



DIAGNOSTIC DES RISQUES

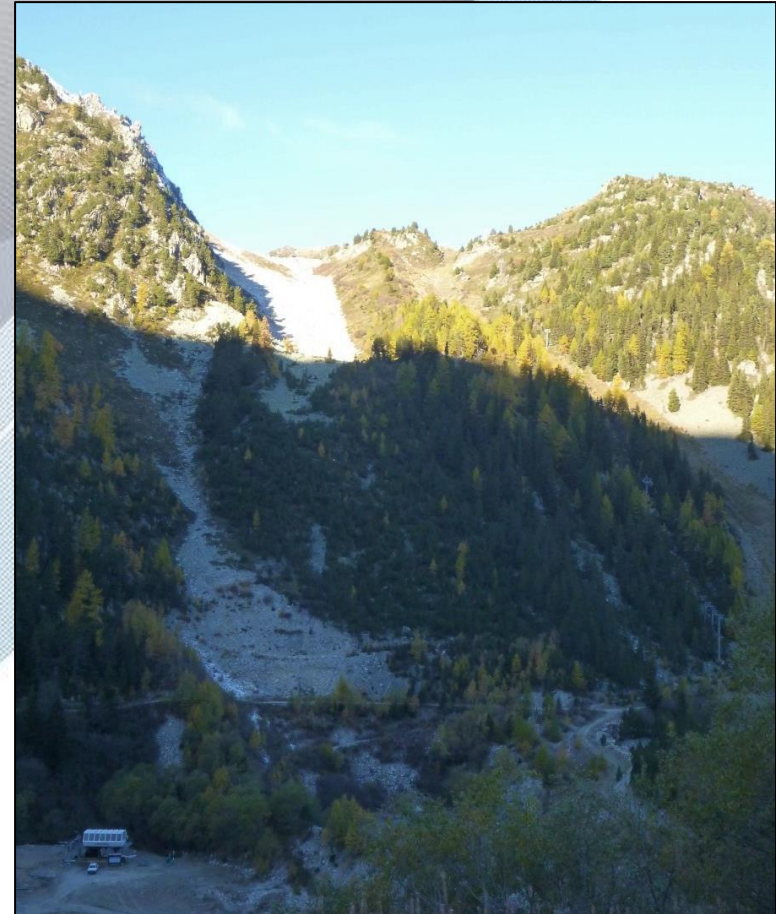
NIVOLOGIQUES

TSD Comborcière – LES ARCS

v0 du 23 Novembre 2016



LES ARCS
Paradiski

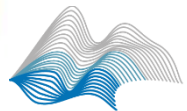


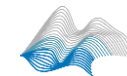
ENGINEERISK

PA Alpespace - Bâtiment Cleanspace - 73 800 Sainte Hélène du Lac

Tél : +33 (0)6 23 75 04 44 - Site : www.engineerisk.com

Siret : 499 774 032 000 27 - FR – S.A.S au capital de : 11 870 €





Etude réalisée par Engineerisk

Rédigée par: **Eng. Fanny BOURJAILLAT**

☎ : +33 (0)6 23 75 06 42

✉ : fanny.bourjaillat@engineerisk.com

Visa :

Validée par: **Dr. Eng. Philippe BERTHET-RAMBAUD**

☎ : +33 (0)6 23 75 04 44

✉ : philippe.berthet-rambaud@engineerisk.com

Visa:

Ce rapport contient 12 pages

Sauf mention contraire : Crédits photos: Engineerisk / figures en plan orientées nord vers le haut/ Fond orthophoto BingImagery

Référence : FRA256

Version : 0 du 23 Novembre 2016

REFERENCES

[1] Localisation de la ligne du TSD Comborcière, Source ADS

[2] www.avalanches.fr

[3] Meunier M, Ancey C, Richard D., Conceptual approach to the study of snow avalanches, Cemagref, 2005

[4] Groupe BBCM, *PPR Avalanches Chamonix, Phase 2: étude approfondie de sites avalancheux, Méthodologie*, juin-août 2013

[5] Witmer U, *Erfassung, Bearbeitung und Kartierung von Schneedaten in der Schweiz/ Acquisition, traitement et cartographie des données sur la neige en*

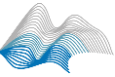
Suisse, Institut Géographique de l'Université de Berne, Berne, 1986

[6] Burkard A., Salm B., *Die Bestimmung der mittleren Anrissmächtigkeit zur Berechnung von Fliesslawinen/Estimation de l'épaisseur moyenne de déclenchement pour le calcul des avalanches coulantes*, rapport interne n°668, IFENA, Davos 1992

