

Concertation sur le projet Funiflaine du 24 janvier au 8 mars 2019

Bilan des associations : Association Flainoise – Amoureux des Carroz

Annexe A2

Dimensionnement de l'aspect « remontée mécanique »

Version v4

-Réduction du dimensionnement de l'infrastructure à 2000 passagers/h.

-Les possibilités de virages sur des pylônes, que nous avons cherché à approfondir (appliquées au 3S Penkenbahn de Tux/Mayrhofner) n'apportent pas ce que nous attendions, conclusion en annexe.

Version v5 (simulations effectuées à partir du 1^{er} octobre 2019)

Pas de simulations réduit à 1m, pour une meilleure précision géographique.

Profil du relief provenant de Google Earth, à partir des coordonnées GPS (la meilleure restitution parmi les offres gratuites).

Version v6 -Simulation avec une TC monocâble sur un tracé adapté, avec des portées limitées à 320m en raison du vent.

Version v7 : mise à jour des compléments sur les prix.

Table des matières

1 - Tracés de référence pour cette analyse.....	2
2 - Caractéristiques prises en compte pour la remontée mécanique.....	4
3 - Capacité de transport.....	5
4 - Simulation du câble par éléments finis.....	6
5 - Résultats – cas 3S.....	9
6 - Pente des câbles au départ des stations aval.....	12
7 - Déviation horizontale des câbles en fonction du vent.....	12
8 - Déviation verticale des câbles.....	12
9 - Dimensions des gares.....	15
10 - Conclusion.....	16
ANNEXE 1 - Virages en ligne pour les 3S.....	17
ANNEXE 2 – Caractéristiques de TC : La Flégère–Les Pratz, Orelles–Cime Caron, Prix.....	19

1 - Tracés de référence pour cette analyse

Tracés en technologie 3S

Le tracé de référence, le tracé 19, est divisé en deux tronçons:
Ces deux tronçons sont raccordés à l'intérieur de la gare des Carroz.

Le tableau ci-dessous donne leurs caractéristiques, et compare au tracé actuel du Syndicat Mixte (tracé 20).

	Magland (Riand)-Les Carroz (Les Feux)-Flaine P3	Tronçon 1 Magland – Les Feux	Tronçon 2 Les Feux – Flaine P3	Tronçon 2 jusqu'au point haut (dimensionnement câble tracteur)	Projet du Syndicat pour ce que nous en savons
Longueur en plan	5100m	1385 m	5100-1385=3785 m	5100-3942= 1158 m	5270 m
Altitude Départ (au sol)	510 m	510 m	1295 m	1295 m	510 m
Altitude Arrivée (au sol)	1703 m (point haut 1915 m)	1295 m	1703 m	Point haut 1915 m	1570 m
Dénivelé	1703-510 = 1193 m	770 m	1703-1295=408 m	1915-1295=620 m	1570-510=1060 m
Longueur développée	5462 m	1607 m	5462-1607=3890 m	4282,88 -1605-2677 m	5620 m
Pente moyenne		53 %		26 %	

Les plans et les profils ont été tracés, à partir des informations du Géoportail IGN, et de Google Earth.

La tension des câbles est ajustée séparément pour les 2 tronçons, la longueur, le nombre de cabines et la pente sont différents.

Tracé en technologie monocâble

Le tracé doit être compatible avec des portées entre pylônes ne dépassant pas 312m (référence de La Flégère et Orelles-Cime Caron) dans les zones ventées.

Nous avons retenu le tracé :

Magland – Les Carroz – Les Molliets – Pierre Carrée – Flaine P3 pour satisfaire cette exigence.

Le coût réduit de la technologie monocâble, des rapports de l'ordre 2 à 3 sont cités pour la remontée mécanique elle-même, permet l'ajout de 2 gares intermédiaires très intéressantes au plan du service rendu. Le supplément de longueur de câble est de 500m, mais l'augmentation du temps de parcours provient surtout de l'arrêt aux 2 gares supplémentaires.

Les principales caractéristiques du tracé sont les suivantes :

	Magland (Riand)- Les Carroz (Les Feux)-Flaine P3	G2 Tr 1 Magland– Les Feux	Point haut (dimensionnement)	G3 Tr 2 Les Feux– Les Molliets	G4 Tr 3 Les Molliets–Pierre Carrée	Point haut (intervient dans le dimensionnement)	G5 Tr 4 Pierre Carrée– Flaine P3
Longueur/distance en plan	0 m / 5750m	1325 m		3475 m	4600 m	4825 m	5700 m
Altitude Départ (au sol)	507 m sol	507 m		1260 m	1456 m	1858 m	1456 m
Altitude Arrivée (au sol)	1686 m	1260 à 1286 m		1456 à 1473 m	1836 à 1846 m	1858 m	1692 m à 1689 m
Dénivelé	1689-507 = 1182 m	1260-507= 753 m		1456-1260=196m	1836-1456=380m		1689-1456=233m
Longueur développée	6125 m	1565 m		3737 m	4956 m	5387 m	6125 m
Hauteur pylônes	20 20 m	41 – 16 m		20 - 20 m	Pyl 24-15 m	20 m	Pyl 14 – 17 m

Au plan de l'exploitation, l'idéal serait de faire 2 tronçons :

- Tronçon 1 de Magland aux Carroz, avec moteur aux Carroz, permettant une exploitation séparée, par exemple hors saison,
- Tronçon 2 des Carroz à Flaine. Avec motorisation à Flaine.

Il y aurait une tension de câble en aval de chaque tronçon.

Cela permettrait de minimiser le personnel d'exploitation. C'est ce qui est pris dans les simulations.

Il faut voir si les inconvénients ne sont pas trop importants (tronçon 2 de 4500m de câble).

2 - Caractéristiques prises en compte pour la remontée mécanique

Technologie 3S

Cabines. Capacité de 2000 passagers/h.

