BEATT Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre

RAPPORT D'ENQUÊTE TECHNIQUE

sur la collision des deux cabines avec les gares sur le téléphérique de La Saulire survenue le 29 septembre 2021 à Courchevel (Savoie)

Juillet 2024

Avertissement

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre des articles L. 1621-1 à 1622-2 et R. 1621-1 à 1621-26 du Code des transports relatifs, notamment, aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre.

Cette enquête a pour seul objet de prévenir de futurs accidents. Sans préjudice, le cas échéant, de l'enquête judiciaire qui peut être ouverte, elle consiste à collecter et analyser les informations utiles, à déterminer les circonstances et les causes certaines ou possibles de l'évènement, de l'accident ou de l'incident et, s'il y a lieu, à établir des recommandations de sécurité. Elle ne vise pas à déterminer des responsabilités.

En conséquence, **l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées**.

Glossaire

- **API** : Automate Programmable Industriel
- **APIdS** : Automate Programmable Industriel de Sécurité
- **BP** : Bouton-Poussoir
- **CETIM** : Centre Technique des Industries Mécaniques
- **GI** : Grande Inspection
- **IA** : Inspection Annuelle
- **RLFS** : relais de relevage du frein de service
- **RM** : Remontées Mécaniques
- **S3V** : Société des Trois-Vallées
- **SGS** : Système de Gestion de la Sécurité
- **STRMTG** : Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés
- **TIA** : Technicien d'Inspection Annuelle

Bordereau documentaire

Organisme auteur : Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre (BEA-TT)

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur la collision des deux cabines avec les gares sur le téléphérique de La Saulire survenue le 29 septembre 2021 à Courchevel (Savoie)

N° ISRN : EQ-BEAT—24-4--FR
Affaire n° BEATT-2021-10

Proposition de mots-clés : téléphérique, essais, freinage

Synthèse

Les 27 et 28 septembre 2021, en préparation de l'inspection annuelle prévue le lendemain, l'exploitant de Courchevel effectue le chargement d'une cabine et réalise des essais préalables sur le téléphérique de La Saulire. Le mercredi 29 septembre 2021, l'inspection annuelle débute vers 9 h et des essais en charge sont réalisés en présence de cinq personnes : le technicien d'inspection annuelle, trois agents de l'exploitant et un agent du Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés.

Lors d'un essai sur le frein d'urgence, à 12 h 10, les deux cabines arrivent dans leurs gares respectives à la vitesse importante de 8 m/s. Vides de passagers, elles entrent en collision avec les structures des gares. Il n'y a pas de blessé mais de nombreux dégâts matériels.

La cause première de l'accident est la capacité réduite de freinage de l'installation, concernant autant le frein de service que le frein d'urgence. Il s'avère que cette capacité de freinage s'est dégradée au fur et à mesure des essais, avec notamment l'avant-dernier essai à 11h59 se déroulant de façon anormale.

Cette réduction de capacité s'explique par la diminution d'épaisseur des garnitures des plaquettes de frein au cours des essais, cumulée à la mise en butée rapide des pinces de frein en raison du réglage donné d'une cote – situation qui existait depuis 1985. De plus, un facteur contributif concerne les défaillances au niveau de l'identification, de l'utilisation et de l'analyse des informations fournies par le système aux différents intervenants au cours des essais, les empêchant de détecter le risque encouru et d'éviter l'accident. Les multiples réglages de la cote du couple de freinage du frein de service n'ont pas amélioré l'identification du comportement des freins.

Enfin, l'hypothèse d'une probable inadéquation de la nouvelle garniture avec le système de frein de La Saulire est émise. Elle s'appuie sur le fait qu'il n'y a pas eu de calcul ni de qualification / essais de la nouvelle garniture remplaçant l'ancienne vis-à-vis du téléphérique de La Saulire. Par ailleurs, un déséquilibre existant entre les pinces du frein F2, et potentiellement aussi entre les pinces du frein F1, combiné à l'usure non habituelle des garnitures menant rapidement à la mise en butée, a possiblement pu contribuer à une reprise des efforts sur une pince en priorité puis sur l'autre une fois les premières garnitures trop sollicitées.

La recherche des causes sous-jacentes à l'origine de cette situation nous a conduit à approfondir les investigations selon les thématiques suivantes :

- la compatibilité de nouvelles garnitures avec une installation et son système de freinage ;
- la conscience du risque au cours d'une inspection annuelle ;
- la traçabilité (des documents et des produits) et la gestion des connaissances au sein de l'exploitant.

Pour prévenir ce type d'accident, le BEA-TT émet 5 recommandations et 4 invitations, portant principalement sur la vérification de l'adéquation des garnitures aux installations correspondantes, sur la gestion du risque de défaillance du frein d'urgence / de sécurité, sur l'amélioration de l'automatisme de contrôle, sur la conscience des enjeux de sécurité et leur gestion au cours d'une inspection annuelle, sur l'amélioration du système de gestion de la sécurité (traçabilité et formation) de l'exploitant.

SOMMAIRE

SYNTHÈSE....1

1 - CONSTATS IMMÉDIATS ET ENGAGEMENT DE L'ENQUÊTE....4
1.1 - Les circonstances de l'événement....4
1.2 - Le bilan matériel....4
1.3 - Les mesures prises après l'évènement....4
1.4 - L'engagement et l'organisation de l'enquête....5

2 - CONTEXTE DE L'ACCIDENT....6
2.1 - La station de Courchevel....6
2.2 - L'organisation générale de l'exploitation et de la maintenance du téléphérique....6
2.2.1 - L'organisation de l'exploitant....6
2.2.2 - La maintenance réalisée par l'exploitant....7
2.2.3 - L'Inspection Annuelle....8
2.3 - Le téléphérique de La Saulire....9
2.3.1 - L'ensemble des intervenants sur ce téléphérique....9
2.3.2 - Les caractéristiques générales du téléphérique....10
2.3.3 - L'automatisme de contrôle-commande....14
2.3.4 - Le système de freinage....15
2.3.5 - Le système mécanique de détection de survitesse....20
2.4 - Les conditions météorologiques....20

3 - COMPTE RENDU DES INVESTIGATIONS EFFECTUÉES....21
3.1 - Les résumés des déclarations....21
3.1.1 - Le conducteur du téléphérique de La Saulire....21
3.1.2 - Le chef de secteur Remontées Mécaniques Ouest....22
3.1.3 - Le technicien d'Inspection Annuelle de Transcable Halec....24
3.1.4 - Le technicien du Bureau de Savoie du STRMTG....25
3.1.5 - Le responsable électrique....26
3.1.6 - Le responsable de la maintenance....27
3.1.7 - Le chef d'exploitation, responsable des Remontées Mécaniques Ouest....27
3.1.8 - Synthèse des témoignages....27
3.2 - Les dommages sur l'installation extérieure....28
3.3 - Les constats en machinerie....29
3.3.1 - Les constats sur les freins....29
3.3.2 - Les constats sur les poulies....32
3.4 - Les données du Technicien d'Inspection Annuelle....32
3.5 - Les données de l'automate....36
3.5.1 - Les limites de l'automate....36
3.5.2 - Les données de l'accident du 29/09/2021 à 12h10....37

3.5.3 - Les données des essais du 29/09/2021, avec leurs temps d'arrêt associés et les réglages.....40
3.5.4 - La synthèse des données enregistrées par l'automate les jours ayant précédé l'IA du 29/09/2021….41
3.6 - Les conclusions sur les constats immédiats.....43
3.7 - Les premières vérifications.....46
3.8 - Les investigations sur les évolutions et les événements du téléphérique de La Saulire 47
3.9 - Les investigations sur les résultats des inspections annuelles des dix dernières années.49
3.9.1 - Les freinages au cours de l'inspection annuelle du 29/09/2021.....49
3.9.2 - Les temps de freinage des inspections annuelles de 2020 et 2019.....54
3.9.3 - L'évolution des temps de freinage au cours des inspections annuelles depuis 2010.....55
3.10 - Les investigations sur les freins : les pinces et les garnitures.....56
3.10.1 - Le montage et le réglage des freins.....56
3.10.2 - Les investigations sur les garnitures des freins.....61
3.10.3 - Une hypothèse explorée.....71
3.10.4 - Des éléments de clarification et autre hypothèse moins probable.....72
3.11 - Les investigations sur les facteurs humains et organisationnels.....73
3.11.1 - Le rôle du technicien d'inspection annuelle et le rôle de l'exploitant.....73
3.11.2 - La détection d'une situation à risque.....75
3.11.3 - Les processus de maintenance, la traçabilité des produits et la gestion documentaire.....77
3.12 - L'autre téléphérique français aux pinces de freins identiques : le téléphérique de Chantemerle à Serre-Chevalier.....80

4 - ANALYSE DU DÉROULEMENT DE L'ACCIDENT.....81

5 - ANALYSE DES CAUSES ET FACTEURS ASSOCIÉS, ORIENTATIONS PRÉVENTIVES..86
5.1 - L'arbre des causes.....86
5.2 - Les causes de l'événement.....86
5.2.1 - La compatibilité de nouvelles garnitures avec une installation et son système de freinage.....87
5.2.2 - La conscience du risque au cours d'une inspection annuelle.....89
5.2.3 - La traçabilité des documents et des produits, et la gestion des connaissances au sein de l'exploitant...89

Annexe : décision d'ouverture d'enquête.....91

Règlement Général de Protection des Données.....92

1 - Constats immédiats et engagement de l'enquête

1.1 - Les circonstances de l'événement

Le mercredi 29 septembre 2021, au cours de l'inspection annuelle réglementaire (opération de maintenance obligatoire) du téléphérique de La Saulire, des essais en charge sont réalisés. Lors d'un essai sur le frein d'urgence, les deux cabines du téléphérique arrivent en gare à une vitesse très importante. Vides de passagers, elles entrent en collision avec les structures des gares.

Ces essais sont réalisés par trois techniciens de l'exploitant et un Technicien d'Inspection Annuelle, en présence d'un agent du Bureau de Savoie du Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés (STRMTG). Il n'y a pas eu de blessé.

1.2 - Le bilan matériel

Les deux cabines sont très endommagées : en gare inférieure, la cabine s'est encastrée sur environ 1,50 m dans la structure du quai et de la gare ; en gare supérieure, l'autre cabine est restée coincée dans la structure de la gare, pliant notamment sa suspente. Les attaches au câble tracteur des deux cabines sont également abîmées.

Figure 1 - ***Cabine n° 1 encastrée dans la structure de la gare inférieure*** *(photo S3V)*

Figure 2 - ***Structure de la gare supérieure avec la cabine n° 2*** *(photo S3V)*

1.3 - Les mesures prises après l'évènement

Sur proposition du STRMTG, le préfet de la Savoie prend le 8 octobre 2021 un arrêté préfectoral suspendant l'exploitation du téléphérique de La Saulire. Il demande également la mise en sécurité de l'installation. Les cabines et le câble tracteur sont alors démontés par l'exploitant.

De plus, dans cet arrêté et en application de l'article R 342-10 du Code du tourisme, il est demandé que l'exploitant engage sans délai une analyse afin d'identifier les causes et les conséquences sur le système de transport de cet accident. Cette analyse doit être portée par un expert du domaine aussi indépendant que possible des acteurs ayant participé à la conception ou aux modifications réalisées sur cet appareil. L'exploitant a ainsi commandé une telle analyse à un bureau d'études spécialisé, dont le choix a été validé par le STRMTG. À date de publication de ce rapport, cette analyse ne nous est pas parvenue.

1.4 - L’engagement et l’organisation de l’enquête

Le défaut de freinage d’un tel téléphérique constitue un évènement redouté pour la sécurité de l’exploitation, et même si l’accident s’est produit hors exploitation commerciale, il n’est pas exclu que ce défaut aurait pu survenir en exploitation avec des passagers, ce qui a constitué un motif d’ouverture de l’enquête. Ainsi, au vu des circonstances et du contexte de l’accident, le directeur du bureau d’enquêtes sur les accidents de transport terrestre (BEA-TT) a ouvert le 13 octobre 2021 une enquête technique en application de l’article L. 342-8 du Code du tourisme et des articles L. 1621-1 à L. 1622-2 et R. 1621-1 à R. 1621-26 du Code des transports relatifs, notamment, aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre.

L’enquêtrice technique du BEA-TT s’est rendue sur place. Elle a rencontré et interrogé les représentants de l’exploitant de la station de Courchevel, ainsi que les agents opérationnels en service le jour de l’accident. Elle a également rencontré les représentants du constructeur du téléphérique ainsi que ceux du fournisseur de plaquettes de frein, du fabricant de l’automatisme de contrôle-commande de l’appareil et ceux du bureau d’études – maître d’œuvre lors de la modification de l’installation en 2010. Elle a enfin rencontré les agents du service de l’État en charge du contrôle de l’exploitation. Une procédure judiciaire a été ouverte le 11 janvier 2022 avec la nomination d’un expert. L’enquêtrice a été associée aux travaux de l’expertise déployée dans ce cadre. L’ensemble des pièces et documents nécessaires à l’enquête technique a été communiqué au BEA-TT.

2 - Contexte de l’accident

2.1 - La station de Courchevel

Courchevel est une station de sports d’hiver et d’été située dans la vallée de la Tarentaise, au sein du massif de la Vanoise, en Savoie. Elle fait partie du domaine skiable des Trois Vallées. Son domaine skiable débute à 1 100 mètres d’altitude et est orienté au nord. Le sommet de La Saulire, point culminant de la station, est à 2 740 mètres d’altitude. Le parc des remontées mécaniques est constitué de 65 installations (téléphériques, télécabines, télésièges – débrayables ou fixes, téléskis, tapis, fils neige).

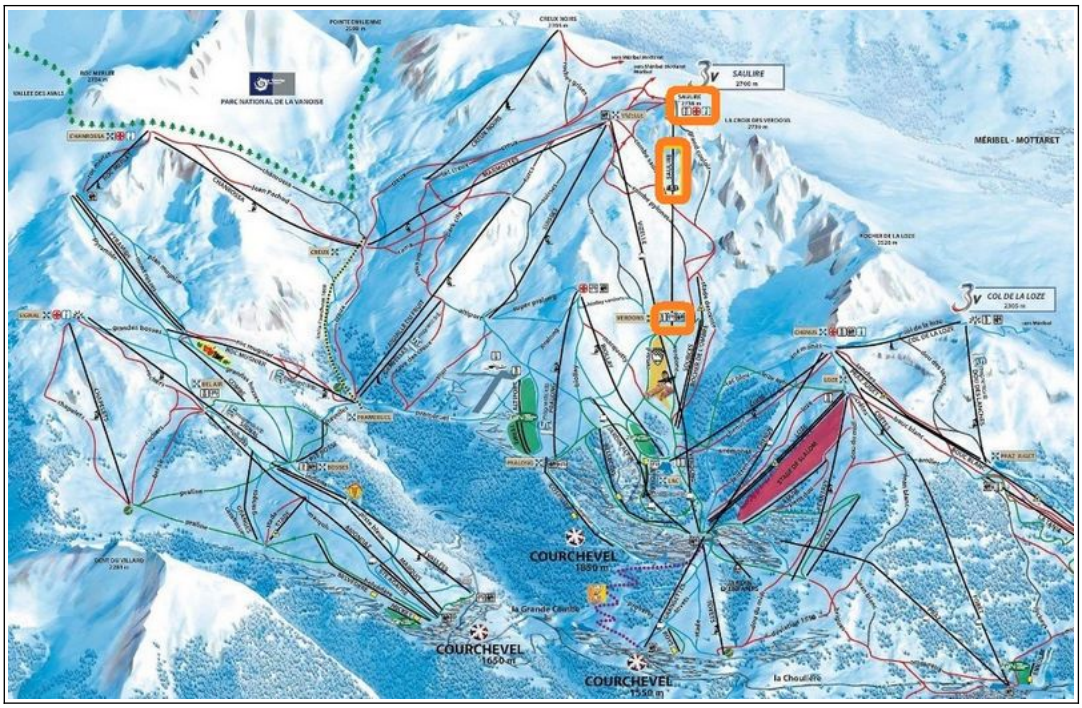


Figure 3 - ***Plan de la station de Courchevel et localisation du téléphérique de La Saulire (encadré jaune)*** *(source S3V modifiée)*

La Société des Trois Vallées est une société française d’exploitation des remontées mécaniques. Elle gère les domaines, les pistes et les remontées mécaniques des stations de Courchevel, Méribel-Mottaret et La Tania. La société emploie environ 170 salariés permanents, effectif complété par environ 450 salariés saisonniers. Elle réalise 1,2 millions de « journées skieurs » par an.

2.2 - L’organisation générale de l’exploitation et de la maintenance du téléphérique

2.2.1 - L’organisation de l’exploitant

La Société des Trois Vallées (S3V) a un statut juridique de Société Anonyme d’Économie Mixte à directoire. La S3V intervient dans le cadre de contrats de délégation de service public conclus avec le département de la Savoie (échéance 2030), la commune de Courchevel (échéance 2030) et la commune des Allues (échéance 2031). Ces contrats définissent le périmètre des missions incombant à S3V qui portent sur : l’exploitation et l’entretien courant des remontées mécaniques et des tapis roulants ; la maintenance des remontées mécaniques et des tapis roulants ; et les investissements. L’exploitant S3V est organisé avec une répartition des principales missions par services, sous la responsabilité d’un Président du Directoire.

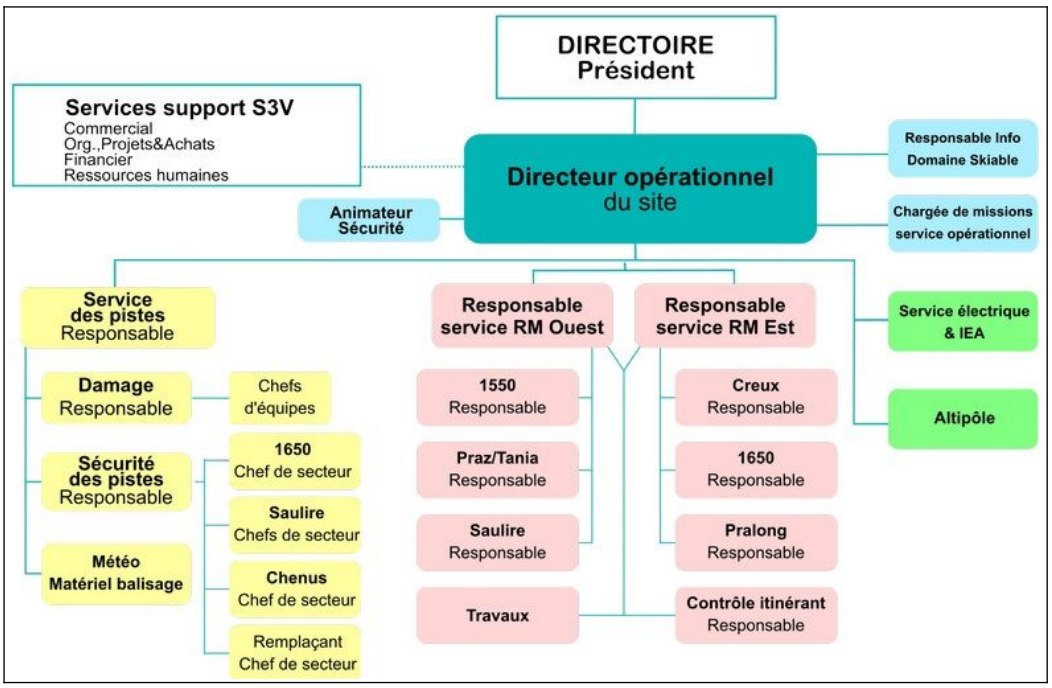


Figure 4 - ***Organigramme fonctionnel du site de Courchevel, en hiver*** *(source S3V)*

L'exploitation relève des services Remontées Mécaniques (RM) placés sous la responsabilité de la Direction Opérationnelle de Courchevel. Les domaines skiables sont découpés en secteurs géographiques qui regroupent chacun plusieurs installations. Les Responsables de service RM et / ou leur adjoint sont chargés d'organiser l'exploitation des remontées mécaniques du domaine. Ils sont appuyés dans cette mission par les chefs de secteurs RM. Les services électriques interviennent en support pendant la période d'exploitation pour réaliser certains contrôles, dépannages et opérations spécifiques.

Conformément à l'article R342-12[1] du Code du tourisme, la S3V a élaboré un Système de Gestion de la Sécurité (SGS) portant notamment sur l'organisation mise en place afin de respecter la réglementation technique et de sécurité. Ce SGS prévoit les mesures de maintenance et les règles d'exploitation nécessaires pour assurer la sécurité pendant l'exploitation ainsi qu'un dispositif permanent de contrôle de leur respect. Il précise les spécifications à mettre en œuvre pour l'exécution des tâches de sécurité.

2.2.2 - La maintenance réalisée par l'exploitant

Tout téléphérique doit faire l'objet d'opérations de maintenance, de contrôles et de réparations régulières, conformément aux dispositions de l'arrêté du 7 août 2009 relatif à la conception, à la réalisation, à la modification, à l'exploitation et la maintenance des téléphériques, et au guide Remontées Mécaniques RM1 du STRMTG « Exploitation, modification et maintenance des téléphériques », rédigé en partenariat avec la profession. Notamment, l'article 26 de l'arrêté du 7 août 2009 indique :

> « *En complément des dispositions relatives aux systèmes de gestion de la sécurité, les dispositions du présent chapitre fixent les conditions dans lesquelles les téléphériques […] sont exploités, maintenus, contrôlés, vérifiés et modifiés de façon à permettre le maintien permanent de la sécurité des usagers, des personnes et des tiers, dans des conditions normales d'utilisation ou dans d'autres conditions raisonnablement prévisibles.*

1 « *L'exploitant veille à ce que, durant toute la durée de l'exploitation de ses installations, la sécurité des usagers, des personnels et des tiers soit assurée. À cet effet, il élabore un système de gestion de la sécurité de son exploitation […]* »

Les exploitants sont responsables du respect des exigences prévues à l'alinéa précédent et de la mise en œuvre des dispositions prévues dans le présent chapitre fixant : […]

— le contenu et les modalités de réalisation des contrôles et inspections périodiques incombant à l'exploitant ;

— le contenu et les modalités de réalisation des vérifications par les vérificateurs ;

— les conditions de maintenance et d'entretien des installations ; […] »

La maintenance consiste à définir et réaliser les opérations relevant de :

- maintenance curative, qui consiste au dépannage, c'est-à-dire aux opérations de maintenance qui permettent de revenir à un état d'exploitation normal.
- maintenance préventive ou prédictive, se déclinant en 3 items : ▪ maintenance courante (contrôles et entretien) ; ▪ gros entretien et mises en conformité (par exemple remplacement de bagues, révision d'un moteur…) ; ▪ inspections périodiques réglementaires (pinces, câble, inspections annuelles, grandes inspections[2]) ;

  Le tout dans une démarche d'amélioration (sécurité du travail, confort, performance, prise en compte du retour d'expérience).

La maintenance effectuée en dehors des périodes d'exploitation pour permettre le maintien du niveau de sécurité consiste à élaborer les plans de maintenance ; recruter le personnel de maintenance en fonction du plan de charge et des compétences requises ; élaborer les plannings d'affectation des personnels de maintenance en fonction des compétences ; réaliser les travaux selon le savoir-faire et les modes opératoires correspondants ; tracer les inspections ; communiquer au service de contrôle (préfet et STRMTG) les informations requises.

2.2.3 - L'Inspection Annuelle

L'arrêté du 7 août 2009 impose à tout exploitant d'un téléphérique de soumettre son installation à des inspections périodiques en tenant compte des indications du constructeur et des règles techniques et de sécurité. Tout téléphérique[3] est soumis au moins une fois par an à une inspection complète comprenant des contrôles visuels sans démontage et des essais. Les conclusions positives de l'inspection annuelle permettent de valider la reprise de l'exploitation de l'installation. Seuls les vérificateurs agréés au titre de technicien d'inspection annuelle (TIA) par le directeur du STRMTG, sont aptes à réaliser ces inspections.

Plus précisément, l'article 45 de l'arrêté du 7 août 2009 prévoit que :

« *Les essais suivants sont réalisés par un vérificateur agréé au titre de technicien d'inspection annuelle :*

a – un essai fonctionnel de chaque mode d'entraînement ;

b – un essai du moteur de secours destiné à vérifier sa capacité à entraîner et retenir la charge dans les cas les plus défavorables ;

c – un essai de chacun des modes de déclenchement des freins ;

d – des essais représentatifs des différents cas d'exploitation de l'installation pour chacun des freins de sécurité afin de vérifier que les décélérations

2 Une grande inspection correspond à une inspection réglementaire des téléphériques : « *L'objectif de la grande inspection d'un téléphérique est de soumettre ses principaux composants à un examen approfondi et complet. Généralement, cet examen consiste en un contrôle non destructif à l'issue d'un démontage. Sont concernés par les grandes inspections, tous les composants qui participent à une fonction de sécurité, à l'exception des câbles et des architectures électriques et des équipements ou constituants soumis à des réglementations spécifiques.* » Article 48 de l'arrêté du 7 août 2009 relatif à la conception, à la réalisation, à la modification, à l'exploitation et à la maintenance des téléphériques.

