. SISMICITE	17
5. PRINCIPES GENERAUX DE CONSTRUCTION	18
5.1. TERRASSEMENTS.....	18
5.2. GARES ET PYLONES DE LIGNE	18
5.3. PRECONISATIONS TECHNIQUES GENERALES	19
6. CONCLUSIONS	20

1. INTRODUCTION

Intervenants :

Maître d'ouvrage	SATA Huez 131 rue du Pic Blanc 38750 ALPE d'HUEZ Interlocuteur : M. Thierry HUGUES
Maître d'œuvre	E.R.I.C 13 Bis Rue de la Tuilerie 38170 Seyssinet-Pariset Interlocuteur : M. Laurent ARLAUD

Objet :

La présente étude géotechnique est effectuée à la demande et pour le compte de la SATA.

Elle concerne le projet de remplacement du télésiège du Villarais sur les communes de Villard-Reculas et d'Huez, station de l'Alpe d'Huez (38).

Les objectifs de cette étude sont :

- Identifier les risques naturels à prendre en compte pour le projet (hors risques d'avalanches) ;
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques sur la base des observations de terrain réalisées et des documents d'archives ;
- Définir une première adaptation du projet aux spécificités du site et les grands principes de réalisation des travaux.

Cette étude a été réalisée sur la base d'une visite de terrain réalisée le 04.09.2024.

Il s'agit d'une mission de type **G1 ES/PGC** selon la classification de l'Union Syndicale Géotechnique (cf. Annexe 2).

Documents consultés :

- Banques de données générales :
 - Carte IGN du secteur étudié au 1/25 000^{ème}
 - Carte géologique du BRGM (*feuille Vizille n° 797 – 1972*) au 1/50 000^{ème}
 - Base de données géo-scientifiques web du BRGM : site <http://infoterre.brgm.fr>
 - Base de données des risques sur le territoire : <http://www.georisques.gouv.fr>
 - Site de la préfecture de l'Isère : <https://www.isere.gouv.fr>
- Documents relatifs au projet :

Docs	Désignation et référence	Origine	Date
[1]	3232-01-00 - Profil en long et vue en plan (version TC)	ERIC	16/11/2023

Conditions d'utilisation du rapport et annexes associées :

Cette étude est la propriété du client : SATA. Elle ne peut être ni reproduite ni diffusée en dehors du consentement de ce dernier. Le rapport et ses annexes sont indissociables.

Nos conditions d'utilisation du rapport sont rappelées en annexe. En particulier :

- Ce document doit être transmis à l'ensemble des intervenants du projet. Toute modification apportée au projet ou à son environnement (*aménagements de proximité, terrassements...*) après l'étude nécessite la réactualisation du rapport géotechnique dans le cadre d'une nouvelle mission pour étudier leur impact.
- L'étude géotechnique repose sur une investigation du sol dont la maille ne permet pas de lever la totalité des aléas toujours possibles en milieu naturel. En effet, des hétérogénéités, naturelles ou du fait de l'homme, des discontinuités et des aléas d'exécution peuvent apparaître compte tenu du rapport entre le volume échantillonné ou testé et le volume sollicité par l'ouvrage, et ce d'autant plus que ces singularités éventuelles peuvent être limitées en extension.
- Les éléments géotechniques nouveaux mis en évidence lors de l'exécution et non détectés lors de la mission d'origine (*failles, remblais anciens, karsts, venues d'eau, hétérogénéités localisées ...*), ainsi que tout incident survenu au cours des travaux (*éboulements, glissement...*), pouvant avoir une influence sur les conclusions du rapport géotechnique G2 ou G3, doivent immédiatement être signalés aux bureaux d'études géotechniques en charge du suivi géotechnique des travaux (*missions G3 et G4*) afin qu'ils en analysent les conséquences sur les conditions d'exécution et la conception de l'ouvrage.

2. CONTEXTE GENERAL

2.1. Présentation générale du projet

Le tracé du projet de remplacement du télésiège du Villarais est légèrement décalé côté Sud du télésiège actuel, sur le versant Ouest de la montagne de *La Grande Sure*.

Le projet prévoit la réalisation d'une gare de départ G1, de 16 pylônes de ligne (P16 à P1, numérotation décroissante vers l'amont) et d'une gare d'arrivée G2.

La gare de départ (G1) se situe à Villard-Reculas, à cheval au-dessus de la route des pistes à l'altitude de 1485 m. La gare d'arrivée (G2) se situe à l'altitude de 2113 m, au niveau du sommet de *La Grande Sure*, à proximité de la gare d'arrivée du TSCD du Signal. L'axe de la ligne est Nord +80°E, sur un dénivelé de 628 m pour une distance horizontale d'environ 2305 m.

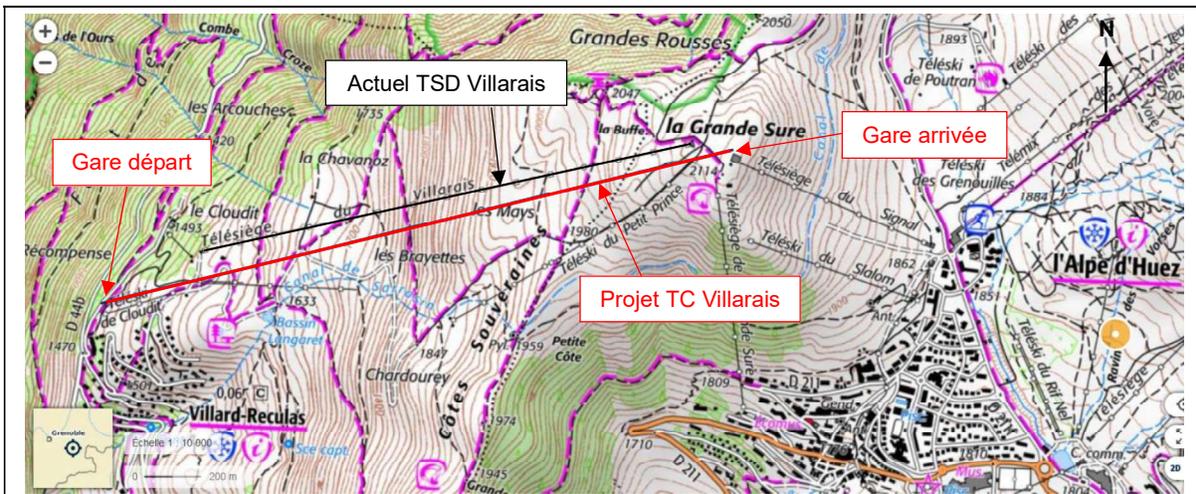


Figure 1 : Localisation du site sur fond de plan IGN (Source : <https://www.geoportail.gouv.fr>)

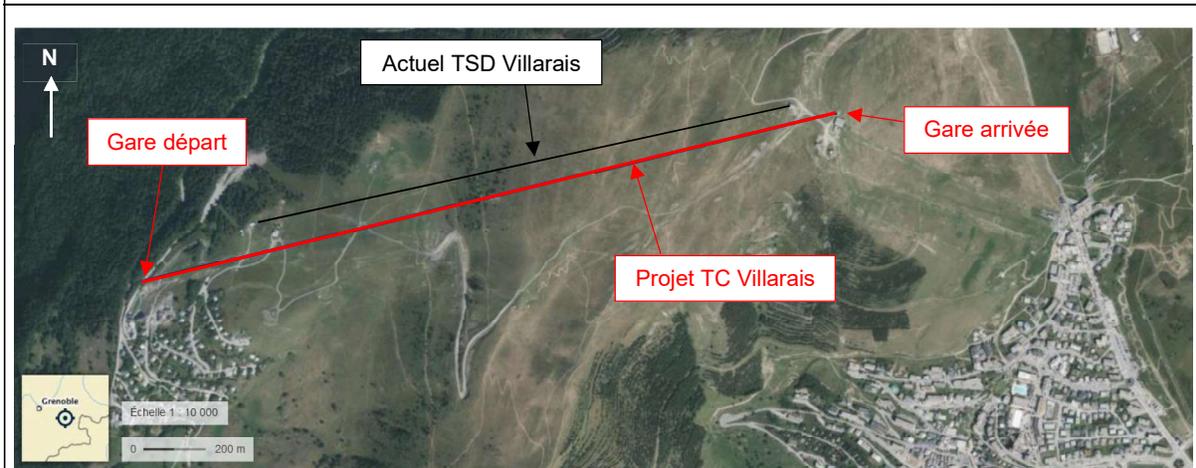


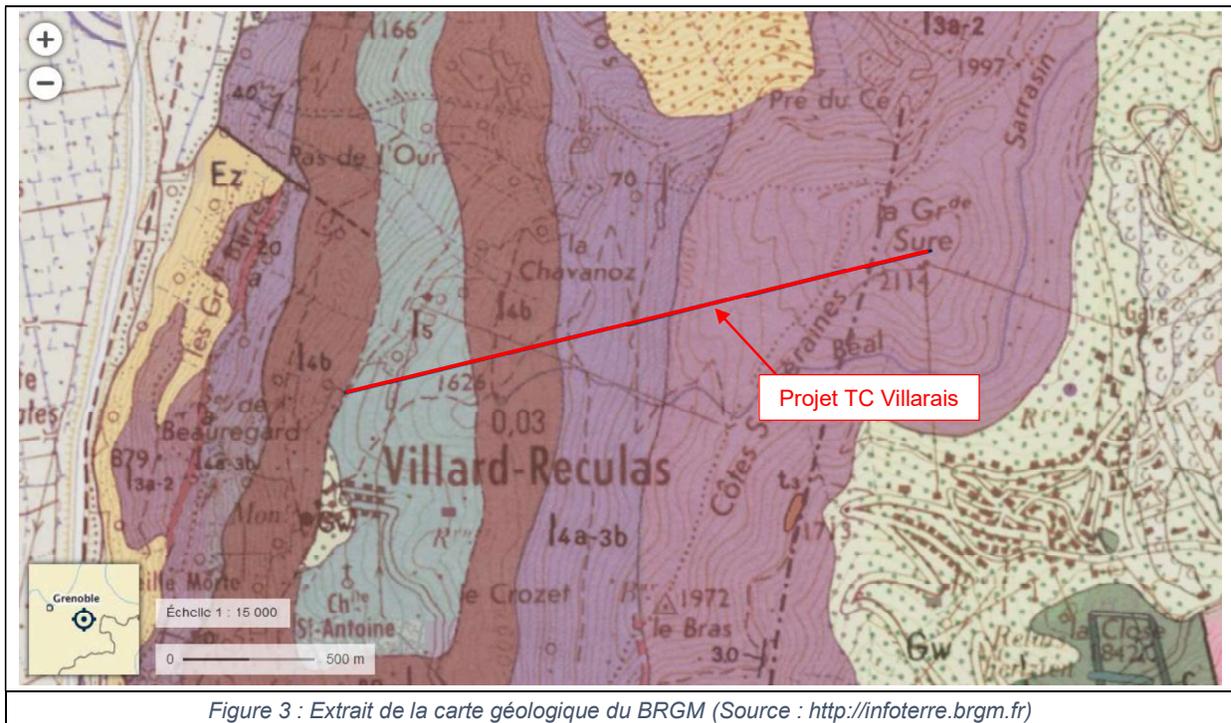
Figure 2 : Localisation du site sur vue aérienne (Source : <https://www.geoportail.gouv.fr>) (photo du 15.08.2021)

2.2. Contexte géologique

D'après la carte géologique au 1/50 000ème, la géologie du site est composée :

- Par le substratum rocheux constitué d'une série de couches sédimentaires du Jurassique inférieur (Lias) de calcaires +/- argilo-schisteux, de calcschistes et de schistes marneux. Cette série de couches sédimentaires est plissée et forme un grand synclinal dont le cœur est situé au niveau du village de Villard-Reculas ;
- Localement, des terrains de couverture composés de matériaux morainiques glaciaires et/ou d'éboulis peuvent être présents et recouvrir le substratum rocheux.

Il est à noter, au vu de l'historique du site (construction des actuelles remontées mécaniques et des pistes de ski, aménagement du front de neige en G1, construction de la route des pistes, ...), que des remblais existent probablement localement sur ce site (épaisseur et qualité des matériaux de remblais inconnues).



2.3. Contextes hydrologiques et hydrogéologiques

D'après la carte du réseau hydrographique, aucun cours d'eau permanent ne se trouve dans un rayon de 100 m autour du projet.

Néanmoins, sur ce site, l'existence de résurgences +/- saisonnières et/ou d'écoulements d'eaux souterraines est possible (contexte de versant de montagne) et peut être variable (période de fontes des neiges, fortes précipitations, ...). Aucune résurgence d'eau, ni écoulement d'eau n'ont été cependant constaté lors de la visite du site le 04.09.2024.

2.4. Risques naturels – Règlementation

La commune de Villard-Reculas possède une carte R111-3 (approuvé en date du 04.10.1985).

La commune de Huez possédant un PPRn avec une carte des aléas (mars 2000).

Le projet de la TC Villarais est situé dans le périmètre d'étude de ces documents.

Documents de référence	Informations concernant le site
Villard-Reculas Carte R111-3	Projet concerné par les risques suivants : <ul style="list-style-type: none"> Zones dangereuses d'avalanches-éboulements sur un secteur en partie centrale du projet.

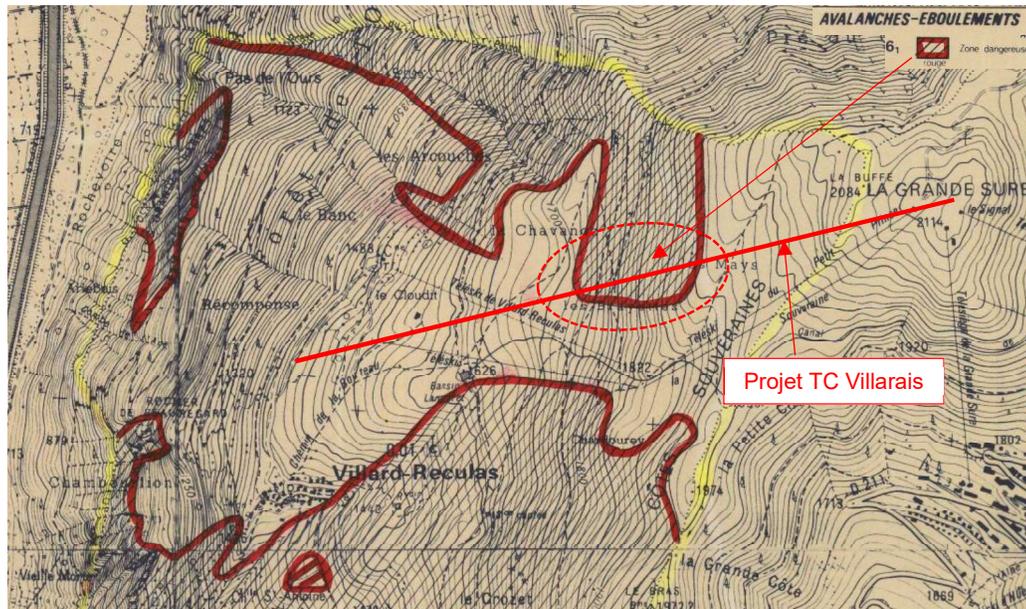


Figure 4 : Extrait de la carte R111-3 de la commune de Villard-Reculas (Source : <https://www.isere.gouv.fr>)

Huez Carte des aléas	Projet concerné par les risques suivants : <ul style="list-style-type: none"> Aléa faible de glissement de terrain, solifluxion ou coulées boueuses sur un secteur en partie amont du projet.
-------------------------	--

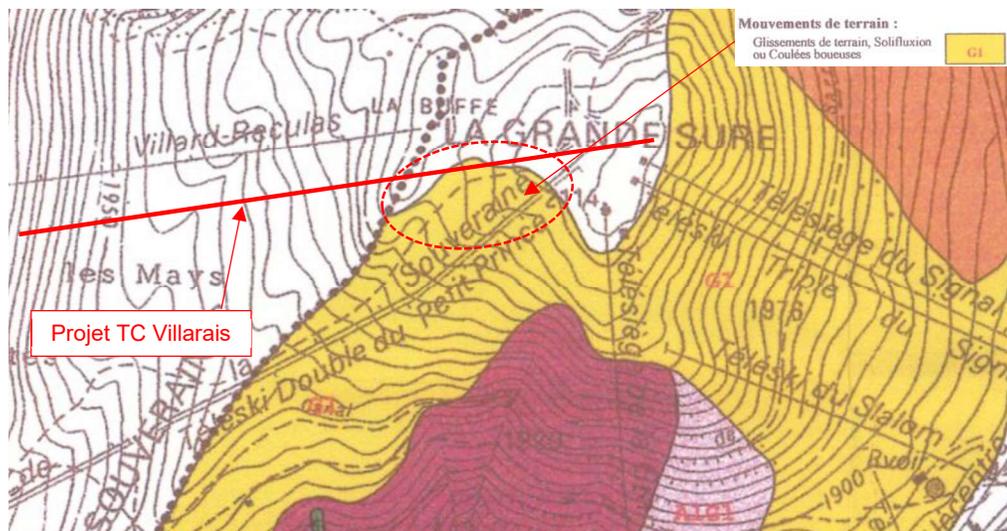


Figure 5 : Extrait de la carte des aléas de la commune de Huez (Source : <https://www.isere.gouv.fr>)

2.5. Risques naturels – Recherche bibliographique

Une recherche bibliographique sur les bases de données publiques permet de retenir les informations suivantes sur la zone d'étude :

Type de risque	Source	Informations concernant le site
Affaissement/effondrement de cavités	http://infoterre.brgm.fr	Pas de cavité recensée sur/à proximité du projet
Glissements de terrain	http://infoterre.brgm.fr	Pas de glissement de terrain recensé sur/à proximité du projet
Mouvements de terrain provoqués par les alternances de sécheresse et de réhydratation des sols argileux	http://infoterre.brgm.fr	Aléa faible de retrait-gonflements des sols argileux en partie aval du projet
Amiante environnementale	http://infoterre.brgm.fr	Susceptibilité nulle à très faible
Chutes de pierres et éboulements	http://www.georisques.gouv.fr	Pas de chutes de pierres et d'éboulement recensés sur/à proximité du projet
Sismicité	http://www.georisques.gouv.fr	Zone 3 (Modérée)
Potentiel radon	https://www.irs.fr	Formations géologiques dont le potentiel radon est de catégorie 1 (faible)

2.6. Ouvrages existants à proximité – Recherche d'archives

Les documents d'archives concernant des ouvrages situés à proximité de la zone d'étude sont les suivants :

Doc.	Désignation	Origine	Référence	Date
[2]	VILLARD RECULAS - TK Cloudit Etude géotechnique et Contrôles de fouilles	SAGE	RP 8450	2018
[3]	HUEZ – Télémix Le Signal Etude géotechnique et Contrôles de fouilles	SAGE	RP 6525	2016

Les informations apportées par ces archives et concernant le projet sont les suivantes :

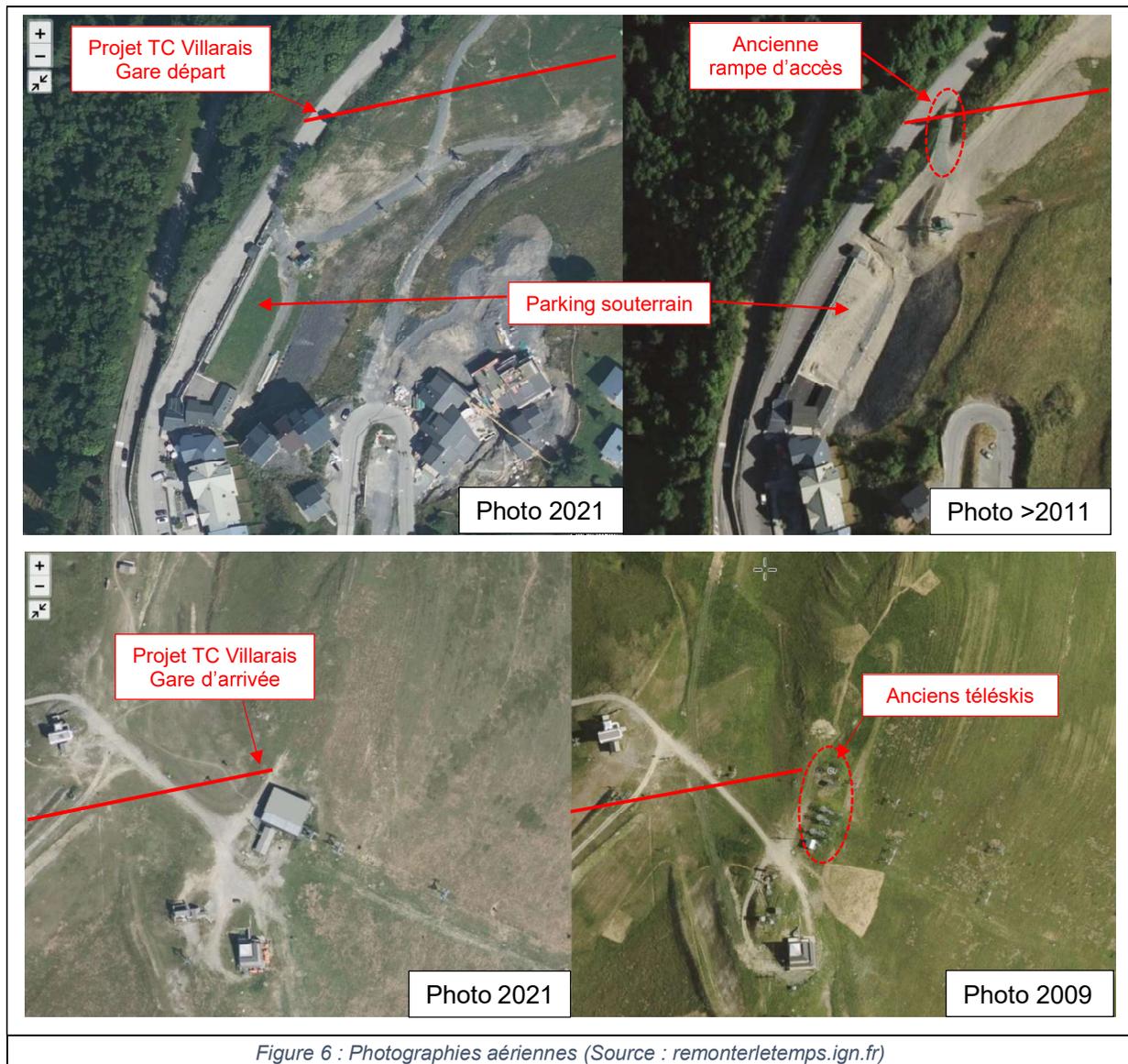
- TK Cloudit :
 - Pylônes P1 à P5 ancrés dans le substratum rocheux de calcschiste ($\sigma_{ELS} = 250$ KPa) ;
 - Pylône P6 ancré dans des moraines limono-caillouteuses ($\sigma_{ELS} = 200$ KPa).

- Télémix Le Signal :
 - Gare G2 ancrée dans le substratum rocheux de calcschiste ($\sigma_{ELS} = 300$ KPa) ;
 - Présence de limon en couverture du substratum rocheux de calcschiste sur 0,8 à 1,7m d'épaisseur.

2.7. Photos aériennes d'archives

L'analyse des photos d'archives permet de retenir les éléments d'informations suivants concernant le projet :

- Au Sud de la gare de départ du projet, un parking souterrain a été construit après 2011 (date à préciser). Avant cette zone était un champ enherbé. Ce parking et la fouille de terrassement provisoire nécessaire à sa réalisation ne sont pas situés sur l'emprise du projet hormis une ancienne rampe d'accès pour les travaux qui avait été réalisée dans le talus. La présence de remblais est possible sur cette zone ;
- A proximité de la gare d'arrivée du projet, les gares d'arrivées de plusieurs téléskis existaient. La présence de remblais, voire d'anciennes structures en béton est possible sur cette zone.



2.8. Zone d'Influence Géotechnique (ZIG)

Définition de la ZIG selon la NF P 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).

La Zone d'Influence Géotechnique du projet comprend :

- Les parcelles cadastrales sur lesquelles les gares et les pylônes seront implantés et les éventuels réseaux/ouvrages enterrés situés à proximité des gares et des pylônes ;
- La RD44b située à l'aval du projet de gare de départ ;
- La route des pistes, le raide talus aval et les éventuels réseaux existants sous la chaussée situés au droit du projet de gare de départ ;
- Les structures existantes (remontées mécaniques, pistes ski/4x4/VTT, réseaux enterrés, talus de déblais et/ou de remblais, ...) situées sur et/ou à proximité du projet ;
- Les enneigeurs et leurs réseaux associés.

3. OBSERVATIONS DE TERRAIN

Les observations de terrain, réalisées le 04.09.2024, sont reportées sur la vue en plan du projet (cf. Annexe 1).