Cabines de 35 places assises (type Sigma comme sur le 3S des Prodains à Avoriaz).

Poids à vide : 3550 kg Charge utile : 2900 kg / cabine (80 kg / passager cf. STRMTG cas de l'hiver). Masse unitaire totale max : 6 050 kg

Câbles références (source remonteemecaniques.net) :

3S d'Avoriaz (câbles Fatzer), câble porteur 57 mm charge de rupture 350 000 daN et câble tracteur 45 mm charge de rupture 146 600 daN

3S d'Ischgl. (câbles Fatzer), câble porteur 58 mm, masse 74 t, et câble tracteur 55 mm 85 t (L=3 424 m)

On prend en compte les câbles porteurs du 3S des Prodains car on connaît la résistance mécanique, et le câble tracteur de Ischgl car la masse des cabines à déplacer est proche de celle du Funiflaine (la ligne du 3S des Prodains est bien plus courte que celle du Funiflaine).

	Masse kg/m pour 1 câble.	Longueur totale environ	Résistance à la rupture	Effort statique maximal pour 1 câble avec prise en compte des phénomènes vibratoires et dynamiques.
Porteur 57 mm	20 kg	22,6 km pour 4 câbles	350 kdaN (forum des remontées Mécaniques pour le 3S des Prodains)	111 kdaN (coefficient 3,15)
Tracteur 55 mm	18 kg	11,3 km pour 2 câbles	220 kdaN. Valeur extrapolée du chiffre des Prodains qui a un câble de 45 mm.	48 kdaN (coefficient 4,5)
TOTAL				270 kdaN

On trouve également sur la ligne des cavaliers, Ils soutiennent le câble tracteur, évitent que les câbles puissent se frotter ou s'emmêler, et réduisent le balancement des câbles. Nous évaluons leur masse à 0,5 tonne. On prend un espacement de 250 m comme sur le 3S de kitzbühel (2004, c.f. Forum des Remontées Mécaniques).

Technologie MONOCÂBLE

Analyse sur la base des TC La Flégère-Les Pratz et Orelles Plan Bouchet-Cime Caron (cabines non lestées).

TC 10 places, masse à vide de 1000 kg. Avec 10 voyageurs de 75 kg, la masse en charge est de 1750 kg.

Câble de 58 ou 64 mm. Pour 58mm : la tension de rupture est de 271,3 t, la charge max est de 68 t, la masse linéique est de 13,16 kg/m.

Pour une capacité de 2000 p/h, il faut un passage de 200 cabines/h. Les cabines sont espacées de 106 m à 6 m/s et de 126 m à 7m/s.

3 - Capacité de transport

Nous évaluons dans plusieurs configurations, le nombre de cabines, l'intervalle entre cabines, et la masse linéique suspendue correspondante

Hypothèses :

- 3S - On prend 8 m/s comme vitesse nominale, et une capacité de transport de 2000 passagers/h / sens, avec des cabines de 35 passagers
- Monocâble - On prend une vitesse de 7 m/s.

La capacité de 2000 passagers/h est celle indiquée dans l'appel à candidature du Funiflaine,.

Tracé	Magland (Riand) – Les Carroz (Les Feux) - Flaine P3			
Technologie 3S	Longueur Développée A/R 10 900 m			
Données d'exploitation, pour 2 cas	Temps de rotation des cabines, hors temps en gare à chaque arrêt.	Espacement des cabines, nombre de cabines nécessaire,	Distance moyenne développée entre cabines (m) sur chaque sens,	Masse moyenne des cabines / m de ligne développée par sens en kg /m
6 m/s (cabines 35 places) 3S à 2000 p/h	1 816 s (avec temps en gare, à corriger)	2000 / 35 = 57 cabines/h 3600/57 = 63 s entre cabines 1816/63 = 29 cabines en ligne	63 x 6 = 378 m	6050/378 = 16 kg/m Masse totale suspendue = 58+16=74 kg/m
8 m/s (cabines 35 places) 3S à 2000 p/h	1 602 s (avec temps en gare, à corriger)	2000/35 = 57 cabines/h 63 s entre cabines 26 cabines en ligne	63x8=504 m	6050/504=12 kg /m Masse totale suspendue = 58+12=70 kg/m
Technologie Monocâble.	Longueur développée A/R 12 250 m			
Données d'exploitation, pour 2 cas	Temps de rotation des cabines, hors temps en gare à chaque arrêt.	Espacement des cabines, nombre de cabines nécessaire,	Distance moyenne développée entre cabines (m) sur chaque sens,	Masse moyenne des cabines / m de ligne développée par sens en kg /m
6 m/s (cabines 10 places) Monocâble à 2000 p/h	2041 s	200 cabines/h 3600/200 = 18s entre cabines	18x6= 108 m	1750/108= 16,2 kg/m Masse totale suspendue/m : 13,6+16,2=29,8 kg/m
7 m/s (10 places) Monocâble 2000 p/h	1750 s	200 cabines/h 3600/200 = 18s entre cabines	18x7= 126 m	1750/126= 13,9 kg/m Masse totale suspendue/m : 13,6+13,9=27,5 kg/m

4 - Simulation du câble par éléments finis

Les profils verticaux des câbles porteurs et des câbles tracteurs sont très proches, ils sont mis au même niveau :

- à chaque pylône
- à chaque cabine
- pour le 3S, à chaque cavalier de ligne.

Cas du 3S

La ligne est divisée, au plan des efforts, en éléments sur lesquels on combine les forces représentées par des vecteurs :

Les efforts considérés sont :

- la tension des câbles porteurs aval et amont, dans leur axe, à chaque extrémité du segment,
- le poids des câbles porteurs, des câbles tracteurs (éventuels), et des cabines.
- le poids des cabines et des cavaliers,
- et aux cavaliers et aux cabines, un échange d'efforts verticaux entre câbles porteurs et tracteurs, cavaliers et cabines, les amenant au même niveau.