3 Au sens d'une installation dans laquelle les usagers sont transportés dans des véhicules suspendus à un ou plusieurs câbles.

engendrées respectent les limites réglementaires. Ces essais peuvent être réalisés soit par des charges, soit par des moyens aptes à en vérifier les effets ;

e – un essai à l'arrêt du déclenchement automatique pour les freins embarqués ;

f – une vérification et un essai fonctionnel des détecteurs de défaut et des seuils sur les circuits de surveillance et sur les dispositifs de signalisation et de télécommande, y compris dans les véhicules ;

g – un essai non destructif d'au moins une sécurité sur un pylône ;

h – un essai fonctionnel et un contrôle du réglage des dispositifs de surveillance des attaches et du dispositif de contrôle de la force de serrage des attaches découplables ;

i – une vérification du dispositif de mesure de la charge des véhicules ou de comptage des personnes quand il existe ;

j – une vérification de la position du câble dans les voies d'embrayage et débrayage ;

k – une vérification du système de tension comprenant le contrôle du libre fonctionnement des parties mobiles, un essai des clapets, limiteurs de pression réglables et des vannes parachutes si elles existent et un relevé des valeurs de pression. »

Par ailleurs, dans le guide Remontées Mécaniques RM1 du STRMTG « Exploitation, modification et maintenance des téléphériques », l'arrêté du 7 août 2009 est explicité :

« *Les essais de frein dans les différents cas de charge et les inspections des dispositifs de sécurité doivent être réalisés selon une procédure pré-établie et donner lieu à l'établissement d'un procès-verbal d'essais. […]*

Ces vérifications sont faites sous le contrôle du Technicien d'Inspection Annuelle. »

Lors d'une inspection annuelle, l'un des principaux objectifs est de tester le bon fonctionnement des freins du téléphérique dans des conditions maximales de vitesse, de poids et de freinage, les cabines étant lestées de charges (ici, de grands réservoirs d'eau) simulant la capacité maximale de charge en passagers dans le cadre d'un fonctionnement commercial. Pour cela, un organisme indépendant effectue des contrôles visuels sans démontage et des essais en charge. L'intervenant de cet organisme, le technicien d'inspection annuelle (TIA), rédige un rapport que l'exploitant transmet au STRMTG, permettant la poursuite de l'exploitation de l'appareil en accord avec la réglementation en vigueur.

L'inspection annuelle du téléphérique de La Saulire pour l'année 2021 a été planifiée au 29 septembre 2021. Afin de préparer cette inspection annuelle pour un déroulement optimal, l'exploitant réalise deux jours de préparation du téléphérique, les 27 et 28 septembre 2021, incluant vérifications, réglages et pré-essais.

2.3 - Le téléphérique de La Saulire

2.3.1 - L'ensemble des intervenants sur ce téléphérique

Outre l'exploitant S3V, plusieurs entreprises sont intervenues régulièrement ou ponctuellement sur le téléphérique à des titres différents :

- Poma, en tant que constructeur du téléphérique en 1984 ;
- ATV, au titre de constructeur de la pince de frein ainsi que fournisseur des plaquettes de frein Cosid 132, fabriquées par TMD Friction ;
- Transcable Halec, pour le contrôle des câbles et l'inspection annuelle réglementaire, agréé au titre de technicien d'inspection annuelle selon l'article R 342-15 du Code du tourisme ;
- Seirel Automatismes et Aix Hydro, dans le cadre des opérations de rénovation électrique en 2010 ;

- DCSA[4], en tant que maître d'œuvre lors de la rénovation de 2010 ;
- Savoy Control, pour les contrôles non destructifs lors de la grande inspection de 2019 ;
- GMS Industrie, pour les travaux de réparation sur une poulie et certaines pinces de frein en 2019.

2.3.2 - Les caractéristiques générales du téléphérique

Il s'agit d'un téléphérique à va-et-vient, bicâble porteur et monocâble tracteur.

Cet appareil a été construit en 1984 par un groupement d'entreprises mené par Pomagalski[5], sur le tracé d'un téléphérique précédent (1952-1984). Il fut inauguré le 13 janvier 1985.

Cet appareil est exploité par S3V lors de la saison hivernale de décembre à fin avril, ainsi que deux mois pendant l'été. Il fonctionne environ 800 heures par an.

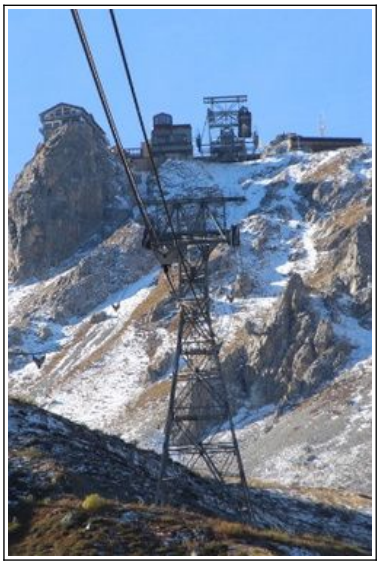


Figure 5 - ***Gare inférieure et poste de commande à gauche, pylône et gare supérieure à droite*** *(photos S3V)*

La gare inférieure motrice est à 2 077 m d'altitude. La gare supérieure, de renvoi et tension du câble, est à 2 699 m d'altitude. C'est la remontée mécanique qui permet d'atteindre le plus haut sommet skiable de la station de Courchevel, La Saulire. La ligne est longue de 1 658 m. La pente maximale de cette remontée mécanique est de 65 % et sa pente moyenne de 39 %. La vitesse maximale d'exploitation autorisée est de 11 m/s (soit 39,6 km/h).

4 DCSA est une société de conseil et d'expertise en matière de transport par câble, qui intervient sur tout type d'équipements et installations, standards ou personnalisés, nouveaux ou modifiés.

5 La société Poma, appelée auparavant Pomagalski et créée en 1947, est une entreprise française spécialisée dans la fabrication de systèmes de transport par câble.

Le téléphérique de La Saulire est constitué :

- d'une gare inférieure (ou aval) (G1) dans laquelle se trouve la machinerie d'entraînement du câble tracteur : c'est la gare motrice,
- d'un unique pylône intermédiaire,
- d'une gare supérieure (ou amont) (G2),
- de deux voies de circulation,
- et de deux cabines.

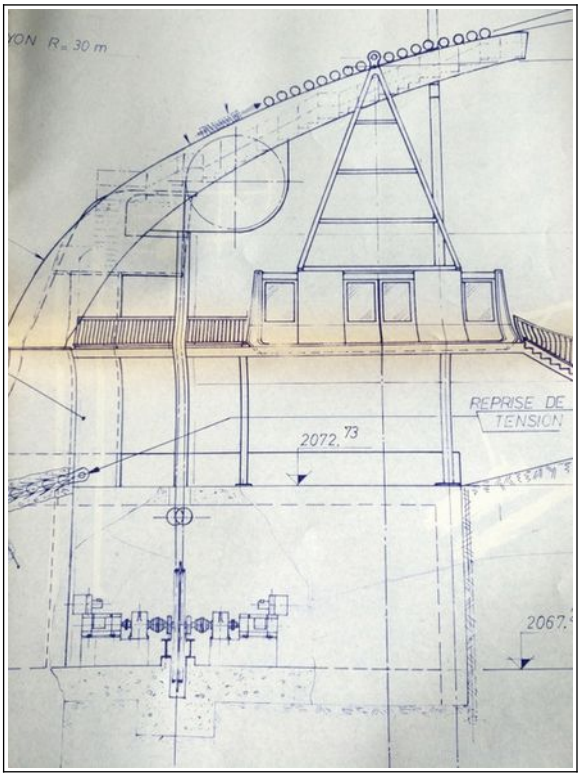


Figure 6 - ***Plan de la gare motrice*** *(source S3V)*

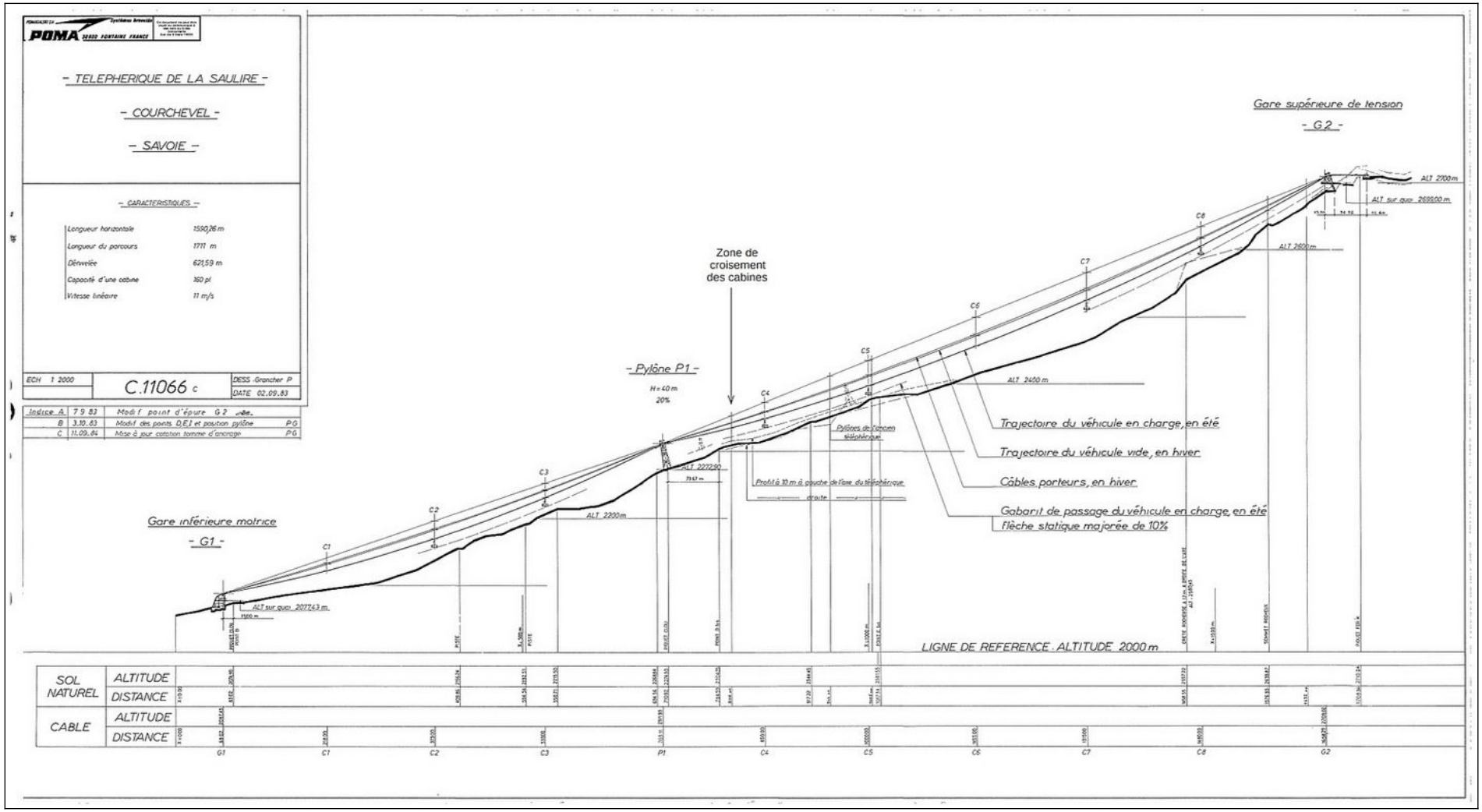


Figure 7 - ***Profil en long du téléphérique de La Saulire*** *(source Poma modifiée)*

Chacune des deux voies du téléphérique comporte deux câbles porteurs, sur lesquels roulent les chariots des cabines et entre lesquels se trouve le câble tracteur. Pesant chacune 10 tonnes à vide et pouvant transporter 142 personnes et un cabinier, les cabines sont mues par le câble tracteur, auquel elles sont attachées par un double chapeau de gendarme[6]. Les deux cabines sont liées au même câble tracteur (en une boucle continue épissurée) : ainsi lorsqu'on tire sur le câble tracteur pour en faire monter une cabine, l'autre descend, les cabines arrivant en même temps dans les gares opposées G1 et G2.

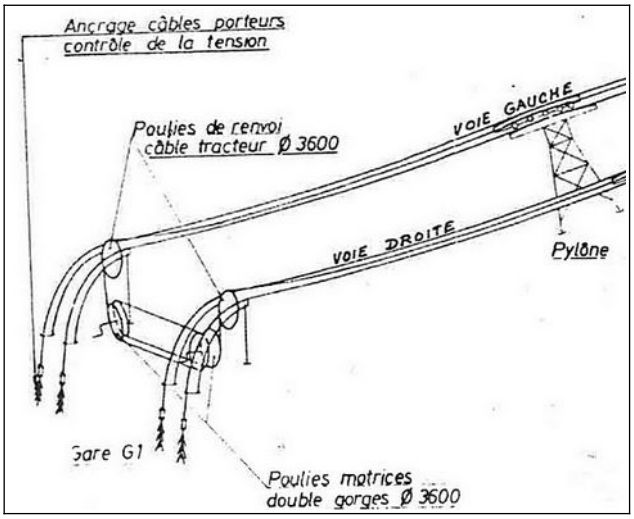


Figure 8 - ***Poulies et gare motrice à l'aval, avec câbles porteurs et câble tracteur*** *(source Poma)*

Le mouvement du câble tracteur est obtenu grâce aux moteurs permettent l'accélération mais également la décélération de l'installation. Ceci est permis par le parcours du câble tracteur dans deux poulies motrices de 3 600 mm de diamètre, à double gorge et entraînées par les moteurs. Ces poulies motrices sont installées au sous-sol de la gare motrice G1 de l'appareil.

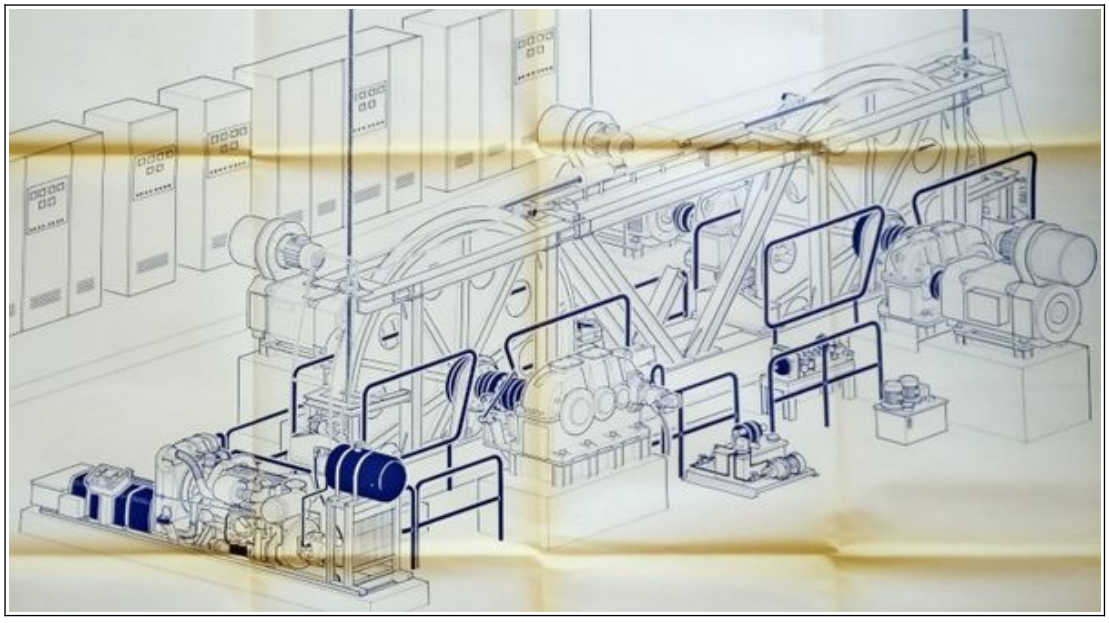


Figure 9 - ***Plan de la salle des machines, incluant notamment poulies, moteurs et câble tracteur*** *(plan Poma)*

6 Un chapeau de gendarme est système de coincement du câble, lui faisant faire une bosse, en forme de chapeau de gendarme, afin d'éviter que le câble ne glisse.

2.3.3 - L'automatisme de contrôle-commande

Le système de contrôle-commande assure le fonctionnement, le contrôle et la sécurité de l'installation. Un automate gère le contrôle-commande de l'installation. Le pilotage de la vitesse de l'appareil est permis par des actions sur le pupitre de commande et / ou par l'automate. L'asservissement de la vitesse du câble à la position des véhicules permet de ralentir les cabines à l'approche des gares, puis de les arrêter. Le poste de commande est unique, il se trouve en gare inférieure, au-dessus des quais, d'où la ligne du téléphérique est visible dans son intégralité.

Figure 10 - ***Poste de commande du téléphérique de La Saulire*** *(photo BEA-TT)*

Dans l'armoire de commande, est installé l'automate de sécurité – de marque PILZ – utilisé pour la gestion des sécurités et les fonctions d'automatisme courantes. L'automatisme de contrôle-commande a été développé par la société Seirel Automatismes[7]. L'Automate Programmable Industriel (API) est composé :

- d'une partie standard, qui gère le fonctionnel et pilote le téléphérique ;
- d'une partie sécuritaire (APIdS) qui effectue les surveillances et pilotages des actions de sécurité. Le traitement des fonctions de sécurité réglementaires est assuré de façon tri-redondante par l'APIdS ;
- d'une supervision de l'ensemble qui permet une interface homme/machine, ayant pour nom commercial SUPREME (supervision pour remontées mécaniques). Un écran est visible en façade des armoires de l'automate.

Figure 11 - ***Armoire de l'automate – fermée et ouverte*** *(photos BEA-TT)*

Plusieurs générateurs d'impulsions (capteurs de position par défilement des tours poulie) donnent l'information de distance parcourue. La position des cabines est connue de manière exacte. Les mesures de vitesses sont prises par l'automate directement sur les poulies.

7 La société Seirel Automatismes, créée en 1985, conçoit, fabrique, installe, met en service et assure la maintenance d'équipements électriques notamment dans le domaine des automatismes de sécurité.

Une courbe-enveloppe vitesse / distance (ou rampe de contrôle, à + 10 % de la vitesse cible) valide à tout moment le parcours des cabines : si l'installation sort de la courbe-enveloppe, cela déclenche un défaut (“contrôle décélération”) et commande un arrêt d'urgence.

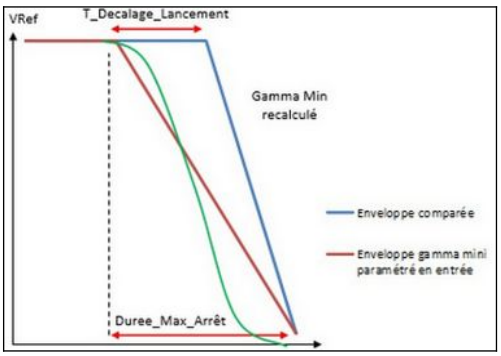


Figure 12 - ***Contrôle de la décélération en fonction la rampe théorique*** *(source Seirel)*

Des essais automatiques de freinage peuvent être commandés depuis le poste de supervision du téléphérique avec différents choix sur le type d'essai, la position d'arrêt, le type de frein (présentés plus précisément par la suite). L'ordre d'arrêt est donné par l'automate[8], à une distance prédéterminée (depuis 2010, au point effectif de plus forte pente[9] de l'installation). Par exemple, l'essai « F2MST » correspond au test du frein F2 au point de plus forte pente et est équivalent à une commande manuelle depuis le bouton-poussoir non capoté au pupitre : le frein F2 est immédiatement appliqué à 50 % et si dépassement de la courbe-enveloppe, à 100 % (plein couple). L'essai F2MST est donc un ordre d'arrêt qui remplace l'action humaine d'activation du bouton-poussoir au bon moment. En l'absence de commande d'essai, les cabines poursuivent leur parcours nominal grâce aux moteurs électriques : la vitesse est asservie au pilotage par l'automate, en respectant le profil de mission enregistré – comme entre autres la décélération d'arrivée en gare.

2.3.4 - Le système de freinage

Les freins d'une remontée mécanique sont toujours à sécurité positive (c'est-à-dire que sans énergie, les freins sont serrés) : on utilise la pression hydraulique pour ouvrir les freins et on chasse la pression pour freiner. La manière de chasser la pression du frein va conditionner l'efficacité du freinage, ainsi que la sécurité et le confort des passagers. Globalement, les différentes façons de freiner sont :

- Tout ou rien / plein couple : le frein tombe instantanément et applique donc l'effort de freinage maximum sans délai.
- Voie étagée ou 50 % : le frein tombe jusqu'à une pression préréglée, en appliquant seulement une partie de la puissance de freinage disponible.
- Voie progressive ou lente : le frein tombe lentement et applique donc progressivement l'effort jusqu'à l'arrêt complet du véhicule.
- Voie modulée : le freinage est asservi à une consigne de décélération, le frein va s'adapter automatiquement au cas de charge pour décélérer, en serrant ou desserrant.

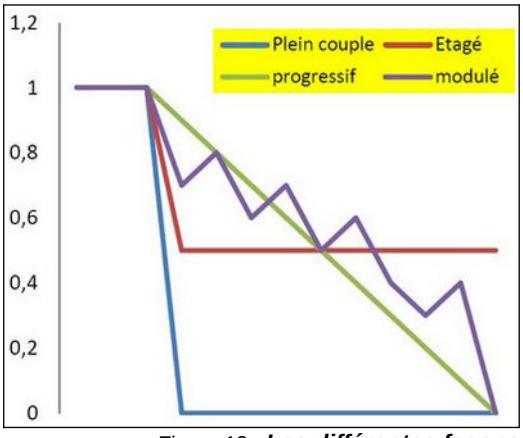


Figure 13 - ***Les différentes façons de freiner une remontée mécanique*** *(source mémento Aix Hydro)*

8 Les commandes de tests provenant de l'interface homme / machine à destination de l'automate API n'ont aucun caractère sécuritaire. Ce ne sont que des données transmises par protocole Ethernet qui sont in fine traitées dans l'automate. C'est ce dernier qui sera en charge de réellement appliquer la mise en action du test. Une séquence de test ne supprime pas les sécurités en place, elle peut être comparée à l'appui sur un bouton d'arrêt physique synchronisé à une position de l'installation.

9 Le « cas de plus forte pente » est le cas de déséquilibre le plus défavorable entre la cabine descendante et la cabine montante.

De façon logique, un plein couple arrêtera l'appareil dans un temps plus court qu'un freinage modulé et le comportement dynamique de l'installation sera différent.

- ***Les types de frein et leurs règles de fonctionnement***

Les **arrêts** d'une installation peuvent avoir diverses causes (commande d'arrêt par le conducteur via un bouton-poussoir, survitesse, surcharge, dysfonctionnement mécanique, électrique, déraillement…) et des conséquences différentes :

- l'arrêt électrique consiste à asservir l'alimentation du moteur afin de lui faire suivre une courbe de décélération définie. L'arrêt électrique n'utilise pas de frein mécanique, ce dernier ne tombe qu'à vitesse nulle pour maintenir l'immobilisation.
- l'arrêt par frein de service F1 (frein mécanique, installé dans la gare motrice) permet d'arrêter l'installation notamment dans les conditions normales d'exploitation et de la maintenir immobile. Le frein F1 est modulé.
- l'arrêt par frein d'urgence (ou dit de sécurité) F2 (frein mécanique, installé dans la gare motrice, placé obligatoirement sur la poulie du câble tracteur) permet d'obtenir rapidement l'immobilisation de l'installation dans les situations potentiellement dangereuses pour les personnes transportées, le personnel, les tiers ou le matériel, et destiné à garantir l'arrêt de l'installation et de la maintenir immobile en cas de défaillance des autres systèmes de freinage. Le frein F2 est étagé et / ou plein couple.

  Ces deux systèmes de freinage mécanique F1 et F2 sont indépendants.

Le téléphérique a une vitesse maximale de 11 m/s. Réglementairement, la **décélération** doit être comprise[10] entre 0,5 et 1,25 m/s², soit des **temps d'arrêt** entre 8,8 et 22 s.