[7] Extraits du PIDA, Source: ADS

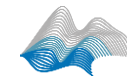
[8] MNT, Source ADS

[9] Etude Engineerisk : " FRA203-20161025 TSD Pré Saint Esprit Les Arcs 2000"



SOMMAIRE

REFERENCES	2
1. INTRODUCTION	4
2. CONTEXTE GENERAL.....	5
A. Données nivo-météorologiques	5
B. Les Avalanches	6
Le phénomène.....	6
Les protections	7
C. Le phénomène de reptation	8
3. MODELISATIONS NUMERIQUES DES ECOULEMENTS	9
A. RAMMS	9
B. Résultats.....	10
4. CONCLUSION	12



1. INTRODUCTION

Dans le cadre de la modernisation de son domaine skiable, la société ADS prévoit de remplacer le Télésiège de Comborcière sur son secteur des Arcs 1950. Cet appareil à pinces fixes installé en 1985 sera remplacé, pour l'hiver 2018/2019, par un télésiège débrayable. Il permettra notamment un accès plus rapide vers le secteur des Arcs 1650.

Son axe sera bien différent puisque sa gare de départ sera déplacée d'environ 170m vers le sud, au niveau de celle du TSD Saint Esprit ([1] - Figure 1)

Il est question dans cette note de définir l'exposition de ce projet aux risques nivologiques d'avalanche et de reptation. Les conclusions permettront de définir des niveaux de sollicitations le long de la ligne et constitueront une aide à la décision notamment dans le choix des localisations finales des pylônes.

Compte tenu des délais courts impartis, une visite sur site ainsi que des échanges avec les acteurs du PIDA seront effectués plus tard cet hiver.

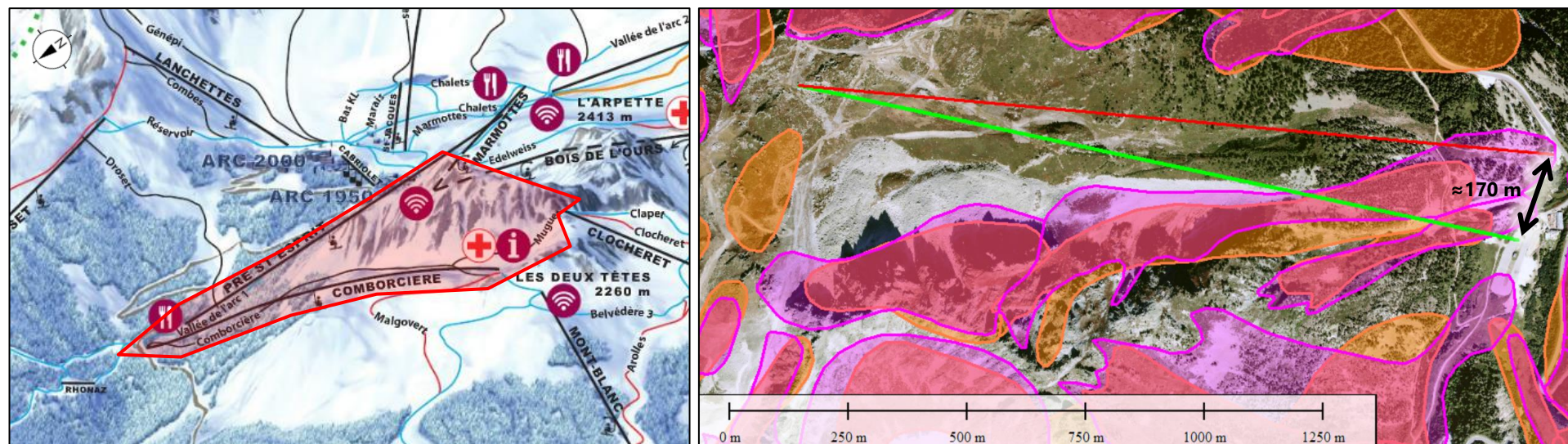
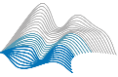


Figure 1: Localisation du secteur d'étude sur le plan des pistes à gauche - localisation de la ligne actuelle (en rouge) et du projet (en vert) à droite [1] avec limites de la CLPA [2]



2. CONTEXTE GENERAL

A. DONNEES NIVO-METEOROLOGIQUES

Le domaine skiable des Arcs appartient au massif de la Haute-Tarentaise, plus particulièrement à sa partie nord (ouest), protégée généralement des régimes de secteur ouest mais parfois sous l'influence de l'Italie. C'est un secteur globalement bien enneigé avec en général entre 120 et 150 jours de sol enneigé vers 1800/2000 m et des neiges qui peuvent rester jusqu'en mai. Les cumuls de neige sont de 550 à 650 cm à ces mêmes altitudes.