Forces	Conséquence
- le poids de la cabine est repris :	la part du vecteur Poids dans l'axe du câble tracteur est reprise par ce câble. Le restant est repris par les câbles porteurs.
- le poids du câble tracteur est repris :	Par lui-même et par les câbles porteurs.
- le poids des câbles porteurs est repris :	Par lui-même et par le câble tracteur.

La difficulté est de déterminer la part d'efforts repris par chaque câble. Cela dépend de la tension des deux câbles, et doit être recalculé en continu.

Dans cette évaluation, on procède ainsi :

La simulation ne distingue pas les efforts sur les câbles porteurs et tracteurs, on raisonne en tension globale.

La répartition n'a pas d'incidence sur le profil. En revanche, cela ne permet pas le dimensionnement mécanique des câbles.

La masse des cabines et des cavaliers est ajoutée en valeur moyenne à la masse des câbles.

Masse des câbles pour une ligne de montée ou descente de 5 à 6 km :

- 2 câbles porteurs : 40 kg/m

- 1 câble tracteur : 18 kg/m
 - 13 cabines de 6,050 tonnes par sens, une tous les 504m en montée et en descente, soit 12 kg/m/sens..
 - 15 cavaliers par sens (espacés de 250m) de masse unitaire estimée à 0,5 tonnes, soit 1,5 kg/m/sens
- Le total est de 71,5 kg/m.

L'approche est purement statique.

Le STRMTG définit les marges de dimensionnement des câbles (page 85 du guide 2016) :

Cas du monocâble : marge de 4,00.

Cas du 3S : marge 3,15 pour les câbles porteurs, et 4,5 pour le câble tracteur.

Notre simulation est réalisée comme si on avait un seul câble, et pour le 3S la tension sur le câble tracteur pour la fonction traction est analysée ci-après.

Cas du 3S : calcul approximatif de la tension sur le câble tracteur pour la seule fonction traction des cabines, et conséquence sur la tension totale.

	Nombre de cabines en moyenne sur chaque tronçon, jusqu'au point haut (la partie descendante ne s'ajoute pas).	Tension du câble tracteur au point haut
Tronçon 1. L = 1460 m (développée 1687 m), Dénivelé 770 m Pente 53 %	En moyenne $1687/300 = 6$ cabines	$6 \times 6050 \times 53 \% = 19,5$ kdaN
Tronçon 2. Jusqu'au point haut L = 2500 m (développé 2600 m), Dénivelé 420 m Pente 16 %	En moyenne $2600/300 = 9$ cabines	$9 \times 6050 \times 26 \% = 14,2$ kdaN.

La charge maximale est compatible avec la capacité de 48 kdaN des câbles tracteurs, et on ajustera la tension maximale de ces câbles à 48 kdaN au point haut pour soulager les câbles porteurs. On bénéficiera alors de la capacité totale en statique des câbles de $222 (2 \times 111) + 48 = 270$ kdaN.

On vise donc une tension maximale totale de **270 kdaN/sens** pour l'ensemble des trois câbles de chacun des tronçons.

Le pas de calcul sur les câbles est de 10m. (1m pour les simulations effectuées à partir d'octobre 2019. Cela permet un positionnement plus précis des pylônes et gares.).

Cas du monocâble.

Dimensionnement effectué avec un câble unique de 58 mm à la vitesse la plus pénalisante de 6 m/s pour laquelle il y a le plus de cabines.

Pour une capacité de 2000 p/h, il faut un passage de 200 cabines/h. Les cabines sont espacées de 106 m.

La charge linéique est de $13,7 + 16,5 \text{ kg} = 29,7 \text{ kg/m}$

Tableau de résultats du logiciel, ci-après.

Pour chaque pylône, on obtient :

-la charge verticale et horizontale

-la variation de pente entre amont et aval,

ce qui permet de calculer l'inclinaison des efforts sur le pylône (ainsi que la longueur du sabot pour assurer le confort des passagers, mais ce n'est pas fait).

Le positionnement des pylônes est réalisé avec le minimum de pylônes. La tension des câbles est ajustée aux gares de départ de chaque tronçon pour ne pas dépasser la limite aux points hauts de chaque tronçon ; de 270 kdaN en 3S et 68 kdaN en Monocâble (câble de 58 mm).

5 - Résultats – cas 3S

Singularité	Gare 1	Pylône 1	Pylône 2	Gare 2				Pylône 4		Pylône 5		Pylône 6		Gare 3
	G1	P1	P2	S Sabot aval	Extrémités de la construction		S Sabot amont	P4		P5		P6		G3
Abscisse m	0	500	940	1330	1350	1420	1440	1555	1585	3280	3320	3942	3970	5100
Altitude câble m	519	759,58	1126,81	1287,02	1294,02	1294,12	1300,12	1357,00	1362,54	1902,83	1904,89	1918,74	1917,97	1722,70
Pente câble <i>radians</i>	0,370	0,63	0,337	0,330	0,000	0,280	0,411	0,180	0,040	0,040	-0,050	0,062	0	0,000
Longueur m	0	556,03	1129,44	1551,28	1572,47	1642,47	1663,36	1791,65	1822,16	3620,2	3660,67	4283,56	4311,57	5463,13
Tension câbles kdaN	218,0	236,0	263,4	220,0	220,5	220,5	220,9	225,1	225,5	265,3	265,3	267,0	267,0	252,2
Tension Vert kdaN	78,8	139,6	86,6	71,3	0,0	52,4	88,0	44,7	6,8	0,0	-13,0	0,0	-87,8	0,0
Tension Horiz kdaN	203,2	190,3	248,7	208,1	220,5	214,2	202,6	220,6	225,4	265,3	265,0	267,0	252,2	252,2

On a détaillé la gare intermédiaire, et 3 pylônes très chargés.

Le profil établi par la simulation est donné ci-après On voit 4 traits ou marques :

- noir: le relief du sol

- rouge : pylônes, et trait droit entre les sommets des pylônes Funiflaine ou HT

- vert : position du câble en charge maximale.