Conformément à l'arrêté du 7 août 2009, le frein de service et le frein d'urgence / de sécurité ne doivent pas intervenir simultanément, sauf à l'arrêt : c'est la règle d'**anti-cumul** des efforts de freinage des différents freins. Le but est d'éviter un freinage trop fort qui endommagerait l'installation. Une hiérarchisation est alors faite avec une priorisation du frein d'urgence (F2) sur le frein de service (F1) lui-même prioritaire sur le frein électrique. Ainsi, la gestion de l'anti-cumul consiste à pouvoir relever le frein F1 en cas de tombée du frein F2 et / ou à appliquer le frein F1 après le F2 au bout d'une temporisation. À une vitesse de 11 m/s et une décélération minimale de 0,5 m/s², l'installation doit s'arrêter en 22 secondes. La temporisation doit correspondre environ à cette durée avant de pouvoir supprimer la fonction d'anti-cumul. L'anti-cumul (et sa temporisation) est géré d'une part en interne à l'automate et d'autre part de façon indépendante par un relais de relevage du frein de service (RLFS), pour s'affranchir d'un cumul de frein en cas de perte de l'automate. L'automate contrôle que les deux temporisations sont respectées et quand le temps lié à la gestion de l'anti-cumul est dépassé, le frein F1 s'applique.

L'arrêté du 7 août 2009 apporte en annexe des précisions sur la fonction anti-cumul des freins : « *Dans le cas où :*
- la décélération suite à l'entrée en action simultanée des deux freins ne peut dépasser 2,5 m/s² ;
- et si l'on vérifie par des essais que dans ce cas les câbles ne se soulèvent pas des appuis et que les véhicules ne heurtent ni les supports de ligne, ni les câbles,
la fonction empêchant le cumul des freins n'est pas exigée. »

Respectant ces conditions, il existe sur des téléportés en France des programmes d'automatisme qui permettent un cumul des freins F1 et F2.

10 Exceptionnellement, dans certains cas de freinages brutaux (charge montante, panne de régulation des freins), des décélérations supérieures aux valeurs indiquées ci-dessus pourront être admises, sans toutefois dépasser 2,5 m/s², sous réserve de satisfaire à certaines conditions concernant le gabarit angulaire résultant entre véhicules et ouvrages de ligne.

- ***Les pinces de frein***

Le freinage est assuré par 4 pinces à rondelles ressort maintenues ouvertes (non freinées) par piston hydraulique. Elles sont toutes identiques, de type ST3 SH. Leur fonction est d'arrêter et de maintenir à l'arrêt l'appareil dans tous les cas de charge. Elles ont été conçues et fournies par ATV[11].

Deux pinces correspondent au frein de service F1, nommées pinces F1P1 et F1P2, et deux autres au frein d'urgence F2, les pinces F2P1 et F2P2.

Figure 14 - ***Pince F2P1 avec les plaquettes en appui sur la piste de freinage*** *(photo BEA-TT)*

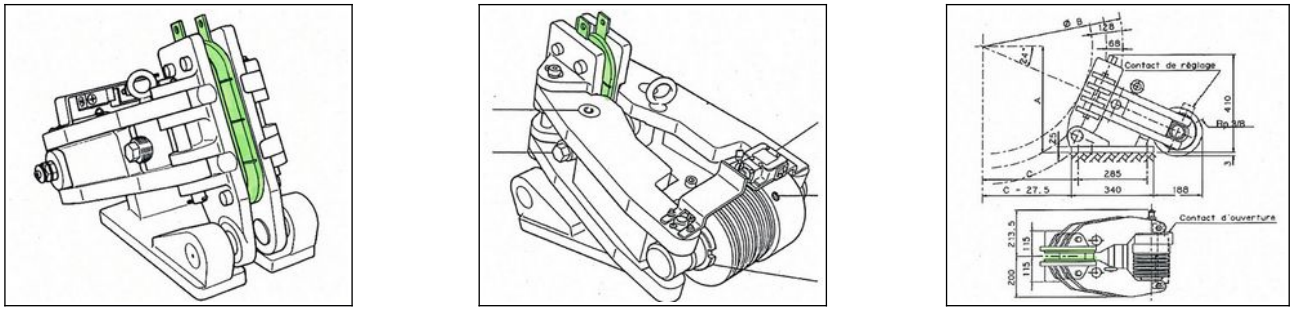


Figure 15 - ***Pince de La Saulire : vue de face, arrière, profil et dessus – plaquettes en vert*** *(sources Poma et ATV)*

Les pinces serrent les pistes de freinage des deux poulies motrices (en gare inférieure G1) – une pince de chaque frein est présente sur chaque poulie. La piste de freinage de chaque poulie est située entre les deux gorges du passage du câble tracteur[12].

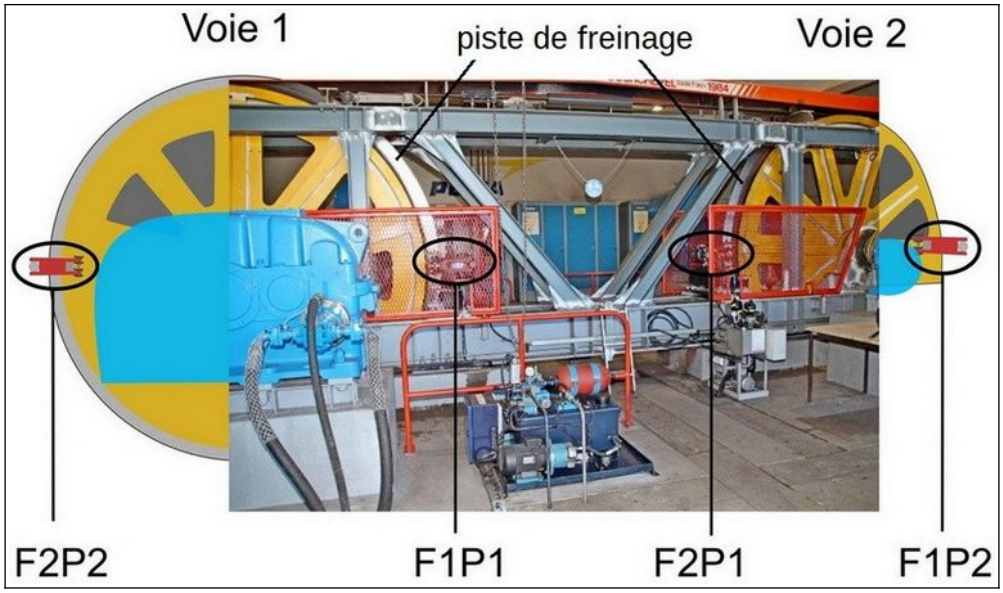


Figure 16 - ***Poulies motrices voies 1 et 2, pistes de freinage et pinces de freins*** *(source BEA-TT)*

11 ATV Brakes, filiale du groupe Mécanéral, a été fondée en 1954. Devenue indépendante en 1993, la société ATV fabrique des freins pour l'industrie (matériel portuaire, métallurgie / sidérurgie, énergie nucléaire…).

12 La distance entre la zone d'application des plaquettes et la gorge où passe le câble est d'environ 20 cm (sur un diamètre de poulie de 3,6 m) : on considérera par la suite que la vitesse du câble équivaut à la vitesse de frottement des plaquettes sur la piste de freinage.

La force de serrage des pinces est obtenue par un empilement de rondelles ressorts (rondelles Belleville), le desserrage est réalisé par un vérin hydraulique qui viendra contraindre les rondelles. Les quatre pinces de frein sont réglées de façon identique. L'entrefer est identifié comme étant la distance entre deux axes de rotation permettant de régler les garnitures par rapport à la piste de freinage. Des cotes sont mesurées et réglées par l'exploitant (frein serré) :

- a : cote de garde, qui traduit la position du piston dans le vérin hydraulique quand le frein est fermé et donc le débattement possible du piston dans la chambre ;
- h : cote de serrage des rondelles de la pince (ou cote de compression des rondelles), qui traduit la précontrainte du paquet de rondelles. Cette cote est l'image de la valeur de l'effort de serrage qui sera délivré. On "remet du couple" en réduisant cette cote h.

Figure 17 - ***Prise de la cote de compression – h*** *(photo expert judiciaire)*

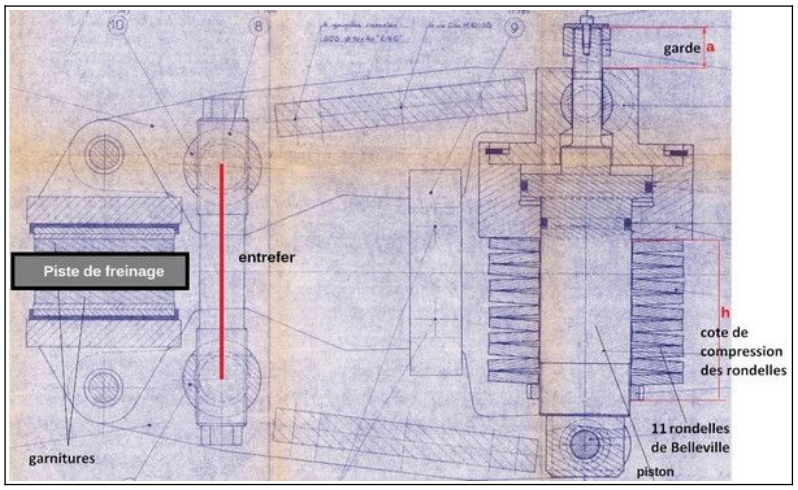


Figure 18 - ***Plan d'une pince de frein en position fermée, avec les cotes a et h, et l'entrefer***
(source Poma modifiée, plan version A – 1984)

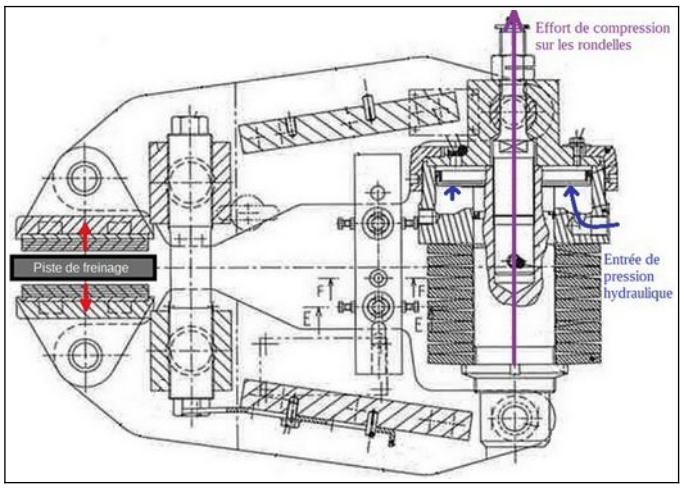


Figure 19 - ***Schéma d'une pince de frein en position ouverte*** *(source ATV modifiée)*

Les freins sont équipés des garnitures dont le coefficient de friction doit valoir μ[13]=0,3, selon la note de calcul de Poma en 1984. Le jour de l'accident, les plaquettes installées sont de type Cosid 132, composées d'un support sur lequel est collée la garniture de 10 mm d'épaisseur (épaisseur totale de 14 ± 0,2 mm). Selon son fournisseur TMD Friction, la garniture est une matière standard, à forme spécifique pour La Saulire.

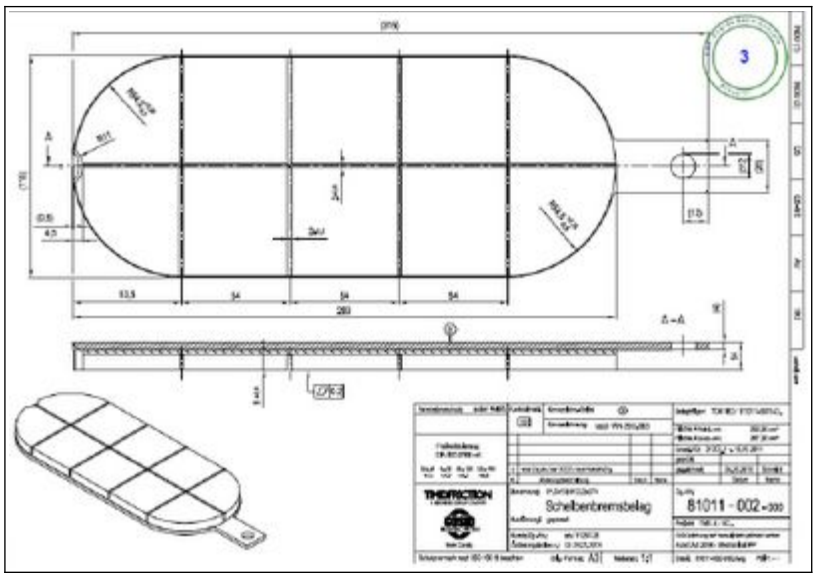


Figure 20 - ***Plan dimensionnel d'une plaquette (11,0 cm x 31,5 mm)*** *(source TMD Friction)*

Figure 21 - ***Plaquette Cosid 132 neuve*** *(photo expert judiciaire)*

Des capteurs d'usure des plaquettes sont installés, ils ont été ajoutés en décembre 1984. Ils ne sont pas fonctionnels le jour de l'accident car déréglés.

- *La centrale hydraulique*

Une seule centrale hydraulique commande les quatre pinces de frein de La Saulire. Elle est en sécurité positive : au repos, des rondelles Belleville viennent serrer les mâchoires des freins et en fonctionnement, une pression hydraulique est nécessaire pour écarter les mâchoires des pinces de frein, donc pour ouvrir les freins. Elle a été installée neuve par Aix Hydro[14] en 2010, en remplacement des centrales d'origine.

La centrale fait intervenir les freins de la façon suivante :

- Après commande du frein F1, les deux pinces entrent en action. Le pilotage du frein F1 se fait par voie régulée 0-100 %, piloté par une vanne proportionnelle (F1 modulé).
- Par commande manuelle ou automatique, le frein F2 intervient avec les pinces F2P1 et F2P2. Le pilotage du frein F2 se fait en « Voie étagée ou 50 % », appliqué soit à 50 % soit à 100 % immédiatement ou quand le freinage 50 % est insuffisant (F2 étagé et/ou plein couple).

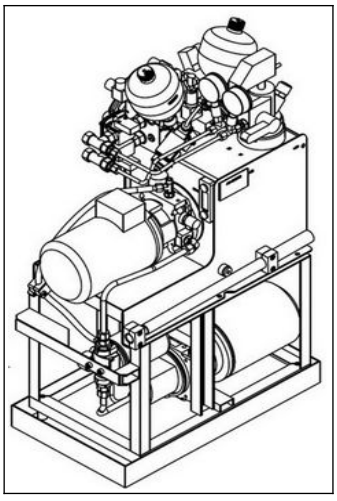


Figure 22 - ***Schéma de la centrale hydraulique*** *(source Aix Hydro)*

13 Le coefficient de friction correspond au rapport entre l'effort de frottement et l'effort de compression des deux surfaces en contact.

14 Créée en 1988, Aix Hydro est une société qui conçoit, produit et met en œuvre des systèmes hydrauliques, en particulier des systèmes de freinage de sécurité pour les remontées mécaniques, parcs d'attraction et ascenseurs.

Le frein d'urgence peut être actionné de plusieurs manières : ► par appui sur un bouton-poussoir d'arrêt au pupitre ou ► par l'automate (▪ si le frein de service ne freine pas suffisamment ou ▪ si le capteur de position du frein est défaillant ou ▪ lorsque les capteurs de surcourse sont actionnés ou ▪ en cas de dépassement de 10 % de la vitesse maximale admissible, etc.).

Chaque ensemble de frein (F1 et F2) est indépendant électriquement (relayage, alimentation), hydrauliquement (deux blocs de régulation distincts) et dans leur contrôle (deux contrôles de décélération, deux contrôles de couple, deux détections de vitesse nulle). Si les pinces de frein F1 et F2 sont identiques, réglées identiquement et si les pistes de freinage sont les mêmes, leurs contraintes de conception sont différentes. Le frein d'urgence est piloté hydrauliquement par deux électrovannes en parallèle, alors que le F1 est piloté par une vanne proportionnelle. Par ailleurs, lors d'une demande d'arrêt F1 ou F2, une coupure de la traction est faite.

À chaque demande de freinage, la centrale module (ou non) la pression pour réaliser le serrage progressif (pour F1) ou par palier (pour F2) des pinces sur la piste de freinage. À noter qu'en exploitation normale, le pilotage des moteurs peut faire réduire la vitesse de l'installation : certains arrêts seront affectés sur ce mode, tels les ralentissements pour les arrêts à quai assurés par l'asservissement des moteurs pilotés en décélération. Les freins n'interviennent alors que dans la dernière phase de ralentissement quand la vitesse est presque nulle, notamment pour éviter une oscillation des cabines. Par contre, ils interviennent immédiatement en cas de sollicitation par l'automate ou le conducteur au cours du trajet.

2.3.5 - Le système mécanique de détection de survitesse

Lorsque la vitesse dépasse 10 % de la vitesse maximale admissible, une masselotte sort sous l'effet de la force centrifuge devenue plus forte que l'effort d'un ressort qui la retient. Se déplaçant, cette masselotte déverrouille alors un doigt qui bascule une manette. Cela commande l'ouverture directe d'un circuit hydraulique sur le frein F2 (fonctionnement d'origine) et déclenche une sécurité traitée dans l'automate (depuis 2010), qui commande aussi le frein F2. Cela redonde la détection d'une survitesse par l'automate (dépassement d'un seuil par la vitesse donnée par le générateur d'impulsions).

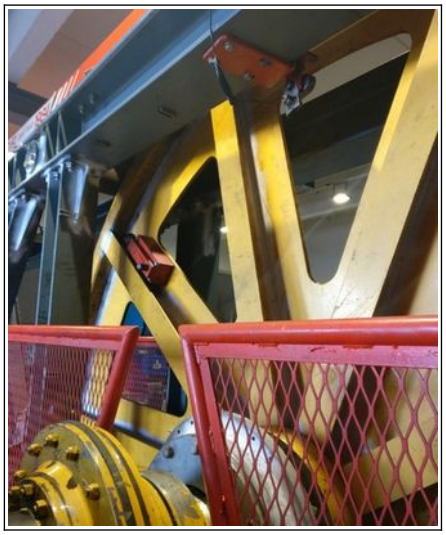


Figure 23 - ***Système mécanique de détection de survitesse sur la poulie de la voie 1*** (photo BEA-TT)

Une partie du système mécanique de détection de la survitesse est testée annuellement par l'exploitant, en dynamique sans les cabines – au moment du contrôle du câble tracteur, et une autre partie par le TIA, via les procédures électriques et à l'arrêt. Ces tests ont été réalisés et furent positifs (déclenchement observé à 12,5 m/s lors de la dernière vérification en 2020).

2.4 - Les conditions météorologiques

La météo du 29 septembre 2021 était partiellement nuageuse avec des températures entre 6 et 12 °C et un peu de vent (environ 10 km/h).

3 - Compte rendu des investigations effectuées

3.1 - Les résumés des déclarations

Les résumés présentés ci-dessous sont établis par l'enquêtrice technique sur la base des déclarations, orales ou écrites, dont elle a eu connaissance. Elle ne retient que les éléments qui paraissent utiles pour éclairer la compréhension et l'analyse des évènements et pour formuler des recommandations. Il peut exister des divergences entre les différentes déclarations recueillies avec les constats ou les analyses présentés par ailleurs.

3.1.1 - Le conducteur du téléphérique de La Saulire

Entré à S3V en décembre 2004 comme cabinier au téléphérique de La Saulire, il en est devenu conducteur adjoint en 2013 puis conducteur en 2017.

Le lundi 27 septembre, avant-veille de l'accident, le conducteur réalise des pré-essais sur le téléphérique de La Saulire avec deux autres collègues de S3V. Le but est de s'assurer que l'installation est prête après avoir réalisé l'entretien annuel et d'effectuer des réglages si besoin pour l'inspection annuelle prévue le 29 septembre. Le remplissage des quatre charges d'eau est effectué dans la matinée, pour un total de 11,4 tonnes[15]. L'après-midi, ils effectuent un contrôle visuel des pinces, les actionnent et les lubrifient. Ils vérifient le couple des pinces et la cote de garde à 30 mm[16]. En fin d'après-midi, ils effectuent 4 ou 5 essais de freinage modulés à la montée et à la descente[17]. Les temps de freinage sont dans les tolérances mais un peu courts lors des essais à la descente. À un moment, le conducteur constate en machinerie que la piste de freinage des deux poulies est un peu tiède – en posant la main à côté des pinces. De plus, il y a une odeur de brûlé dans la machinerie. Les plaquettes, installées depuis l'été 2019 et auparavant stockées en machinerie, présentent un état de surface comme vitrifié, glacé. Mais elles n'ont pas de problème d'usure. Comme il y a un jeu de plaquettes d'avance, le conducteur et ses collègues remplacent alors toutes les plaquettes.

Le mardi 28 septembre, ils sont deux agents S3V à poursuivre les pré-essais. Vers 9 h 30, les électriciens passent faire une opération de maintenance (sur des LEDs). Des tests sont lancés : 4 à 5 arrêts en freinage F1 et F2 sont effectués. Ce sont des freinages légers à faible vitesse pour le rodage des plaquettes. Un dépôt noir est visible sur les pistes de freinage des deux poulies et des deux côtés. Il appelle donc son chef de secteur et le responsable des Remontées Mécaniques Ouest. Ils font une pause pour échanger, tous se retrouvent en machinerie. Pince par pince, ils inspectent les plaquettes : elles présentent également un dépôt noir mais sont moins "vilaines" que celles enlevées la veille. Ils toilent[18] les huit plaquettes et réalisent un nettoyage complet des pistes de freinage avec du nettoyant. Ils remettent les plaquettes, réglées aux mêmes valeurs [de la cote h] que l'année précédente. Puis ils refont des freinages : les temps sont conformes et le nettoyage a été a priori bénéfique : il n'y a plus d'odeur de brûlé, ni de dépôt, ni d'échauffement.

Le mercredi 29 septembre à 7 h 15, le conducteur se rend à la gare motrice de La Saulire et remet sous tension l'installation. Il fait quelques parcours classiques. Quand le technicien d'inspection annuelle (TIA) et le technicien du STRMTG arrivent, ils

15 Ces charges d'eau servent de lests pour simuler le poids maximal admissible par cabine, soit 142 usagers et un cabinier.

16 Il s'agit de la cote h (couple) et cote a (de garde) présentées précédemment en page 18.

17 Cela signifie que le test est effectué avec la cabine chargée qui monte ou qui descend.

18 Le toilage a consisté à égrener à la main les garnitures avec une toile abrasive, type papier à poncer à grain 180, puis à souffler dessus avec un compresseur et soufflette.

commencent par tous descendre en machinerie, afin d'effectuer le relevé du couple des pinces [cote h freins serrés] et de la cote de garde. Les couples sont similaires à ceux de 2020, hormis une pince du frein F1[19]. Puis, remontés au poste de pilotage de l'appareil, ils commencent les essais en charge en suivant l'ordre du rapport d'inspection annuelle de l'année précédente. Ils font des essais de freinage F1 (modulé) puis F2 et des arrêts électriques, en montée et en descente. En freinage modulé, cela freine trop. Le frein F1 étant toujours trop court, le technicien d'inspection annuelle a des doutes quant à faire réaliser un frein plein couple à la montée (risque de coup de fouet, balancement important, déraillement possible). Descendu en machinerie, le conducteur desserre une pince du frein F1 (initialement, cote h à 121 mm[20] au début des essais) : il la desserre à 121,6 mm ce qui donne un temps de freinage à 14 secondes. Puis à l'essai suivant, il desserre un peu plus, à 122,2 mm pour un temps de freinage à 19 secondes. Puis il resserre à 121,5 mm pour un temps de freinage de nouveau à 19 secondes. Le dernier réglage n'a pas eu d'action sur le temps de freinage. Le dépôt s'est reformé, l'odeur est revenue. Le conducteur n'a effectué aucun réglage sur le frein F2.

Les cinq personnes présentes discutent de la situation : le constat est unanime, ils ne vont pas arriver à solutionner dans l'immédiat, il faut arrêter les essais de l'inspection annuelle. Ils se mettent d'accord pour effectuer un dernier essai sur le frein F2 à la descente.

Le conducteur lance donc l'essai F2, il est 12 h 10. La cabine n° 1 est positionnée en gare amont. C'est un lancement semi-automatique : le conducteur coche le test sur l'ordinateur puis valide et lance l'essai : la cabine doit parcourir 260 mètres puis le freinage sera commandé automatiquement. La cabine franchit le point de lancement de l'essai. Le conducteur regarde la courbe à l'ordinateur et voit que la vitesse s'emballe. Il entend le système mécanique de détection de survitesse qui se déclenche. La cabine continue à prendre de la vitesse. Il essaye d'arrêter en utilisant tous les boutons-poussoirs d'arrêt sur le pupitre. L'électricien coupe l'armoire de commande derrière lui. La cabine approche du pylône. Toutes les personnes présentes sortent du poste de pilotage. L'électricien descend en machinerie par l'escalier, le conducteur le suit. Ils voient les freins qui sont tombés [serrés], de la fumée s'échappe des quatre pinces. Ils coupent les armoires de puissance. Aux bruits de l'installation, le conducteur entend que la cabine ralentit puis accélère de nouveau. Au moment où ils sortent de la machinerie par l'arrière, ils entendent le crash.