En partant de l'hypothèse qu'une avalanche d'une période de retour donnée est elle-même issue de l'épaisseur mobilisable correspondante [3], il s'agit donc d'estimer ces épaisseurs mobilisables à partir de l'analyse statistique des précipitations.

Il faut cependant signaler l'aspect délicat (mais en même temps incontournable) de ce genre d'estimations :

- Les séries de données disponibles sont courtes (quelques décennies au mieux) et il est donc hasardeux de faire des extrapolations à (trop) long terme. Les valeurs erronées ou manquantes ne sont pas non plus rares dans les séries de données brutes (défaillance des appareils de mesure, impossibilité d'accéder).
- Les méthodes statistiques comportent toutes leurs biais et les valeurs des précipitations extrêmes sont définies avec une certaine imprécision.
- D'autres influences (transport de neige par le vent) peuvent contribuer de manière non négligeable aux épaisseurs présentes.

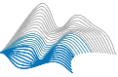
Il convient donc de garder une attitude prudente sur cette démarche en restant capable d'évaluer la vraisemblance des résultats et/ou le cas échéant d'en tester la sensibilité.

Une fois ces valeurs liées aux périodes de retour obtenus (éventuellement en

convertissant lame d'eau en épaisseur de neige équivalente selon une densité de 125 kg/m^3 lors de la chute,) pour le site de mesure, il convient de les convertir en épaisseurs mobilisables dans les zones de départ :

- Tout d'abord en intégrant le tassement naturel : pour 3 jours, une valeur conservatrice de 20% peut être admise, supposée indépendante de l'altitude [4]. Le tassement est considéré négligeable en 24 heures et de 12% en 48 heures.
- En extrapolant les valeurs à l'altitude des zones de départ, en général différente et plus élevée que celle du site de mesure. Pour 3 jours, [5] fournit des valeurs de gradients nivométriques entre 3 et 7cm pour 100m. Faute de données plus précises, une valeur moyenne de 5cm/100m est admise arrondie à 1.5cm/100m/jour en tenant également compte du tassement.
- Ensuite, en majorant le cas échéant à dire d'expert les valeurs pour tenir compte de la contribution (positive ou négative) du transport de neige par le vent. Faute de données suffisamment précises et systématiques, nous n'en tiendrons pas compte ici.
- Enfin, en tenant compte de la déclivité : au-delà de 28° (valeur limite en-deça de laquelle la stabilité du manteau est considérée comme acquise sauf exception), la stabilité décroît avec une augmentation de la pente. Autrement dit, les accumulations mobilisables vont avoir de plus en plus de difficultés à se "construire" au cours de l'épisode de chute jusqu'à être considérées comme régulièrement purgées au-delà de 55° . [6] évalue ainsi un facteur de pente selon les valeurs du tableau suivant qui est appliqué à l'épaisseur "stable" à 28° .

Au final, on obtient donc par périodes de retour l'épaisseur d_o mobilisable en



moyenne sur toute la surface potentielle de déclenchement (en notant qu'elle ne correspond pas en général à l'épaisseur moyenne mesurée le long de la ligne de rupture et qui peut-être plus importante/spectaculaire).

φ	28	30	32.5	35	37.5	40	45	50
$f(\varphi)$	1	0.9	0.79	0.71	0.65	0.6	0.52	0.46

Tableau 1: Valeur du facteur de pentes en fonction de la déclivité (ψ en degrés [6])

A partir des valeurs des stations Météo-France les plus proches de Bourg Saint Maurice, de Peisey Nancroix et Sainte Foy Tarentaise [2] et en considérant des zones de départ à une altitude de **2 300m** et de déclivité moyenne 38°, on

obtient finalement par moyennes pondérées tenant compte de la distance et de la différence d'altitude, les épaisseurs mobilisables par périodes de retour suivantes :

		PERIODE DE RETOUR			
		10 ans	30 ans	100 ans	300 ans
Epaisseurs mobilisables	1 j	43 cm	51 cm	59 cm	71 cm
	2 j	60 cm	70 cm	81 cm	98 cm
	3 j	70 cm	82 cm	95 cm	114 cm

Tableau 2: Extrapolation à la zone du projet des épaisseurs de neige mobilisables à partir des données des stations météos de Bourg Saint Maurice, de Peisey Nancroix et Sainte Foy Tarentaise pour une altitude de 2 300m [2]

B. LES AVALANCHES

Le phénomène

Le projet est concerné par les emprises CLPA (Carte de Localisation des Phénomènes Avalancheux) n°3 : "Piste du Saint Esprit" et n°19 : "Pré Saint Esprit", Figure 2.

Si l'on se réfère aux fiches signalétiques de cette même carte ainsi qu'aux enquêtes de l'EPA associées (Enquête Permanente sur les Avalanches), aucun témoignage, aucune particularité y sont reportés mises à part leurs altitudes de

départ et d'arrivée.