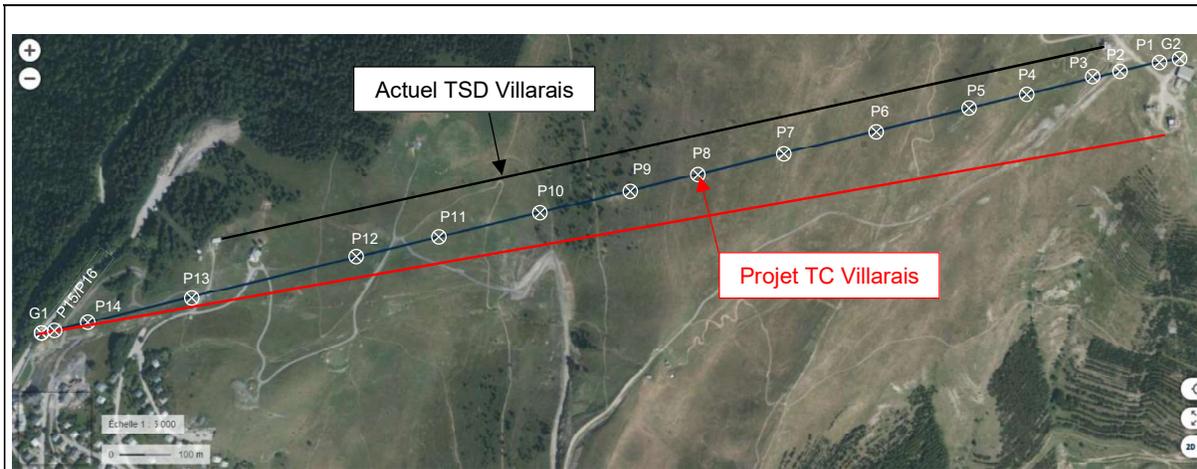


Figure 7 : Vue aérienne du tracé (Source : <https://www.geoportail.gouv.fr>) (photo du 15.08.2021)

La gare de départ (G1) se situe au droit de la route des pistes et des talus aval et amont à la chaussée. La gare est prévue construite à cheval au-dessus de la route des pistes.

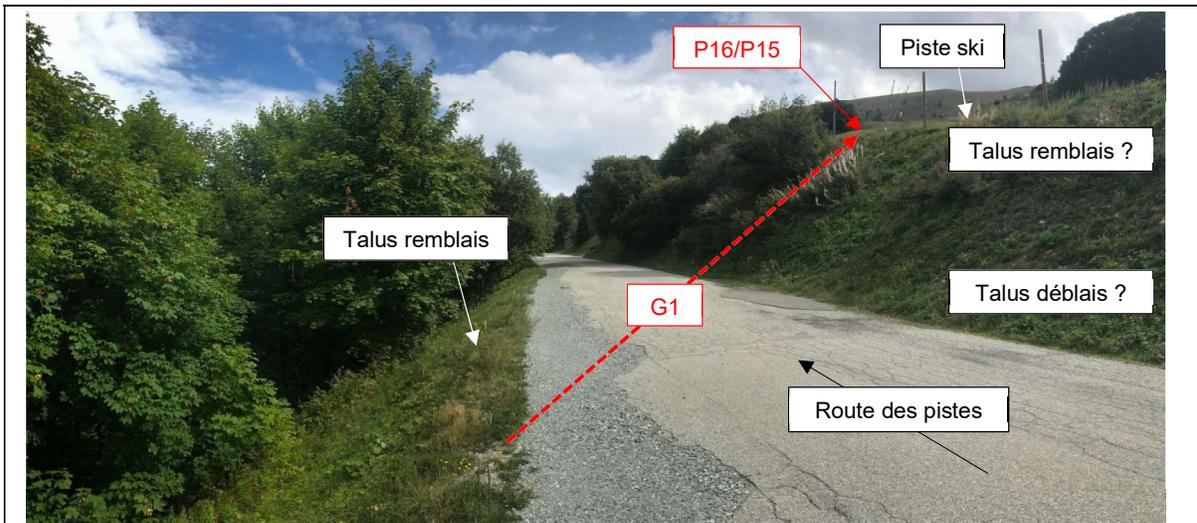


Figure 8 : Emplacement de la gare de départ et des pylônes P16, P15 (Source : SAGE 04.09.2024)

Le profil de la route a été réalisé en partie en déblais côté amont (partie inférieure du talus $\approx 35/40^\circ$, présence locale d'affleurements de calcschiste en pied de talus) puis en remblais (partie supérieure du talus $\approx 32/35^\circ$). Côté aval, le profil de la route a été réalisé en remblais (pente 34° puis $25/30^\circ$).

A l'aval de la future gare G1, au niveau du talus amont à la RD44b, on observe la présence d'un raide talus rocheux de calcschiste gris sur 3 à 5 m de hauteur environ (pendage de la schistosité très redressé : $N5^\circ - 75^\circ SE$) avec en tête un calcschiste brun très altéré et fauché sur quelques mètres (pendage de la schistosité quasiment horizontal). Ensuite, le talus est végétalisé et de pente 25 à 35° jusqu'à la route des pistes (probable remblai).

Une petite niche d'arrachement (5 m x 5 m x 1 à 1,5 m d'épaisseur) d'un ancien glissement superficiel est visible localement dans ce talus.

Entre P15 et P13, le tracé de la ligne remonte tout d'abord la piste de ski du Cloudit, dans l'axe de la pente, par des pentes d'inclinaison moyenne (10 à 25°) jusqu'à un replat topographique (pente <math><10^\circ</math>) au niveau de la gare G1 de l'actuel TSD. Cette zone a parfois été reprofilée en déblais/remblais pour créer la piste de ski du Cloudit. Des affleurements rocheux de calcschistes sont visibles dans certains talus en déblais.

Entre P13 et P10, le tracé de la ligne remonte des près enherbés par des pentes plus ou moins vallonées d'inclinaison faible à moyenne (5 à 20/25°) jusqu'au niveau d'une piste 4x4 et du début d'une sapinière où la pente s'accroît (30 à 38°). Sur ce secteur, le substratum rocheux de calcschiste altéré semble situé à faible profondeur (<math><1</math> à 3 m). Il est d'ailleurs parfois visible au niveau de la tranchée réseaux qui est en cours de réalisation. Il est recouvert par un limon brun peu compact (probable frange d'altération du substratum rocheux).

Quelques blocs erratiques sont également visibles : une couverture morainique peut être présente.

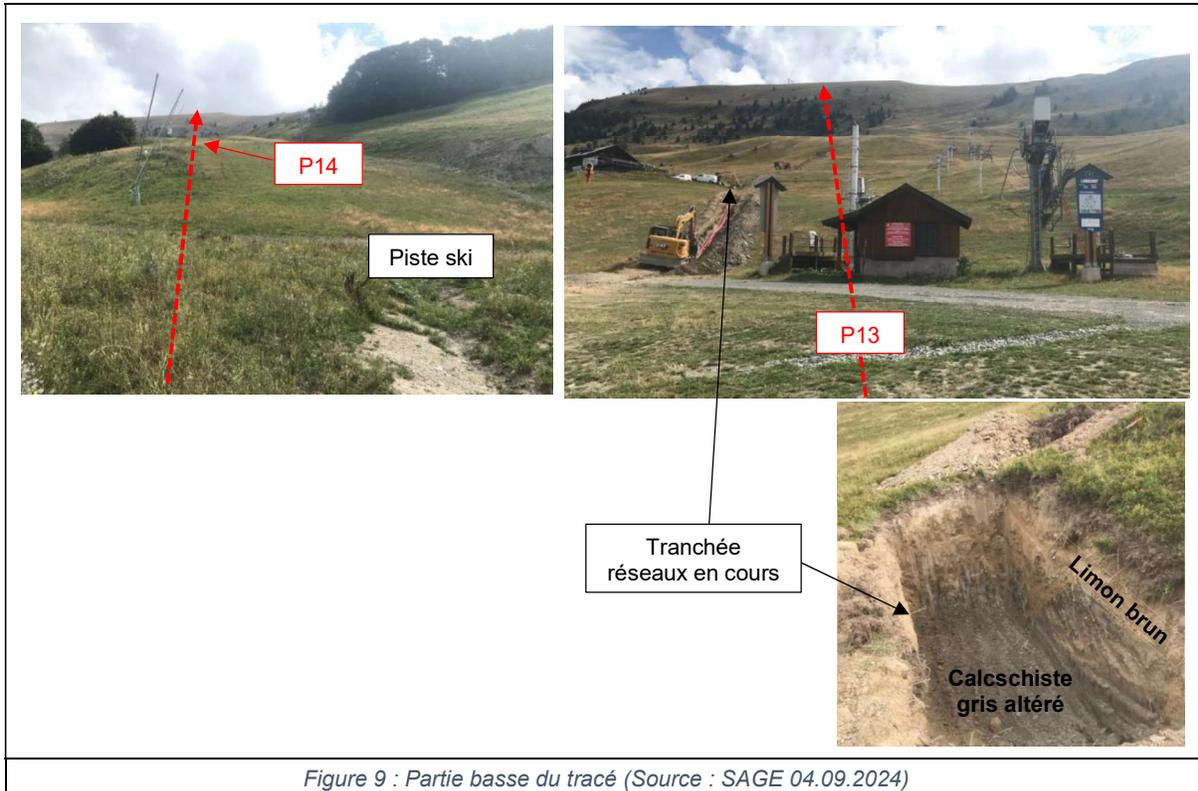


Figure 9 : Partie basse du tracé (Source : SAGE 04.09.2024)

Entre P10 et P8, le tracé de la ligne remonte, dans l'axe de la pente, un versant plus raide (30 à 38°) où des affleurements de calcaire (pendage de la schistosité : N24° - 41°SE) sont visibles localement.

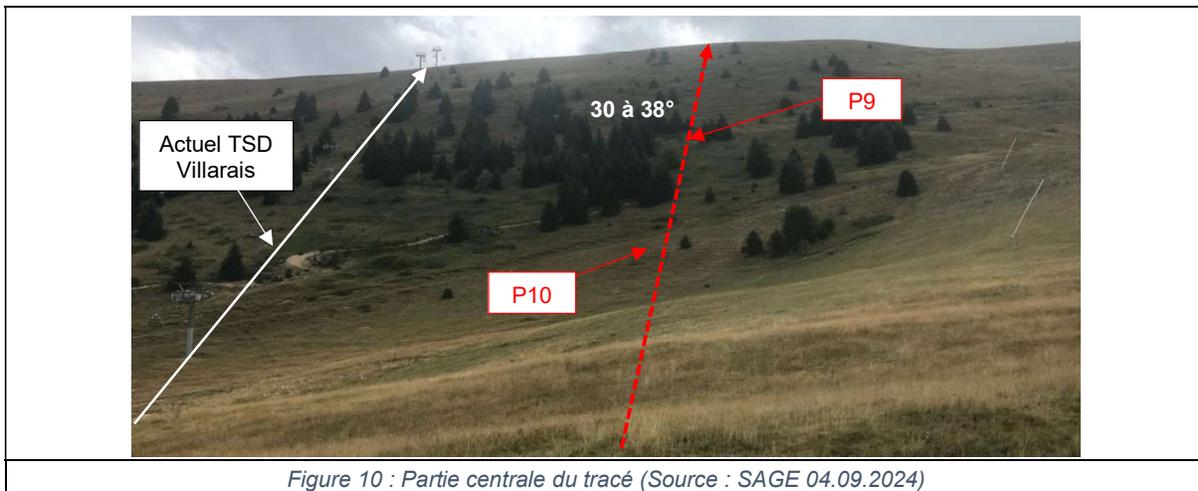


Figure 10 : Partie centrale du tracé (Source : SAGE 04.09.2024)

Entre P8 et P4, le tracé de la ligne remonte, en léger travers pente côté gauche sens montant, un versant vallonné de pente moyenne à faible (30 à 5°). Localement au niveau de P5, le tracé recoupe un talus de pente plus raide (30 à 40°) et correspondant à un affleurement/éperon de calcschiste (pendage de la schistosité : N27° - 46°SE).

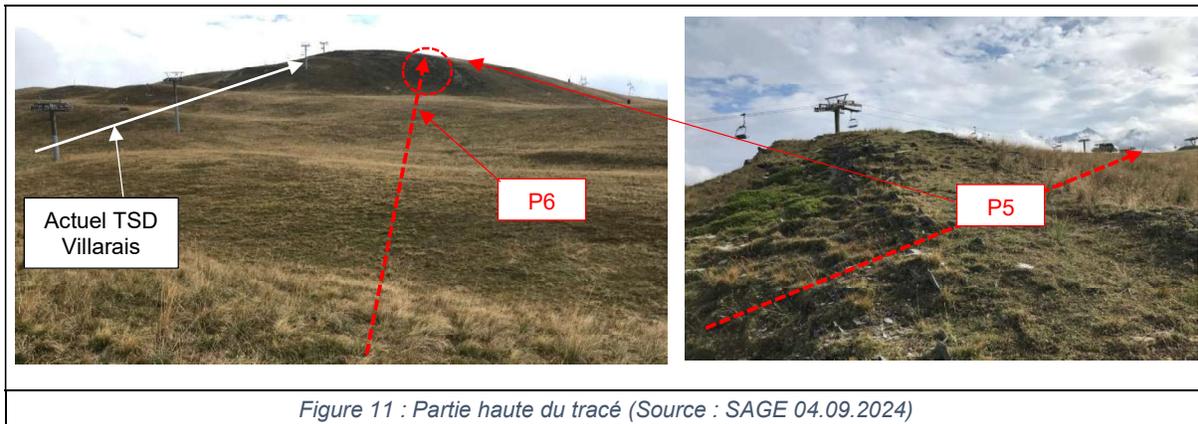


Figure 11 : Partie haute du tracé (Source : SAGE 04.09.2024)

Enfin, entre P4 et la gare d'arrivée G2, le tracé de la ligne remonte des pentes faibles (5 à 15°) en léger travers pente côté droit sens montant. Le tracé passe au-dessus du télésiège du Petit Prince et de son merlon en remblai puis arrive au sommet de *La Grande Sure*, à proximité de la gare d'arrivée et du garage du Télémix du Signal.

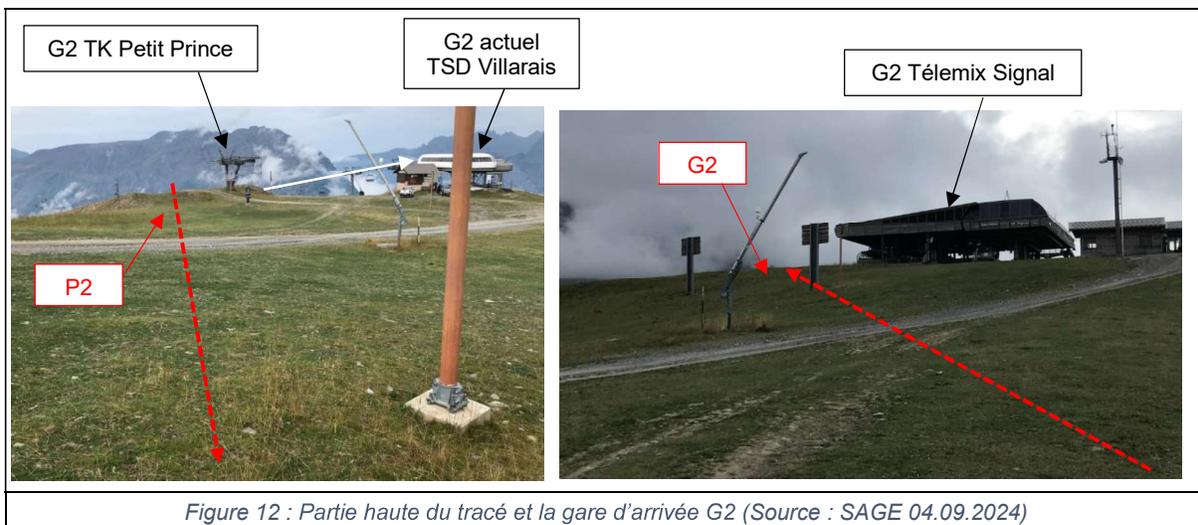


Figure 12 : Partie haute du tracé et la gare d'arrivée G2 (Source : SAGE 04.09.2024)

Sur l'ensemble du site, lors des observations réalisées :

- Aucune résurgence d'eau, ni écoulement d'eau n'a été observé au droit et à proximité du projet ;
- Aucun indice de mouvement de terrain actif n'a été observé au droit et à proximité du projet ;
- Aucun désordre particulier n'a été mis en évidence sur les fondations des pylônes et gares des remontées mécaniques situées à proximité du projet.

4. ANALYSE DES RISQUES NATURELS (HORS AVALANCHES)

4.1. Mouvements de terrain

D'après l'enquête et les observations de terrains réalisées, l'analyse géomorphologique du secteur ne met pas en évidence d'indices de phénomènes de type mouvements de terrain/affaissements de versant actifs au droit du tracé envisagé.

Localement, le talus situé à l'aval de la gare G1 semble sensible aux glissements de terrains car il est raide et constitué en partie de remblais, de terrains meubles et de calcschiste fauché. Cet aléa de glissement de terrain est estimé à moyen, ce qui est confirmé par l'existence d'une niche d'arrachement relativement récente d'un glissement (petit glissement superficiel : 5 m x 5 m x 1 à 1,5 m d'épaisseur) dans ce talus.

Compte tenu des implantations actuelles des gares et des pylônes :

- Le projet n'est pas concerné par un aléa de glissement de terrain entre la G1 et la G2 ;
- Le projet est concerné par un aléa de glissement de terrain estimé à moyen pour le talus situé à l'aval immédiat de la G1.

La conception de la gare G1 devra être réalisée de façon à prendre en compte et minimiser cet aléa (à préciser en phase conception : limiter voire éviter les remblaiements côté talus aval, pas de fondation dans la partie schisteuse altérée et fauchée, ...).

4.2. Chutes de blocs

D'après l'enquête et les observations de terrains réalisées, le projet n'est pas concerné par ce risque.

4.3. Affaissement/effondrement de cavités

D'après l'enquête et les observations de terrains réalisées, le projet n'est pas concerné par ce risque.

4.4. Crues torrentielles/Inondations

D'après l'enquête et les observations de terrains réalisées, le projet n'est pas concerné par ce risque.

4.5. Aléa amiante environnementale

D'après les données du BRGM, le projet est situé en zone de susceptibilité nulle à très faible vis-à-vis du risque de présence d'amiante naturelle. Le risque est estimé de nul à très faible vis-à-vis du projet.

4.6. Aléa retrait-gonflement des argiles

D'après les données du BRGM, l'aléa de retrait-gonflement des argiles est estimé faible au niveau de la partie basse du tracé.

En fonction des résultats des sondages prévus, des dispositions de conception des fondations seront prises pour éviter ce risque (pas d'ancrage des fondations dans les sols fins sensibles au retrait/gonflement et/ou ancrage à une profondeur suffisante).

4.7. Potentiel radon

D'après les données de l'IRSN, le site se situe au niveau de formations géologiques dont le potentiel radon est de catégorie 1 (faible). Compte tenu du type d'aménagement prévu (télécabine : équipement ouvert), le projet n'est pas concerné par ce risque hormis pour les éventuels ouvrages fermés et/ou enterrés (se référer à la réglementation si besoin).

4.8. Sismicité

Le projet est situé en zone d'aléa modéré (*Zone 3*) du point de vue sismique selon la révision du zonage sismique de la France (*article R563-1 à R563-8 du Code de l'Environnement*).

Selon les éléments issus du groupe de travail STRMTG du début d'année 2020 sur la refonte du guide RM2 :

- **Les massifs de gare** sont considérés comme des ouvrages de **classe III**.
- **Les massifs de ligne** sont considérés comme des ouvrages de **classe II**.

En première approche, sur la base de nos observations de terrain et en l'absence de sondages géotechniques, les classes de sol suivantes peuvent être retenues :

Ouvrage	Classe de sol estimée*	Coefficient d'importance de l'ouvrage	Coefficient topographique
G1	B ou A	1,2	1,0 à 1,2
P16 à P1	B ou A	1	1
G2	A	1,2	1,0

* A confirmer/préciser en phase conception (sondages géotechniques) et en fonction de la position définitive des ouvrages.

5. PRINCIPES GENERAUX DE CONSTRUCTION

Remarque : Les profondeurs et contraintes admissibles fournies dans les paragraphes suivants sont données en première estimation. Ces données doivent impérativement être validées par une étude géotechnique de conception (mission G2 AVP/PRO) associée à une visite de pré-implantation des pylônes une fois le constructeur retenu.

5.1. Terrassements

En première estimation, on pourra retenir les hypothèses et préconisations suivantes pour la gare G1, les pylônes de lignes et la gare G2 :

- Talus de terrassement provisoire et définitif (déblais et remblais) dans les terrains meubles et le substratum rocheux +/- altéré :
 - 1H/1V (45°) maximum en provisoire et 3H/2V (34°) maximum en définitif (à valider lors de l'ouverture des terrassements par un géotechnicien – mission G4) ;
 - En fonction de la compacité et/ou de la fracturation du substratum rocheux, un raidissement des talus pourra être envisageable si nécessaire (à préciser en phase conception). Également, la mise en place d'ancrages de confortement et/ou de grillage plaqués pourra être nécessaire au niveau des talus de terrassement (à préciser en phase conception en fonction du projet).

Les travaux de terrassements nécessiteront l'utilisation d'engins puissants (pelle > 12/15 t) et l'utilisation de BRH, de dent de déroctage, voire de minage en cas de présence de substratum rocheux compact et/ou de gros blocs rocheux. La mise en place d'une instrumentation de suivi des vibrations (tirs de calibrage puis suivi des vibrations lors des travaux) pourra être nécessaire en cas de proximité des travaux avec des structures existantes sensibles.

Les ouvrages existants (fondations, réseaux, ...) situés sur et/ou à proximité des fondations du projet seront purgés totalement et/ou dévoyés ou les positions des pylônes décalées si nécessaire.

Des systèmes de drainages (drains, tranchées, éperons, masques drainants, ...) seront mis en place afin de mettre hors d'eau les talus et/ou les fouilles de terrassements si nécessaire (venue d'eau lors des terrassements).

5.2. Gares et pylônes de ligne

Les fondations pourront être de type semelle superficielle (pour la gare G1 et les ouvrages associés (quais, ...)) : à préciser en phase conception et selon les résultats des sondages).

En première estimation, on pourra retenir les hypothèses et préconisations suivantes (numérotation des pylônes décroissante de l'aval vers l'amont de la ligne selon le profil MOE) :

Massifs (semelle superficielle)	Contrainte de sol admissible ELS estimée *	Profondeur fondation estimée **	Terrains de fondation supposés	Préconisations particulières
Gare G1* P16, P15	$\sigma_{a,ELS} = 200 \text{ à } 300 \text{ kPa}$	2,5 à 5/6 m	Substratum rocheux de calcschiste +/- altéré	<ul style="list-style-type: none"> • Purgé des remblais/structures existantes • Terrassements rocheux à prévoir (pelle puissante, BRH, minage possible) • Drainage périphérique définitif probable • Côte hors gel = -1,20 m minimum/niveau fini • Gare G1 : sondages à prévoir afin de déterminer la profondeur d'apparition et la résistance du substratum rocheux. • Gare G1 : éventuelles adaptations à prévoir vis-à-vis du talus aval (quai en structure portée sur les massifs RM, fondations profondes, ...) • Côte hors gel = -1,05 m minimum/niveau fini

P14 à P4	$\sigma_{a,ELS} = 150 \text{ à } 250 \text{ kPa}$	0 à 2,5 m (à préciser en fonction du dévers)	Substratum rocheux de calcschiste +/- altéré et/ou moraines gravelo-limoneuses	<ul style="list-style-type: none"> • Purge des remblais/structures existantes • Terrassements rocheux à prévoir (pelle puissante, BRH) • Côte hors gel = -1,05 à -1,20 m minimum/niveau fini
P3 à P2	$\sigma_{a,ELS} = 80 \text{ à } 250 \text{ kPa}$	1,5 à 4,0 m	Remblai et/ou moraines gravelo-limoneuses puis éventuel substratum rocheux de calcschiste +/- altéré	<ul style="list-style-type: none"> • Présence du merlon en remblai du TK Petit Prince à prendre en compte (limitation des terrassements provisoire, prise en compte d'une poussée des terres) si pylônes situés dans l'emprise des talus du merlon • Côte hors gel = -1,20 m minimum/niveau fini
P1 Gare G2	$\sigma_{a,ELS} = 200 \text{ à } 300 \text{ kPa}$	1,5 à 3,0 m	Substratum rocheux de calcschiste +/- altéré	<ul style="list-style-type: none"> • Purge des remblais/structures existantes • Terrassements rocheux à prévoir (pelle puissante, BRH, minage possible) • Côte hors gel = -1,20 m minimum/niveau fini

* : valeurs à valider par des sondages géotechniques

** : profondeur de fondation (Hf) donnée à l'axe par rapport au niveau du terrain actuel avec l'hypothèse d'une semelle de 3,5 m x 5,0 m pour les pylônes de ligne et de semelles de 5,0 m x 5,0 m et de 5,0 m x 10,0 m pour les pylônes de gares.