En machinerie, ils vont tous relever les cotes des pinces de frein : la cote de garde est passée pour toutes les plaquettes de 30 mm à 27 mm. Puis ils font un état des lieux global et balisent la gare.

3.1.2 - Le chef de secteur Remontées Mécaniques Ouest

Entré à l'hiver 2003-2004 à la S3V comme agent d'exploitation l'hiver et agent de maintenance l'été. Il devient conducteur adjoint sur les télésièges débrayables et fixes pendant cinq ans puis conducteur de la télécabine des Verdons pendant six ans. Il est chef de secteur depuis 2018. En 2021, il est responsable de l'Inspection Annuelle de La Saulire pour la première fois. Les pré-essais ont commencé lundi 27 septembre avec des collègues.

Mardi après-midi, alors que le chef de secteur termine des essais sur la télécabine des Verdons, le conducteur de La Saulire l'appelle. La piste de freinage présente des traces anormales. Il demande au conducteur de prévenir le responsable des RM Ouest. Ils décident de nettoyer le devant et l'arrière des poulies avec du nettoyant frein et de gratter

19 Les mesures et la liste des essais de freinage réalisés seront fournies dans la suite du chapitre des constats.

20 Il s'agit de la cote h (Figure 17).

les zones incrustées. À trois personnes, cela leur prend entre 1 h 30 et 2 heures. Ils nettoient aussi les huit plaquettes, neuves, qui étaient déjà sales : ils les nettoient au nettoyant et les retoilent. Le chef d'exploitation est venu constater l'usure anormale des plaquettes neuves et la matière collée sur la poulie. Le chef de secteur pense qu'il ne faut pas s'interdire d'annuler les essais. Ils prennent des photos. Une fois tout nettoyé, ils retentent des essais, avec des freins modulés ou des arrêts électriques mais ils ne réalisent pas de plein couple. Après trois arrêts, l'appareil freine bien. Les cotes de garde et les efforts de serrage sont aux cotes de l'inspection annuelle de 2020, dans les tolérances à ± 0,2 / 0,3 mm. Tout est bon en partant mardi soir.

Le mercredi 29 septembre, il effectue des tâches administratives en attendant le début des essais. Le conducteur est déjà présent au pupitre. Puis tout le monde arrive : le TIA installe son ordinateur et demande s'il y a eu des changements sur l'appareil depuis l'IA de l'an dernier. Le chef de secteur lui parle des plaquettes changées. Puis ils déroulent la procédure en commençant par la prise des valeurs en machinerie des cotes des quatre pinces de frein : les cotes de compression des rondelles (aux cotes de 2020) et les cotes de garde (à 30 mm). Ils remontent au pupitre et commencent les tests (freins modulés, inertie…). Le téléphérique freine bien voire un peu trop, comme toujours. Le chef de secteur redescend dans la salle des machines, les freins n'ont pas eu besoin de s'appliquer fort, il ne voit aucune trace ni matière sur la poulie. Il touche la piste de freinage, qui n'est pas chaude.

Ils continuent avec des essais de frein plein couple et commencent par le frein F1 plein couple à la descente. Le conducteur prépare le test sur l'ordinateur, le chef de secteur entend claquer le relais dans l'armoire. L'appareil freine très bien avec 10,5 secondes[21] de temps de freinage jusqu'à l'arrêt. Comme ce temps est court (le temps minimal est de 8,8 secondes), le TIA estime que ça va freiner sec à la montée et qu'il y a un risque de « taper le câble ». En 2021, le temps de freinage était de 15 secondes. Il va donc falloir retoucher le couple du frein F1 sur les pinces P1 et P2. Le chef de secteur descend avec le conducteur à la machinerie. La pince P1 du frein F1 est à 122 mm, et non pas à 121,2 mm comme mesuré à 9 h 20. Afin de rééquilibrer les valeurs des pinces P1 et P2, une seule pince est réglée, celle tout à droite en descendant l'escalier [F1P2]. L'objectif est de relâcher du couple pour allonger le temps de freinage du plein couple à la descente. Ils revérifient la cote de garde qui est bien à 30 mm. Ils remontent et informent l'équipe de ce qu'ils ont fait. Le conducteur relance l'essai de frein F1 plein couple en descente : le temps est de 12,5 secondes. C'est encore trop court, l'objectif étant plutôt de 16 secondes. Ils redescendent de nouveau et règlent F1P1 et F1P2 : ils relâchent du couple sur chacune des pinces en tournant d'environ un degré l'écrou visant à contraindre l'empilement de rondelles. La cote de garde est toujours bonne. Ils remontent au pupitre. L'essai suivant de frein F1 plein couple à la descente est de 14 secondes. Ils redescendent pour relâcher encore un peu. Le chef de secteur observe de petits dépôts qui commencent à se former sous les plaquettes de frein. Ils relâchent sur les deux freins, la cote de garde est toujours bonne. Ils remontent et un essai frein F1 plein couple en descente est relancé : le temps est cette fois de 19 secondes. C'est beaucoup, relativement au faible tour de relâchement donné en machinerie. Après un temps d'échange tous ensemble, il est décidé de remettre du couple. Le chef de secteur redescend de nouveau pour remettre du couple. Ils reviennent alors aux valeurs de 2020 (environ 121 mm). D'autres essais ont lieu puis le frein F1 plein couple en descente donne de nouveau 19 secondes, malgré le dernier réglage.

Collégialement, les cinq participants décident de ne plus toucher au frein F1 et se préparent à arrêter les essais. Ils décident de réaliser un frein F2 plein couple à la descente pour voir si le téléphérique réagit pareil qu'en F1, avant d'arrêter les essais. Le

21 Les temps sont ici donnés de mémoire : d'autres témoignages les préciseront et des graphes temps/vitesse donneront les valeurs exactes.

chef de secteur sort du poste de commande pour appeler le chef d'exploitation. Il lui explique la situation et obtient sa confirmation pour l'arrêt de l'inspection annuelle. Le chef de secteur l'informe qu'un F2 va être réalisé pour sonder la réaction du F2 et si un réglage est également nécessaire. Ensuite, ce sera fini et il faudra analyser. À ce moment-là de son appel téléphonique, il est sur le quai du téléphérique. Il entend que l'essai commence, l'appareil se met en route puis il entend qu'il s'emballe, notamment par le claquement de la masselotte de survitesse. À ce bruit, il se demande ce qu'il se passe. Il voit le TIA sortir en courant, lui disant de partir. Le chef de secteur voit le conducteur au pupitre s'agiter. Il comprend que ça va être la catastrophe. Juste à côté de la gare de La Saulire, il y a un chantier sur un bâtiment, avec des ouvriers et le chef de secteur va les prévenir d'évacuer. Il entend que l'appareil ralentit, ça correspond à la cabine arrivant avant le pylône. Puis l'appareil reprend de la vitesse. Il voit la cabine s'écraser en gare et une pièce voler [le butoir].

Il n'a pas entendu de phase de décélération. Après la collision, ça sent le brûlé. Cette odeur a commencé à être détectable à partir du troisième essai mais ne remontait pas jusqu'au pupitre. La piste de la poulie lui semble moins sale après la collision.

Le chef d'exploitation, responsable des RM Ouest, arrive sur place un quart d'heure après la collision. Ils sont tous sous le choc.

3.1.3 - Le technicien d'Inspection Annuelle de Transcable Halec

Le mercredi 29 septembre, le TIA est arrivé à 8 h 30 à Courchevel et au téléphérique de La Saulire vers 9 h. Il a branché son enregistreur sur la platine de l'automate de La Saulire. Les représentants de l'exploitant lui ont indiqué que les plaquettes de frein avaient été changées et lui ont confirmé que la cabine est chargée à 11 400 kg.

Ils sont allés vérifier les cotes : la longueur d'empilement des rondelles et la garde. Chacun mesure et compare sa mesure à celles des autres personnes présentes. Les valeurs sont similaires à celles de 2020, à 1 mm près : les quatre pinces présentent une garde à 30 mm. La pince 1 du frein F1 (F1P1) est à 121,1 mm ; la pince 2 du frein F1 (F1P2) est à 120,9 mm ; la pince 1 du frein F2 (F2P1) est à 121,1 mm ; la pince 2 du frein F2 (F2P2) est à 121,2 mm. Il demande si des travaux ont eu lieu depuis la dernière fois : l'exploitant lui répond non, excepté le changement des 8 plaquettes la veille et l'exploitant lui parle des soucis qu'ils ont rencontrés, des traces noires apparues mais nettoyées puis qui ne sont pas réapparues aux autres essais.

Pour étalonner, il fait faire un voyage aller-retour en mode automatique classique. Ils commencent les essais. C'est lui qui indique quel essai faire. Il note les valeurs au fur et à mesure et son ordinateur enregistre les courbes de vitesse en fonction du temps et d'autres paramètres[22]. Plusieurs freinages sont réalisés : F1 modulé à la montée puis F1 modulé à la descente, F2 à la montée et F2 à la descente, un arrêt électrique à la montée puis un autre à la descente, un arrêt sur inertie à la montée. Suite à cet essai sur inertie, le TIA conclut que le chargement était bien conforme aux années précédentes. L'arrêt suivant (10 h 26) est un frein de service plein couple à la descente, d'une durée de 10,6 secondes, ce qui est beaucoup plus court que les années précédentes. Il demande donc à faire desserrer le frein F1 pour la première fois. Deux personnes de l'exploitant descendent en machinerie. L'arrêt suivant en frein de service plein couple à la descente est de 14,5 secondes. Avec le STRMTG et S3V, il en conclut que c'est encore court. Il faut desserrer une seconde fois légèrement. L'arrêt suivant (11 h 09) en frein de service plein couple à la descente est de 19,1 secondes. L'essai suivant (11 h 21) est caduc : en effet, l'arrêt en frein de service modulé à la descente, il y a un déclenchement d'un défaut "contrôle décélération frein de service" ce qui a déclenché l'action du frein d'urgence F2. Le TIA demande de resserrer le frein F1 de service [ce qui correspond à remettre du

22 L'ensemble de ces données seront exposées dans le rapport.

couple]. C'est fait. Un dernier essai de F1 modulé entre 11 h 21 et 12 h 10 est lui aussi caduc. S3V indique qu'il faut re-nettoyer en machinerie. Comme il est midi, le TIA propose d'aller manger et de réaliser ensuite l'inspection annuelle d'un autre appareil. La cabine chargée étant en gare amont, l'exploitant veut refaire un frein d'urgence F2 plein couple, afin d'observer si ce frein a également besoin de réglages.

À 12 h 10, le test frein d'urgence F2 plein couple à la descente est lancé. Le conducteur actionne le bouton-poussoir quand il a au visuel x = 1 490 m. Le conducteur regarde donc le compteur qui affiche la distance. Le BP d'urgence est déclenché par le conducteur, au pupitre de commande, celui avec la collerette. L'appareil s'emballe et ça le surprend : la vitesse augmente très fortement. Il a eu l'impression que la traction n'avait pas été coupée. Ils se regardent tous. Quelqu'un appuie sur tous les boutons-poussoirs au pupitre. Or le cumul de freins n'est pas possible. Il ne se passe rien. L'électricien tourne sur ''zéro'' le sectionneur de l'armoire de commande, sans effet. L'électricien descend à la machinerie couper les armoires de traction. Le TIA sort du poste de commande et regarde la cabine, il la voit arriver au pylône puis sentant le danger, il s'éloigne de la gare. Quand il revient, il voit la cabine écrasée.

Quand il remonte au poste de commande, il y a plein de défauts affichés : survitesse DT1, survitesse DT2, survitesse DT3, etc. Pendant les essais, il y avait un peu de l'odeur mais ça arrive souvent dans les essais d'IA. Après l'accident, il y avait une odeur très forte. Le technicien du STRMTG et l'exploitant descendent en machinerie relever les cotes. Il redescend plus tard avec le technicien du STRMTG. Là, il voit les copeaux sous un frein F1 et les traces noires sur la piste d'une poulie.

Il indique que peu d'essais ont été réalisés par rapport à tout ce qui doit être fait pendant une inspection annuelle.

3.1.4 - Le technicien du Bureau de Savoie du STRMTG

Le 29 septembre matin, quand il arrive sur l'appareil avec le technicien d'Inspection Annuelle (TIA) et l'électricien, sont déjà présents sur place le conducteur et le chef de secteur. Dans le local commande en gare aval, le TIA se branche à l'automate de l'appareil. Le TIA consulte le compteur horaire puis pose des questions sur des travaux éventuels sur l'appareil et sur la maintenance en général. Les agents de l'exploitant indiquent le changement des huit plaquettes de freins réalisé la veille et le poids des bâches à eau atteignant 11,4 tonnes comme nécessaire. Puis ils descendent ensemble à la machinerie afin de, classiquement, vérifier les pinces et de prendre les valeurs de réglage des freins, sur les quatre pinces (cotes des rondelles et cote de la garde). Ces dernières sont réglées comme les années précédentes. L'état de la piste est propre. Avec le TIA, le technicien observe également les vieilles plaquettes. Il ne constate pas de fuite, la machinerie est très propre. L'exploitant indique que, la veille, ils ont vu des traces de freinage sur les pistes et que pour les enlever, il a été nécessaire de nettoyer avec du nettoyant frein [Berner] pendant 1 h 30 à 2 heures. Après ces échanges en machinerie, tous remontent au local commande et se mettent en position pour réaliser les essais.

Cette année, tous les essais seront faits sur la voie 1 : la cabine 1 est donc chargée en charge maximale. Sont tout d'abord réalisés des essais [modulés] des freins F1 et F2 à la montée. Le freinage par inertie étant important sur cet appareil, l'effet du freinage est peu visible à la montée. Le technicien du STRMTG note les valeurs qui sont mesurées et enregistrées par le TIA. Les premiers essais à la descente sont trop forts, les temps d'arrêt sont trop courts. C'est pourquoi le TIA ne prend pas le risque de faire les essais plein couple à la montée [arrêt trop brutal, pouvant abîmer l'installation]. Tous en concluent que les réglages des freins ne sont pas bons. Deux agents de l'exploitant descendent en machinerie relâcher le frein F1 c'est-à-dire desserrer l'empilement des rondelles du frein F1. Les essais suivants ne sont toujours pas concluants. Les agents de

l'exploitant redescendent de nouveau pour desserrer un peu plus le frein F1. Les temps sont cette fois trop longs. Ils redescendent et resserrent les freins F1. Lorsqu'ils remontent, ils l'informent lui et le TIA avoir vu des traces noires sur la poulie. Au cours des premiers freinages, le technicien du STRMTG avait remarqué que ça sentait énormément les plaquettes, au point qu'il a dû ouvrir la fenêtre du poste de pilotage.

À ce moment-là, tous savent que les essais sont finis pour aujourd'hui. La cabine 1, toujours chargée, est en gare amont. Pour terminer, ils font un frein F2 plein couple, 100 %, en pleine pente, en descente. C'est la première fois du jour qu'ils testent ce frein F2 à 100 % (ce sont tous des tests à déclenchements automatiques). Il est à côté du conducteur lorsque le test est lancé. La cabine quitte la gare et commence sa descente. Elle atteint sa vitesse nominale de 11 m/s et à la distance 1 490 mètres, le frein est déclenché automatiquement. Le technicien du STRMTG s'attend à ce que la machine réagisse rapidement. Il n'est pas inquiet : le temps d'arrêt précédent étant de 11 secondes, le réglage du frein F2 n'ayant pas été modifié, il s'attend donc à un temps inférieur à 11 secondes. Immédiatement, il se rend compte qu'il y a un problème : la vitesse continue à augmenter, elle atteint rapidement le seuil maximal de 13,7 m/s à l'enregistrement sur le graphe du TIA. Il voit le conducteur appuyer sur au moins deux boutons du pupitre : le bouton-poussoir à accrochage commandant le frein F2 et le bouton-poussoir du frein F1. Lui-même appuie sur celui du frein F1. La machine ne répond pas, la vitesse continue à augmenter. Il craint qu'ensuite le câble rompe. Des vibrations se ressentent dans l'installation. Le conducteur et l'électricien sont descendus à la machinerie pour couper l'alimentation électrique tandis que le TIA et lui-même, n'ayant aucun moyen d'arrêter l'appareil, sortent du poste de commande et s'éloignent de la gare. Il crie au chef de secteur en train de téléphoner de s'écarter de la gare. Il voit la cabine arriver, sent que l'appareil décélère puis c'est l'impact contre la gare.

Choqué, il descend à la machinerie afin de voir les deux agents S3V, il y a de l'eau partout. Par téléphone, il alerte le chef du bureau de Savoie du STRMTG. Deux dirigeants de l'exploitant arrivent. Il demande à relever les valeurs des pinces de freins. Ils sont quatre à regarder l'agent de l'exploitant effectuer les mesures et tous les notent.

3.1.5 - Le responsable électrique

Le mercredi 29 septembre, il accompagne le TIA et le technicien du STRMTG à l'inspection annuelle de La Saulire. Ayant préalablement une autre activité à mener à proximité du téléphérique, il les rejoint quelques minutes plus tard dans le poste de commande. Il n'intervient sur le téléphérique de La Saulire que pour les inspections annuelles. Dans le poste de commande, le TIA est installé à gauche avec sa valise et son ordinateur, le conducteur est face à l'ordinateur et à côté des commandes du téléphérique, et le technicien du STRMTG est à droite. Lui est à l'arrière, vers l'armoire de l'automate. Son objectif est d'être disponible pendant ces essais si une manipulation est nécessaire sur l'automate ou s'il y a une panne.

Les essais commencent. Sont réalisés un essai F1 à la montée puis un à la descente, puis un F2 à la montée puis un à la descente. Ils constatent que l'installation freine trop fort à la descente, les temps sont trop courts. Ensuite plusieurs freins F1 sont réalisés. Il descend en machinerie débrancher la borne 13 RV0F [relais vitesse nulle frein, qui shunté, permet de garantir la réalisation de l'essai F1 plein couple]. Il voit descendre le conducteur et le chef de secteur, car l'appareil freine trop court. Ceux-ci règlent les freins F1P2 et F1P1. Il les voit faire ce réglage plusieurs fois de suite. Il reste un moment en bas et voit le câble tourner puis il observe des arrêts, dont un essai de l'inertie. Il remonte au pupitre. Les collègues n'ont plus de valeurs cohérentes sur le frein F1. Ils veulent nettoyer la piste mais cela prendra une demi-journée. Ils conviennent d'appeler le chef d'exploitation en parallèle. Ils décident d'effectuer un F2 plein couple afin de voir s'il y a besoin de le retoucher lui aussi. Il pense que l'appareil va encore freiner court. Le plein

couple se fait au bouton, par le conducteur qui regarde le compteur de distance et déclenche à x = 1490 m. Quand le conducteur appuie sur le bouton de l'essai, le bruit de l'installation reste le même, la charpente ne fait aucun bruit particulier. La survitesse s'est déclenchée rapidement. Le technicien du STRMTG fait remarquer que la vitesse atteint 13,7 m/s. Le conducteur appuie sur tous les boutons-poussoirs. Une temporisation de 30 secondes dans les relais doit se mettre en place mais l'appareil ne freine toujours pas. Afin d'être sûr que la traction a été coupée, le responsable électrique a coupé le sectionneur derrière lui. Il descend à la machinerie, il voit les freins serrés, de la fumée s'échappe des quatre pinces de frein. Il coupe les puissances dans les armoires puis il sort de la machinerie. Soudainement, c'est l'accident, de l'eau s'écoule de partout puis il n'y a plus aucun bruit. Il fait avec les autres le tour de l'installation et les constats.

3.1.6 - Le responsable de la maintenance

Le lundi 27 septembre matin, il participe au chargement de la cabine. L'après-midi, il revient à la gare amont de La Saulire vers 15 h pour assister aux pré-essais. Quand il arrive, ses collègues venaient de changer les plaquettes de frein. Il n'a pas connaissance des essais réalisés au préalable. Deux aspects le surprennent : l'odeur de chaud et un bruit inhabituel au freinage, au niveau du contact entre les plaquettes et la piste de freinage. Trois ou quatre essais sont réalisés. Tous donnent des temps similaires aux temps de 2020, à une seconde près. Il est tard, ils ne font pas plus d'essais.

Il ne participe pas aux pré-essais du mardi 28 septembre, ni à l'inspection annuelle du 29 septembre conduisant à l'accident.

3.1.7 - Le chef d'exploitation, responsable des Remontées Mécaniques Ouest

Le mardi 28 septembre matin vers 11 h, le chef de secteur l'appelle pour l'informer qu'il y a quelque chose de bizarre : il y a un dépôt noir sur les pistes de la poulie, et il lui demande de venir. Le chef de secteur commence à nettoyer. Le responsable prend le devis du constructeur de la pince des freins pour vérifier la référence. Arrivé au téléphérique de La Saulire, il constate également les traces noires sur la poulie. Le chef de secteur lui montre les plaquettes. Elles sont ''glacées''. Il en prend une en photo à 13 h 45. Il a déjà vu un état comme celui-ci : quand les plaquettes ont été sollicitées fortement. Il vérifie la référence des plaquettes neuves, elle est bonne. Le chef de secteur poursuit le nettoyage. Le conducteur lui précise que ces traces noires ont déjà été observées avec les plaquettes datant de 2019, celles qui étaient en place c'est-à-dire pendant l'exploitation estivale 2021[23]. Dans l'après-midi, à 16 h, le chef de secteur l'informe que les poulies sont nettoyées.

Le mercredi 29 septembre matin, les essais démarrent. Après une réunion, le responsable passe à la gare motrice et l'équipe l'informe qu'ils ont fait un frein F1 qui freinait trop court. Le frein F1 modulé sortait de la courbe de contrôle gamma à la descente : ils ont touché au réglage du frein F1 pour remettre du couple de freinage. Il repart. Le chef de secteur l'appelle à 12 h 13, l'accident ayant eu lieu : il monte en urgence et constate sur place les dégâts. Il note avec le STRMTG les cotes des freins et fait des photos de l'écran d'affichage de l'automate.

3.1.8 - Synthèse des témoignages

Les personnes présentes aux différentes journées sont :

- Lundi 27 septembre : le conducteur de La Saulire, un agent d'entretien / maintenance RM et le responsable maintenance.

23 Les installations de remontées mécaniques n'ont pas fonctionné à l'hiver 2020-2021 suite à la décision gouvernementale du fait de la crise sanitaire du Covid-19.

- Mardi 28 septembre : le conducteur, l'agent d'entretien RM et sur la fin de la journée le chef de secteur RM Ouest et le chef d'exploitation.
- Mercredi 29 septembre : le conducteur, le chef de secteur RM Ouest, l'électricien, le technicien d'inspection annuelle et le technicien du STRMTG.

Tous les témoignages concordent sur le fait que le mercredi 29 septembre, **des réglages ont été effectués sur les pinces du frein F1 et qu'aucun réglage n'a été réalisé sur celles du frein F2**.

Une divergence dans les témoignages existe sur le jour du **changement des plaquettes** (1er jeu de plaquettes) par des neuves (2d jeu) mais la majorité des témoignages directs s'accorde sur le **lundi 27 septembre après-midi**.

Suite aux difficultés rencontrées, **le toilage des plaquettes du 2d jeu et leur nettoyage ainsi que le nettoyage des pistes de freinage des poulies** a nécessairement eu lieu après le remplacement des plaquettes. Tous s'accordent à ce que ces deux actions aient eu lieu en même temps : le **mardi 28 septembre**. La photo du **28/09/2021 à 13 h 45** prise par le chef d'exploitation permet d'entériner la date et heure.

3.2 - Les dommages sur l'installation extérieure

Les deux cabines, ainsi que leurs chariots et suspentes, sont fortement abîmées. La gare aval G1 présente des endommagements au niveau des structures de quai. La gare G2 présente des déplacements des sabots des deux voies et des cornières sont déformées.

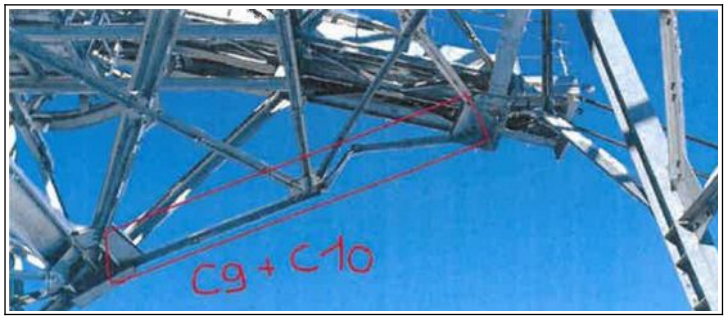


Figure 24 - ***Cornières déformées en gare G2*** *(source Poma)*

Suite aux chocs, les butoirs de G1-voie 1 et G2-voie 2 ont cassé et ont été éjectés.