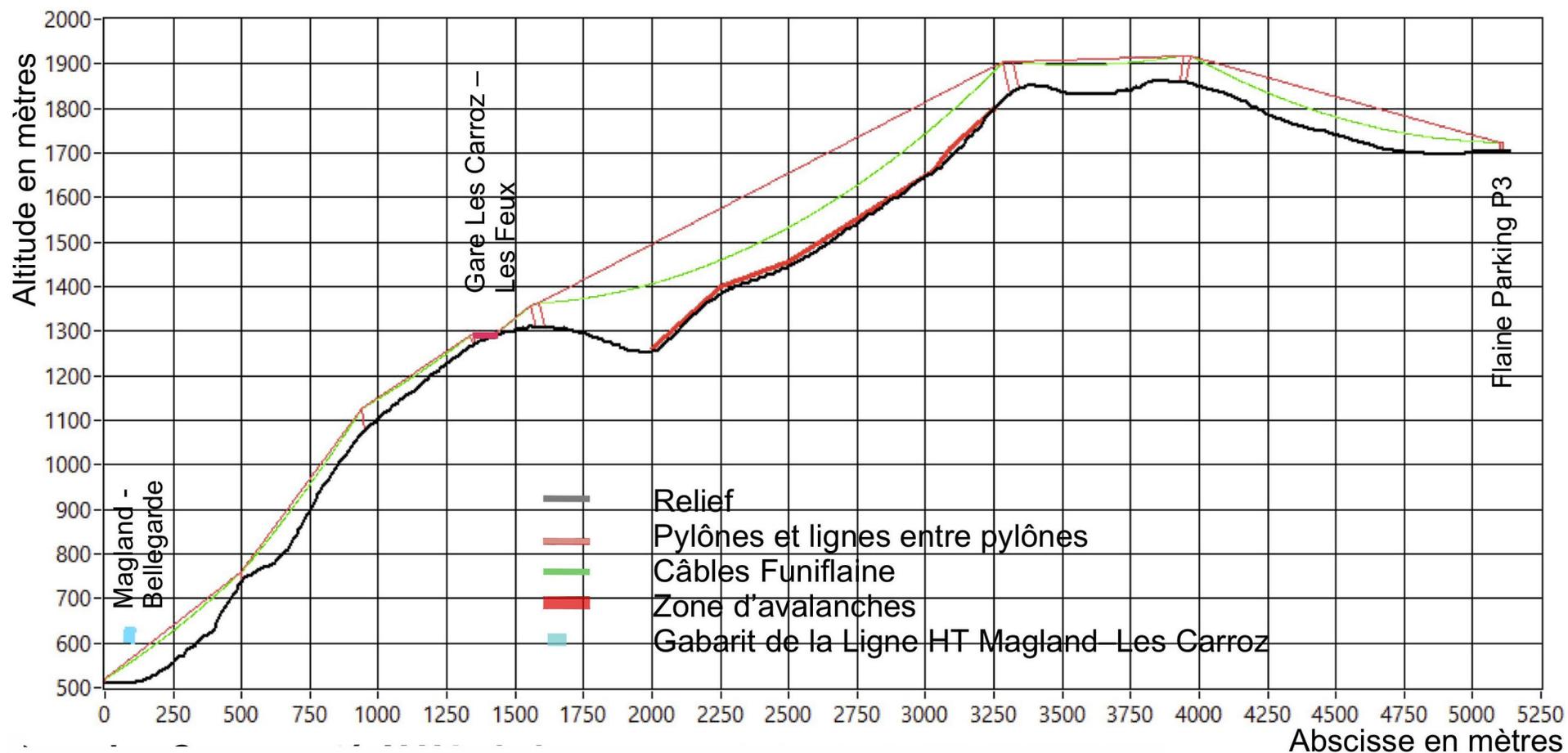
- bleu : proximité avec des lignes HT

Ce dimensionnement n'est peut-être pas optimal, il peut être plus intéressant d'ajouter des pylônes pour réduire les efforts dans les câbles porteurs et les pylônes.

Les forces indiquées lignes 5 à 9 sont à multiplier par 2 pour les pylônes car les chiffres ne concernent qu'un sens de liaison

Cela permet de vérifier la tension des câbles, et de déterminer les efforts sur les pylônes.

9-Tracé des Asso (19) : Magland – Les Carroz – Flaine P3



6 - Pente des câbles au départ des stations aval

Sur les installations 3S, il n'est pas possible de réaliser des pylônes de compression, de façon satisfaisante.

Cependant, une fonction similaire est réalisée au départ des gares aval. Les câbles sont à l'horizontale à l'intérieur de la gare, et il faut prendre rapidement une pente importante, en général entre 10° et 30°. La sortie de gare permettant de réaliser cette prise de pente est proche d'un pylône de compression, avec la différence que les câbles porteurs ne peuvent pas coulisser.

7 - Déviation horizontale des câbles en fonction du vent

Nous ne sommes pas à même de réaliser une évaluation. Nous nous reposons sur les réalisations :

3S jusqu'à des portées de 3000m.

Monocâble, projet de la Flégère tolérant une vitesse de vent de 90 km/h avec une distance maximum entre pylônes de 320m.

8 - Déviation verticale des câbles

Pour les longues portées, les déplacements verticaux des câbles et des cabines sont un élément important. Les cabines ne doivent pas se rapprocher à moins de 4m du sol, contrainte du STRMTG.

Un calcul complet, par exemple dans le cas d'un arrêt brutal de l'installation ou de rafales de vent est complexe, et fait partie du dossier de réalisation, et prenant en compte les conditions d'exploitation, notamment le vent.