En milieu de ligne, on remarque également des avalanches localisées qui auraient tendance à atteindre le bas de versant tout en suivant le talweg principal.

A première vue, ce sont les seuls écoulements susceptibles de menacer la ligne.

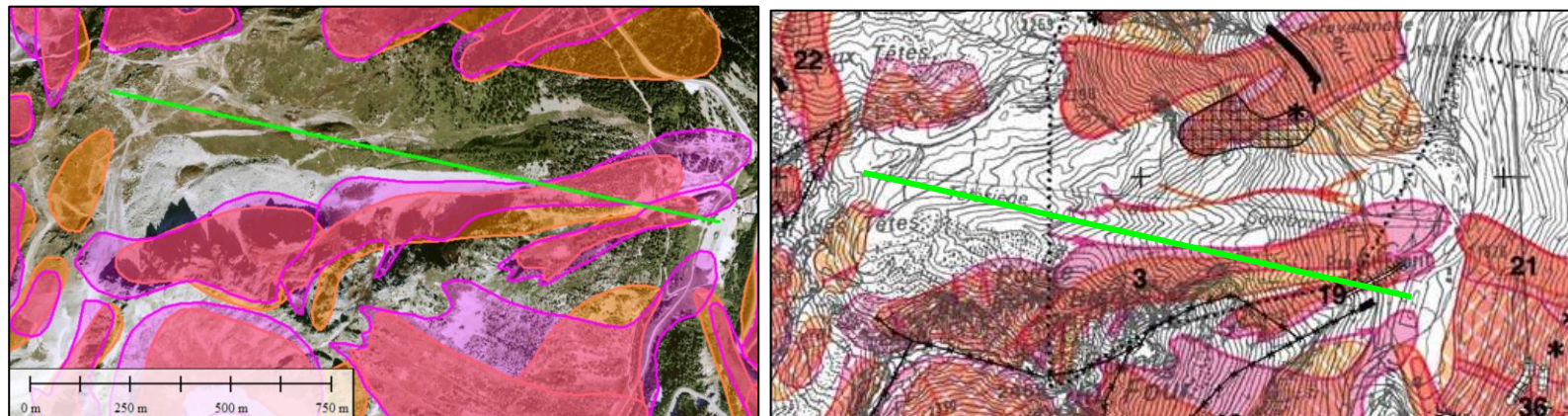
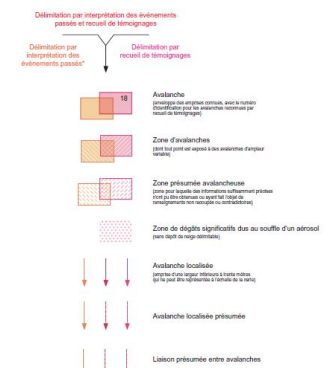


Figure 2: Extrait de la CLPA et localisation de la ligne [2]

Légende de la carte CLPA



Les protections

Ces avalanches CLPA sont toutes intégrées dans le PIDA (Plan d'Intervention pour le Déclenchement des Avalanches), elles font donc l'objet de déclenchements préventifs. Il est question ici de déclenchement par tirs traditionnels à la main (numéro) et de points de tirs Catex (Ch), Figure 3.

Ci-dessous les points de tirs qui concernent le projet :

- Les n° Ch6, Ch8 et Ch9 permettent de sécuriser l'avalanche de la Piste du Saint Esprit (CLPA n°3)
- Le n° Ch4 permet de sécuriser l'avalanche "Pré Saint Esprit".
- Les avalanches localisées de la CLPA font également partie des opérations : ce

sont les points de tir n°35, 36 et 37.

Certaines emprises qui ne sont pas répertoriées dans la CLPA existent dans le PIDA, notamment par exemple l'avalanche n° 009 qui concerne la piste bleue du Belvédère mais pas directement le projet de TSD Comborcière (Figure 4).

Il apparaît incertain que les avalanches n°028 et 029 (CLPA n°3) atteignent aujourd'hui le bas de versant à la vue de la densité de la forêt dans la zone d'écoulement juste après le ressaut à environ 2000 m d'altitude (Figure 4).

Il sera d'ailleurs intéressant d'échanger avec les pisteurs du secteur en charge des déclenchements pour avoir des informations sur les écoulements de ces avalanches.