Figure 25 - ***Butoir de la voie 1 en gare G1*** *(photo BEA-TT)*

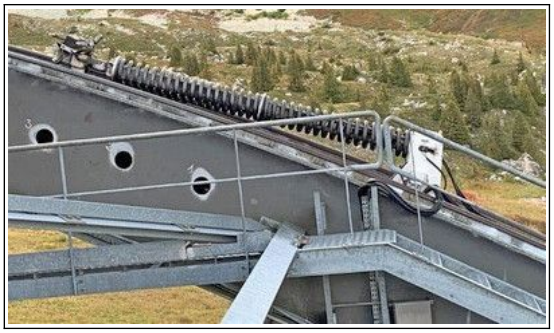


Figure 26 - ***Butoir de la voie 2 en gare G1 intact car non impacté par l'accident*** *(photo STRMTG)*

Le pylône présente un léger désaxement mais pas nécessairement dû à l'accident. Il n'a pas été constaté de déformation géométrique majeure pouvant nuire à la stabilité statique des ouvrages. Le câble tracteur, en limite de critère de dépose avant l'accident, est hors service. Les câbles porteurs présentent de légères rayures.

L'installation a été sécurisée fin octobre 2021, conformément à la demande du préfet, par démontage des cabines et du câble tracteur.

3.3 - Les constats en machinerie

La machinerie, située en dessous des quais du téléphérique en gare G1, ne présente pas de dégâts hormis l'eau (11,4 tonnes utilisées pour charger la cabine) qui s'est déversée à travers le passage du câble, au niveau de la voie 1 (gauche). L'eau s'est évacuée de la machinerie mais a laissé des traces sur la poulie de gauche et sur le sol.

3.3.1 - Les constats sur les freins

Les cotes des freins sont notées par le technicien d'inspection annuelle en début de matinée le 29 septembre 2021, mesures corroborées par les notes du STRMTG (prises à 9 h 20). Elles sont complétées par les mesures prises après l'accident, à 13 h 23.

Synthèse comparative	**F1P1**	**F1P2**	**F2P1**	**F2P2**
	(29/09/2021 : 9h20 / 13h23)			
cote de garde (a) avec plaquettes en place*	30 mm / 27,2 mm	30 mm / 27,8 mm	30 mm / 27,6 mm	30 mm / 26,9 mm
cote de garde sans plaquette* delta cotes avec/sans plaquette limite de butée ou non	27,2 mm Δ = 0 mm en butée	27,4 mm Δ = 0,4 mm pas en butée	27,2 mm Δ = 0,4 mm pas en butée	27,1 mm Δ = -0,2 mm butée
cote de compression des rondelles (h)	121,1 mm / 123,9 mm	120,9 mm / 123,0 mm	121,1 mm / 123,7 mm	121,2 mm / 124,3 mm

**la prise de mesures physiques au pied à coulisse inclue nécessairement une incertitude. Des mesures plus précises seront faites ultérieurement lors de la vérification des valeurs de pressions et cotes correspondantes.*

Sous certaines pinces de frein (F1P1 et F1P2) ou sur le dessus de pinces (F2P2), on peut observer des résidus noirs. La pince F2P1 ne présente pas de résidu.

Figure 27 - ***Résidus sous la pince F1P1*** *(photo BEA-TT)* ***et zoom*** *(photo STRMTG)*

Figure 28 - ***Résidus sur le dessus de la garniture de la pince F2P2*** *(photo STRMTG du 29/09/2021)*

Les résidus sous les pinces ainsi que certaines garnitures ont été analysés par le CETIM[24]. Les résultats seront exposés et étudiés dans le chapitre des investigations.

Après l'accident, on constate qu'une feuille de papier ne passe pas entre les pinces et les pistes de freinage : les freins sont serrés.

Figure 29 - ***Feuille de papier ne passant pas entre la garniture et la piste de freinage sur la pince F2P1*** *(photo STRMTG du 19/10/2021)*

Pour chacune des pinces, les rondelles Belleville sont toutes visuellement intègres. Ultérieurement, le CETIM a vérifié 10 rondelles de la pince F1P2 ainsi que 10 rondelles de la pince F2P2 : aucun dommage n'a été constaté.

Les plaquettes déposées au cours des pré-essais le lundi 27/09/2021 (1er jeu) présentent un état de surface « glacé ». Au dos, il est indiqué qu'elles ont été fabriquées en 2018 (S37). Les lignes de sciage sont remplies et certaines plaquettes présentent des éclats.

Figure 30 - ***Les huit plaquettes enlevées des freins le lundi 27 septembre 2021 – 1er jeu*** *(photo BEA-TT)*

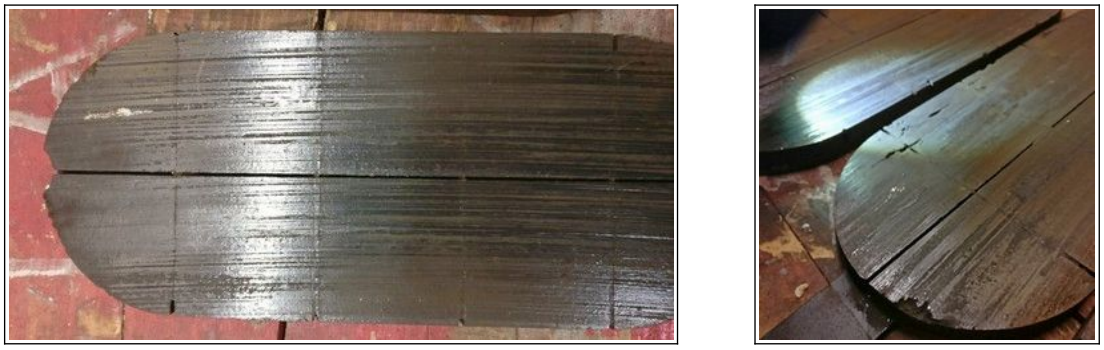


Figure 31 - ***Zoom sur deux plaquettes déposées le 27 septembre 2021 – 1er jeu*** *(photos BEA-TT)*

Ce 1er jeu ne présente pas de faciès anormal en ce qui concerne la "vitrification" selon le fournisseur de plaquettes. Mais les incrustations de métal dans certaines plaquettes constituent une anomalie et singularité significative.

24 Le Centre technique des industries mécaniques (CETIM) est un centre technique industriel français créé en 1965 qui emploie environ 1 100 personnes. Il propose aux entreprises mécaniciennes des moyens et des compétences pour accroître leur compétitivité, il participe à la normalisation et il lie la recherche scientifique et l'industrie.

Une plaquette du 2d jeu a été extraite par l'exploitant pour observer son état le mardi 28 septembre 2021 dans l'après-midi. Elle présente de larges traces grises et des éclats au niveau des lignes de sciage. Selon le fournisseur de plaquettes, ce 2d jeu présente un aspect de surface clairement inhabituel et un endommagement anormal.

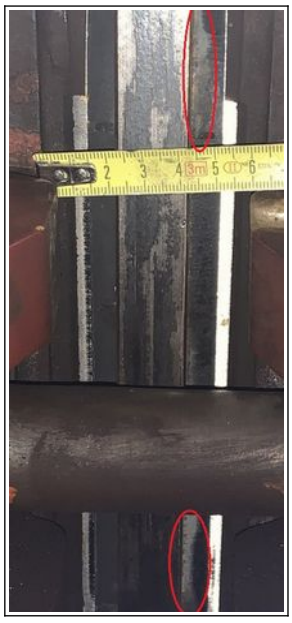
Figure 32 - ***Plaquette extraite le mardi 28/09/2021 à 13 h 45, avant toilage et nettoyage puis remise en place*** *(photo S3V)*

Après cette extraction, toutes les plaquettes du 2d jeu ont été toilées, nettoyées et remontées. Puis, après l'accident, l'état des plaquettes du 2d jeu est le suivant :

Figure 33 - ***Plaquettes F1P1***
(extraites en mars 2022, photo BEA-TT)

Figure 34 - ***Plaquettes F2P1***
(extraites en mars 2022, photo BEA-TT)

L'épaisseur de chacune a été mesurée et des traces blanches sont observées sur la tranche de garnitures, que ce soit du 1er ou du 2d jeu de garnitures. Nous détaillerons les épaisseurs et analyserons ces constats plus précisément dans la partie Investigations.



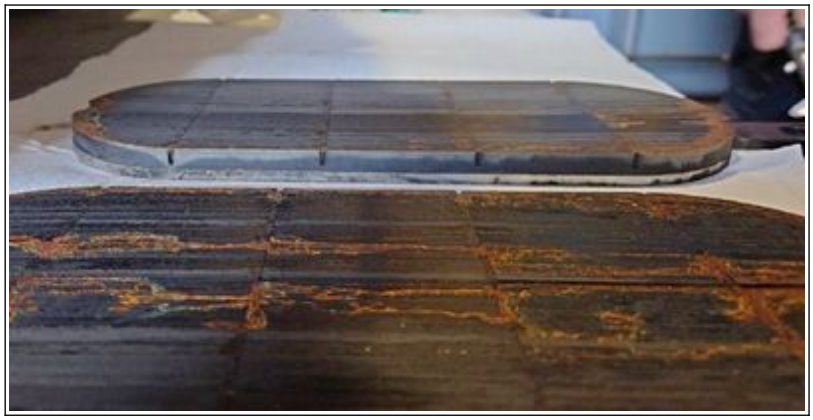


Figure 35 - ***Traces blanches sur des garnitures du 2d jeu***
(photo STRMTG à gauche)

et 1er jeu *(photo TMD Friction ci-dessus)*

Dans la gare motrice de La Saulire, sur l'établi, ont pu être observés trois lots de garnitures usagées. L'un, avec une écriture rouge au dos, correspond à des garnitures de type G95. Les deux autres lots sont des Cosid 132. L'un des deux correspond aux plaquettes en place lors des pré-essais du 27 septembre 2021. L'usage du 3e jeu n'a pas pu être déterminé.

Figure 36 - ***Lots de plaquettes, sur l'établi de La Saulire, le 7/10/2021*** *(photo BEA-TT)*

3.3.2 - Les constats sur les poulies

Le mardi 28/09/2021, avant nettoyage, les pistes de freinage présentent de nombreuses traces noires. Après l'accident, des traces noires similaires sont de nouveau présentes.

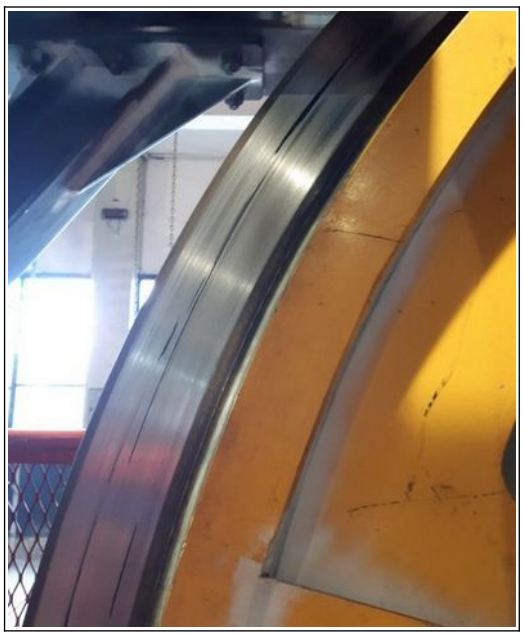


Figure 37 - ***Traces noires sur la poulie voie 1 le mardi 28/09/2021 avant nettoyage*** *(photo S3V)*

Figure 38 - ***Traces noires sur la poulie voie 1 après l'accident*** *(photo BEA-TT)*

Ces résidus collés à la piste de freinage ont été analysés par le CETIM. Ils sont de deux natures différentes : soit sous forme de copeaux métalliques en acier non allié (et trop grands (200 µm) pour venir des garnitures), soit organiques avec une composition similaire à celle des plaquettes (avec toutefois une teneur en aluminium plus forte). La piste de freinage de la poulie est quant à elle en acier non allié.

Ainsi, les résidus proviennent à la fois de matières issues de la poulie et des garnitures.

3.4 - Les données du Technicien d'Inspection Annuelle

Au cours des essais, afin de récupérer les données nécessaires à la vérification de l'atteinte des objectifs de l'appareil, le Technicien d'Inspection Annuelle branche son ordinateur de mesures sur trois des sorties dédiées de l'armoire de commande. À noter que la mesure de la pression du frein d'urgence F2 n'a pas été prise par le TIA du fait du nombre limité d'entrées sur son outil.

Ces mesures ont permis l'obtention du graphe suivant. Le signal de sortie est calibré (0-10 V), aussi la plage d'enregistrement du TIA est adaptée en conséquence.

L'observation du graphe permet de décrire le déroulement temporel suivant :

a. 12:10:35 (t=0) = le frein F1 est relâché (courbe verte) et les moteurs entrent en action : le téléphérique démarre. Sa vitesse se stabilise à 0,5 m/s.

b. 12:10:53 (18s) = la vitesse commence à augmenter, de façon constante.

c. 12:11:07 (32s) = la vitesse se stabilise à 5,5 m/s pendant 5 secondes puis reprend son augmentation constante. A priori, pour ce faire il faut que le potentiomètre soit manuellement activé à 100 % pour atteindre les 11 m/s.

d. 12:11:27 (52s) = la vitesse est de 11 m/s et se maintient pendant 2 secondes.

e. 12:11:29 (54s) = la traction (courbe rouge) devient nulle. **La coupure de la traction correspond au début de l'essai de freinage**. La vitesse augmente.

f. 12:11:33 (58s) = un palier de vitesse très léger est observable, 4 secondes après le début de l'essai de freinage.

g. 12:11:36 (61s) = le graphe écrête la valeur de la vitesse à partir de 13,75 m/s (8 V correspondant à 11 m/s, la limite de 10 V du signal de sortie correspond donc bien à 13,75 m/s).

h. 12:12:02 (87s) = le frein F1 s'active, 33 secondes après la coupure de la traction.

i. 12:12:13 (98s) = la valeur de la vitesse n'est plus écrêtée, elle est en train de décroître, sans savoir quand cette diminution a commencé.

j. 12:12:15 (100s) = on observe une fluctuation de la vitesse.

k. 12:12:20 (105s) = on observe un creux de vitesse : elle diminue jusqu'à 10,25 m/s et recommence à augmenter en oscillant.

l. 12:12:47 (132s) = la vitesse atteint un nouveau maximum à 13,75 m/s. Puis globalement la vitesse recommence à décroître.

m. 12:13:16 (161s) = une chute brutale de vitesse est enregistrée. C'est le **choc des cabines avec les gares, à la vitesse de 8 m/s soit environ 29 km/h**.

Entre la coupure de la traction et le choc, il s'écoule 107 secondes.

À partir de la coupure de traction et jusqu'à la vitesse écrêtée à 13,75 m/s, l'accélération est quasi constante et en moyenne, est égale à 0,38 m/s². [gamma = (v2-v1) / (t2-t1) = (13.75-11) / 7,3].

Après le creux de vitesse, soit 54 secondes avant le choc – ou 51 secondes après le début du F2MST, on constate le début d'une oscillation de la vitesse.

Figure 39 - ***Courbe au long de l'essai accidentel, produite par le logiciel du Technicien d'Inspection Annuelle (en bleu la vitesse du câble, en rouge le couple de traction – intensité moteur, en vert la pression du frein de service F1)*** *(source Transcable Halec)*

Après calcul rapide par incrémentation à partir de la courbe de vitesse fonction du temps, l'oscillation commence environ 695 mètres avant le point de choc. Or le pylône est 635 mètres avant la gare inférieure. Cette oscillation de vitesse est donc certainement due à l'oscillation physique de la cabine après son passage du pylône. De plus, le passage du pylône correspond à un changement de pente, entraînant l'augmentation de la vitesse sans que rien ne change par ailleurs.

Figure 40 - ***Cabine n°1 (chargée) approchant la gare inférieure peu avant le choc***
(extrait du film réalisé par l'agent du STRMTG lors de l'accident, environ 12 secondes avant l'impact)

Au début du freinage, le frein F2 est étagé à 50 % puis du fait de la vitesse inadéquate, l'automate génère un ordre de tombée du F2 à 100 %. Ceci doit engendrer un couple plus important de freinage, mais il semble encore insuffisant à enrayer l'accélération et freiner les cabines. Cela correspondrait au palier de vitesse très léger ayant lieu 4 secondes après le début du freinage. Le second zoom présente un léger pallier, qui étant donné la ligne, correspondrait au passage sur le pylône de l'autre cabine – celle montante.

Figure 41 - ***Zooms sur la courbe d'essai F2 en descente de 12h10***

Dans l'hypothèse maximale où la cabine a accéléré de façon constante selon la courbe initiale visible puis décéléré de façon également constante selon la pente visible, la vitesse maximale "théoriquement" atteinte serait alors de 21,5 m/s (soit 77 km/h).

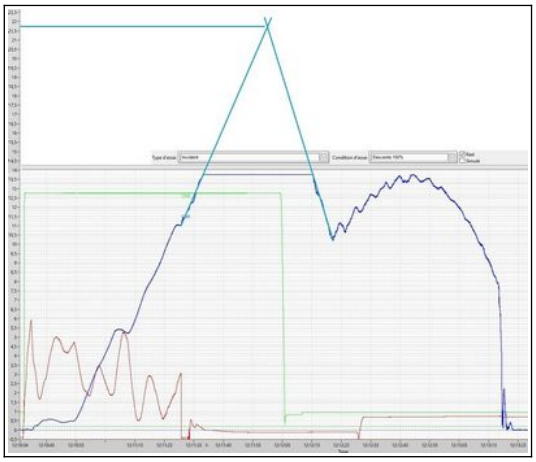


Figure 42 - ***Estimation de la vitesse maximale atteinte par l'installation lors de l'accident***

Plus finement, le début du freinage F2 est à 230 m du sommet, le pylône se trouve à 955 m du sommet et la distance entre les deux points est parcourue en 51 secondes : la vitesse moyenne est donc d'environ 14 m/s. En supposant que la vitesse présente une courbe de type parabolique, la partie écrêtée pourrait ressembler au graphe ci-contre, où le pic de vitesse se situerait vers 16-17 m/s.

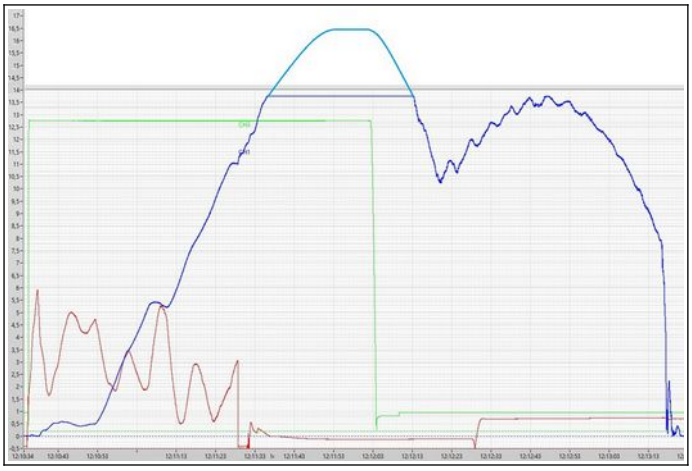


Figure 43 - ***Seconde estimation de la vitesse maximale atteinte par l'installation lors de l'accident***

Ainsi, au cours de l'événement, la vitesse du téléphérique était bien au-delà de la vitesse maximale de 11 m/s, à un maximum estimé à environ 16,5 m/s.

Le ralentissement de l'installation semble s'initier au début de la tombée du frein F1 (chute de la courbe verte) mais serait lié toutefois à la conjonction des (faibles) effets du frein F1 et de la remontée des câbles porteurs jusqu'au pylône. Les essais précédant l'essai fatidique seront importants pour estimer l'état des freins et la capacité résiduelle de freinage de F1 et de F2.

3.5 - Les données de l'automate

3.5.1 - Les limites de l'automate

Quand ils sont historisés dans l'automate Pilz et sa supervision, les défauts et alarmes sont enregistrés avec les indications suivantes : intitulé du défaut, date, heure[25], numéro unique du défaut, durée. L'automate stocke 10 000 défauts.

La mise en historique des alarmes et défauts ne s'effectue qu'après disparition de ceux-ci et acquittement (validation) par l'opérateur via une sollicitation manuelle du bouton physique de réarmement. Ce bouton-poussoir est directement relié à une entrée sécuritaire de l'automate. A contrario, les défauts non acquittés n'apparaissent pas dans l'historique. Et l'automate n'affiche sur son écran de supervision que 32 événements. Si une coupure d'alimentation a lieu, il y a perte des défauts en cours non acquittés, car ils n'étaient présents que dans la mémoire vive. Comme au moment des constats, le téléphérique a été éteint puis rallumé plusieurs fois depuis l'accident, les défauts relatifs à l'accident ont été « écrasés ». Ceci explique l'absence d'enregistrement de certains évènements dans le fichier relevé tel que l'enclenchement du BP Arrêt Électrique le 29/09/2021 (non réarmé après l'accident) comme nous le verrons ci-dessous dans les données. Pour prendre connaissance de ces informations, il aurait fallu les lire sur l'écran de supervision de l'automate et ce, avant la première extinction de l'automate. Ceci n'ayant pas été fait, les données concernant l'appui sur les boutons au pupitre sont perdues, ainsi que d'autres défauts que nous ignorons.

Par ailleurs, la supervision communique de manière cyclique avec l'automate et récupère une table correspondant aux défauts présents toutes les 500 millisecondes. Deux évènements donnés dans la même seconde dans l'historique ne sont donc pas forcément concomitants mais sont apparus dans la même seconde. Des défauts ayant le même horodatage peuvent ne pas s'afficher dans l'ordre chronologique.

25 L'automate présente un écart de 1 min 10 s environ avec l'enregistreur de Transcable Halec.

3.5.2 - Les données de l'accident du 29/09/2021 à 12h10

Les étapes dans les événements enregistrés par l'automate sont les suivantes :

(1) Lancement du test automatique d'arrêt dans la plus forte pente par frein F2 (F2MST)
(2) Dépassement de la vitesse
(3) Évènement isolé de surveillance fonctionnelle
(4) Fin de l'anti-cumul par relayage (F1 demandé en plus de F2)
(5) Fin de la durée maximale de freinage prévue
(6) Temps long du fonctionnement de la pompe de la centrale de frein
(7) Impact des véhicules dans les stations d'extrémité

	Date	Heure	Num	Message	Niv	Duree
	29/09/2021	12:12:09	2076	AER - Pression mini tension câble	2	246
	29/09/2021	12:12:09	1277	ALM - Discordance relais SVTH	2	247
	29/09/2021	12:12:09	1097	F1M - Ecart DT Moteur 2 > vitesse câble	2	247
	29/09/2021	12:12:09	1078	F1M - Ecart DT Moteur 1 > vitesse câble	2	247
	29/09/2021	12:12:09	1025	F2M - surveillance sens de marche sur DTC3	2	247
	29/09/2021	12:12:09	1024	F2M - surveillance sens de marche sur DTC2	2	247
	29/09/2021	12:12:09	1023	F2M - surveillance sens de marche sur DTC1	2	247
	29/09/2021	12:12:07	2051	AEC2 - Verrouillage porte D Cabine 2	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2050	AEC2 - Verrouillage porte C Cabine 2	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2049	AEC2 - Verrouillage porte B Cabine 2	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2047	AEC2 - Fermeture porte D.2 Cabine 2	2	248
⑦	29/09/2021	12:12:07	2046	AEC2 - Fermeture porte D.1 Cabine 2	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2045	AEC2 - Fermeture porte C.2 Cabine 2	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2044	AEC2 - Fermeture porte C.1 Cabine 2	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2042	AEC2 - Fermeture porte B.1 Cabine 2	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2041	AEC2 - Fermeture porte A.2 Cabine 2	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2040	AEC2 - Fermeture porte A.1 Cabine 2	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2019	AEC1 - Verrouillage porte D Cabine 1	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2018	AEC1 - Verrouillage porte C Cabine 1	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2016	AEC1 - Verrouillage porte A Cabine 1	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2015	AEC1 - Fermeture porte D.2 Cabine 1	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2014	AEC1 - Fermeture porte D.1 Cabine 1	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2012	AEC1 - Fermeture porte C.1 Cabine 1	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2011	AEC1 - Fermeture porte B.2 Cabine 1	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2010	AEC1 - Fermeture porte B.1 Cabine 1	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2008	AEC1 - Fermeture porte A.1 Cabine 1	2	248
	29/09/2021	12:12:07	2004	F1C1 - Inclinomètre Cabine 1	2	248
	29/09/2021	12:12:07	1121	F1M - Vitesse nez de gare Motrice Véhicule 1	2	248
	29/09/2021	12:12:06	1393	ALM - Vitesse nez de gare Retour Véhicule 2	2	249
⑥	29/09/2021	12:11:02	1397	ALM - Pressostat accumulateur centrale freins	2	314
⑤	29/09/2021	12:10:42	1027	F2M - Dévirage statique	2	334
	29/09/2021	12:10:42	1017	F2M - Contrôle temps d'arrêt	2	334
④	29/09/2021	12:10:38	1014	F2M - Contrôle relais RLFS (anti cumul)	2	337
③	29/09/2021	12:10:29	1077	F1M - Contrôle pédale homme mort	2	347
	29/09/2021	12:10:28	1179	AEM - Contrôle point fixe cabine 2 sur GIC3	2	347
	29/09/2021	12:10:27	1103	F1M - Ecart vitesse câble 1 < vitesse câble 3	2	348
	29/09/2021	12:10:27	1101	F1M - Ecart vitesse câble 1 < vitesse câble 2	2	348
	29/09/2021	12:10:24	1033	F2M - Contrôle décélération AE DTC3	2	352
	29/09/2021	12:10:24	1008	F2M - Contrôle décélération AE DTC2	2	352
②	29/09/2021	12:10:24	1007	F2M - Contrôle décélération AE DTC1	2	352
	29/09/2021	12:10:23	1114	F1M - Défaut entrée en gare sur vitesse cable 3	2	353
	29/09/2021	12:10:23	1113	F1M - Défaut entrée en gare sur vitesse cable 2	2	353
	29/09/2021	12:10:23	1112	F1M - Défaut entrée en gare sur vitesse cable 1	2	353
	29/09/2021	12:10:23	1039	F2M - Survitesse 110% en exploitation sur DTC3	2	353
	29/09/2021	12:10:23	1019	F2M - Survitesse 110% en exploitation sur DTC1	2	353
	29/09/2021	12:10:22	1021	F2M - Survitesse 110% en exploitation sur DTC2	2	353
①	29/09/2021	12:10:19	1234	F2MST - Test automatique : Arrêt F2	2	356

Figure 44 - ***Historique des alarmes du 29/09/2021 à partir de 12h10:19 jusqu'à la fin*** *(source automate)*

Entre le lancement du test F2MST et les alarmes identifiant le choc en gare, il s'écoule 1 minute et 48 secondes. On retrouve bien la durée mesurée sur le graphe du TIA.