Nous avons cependant effectué des vérifications **sur notre tracé 19**, au milieu de la plus grande portée :

- nous avons fait une approche reposant sur la longueur du câble, dans les conditions de nos simulations
 - pour chaque intervalle entre gare et pylône ou entre pylônes, notre logiciel de simulation calcule la longueur rectiligne entre appuis, et la longueur du câble.
 - la longueur du câble excède la longueur rectiligne entre pylônes de 18,8m sur la portée la plus longue et de 26,6m sur la totalité de la longueur.
- Ce n'est pas assez pour que les cabines s'approchent du sol à moins de 4m, même si la totalité du « mou » était reportée sur la travée la plus longue. La situation est représentée sur la figure ci-après.

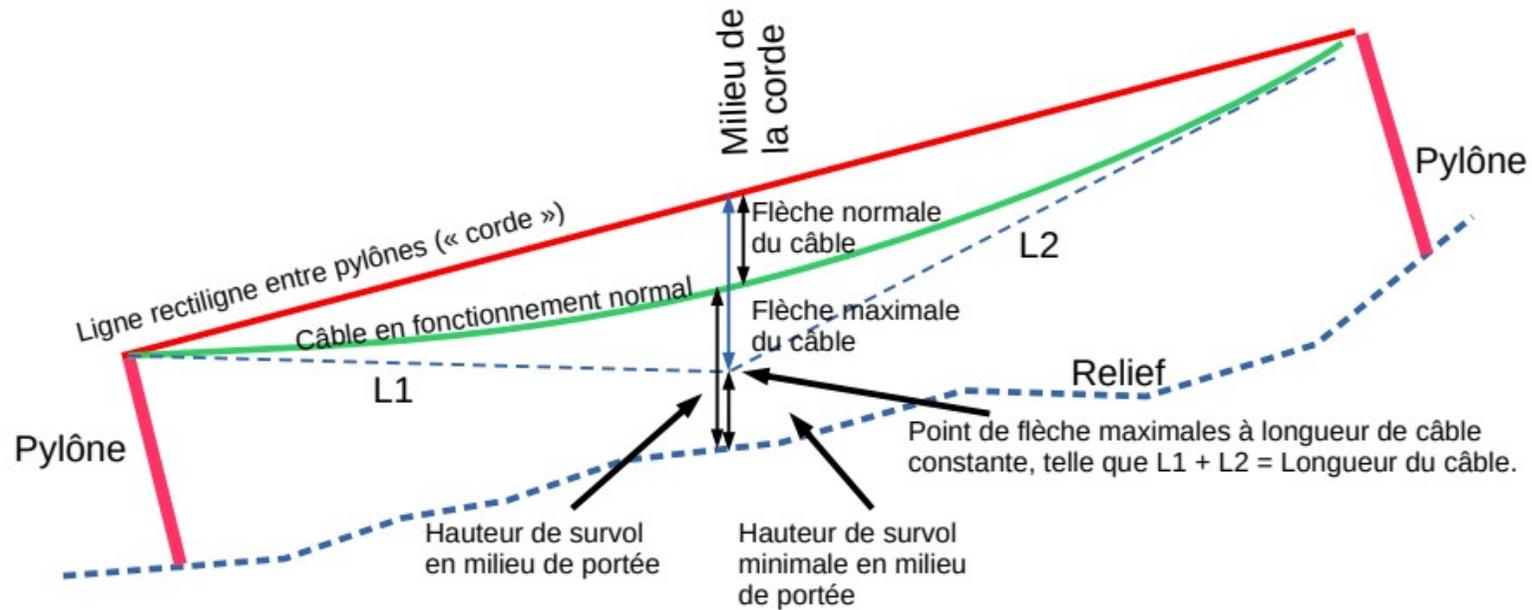
On est très éloigné de cas de situations réelles, et nous avons cependant une marge significative.

Voir les tracés dans la partie 2 du dossier. Tracés 19 et 17 pour la portée qui survole la zone d'avalanche de l'Arbaron :

-Tracé 19 (gare en aval de la route) : Flèche 120m et hauteur de survol normale 90m. La hauteur de survol minimale est de 51m (marge 46m).

-Tracé 17 (gare en amont de la route) : Flèche 120m et hauteur de survol normale 75m. La hauteur de survol minimale est de 15m (marge 11m).
Le tracé 20, projet du Syndicat, (traversée de la zone d'avalanche de l'Arbaron), n'est pas analysé car on ne connaît pas les limites de la zone rouge

Flèche maximale en milieu de portée entre deux pylônes.



	TRONCON 1						TRONCON 2												
SINGULARITES	G1	P1	P2	Sabot	G2	Axe G2	G2	Sabot	P4		P5		P6		G3				
CARACTERISTIQUES DES TETES DES PYLONES				Aval	Début		Fin	Amont	aval	amont									
Abscisse en plan m	0	500	950	1350	1350	1385	1420	1420	1575	1608	3310	3340	3930	3950	5100				
Inclinaison des pylônes m	0	0	-10	-20	0	0	0	20	-20	-23	-30	-20	12	20	0				
Abcisse Tête Pylône	0	500	940	1330	1350	1385	1420	1440	1555	1585	3280	3320	3942	3970	5100				
Altitude pied pylône	509	737,58	1076,81	1270,02	1270,02	1281	1285,12	1285,12	1309	1307,54	1832,83	1844,89	1858,74	1857,97	1702,7				
Hauteur pylône m	10	22	50	17	24		9	15	48	55	70	60	60	60	20				
Altitude Tête Pylône	519	759,58	1126,81	1287,02	1294,02		1294,12	1300,12	1357	1362,54	1902,83	1904,89	1918,74	1917,97	1722,7				
Long. câble depuis le départ m	0	556,03	1129,44	1551,28	1572,47		1642,47	1663,36	1791,65	1822,16	3620,62	3660,67	4283,56	4311,57	5463,13				
																longueurs totales			
CARACTERISTIQUES ENTRE TETES DE PYLONES															Tronçon 1	Tronçon 2	Total		
Variation d'Altitude		240,58	367,23	160,21	7		0,1	6	56,88	5,54	540,29	2,06	13,85	-0,77	-195,27				
Longueur en Plan		500	440	390	20		70	20	115	30	1695	40	622	28	1130	1 350,00	3 750,00	5 100,00	
Longueur rectiligne (Corde)		554,87	573,11	421,62	21,19		70,00	20,88	128,30	30,51	1 779,03	40,05	622,15	28,01	1 146,75	1 570,79	3 865,68	5 436,47	
Longueur de Câble		556,03	573,41	421,84	21,19		70	20,89	128,29	30,51	1798,46	40,05	622,89	28,01	1151,56	1 572,47	3 890,66	5463,13	
Longueur de Câble - Corde		1,16	0,30	0,22	0,00		0,00	0,01	-0,01	0,00	19,43	0,00	0,74	0,00	4,81	1,68	24,98	26,66	
Flèche maximale en milieu de portée	avec la longueur de câble de 1779,03 m + 19,43 m = 1798,48 m										136 m								
	avec la longueur de câble de 1779,03 m + 26,66 m = 1805,69 m										160 m								
	Tracé 19 hauteur du tracé rectiligne par rapport au sol en milieu de portée tracé 19										210 m	Marge très significative. Les pylônes pourraient être abaissés.							
	Tracé 17 hauteur du tracé rectiligne par rapport au sol en milieu de portée tracé 17										195 m	Il y a encore un peu de marge.							