5.3. Préconisations techniques générales

On retiendra les préconisations techniques générales suivantes (à valider en phase d'exécution) pour tous les ouvrages :

- En première approche, on retiendra une densité pour les remblais des massifs de ligne égale à $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ et éventuellement à $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ pour les remblais des gares si ceux-ci sont correctement compactés par couches au compacteur lors de leur mise en oeuvre ;
- Le coefficient de poussée à prendre en compte sur les murs des ouvrages enterrés est variable : de $K_a = 0,78$ pour un talus amont de pente 34° à $K_a = 0,50$ pour un remblaiement horizontal à l'amont (à calculer en fonction de la pente du talus amont) ;
- En cas de venues d'eau, des dispositifs de drainages périphériques définitifs seront mis en place au niveau des fondations des pylônes et/ou dans les talus des fouilles ;
- Des purges puis des rattrapages en gros béton ou des substitutions graveleuses (matériaux d'apport de type 40/80 mm concassés ou équivalent) seront réalisées en cas de présence de sols médiocres et/ou de décompression des matériaux en fond de fouille ;
- Des rattrapages en gros béton seront réalisés, si nécessaire, afin d'assurer la profondeur hors-gel et / ou une assise homogène sous la semelle en cas de besoin ;
- Des redans en béton (armé si besoin) pourront également être mis en oeuvre pour assurer un ancrage homogène au sein du substratum rocheux compact notamment dans les zones de fortes pentes ou en cas d'approfondissement du toit du substratum rocheux ;
- Certaines fouilles pourront faire l'objet de confortements provisoires afin de sécuriser les travaux de génie civil.

6. CONCLUSIONS

La synthèse géologique et géotechnique préliminaire effectuée sur la base des documents transmis et de la visite de terrain du 04.09.2024 montre que le projet de la **TC Villarais** est envisageable sous réserve de suivre les prescriptions techniques du présent rapport.

Etant donné sa position à cheval au-dessus de la route des Pistes, la gare G1 et les ouvrages associés (quais, ...) nécessiteront la réalisation d'une étude géotechnique spécifique afin d'optimiser leur conception vis-à-vis de la route et du raide talus aval.

Une étude géotechnique de conception (*mission G2 AVP/PRO*) concernant les fondations sera effectuée sur la base de reconnaissances géotechniques complémentaires (*visite de pré-implantation, sondages géotechniques*). Cette étude permettra :

- De valider l'implantation définitive des pylônes et des gares ;
- D'étudier précisément les fondations des ouvrages selon leur position définitive, notamment en gare G1 vis-à-vis de la route des Pistes et du raide talus aval ;
- D'étudier précisément les terrassements définitifs associés aux ouvrages et selon leur position définitive (notamment en G1 et G2) ;
- De préciser les préconisations techniques associées à la réalisation de cet appareil.

Une mission de supervision géotechnique d'exécution en phase travaux (*mission G4*) devra également être prévue afin de valider les fonds de fouille de fondations, de valider les terrassements réalisés et de préciser/adapter si besoin les dispositions techniques définies dans le présent rapport et l'étude géotechnique de conception.

■ ■ ■

La Société SAGE se tient à votre disposition pour tout renseignement complémentaire ou assistance technique relative à cette étude.

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Vue en plan des observations de terrain du 04.09.2024

Annexe 2 : Classification des missions géotechniques selon la NF P 94-500

Annexe 3 : Conditions Générales de Vente et d'utilisation de SAGE Ingénierie

Annexe 1 : Vue en plan des observations de terrain



RP 13812-1 VILLARD-RECUJAS / HIEZ (38) - TC Villaras
 16.09.2024 Etude géotechnique préalable-G1
 1/2500^m - A0 Vue en plan des observations de terrains du 04.09.2024

ERIC
 13, rue de la Vallée
 38100 VIEUX-BONNEVILLE
 04 78 01 03 78
 eric@eric-geo.com

VILLARD-RECUJAS
 TC Villaras
 Profilier long et vue en plan
 Format : A3p PLAN N° 3232-01-00

Scale: 1/2500 | 1000' | 1:1
 Validité: Non valable pour exécution

Code	Libellé	Unité	Statut
01	Travaux	Travaux	Validé
02	Observations	Observations	Validé

Origine du relevé de terrain: Relevé LDM 200^m
 Date: 04/09/2024
 Nature de la modification:
 Prêtage des données:
 Echelle: 1/2500 | 1000' | 1:1
 Validité: Non valable pour exécution

Point	Altitude (m)	Coordonnées (X, Y)
G-1	202.5	300000, 6500000
P1	202.5	300000, 6500000
P2	202.5	300000, 6500000
P3	202.5	300000, 6500000
P4	202.5	300000, 6500000
P5	202.5	300000, 6500000
P6	202.5	300000, 6500000
P7	202.5	300000, 6500000
P8	202.5	300000, 6500000
P9	202.5	300000, 6500000
P10	202.5	300000, 6500000
P11	202.5	300000, 6500000
P12	202.5	300000, 6500000
P13	202.5	300000, 6500000
P14	202.5	300000, 6500000
P15	202.5	300000, 6500000
P16	202.5	300000, 6500000
P17	202.5	300000, 6500000
P18	202.5	300000, 6500000
P19	202.5	300000, 6500000
P20	202.5	300000, 6500000
P21	202.5	300000, 6500000
P22	202.5	300000, 6500000
P23	202.5	300000, 6500000
P24	202.5	300000, 6500000
P25	202.5	300000, 6500000
P26	202.5	300000, 6500000
P27	202.5	300000, 6500000
P28	202.5	300000, 6500000
P29	202.5	300000, 6500000
P30	202.5	300000, 6500000
P31	202.5	300000, 6500000
P32	202.5	300000, 6500000
P33	202.5	300000, 6500000
P34	202.5	300000, 6500000
P35	202.5	300000, 6500000
P36	202.5	300000, 6500000
P37	202.5	300000, 6500000
P38	202.5	300000, 6500000
P39	202.5	300000, 6500000
P40	202.5	300000, 6500000
P41	202.5	300000, 6500000
P42	202.5	300000, 6500000
P43	202.5	300000, 6500000
P44	202.5	300000, 6500000
P45	202.5	300000, 6500000
P46	202.5	300000, 6500000
P47	202.5	300000, 6500000
P48	202.5	300000, 6500000
P49	202.5	300000, 6500000
P50	202.5	300000, 6500000
P51	202.5	300000, 6500000
P52	202.5	300000, 6500000
P53	202.5	300000, 6500000
P54	202.5	300000, 6500000
P55	202.5	300000, 6500000
P56	202.5	300000, 6500000
P57	202.5	300000, 6500000
P58	202.5	300000, 6500000
P59	202.5	300000, 6500000
P60	202.5	300000, 6500000
P61	202.5	300000, 6500000
P62	202.5	300000, 6500000
P63	202.5	300000, 6500000
P64	202.5	300000, 6500000
P65	202.5	300000, 6500000
P66	202.5	300000, 6500000
P67	202.5	300000, 6500000
P68	202.5	300000, 6500000
P69	202.5	300000, 6500000
P70	202.5	300000, 6500000
P71	202.5	300000, 6500000
P72	202.5	300000, 6500000
P73	202.5	300000, 6500000
P74	202.5	300000, 6500000
P75	202.5	300000, 6500000
P76	202.5	300000, 6500000
P77	202.5	300000, 6500000
P78	202.5	300000, 6500000
P79	202.5	300000, 6500000
P80	202.5	300000, 6500000
P81	202.5	300000, 6500000
P82	202.5	300000, 6500000
P83	202.5	300000, 6500000
P84	202.5	300000, 6500000
P85	202.5	300000, 6500000
P86	202.5	300000, 6500000
P87	202.5	300000, 6500000
P88	202.5	300000, 6500000
P89	202.5	300000, 6500000
P90	202.5	300000, 6500000
P91	202.5	300000, 6500000
P92	202.5	300000, 6500000
P93	202.5	300000, 6500000
P94	202.5	300000, 6500000
P95	202.5	300000, 6500000
P96	202.5	300000, 6500000
P97	202.5	300000, 6500000
P98	202.5	300000, 6500000
P99	202.5	300000, 6500000
P100	202.5	300000, 6500000



Annexe 2 : Classification des missions géotechniques selon la NF P 94-500

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

Annexe 3 : Conditions générales de vente et d'utilisation de la SAGE

1. Régime général et cadre des missions

CGVU MAJ 01/2020. Page 1/2

Les présentes Conditions Générales de Vente et d'utilisation (CGVU) s'appliquent sous réserve des conditions particulières figurant sur les devis établis par la SAGE pour chaque prestation demandée. L'acceptation de l'offre forme contrat et entraîne l'acceptation automatique des présentes CGVU.

La commande sera effectivement prise en compte à la réception de l'offre datée et signée (devis ou commande datée, signée et cachet pour une entreprise ou une collectivité).

La SAGE réalise la mission dans les strictes limites de sa définition donnée dans son offre (validité limitée à trois mois à compter de la date de son établissement) et confirmée par le bon de commande signé du Client. Toute prestation différente de celles prévues fera l'objet d'une demande spécifique et éventuellement d'une négociation.

Les missions géotechniques sont réglementées et normalisées selon la Norme NFP 94-500, réactualisée en 2013, dont un extrait est joint à l'offre et au rapport que le client déclare connaître et accepter. Par référence à cette norme, il appartient au Maître d'Ouvrage, au Maître d'œuvre ou à toute entreprise de faire réaliser impérativement par des ingénieries compétentes chacune des missions géotechniques (successivement G1, G2, G3 et G4 et les investigations associées) pour suivre toutes les étapes d'élaboration et d'exécution du projet.

L'obligation de la SAGE est une obligation de moyens et non de résultat au sens de la jurisprudence actuelle des tribunaux. Il est donc entendu que la SAGE s'engage à procéder selon les moyens actuels de son art, à des recherches consciencieuses et à fournir les indications qu'on peut en attendre. Pour mener à bien ses missions, la SAGE est membre de l'USG (Union Syndicale Géotechnique), de l'AGAP (agrément obtenu pour la Sismique Réfraction et le Radar) et de MASE. Elle détient les qualifications géotechniques de l'OPQIBI et les agréments (n°26) pour les études, l'auscultation et le suivi de travaux pour les digues et barrages de classe C.

2. Limites des missions

Si une mission d'investigations est commandée seule (hors prestation d'ingénierie), elle est limitée à l'exécution matérielle de sondages et à l'établissement d'un compte rendu factuel sans interprétation et elle exclut toute activité d'étude ou de conseil.

La mission G1 (phases ES et PGC) est une étude géotechnique préliminaire, permettant d'identifier les risques et de donner les principes généraux de construction destinés à réduire les conséquences des risques. Cette mission exclut tout dimensionnement et toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entrent dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (G2).

La mission G2 (phases AVP, PRO et DCE/ACT) est une mission de conception qui permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Nous rappelons qu'une mission G2 AVP ne peut servir directement à l'établissement d'un DCE et que les notes de calcul de dimensionnement ainsi que l'estimation des quantités et coûts des ouvrages géotechniques font partie de la mission G2 phase PRO.

La mission G3 est une mission d'étude et de suivi géotechniques d'exécution qui permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT fournie par la Maîtrise d'Ouvrage.

La mission G4, de supervision d'exécution, permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission G3. Elle est à la charge du Maître d'Ouvrage et est réalisée en collaboration avec la Maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Nous rappelons que les missions G2 doivent être suivies d'une mission G4 en phase travaux. Si la SAGE n'est pas mandatée pour la mission G4, les documents établis au cours des travaux ne lui seront pas opposables, ainsi que les éventuels désordres survenus sur les ouvrages en cours de chantier.

La mission de diagnostic géotechnique G5 est ponctuelle et limitée à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage. Elle engage la SAGE uniquement dans le cadre strict des objectifs fixés dans le devis.

La mission et les investigations éventuelles réalisées par la SAGE sont strictement géotechniques et n'abordent pas le contexte environnemental. Seule une étude environnementale spécifique comprenant des investigations adaptées permettra de détecter une éventuelle contamination des sols et/ou des eaux souterraines.

3. Plans et documents contractuels

La SAGE réalise la mission conformément à la réglementation en vigueur lors de son offre, sur la base des données communiquées par le Client. Le Client est seul responsable de l'exactitude de ces données. En cas d'absence de transmission ou d'erreur sur ces données, la SAGE ne peut en être tenue responsable.

Par ailleurs, toute modification apportée au projet ou à son environnement (aménagement de proximité, terrassements, déboisement...) au cours ou après l'étude nécessite la réactualisation du rapport géotechnique dans le cadre d'une nouvelle mission.

4. Formalités, autorisations et obligations d'information, accès, dégâts aux ouvrages et cultures

Toutes les démarches et formalités administratives ou autres, en particulier l'obtention de l'autorisation de pénétrer sur les lieux pour effectuer des prestations de la mission sont à la charge du Client. Le Client se charge d'obtenir et de communiquer les autorisations requises pour l'accès du personnel et des matériels nécessaires à la SAGE en toute sécurité dans l'enceinte des propriétés privées ou sur le domaine public. Par ailleurs, il devra fournir tous les documents relatifs aux dangers et aux risques cachés, notamment ceux liés aux réseaux, aux obstacles enterrés et à la pollution des sols et des nappes.

Le Client s'engage à communiquer les règles pratiques que les intervenants doivent respecter en matière de santé, sécurité et respect de l'environnement : il assure en tant que de besoin la formation du personnel, notamment celui de la SAGE, entrant dans ses domaines, préalablement à l'exécution de la mission. Le Client sera tenu responsable de tout dommage corporel, matériel ou immatériel dû à une spécificité du site connue de lui et non clairement indiquée à la SAGE avant toutes interventions. En cas de coactivité sur site, le Client se doit ainsi d'avertir la SAGE.

Sauf spécifications particulières, la SAGE ne pourra intervenir, faire des observations géologiques et donner un avis géotechnique que sur les zones ayant fait l'objet d'un débroussaillage et/ou d'un dégagement préalable à la charge du client. Les zones non expertisées du fait d'une non accessibilité ne pourraient être opposables à la SAGE.

Toute modification des conditions d'accès connues au moment de l'établissement du devis devra être discutée avec le Client et pourra faire l'objet d'une facturation complémentaire.

Les investigations peuvent entraîner des dommages sur le site, en particulier sur la végétation et les cultures, sans qu'il y ait négligence ou faute de la part du personnel de la SAGE. Les remises en état, réparations ou indemnités correspondantes seront discutées avec le Client et pourront faire l'objet d'une facturation complémentaire.

Conformément au décret n° 2011-1241 du 5 octobre 2011 relatif à l'exécution de travaux à proximité des ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution, le Client doit fournir, à sa charge et sous sa responsabilité, l'implantation des réseaux et des ouvrages souterrains privés, la liste et l'adresse des exploitants des réseaux publics à proximité des travaux, les plans, informations et résultats des investigations complémentaires consécutifs à sa Déclaration de projet de Travaux (DT). Ces informations sont indispensables pour permettre à la SAGE l'établissement des DICT (le délai de réponse est de 10 jours ouvrés) et pour connaître l'environnement du projet. En cas d'incertitude ou de complexité pour la localisation des réseaux sur domaine public, il pourra être nécessaire de faire réaliser, à la charge du Client, des fouilles manuelles pour les repérer.

En l'absence de DT effectuée par le Maître d'Ouvrage, la SAGE réalisera une DT/DICT conjointe, démarche considérée comme acceptée par le client à la signature du bon de commande.

La responsabilité de la SAGE ne saurait être engagée en cas de dommages à des ouvrages privés (en particulier, ouvrages enterrés et canalisations) dont la présence et l'emplacement précis ne lui auraient pas été signalés par écrit par le client préalablement à sa mission.

6. Recommandations, aléas, écart entre prévision de l'étude et réalité en cours de travaux

Si, en l'absence de plans ou documents précis concernant des ouvrages projetés, la SAGE a été amenée à faire une ou des hypothèses sur le projet, il appartient au Client de les valider par écrit ou de notifier ses observations éventuelles sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour quelque raison que ce soit lui être reproché d'avoir établi son étude dans ces conditions. Cette validation devra être réalisée dans les 15 jours après la remise du rapport.

Il est précisé que l'étude géotechnique repose sur une investigation du sol dont la maille ne permet pas de lever la totalité des aléas toujours possibles en milieu naturel. En effet, des hétérogénéités, naturelles ou du fait de l'homme, des discontinuités et des aléas d'exécution peuvent apparaître compte tenu du rapport entre le volume échantillonné ou testé et le volume sollicité par l'ouvrage, et ce d'autant plus que ces singularités éventuelles peuvent être limitées en extension.

Les éléments géotechniques nouveaux mis en évidence lors de l'exécution et non détectés lors de la mission d'origine (failles, remblais anciens, karsts, venues d'eau, hétérogénéités localisées...), ainsi que tout incident survenu au cours des travaux (éboulements, glissement...), pouvant avoir une influence sur les conclusions du rapport géotechnique G2 ou G3, doivent immédiatement être signalés aux bureaux d'études géotechniques en charge du suivi géotechnique des travaux (missions G3 et G4) afin qu'ils en analysent les conséquences sur les conditions d'exécution et la conception de l'ouvrage.

Si un caractère évolutif particulier a été mis en évidence lors d'une phase d'étude (notamment glissement, érosion, dissolution, matériaux évolutifs, ...), les recommandations et conclusions du rapport doivent être réactualisées à chaque étape suivante de la conception ou de l'exécution. En effet, ce caractère évolutif peut remettre en cause ces recommandations et rendre caduques les conclusions notamment s'il s'écoule un laps de temps important avant leur mise en œuvre.

7. Hydrogéologie

Les niveaux d'eau indiqués dans le rapport géotechnique correspondent uniquement aux niveaux relevés au droit des sondages exécutés et à un moment précis. En dépit de la qualité de l'étude, la SAGE ne peut être tenue responsable de la non connaissance de la variation des niveaux d'eau en relation avec la météo ou une modification de l'environnement des études. Seule une étude hydrogéologique spécifique permet de déterminer les amplitudes de variation de ces niveaux, les cotes de crue et les PHEC (Plus Hautes Eaux Connues).

8. Réception des études, fin de mission, délais de validation des documents par le client

A défaut de clauses spécifiques contractuelles, la remise du dernier document à fournir dans le cadre de la mission fixe le terme de la mission. L'approbation doit intervenir au plus tard deux semaines après sa remise au Client et est considérée implicite en cas de silence. La fin de la mission donne lieu au paiement du solde de la mission.

9. Conditions d'utilisation du rapport

Le rapport constitue une synthèse de la mission géotechnique définie par la commande. Le rapport et ses annexes forment un ensemble indissociable. Toute interprétation, reproduction partielle ou utilisation par un autre Maître d'Ouvrage, un autre constructeur ou Maître d'œuvre, ou pour un projet différent de celui objet de la mission, ne saurait engager la responsabilité de la SAGE et pourra entraîner des poursuites judiciaires.

Rappel : Toute modification apportée au projet et à son environnement, ou tout élément nouveau mis à jour au cours des travaux et non détecté lors de la mission d'origine, ainsi que tout incident survenu au cours des travaux, doit être signalé à la SAGE et nécessite une adaptation/mise à jour du rapport initial dans le cadre d'une nouvelle mission. Il en va de même pour toute modification du cadre normatif.

10. Réserve de propriété, confidentialité, propriétés intellectuelles

Les coupes de sondages, plans et documents établis par la SAGE dans le cadre de sa mission ne peuvent être utilisés, publiés ou reproduits par des tiers sans son autorisation. Le Client ne devient propriétaire des prestations réalisées par la SAGE qu'après règlement intégral des sommes dues. Le Client s'engage à maintenir confidentielle et à ne pas utiliser pour son propre compte ou celui de tiers toute information se rapportant au savoir-faire de la SAGE, qu'il soit breveté ou non, portée à sa connaissance au cours de la mission et qui n'est pas dans le domaine public, sauf accord préalable de la SAGE.

11. Conditions d'établissement des prix

Les prix unitaires s'entendent hors taxes. Ils sont majorés de la T.V.A. au taux en vigueur le jour de la facturation. Ils sont établis aux conditions économiques en vigueur à la date d'établissement de l'offre. Ils sont fermes et définitifs pour une durée de trois mois.

Nos montants intègrent les frais d'assurances professionnelles présentées ci-après.

12. Assurances

La SAGE est couverte par un contrat d'assurance professionnelle souscrit auprès de SMA SA, garantissant les responsabilités décennale et civile professionnelle pour des constructions dont le coût total HT est inférieur à 26 000 000 € et dans le cadre des missions professionnelles G1 à G5 et/ou de Maitrise d'œuvre conception-réalisation et/ou d'expertises.

**ANNEXE 2 : ETUDE DE RISQUES NIVOLOGIQUES – BUREAU
D'ETUDES ALEA, NOVEMBRE 2024**

SATA Group – L'Alpe d'Huez

Télécabine du Villarais – Etude de risques nivologiques
- caractérisation géographique du risque avalancheux
- modélisation numérique des efforts potentiellement engendrés

Novembre 2024



Photo 1 : zone à risques du projet de la future télécabine du Villarais (tracé approximatif en pointillés rouges). Photo fournie par SATA Group.

Destinataire : SATA Group – L'Alpe d'Huez	Fournisseur : bureau d'études ALEA
Thierry Hugues – directeur d'exploitation de la station	Réalisation : Cédric Périllat Supervision : Alain Duclos Novembre 2024



TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	3
2	ETUDE NATURALISTE	4
2.1	Localisation du projet et analyse de la topographie	4
2.2	Analyse des hauteurs de neige de la station de mesure de l'Alpe d'Huez	4
2.3	Analyse de la CLPA et de l'EPA	5
2.3.1	Analyse de la CLPA	5
2.3.2	Analyse de l'EPA	6
2.4	Analyse du PIDA	8
2.5	Recueil d'informations auprès de l'exploitant	11
3	MODELISATION A L'AIDE DE RAMMS	13
3.1	Présentation du logiciel	13
3.1.1	Données topographiques	13
3.1.2	Paramètres d'entrée	13
3.2	Détermination des zones d'études	14
3.2.1	Evènement de 1981	16
3.2.2	Evènement de 1989	16
3.3	Définition des conditions nivologiques	18
3.4	Synthèse des simulations réalisées	18
3.4.1	Avalanche relative à l'évènement de 1989 : plaque de neige sèche ou humide sur couche fragile	19
3.4.2	Avalanche relative à l'évènement de 1981 : plaque de neige sèche ou humide sur couche fragile	20
3.4.3	Plaque de fond	21
3.5	Interprétation des résultats	22
3.5.1	Préambule	22
3.5.2	Cas défavorables les plus représentatifs	22
3.5.3	Prise en compte de l'effet des arbres dans la zone d'écoulement	26
3.5.4	Direction de l'application des efforts	27
4	CONCLUSION	28
5	ANNEXES	29



1 INTRODUCTION

Cette étude fait suite à la commande d'une étude de risques nivologiques de SATA Group – L'Alpe d'Huez sur le secteur Signal à Villard Reculas, dans le cadre du projet de remplacement du télésiège du Villarais par une télécabine. Ce projet de remplacement de l'appareil en place consiste en la modification du tracé actuel, avec un déplacement général de la ligne au sud de l'existante, suite à la modification d'implantation de la gare de départ et de la gare d'arrivée.