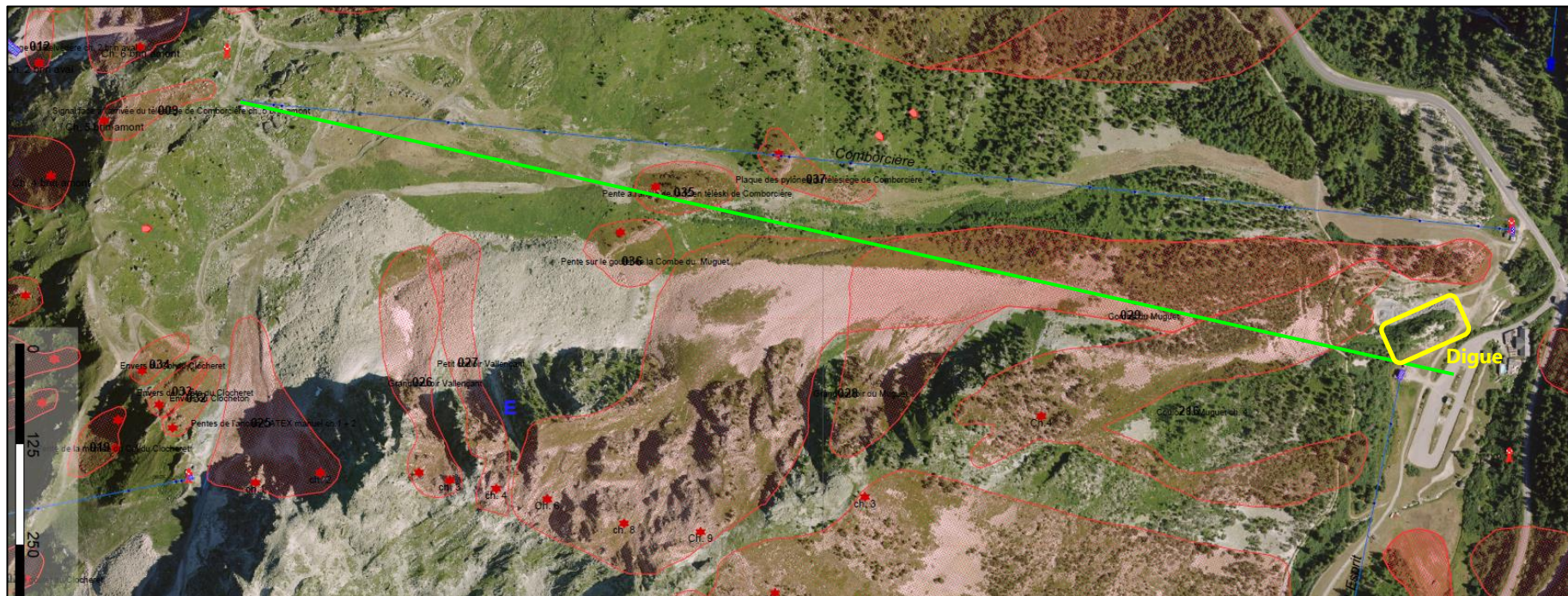


Figure 3: Extrait du PIDA du secteur, version SIG [7]

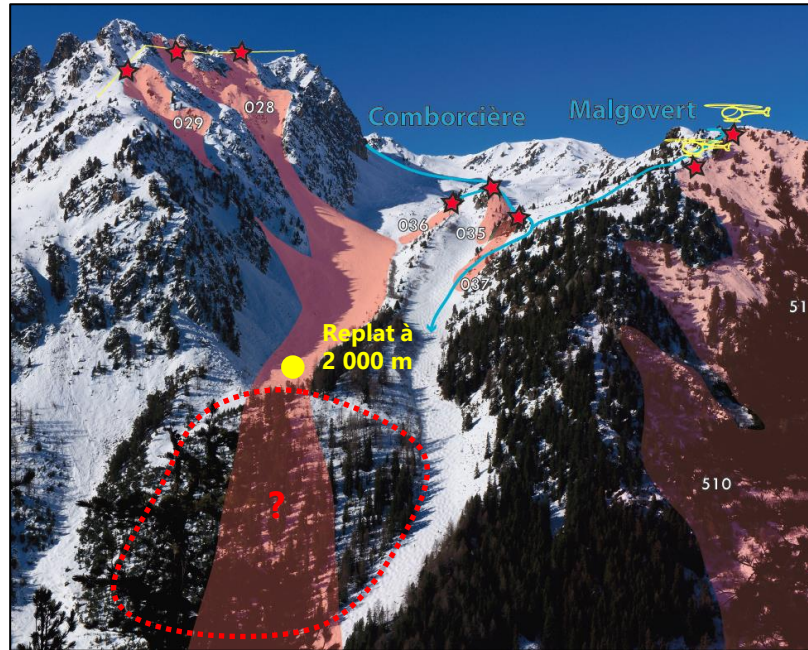
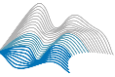


Figure 4: Extrait de l'Atlas du PIDA pour le secteur de Comborcière [7]



(Figure 3).