Ce tableau se réfère au tracé décrit page 10, et aux données page 8.

9 - Dimensions des gares

Gares 3S - Nous donnons ci-après des Caractéristiques d'implémentation de gares sur 2 projets : Les Prodains / Avoriaz et Eisgrat / Stubaier Gletcher

Remontée / gare	Dimensions de la gare	
Prodains Gare de départ	Inscrite dans une surface de 63 x 40 m. Un sabot dépasse sur 10 m, la longueur de la partie entraînement des cabines est de 30m.	Pente en sortie de gare : environ 30° Hauteur fin de sabot : 10 m
Eisgrat Gare de départ	La largeur est de 20m, pour la gare seule.	Pente en sortie de gare : environ 10°. Hauteur fin de sabot : 10 m
Gare intermédiaire	Inscrite dans un rectangle de 100m x 40m. Un sabot dépasse sur 10m à chaque extrémité. La longueur de la partie entraînement est de 30m environ à chaque extrémité. La part restante, 2 fois 10m a une largeur de bâtiment de 20m.	

Modélisation sur les plans :

Gare simple 3S Total 70m	Bâtiment en dur :50m x largeur 20m	Extension 10 m largeur 15m	Sabot : 15m se terminant à 10m de hauteur par rapport au sol. largeur 10m
1/2 gare double 3S Total 50m	Bâtiment principal 25m x largeur 20 m	Extension 10 m largeur 15 m	Sabot 15m largeur 10m

A Stubaier Gletcher, il y a un bâtiment secondaire à coté de la gare, probablement garage à cabines, de dimensions 70 x 20.

Monocâble

Pour la partie Remontée Mécanique, les dimensions sont 25x15m (La Flégère).

Nous retenons les dimensions suivantes hors tout dans les différents cas :

Gare simple non motorisée	35m x 25 m	Magland
Gare simple motorisée	50 m x 25 m	Flaine
Gare intermédiaire non motorisée	50 m x 25 m	Les Molliets, Pierre Carrée.
Gare intermédiaire motorisée	75 m x 25 m	Les Carroz

10 - Conclusion

3S - Nous avons passé en revue les critères de dimensionnement possibles pour le Funiflaine. Nous n'avons pas tous les éléments que nous souhaiterions, certains sont obtenus de façon indirecte, par exemple les caractéristiques de câbles qui doivent se négocier avec les fournisseurs, mais nous pensons que l'ensemble des choix constitue des critères de dimensionnement crédibles.

Monocâble - nous avons retenu un dimensionnement qui pourrait être appliqué à une réalisation en TC, essentiellement à partir de la situation du nouveau TC La Flégère-Les Pratz. Détails en annexe 2.

ANNEXE 1 - Virages en ligne pour les 3S

Nous avons analysé la possibilité de faire un virage sur un pylône.

Notre analyse des efforts était encourageante, il y a au moins une réalisation, mais les fournisseurs sont très réticents, et un d'entre eux nous a donné une explication reproduite ci-après.

Les courbes qui peuvent être réalisées sont faibles. **Cela relève de défauts d'alignement, pour s'écarter de quelques mètres d'un obstacle ou d'un survol de bâtiment.**

Avis d'un fabricant de remontées mécaniques sur les possibilités de virages en ligne.

Les virages en ligne sont un point controversé. Nous n'avons pas les éléments techniques permettant de justifier le bon roulement du chariot dans les virages, mais le vent a exactement le même effet sur le roulement du chariot avec des efforts bien supérieurs, alors que pour le passage des virages on peut optimiser le sabot (clothoïde, dévers).

Nous avons cependant eu un retour négatif indirect de la part des constructeurs. Un d'entre eux a donné une explication.

A chaque passage de cabine sur un pylône, il se produit un glissement des câbles porteurs sur le sabot des pylônes, avec usure.

Pour limiter l'usure des câbles, ceux-ci sont périodiquement décalés d'une longueur du sabot le plus long, pour répartir l'usure. Cette opération est complexe et coûteuse. On ne peut la faire qu'un nombre de fois limité, après quoi il faut remplacer le câble.

Notre interlocuteur nous a indiqué que la réalisation de virage sur un pylône accroît l'usure. C'est d'autant plus marqué que l'installation fonctionne plus longtemps chaque année, donc ce n'est pas indiqué pour les transports publics.

Ainsi, l'installation du Penkenbahn avec son virage de 6,5° ne fonctionne que 1500h / an et est acceptable.