① Lancement du test automatique d'arrêt par frein F2 : 12:10:19

Le principe du test est le suivant : via la supervision, une demande de test est transmise vers l'API standard. Ce dernier génère un top d'arrêt au point exact où doit être provoqué l'arrêt, via un défaut simulé. Cela a lieu à une position prédéterminée, à 230 m de la gare ± 5 m. L'APIdS prend en compte le défaut simulé et lance la séquence d'arrêt. La demande de test automatique a donc généré une demande d'arrêt au frein d'urgence étagé. La traction doit alors être coupée. Lors de ce test, aucune dégradation ou modification de surveillance n'a lieu. À noter que ce message a été acquitté 356 secondes plus tard, soit à 12:15:15.

② Dépassement de la vitesse

29/09/2021	12:10:28	1179 AEM - Contrôle point fixe cabine 2 sur GIC3	2	347
29/09/2021	12:10:27	1103 F1M - Ecart vitesse câble 1 < vitesse câble 3	2	348
29/09/2021	12:10:27	1101 F1M - Ecart vitesse câble 1 < vitesse câble 2	2	348
29/09/2021	12:10:24	1033 F2M - Contrôle décélération AE DTC3	2	352
29/09/2021	12:10:24	1008 F2M - Contrôle décélération AE DTC2	2	352
29/09/2021	12:10:24	1007 F2M - Contrôle décélération AE DTC1	2	352
29/09/2021	12:10:23	1114 F1M - Défaut entrée en gare sur vitesse cable 3	2	353
29/09/2021	12:10:23	1113 F1M - Défaut entrée en gare sur vitesse cable 2	2	353
29/09/2021	12:10:23	1112 F1M - Défaut entrée en gare sur vitesse cable 1	2	353
29/09/2021	12:10:23	1039 F2M - Survitesse 110% en exploitation sur DTC3	2	353
29/09/2021	12:10:23	1019 F2M - Survitesse 110% en exploitation sur DTC1	2	353
29/09/2021	12:10:22	1021 F2M - Survitesse 110% en exploitation sur DTC2	2	353
29/09/2021	12:10:19	1234 F2MST - Test automatique : Arrêt F2	2	356

On observe que :

- La survitesse 110 % est détectée dès 12:10:22. C'est un dépassement absolu de la vitesse nominale majorée de 9 % soit une vitesse atteinte égale à 11,99 m/s après environ 3 secondes du début du test.

  Nota : il n'y a pas d'information quant à la survitesse mécanique par la masselotte, puisque celle-ci n'a pas été réarmée (le défaut spécifique survitesse mécanique qui doit alors s'afficher n'a pas été historisé du fait de la coupure d'alimentation – les défauts en cours non acquittés sont perdus, car ils n'étaient présents que dans la mémoire vive).
- Le défaut "entrée en gare" correspond au dépassement absolu de la vitesse nominale majorée de 10 % soit 12,1 m/s. Ce défaut commande le frein F1 mais ce dernier n'est pas activé, du fait de l'anti-cumul avec le F2 déjà tombé.
- Suite à une demande d'arrêt au frein électrique (BP au pupitre), le "contrôle décélération arrêt électrique" correspond à la surveillance de la bonne décélération de celui-ci : or l'alimentation du moteur est déjà coupée suite au frein F2 déjà commandé.
- L' "écart vitesse" correspond à un écart de valeur supérieur à 5 % entre deux points de mesure vitesse. Cela pourrait correspondre à la saturation des informations de vitesse.
- Enfin le "contrôle point fixe" est une vérification et un recalage entre la mesure de position interne automate et une donnée ponctuelle issue d'un capteur indépendant de l'automate (compteur pupitre pris sur une mesure de position indépendante). Ici il indique une incohérence entre ces deux données. L'automate a dépassé la capacité de comptage et ses limites d'acquisition, car le téléphérique va trop vite.

③ Évènement isolé de surveillance fonctionnelle

Ce défaut correspond à une incohérence entre l'appui par le conducteur sur la pédale homme mort et/ou le relâchement de celle-ci par rapport à l'état attendu. Cette surveillance fonctionnelle se fait en marche manuelle uniquement (accélération de l'appareil pilotée par le potentiomètre au pupitre). Ce défaut demande la tombée du frein 1, mais la chaîne d'anti-cumul l'interdit encore. L'apparition de ce défaut dans cette

séquence confirme que la montée en vitesse de l'appareil a été réalisée manuellement et que le ressaut visible sur le graphe du TIA à 12:11:12 relève bien d'une action manuelle.

④ Fin de l'anti-cumul par relayage

29/09/2021	12:10:38	1014 F2M - Contrôle relais RLFS (anti cumul)	2 337

L'anti-cumul est géré par l'automate et par une chaîne à relais indépendante pour laquelle des temporisations pneumatiques assurent la fonctionnalité de non-cumul. La valeur de temporisation relevée par le TIA en 2020 était de 21 secondes (nous garderons cette valeur pour la suite du rapport). La surveillance d'état du relais RLFS (relevage frein de service) lié à l'anti-cumul, a lieu à 12:10:38 soit environ 20 secondes après l'activation du frein F2, ce qui confirme le bon réglage de la temporisation RLFS.

Le défaut ci-dessus traduit qu'une incohérence est détectée par l'APIdS : la fin de la temporisation (donc bascule à 0 du relais RLFS, ce qui engage l'ordre de tombée du frein F1) alors que l'automate de sécurité continue à voir une vitesse sur l'appareil et que la durée maximale de freinage prévue par l'automate n'a pas encore été atteinte. L'APIdS considère donc que l'anti-cumul est encore nécessaire et il maintient le F1 relevé.

Or l'activation du F1, en cumul du F2, va se produire au bout de 33 secondes. Ce délai de 13 secondes supplémentaires correspondrait : ► soit à des composants de l'automate qui ont saturé face à la vitesse élevée (lecture maximale à 10 V), ► soit à la coupure du sectionneur 400 V. Cette coupure entraîne une perte de l'acquisition du signal vitesse par la carte de régulation du frein F1. Cette absence d'acquisition est considérée comme une vitesse nulle. Une action complémentaire sur la carte de régulation du frein via une chaîne relayée temporisée permet un pilotage direct du F1 plein couple. Au vu des schémas transmis, cette sollicitation est calibrée 15 secondes après la demande par l'automate principal et expliquerait la tombée du F1 plein couple 33 secondes après la tombée du F2. Cette seconde hypothèse semble la plus probable.

⑤ Fin de la durée maximale de freinage

29/09/2021	12:10:42	1027 F2M - Dévirage statique	2 334
29/09/2021	12:10:42	1017 F2M - Contrôle temps d'arrêt	2 334

Le temps maximal d'arrêt est atteint dans l'automate de sécurité : le dévirage[26] statique correspond à un mouvement observé alors que l'automate considère que l'appareil devrait être arrêté.

⑥ Temps long du fonctionnement de la pompe de la centrale de frein

29/09/2021	12:11:02	1397 ALM - Pressostat accumulateur centrale freins	2 314

Une alarme de surveillance d'état de la pression basse dans la centrale de frein apparaît. L'automate considère que la pompe de frein fonctionne depuis trop longtemps, l'installation aurait dû s'arrêter.

⑦ Impact des véhicules

À 12:12:07, toutes les portes des cabines envoient des messages de défaut de fermeture. Cela correspond à l'impact des cabines avec les gares.

Il y a eu un réarmement 248 secondes plus tard soit à 12:16:15 donc, la vitesse est bien nulle, et une personne acquitte des défauts sur l'automate. Pour rappel, les défauts non ''levés'' (toujours actifs) ne sont pas acquittés et donc pas enregistrés dans l'automate.

26 Le contrôle de dévirage est un dispositif permettant de détecter l'inversion intempestive du sens d'entraînement du câble : le câble part en marche arrière alors que l'appareil est en marche avant.

En synthèse :

- Les évènements enregistrés par l'automate sont cohérents avec la courbe enregistrée par le TIA.
- Le non-ralentissement du téléphérique (‘‘contrôle décélération”) et la survitesse ont été détectés.
- Aucune anomalie de fonctionnement de la commande et du pilotage des freins, ni d'anomalie de réponse des pinces de freins n'est enregistrée, alors qu'elles sont surveillées par l'automate.
- Le décalage de la tombée du frein F1 à 33 secondes au lieu de 21 secondes est lié soit à une saturation de la carte d'acquisition de la vitesse, soit plus probablement à une coupure de l'alimentation électrique de la carte pouvant induire une information vitesse nulle de l'installation à destination de la carte de régulation du frein de service F1.

3.5.3 - Les données des essais du 29/09/2021, avec leurs temps d'arrêt associés et les réglages

Les courbes du TIA pour chaque essai du 29/09/2021 nous ont été fournies et permettent de regrouper les valeurs des temps obtenus dans le tableau ci-dessous. Nous y avons introduit des mentions sur les réglages réalisés selon les témoignages.

Heure (automate)	**Type d'essai**	**Temps d'arrêt (TIA)**
Réglage initial des cotes : F1P1 = 121,1 mm et F1P2 = 120,9 mm		
9h36	F1 par BP (modulé), à la montée	9,1 s
9h43	F1 par BP (modulé), à la descente	12,4 s
9h47	F2 (frein d'urgence étagé), à la montée	8,2 s
9h53	F2 par BP, à la descente	11,0 s
10h03	Arrêt électrique, à la montée	14,5 s
10h11	Arrêt électrique, à la descente	14,8 s
10h14	Arrêt sur inertie, à la montée	9,8 s
10h26	F1 plein couple, à la descente	10,6 s
Réduction du couple du frein F1 : F1P2 réglée à 121,6 mm (F1P1 trouvée à 122,0 mm)		
10h52	F1 plein couple, à la descente	14 s
Réduction du couple du frein F1 : F1P1 et F1P2 réglées à 122,2 mm		
11h10	F1 plein couple, à la descente	19,1 s
Remise de couple du frein F1 : F1P1 et F1P2 réglées à 121,5 mm		
11h22	F1 plein couple, à la descente	Essai caduc, 20 s
11h53	F1 plein couple, à la montée	9 s
11h59	F1 plein couple, à la descente	Essai caduc, 30 s
12h06	F2 plein couple, à la descente	Accident (107 s)

On constate que les trois derniers essais à la descente avant le test fatidique donnent des temps très longs, les deux derniers essais sont mêmes considérés caducs par le TIA et les graphes montrent que le frein F2 a pris le relais du frein F1. Les essais seront analysés finement dans la partie Investigations, avec les courbes du TIA à l'appui.

3.5.4 - La synthèse des données enregistrées par l'automate les jours ayant précédé l'IA du 29/09/2021

Pour rappel, l'outil de supervision de l'automate présente une liste d'enregistrements avec date, heure, numéro de l'alarme, son intitulé, la durée avant son acquittement. Ici, les essais F1MST et F2MST seront systématiquement listés, les autres remontées d'informations seront mentionnées quand pertinentes.

Avant la date du 27/09/2021, on observe des essais F1MST (30/11/2020, 16/08/2021 et 2 le 23/09/2021) et des F2MST (30/11/2020, 16/08/2021 et 6 le 23/09/2021), sans connaître leur vitesse et le lieu du début du freinage. Des ouvertures des pinces sont également indiquées (3 en novembre 2020, 4 en mai 2021, 2 en août 2021 et 2 le 23 septembre 2021). Elles correspondent probablement à des opérations de maintenance ou de vérification. Deux défauts de dévirage statique sont listés le 21/06/2021.

Mais en l'absence d'enregistrements de vitesse et de la distance parcourue par une cabine, les défauts enregistrés jusqu'en novembre 2020 ne sont pas interprétables. Nous nous focalisons donc sur les trois jours de pré-essais et essais de l'Inspection Annuelle.

- ***Historique du lundi 27/09/2021***

De nombreuses informations sont données par l'automate le 27/09/2021 (265 lignes). L'installation est mise en marche à 8 h 11.

- À 13 h 24, le premier test F1MST est déclenché : le chargement de la cabine est terminé. Les réglages du téléphérique commencent. Il sera suivi de 3 autres F1MST (13 h 35, 13 h 57 et 14 h 02). Les tests de 13 h 35 et 13 h 57 sont suivis d'un défaut pressostat : le temps de freinage est trop long. Sinon, aucun autre défaut ne remonte.
- À 14 h 15, un verrouillage ouvert F2 est indiqué. Son réarmement est fait 80 s après. Il sera suivi de 4 F2MST : 14 h 27, 14 h 42, 14 h 59 et 15 h 11.
- À 15 h 23, on observe un verrouillage ouvert F2 (159 secondes) et à 15 h 32, un verrouillage ouvert F1 (47 secondes).
- Des BP arrêt frein 1 pupitre sont activés. Puis 2 F1MST ont lieu (16 h 08 et 16 h 29), deux BP arrêt frein 2 pupitre / extérieur et un F2MST à 16h36.
- La journée se termine avec une dernière remontée d'information à 16 h 44.

En synthèse, lundi après-midi, de multiples tests de freinage sont engagés et deux font remonter un défaut ‘‘temps long’’ (F1MST de 13 h 35 et 13 h 57). Il est constaté un verrouillage ouvert de F1 et deux de F2 : cela indique l'ouverture des pinces des freins. Cela correspondrait à un changement des garnitures, a priori pour les deux freins en même temps, entre 15 h 23 et 15 h 33.

- ***Historique du mardi 28/09/2021***

L'installation est mise en marche à 8h09. De nombreuses informations sont données par l'automate le 28/09/2021 (325 lignes).

- Les premiers tests du mardi après la préparation font remonter 3 F2MST (9 h 17 suivi d'un défaut pressostat, 9 h 23 et 9 h 28) puis de 2 F1MST (9 h 32 suivi d'un défaut pressostat, et 9 h 36). À 9 h 53, un verrouillage ouvert F1 (acquitté après 289 s) est suivi la seconde suivante d'alarmes de ‘‘Non tombée pince 2 frein 1’’ et ‘‘Non tombée pince 1 frein 1’’. À 10 h 08, un verrouillage ouvert frein de sécurité / d'urgence (274 secondes) est indiqué.
- À 10 h 14, un test F1MST est lancé. À 10 h 47, l'alarme “verrouillage ouvert frein 1” est remontée (acquittée après 152 s), suivi la seconde suivante de “Non tombée pince 2 frein 1” et “Non tombée pince 1 frein 1”. À 11 h 25, un “verrouillage ouvert frein 1”

(durée avant acquittement de 25 s) est suivi la seconde suivante de “Non tombée pince 2 frein 1” et “Non tombée pince 1 frein 1”. Puis 7 secondes plus tard, apparaît un “verrouillage ouvert frein de sécurité” (18 s).

- Une pause a lieu de 11 h 25 à 12 h 59.
- À 13 h 05, de nouveau un verrouillage ouvert frein 1 (durée avant acquittement de 217 s) a lieu, suivi la seconde suivante de “Non tombée pince 2 frein 1” et “Non tombée pince 1 frein 1”. À 13 h42, on constate un verrouillage ouvert frein de sécurité (durée 149 s) – cet horaire correspond à celui de la photo prise par S3V (voir Figure 32 -).
- De 14 h 11 à 15 h 08, de très nombreux BP arrêt frein 2 pupitre / extérieur et BP arrêt frein 1 pupitre ont lieu. Ces nombreuses activations de BP pourraient correspondre au nettoyage des poulies bout par bout, en tournant petit à petit les poulies pour faciliter l’accès aux agents S3V. Les garnitures auraient également été nettoyées dans cette plage horaire, voire à partir de 13 h 05.
- Le test suivant a lieu à 15 h 15 : c’est un F1MST suivi d’alarmes “surveillance sens de marche” et d’alarmes ‘‘dévirage statique’’ (temps maximal atteint). Cette information confirme un freinage non conforme à l’attente. De nouveau à 15 h 32, le test F1MST est suivi d’alarmes “surveillance sens de marche”. À 15 h 37, un test F2MST est effectué sans difficulté. À 15 h 48, un F1MST est suivi d’alarmes “surveillance sens de marche”. Puis à 15 h 56, un F1MST est effectué sans difficulté.
- À 16 h 06, on observe le verrouillage ouvert du frein 1 (durée 84 s) suivi la seconde suivante de ‘‘Non tombée pince 2 frein 1’’ et ‘‘Non tombée pince 1 frein 1’’. Puis à 16 h 13, le verrouillage ouvert du frein 2 (durée 48 s). Ces deux verrouillages pourraient correspondre à une vérification visuelle par les agents quant à l’état des garnitures des freins F1 et F2 après ces derniers essais. La journée se finit à 16 h 30.

Ainsi, après 3 F2MST et 2 F1MST, plusieurs verrouillages ouverts du F1 ou F2 ont eu lieu, jusqu’à 13 h 42. Les nombreux arrêts au BP indiquent que le nettoyage des pistes de freinage est effectué entre 14 h 11 et 15 h 08. Ensuite 4 F1MST et 1 F2MST sont réalisés : les premiers déclenchent des alarmes dans l’automate et les derniers F1 et F2 sont bons.

- ***Historique du 29/09/2021 avant l’essai final de 12 h 10***

L’installation est mise en marche à 7 h 40. Les arrêts demandés et les défauts notables observés au cours de la matinée sont en adéquation à ceux listés et décrits via les courbes du TIA (chapitre 3.9.1 -).

À noter en sus qu’à 11 h 41, l’alarme “Verrouillage ouvert frein 1”, avec la non-tombée de P1F1 et P2F1, est notifiée et acquittée après 9 minutes. Non identifié dans les témoignages, cela pourrait correspondre à une vérification visuelle par les agents quant à l’état des garnitures des freins F1. Il y a un test de F1 à la montée à 11 h 53 puis un test de F1 à la descente à 11 h 59.

À 12 h 10, a lieu le F2MST “Test automatique : Arrêt F2” qui mène à l’accident.

En conclusion, sur les deux jours de pré-essais, nous comptabilisons 13 tests F1MST et 9 tests F2MST. Sur les trois derniers jours, l’ensemble des données de l’automate corrobore les témoignages ainsi que les courbes du TIA, et confirme que le système de freinage a présenté quelques difficultés avant (défauts, verrouillage pinces de frein) et évidemment pendant l’IA.

3.6 - Les conclusions sur les constats immédiats

Le lundi 27 septembre 2021, des agents de l'exploitant S3V réalisent des pré-essais sur le téléphérique de La Saulire afin de préparer son inspection annuelle, prévue deux jours plus tard – le mercredi 29 septembre. Le matin est dédié au chargement (11,4 tonnes d'eau) de la cabine n° 1. L'après-midi, un certain nombre d'essais ont lieu. Au cours de ces essais, la piste de freinage devient tiède et une odeur de brûlé se fait sentir. Les pinces de frein sont alors ouvertes par les agents S3V et les plaquettes (1er jeu) sont observées. Ces dernières sont retirées étant donné qu'elles sont "glacées", même si elles ne présentent pas d'usure de leur garniture. Elles sont remplacées par des plaquettes neuves (2d jeu). Ce remplacement pourrait avoir lieu entre 15 h 23 et 15 h 55 selon les témoignages et l'historique de l'automate. Deux tests du frein F1 et un test du frein F2 sont effectués, puis la journée se termine.

Le mardi 28 septembre, les essais de préparation se poursuivent. Des tests sont lancés : 4 à 5 arrêts en freinage F1 et F2 sont effectués – des freinages légers à faible vitesse pour le rodage des plaquettes. Un dépôt noir est visible sur les deux côtés des pistes de freinage des deux poulies. Les plaquettes présentent un état de surface jugé anormal par l'exploitant : elles sont glacées, avec de larges traces grises. À 13 h 45, une des plaquettes du 2d jeu est prise en photo. Les agents S3V toilent les huit plaquettes et réalisent un nettoyage complet des pistes de freinage avec du nettoyant Berner. Ils remettent les plaquettes du 2d jeu, réglées aux mêmes cotes (de garde et de compression) que l'année précédente. Puis ils refont des essais de freinage : les temps sont en adéquation avec leurs attentes et il n'y a plus d'odeur de brûlé, plus de dépôt, plus d'échauffement. La journée se termine sur trois arrêts considérés comme bons.
Au cours de ces deux jours, les tests F1MST (test frein F1 dans la plus forte pente) et F2MST (test frein F2 dans la plus forte pente) auraient été réalisés étagés (pas à plein couple) et certains à vitesse réduite (donc inférieure à 11 m/s).

Au matin du mercredi 29 septembre, avant de commencer l'inspection annuelle, il n'y a pas de traces sur les pistes de freinage. Le technicien d'inspection annuelle arrive au téléphérique de La Saulire. Les mesures de cotes de garde et des cotes de compression sur les 4 pinces de frein sont réalisées et notées. Puis, remontés au poste de pilotage de l'appareil, les agents de S3V et le TIA, sous le regard de l'agent du STRMTG, commencent les phases d'essais en charge en suivant l'ordre du rapport d'inspection annuelle de l'année précédente. Ils font des essais de freinage F1 puis F2 (étagés) et des arrêts électriques, en montée et en descente. En freinage F1 modulé, cela freine trop. Descendu en machinerie, le conducteur desserre une pince du frein F1, ce qui donne un temps de freinage à 14 secondes. Puis à l'essai suivant, il desserre un peu plus les deux pinces de frein F1, donnant ensuite un temps de freinage à 19 secondes. Puis il resserre pour un temps de freinage de nouveau à 19 secondes. Ce dernier réglage n'a pas eu d'action sur le temps de freinage. Le dépôt s'est reformé, l'odeur est revenue. Les cotes de garde sont à chaque fois contrôlées et égales à 30 mm. Aucun réglage n'est effectué sur les pinces du frein F2. L'entrefer n'est pas contrôlé.

Les trois derniers essais à la descente avant le test fatidique donnent des temps très longs, les deux derniers sont mêmes considérés caducs par le TIA, avec entrée en action du frein F2 du fait d'un frein F1 insuffisant.

L'ensemble des participants conclut de reporter l'inspection annuelle. Un dernier essai est demandé par les agents S3V pour vérifier le frein F2 à la descente. Aucune objection n'est émise, le câblage de l'ordinateur du TIA sur l'armoire de commande du téléphérique est maintenu en place.