Une tourne a également été dressée pour dévier les écoulements de l'avalanche CLPA n°19 vers le nord et ainsi protéger les différentes infrastructures en aval

C. LE PHENOMENE DE REPTATION

Malgré le fait que les zones soient d'ores et déjà sécurisées en partie par déclenchement préventif (à travers le PIDA), qui permet surtout de traiter les parties superficielles du manteau neigeux, les parties inférieures ne sont pas toujours stabilisées, "accrochées" au sol et peuvent conduire au phénomène de reptation. Ce phénomène de déformation initialement lente mais qui peut dégénérer ensuite en avalanche concerne le plus souvent des neiges de printemps ou des neiges lourdes sur des sols peu/mal gelés.

Il est d'autant plus important lorsque le sol présente une très faible rugosité

(pentes herbeuses, dalles rocheuses...) sur des pentes supérieures à 30° avec une exposition sud).

Ce phénomène est aussi évalué selon le référentiel Suisse Berücksichtigung der Lawinen und Schneedruckgefährdung bei touristischen Transportanlagen (examen de la pression avalanches et de la neige pour les infrastructures de transport touristique, SLF 2015).

De prime abord, et à la vue des valeurs de pente le long de la ligne, le projet peut être contraint ponctuellement par le phénomène de reptation (Figure 5).

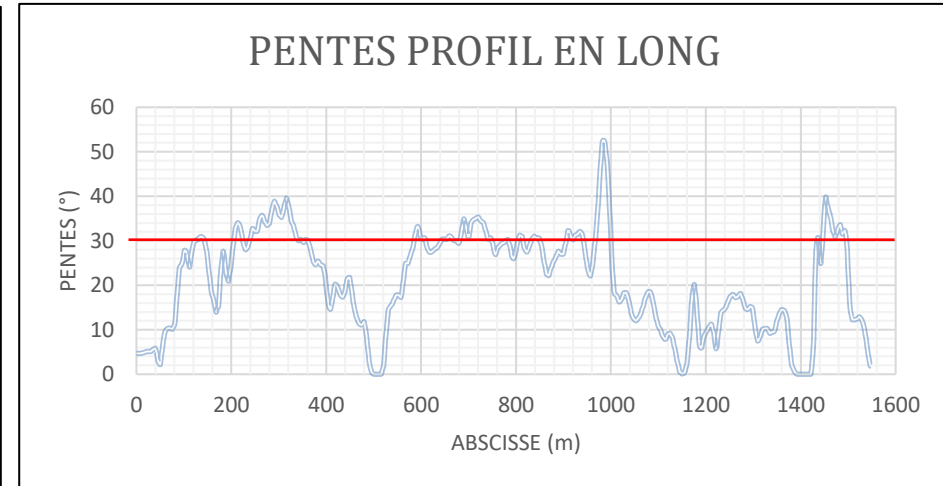
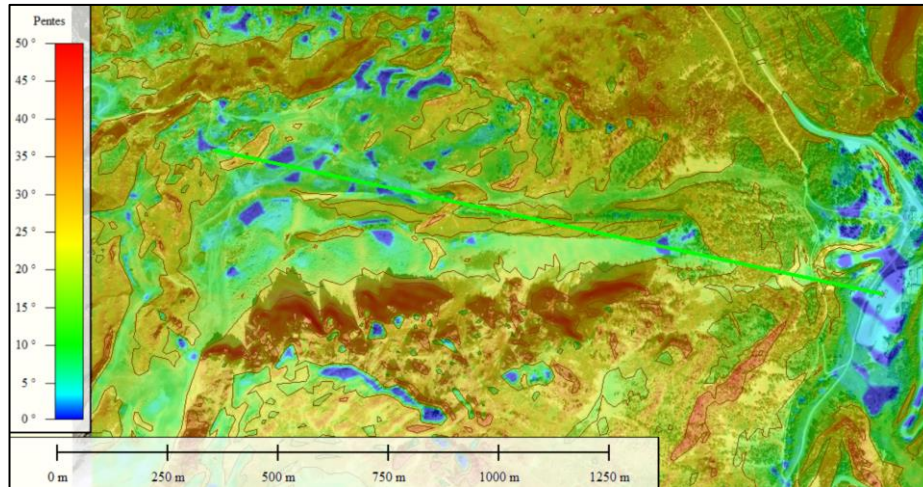
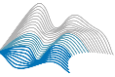


Figure 5: Carte des pentes (à gauche) et le long du profil (à droite) [8]

3. MODELISATIONS NUMERIQUES DES ECOULEMENTS

A. RAMMS

Le scénario conservatif retenu en pareil contexte est donc celui de déclenchements PIDA en conditions "dégradées" correspondant à une accumulation trentennale de neige fraîche en 48h.