Celle-ci se base sur l'analyse :

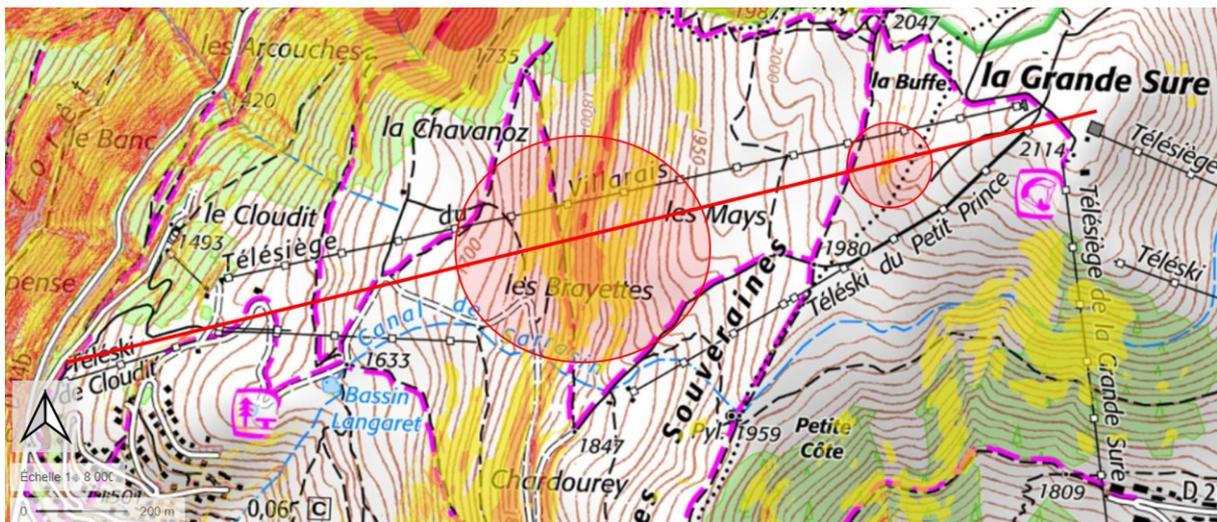
- des données (localisation et esquisse architecturale du projet) fournies par le commanditaire et le cabinet ERIC, maître d'œuvre du projet.
- des hauteurs de neige relevées sur le secteur grâce à la station de mesures de type Flowcapt de l'Alpe d'Huez.
- de la CLPA (Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanches répertoriant l'emprise maximale des évènements du passé) et de l'EPA (Enquête Permanente sur les Avalanches) de la zone concernée.
- du PIDA (Plan d'Intervention pour le Déclenchement des Avalanches) en place sur le domaine skiable (mis à jour le 02/12/2022).
- des informations recueillies auprès des acteurs de terrain lors de visite du 15/11/2024, complétées par des relevés GPS de terrain et des photos au drone.
- des résultats issus de la modélisation d'écoulement avalancheux à l'aide du logiciel RAMMS en se basant sur différents scénarii évoqués avec le maître d'ouvrage.

2 ETUDE NATURALISTE

2.1 LOCALISATION DU PROJET ET ANALYSE DE LA TOPOGRAPHIE

Le projet de la télécabine du Villarais consiste au remplacement du télésiège débrayable 4 places LEITNER du Villarais, datant de 1997, au départ de Villard Reculas. Celui-ci présentait un dénivelé de 543 m en face ouest de la Grande Sure, entre la gare aval située à 1560 m d'altitude et la gare amont à 2103 m, proche du sommet de la Grande Sure. Le projet étudie la possibilité d'un nouveau tracé légèrement décalé vers le sud, avec un départ qui se situerait plus bas, au niveau du départ de l'actuel télésiège de Cloudit à 1480 m d'altitude, et une arrivée légèrement plus haute (2114 m d'altitude), au niveau de l'arrivée du télésiège du Signal (cf. Carte 1).

Le tracé de la nouvelle télécabine traverse deux zones potentiellement impactées par le risque d'avalanche car situées ou dominées par des pentes à plus de 30° (et donc suffisamment raides pour permettre le déclenchement d'une avalanche) : la zone des Brayettes (entre 1700 et 1900 m d'altitude) et celle de la Buffe sous le sommet de la Grande Sure, aux alentours de 2050 m d'altitude (cf. Carte 1). A noter que l'ampleur de cette dernière est limitée (environ 20-30 m de dénivelé).



Carte 1 : en rouge, tracé du projet de la télécabine du Villarais sur fond de carte IGN SCAN25. Entourées en rouge, les zones à plus de 30° concernant l'enjeu : les Brayettes et la Buffe. Source : Géoportail.

2.2 ANALYSE DES HAUTEURS DE NEIGE DE LA STATION DE MESURE DE L'ALPE D'HUEZ

Une station de mesure de type Flowcapt est installée sur la commune de l'Alpe d'Huez, sous le sommet de la Grande Sure, à 2064 m d'altitude. L'analyse des hauteurs de neige enregistrées depuis 2009 nous permet de nous rendre compte de l'enneigement du secteur (cf. Figure 1). Si l'on écarte les années 2013 et 2014 qui semblent présenter des anomalies de mesure, on remarque que la hauteur de neige du mât principal ne dépasse que très rarement les 150 cm (excepté ponctuellement comme lors d'épisodes neigeux, cf. années 2018, 2019 et 2021). La hauteur mesurée au mât déporté atteint parfois les 200 cm (cf. année 2020).

L'analyse des vents dominants met clairement en avant un vent du nord (cf. exemple de l'année 2024 sur la Figure 2).

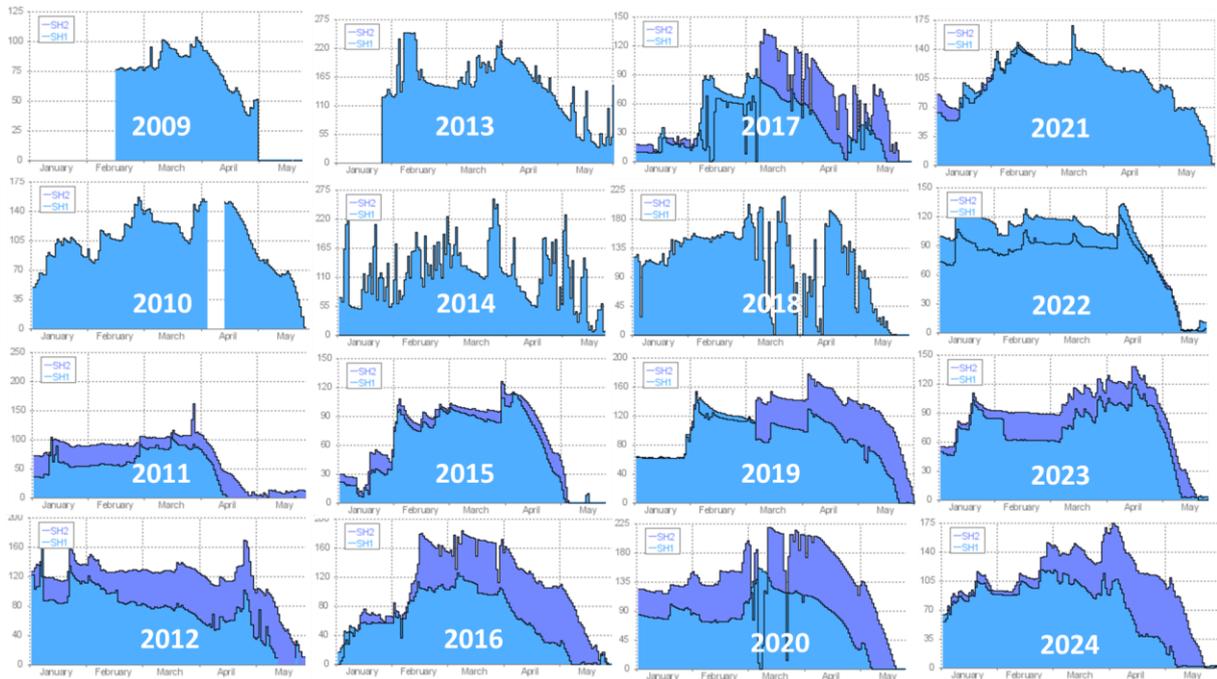


Figure 1 : relevés des mesures de hauteur de neige (en cm) au mât principal (SH1) et au mât déporté (SH2) de la station de mesures de type Flowcapt de l'Alpe d'Huez (2064 m d'altitude) de janvier à mai.

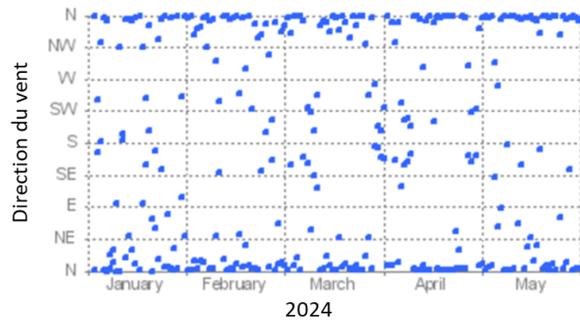


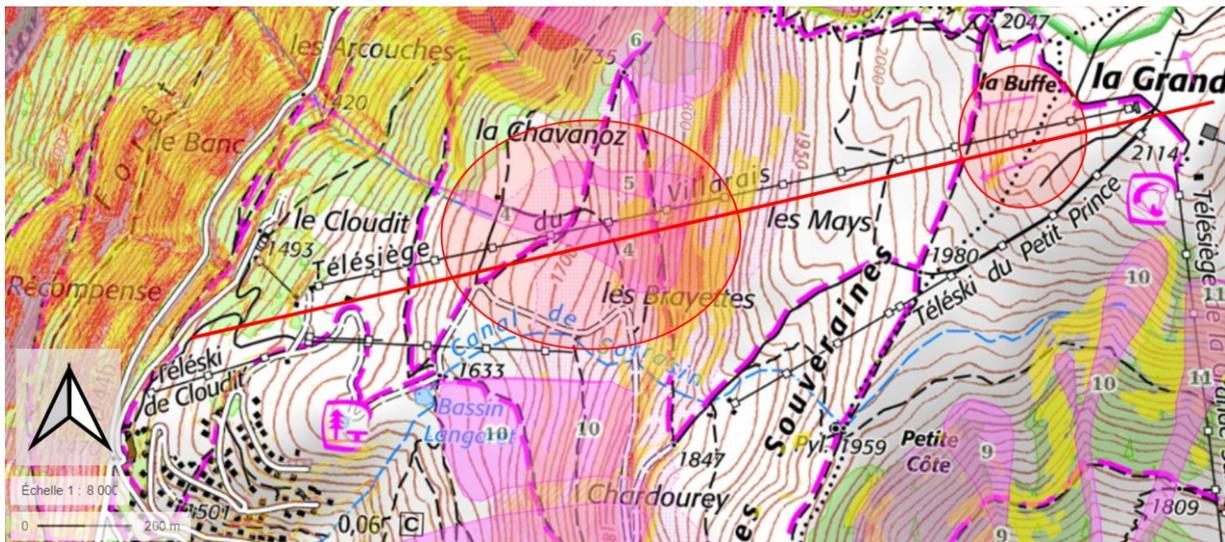
Figure 2 : relevés de la direction du vent de la station de mesures de type Flowcapt de l'Alpe d'Huez (2064 m d'altitude) de janvier à mai 2024.

2.3 ANALYSE DE LA CLPA ET DE L'EPA

2.3.1 Analyse de la CLPA

Cette partie du domaine de l'Alpe d'Huez est intégrée dans la zone AY61 du plan départemental du dispositif de la CLPA (secteur 38550 - Villard Reculas).

La zone de la télécabine du Villarais est concernée par les emprises 4 et 5 des événements avalancheux de la CLPA (respectivement dénommées « mur de Villard rive droite » et « Forêt rive gauche », correspondant à la zone des Brayettes sur l'IGN, cf. Carte 2). On remarque également 2 avalanches signalées par des flèches mais non numérotées car représentant une emprise d'une largeur inférieure à 30 m, et qui correspondraient à la pente O de la Buffe.

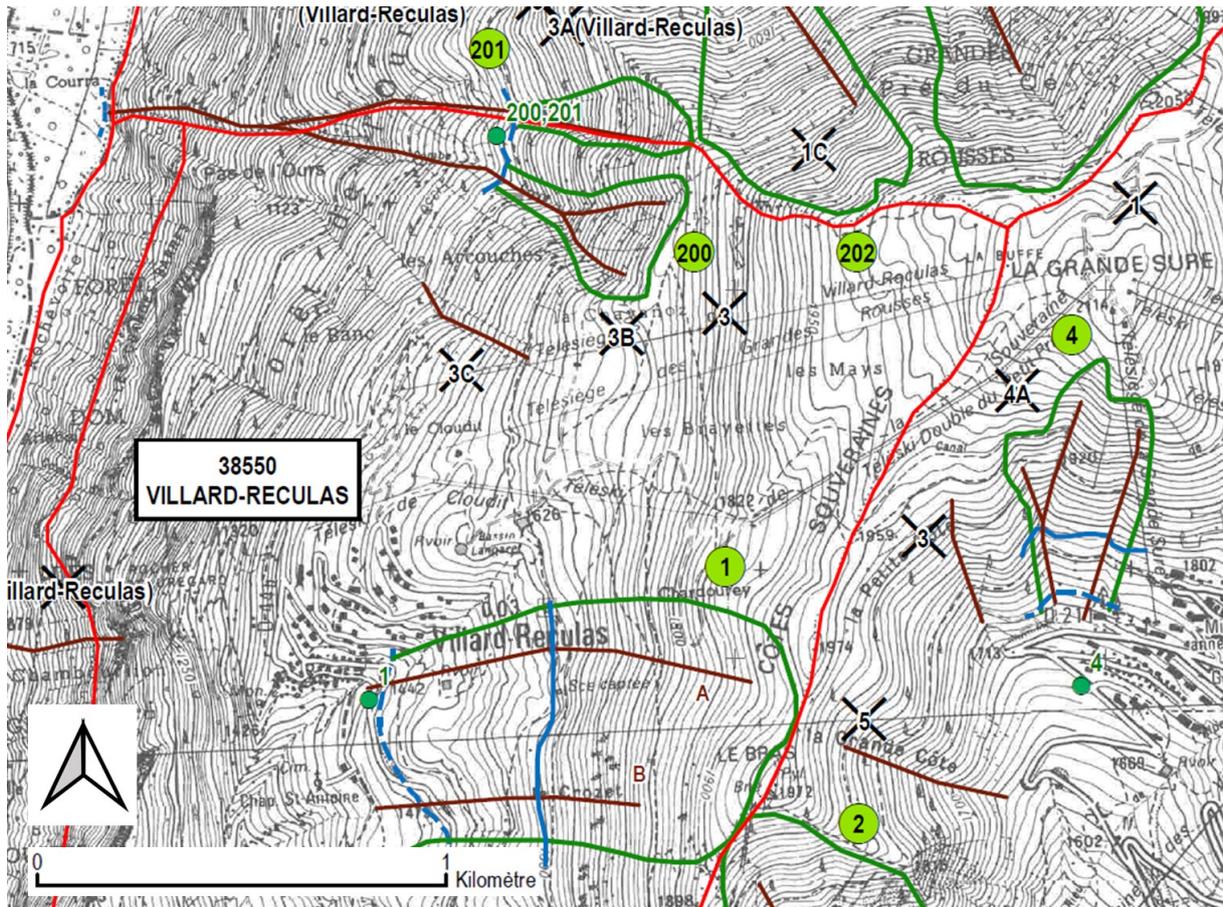


Carte 2 : emprise des avalanches issues de la CLPA et recensées sur le secteur, sur fond de carte IGN SCAN25. Entourées en rouge, les emprises 4 et 5 qui concernent le projet, ainsi que les évènements localisés de faible ampleur désignés par des flèches. Le tracé rouge correspond au projet de la nouvelle télécabine. Source : Géoportail.

D'après les descriptifs de la fiche signalétique CLPA du secteur, l'évènement majeur recensé sur cette zone date de 01/1981, et concernerait une avalanche de plaque sur couche fragile en neige sèche, qui se serait décrochée vers 1800 m sur l'intégralité du versant de la Grande Sure situé sous la crête des Côtes Souveraines, depuis le Bras jusqu'à la Buffe, soit sur une distance de 1 à 1,5 km. A la fin des années 1980 - début des années 1990, une avalanche déclenchée préventivement dans le cadre de la sécurisation du domaine skiable est passée devant la bergerie et s'est arrêtée dans la forêt. Cependant (toujours d'après la fiche signalétique de la CLPA), ce site, intégralement skié à ce jour et intégré au PIDA de la station de l'Alpe d'Huez depuis 1990, ne permet plus les conditions d'instabilité potentielle de l'époque (cf. Extrait 1 et Extrait 2 de la fiche CLPA en annexe).

2.3.2 Analyse de l'EPA

Bien qu'aucune EPA ne soit ouverte pour les emprises 4 et 5, elles existent pour les emprises voisines 6 et 7 (site n°200 dénommé Combe Croze - 4 évènements recensés, et site n°201 dénommé Combe Poisot – 28 évènements recensés), ainsi que pour l'emprise 2 (site n°1 dénommé Côtes Souveraines – 15 évènements recensés), de même orientation ouest (cf. Carte 3 et Extrait 3 à Extrait 5 des listes de l'EPA en annexe). Les différents évènements enregistrés indiquent une majorité d'occurrences en neige humide par condition de redoux (augmentation des températures et/ou pluie), parfois sous forme de plaque de fond, parfois sous forme de plaque superficielle sur couche fragile (cf. Extrait 6 du manuel des observateurs de l'EPA en annexe). A titre d'exemple, les évènements avalancheux de neige humide des 28/01 et 02/02/2021 à Côtes Souveraines, survenus lors d'un épisode de redoux pluvieux également mis en évidence par les mesures de la station Flowcapt (cf. Figure 3).



Carte 3 : carte répertoriant les sites EPA du secteur de Villard Reculas : n°1 = Côtés souveraines, n°200 = Combe Croze, n°201 = Combe Poisot. Source : INRAE.

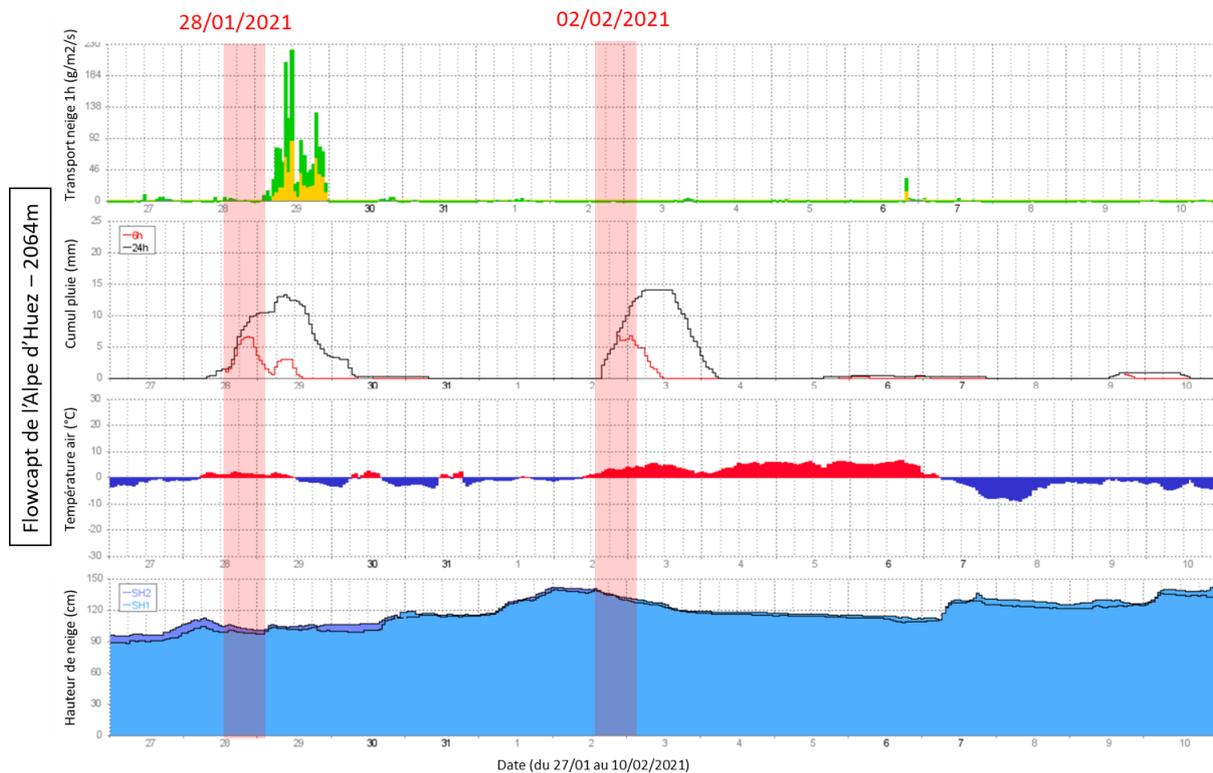
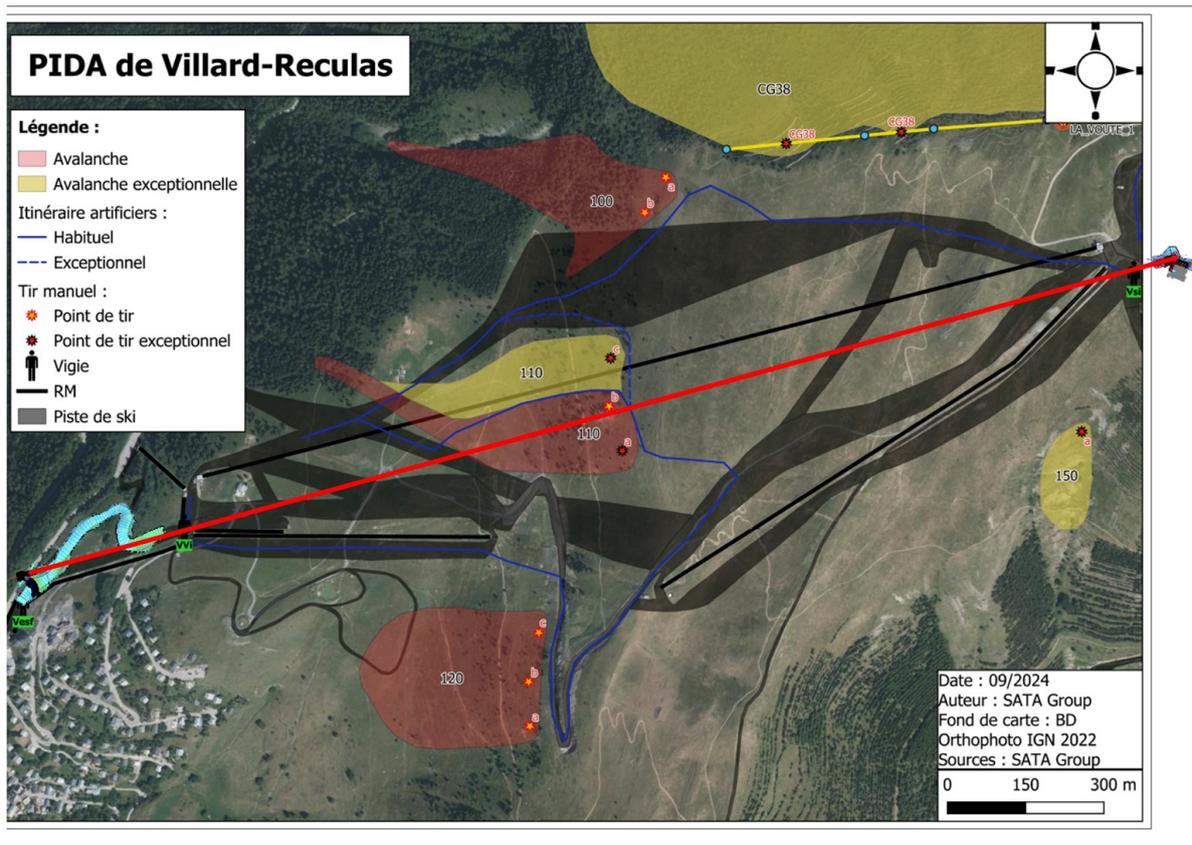


Figure 3 : relevés des mesures du 27/01 au 10/02/2021 de la station de type Flowcapt de l'Alpe d'Huez: hauteur de neige au mât principal (SH1, bleu clair) et au mât déporté (SH2, bleu foncé), température de l'air, cumul de pluie en 6h (rouge) et en 24 h (noir), et transport de neige par le vent. Encadrées en rouge, les périodes concernant les évènements avalancheux du 28/01 et du 02/02, au cours d'un épisode de redoux pluvieux.