Le conducteur lance donc l'essai F2MST, il est 12 h 10. La cabine n° 1 est positionnée en gare amont. Elle descend, l'accélération de l'appareil est pilotée manuellement via le potentiomètre disponible au pupitre, l'installation atteint la vitesse de 11 m/s, la cabine chargée franchit le point de lancement de l'essai, la traction est coupée et le pilotage de la tombée du frein est engagé mais au lieu de réduire, la vitesse augmente. Des défauts et alarmes sont enregistrés par l'automate. Le système mécanique de détection de survitesse se déclenche, la survitesse est également détectée par l'automate ainsi que le non-ralentissement du téléphérique ("contrôle décélération"). L'installation continue à prendre de la vitesse. Le conducteur essaye de l'arrêter en utilisant tous les boutons-poussoirs d'arrêt sur le pupitre. L'électricien coupe l'armoire de commande derrière lui par le biais d'un sectionneur. Cette coupure n'a pas d'effet sur les enregistrements par l'outil du TIA. La vitesse atteint probablement les 16,5 m/s. À partir de la coupure de traction, l'accélération est quasi constante et en moyenne, est égale à 0,38 m/s². La cabine n° 1 descendante croise la cabine n° 2 montante et approche du pylône. La vitesse décroît jusqu'à l'arrivée de la cabine descendante vers le pylône puis augmente de nouveau par oscillations. Les participants sortent tous du poste de commande. Le responsable électrique descend en machinerie par l'escalier, le conducteur le suit. Ils voient que les plaquettes des freins sont en appui, de la fumée s'échappe des quatre pinces. Ils coupent les armoires de puissance. L'installation ralentit et la cabine n° 1, chargée de 11,4 tonnes d'eau, heurte la gare aval à une vitesse d'environ 8 m/s. Le téléphérique s'arrête de fait. Entre la coupure de la traction et le choc, il s'est écoulé 1 minute et 47 secondes (107 secondes).

Il n'y a pas de blessés.

Les cabines sont fortement abîmées, le câble tracteur a subi des dommages et quelques dégâts sont visibles sur les deux gares. Le butoir de la gare aval a été cassé et projeté en arrière-gare dans le choc.

En machinerie, le TIA, S3V et le STRMTG relèvent les cotes des pinces de frein : les cotes de garde sont passées de 30 mm à 27 mm pour toutes les pinces. Et les cotes de compression des rondelles ont augmenté de 2 à 3 mm. Les plaquettes (2d jeu) présentent une usure de la garniture. Des résidus sont observés sous les pinces du frein F1, moins sous celles du F2. Les deux pistes de freinage des deux poulies présentent des traces noires.

L'automate et les graphes du TIA sont concordants dans les informations qu'ils ont enregistrées – aux limites près de l'archivage et de la surveillance des grandeurs physiques. Aucune anomalie de fonctionnement de la commande et du pilotage des freins, ni d'anomalie de réponse des pinces de freins n'est enregistrée, alors qu'elles sont surveillées par l'automate.

Le décalage de la tombée du frein F1 à 33 secondes au lieu de 21 secondes est liée soit à une saturation de la carte d'acquisition de la vitesse, soit plus probablement à une coupure de l'alimentation électrique de la carte pouvant induire une information vitesse nulle de l'installation à destination de la carte de régulation de F1.

Le graphe ci-après reprend la courbe de la vitesse de l'installation en fonction du temps, en identifiant quelques événements et mesures.

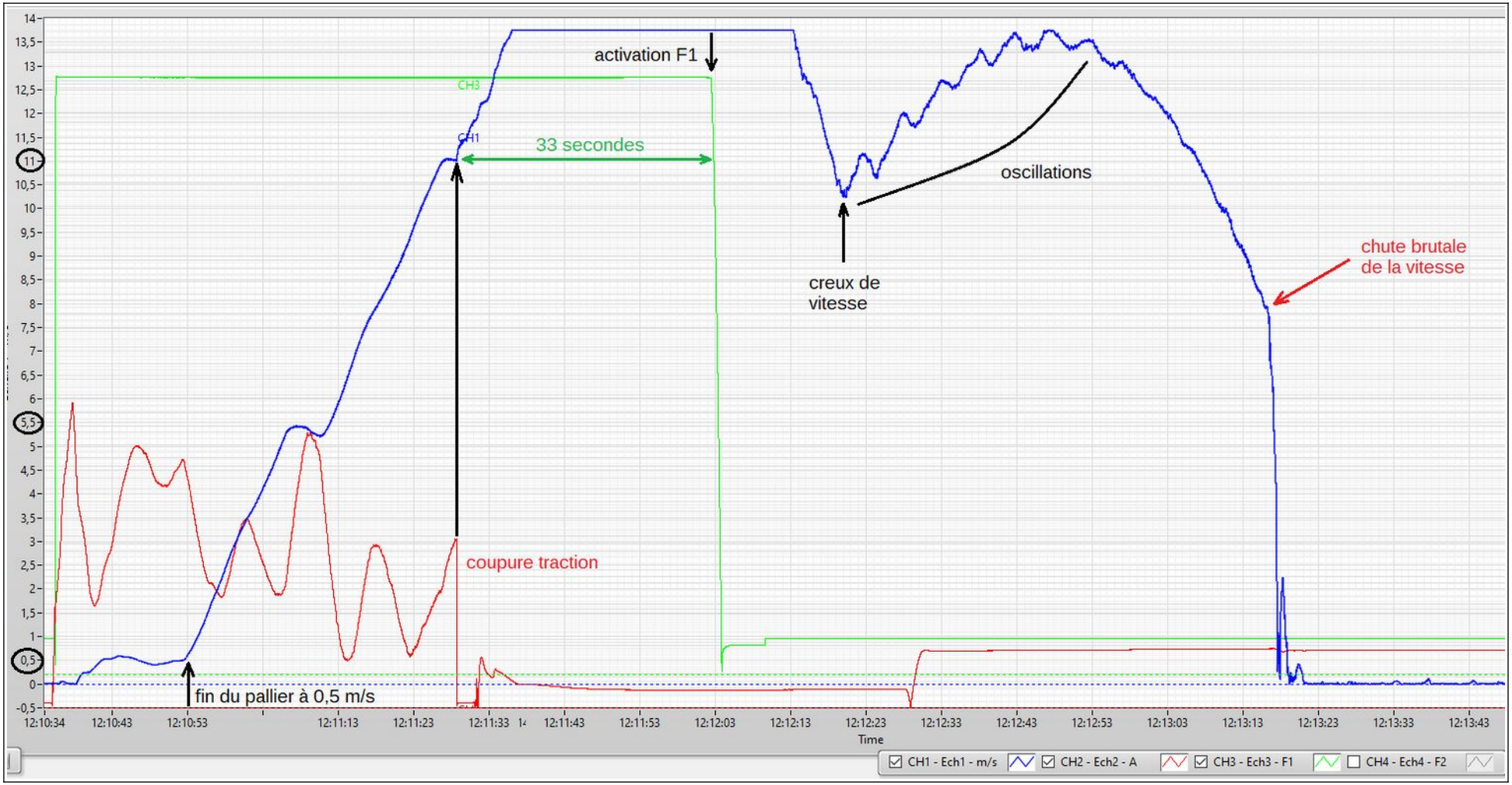


Figure 45 - ***Courbe vitesse / temps de l'essai fatidique avec annotations*** *(source Transcable Halec modifiée)*

3.7 - Les premières vérifications

Le 4 mars 2022, des observations et vérifications ont été réalisées dans le cadre des opérations d'expertise judiciaire.

- La commande d'ouverture et de fermeture des freins depuis l'armoire de contrôle conduit à l'ouverture et la fermeture des pinces. Ainsi, la chaîne de relayage des freins entre la commande à l'armoire jusqu'aux pinces fonctionne bien.
- La gorge des poulies ne présente pas de défaut apparent.

  De plus, le coefficient de frottement d'une poulie caoutchoutée (0,3 est trois fois supérieur au coefficient de frottement minimum nécessaire (0,1 selon la note de calcul de Poma) : il est donc très improbable qu'il y ait eu perte d'adhérence du câble ayant conduit à un glissement.
- Les trois fissures (sur deux mâchoires de frein ainsi qu'une au niveau d'un rayon d'une poulie motrice) signalées lors de la grande inspection de 2019 ont bien été réparées et ne présentent pas de désordre.

Figure 46 - ***Fissure sur poulie voie 1 ayant été réparée*** *(photo expert judiciaire)*

- Les poulies ont été vérifiées et présentent un voile léger, un peu plus important sur la poulie n° 1. La piste de freinage de la poulie n° 2 présente une épaisseur moindre que celle de la poulie n°1. Pour précision, ces poulies ont été rectifiées (rabotées) in situ au début de l'exploitation du téléphérique.
- L'épaisseur des pistes de freinage est de 22,2 mm pour la voie 1 et entre 21,0 et 21,1 mm pour la voie 2.
- Ultérieurement, deux pinces (F1P2 et F2P2) ont subi des contrôles métrologiques par le CETIM et n'ont pas montré de différence dimensionnelle significative entre elles.

3.8 - Les investigations sur les évolutions et les événements du téléphérique de La Saulire

À son installation en **1984**, l'appareil connaît des difficultés de réglages de la cote de garde qui est finalement réglée à 30 mm (au lieu de 40 mm) pour permettre un bon fonctionnement des pinces et donner des temps de freinage satisfaisants. En mai **1985**, les pistes de freinage des poulies ont été rectifiées sur place. Le directeur d'exploitation de l'époque ajoute que « *les axes de frein qui étaient grippés ont été remplacés et éventuellement les plaquettes changées* ». En juillet 1985, les pinces de frein ont été modifiées suite à des problèmes rencontrés au cours de la première année d'exploitation : une plaque d'arrêt est ajoutée afin d'immobiliser mécaniquement la vis de réglage du jeu entre garnitures et disque (entrefer) et des bagues sont remplacées par des rotules suite au grippage d'une pince.

Le 9 janvier **1987**, une coupure de la télétransmission déclenche un arrêt d'urgence sur l'installation, stoppant brutalement cette dernière. La cabine descendante a été projetée contre un élément du pylône et a subi d'importants dégâts matériels. Les 5 voyageurs présents dans cette cabine n'ont pas été blessés et le cabinier a subi des blessures légères. Suite à cet événement, des essais dynamiques montrent que la puissance de freinage a augmenté sans que le réglage du couple n'ait été, à la connaissance du directeur d'exploitation, modifié. En octobre 1987, la situation s'est inversée : le BDARM (bureau de contrôle qui fusionnera avec le STRMTG en 2011) remarque que l'action d'un frein est insuffisante pour arrêter la cabine en entrée de gare. Des essais sont réalisés sur les freins : leur efficacité mécanique n'est pas en cause ni le réglage du couple de freinage. En janvier 1988, le BDARM rappelle la nécessité de vérifier lors des visites mensuelles et annuelles le réglage des freins de façon à ce que les décélérations ne s'écartent pas des valeurs obtenues lors des essais dynamiques de janvier 1987.

La grande inspection de **1999** met en évidence la rupture d'un bout de piston de frein sur une pince : le piston de frein est remplacé. Selon le programme de grande inspection, les rondelles de frein sont changées. Rien d'autre n'est constaté. La grande inspection est validée, l'exploitation continue.

En **2010**, a été réalisée la modification la plus conséquente à date sur La Saulire. Du fait de l'obsolescence de certains composants et de la télétransmission, S3V décide de faire rénover l'appareillage électrique et la partie contrôle-commande du téléphérique. Aix Hydro et ATV ont proposé de réduire l'effort de freinage pour limiter les arrêts en montée trop brusques avec une centrale sans contre-pression. Pour ce faire, S3V confie à DCSA la maîtrise d'œuvre des travaux. La centrale de frein et les blocs de distribution sont remplacés par du matériel neuf, avec conservation du principe de fonctionnement du frein de service F1 (modulé - voie régulée de 0 à 100 %) et modification du fonctionnement du frein urgence F2 en Tout ou Rien à 50 % et 100 % (cf. Figure 13 -).
Au cours des études sur cette rénovation, il est apparu qu'avec la nouvelle centrale et avec les rondelles Belleville existantes réglées au minimum de force appliquée, le fonctionnement était améliorable. En effet, le couple de serrage des pinces de frein était trop important au vu des temps de réaction de la nouvelle centrale hydraulique et de l'inertie de l'installation. La décision est prise de modifier le réglage des freins en remplaçant les 11 rondelles de 8 mm par des 6 mm permettant d'obtenir un détarage[27] des freins. Cela permet de recentrer le réglage des freins et de retrouver une marge de réglage, de choisir des rondelles permettant un recouvrement avec le fonctionnement actuel et de conserver une centrale simple. Le changement des rondelles des 4 pinces de freins est donc effectué : le nombre de 11 rondelles est maintenu mais d'une épaisseur de 6 mm (au lieu de 8 mm).
Lors des essais de réglage de l'installation en octobre 2010 et à la lecture des rapports de

27 Le détarage est le choix de conditions de fonctionnement d'un matériel largement en deçà des conditions limites, de façon à réduire les contraintes et augmenter ainsi la fiabilité et la durée de vie.

visites annuelles réalisées les années précédentes, DCSA constate que les essais de freinage n'étaient auparavant pas réalisés dans le cas le plus défavorable de plus forte pente[28]. Afin d'améliorer le niveau de sécurité de l'installation, les essais sont désormais faits à 230 m de la gare amont (au lieu de 400 m) pour la cabine n° 2 chargée ou 1490 m de la gare aval (au lieu de 1315) pour la cabine n° 1 chargée. Ces essais en charge effectués dans la pente la plus défavorable ont conduit à réduire la capacité utile de la cabine de 160 à 142 personnes. La réduction de masse a été approchée par ratio puis validée lors des pré-essais.
Un contrôle sur les documents de conception (analyse des dossiers techniques, du code automate et de la procédure de réception) a été réalisé par un contrôleur technique indépendant afin de vérifier la conformité du système à la législation en vigueur. Il n'a pas révélé de point critique sous l'angle de la sécurité : le traitement des fonctions de sécurité réglementaires est assuré de façon tri-redondante par un APIdS et l'écriture du code automate ne présente pas d'anomalie. Le bon fonctionnement a été vérifié lors des essais de réception.

En **2013**, un problème est détecté en visite annuelle : les freins F1 et F2 ont une capacité de freinage trop importante. Des réglages de pression et de cote de garde ont alors été effectués par Seirel et Aix Hydro. Ces derniers identifient « *un problème d'adhérence des plaquettes* » de freins sur les pistes de freinage qui pour eux provient du nettoyant frein de marque Berner utilisé par l'exploitant, nettoyant qu'ils jugent comme « *absolument pas adapté* » au système installé.

Des évolutions du logiciel ont eu lieu depuis la réception de l'appareil en 2010 : aucune évolution ne portait sur le programme de test du frein F2. La dernière version installée sur l'automate de La Saulire date de juillet **2018**.

Lors de la grande inspection (GI) de **2019**, la boulonnerie de fixation a été remplacée et les freins ont subi un contrôle magnétoscopique (mâchoires, supports, axes de tourillons). Ont été détectées : une fissure de 20 mm sur la mâchoire de frein n° 2 pince 2-B, une fissure de 12 mm sur la mâchoire n° 2 de la pince 1-B ainsi qu'une fissure de 25 mm au niveau du rayon n° 9 de la poulie motrice voie 1 en aval. Conformément aux exigences réglementaires, le responsable de la GI a autorisé la réparation de ces fissures, effectuée par l'entreprise GMS. Lors de l'expertise en avril 2022, il a bien été constaté pour chacune la présence de la recharge, de la nouvelle peinture et l'absence de fissure. À l'occasion de cette GI, les plaquettes de frein ont toutes été changées.

Il n'a ensuite pas été remonté d'incident ou de modification jusqu'en **septembre 2021**.

En synthèse, le téléphérique a connu des débuts délicats quant au réglage de ses freins. La modification de 2010 a fait évoluer le pilotage automatique et une partie du système mécanique de freinage. En 2013, le nettoyant freins Berner est déconseillé par Seirel et Aix Hydro. En 2019, la grande inspection du téléphérique s'est déroulée de façon classique et les quelques désordres constatés ont été réparés. Aucune difficulté n'est rencontrée jusqu'au 27/09/2021, aucune inspection annuelle précédente n'a révélé de problème. Les résultats concluants ont été tracés dans les rapports d'inspection annuelle. Une étude plus précise des résultats des inspections annuelles est réalisée dans le paragraphe suivant.

28 Pour mémoire, lors de sa construction, le téléphérique relevait du règlement des remontées mécaniques de 1969. Ce dernier n'imposait pas de faire les essais dans les pires conditions, mais des essais représentatifs permettant de corroborer les résultats des calculs indiquant quelle est la situation qui sollicite le plus l'appareil (sans risque de détériorer un de ses organes). La note de calcul de 1984 comporte un nombre limité de cas de charge par rapport à ce que l'on ferait aujourd'hui avec les nouveaux moyens de calcul. À l'époque, le point d'essai est alors choisi à 400 m, car en milieu de portée entre la gare amont et le pylône, et un bon repère visuel pour lancer un arrêt de la cabine. Le véritable point de plus forte pente de la ligne se trouve à 5 mètres en dessous de la gare G2 mais n'est pas exploitable, car la vitesse est faible à cet endroit.

3.9 - Les investigations sur les résultats des inspections annuelles des dix dernières années

3.9.1 - Les freinages au cours de l'inspection annuelle du 29/09/2021

Des courbes vitesse / temps ont été produites par le logiciel du TIA lors de l'Inspection Annuelle. Voici les principaux tests réalisés (et rédigés en vert, les réglages effectués) :

- **F1 modulé à la montée, initié à 9 h 36 :** à la montée, le frein F1 est aidé par l'inertie de la cabine chargée pour ralentir et arrêter l'installation. Le temps de freinage est de 9 secondes. La décélération est égale à 1,22 m/s².
- **F1 modulé à la descente, initié à 9 h 43 :** le temps de freinage est de 12,4 s et la décélération égale à 0,94 m/s². Dans cet essai de F1 modulé, les freins F1 sont appliqués presque au maximum tout au long de l'essai, il est quasiment équivalent à un F1 plein couple.

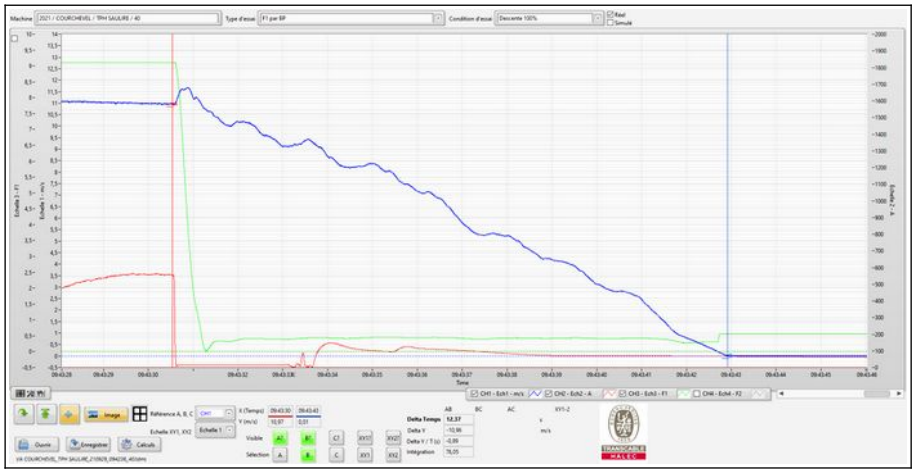


Figure 47 - ***Essai freinage F1 modulé à la descente – 9h43***

- **F2 à la montée, initié à 9 h 47 :** à la montée, le frein F2 (plein couple) est aidé par l'inertie pour ralentir et arrêter l'installation. Le temps de freinage est de 8 secondes. La décélération est de 1,36 m/s².
- **F2 à la descente, initié à 9 h 53 :** les freins F2 sont appliqués tout du long de l'essai de freinage et comme F2 est étagé, il peut être appliqué à 50 % tout du long ou si besoin à 100 % dès que nécessaire. La décélération lors de cet essai est égale à 1,05 m/s². La courbe de l'essai de 12 h 10 aurait dû ressembler à celle-ci si tout s'était bien passé.

Figure 48 - ***Essai freinage F2 à la descente – 9h53***

- **F1 plein couple à la descente, initié à 10 h 27 :** le temps de freinage est de 10,6 secondes. La décélération vaut 1,04 m/s². Cette valeur est meilleure que l'essai de 9h43 car le F1 est appliqué à 100 % immédiatement.

  Puis, la cote de compression de F1P1 est mesurée à 122 mm (versus 121,1 mm à 9 h 20) et seul un **réglage de F1P2 est effectué par S3V** : diminution du couple de serrage via la relaxation de la compression des rondelles (cote h).

- **F1 à la descente, initié à 10 h 53 :** les freins F1 sont appliqués tout du long. Le temps de freinage est de 14 secondes. La décélération vaut 0,78 m/s².

  Un réglage du frein F1 est effectué par S3V : diminution du couple de serrage via la relaxation de la compression des rondelles sur F1P1 et F1P2.

- **F1 en descente, initié à 11 h 10 :** les freins F1 sont appliqués tout du long. Le temps de freinage est de 19 secondes. La décélération est égale à 0,58 m/s².

  Un réglage du frein F1 est effectué par S3V : augmentation du couple sur F1P1 et F1P2.

- **F1 à la descente, initié à 11 h 23 :** le frein de service F1 s'applique (serrage) puis se relève (desserre) moins de 5 secondes après sa tombée pour permettre l'engagement du frein F2, ce qui signifie donc que le frein F1 n'était plus efficace. Il s'agit ici de l'activation de la fonction de sécurité ''F2M – contrôle décélération frein de service DTC2''. L'arrêt a lieu en 20 secondes.
  - Gamma de décélération de F1 (*attention, calcul sur 4 secondes*) = 0,21 m/s².
  - Gamma de décélération de F2 (enclenché à 10 m/s et la cabine n'est plus au point de plus forte pente) = 0,625 m/s².

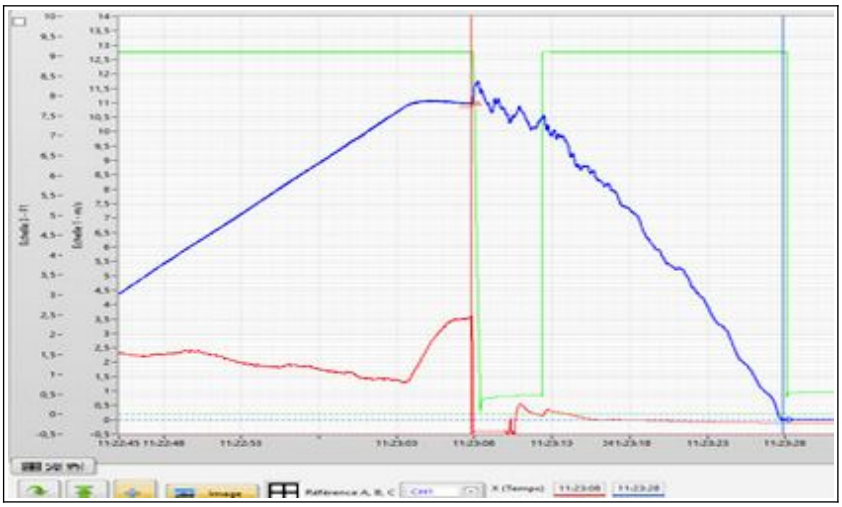


Figure 49 - ***Essai freinage F1 à la descente (avec entrée en action de F2) – 11h23***

À la fin de ce test de 11 h 23, les freins F1 et F2 sont dans l'état dans lequel commencera le test de 11 h 59.

- **F1 à la montée, initié à 11 h 53 :** le temps de freinage est de 9 secondes, comme pour l'essai de 9 h 36. Ce temps est quasi égal à celui de l'essai par inertie (9,8 s), ce qui indique que le frein F1 est à peine sollicité. F2 n'est pas actif.

- **F1 à la descente, initié à 11 h 59 :** au début de ce test, les freins F1 et F2 sont dans l'état où ils ont fini le test de 11 h 23.

  À x=230, le frein F1 s'applique ① puis au bout de 4,5 secondes, le frein F1 est desserré et le F2 est appliqué ②. Puis 22 secondes plus tard, au bout de la temporisation d'anti-cumul, le F1 modulé ③ agit en complément du F2 pendant quelques autres secondes. Le temps total d'arrêt de l'installation est 30 secondes.

Dans cet essai, le F1 n'agit pas comme attendu, tout comme le F2 car un cumul des freins (et le profil de la ligne qui s'aplatit) est nécessaire pour arrêter l'installation. On a vu que des défauts sont apparus sur l'automate lors de cet essai. L'essai est considéré comme "non valide" par le technicien d'inspection annuelle. C'est à l'issue de cet essai qu'il est décidé de faire une pause dans l'IA de La Saulire.