Ce scénario est testé à l'aide du logiciel de référence RAMMS (<http://ramms.slf.ch/ramms/>) de l'Institut Fédéral Suisse d'Etudes des Avalanches à Davos selon les hypothèses suivantes :

- Jeu complet de paramètres correspondant à des avalanches trentennales : l'ensemble des préconisations du SLF sont respectées sans ajustement ou modification.
- Epaisseurs mobilisables de 0.7m dans les zones de départ selon le Tableau 2.

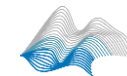
- Densité : 300 kg/m^3 . Cette densité est représentative de celle de l'écoulement qui ne correspond pas à celle du manteau neigeux dans la zone de départ.

- Résolution de la grille régulière représentant la topographie : **5m** [8]

- Zones de départ définies principalement par combinaison de la pente (entre 30° et 55° , valeur au-delà de laquelle la neige se purge naturellement), de la courbure (concavité) et des points de tir PIDA.

De manière conservative, les avalanches sont simulées simultanément pour également envisager la question de l'accumulation possible soit du fait de tirs PIDA successifs soit d'un déclenchement global des versants.

La loi d'écoulement utilisée est basée sur des équations hydrauliques classiques



d'un milieu continu moyenné sur l'épaisseur. La masse de l'avalanche (écoulement dense seulement considéré pour ces modélisations mais qui sont ici les seuls vraiment préjudiciables) est entraînée par la gravité tout en subissant la résistance au sol d'un frottement combiné de type Coulomb et visqueux qui dépend du carré de la vitesse d'écoulement.

Un des paramètres prépondérants pour ces modélisations est également le choix de la catégorie de volume qui va gouverner le comportement de l'avalanche. Ce volume doit s'entendre comme celui qui va "interagir avec lui-

même" au sein des lignes d'écoulements et pour cela, RAMMS permet le choix entre "tiny" ($<5000\text{m}^3=T$), "small" ($<25000\text{m}^3=S$), "medium" ($<60000\text{m}^3=M$) et "large" ($>60000\text{m}^3=L$).

Vu le contexte du site et de manière conservatrice, en considérant forcément la mise en œuvre d'un PIDA et la topographie individuelle des zones de départ, la catégorie de volume considérée est "**Small**" pour toutes les zones de départ. Comme évoqué, seuls les écoulements denses sont modélisés par cet outil.

B. RÉSULTATS

En conditions dégradées de PIDA, il est assez difficile (mais logique) de retrouver les extensions maximales connues à ce jour dans la CLPA (Figure 6).

D'une part pour la CLPA n°19 puisque la digue semble jouer parfaitement son rôle et dévie les écoulements vers le nord (l'extension est quasiment retrouvée) et protège de fait la gare de départ du projet.

D'autre part pour la CLPA n°3 pour laquelle il apparaît que les écoulements ont tendance à s'arrêter vers la côte 2 000m (Figure 4) avec des pentes très faibles (de l'ordre de 5 à 20°) plutôt que de replonger dans le versant juste en aval. Ce dernier est, de plus, bien boisé et semble témoigner de la non occurrence d'avalanches dans ce versant depuis plusieurs années... (à confirmer lors de la visite hivernale).

Les deux premiers tiers de la ligne restent bien touchés par ce phénomène avalanche dans tous les cas, surtout au niveau de la zone d'écoulement (bien marquée) de la CLPA n°19 qui peut présenter des hauteurs et vitesses d'écoulement importantes. Celle-ci devra absolument être évitée lors de la localisation des pylônes.

Relativement moins dangereux, le replat à 2 000 m où les hauteurs de dépôt peuvent être de l'ordre de plusieurs mètres présente des sollicitations (à première vue) qui pourront normalement être prises en compte directement par le constructeur : de l'ordre de 40 kPa max tout en prenant garde aux risques d'accumulations lourdes venant s'adosser contre.

L'avalanche localisée est bien retrouvée dans ce scénario et atteint le bas de versant.