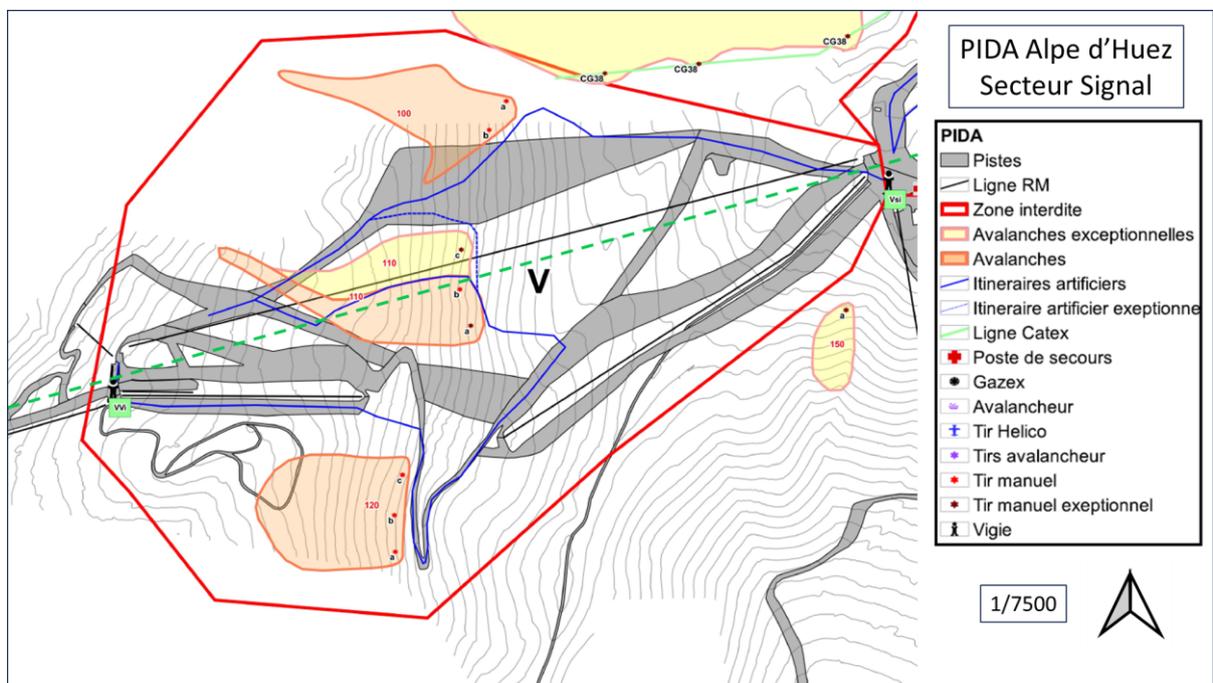
2.4 ANALYSE DU PIDA

D'après l'analyse de la version actuelle du PIDA (mis à jour en décembre 2022), le secteur Signal incluant la télécabine du Villarais serait concerné par la zone 110 qui correspond aux emprises 4 et 5 de la CLPA (cf. Carte 4 et Carte 5). A noter que la zone 110 est également annotée zone 510 en fonction des documents (cf. Photo 2), et que c'est cette dernière dénomination qui est actuellement utilisée.

Cette zone comporte 3 points de tir différents : 1 point de tir courant (510b) et 2 points de tir exceptionnels (510a et c) (cf. Carte 5, Photo 2 et Tableau 1).



Carte 4 : plan de situation du projet de la télécabine du Villarais (en rouge) sur fond de carte PIDA, fourni par le cabinet ERIC.



Carte 5 : extrait du PIDA du domaine de l'Alpe d'Huez (mis à jour le 02/12/2022). En pointillés verts, le tracé approximatif de la nouvelle télécabine du Villarais.



Photo 2 : extrait de l'atlas de déclenchement de la zone 510 (ex-110) du secteur Signal du PIDA de l'Alpe d'Huez. En pointillés rouges, le tracé du nouveau projet.

Tableau 1 : récapitulatif de la zone 510 du PIDA et des moyens de déclenchement associés, en regard avec la CLPA.

Zones du PIDA	Nb de points de tir	N° CLPA	Déclenchement principal	Déclenchement de substitution
510 (ex-110)	510a, 510b et 510c	4 et 5	Purge à ski ou grenadage manuel	Grenadage hélico ou DaisyBell



2.5 RECUEIL D'INFORMATIONS AUPRES DE L'EXPLOITANT

La visite sur place, effectuée le 15/11/2024, a permis de s'entretenir avec Jean-Christophe LAPALUS directeur des pistes et Philippe MULLER, son directeur-adjoint. Les coordonnées exactes des pylônes nous ont également été fournies par Jean MASLOWSKI, responsable SIG de SATAGroup.

Les informations complémentaires suite à ces échanges sont les suivantes :

- Bien qu'initialement sécurisée par déclenchement préventif à skis, le PIDA à l'aide d'explosif de cette zone n'existe que depuis 1990, suite à un déclenchement d'ampleur exceptionnelle provoqué à skis par Philippe lui-même dans le cadre de la sécurisation du domaine skiable en 1989 (événement majeur faisant office de référence dans la CLPA). Cette avalanche serait partie sur 80 cm d'épais et 70 m de large (plaque de neige sèche sur couche fragile), aurait traversé le replat à côté de la bergerie pour terminer sa course dans la forêt en contrebas. Actuellement traitée par le point de tir 510a, elle n'a jamais été observée de cette ampleur depuis : il est plutôt courant d'observer des cassures de l'ordre de 15-20 cm avec un dépôt s'arrêtant au bas de la pente (cf. Photo 3).
- Contrairement à ce qu'indiquent les documents du PIDA, le point de tir le plus fréquent et le plus conséquent (à l'explosif) n'est pas le 510b mais le 510a. Les points de tir 510b et 510c sont principalement purgés à skis, et donnent des résultats de faible ampleur.
- Contrairement aux emprises voisines 6 et 7 de la CLPA, aucune plaque de fond n'a été recensée dans cette zone. Plusieurs raisons peuvent l'expliquer :
 - le secteur est intensément skié, ce qui érode le manteau neigeux au fur et à mesure et empêche la constitution d'un manteau neigeux épais propice aux reptations et plaques de fond.
 - le secteur est également très fréquemment sécurisé par déclenchement préventif, même lors des périodes de fermeture administrative de la station (cf. COVID-19).
 - le terrain a depuis longtemps été aménagé : de nombreuses banquettes ont été creusées à flanc de pente, et des tripodes ont également été ajoutés sur la rive droite de la petite combe en 2018 (cf. Photo 3).
- On observe la présence d'arbres ayant poussé naturellement dans la zone d'écoulement, malgré les coulées artificiellement provoquées par le PIDA. Cela confirme l'absence de phénomène avalancheux d'ampleur lors des derniers hivers.
- Concernant les avalanches des pentes O de la Buffe sous la Grande Sure (identifiées par des flèches sur la CLPA), rien n'y a jamais été observé de mémoire de pisteurs. Ces phénomènes, d'ampleur forcément limitée de par le faible dénivelé concerné, semblent donc également anecdotiques de par leur occurrence (cf. Photo 4).

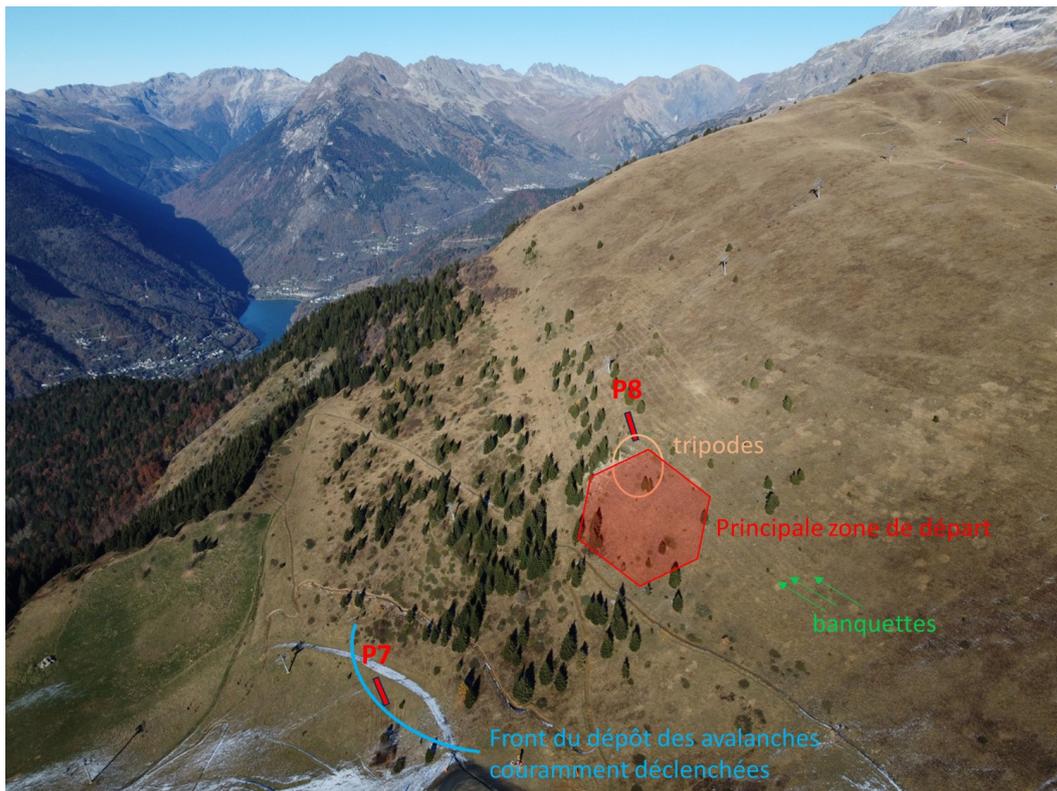


Photo 3 : 15/11/2024 - vue aérienne de l'enjeu, avec les pylônes P7 et P8 parmi les différents éléments de terrain remarquables.



Photo 4 : 15/11/2024 – vue de la pente O de la Buffe juste avant l'arrivée du projet de la télécabine.



3 MODELISATION A L'AIDE DE RAMMS

3.1 PRESENTATION DU LOGICIEL

Les valeurs de pression liées à une avalanche dense (ou à la partie dense d'une avalanche mixte) sont généralement les plus contraignantes vis-à-vis du dimensionnement d'une structure. La modélisation a été réalisée à l'aide du logiciel RAMMS (Rapid Mass Movement Simulation). Cet outil a été développé par l'Institut Fédéral Suisse pour l'étude de la neige et des avalanches (SLF) et il représente aujourd'hui le logiciel le plus performant et le plus utilisé dans le domaine au niveau européen voire mondial. Son fonctionnement général repose sur le cadre des équations moyennées dans l'épaisseur incompressible (équations de Saint Venant) et fermées par un modèle rhéologique de Voellmy. Ce modèle, couplé à un MNT (Modèle Numérique du Terrain) précis, permet à la fois d'évaluer finement l'emprise des avalanches mais aussi de connaître, pour tout point de l'écoulement, les valeurs maximales de hauteur et de vitesse. De plus, sur la base de formulations analytiques, le modèle calcule automatiquement la pression de l'écoulement libre, en absence d'obstacle autre que la morphologie du terrain. Le modèle a été initialement calibré, et il est constamment implémenté par le SLF, en utilisant les données issues du site test de la Vallée de la Sionne (Suisse) où des avalanches à échelle réelle sont déclenchées, observées et mesurées à l'aide de capteurs sophistiqués. Les paramètres d'entrée nécessaires au bon fonctionnement du modèle sont détaillés ci-dessous.

3.1.1 Données topographiques

Le Modèle Numérique du Terrain (MNT) permet au logiciel de connaître la forme du terrain et de simuler le comportement de l'écoulement en fonction de sa morphologie. Sa résolution initiale est de 1 m. Cependant, celle-ci peut être dégradée afin de lisser les aspérités du terrain qui sont, dans la réalité, adoucies par la neige en place ou « gommées » par d'importants volumes d'écoulements. A noter que le MNT issu de la base de données RGE Alti de l'IGN s'est avérée de mauvaise définition sur notre secteur d'étude. Nous avons donc eu recours au MNT fourni par Jean MASLOWSKI de SATA Group.

3.1.2 Paramètres d'entrée

- Emprise de la zone de départ : cette donnée est essentielle puisqu'elle détermine en grande partie le volume mobilisé. Selon les scénarii, elles ont été déterminées à partir de la visite de terrain, des données de la CLPA et de l'entretien mené avec Philippe Muller.
- Epaisseur de neige mobilisée dans la zone de départ : c'est la seconde donnée essentielle pour déterminer le volume mobilisé. Nous avons croisé les résultats de notre expérience des phénomènes considérés, des observations de terrain (Flowcapt) et des données recueillies oralement auprès de Philippe Muller.
- Masse volumique ($\rho = \text{XXX kg/m}^3$) et cohésion ($C_o = \text{XXX Pa}$) : de la même manière, nous avons croisé les propos de Philippe Muller avec les références historiques de la CLPA et notre expérience du type de phénomène en question pour déterminer des valeurs cohérentes aux observations.



- Coefficients de frottement : les paramètres ξ et μ représentent la rugosité et la tortuosité du terrain (ξ) ainsi que le comportement rhéologique du matériau (μ). Ils sont calculés automatiquement par le logiciel à partir de l'analyse du MNT (pente, altitude et courbure du terrain), des informations relatives à la couverture végétale, de la période de retour et de l'ampleur du volume mobilisé. Une avalanche exceptionnelle mobilisant des millions de mètres cubes de neige sera très peu, voire pas du tout, influencée par la rugosité du terrain alors que ces valeurs seront cruciales pour une petite purge.
- Critères d'arrêt des calculs : lorsque la quantité de mouvement est inférieure à 5% de la valeur maximale atteinte et/ou lorsque la vitesse du centre de masse de l'avalanche (COM) est inférieure à un seuil défini (en m/s). Ils permettent de s'affranchir de phénomènes de diffusion numérique des simulations.

Chaque simulation a été identifiée de la façon suivante : MNTm-zdX-rhoXXX-hXXX-CoXXX-SXX-COMX

MNTm = précision de MNT retenue (dégradée ou non)

zdX = identifiant de la zone de départ

rhoXXX = masse volumique de la neige dans la zone de départ (XXX kg/m³)

hXXX = hauteur de neige mobilisée dans la zone de départ (XXX cm)

CoXXX = cohésion (XXX Pa), comprise généralement entre 0 et 100 Pa pour les neiges sèches, jusqu'à 200 Pa pour les neiges humides

S ou TXX = qualification des dimensions de l'avalanche (S pour « Small », T pour « Tiny ») et période de retour en années (10, 30, ou 100)

COMX = Centre-of-Mass avec X = 0 ou 1 m/s

3.2 DETERMINATION DES ZONES D'ETUDES

Le projet de la télécabine du Villarais est soumis au risque nivologique des pentes O de la Grande Sure. A priori, deux zones méritaient une attention : les Brayettes et la Buffe. Au vu de la configuration du terrain (faible dénivelé), de l'éloignement du pylône et de l'extrêmement faible occurrence (voire inexistence d'après les témoignages) de l'évènement, cette dernière ne sera finalement pas sujette à vigilance dans le cadre de cette étude (cf. Photo 5). Notre attention se focalisera donc sur les Brayettes avec une zone de départ située aux alentours de 1900 m d'altitude (zone 510 du PIDA).

Si l'on considère l'évènement exceptionnel de 1981 qui avait emporté toute la face ouest de la Grande Sure (zone violette hachurée, délimitée par des pointillés violets, cf. Carte 6), les pylônes P7 et P8 sont potentiellement concernés par le risque nivologique. A noter que malgré une zone de départ plus étendue que celle de l'évènement de 1989 (zone violette, emprise n°4), l'écoulement ne se serait pas répandu aussi bas, ce qui laisse supposer un volume moins important et donc probablement une épaisseur de manteau neigeux mobilisé plus faible (<80 cm). L'évènement de 1989, qui semblerait donc a priori plus impactant pour les infrastructures de par un volume mobilisé plus important, ne concernerait quant à lui que le pylône P7. Les deux scénarii seront donc étudiés.



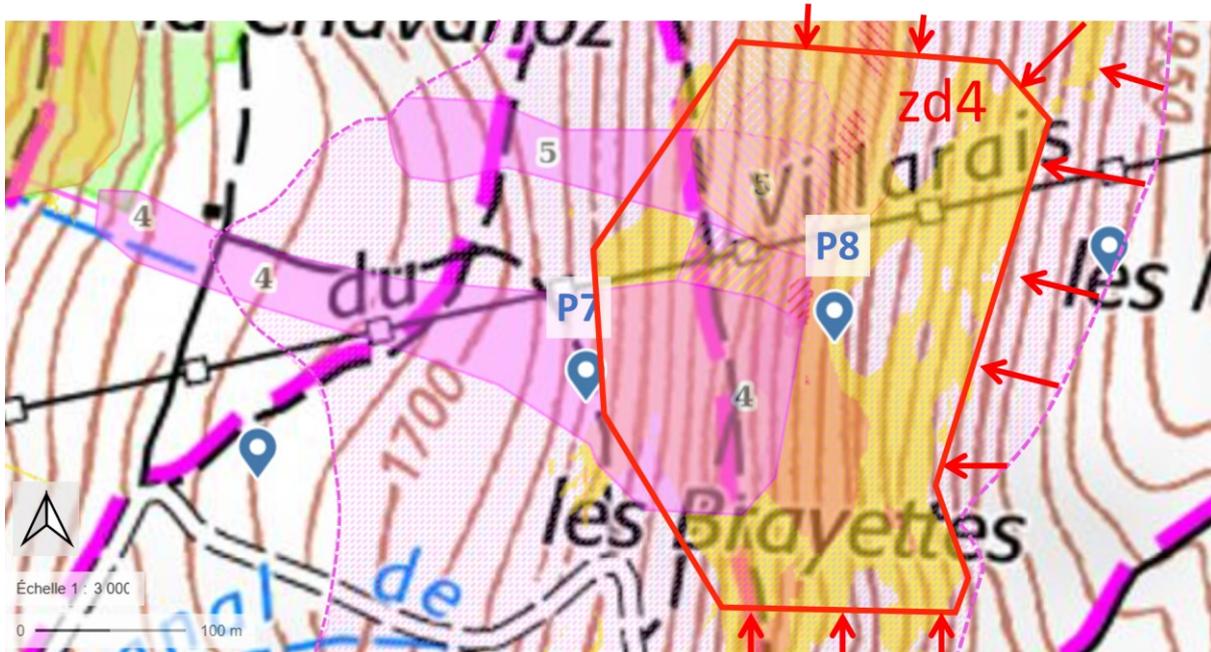
Photo 5 : 15/11/2024 – vue aérienne de la fin du tracé de la nouvelle télécabine du Villarais (pointillés rouges).



Carte 6 : points GPS des différents pylônes de la future télécabine du Villarais, sur fond de carte IGN SCAN25, avec emprises CLPA (enveloppes violettes, pleines et hachurées) et carte des pentes (>30°, en jaune/orange). Source : Géoportail.

3.2.1 Evènement de 1981

De par son étendue (rupture sur une largeur comprise entre 1 et 1,5 km), l'avalanche spontanée de janvier 1981 est un évènement incontestablement remarquable : la continuité d'une sous-couche fragile fut sans doute une condition nécessaire à l'occurrence de ce phénomène. Il est par ailleurs intéressant de relever que le sommet de l'enveloppe (la zone de départ) a peut-être été surestimé car englobant des pentes inférieures à 30° (rarement sujettes à rupture sommitale). Cela nous amène donc à reconsidérer le dénivelé de cette zone de départ. Pour notre modélisation, nous en limiterons également l'étendue spatiale : nous la considérerons suffisamment large, tout en la réduisant afin de nous focaliser sur l'enjeu de notre projet, c'est-à-dire P7 et P8 (zone dénommée zd4, cf. Carte 7).



Carte 7 : enjeu de l'étude sur fond de carte IGN SCAN25. En rouge, la définition de la zone de départ correspondant à l'évènement de janvier 1981 (zd4).

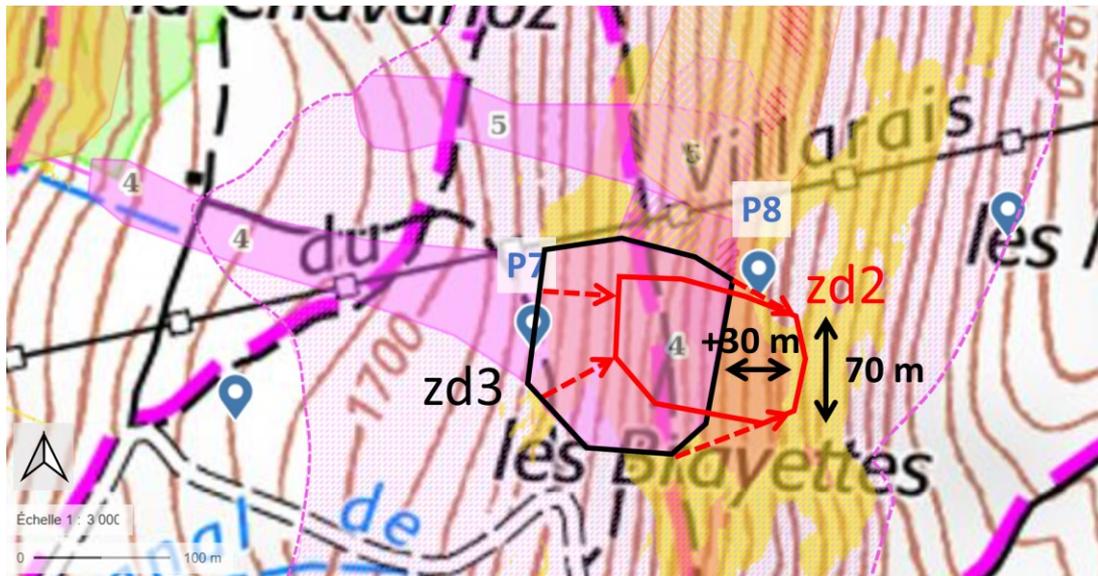
3.2.2 Evènement de 1989

L'évènement de 1989 concerne l'emprise 4 de la CLPA (dénommée zd3). Néanmoins, les éléments recueillis lors de la visite de terrain, couplés au témoignage de l'acteur directement concerné par les faits, diffèrent légèrement de cette dernière : la zone de départ réelle se trouverait légèrement plus haute (+30 m de dénivelé) et serait moins large que celle indiquée par la CLPA (70 m au lieu de 120, point de tir 510a du PIDA, cf. Carte 8). Cela semble effectivement plus cohérent à la topographie des lieux : la plaque se serait ainsi rompue au niveau de la rupture de pente (zone de fragilité du manteau neigeux) et aurait uniquement emporté l'intégralité de la petite combe formée par le micro-relief, dans laquelle elle se serait déclenchée (zone dénommée zd2). A noter qu'aujourd'hui, cette configuration est également renforcée par le reboisement des abords de cette combe (cf. Photo 6). Seul P7 sera concerné par ce scénario.

Depuis 2018, des tripodes ont été rajoutés en rive droite de la petite combe mentionnée ci-dessus. Avec un effet qui peut être discutable sur le départ de plaque sur couches fragiles continues et très actives, l'influence sur l'éventuel départ de plaques de fond est quant à elle indéniable. Cette zone, dénommée zd1, sera étudiée dans le cadre de cette éventualité.

Dans un premier temps, nous considérerons le terrain nu tel qu'il l'était originellement. Cela permet d'aborder les configurations les plus défavorables. La présence d'arbres dans la zone d'étude ne sera abordée que dans un second temps.

L'ensemble des zones de départ définies ci-dessus sont représentées sur la Photo 6 et la Carte 9.



Carte 8 : enju de l'étude sur fond de carte IGN SCAN25. En noir, la zone de départ de la CLPA correspondant à l'évènement de 1989 (zd3). En rouge, la redéfinition de la zone de départ en accord avec la visite de terrain et les témoignages (zd2).