Pour un service public, on ne peut pas aller au-delà de 2° à 4° sans impacter de façon significative les coûts d'entretien.

Photos de pylônes du Penkenbahn (Doppelmayr)



Pylône avec virage de 6°. L'inclinaison latérale éventuelle n'est pas visible, alors que la ligne est comparable aux tronçons du Funiflaine (longueur 3km, dénivelé 1100m, 3 pylônes). La longueur du sabot est de 50m.

Pylône « normal » avec fort changement de pente. Ce pylône est très massif.

ANNEXE 2 – Caractéristiques de TC : La Flégère–Les Pratz, Orelles–Cime Caron, Prix

TC La Flégère – Les Pratz

Réalisé en 2019. Ce nouveau TC remplace un téléphérique.

Article sur Remontées Mécaniques .net <https://www.remontees-mecaniques.net/bdd/reportage-tcd10-flegere-les-praz-doppelmayr-7148.html>

Orelles – TC de Plan Bouchet (2350m)- Cime Caron (3200m). En construction.

Remplacement d'un TC ancien. Nous nous intéressons ici au 2ème tronçon pour lequel nous avons des informations.

Portée entre pylônes de 312m maximum, installation exploitable avec un vent allant jusqu'à 100 km/h, avec des cabines lestées.

	Flégère – Les Pratz	Plan Bouchet – Cime Caron
Capacité Début et A terme	2000 p/h - 50 Cabines de 10 places assises	2000 p/h (44 cabines de 10 places assises). A terme 2500 p/h (55 cabines)
Vitesse	6 m/s Trajet en 6'22''	7 m/s
Géométrie		
Longueur en plan	2047 m	
Longueur au sol		2186 m
Développée (long câble)	2237 m	
Dénivelée	837 m	821 m
Gare Motrice	Amont 935 kW	
Câble		
Câble et masse linéique	58 mm 13,16 kg	64 mm
Tension de rupture	271 kdaN	335 kdaN
Tension en exploitation	68 kdaN	83,75 kdaN (marge définie par le STRMTG dans un rapport 4).

Pylônes		
	12 pylônes (8 supports, 3 support et compression, 1 compression)	16 pylônes en ligne. Hauteur de fût entre 8 et 33m
Portée entre pylônes	Max 312 m	Max 312 m
Cabines – Voie – Gabarit - Vent		
Cabines	10 places assises, 1000 kg à vide. 1750 kg en charge (10 x 75 kg). Hauteur / câble : 4,33m	Lestées pour améliorer la résistance au vent (probablement 300 kg), donc peut-être plus lourdes que 1000 kg. Mêmes dimensions.
Voie - Gabarit	6,40 m	6,40 m Gabarit statique 9,06 m Gabarit dynamique 11,2 m
Taille de la gare	Longueur de la gare aval RM : 25 m	Longueur du bâtiment amont 35,6 m Hors Tout. Largeur Hors Tout 18m
Vent acceptable	25 m/s = 90 km/h en latéral.	100 km/h
Evacuation	Hauteur / sol max 61 m	Sauvetage intégré en raison de l'altitude élevée.

Les choix pour le tracé du Funiflaine sont mis en gras. Le dimensionnement 90 km/h de la Flégère semble avoir peu d'impact sur le dimensionnement. En revanche, le passage à 100 km/h avec une capacité de 2500 p/h a un impact important : lest des cabines, câble plus gros (en raison également de la dénivelée).

On retient le dimensionnement pour 90 km/h, d'autant plus justifié que le tracé longe une route et que la station de Flaine n'est pas isolée en cas de panne..

Données économiques

La Flégère – Les Pratz	Orelle. Plan Bouchet–Cime Caron	Orelle. Les deux lignes Orelle – Plan Bouchet - Cime Caron
20,8 M€ (TTC ?) (remontees-mecaniques.net) Longueur de ligne 2237 m Dénivelée 837 m	14 M€ HT hors gare de départ Longueur de ligne : 2186 m Dénivelée : 812 m	Total 40 M€ HT pour les 2 tronçons Longueur de ligne 5100m Dénivelée : 1470 m

Pour comparer au Funiflaïne, il faudrait connaître exactement ce que recouvrent les enveloppes de prix. Voir ci-après.

Documentation sur les coûts

Orelle – Plan Bouchet - Cime Caron

-Article du Dauphiné du 26/12/2019 : coût total de 40 M€ HT

-Article de Montagne Leaders n° 274 août 2019 sur le projet d'Orelle.

« Une enveloppe de 40 M€ est consacrée à l'ensemble du projet : génie civil, remontée mécanique, bâtiments (dont le garage à cabines), consignes à ski, vestiaires... et d'autres surprises que réservera la Cime Caron en gare d'arrivée » Le restaurant panoramique de Cime Caron semble bien être dans ce budget.

Journée Ascenseurs valléens du 10 octobre 2019 à Chambéry - Pierre JOSSERAND, Président de SETAM-STOR

Projet Orelle – Cime Caron à plus de 40 M€.

Par ailleurs, la STOR a renouvelé sa DSP avec un engagement d'investissement de 43 M€ HT jusqu'à 2027. Etant donné qu'il y a de nombreux petits projets, le restaurant panoramique est bien dans le budget qui ne peut que dépasser très peu 40 M€.

Compte-rendu Grenoble Ecobiz – Club euro alpin – 27/06/2017 page 36

Pour un même projet d'ascenseur valléen AIME-LA PLAGNE, Ligne de 3600m, dénivelée 870 m, débit 1600 passagers/h.

comparaison de prix pour un même tracé entre 3 solutions techniques :

-Monocâble avec TC 10 places : 25 M€

-2S cabines 20 places : 30,5 M€

-3S cabines 35 places : 44 M€

avec un rapport 3 sur la part Remontée Mécanique proprement dite entre les deux extrêmes.

Dans le cas du Funiflaïne. Il y a des tracés différents, que nous prenons en compte. Vu l'écart de prix, on comprend bien qu'il va rester une différence significative.