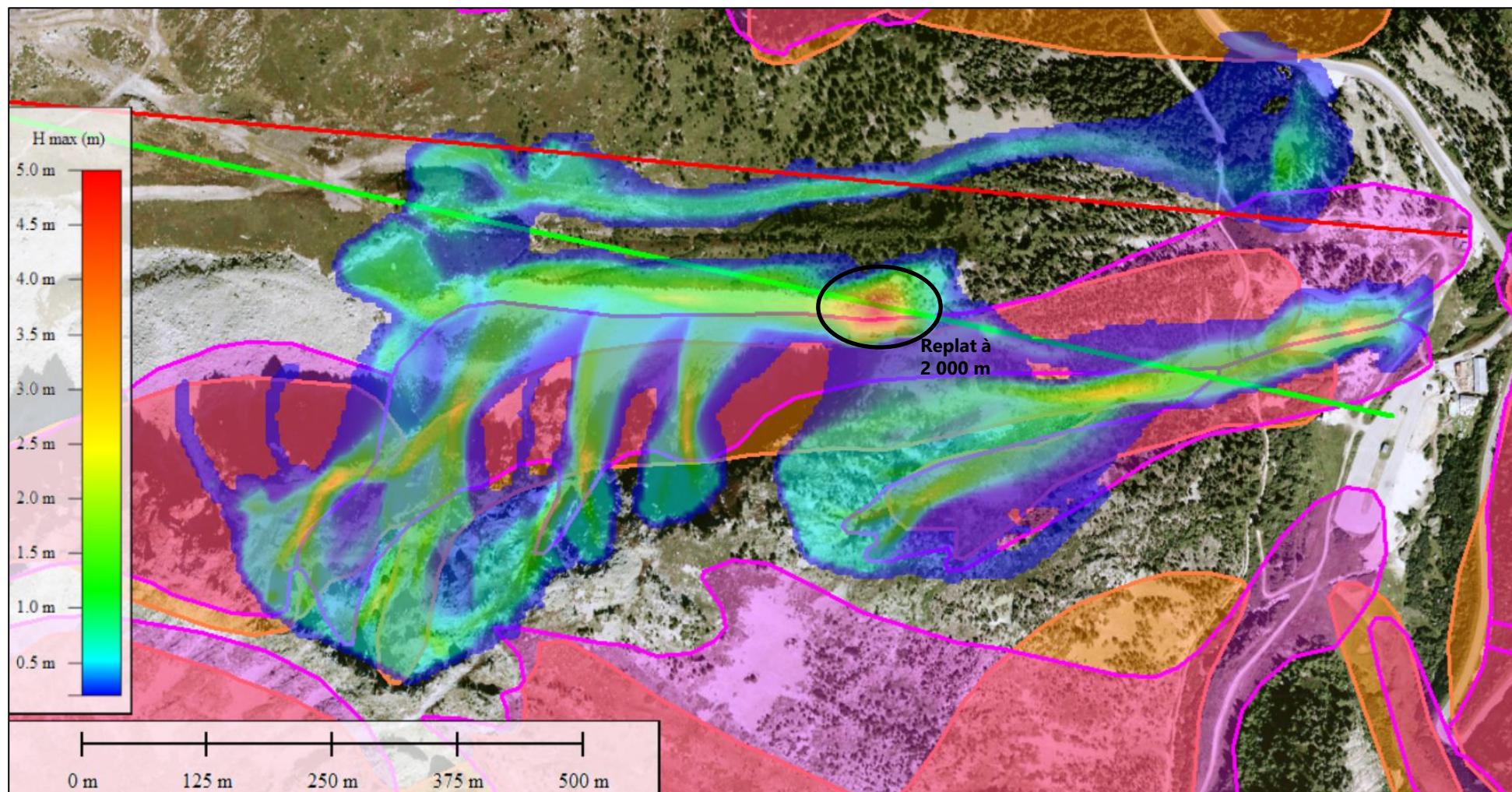
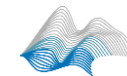
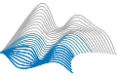


Figure 6: Hauteurs maximales des écoulements obtenus sur la partie basse par modélisations numériques ($e=0.7m$, S30) [1] [2] [8]



4. CONCLUSION

A première vue et avant la réception des éléments finalisés (position exacte de la ligne, des pylônes...) et la visite hivernale avec les échanges avec le service des pistes, le projet de TSD Comborcière n'est pas remis en cause par les risques nivologiques avalanche et reptation.

Aucune gare n'est touchée [2] [7] [9] (Figure 6).

Cependant il sera nécessaire de veiller à ce qu'aucun pylône ne se situe dans la tranche d'altitude comprise entre 1 860m et 1 900m, correspondante à la zone d'écoulement la plus intense de la CLPA n°19. Le cas échéant et si leur dimensionnement intrinsèque s'avérerait trop exigeant, des protections de type

étrave devront être étudiées pour assurer leur protection.

En ce qui concerne l'avalanche CLPA n°3 qui a tendance, pour le plus gros de son écoulement, à s'arrêter sur le replat à a côte 2 000m, des sollicitations de l'ordre de 40 kPa devront être prises en compte par le constructeur entre les côtes 2 025m et 2 080 m. Là aussi, les pylônes seront autant que possible localisés en dehors des plus gros dépôts potentiels.

Le reste de la ligne est relativement moins exposé et ne nécessitera que quelques dimensionnements adaptés.