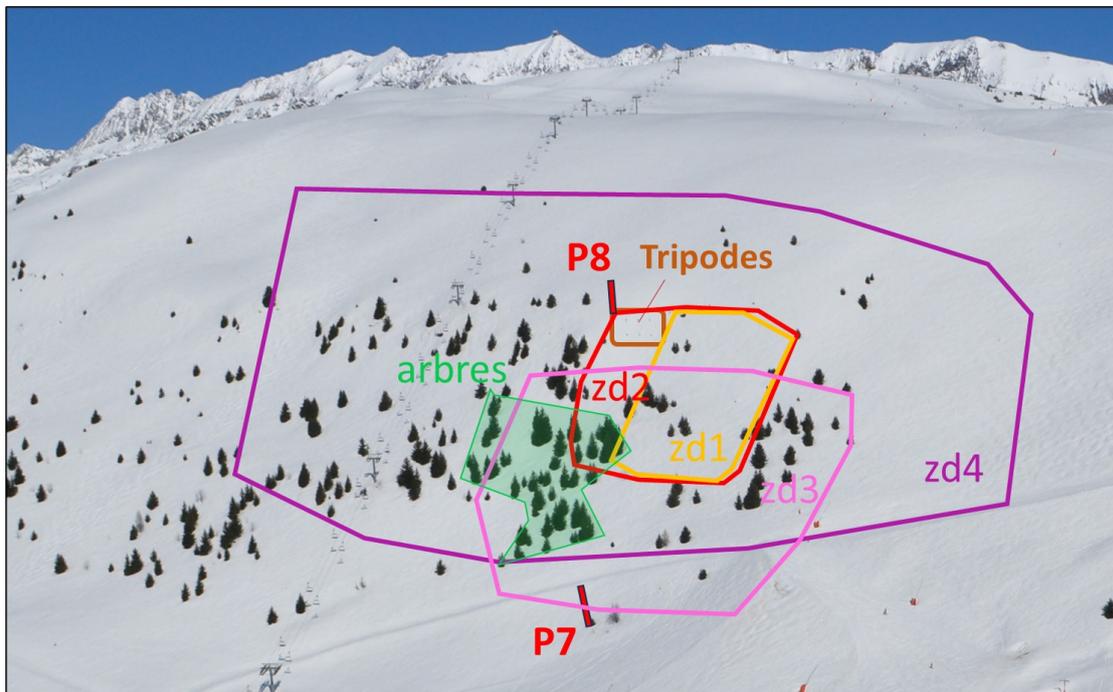
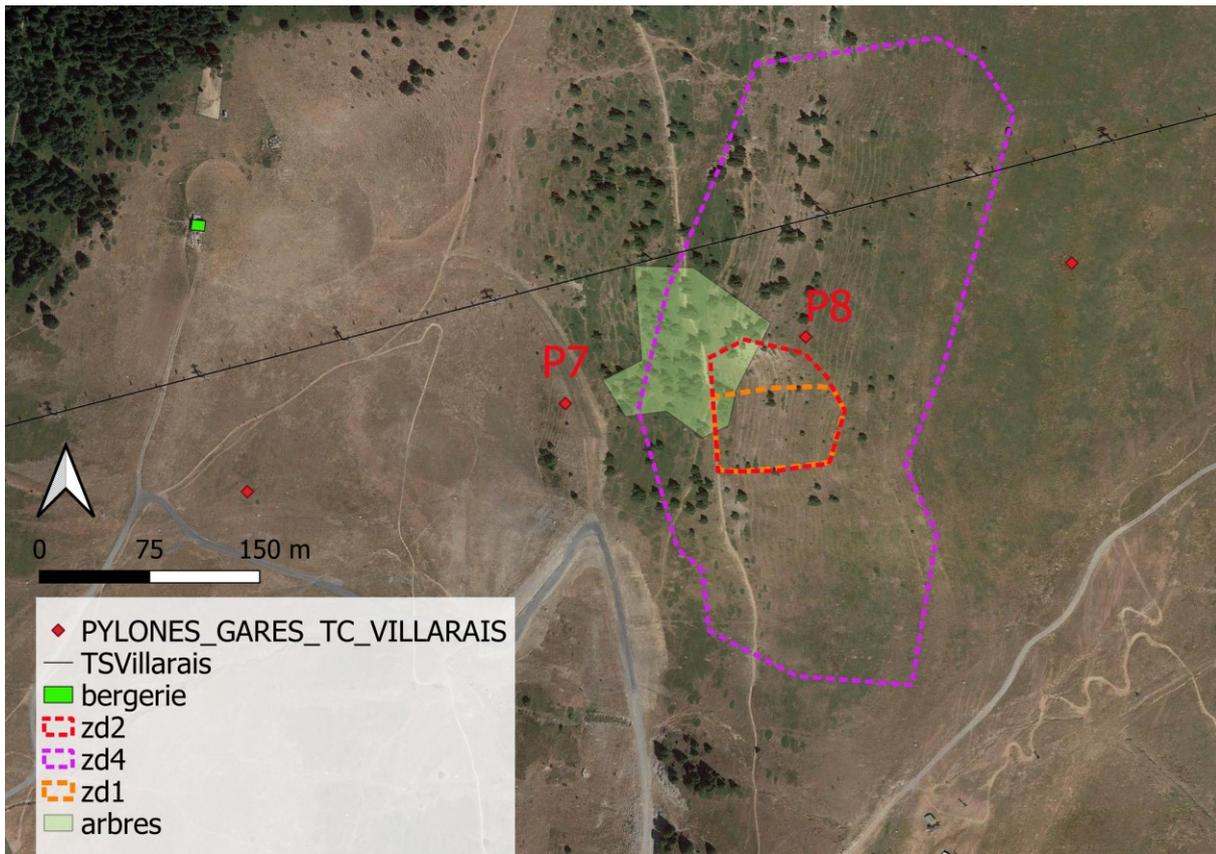


Photo 6 : représentation spatiale des différentes zones de départ considérées dans le cadre de l'étude de risques sur les pylônes P7 et P8.



Carte 9 : implantation des différentes zones de départ selon les scenarii étudiés.

3.3 DEFINITION DES CONDITIONS NIVOLOGIQUES

Les évènements de référence de la CLPA étaient liés à des conditions de neige nouvelle et sèche, dont la densité moyenne se situe généralement autour des 150 kg/m³. Aujourd'hui, au vu de l'évolution climatique et de l'alternance d'épisodes neige-pluie, le départ d'avalanche de plaque de neige humide (de densité légèrement supérieure, pouvant atteindre les 200 kg/m³) devient également plus courant.

Comme en témoigne l'étude de l'EPA, la probabilité de plaques de fond est aussi en augmentation dans le secteur. Bien qu'en conditions normales de fonctionnement, cette hypothèse n'est pas la plus probable (secteur fréquemment déclenché au cours du PIDA et largement skié, se retrouvant rapidement « râpé » et en conséquence peu propice à ce type d'avalanche qui nécessite une grosse quantité de neige dense (entre 300 et 400 kg/m³) pour se déclencher), l'éventualité d'une « saison blanche » suite à une fermeture administrative (cf. COVID19) pourrait accentuer ce risque. A noter que, dans ce cas, les tripodes permettraient de diminuer l'ampleur du phénomène en stabilisant une partie du manteau neigeux de la zone de départ.

3.4 SYNTHÈSE DES SIMULATIONS RÉALISÉES

Afin d'affiner la pertinence des résultats de la modélisation, 70 simulations ont été réalisées en faisant varier les différents paramètres (précision du MNT, étendue et hauteur de neige de la zone de départ, densité de la neige, cohésion, paramètres de frottement à travers l'ampleur et l'occurrence



du phénomène de référence et critères d'arrêt du calcul). La comparaison des résultats des différentes simulations par rapport aux observations historiques nous a ainsi permis de privilégier les configurations qui semblent correspondre au mieux à la réalité, afin d'avoir une estimation la plus juste possible des pressions, vitesses et hauteurs maximales d'écoulement aux coordonnées géographiques des futurs pylônes P7 et P8.

3.4.1 Avalanche relative à l'évènement de 1989 : plaque de neige sèche ou humide sur couche fragile

17 simulations ont été réalisées en considérant une épaisseur de manteau neigeux mobilisé de 80 cm sur zd2, en accord avec le témoignage recueilli, et en variant la précision du MNT de 1 à 4 m, avec des valeurs de densité de 150 kg/m³ pour la neige sèche et 200 kg/m³ pour la neige humide. Plusieurs paramètres de frottement et de cohésion ont également été testés, avec différentes valeurs d'arrêt des calculs (cf. Tableau 2).

Tableau 2 : liste des 17 configurations testées à partir de la zone zd2 pour une situation de plaque de neige sèche ou humide (d'épaisseur 80 cm) sur couche fragile, avec les pressions, hauteurs et vitesses maximales d'écoulements calculées au point P7 (seules certaines valeurs ont été reportées).

MNTm-zd2-rhoX-h080-CoX-S30-COMX				P (kPa)	H (m)	V (m/s)
MNT	rho	Co	COM			
1	150	0	0			
		50				
		100		52	1,76	18,6
2	150	100	0			
			1			
3	150	100	0			
			1			
4	150	0	0			
		50				
		100		64	1,7	20,7
		0	1			
		50				
		100		64	1,7	20,7
4	200	100	0	88,6	1,7	21,0
		200		79	1,59	19,9
		100	1	88,6	1,7	21,0
		200		79	1,6	20,0

Le cas le plus courant en conditions normales de déclenchement lors des PIDA correspond à une petite avalanche de plaque de neige sèche ou humide sur couche fragile sur zd2 (classé T10). Les 6 simulations correspondant à cette configuration sont listées dans le Tableau 3 ci-dessous.



Tableau 3 : liste des 6 configurations testées à partir de la zone zd2 pour une situation de plaque de neige sèche ou humide (d'épaisseur 20 cm) sur couche fragile, avec les pressions, hauteurs et vitesses maximales d'écoulements calculées au point P7 (seules certaines valeurs ont été reportées).

MNTm-zd2-rho150-h020-Co100-T10-COMX		P (kPa)	H (m)	V (m/s)
MNT	COM			
1	0	2,7	0,24	4,2
	1	2,7	0,24	4,2
2	0			
3	0	0,9	0,18	2,5
4	0	1,2	0,16	2,8
	1			

3.4.2 Avalanche relative à l'évènement de 1981 : plaque de neige sèche ou humide sur couche fragile

L'évènement exceptionnel de janvier 1981 sera également traité par conditions de neige sèche (150 kg/m³) et de neige humide (200 kg/m³). Différentes épaisseurs de plaque ont été passées en revue dans le but d'être au plus proche de la réalité. Son amplitude modeste malgré sa grande étendue nous la fait considérer comme Small et choisir la classe S100 car d'occurrence rare. Au total, ce sont 21 simulations qui ont été réalisées (cf. Tableau 4).

Tableau 4 : liste des 21 configurations testées à partir de la zone zd4 pour une situation de plaque de neige sèche ou humide (de grande étendue) sur couche fragile, avec les pressions, hauteurs et vitesses maximales d'écoulements calculées aux points P7 et P8 (seules certaines valeurs ont été reportées).

MNTm-zd4-rhoX-hX-CoXXX-S100-COMX					P (kPa)		H (m)		V (m/s)		
MNT	rho	h	COM	Co	P7	P8	P7	P8	P7	P8	
1	150	60	0	100							
			1		44	23					
	200	60	0								
			1								
2	200	60	0	100							
3	200	60	0	100							
4	150	40	0	100							
		50									
		60			53	21					
		70									
		80									
		40									
	50	60	1	100							
					54	22					



		70								
		80			66	28	2,0	0,96	20,9	13,6
4	200	60	0	100						
		80								
		60	1	100						
		80			91	40	2,0	0,96	21,3	14,2
		80			81	31	2,08	0,96	20,1	12,4

3.4.3 Plaque de fond

D'après les données d'enneigement que l'on a sur le secteur (cf. station de mesure de type Flowcapt), dans l'hypothèse d'un secteur non sécurisé et non skié, une épaisseur de 150 cm de neige à 400 kg/m³, sèche ou humide, pourrait être envisagée sur zd1. Si l'on considère également une potentielle accumulation liée à l'effet du vent dominant, cette épaisseur pourrait même être ré-évaluée à 200 cm dans la configuration la plus défavorable. Restant cependant sur un volume global qui peut être considéré comme limité, cette avalanche sera classée S30. Au total, 26 simulations ont été réalisées (cf. Tableau 5).

Tableau 5 : liste des 26 configurations testées à partir de la zone zd1 pour une situation de plaque de fond, avec les pressions, hauteurs et vitesses maximales d'écoulements calculées au point P7 (seules certaines valeurs ont été reportées).

MNTm-zd1-rhoX-hX-CoX-S30-COMX					P (kPa)	H (m)	V (m/s)
MNT	rho	h	Co	COM			
1	400	150	100	0	142	1,93	18,9
				1	142	1,93	18,9
			200	0	141	1,95	18,8
				1	141	1,95	18,8
	400	200	100	0	155	2,15	19,7
				1			
			200	0	152	2,21	19,5
				1			
2	400	150	100	0			
				1			
	300		100	0			
				1			
3	400	150	100	0			
				1			
	300		100	0			
				1			
4	400	150	100	0	200	1,72	22,4



			200	1	201	1,72	22,4
				0	194	1,74	22,0
				1	194	1,74	22,0
	300		100	0			
				1			
	400	200	100	0			
				1	222	2,01	23,5
			200	0	216	2,03	23,2
				1	216	2,03	23,2

3.5 INTERPRETATION DES RESULTATS

3.5.1 Préambule

On a pu relever que la précision du MNT influence fortement le résultat de la modélisation. Pour la plupart des simulations, le MNT nécessite d'être dégradé afin de correspondre à la réalité du terrain hivernal qui est « lissé » par la neige et éviter ainsi un « freinage » abusif des écoulements. A noter qu'il a parfois été nécessaire de rehausser le COM (de 0 à 1 m/s) afin de limiter le phénomène de diffusion numérique, sans que cela n'affecte toutefois les valeurs de pressions, hauteurs et vitesses d'écoulement au niveau de P7 et P8.

Concernant le facteur de cohésion C_o , il a été choisi de se baser sur $C_o=100$ Pa pour tous les scénarii, pour 2 raisons : c'est la valeur standard conseillée, aussi bien pour des neiges sèches que pour des neiges humides, et c'est également la valeur qui s'est avérée la plus contraignante.

3.5.2 Cas défavorables les plus représentatifs

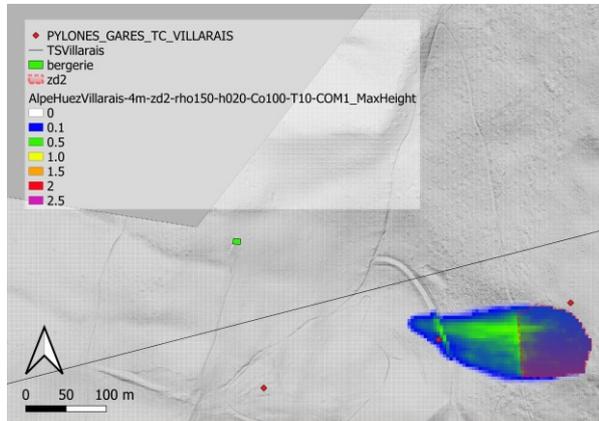
Après avoir examiné leur cohérence, nous avons donc choisi de retenir les solutions les plus défavorables de chaque scénario, répertoriés ci-dessous (cf. Tableau 6).

Tableau 6 : simulations retenues pour les différentes zones de départ (zd) ainsi que les pressions, hauteurs de neige et vitesses maximales d'écoulement associées aux pylônes P7 et P8.

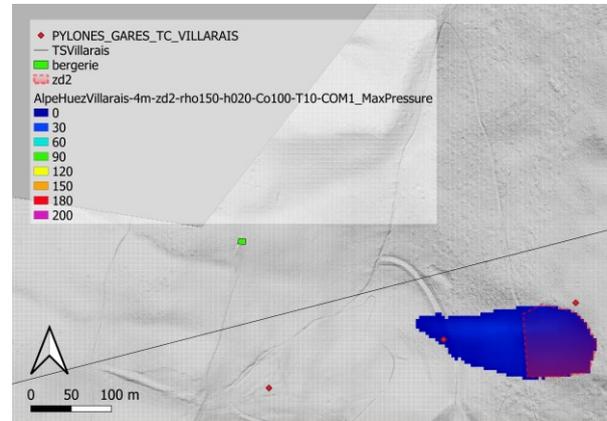
4m-zdX-rhoX-hX-CoX-S/TX-COMX						P (kPa)		H (m)		V (m/s)	
						P7	P8	P7	P8	P7	P8
zd	rho	h	Co	S,T	COM						
2	150	20	100	T10	1	1,2	-	0,16	-	2,8	-
4	150	80	100	S100	1	66	28	2,0	0,96	20,9	13,6
	200		100		1	91	40	2,0	0,96	21,3	14,2
2	150	80	100	S30	0	64	-	1,7	-	20,7	-
	200		100		0	89	-	1,7	-	21,0	-
1	400	150	100	S30	1	201	-	1,72	-	22,4	-
		200	100		1	222	-	2,01	-	23,5	-

- Zone de départ zd2

Conformément aux témoignages recueillis, le déclenchement d'une plaque de 20 cm ne dépasse guère le bas de la pente. Son impact sur P7 est négligeable, le front de l'écoulement l'atteignant tout juste (cf. Carte 10 et Carte 11).

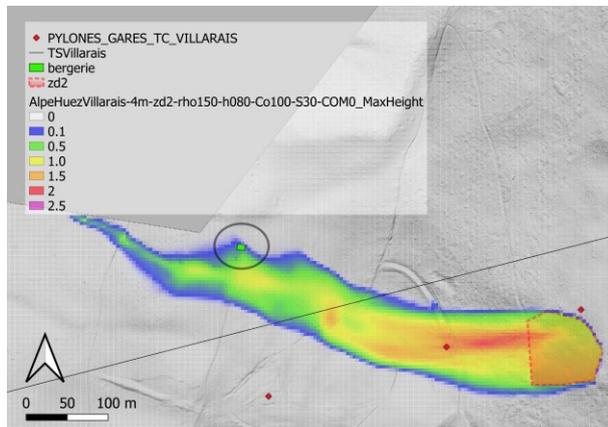


Carte 10 : hauteurs maximales (en m) pour l'écoulement d'une plaque de neige sèche sur couche fragile, de 20 cm d'épaisseur, au départ de zd2.

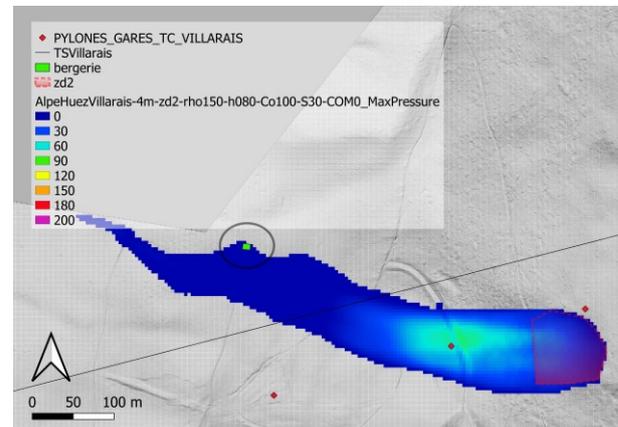


Carte 11 : pressions maximales (en kPa) pour l'écoulement d'une plaque de neige sèche sur couche fragile, de 20 cm d'épaisseur, au départ de zd2.

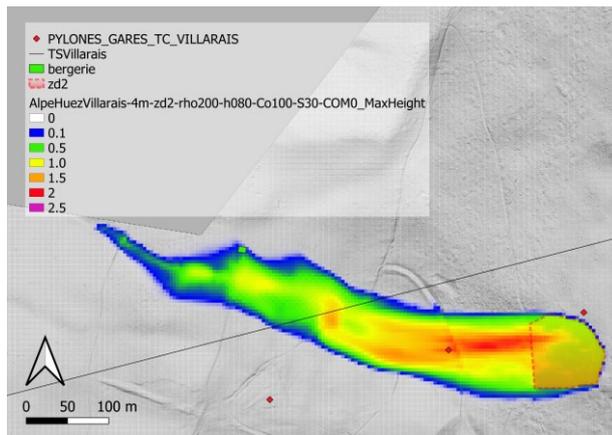
Le déclenchement d'une plaque de 80 cm, similairement à l'évènement de 1989, sera quant à lui plus impactant (volume plus important). A noter également des pressions supérieures pour la neige humide (densité plus élevée, pressions passant de 64 à 89 kPa pour une hauteur d'écoulement atteignant au maximum 1,70 m. Cf. Tableau 6 et Carte 12 à Carte 15).



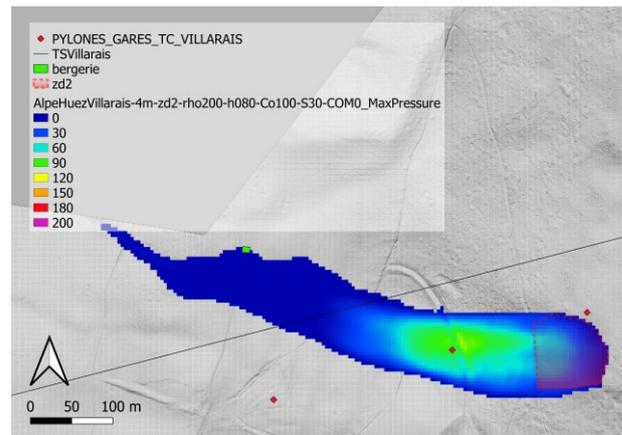
Carte 12 : hauteurs maximales (en m) pour l'écoulement d'une plaque de neige sèche sur couche fragile, de 80 cm d'épaisseur, au départ de zd2. Entouré en noir, la bergerie.



Carte 13 : pressions maximales (en kPa) pour l'écoulement d'une plaque de neige sèche sur couche fragile, de 80 cm d'épaisseur, au départ de zd2. Entouré en noir, la bergerie.



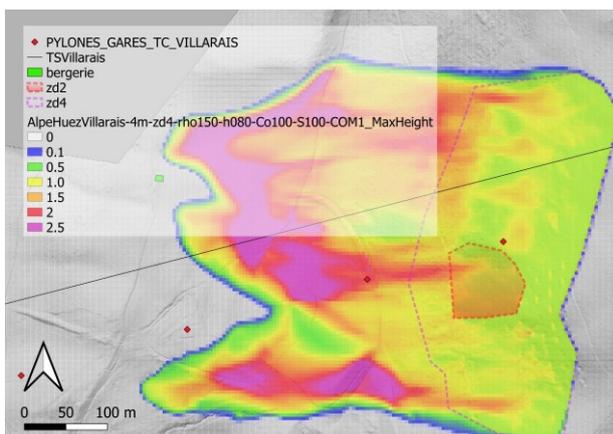
Carte 14 : hauteurs maximales (en m) pour l'écoulement d'une plaque de neige humide sur couche fragile, de 80 cm d'épaisseur, au départ de zd2.



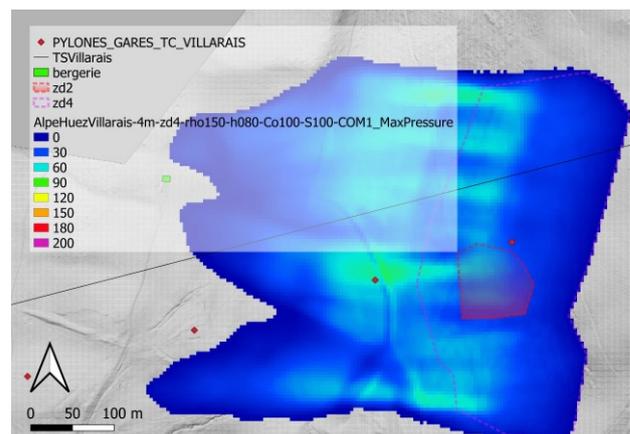
Carte 15 : pressions maximales (en kPa) pour l'écoulement d'une plaque de neige humide sur couche fragile, de 80 cm d'épaisseur, au départ de zd2.

- Zone de départ zd4

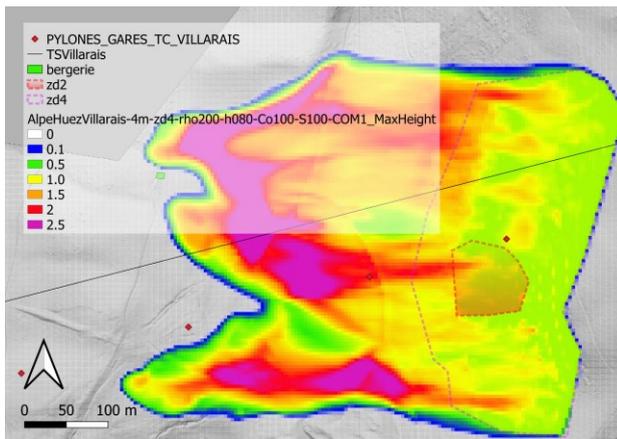
Ne disposant que des vagues informations de la CLPA, le calibrage de zd4 n'est pas simple. Bien qu'on puisse supposer un volume mobilisé plus faible de par l'emprise de l'enveloppe de la CLPA, les nombreuses simulations réalisées ont montré que cela n'est évidemment pas le seul paramètre pouvant intervenir dans l'ampleur de la propagation de l'écoulement. Néanmoins, comme la potentielle surestimation de la hauteur de neige n'entraîne pas de répercussions notables sur P7 par rapport aux scénarii basés sur zd2, et que les pressions exercées demeurent raisonnables sur P8 quels que soient les cas de figure, nous avons finalement retenu le scénario extrême avec l'hypothèse d'une plaque de 80 cm d'épaisseur (cf. Carte 16 à Carte 19). Les valeurs de pressions s'exerçant sur P7 et P8 seraient alors respectivement 66 et 28 kPa pour une avalanche de neige sèche (respectivement 91 et 40 kPa pour une avalanche de neige humide), atteignant une hauteur maximale d'écoulement de 2,0 m pour P7 et 0,96 m pour P8 (cf. Tableau 6).



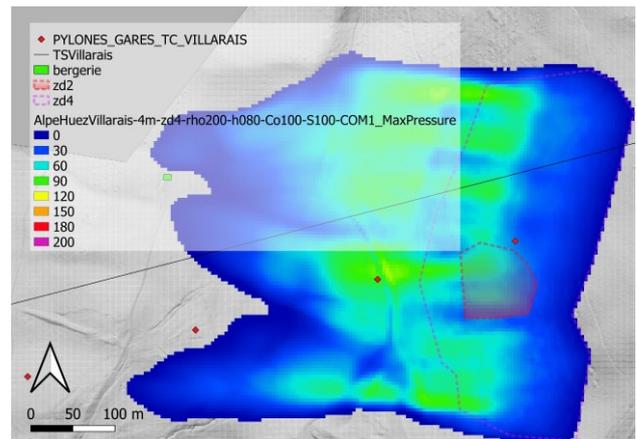
Carte 16 : hauteurs maximales (en m) pour l'écoulement d'une plaque de neige sèche sur couche fragile, de 80 cm d'épaisseur, au départ de zd4.