Décomposition de prix comparée sur le projet AIME-LA PLAGNE

Technologie Monocâble avec TC 10 places assises (retenue)

Remontée Mécanique	13 380 000 €	
Terrassements (plateformes de gare + accès en ligne)	800 000 €	Coût hors remontée macanique de 12 340 k€
Alimentation électrique	300 000 €	
Etudes (Impact, Risques naturels, géotechnique, hydraulique, MO, Architecte, etc...)	990 000 €	
Bâtiment de gare aval (1000 m2)	1 500 000 €	
Bâtiment gare amont (2500 m² incluant le garage enterré)	3 750 000 €	
Parking 400 places semi-enterré 2 niveaux (44500 m²)	4 500 000 €	
Aménagements annexes divers	500 000 €	Hors RM
TOTAL	25 720 000 €	

Technologie Funitel avec TC 20 places assises

Remontée Mécanique	18 000 000 €	+34 % par rapport au monocâble
Terrassements (plateformes de gare + accès en ligne)	1 000 000 €	Coût hors remontée mécanique de 12 540 k€
Alimentation électrique	300 000 €	
Etudes (Impact, Risques naturels, géotechnique, hydraulique, MO, Architecte, etc...)	990 000 €	
Bâtiment de gare aval (1000 m2)	1 500 000 €	
Bâtiment gare amont (2500 m² incluant le garage enterré)	3 750 000 €	
Parking 400 places semi-enterré 2 niveaux (44500 m²)	4 500 000 €	
Aménagements annexes divers	500 000 €	
TOTAL	30 540 000 €	+18,7 % par rapport au monocâble

Technologie 3S avec TC 35 places

Remontée Mécanique	29 436 000 €	+120 % par rapport au monocâble.
Terrassements (plateformes de gare + accès en ligne)	1 000 000 €	Coût hors remontée mécanique de 12 540 k€
Alimentation électrique	300 000 €	
Etudes (Impact, Risques naturels, géotechnique, hydraulique, MO, Architecte, etc...)	990 000 €	
Bâtiment de gare aval (1000 m ²)	1 500 000 €	
Bâtiment gare amont (2500 m ² incluant le garage enterré)	3 750 000 €	
Parking 400 places semi-enterré 2 niveaux (44500 m ²)	4 500 000 €	
Aménagements annexes divers	500 000 €	
TOTAL	41 976 000 €	+63 % par rapport au monocâble.

Il est important de noter que :

- l'écart de prix provient pratiquement de la remontée mécanique qui représente les 70 % du prix en 3S et 52 % du prix en monocâble.
- les provisions pour la grande révision de l'installation, tous les 20 ans, ne s'appliquent qu'au prix de la remontée mécanique.

Démarche d'évaluation comparative des prix.

- 1- On compare d'une part le projet Funiflaine du Syndicat en technologie 3S, plus le Télécabine Molliets–Pierre Carrée présenté en même temps avec un financement communal et qui était supposé justifier l'apport à la station des Carroz, et d'autre un projet monocâble avec 3 gares intermédiaires qui apporte une desserte comparable (même nombre de gares, mais un point de desserte supplémentaire).
- 2- Pour la part Remontée Mécanique, on évalue sur la base d'un ratio déterminé à partir de la longueur de ligne et du nombre de gares. On ne prend pas en compte la différence de capacité (2000 p/h au lieu de 1600 p/h).
- 3- Pour les autres frais, on indique dans chaque cas ce qui est pris en compte, et ce qui ne l'est pas faute d'information.

Evaluation de la part Remontée Mécanique du Funiflaine à partir des prix précédents

	Longueur en plan et ratios		Nombre de gares et ratios		Nombre de motorisations	Ratio moyen retenu	Coût dr référence	Coût estimé
Ref : Aime la Plagne	3600 m	référence	2	référence	1			
Funiflaine 3S Syndicat	5270 m	ratio 1,46	3 :	ratio 1,5	2	1,7	29 436 000 €	50 041 000 €
TC Molliets-Pierre Carrée	1250 m	ratio 0,35	2	ratio 1	1	0,7	13 380 000 €	9 366 000 €
Funiflaine Monocâble	5920 m	ratio 1,56	5 :	ratio 2,5	2	2,1	13 380 000 €	28 098 000 €

Éléments pris en compte dans l'estimation totale

<u>Monocâble</u>	<p>Les frais additionnels Aime la Plagne. Les 3 gares intermédiaires sont ouvertes, pas de constructions supplémentaires. Il n'y a que 2 motorisations sur la ligne. Le parking est doublé (800 places semi-enterré), soit +4,5 M€</p> <p>Prix total estimé : $12\,340 + 28\,098 + 4\,500 = 43\,600$ k€</p>
<u>3S :</u>	<p>Gare intermédiaire ouverte et longueur double. Il y a 2 motorisations. On prend le prix Aime la Plagne avec un coût de parking double Prix total estimé : $12\,540 + 50\,041 = 71\,412$ k€</p>
<u>TC Molliets-Pierre Carrée.</u>	<p>On part du budget Aime la Plagne, en supprimant le parking, les constructions et en réduisant dans un rapport 2 les budgets étude et divers. Le prix additionnel est alors de = 1 500 k€ environ Le prix total est de $1\,500 + 9\,366$ k€ = 10 866 k€</p>
<u>Total 3S + TC</u>	Environ 82 000 k€

L'écart de prix est de près de 40 M€. C'est d'un ordre de grandeur, mais qui est tout à fait considérable.

En technologie 2S au lieu de 3S, le prix de la part remontée mécanique est réduit de 1/3 environ, soit 15 M€. Il reste un écart significatif avec le monocâble

Le coût du projet du Syndicat ne prend pas en compte les éléments suivants :

- Déplacement de la ligne électrique de Magland à Flaine
- La liaison de la gare de départ avec le gare SNCF de Magland.