Carte 17 : pressions maximales (en kPa) pour l'écoulement d'une plaque de neige sèche sur couche fragile, de 80 cm d'épaisseur, au départ de zd4.



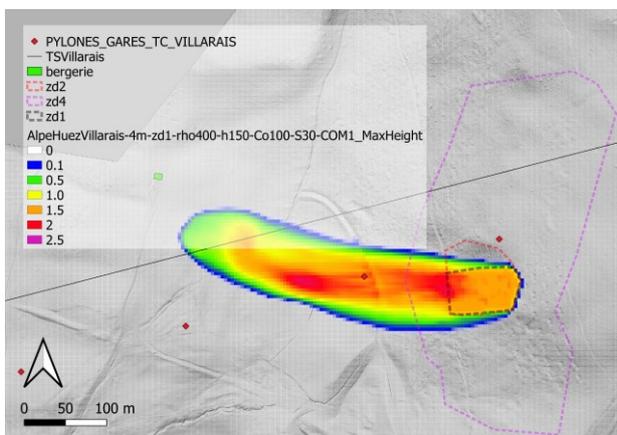
Carte 18 : hauteurs maximales (en m) pour l'écoulement d'une plaque de neige humide sur couche fragile, de 80 cm d'épaisseur, au départ de zd4.



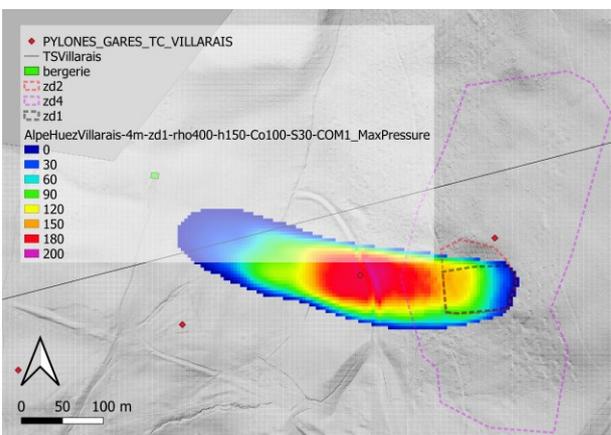
Carte 19 : pressions maximales (en kPa) pour l'écoulement d'une plaque de neige humide sur couche fragile, de 80 cm d'épaisseur, au départ de zd4.

- Zone de départ zd1

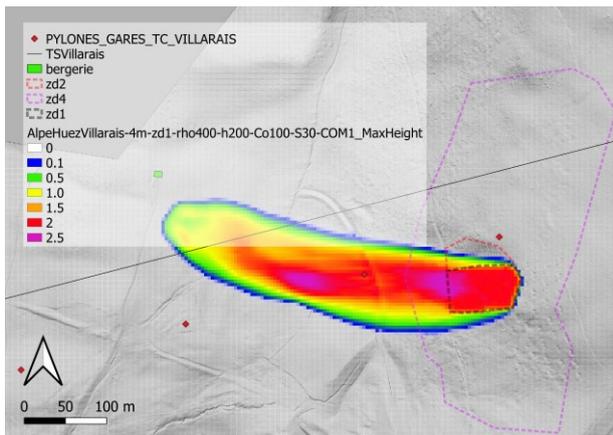
L'avalanche de plaque de fond apparait clairement comme le cas le plus défavorable, avec un important volume de neige lourde mobilisé (cf. Carte 20 à Carte 23) et des pressions exercées atteignant 201 kPa pour une hauteur maximale d'écoulement de 1,72 m dans le cas d'une plaque de fond de 150 cm d'épaisseur, et 222 kPa pour une hauteur maximale de 2,01 m pour une épaisseur de plaque de 200 cm (cf. Tableau 6).



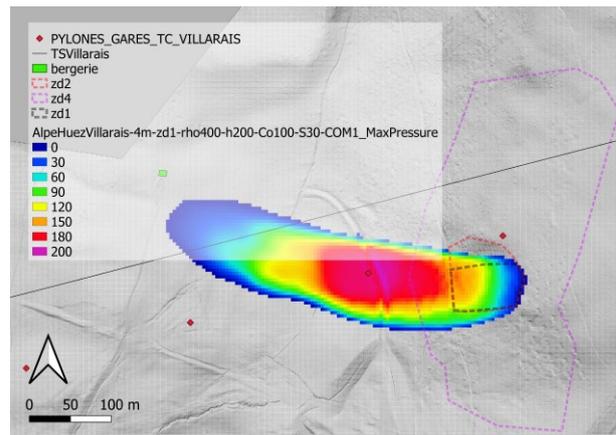
Carte 20 : hauteurs maximales (en m) pour l'écoulement d'une plaque de fond de 150 cm d'épaisseur au départ de zd1.



Carte 21 : pressions maximales (en kPa) pour l'écoulement d'une plaque de fond de 150 cm d'épaisseur au départ de zd1.



Carte 22 : hauteurs maximales (en m) pour l'écoulement d'une plaque de fond de 200 cm d'épaisseur au départ de zd1.



Carte 23 : pressions maximales (en kPa) pour l'écoulement d'une plaque de fond de 200 cm d'épaisseur au départ de zd1.

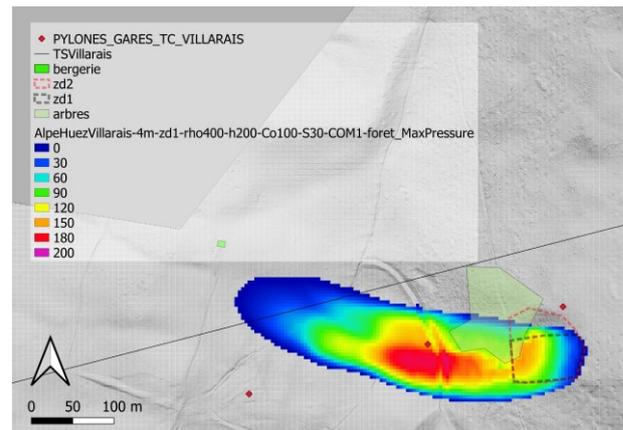
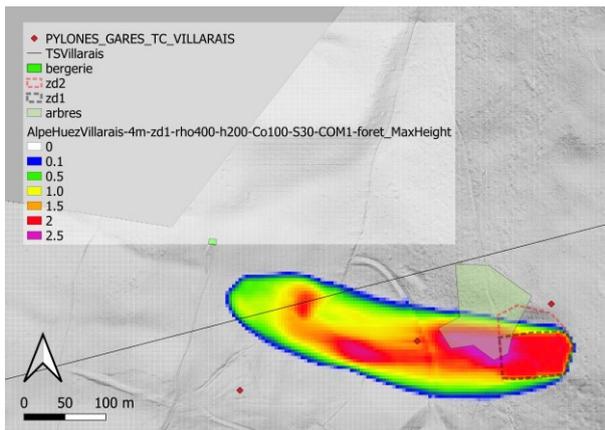
3.5.3 Prise en compte de l'effet des arbres dans la zone d'écoulement

Les arbres situés dans la trajectoire des avalanches auront un impact certain sur l'écoulement. Cependant, l'opportunité de les intégrer explicitement dans les résultats de l'étude est discutable : leur prise en compte est difficile à quantifier dans le cadre de la simulation (la densité de boisement n'est pas considérée, seul l'emprise est évaluée) et le couvert boisé demeure sujet à certains aléas pouvant le décimer (maladies sylvicoles, sécheresse, ...). Ils sont donc plutôt présentés à titre informatif afin de nourrir la réflexion quant à l'opportunité des choix et solutions techniques futures (cf. Tableau 7).

Tableau 7 : effet des arbres présents dans la zone d'écoulement, appliqué aux simulations qualifiées comme les plus défavorables sur zd2 et zd1 (pressions, hauteurs de neige et vitesses maximales d'écoulement associées au pylône P7).

4m-zdX-rhoXXX-hXXX-CoXXX-S30-COMX-arbres					P (kPa)	H (m)	V (m/s)
zd	rho	h	Co	COM			
2	150	80	100	0	40	1,27	16,3
	200	80	200	0	49	1,23	15,5
1	400	150	100	1	134	1,38	18,3
			200	1	129	1,38	17,9
		200	100	1	152	1,73	19,5
			200	1	147	1,72	19,2

L'analyse des pressions estimées sur P7 indique clairement l'effet bénéfique des arbres : ils jouent le rôle de masque et dévient l'écoulement vers la gauche orographique du pylône, réduisant, dans le cas le plus défavorable (plaque de fond de 200 cm d'épaisseur, scénario 4m-zd1-rho400-h200-Co100-COM1), d'environ 70 kPa la pression exercée sur P7 (cf. Carte 24 et Carte 25).

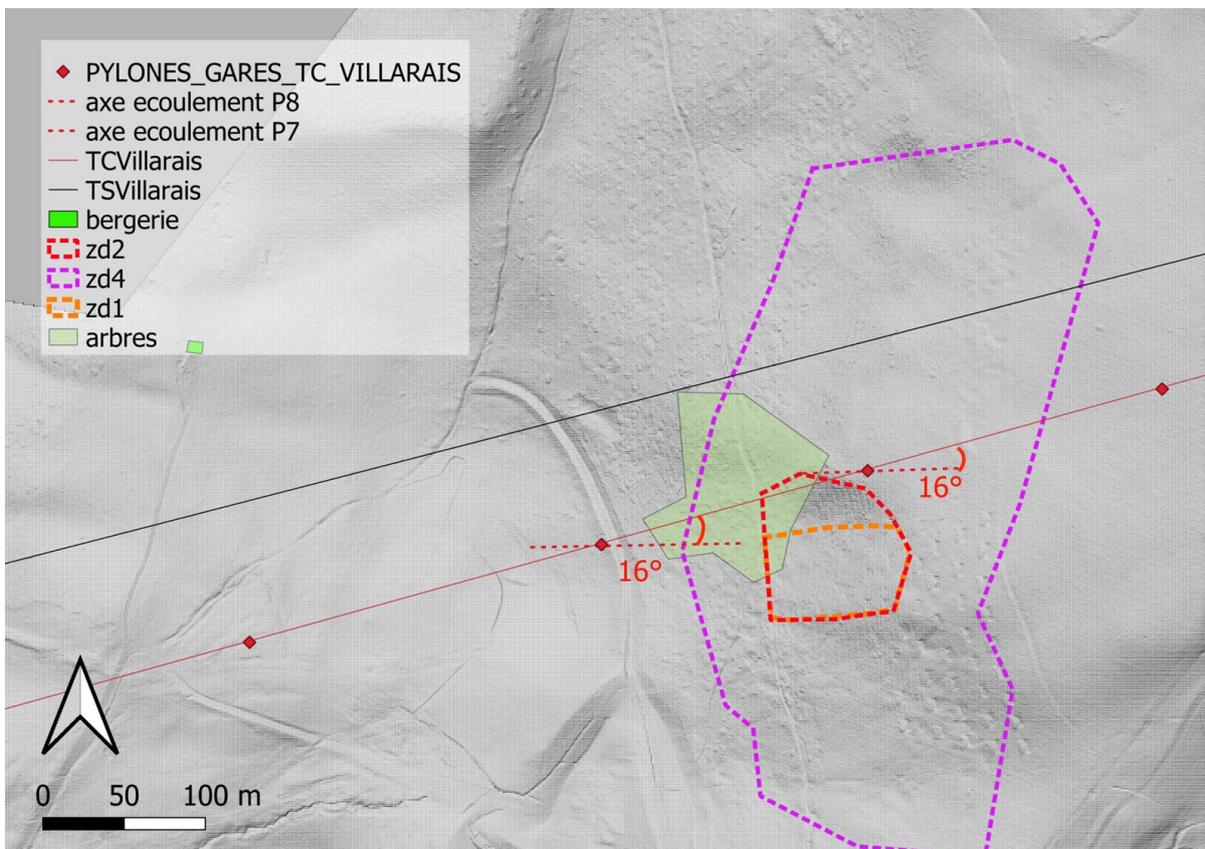


Carte 24 : hauteurs maximales (en m) pour l'écoulement d'une plaque de fond de 200 cm d'épaisseur au départ de zd1, avec la prise en compte des arbres.

Carte 25 : pressions maximales (en kPa) pour l'écoulement d'une plaque de fond de 200 cm d'épaisseur au départ de zd1, avec la prise en compte des arbres.

3.5.4 Direction de l'application des efforts

Les pressions exercées sur un objet s'opposant à un écoulement gravitaire sont dirigées dans le sens de l'écoulement, c'est-à-dire parallèle à la ligne de pente. Dans notre cas, l'angle d'incidence des écoulements sur P7 et P8 par rapport à l'axe de la télécabine, mesuré à partir du MNT de la zone, est de $16 \pm 3^\circ$ (cf. Carte 26).



Carte 26 : angle d'incidence de l'application des efforts exercés sur les pylônes P7 et P8 soumis à l'écoulement d'une avalanche.



4 CONCLUSION

Cette étude du remplacement du télésiège du Villarais par une télécabine sur un tracé légèrement modifié fait suite à la commande de SATA Group – L'Alpe d'Huez du 09/10/2024. Elle s'est basée sur les documents à disposition (PIDA, CLPA, EPA), sur les témoignages des acteurs locaux (directeur et directeur adjoint aux pistes) couplés aux mesures nivo-météorologiques du secteur, sur les éléments recueillis lors de la visite sur site du 15/11/2024 ainsi que sur les résultats de la modélisation d'écoulements avalanches menée à l'aide du logiciel Ramms.

Seulement deux pylônes sont concernés par le risque nivologique. Alors que les contraintes exercées sur le pylône P8 restent raisonnables (<40 kPa dans la configuration la plus défavorable avec une incidence par rapport à l'axe de la ligne de $16\pm 3^\circ$), le pylône P7 devra faire l'objet de plus d'attention : si l'on envisage le cas le plus défavorable (plaque de fond épaisse, pas observée jusqu'à présent), la pression subie pourrait atteindre 220 kPa avec une incidence par rapport à l'axe de la ligne de $16\pm 3^\circ$ sur une hauteur d'environ 2 m pour une vitesse d'écoulement maximale de l'ordre de 23 m/s. A noter que ces valeurs sont à nuancer en fonction de l'importance accordée aux scénarii et hypothèses de départ (épaisseur de rupture principalement), ainsi que de la présence d'arbres dans la zone d'écoulement : le cas échéant, la contrainte exercée sur P7 pourrait alors diminuer d'environ 70 kPa (soit une valeur à retenir de 150 kPa).

A Aussois, le 30 novembre 2024

Réalisation : C. Périllat

Supervision : A. Duclos



5 ANNEXES

MEDDE - ONF - Irstea

Fiches CLPA

Feuilles de la carte :

Commune

VILLARD-RECVLAS 38550

Enquête

Oisans - Grandes Rousses

N° Emprise

4

Zone d'étude

Oisans - Grandes Rousses 2002

Date d'ouverture

01/01/2002

Appellation

Mur de Villard Rive Droite

Type d'enquête

Inconnu

Date de clôture

31/12/2002

Stations de ski

VILLARD-RECVLAS

Historique-Fonctionnement

[Extension max connue en 01/1981 (plaque neige froide). Est descendue par un couloir étroit en forêt (jusque 1450m). 1 document en annexe. PIDA de 1998. Ces 3 panneaux correspondent à des avalanches déclenchées. Dans l'article d'Allix, on peut comprendre que tout le versant (depuis le bras du Sud) de la Grande Sure s'est décrochée vers 1800m (sur 1000 à 1500m!). Cette archive non confirmée se traduit par une extension en pointillés.]

Sites EPA

Dispositifs de protection

Documentation

Fiches relatives à une enquête précédente

[Numérotation inchangée] Emprise n°4, VILLARD-RECVLAS 38550, enquête Oisans - Grandes Rousses 01/01/1991

Fiches relatives à une enquête suivante

[Numérotation inchangée] Emprise n°4, VILLARD-RECVLAS 38550, enquête Villard-Reculas 01/01/2010

Remarque

Rq Obs.

Photos

Extrait 1 de la fiche CLPA 38550 de Villard Reculas.



MEDDE - ONF - Irstea

Fiches CLPA

Feuilles de la carte :

Commune

VILLARD-RECLAS 38550

Zone d'étude

Villard-Reculas 2010

Type d'enquête

Mise à jour décennale

Enquête

Villard-Reculas

Date d'ouverture

01/01/2010

Date de clôture

31/12/2010

N° Emprise

4

Appellation

Mur de Villard Rive Droite

Stations de ski

VILLARD-RECLAS

Historique-Fonctionnement

[Fin des années 1980 - début des années 1990, l'avalanche est passée devant la bergerie et s'est arrêtée dans la forêt. Le site est intégralement skié à ce jour, ce qui ne permet pas l'accumulation de l'époque. Déclenchée dans le cadre du PIDA.]

Sites EPA

Dispositifs de protection

Documentation

Fiches relatives à une enquête précédente

[Numérotation inchangée] Emprise n°4, VILLARD-RECLAS 38550, enquête Oisans - Grandes Rousses 01/01/2002

Fiches relatives à une enquête suivante

Aucune enquête suivante

Remarque

Photos

Extrait 2 de la fiche CLPA 38550 de Villard Reculas.

MEDDE-ONF-INRAE

EPA

Liste des événements d'après la base de données - Diffusible

Commune : 38550 - VILLARD-RECLAS

N° site : 200 Nom actuel du site COMBE CROZE

Nombre total d'événements : 4

Historique :		Filiations entre les sites définies lors du toilettage du 04/02/2005 :																																																													
		Site 38550 200 (id 2672) --> site 38550 200 (id 9591)																																																													
		Site 38550 200 (id 2670) --> site 38550 200 (id 9591)																																																													
Site	Dates		Altitudes			Dépôt			Caractéristiques					Météo 3 jours précédents			Météo 4h précédentes			Causes		Vic-times		Dégâts ou lieux atteints		Obs																																					
	numéro id	date1	date2	altitude départ	altitude arrivée	versant opposé	zone plane	longueur (m)	largeur (m)	hauteur (m)	A - type départ	B - sol visible ?	C - humidité départ	D - couloir / Versant	E - adrosif ?	F - neige dépôt	hauteur de neige	direction vent	vent fort	redoux	pluie	neige	pluie	vent fort	ciel clair	brouillard	naturelle	artificielle	involontaire	inconnue	néant	blesés	morts	construction néant	poteries	forêt	routes	cours d'eau	visibilité	alerte pd event																							
n°003_B id 2672	09/03/2000 00:00	09/03/2000 00:00	1600	1400							2	4	2	2	2	er	?		X				X		X				X			X																															
n°003_B id 2672	22/02/1999 00:00	22/02/1999 00:00	1600	1300							2	2	5	2	2	21-50	X	?		X					X					X			X																														
Remarque : Coupe la D44b.																																																															
n°003_B id 2672	09/02/1999 00:00	09/02/1999 00:00	1600	?							2	2	2	2	5	51-100	?			X				X					X			X																															
Remarque : D44b coupée.																																																															
n°003 id 2670	30/11/1996 00:00	30/11/1996 00:00	1600	?							5	5	5	2	2	5	51-100	?			X			X		X			X			X																															
Remarque : L'avalanche s'est arrêtée sur la route.																																																															

Extrait 3 de la liste d'évènements EPA de la fiche 38550 de Villard Reculas.



A – Le départ de l'avalanche est ponctuel

A LE DEPART DE L'AVALANCHE EST PONCTUEL	OUI : Départ en poire, en cône	A4
	NON : Départ en cassure linéaire	A8
	INCONNU	A9

B – Le sol est visible dans la zone de départ

B LE SOL EST VISIBLE (OU EN PARTIE VISIBLE) DANS LA ZONE DE DEPART	OUI : Toute la couche de neige	B4	
	NON : Couche superficielle	Rupture de neige récente	B2
		Rupture de neige évoluée	B3
		Incertitude	B1
	EN PARTIE	B5	
INCONNU	B9		

C – La neige est humide dans la zone de départ

C LA NEIGE EST HUMIDE DANS LA ZONE DE DEPART	OUI : Avalanche de neige humide	C2
	NON : Avalanche de neige sèche	C1
	INCONNU	C9

D – Le cours de l'avalanche est limité à un couloir

D LE COURS DE L'AVALANCHE EST LIMITE A UN COULOIR	OUI	EN MAJORITE : Avalanche de couloir	D2
		EN MINORITE : Trajet mixte	D5
	NON : Avalanche de versant	D1	
	INCONNU	D9	

E – Il y a des indices de passage d'un aérosol

E IL Y A DES INDICES DE PASSAGE D'UN AEROSOL	OUI (dégâts visibles ou témoignage)	Sans traces de dépôt d'écoulement dense	E1
		Avec traces de dépôt d'écoulement dense	E5
	NON : Avalanche coulante (sans développement aérien)	E2	
	INCONNU	E9	

F – Il y a de la neige mouillée dans le dépôt

F IL Y A DE LA NEIGE MOUILLEE DANS LE DEPOT	OUI : Dépôt mouillé	F2
	NON : Dépôt sec	F1
	INCONNU	F9

Extrait 6 des caractéristiques de description des avalanches issues du manuel à l'attention des observateurs du réseau EPA.

**ANNEXE 3 : ETUDE D'OMBRES PORTEES – ATEAM
ARCHITECTES, JUILLET 2025**

3 Scénarios de ligne étudiés : **Ligne Basse - Ligne Originale - Ligne Haute**

Plusieurs périodes de l'année traitées à 12h30 :
Heure d'hiver : 15 Décembre - 15 Janvier - 15 Février - 15 Mars
Heure d'été : 15 Avril - 15 Juin

La période de Février est plus développée concernant la ligne basse :
Etude de l'amplitude horaire allant de 11h à 14h le 15 Février.
Etude comparative entre les dates du 01, 15 et 28 Février.

Dans chaque vue est développée l'ombre portée de l'ensemble des positions de la cabine sur la ligne.

La vue en page suivante permet d'apprécier l'emprise de l'ombre d'une cabine à un instant donné en comparaison du développé de l'ombre portée de l'ensemble des positions de cette cabine sur la ligne.



Ombre d'une
cabine sur la ligne

Développé de l'ombre de
l'ensemble des positions de
la cabine sur la ligne

01---▶ 15 OCTOBRE-HAUTE-12H30.png



02---▶ 15 OCTOBRE-ORIGINAL-12H30.png



03---▶ 15 OCTOBRE-BASSE-12H30.png



04---▶ 15 NOVEMBRE-HAUTE-12H30.png



05---► 15 NOVEMBRE-ORIGINALE-12H30.png



06---► 15 NOVEMBRE-BASSE-12H30.png



07---▶ 15 DECEMBRE-HAUTE-12H30.png



08---▶ 15 DECEMBRE-ORIGINAL-12H30.png



09---▶ 15 DECEMBRE-BASSE-12H30.png



10---▶ 15 JANVIER-HAUTE-12H30.png



11---▶ 15 JANVIER-ORIGINAL-12H30.png



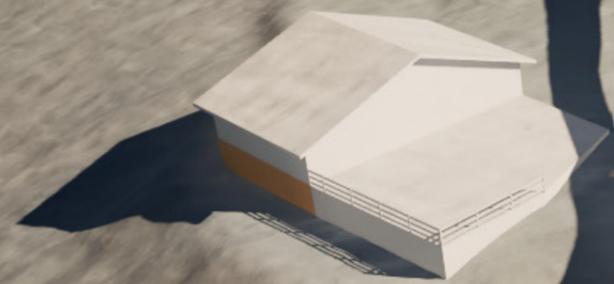
12---▶ 15 JANVIER-BASSE-12H30.png



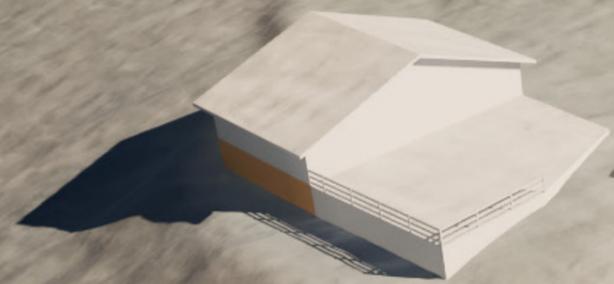
13---▶ 15 FEVRIER-HAUTE-12H30.png



14---► 15 FEVRIER-ORIGINAL-12H30.png



15---▶ 15 FEVRIER-BASSE-12H30.png



16---▶ 15 MARS-HAUTE-12H30.png



17---▶ 15 MARS-ORIGINAL-12H30.png



18---▶ 15 MARS-BASSE-12H30.png



19---▶ 15 AVRIL-HAUTE-12H30.png



20---▶ 15 AVRIL-ORIGINAL-12H30.png



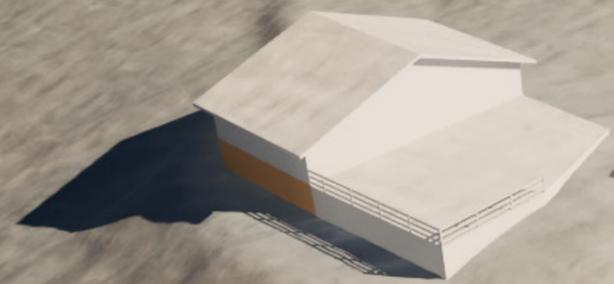
21---▶ 15 AVRIL-BASSE-12H30.png



22---▶ 15 FEVRIER-BASSE-11H00.png



23---▶ 15 FEVRIER-BASSE-12H30.png



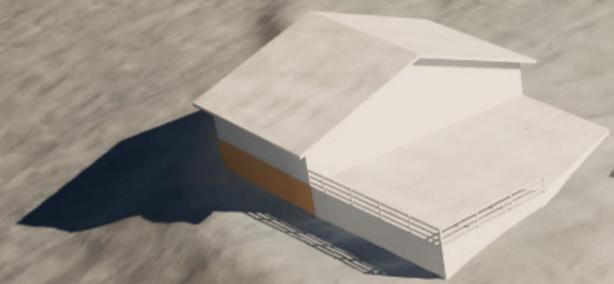
24---▶ 15 FEVRIER-BASSE-14H00.png



25---▶ 01 FEVRIER-BASSE-12H30.png



26---▶ 15 FEVRIER-BASSE-12H30.png



27---▶ 28 FEVRIER-BASSE-12H30.png



28---▶ JUIN-HAUTE-12H30.png



ÉTUDE D'OMBRES PORTÉES
TC VILLARAIS
Version 2
30 / 33
15/07/2025



29---▶ JUIN-ORIGINAL-12H30.png



30---▶ JUIN-BASSE-12H30.png



ÉTUDE D'OMBRES PORTÉES

TC VILLARAIS

PREMIÈRES CONCLUSIONS

- Aucun des 3 scénarios ne porte ombre sur la terrasse en été
- La ligne base est la mieux adaptée et la moins impactante pour l'hiver
- La ligne basse projette une ombre sur la terrasse seulement de mi-décembre à mi-janvier

ANNEXE 4 : FLORE INVENTORIEE POUR CHAQUE HABITAT

E2.6 - PRAIRIES AMELIOREES, REENSEMENCEES ET FORTEMENT FERTILISEES				
Nom scientifique	Nom vernaculaire	Liste rouge régionale	Protection réglementaire	Caractère humide
<i>Acer pseudoplatanus</i> L., 1753	Érable sycomore	LC	-	-
<i>Achillea millefolium</i> L., 1753	Achillée millefeuille	LC	-	-
<i>Agrostis capillaris</i> L., 1753	Agrostide capillaire	LC	-	-
<i>Anthyllis vulneraria</i> L., 1753	Anthyllide vulnéraire	LC	-	-
<i>Artemisia campestris</i> L., 1753	Armoise champêtre	LC	-	-
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop., 1772	Cirse des champs	LC	-	-
<i>Dactylis glomerata</i> L., 1753	Dactyle aggloméré	LC	-	-
<i>Echium vulgare</i> L., 1753	Vipérine commune	LC	-	-
<i>Hypericum perforatum</i> L., 1753	Millepertuis perforé	LC	-	-
<i>Lotus corniculatus</i> L., 1753	Lotier corniculé	LC	-	-
<i>Melilotus albus</i> Medik., 1787	Mélicot blanc	LC	-	-
<i>Phleum pratense</i> L., 1753	Fléole des prés	LC	-	-
<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst., 1881	Épicéa commun	LC	-	-
<i>Plantago lanceolata</i> L., 1753	Plantain lancéolé	LC	-	-
<i>Poterium sanguisorba</i> L., 1753	Pimprenelle à fruits réticulés	LC	-	-
<i>Rumex arifolius</i> All., 1773	Rumex alpestre	LC	-	-
<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke, 1869	Silène enflé	LC	-	-
<i>Sorbus aucuparia</i> L., 1753	Sorbier des oiseleurs	LC	-	-
<i>Trifolium pratense</i> L., 1753	Trèfle des prés	LC	-	-
<i>Tussilago farfara</i> L., 1753	Tussilage	LC	-	-
E2.8 - PELOUSES MESOPHILES PIETINEES A ESPECES ANNUELLES				
<i>Achillea millefolium</i> L., 1753	Achillée millefeuille	LC	-	-
<i>Alchemilla xanthochlora</i> Rothm., 1937	Alchémille vert jaune	LC	-	-
<i>Blitum bonus-henricus</i> (L.) C.A.Mey., 1829	Chénopode du bon Henri	LC	-	-
<i>Lotus corniculatus</i> L., 1753	Lotier corniculé	LC	-	-
<i>Poa alpina</i> L., 1753	Pâturin des Alpes	LC	-	-
<i>Rumex arifolius</i> All., 1773	Rumex alpestre	LC	-	-
<i>Taraxacum officinale</i> F.H.Wigg., 1780	Pissenlit officinale	LC	-	-
<i>Trifolium arvense</i> L., 1753	Trèfle des champs	LC	-	-
<i>Trifolium repens</i> L., 1753	Trèfle rampant	LC	-	-
<i>Tussilago farfara</i> L., 1753	Tussilage	LC	-	-
E4.3 - PELOUSES ALPINES ET SUBALPINES ACIDIPHILES				
<i>Achillea millefolium</i> L., 1753	Achillée millefeuille	LC	-	-
<i>Alchemilla xanthochlora</i> Rothm., 1937	Alchémille vert jaune	LC	-	-
<i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn., 1791	Patte de chat	LC	-	-
<i>Anthyllis vulneraria</i> L., 1753	Anthyllide vulnéraire	LC	-	-
<i>Bistorta vivipara</i> (L.) Delarbre, 1800	Renouée vivipare	LC	-	-
<i>Botrychium lunaria</i> (L.) Sw., 1802	Botryche lunaire	LC	-	-

<i>Carex sempervirens</i> Vill., 1787	Laïche toujours verte	LC	-	-
<i>Festuca varia</i> Haenke, 1789	Fétuque variable	-	-	-
<i>Galium verum</i> L., 1753	Gaillet jaune	LC	-	-
<i>Geum montanum</i> L., 1753	Benoîte des montagnes	LC	-	-
<i>Lotus corniculatus</i> subsp. <i>alpinus</i> (DC.) Rothm., 1963	Lotier des Alpes	LC	-	-
<i>Plantago alpina</i> L., 1753	Plantain des Alpes	LC	-	-
<i>Poa alpina</i> L., 1753	Pâturin des Alpes	LC	-	-
<i>Rhinanthus glacialis</i> Personnat, 1863	Rhinanthe des glaciers	DD	-	-
<i>Thymus serpyllum</i> L., 1753	Thym serpolet	-	-	-
<i>Trifolium montanum</i> L., 1753	Trèfle des montagnes	LC	-	-
E4.331 - GAZONS THERMO-ALPIGÈNES À FESTUCA PANICULATA				
<i>Achillea millefolium</i> L., 1753	Achillée millefeuille	LC	-	-
<i>Alchemilla xanthochlora</i> Rothm., 1937	Alchémille vert jaune	LC	-	-
<i>Blitum bonus-henricus</i> (L.) C.A.Mey., 1829	Chénopode du bon Henri	LC	-	-
<i>Briza media</i> L., 1753	Brize intermédiaire	LC	-	-
<i>Campanula barbata</i> L., 1759	Campanule barbue	LC	-	-
<i>Campanula rhomboidalis</i> L., 1753	Campanule rhomboïdale	LC	-	-
<i>Dactylis glomerata</i> L., 1753	Dactyle aggloméré	LC	-	-
<i>Patzkea paniculata</i> (L.) G.H.Loos, 2010	Fétuque paniculée	LC	-	-
<i>Festuca varia</i> Haenke, 1789	Fétuque variable	-	-	-
<i>Galium verum</i> L., 1753	Gaillet jaune	LC	-	-
<i>Gentiana lutea</i> L., 1753	Gentiane jaune	LC	-	-
<i>Gentiana punctata</i> L., 1753	Gentiane ponctuée	LC	-	-
<i>Geranium sylvaticum</i> L., 1753	Géranium des bois	LC	-	-
<i>Geum montanum</i> L., 1753	Benoîte des montagnes	LC	-	-
<i>Hypericum perforatum</i> L., 1753	Millepertuis perforé	LC	-	-
<i>Lathyrus pratensis</i> L., 1753	Gesse des prés	LC	-	-
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam., 1779	Marguerite commune	LC	-	-
<i>Meum athamanticum</i> Jacq., 1776	Fenouil des Alpes	LC	-	-
<i>Nardus stricta</i> L., 1753	Nard raide	LC	-	-
<i>Patzkea paniculata</i> (L.) G.H.Loos, 2010	Queyrel	LC	-	-
<i>Phleum pratense</i> L., 1753	Fléole des prés	LC	-	-
<i>Ranunculus acris</i> L., 1753	Bouton d'or	LC	-	-
<i>Senecio doronicum</i> (L.) L., 1759	Séneçon doronic	LC	-	-
<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke, 1869	Silène enflé	LC	-	-
<i>Taraxacum officinale</i> F.H.Wigg., 1780	Pissenlit officinal	-	-	-
<i>Trifolium alpinum</i> L., 1753	Trèfle des Alpes	LC	-	-
<i>Trifolium arvense</i> L., 1753	Trèfle des champs	LC	-	-
<i>Trifolium dubium</i> Sibth., 1794	Trèfle douteux	LC	-	-
<i>Trifolium pratense</i> L., 1753	Trèfle des prés	LC	-	-
<i>Trifolium repens</i> L., 1753	Trèfle rampant	LC	-	-
<i>Trollius europaeus</i> L., 1753	Trolle d'Europe	LC	-	H

<i>Vaccinium myrtillus</i> L., 1753	Myrtille	LC	-	-
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., 1753	Airelle rouge	LC	-	-
<i>Veratrum album</i> L., 1753	Vérâtre blanc	LC	-	-
E4.331 - GAZONS THERMO-ALPIGENES A FESTUCA PANICULATA X G3.1 - BOISEMENTS A PICEA ET A ABIES X F3.16 - FOURRES A JUNIPERUS COMMUNIS				
<i>Achillea millefolium</i> L., 1753	Achillée millefeuille	LC	-	-
<i>Asperula cynanchica</i> L., 1753	Herbe à l'esquinancie	LC	-	-
<i>Briza media</i> L., 1753	Brize intermédiaire	LC	-	-
<i>Campanula rhomboidalis</i> L., 1753	Campanule rhomboïdale	LC	-	-
<i>Ziziphora granatensis</i> subsp. <i>alpina</i> (L.) Bräuchler & Gutermann, 2019	Clinopode des Alpes	LC	-	-
<i>Dactylis glomerata</i> L., 1753	Dactyle aggloméré	LC	-	-
<i>Euphorbia cyparissias</i> L., 1753	Euphorbe petit-cyprés	LC	-	-
<i>Festuca varia</i> Haenke, 1789	Fétuque variable	-	-	-
<i>Galium verum</i> L., 1753	Gaillet jaune	LC	-	-
<i>Geranium sylvaticum</i> L., 1753	Géranium des bois	LC	-	-
<i>Helianthemum nummularium</i> (L.) Mill., 1768	Hélianthème jaune	LC	-	-
<i>Hypericum perforatum</i> L., 1753	Millepertuis perforé	LC	-	-
<i>Juniperus communis</i> L., 1753 var. <i>communis</i>	Genévrier commun	-	-	-
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam., 1779	Marguerite commune	LC	-	-
<i>Meum athamanticum</i> Jacq., 1776	Fenouil des Alpes	LC	-	-
<i>Patzkea paniculata</i> (L.) G.H.Loos, 2010	Queyrel	LC	-	-
<i>Phleum pratense</i> L., 1753	Fléole des prés	LC	-	-
<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst., 1881	Épicéa commun	LC	-	-
<i>Rhododendron ferrugineum</i> L., 1753	Rhododendron ferrugineux	LC	-	-
<i>Rumex arifolius</i> All., 1773	Oseille à feuilles d'arum	LC	-	-
<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke, 1869	Silène enflé	LC	-	-
<i>Thymus serpyllum</i> L., 1753	Thym serpolet	-	-	-
<i>Trifolium montanum</i> L., 1753	Trèfle des montagnes	LC	-	-
<i>Trifolium pratense</i> L., 1753	Trèfle des prés	LC	-	-
<i>Trifolium repens</i> L., 1753	Trèfle rampant	LC	-	-
<i>Vaccinium myrtillus</i> L., 1753	Myrtille	LC	-	-
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., 1753	Airelle rouge	LC	-	-
<i>Veratrum album</i> L., 1753	Vérâtre blanc	LC	-	-
E4.333 - PELOUSES EN GRADINS ARVERNO-ALPINES A FETUQUE BIGARREE				
<i>Agrostis capillaris</i> L., 1753	Agrostide capillaire	LC	-	-
<i>Briza media</i> L., 1753	Brize intermédiaire	LC	-	-
<i>Festuca varia</i> Haenke, 1789	Fétuque variable	-	-	-
<i>Hypericum perforatum</i> L., 1753	Millepertuis perforé	LC	-	-
<i>Nardus stricta</i> L., 1753	Nard raide	LC	-	-
<i>Patzkea paniculata</i> (L.) G.H.Loos, 2010	Queyrel	LC	-	-
<i>Potentilla erecta</i> (L.) Raeusch., 1797	Potentille tormentille	LC	-	-
<i>Thymus serpyllum</i> L., 1753	Thym serpolet	-	-	-
<i>Vaccinium myrtillus</i> L., 1753	Myrtille	LC	-	-

<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., 1753	Airelle rouge	LC	-	-
E5.1 - VEGETATIONS HERBACEES ANTHROPIQUES				
<i>Achillea millefolium</i> L., 1753	Achillée millefeuille	LC	-	-
<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm., 1814	Cerfeuil des bois	LC	-	-
<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P.Beauv. ex J.Presl & C.Presl, 1819	Fromental élevé	LC	-	-
<i>Dactylis glomerata</i> L., 1753	Dactyle aggloméré	LC	-	-
<i>Galium verum</i> L., 1753	Gaillet jaune	LC	-	-
<i>Geranium sylvaticum</i> L., 1753	Géranium des bois	LC	-	-
<i>Hypericum perforatum</i> L., 1753	Millepertuis perforé	LC	-	-
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam., 1779	Marguerite commune	LC	-	-
<i>Ranunculus acris</i> L., 1753	Bouton d'or	LC	-	-
<i>Rumex arifolius</i> All., 1773	Rumex alpestre	LC	-	-
<i>Vicia cracca</i> L., 1753	Vesce cracca	LC	-	-
G1.A2 - FRENAIES NON RIVERAINES				
<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm., 1814	Cerfeuil des bois	LC	-	-
<i>Rubus fruticosus</i> L., 1753	Ronce de Bertram	DD	-	-
<i>Urtica dioica</i> L., 1753	Ortie dioïque	LC	-	-
H3.62 - AFFLEUREMENTS ET ROCHERS ERODES A VEGETATION CLAISEMEE X E4.34 - PELOUSES ACIDOPHILES ALPIGENES				
<i>Ziziphora granatensis</i> subsp. <i>alpina</i> (L.) Bräuchler & Gutermann, 2019	Clinopode des Alpes	LC	-	-
<i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn., 1791	Patte de chat	LC	-	-
<i>Asperula cynanchica</i> L., 1753	Herbe à l'esquinancie	LC	-	-
<i>Aster alpinus</i> L., 1753	Aster des Alpes	LC	-	-
<i>Bartsia alpina</i> L., 1753	Bartsie des Alpes	LC	-	-
<i>Bistorta vivipara</i> (L.) Delarbre, 1800	Renouée vivipare	LC	-	-
<i>Briza media</i> L., 1753	Brize intermédiaire	LC	-	-
<i>Carex myosuroides</i> Vill., 1779	Élyna Queue-de-souris	LC	-	-
<i>Euphorbia cyparissias</i> L., 1753	Euphorbe petit-cyprés	LC	-	-
<i>Festuca varia</i> Haenke, 1789	Fétuque variable	-	-	-
<i>Globularia cordifolia</i> L., 1753	Globulaire à feuilles cordées	LC	-	-
<i>Gymnadenia nigra</i> (L.) Rchb.f., 1856	Nigritelle noire	LC	-	-
<i>Helianthemum nummularium</i> (L.) Mill., 1768	Hélianthème jaune	LC	-	-
<i>Luzula multiflora</i> (Ehrh.) Lej., 1811	Luzule multiflore	LC	-	-
<i>Saxifraga paniculata</i> Mill., 1768	Saxifrage aizoon	LC	-	-
<i>Sempervivum arachnoideum</i> L., 1753	Joubarbe-araignée	LC	-	-
<i>Thymus serpyllum</i> L., 1753	Thym serpolet	-	-	-
<i>Trifolium montanum</i> L., 1753	Trèfle des montagnes	LC	-	-
<i>Trifolium pratense</i> L., 1753	Trèfle des prés	LC	-	-

ANNEXE 5 : CALCUL DES EMISSIONS DE GES DU PROJET

5.1. PHASE TRAVAUX

ÉMISSIONS LIEES AU DEMONTAGE DE L'ANCIENNE REMONTEE MECANIQUE

Le démontage de l'ancienne remontée mécanique est émetteur de GES. En effet, il est souvent nécessaire d'utiliser des engins de chantier souvent très émetteurs et pratiquement systématiquement un hélicoptère pour le retrait, notamment des pylônes.

ÉMISSIONS LIEES A L'UTILISATION DE L'HELICOPTERE

Les hélicoptères sont généralement alimentés au carburant de type JetA1 dont le facteur d'émission est de 3 kg_{CO2}/l_{JetA1}¹. La consommation de JetA1 dépend du type d'hélicoptère utilisé :

- > Hélicoptère type Super-Puma : entre 500 et 800 l/h² ;
- > Hélicoptère type B3 : 180 l/h³.

En considérant les informations ci-dessus et le nombre d'heures d'utilisation de l'hélicoptère, le calcul d'émissions de GES est le suivant.

$$\text{Emissions de CO2 Super-Puma (kgCO2e)} = 800 \text{ (l/h)} * \text{nb heures d'utilisation (h)} * 3 \text{ (kgCO2/l}_{\text{JetA1}})$$

$$\text{Emissions de CO2 B3 (kgCO2e)} = 180 \text{ (l/h)} * \text{nb heures d'utilisation (h)} * 3 \text{ (kgCO2/l}_{\text{JetA1}})$$

ÉMISSIONS LIEES A L'UTILISATION DES ENGINES DE CHANTIER

Le calcul des émissions de GES des engins de chantier nécessite de connaître le nombre d'heures d'utilisation ainsi que la consommation de carburant de chaque engin. En considérant un facteur d'émission (FE) des engins de chantier au Gazole Non Routier (GNR) de 3,17 kg_{CO2}/l_{GNR}⁴, une consommation de carburant d'environ 10 l/h pour un camion-grue et d'environ 4 l/h⁵ pour un chariot élévateur le calcul est le suivant.

$$\text{Emissions de CO2 (kgCO2e)} = 4 \text{ ou } 10 \text{ (l/h)} * \text{nb heures d'utilisation (h)} * 3,17 \text{ (kgCO2/l}_{\text{GNR}})$$

ÉMISSIONS LIEES A LA PRODUCTION DES MATERIAUX NECESSAIRE A LA REALISATION DU PROJET

L'estimation des émissions liée aux matériaux a été fournie directement par le maître d'œuvre.

ÉMISSIONS LIEES AUX TRAVAUX DE TERRASSEMENT

Les terrassements liés aux travaux en domaine skiable sont la plupart du temps très conséquents et émetteurs de GES. Ils peuvent correspondre aux terrassements des gares aval et amonts des remontées mécaniques, des pylônes, à des aménagements de pistes

¹ Base Carbone ADEME, 2022.

² Faqfra.online.fr ; site d'amateurs et professionnels de l'aviation.

³ Swisshelicopter.ch

⁴ Base Carbone ADEME, 2022.

⁵ Manutrucs.fr

ou à l'enfouissement du réseau neige ou d'un réseau multipaire. Les émissions sont proportionnelles au nombre d'hectares terrassés.

TERRASSEMENT DE GARES, DE PYLONES OU D'AMENAGEMENT DE PISTE

Le calcul des émissions provenant des terrassements nécessite l'estimation de la quantité de carburant consommé par les engins pour la durée des travaux ou la quantité de matériaux déplacés. En considérant un facteur d'émission des engins de chantier au GNR de 3,17 kgCO₂/l_{GNR}⁶ et une consommation de carburant de 0,86 l_{GNR}/m³⁷ de matériaux transportés, le calcul des émissions est le suivant.

$$\text{Emissions de CO}_2 \text{ (kgCO}_2\text{e)} = \text{quantité de carburant (l)} * 3,17 \text{ (kgCO}_2\text{/l}_{\text{GNR}})$$

Ou

$$\text{Emissions de CO}_2 \text{ (kgCO}_2\text{e)} = \text{quantité de matériaux déplacés (m}^3\text{)} * 0,86 \text{ (l}_{\text{GNR}}\text{/m}^3\text{)} * 3,17 \text{ (kgCO}_2\text{/l}_{\text{GNR}})$$

ÉMISSIONS LIEES AUX TRAVAUX DE GENIE CIVIL

Les travaux de génie civil consistent à mettre en place les fondations des gares de remontée mécanique ainsi que les fondations des pylônes.

Les travaux de génie civil utilisent des hélicoptères, des chariots élévateurs dont le calcul des émissions a été décrit précédemment. Ils utilisent aussi des pelles mécaniques et de la fourniture béton qui a été acheminée sur le chantier. Pour ces 2 aspects, les calculs sont détaillés par la suite.

Il a été estimé qu'une pelle mécanique consomme environ 15 l/h⁸, en considérant le facteur d'émission des engins de chantier de 3,17 kgCO₂/l_{GNR}⁹ et en sachant le nombre d'heures d'utilisation :

$$\text{Emissions de CO}_2 \text{ (kgCO}_2\text{e)} = 15 \text{ (l/h)} * \text{nb heures d'utilisation (h)} * 3,17 \text{ (kgCO}_2\text{/l}_{\text{GNR}})$$

ÉMISSIONS LIEES AUX TRAVAUX DE MONTAGE DE LA NOUVELLE REMONTEE MECANIQUE

Les travaux de montage de la nouvelle remontée mécanique nécessitent les mêmes engins que pour le démontage de l'ancienne.

Les calculs d'émission sont décrits dans cette même partie.

ÉMISSIONS LIEES AU TRANSPORT DES MATERIAUX ET ENGINES VERS LE LIEU DE CHANTIER

Les matériaux et engins nécessaires aux travaux doivent être acheminés jusqu'au lieu du chantier. Le transport de tous ces éléments est émetteur de GES notamment lorsque le transport a lieu par camion.

L'acheminement des engins et matériaux sur le chantier nécessite l'utilisation de camion de transport. En utilisant le nombre de kilomètres parcouru par le(s) camion(s) et un facteur d'émission de 1,31 kgCO₂/camion/km¹⁰ :

$$\text{Emissions de CO}_2 \text{ (kgCO}_2\text{e)} = \text{distance parcourue (km)} * \text{nb de camions} * 1,31 \text{ (kgCO}_2\text{/km/camion)}$$

⁶ Base Carbone ADEME, 2022.

⁷ Estimation de consommation de carburant sur les chantiers de la Fée et du Chalvet.

⁸ Liebherr.com ou casec.com

⁹ Base Carbone ADEME, 2022.

¹⁰ Base Carbone ADEME, 2022.

5.2. PHASE EXPLOITATION

ÉMISSIONS LIÉES A LA CONSOMMATION ELECTRIQUE DES REMONTEES MECANIQUES

La consommation électrique d'une remontée mécanique (télésiège, télécabine, télésiège) émet du CO₂e en fonction de la puissance électrique qu'elle développe, du temps d'utilisation annuel et enfin de la provenance de l'électricité qu'elle utilise.

En France, l'électricité provient généralement du mix énergétique français. Bien que considéré comme décarbonée, l'électricité française émet tout de même du CO₂ dans l'atmosphère. Le facteur d'émission à prendre en compte dans les calculs est celui de 57 g_{CO₂e}/kWh produit¹¹.

$$\text{Emissions de CO}_2 \text{ (gCO}_2\text{e)} = \text{Puissance électrique (kWh)} * \text{nb d'heures d'utilisation annuelle (h)} * 56 \text{ (gCO}_2\text{/kWh)}$$

¹¹ Base Carbone ADEME, 2022.