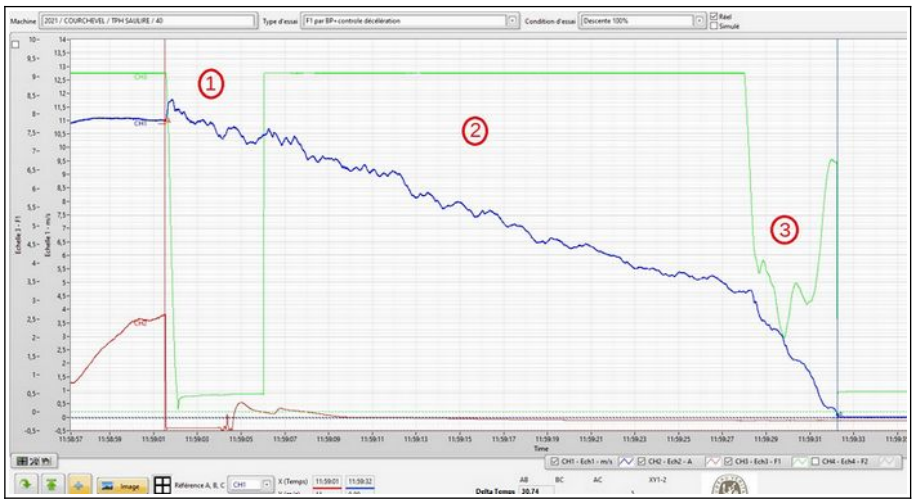


Figure 50 - ***Essai freinage F1 à la descente – 11h59***

Lors de cet essai, les décélérations obtenues sont très faibles :

1. Gamma de décélération F1 seul = 0,27 m/s².
   À 11 h 23, la décélération de F1, au même endroit[29], était de 0,21 m/s².
   Gamma de décélération F2 sans F1 = 0,35 m/s².
   À 11 h 23, la décélération de F2, au même endroit, était de 0,625 m/s².
2. Gamma de décélération F2 + F1 modulé = 1,12 m/s².

La perte d'efficacité entre l'essai de 11 h 23 et celui de 11 h 59 concerne surtout le frein F2.

- **F2 en descente, initié à 12 h 10 :** dans le cadre des vérifications des décélérations, nous zoomons sur les premières secondes de l'essai du frein F2 de 12 h 10.

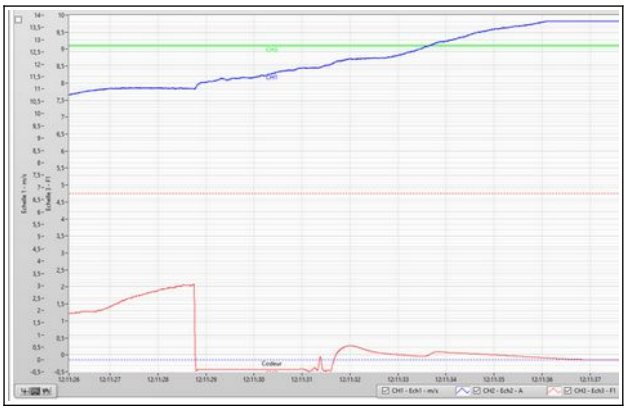


Figure 51 - ***Zoom sur les premières secondes de l'essai ayant conduit à l'accident – 12h10***

Passé les 1 ou 2 millisecondes nécessaires à l'application des freins, l'installation subit une accélération, calculée à 0,18 m/s². Puis un palier où la vitesse reste constante 1 à 2 secondes et enfin une pente de 0,33 m/s² avant l'écrêtage de la valeur de la vitesse. Or l'accélération sans freinage a été calculée[30] à 0,426 m/s². Au début du test fatidique, la décélération du F2 peut donc être déduite comme valant environ 0,25 m/s².

Il y a eu une très faible action du frein F2 sur l'installation, réduisant un peu la montée en vitesse par rapport à ce que l'accélération aurait été si l'installation n'avait pas subi de freinage.

29 Attention, la délicatesse des mesures prises sur les graphes influe sur le résultat du gamma. Et attention au fait que les pistes de freinage s'échauffent petit à petit : les conditions entre deux essais varient.

30 Avant que les garnitures n'arrivent sur la piste, il n'y a aucun freinage : l'accélération pendant ce temps est de 0,426 m/s² d'après l'essai 2009 6MINERTI, cité dans le dossier de la modification de 2010, en supposant que cette valeur soit bien pour x=230.

Bilan des valeurs de décélération du F1

Les éléments retranscrits ci-après sont à prendre comme des tendances approximatives, car les points de déclenchements ou de l'activation de ces freins ne sont pas situés au point pénalisant de la plus forte pente. Par ailleurs le comportement de la cabine opposée peut également influer sur ces valeurs.

Pour le F1 : → 9 h 36 à la montée : ɣ = -1,22 m/s²

→ 9 h 43 à la descente : ɣ = -0,94 m/s²

Diminution / relâche du couple de serrage

→ 10 h 53 à la descente[31] : ɣ = -0,78 m/s²

Seconde diminution / relâche du couple de serrage

→ 11 h 10 à la descente : ɣ = -0,58 m/s²

Remise de couple de freinage

→ 11 h 23 à la descente : essai caduc, F1 pas efficace, il sort des courbes de tolérance de l'automate : ɣ = -0,21 m/s² (sur 4 secondes)

→ 11 h 59 à la descente : essai caduc, F1 pas efficace, sort des courbes de tolérance de l'automate : ɣ = -0,27 m/s²

→ Lors de l'accident : ɣ = inconnu

Le frein F1 voit ses capacités de freinage diminuer au fur et à mesure des essais. Mais les réglages entrant en jeu, il est normal que le gamma diminue excepté pour le dernier réglage où l'on revient à la cote de compression initiale. Il est alors acceptable de comparer le premier et le dernier essai du F1MST : la décélération au point de plus forte pente en descente passe de 0,94 m/s² à 0,27 m/s² en 5 essais de F1.

Bilan des valeurs de décélération du F2

Pour le F2 : → 9 h 47 à la montée : ɣ = -1,36 m/s²

→ 9 h 53 à la descente : ɣ = -1,05 m/s²

→ 11 h 23 à la descente : ɣ = -0,62 m/s² (en rattrapage de F1)

→ 11 h 59 à la descente : ɣ = -0,35 m/s² (en rattrapage de F1)

→ Puis l'accident : ɣ = -0,25 m/s²

Ainsi, le jour de l'accident, 3 essais ont sollicité le F2 à la descente (en montée, étant donné qu'il y a peu de sollicitation du frein du fait de l'inertie et du freinage à seulement 50 %, l'effet de ces essais est considéré ici comme négligeable). Le gamma de décélération du F2 diminue, sans que le réglage des pinces du frein F2 ne soit modifié par les agents S3V.

En conclusion, au cours de la matinée du 29/09/2021, **une évolution décroissante des décélérations est observable**, avec des réglages manuels concernant uniquement la cote de compression des rondelles du frein F1. Cette dérive de la capacité de freinage de l'installation est constatée sur les deux freins, F1 et F2. Lors du dernier test fatidique de 12 h 10 avec F2, on constate l'incapacité de l'installation à arrêter les cabines avant les butoirs situés au bout des quais.

31 La note de calcul de 2010 concernant la modification fournie par Seirel indique, à un freinage à 100 %, un gamma calculé de 0,709 m/s² à la descente pour des temps d'arrêt de 15,5 secondes.

Il n’est pas possible d’identifier la contribution de F1 au ralentissement de l’installation, faute de données de vitesse disponibles à 12:02:02. Ainsi, il paraît difficile de déterminer l’impact sur les conséquences de l’accident qu’aurait eu la tombée du frein F1, s’il avait été appliqué 13 secondes plus tôt – sachant que la dynamique de l’installation est différente selon le point de départ d’un freinage.

Les garnitures à l’issue de l’accident sont dans un état qui peut être :

1- soit la conséquence de la perte de maîtrise du freinage (contraintes mécaniques et thermiques anormales et exceptionnelles auxquelles ont été soumises les plaquettes du fait de la vitesse atteinte par l’appareil sur ce dernier test de freinage) conduisant à l’accident ;

2- soit la conséquence d’une dégradation apparue avant l’engagement du test fatidique ;

3- soit les deux cumulés.

Étant donné que les performances de freinages du F1 et du F2 se dégradent au fur et à mesure de la matinée jusqu’à être inacceptables lors des tests de 11 h 23 et 11 h 59, la seconde hypothèse est très probable.

Lors des pré-essais de l’IA de 2021, les capacités de freinage des garnitures du 1er jeu ne sont pas mesurables, en l’absence de courbes de vitesse selon le temps. On peut simplement noter qu’elles ont été extraites entre deux essais puis remplacées et que leur état de surface était “glacé”.

3.9.2 - Les temps de freinage des inspections annuelles de 2020 et 2019

Transcable Halec, ayant réalisé les Inspections Annuelles précédentes, a transmis les courbes des essais de 2020 et de 2019 : nous présentons ici uniquement les essais de frein F1 et F2 plein couple à la descente.

- En 2019, l'essai de frein F2 plein couple à la descente débute à une vitesse de 11 m/s. Le temps de freinage est égal à 13,3 s. La décélération totale est de 0,85 m/s².
- En 2020, l'essai de frein F2 plein couple à la descente débute à une vitesse de 10,95 m/s. Le temps de freinage est de 13,5 s. La décélération totale est de 0,81 m/s².

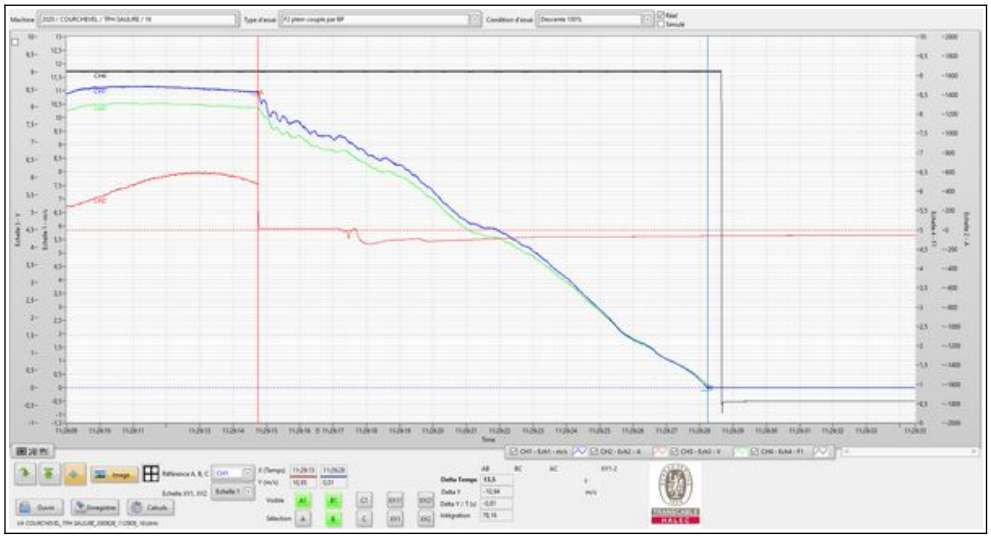


Figure 52 - ***Courbe de l'essai de F2 plein couple à la descente (IA 2020)*** *(source Transcable Halec)*

- En 2019, l'essai de frein F1 plein couple à la descente commence à la vitesse de 11 m/s. Le temps de freinage est égal à 15 s. La décélération totale est de 0,73 m/s².
- En 2020, l'essai de frein F1 plein couple à la descente commence à la vitesse de 11 m/s. Le temps de freinage est de 15 s, la décélération totale est de 0,73 m/s².

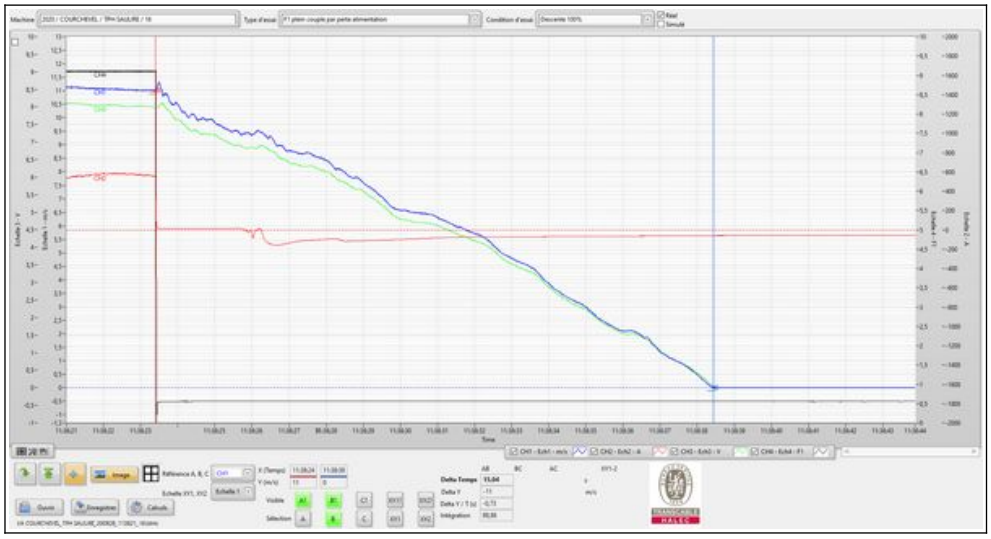


Figure 53 - ***Courbe de l'essai de frein F1 plein couple à la descente (IA 2020)*** *(source Transcable Halec)*

En conclusion, lors de ces deux IA, les temps de freinage F1 et F2 à la descente sont entre 13 et 15 secondes, les décélérations se situent entre 0,73 m/s² et 0,85 m/s². Ces inspections annuelles sont conclusives, tracées dans un rapport du TIA et ont permis la poursuite de l'exploitation du téléphérique de La Saulire en accord avec la réglementation en vigueur. Les comptes rendus de ces deux inspections annuelles n'indiquent pas de

réglage du frein F1 ou du frein F2 pendant l'inspection annuelle (alors que, le cas ayant été rencontré en 2017, cela a été écrit dans le compte rendu correspondant, réalisé et rédigé ici aussi par Transcable Halec).

3.9.3 - L'évolution des temps de freinage au cours des inspections annuelles depuis 2010

Lors des inspections annuelles sur le téléphérique de La Saulire, la série d'essais de freinage pour vérifier les capacités de l'installation est similaire d'une année sur l'autre (excepté l'ordre de réalisation des essais). Le rapport de chaque IA depuis 2010 a été étudié, année de la modification d'une partie des freins et des premiers essais au point de plus forte pente x= 230. Les valeurs antérieures à 2010 ne sont donc pas comparables. Le tableau ci-dessous présente les données pour l'IA de 2010 puis celles de 2013, 2016 et les trois dernières avant l'accident en 2021.

	IA 2010	**IA 2013**	**IA 2016**	**IA 2018**	**IA 2019**	**IA 2020**	**Accident 2021**
Cabine chargée à 11,4 T	n° 2	n° 2	n° 1	n° 2	n° 2	n° 2	n° 1
Inertie – montée (secondes)	9,4	9,3	9,8	9,8	9,8	9,2	9,83
F1 plein couple descente (sec)	18,8	18,2	16,86	17,4	14,9	15,04	12,4 (9 h 43) 10,6 (10 h 26) 14 (10 h 52) 19,1 (11 h 10)
F1 modulé descente (sec)	X	19,94	19,18	20,10	16,6	15,58	11,4 (9 h 42)
F1 plein couple montée (sec)	4,9	4,76	4,8	4,3	4,8	4,77	X
F1 modulé montée (sec)	8	8,95	9,15	7,6	9,1	9,15	9,1 (9 h 35)
F2 plein couple descente (sec)	X	16,78	18,96	19,4	13,3	13,5	11,0 (9 h 53) accident (12 h 10)
F2 étagé descente (sec)	19,8	20,14	18,8	20,10	13,7	14,09	11,0 (9 h 56)
F2 plein couple montée (sec)	4,9	4,82	4,86	4,2	4,6	4,54	X
F2 étagé montée (sec)	8,8	8,9	8,0	7,7	7,5	7,82	8,20 (9 h 46)
Relevés cotes de compression – en mm (F1P1, F1P2, F2P1, F2P2)	X	121,5 122,0 122,4 121,5	121,4 121,2 121,0 121,0	121,3 121,3 119,9 120,7	120,3 121,3 120,3 120,7	121,2 122,0 121,2 121,2	121,1 / 123,9 mm 120,9 / 123,0 mm 121,1 / 123,7 mm 121,2 / 124,3 mm
Relevés cotes de garde – en mm (F1P1, F1P2, F2P1, F2P2)	x	30 30 30 30	30 29,7 30 29,5	29,8 30 30 30	30 30 30 30	30 30 30 30	30 / 26,9 mm 30 / 27,2 mm 30 / 27,6 mm 30 / 27,8 mm

- L'IA 2017 a été réalisée avec une seule cabine et ne peut donc être comparée. À noter toutefois que seul le rapport de 2017 indique un réglage du F1 (desserrage du couple) pendant l'inspection annuelle : aucune mention n'est faite dans les autres rapports.
- Certaines IA se sont déroulées sur trois jours non concomitants, voire sur six jours en trois séries (en 2020) alors qu'en moyenne une IA de La Saulire dure deux jours et peut atteindre un seul jour lorsque les essais ne concernent qu'une cabine (2017). Toutefois, les rapports ne tracent pas les raisons de l'étalement temporel de l'IA.
- Les temps liés à l'inertie sont constants, confirmant que le cas de charge et les frottements étaient similaires.

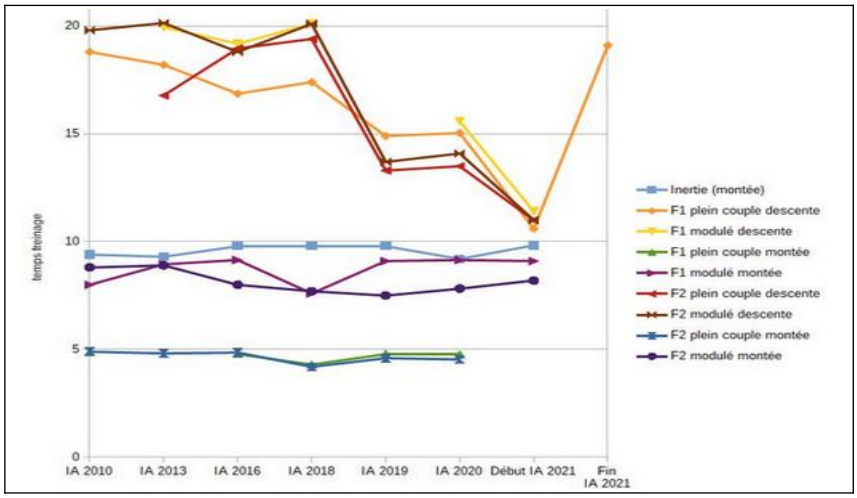


Figure 54 - ***Évolutions des temps de freinage depuis 2010 jusqu'aux essais de 2021***

Une variation dans les temps de freinage obtenus est constatée à partir de 2019. La fluctuation du temps de freinage du F2 plein couple à la descente de 19,4 s en 2018 à 13,3 s en 2019 et à 11,0 s en 2021 est importante, diminuant quasiment de moitié entre 2018 et 2021. Le 29/09/2021, les temps obtenus lors des tout premiers essais (F1 plein couple 100 % descente de 10 h 26 et F2 plein couple 100 % descente) sont très courts : respectivement 10,6 s et 11,0 s. Ces valeurs n'ont jamais été atteintes auparavant. Ainsi le téléphérique de La Saulire freinait très fort en début d'IA et évidemment bien moins en fin de matinée.

On observe que, de 2010 à 2020, les temps de freinage ont globalement diminué au fur et à mesure des inspections annuelles. Principalement, les essais ‘‘F1 plein couple descente’’ et ‘‘F2 plein couple descente’’ diminuent respectivement de 3,8 et 3,3 s. Les cotes de compression et les cotes de garde restent sensiblement les mêmes d'année en année. Toutefois, une variation d'1 mm peut avoir un impact notable sur le freinage. Il faut également préciser que le réglage de l'entrefer est sensible et a un impact sur l'effort.

Le STRMTG a vérifié s'il existe une corrélation entre les résultats des freinages et les réglages de l'empilement des rondelles Belleville. Pour F2 en 2019 et pour F1 et F2 en 2020, les cotes (notées dans les comptes rendus d'IA) donnent plus d'effort que pour 2018 ce qui peut expliquer pour partie les temps plus courts. Seul le cas du F1 plein couple de 2019 permet une analyse plus approfondie en comparaison des résultats de 2018 : pour F1P1, la variation de cote de compression (121,3 mm à 120,3 mm) induit une diminution de 1 500 N sur l'effort de freinage. Or le temps de freinage diminue de 17,4 s à 14,9 s. De plus, le process de réglage de l'entrefer ne transparaît pas dans la traçabilité de l'exploitant et ne semble pas identifié par les opérateurs en charge de cette opération : si l'entrefer a été réglé de façon équivalente au cours des dernières années, il pourrait alors être considéré que les (‘‘nouvelles’’) plaquettes Cosid 132 ont présenté des performances supérieures aux garnitures d'avant 2019.

3.10 - Les investigations sur les freins : les pinces et les garnitures

3.10.1 - Le montage et le réglage des freins

Une notice a été fournie par ATV via Poma en 1984. L'exploitant a en sa possession la première version de 1984 mais cette notice apparaît peu consultée par l'exploitant.

En quelques pages, la notice présente les consignes de mise en place de la pince, de réglage des garnitures, de purge du circuit hydraulique, de réglage du couple et de

remplacement des garnitures. Lors du remplacement des garnitures, la notice indique de serrer à fond l'écrou de déblocage manuel, de desserrer la vis de blocage, de tourner la vis à pas contraire pour obtenir le maximum de jeu entre les garnitures et la piste de freinage. Puis il faut écarter la garniture du porte-garniture, pour la déboîter de son logement et l'extraire parallèlement à la piste de freinage, mettre en place les plaquettes neuves en s'assurant qu'elles soient bien emboîtées dans leur logement. Enfin, il faut tourner la vis à pas contraire pour obtenir entre les garnitures et la piste de freinage un jeu total compris entre 0,5 et 0,7 mm (réglage de l'entrefer), bloquer la vis de blocage et desserrer à fond l'écrou de déblocage manuel. Ce réglage donnerait une cote de garde à 37,9 mm.

Une fois l'entrefer réglé, il n'est plus nécessaire d'y toucher – excepté pour régler le jeu entre plaquettes et piste de freinage suite à usure des garnitures (mais aucun témoignage ne mentionne formellement ce réglage).

À noter la contrainte redonnée dans le dossier de la modification de 2010 : pour l'empilage, la course maximale des garnitures est de 1,5 mm (<2019) et 1,66 mm (2010). Cette contrainte a été exportée et traduite dès l'édition 1984 de la notice d'entretien et de réglage des freins : « *IMPORTANT : Surveiller régulièrement le jeu entre garnitures et disque qui ne doit jamais être supérieur à 1,5 mm. (au-delà de cette cote, il y a risque de perte de compte [couple])* ». Cette alerte qui existe depuis la mise en service de l'appareil est liée à la technologie de ce frein pour lequel, un blocage mécanique (mise en butée de la tige du vérin) peut rendre le freinage inopérant. Les témoignages ne mentionnent pas cette surveillance et sa traçabilité ne nous a pas été présentée.

- ***Impact du réglage de la cote de garde à 30 mm***

En décembre 1984, un courrier confirme la cote à 40 mm comme indiqué dans la notice d'ATV. Suite à des problèmes de réglages de l'appareil, ATV dans un courrier de février 1985 préconise que les réglages conduisent à une cote de garde maintenue à 31 mm. Une note manuscrite "29 à 33" est inscrite en dessous de cette valeur. En juin 1985, un autre courrier d'ATV reprend la valeur de 40 mm suite à des modifications sur le frein. L'exploitant indique que le réglage de la cote à 30 mm est la donnée retenue par le fabricant des pinces et qui fut reprise ensuite lors de la rénovation en 2010.

La cote de garde systématiquement réglée à 30 mm a un impact sur la course du piston.
Les plans détaillés de la pince permettent de calculer une course possible du vérin dans la chambre (x+y) égale à 13 mm. Dans la configuration de réglage de la cote de garde à 30 mm (où maximum = 40 mm), le débattement maximum du vérin est alors de 3 mm.
Sur site, les mesures effectuées par Aix Hydro lors de l'expertise indiquent une cote de garde pince fermée, sans plaquette, qui est de 27,2 ou 27,3 mm : le débattement réel est donc plus exactement de 2,8 mm voire 2,7 mm.

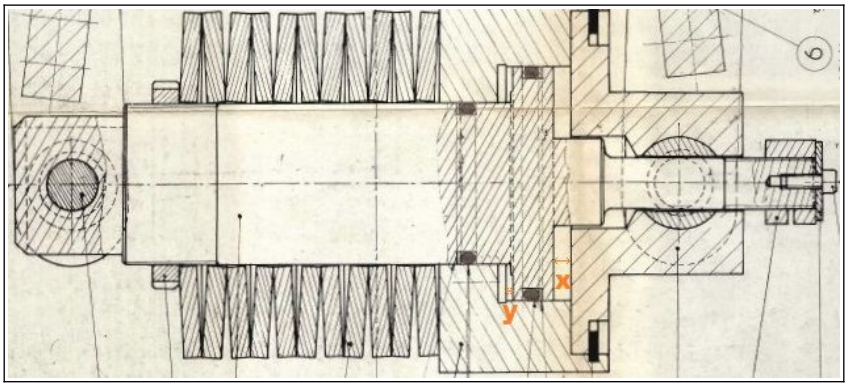


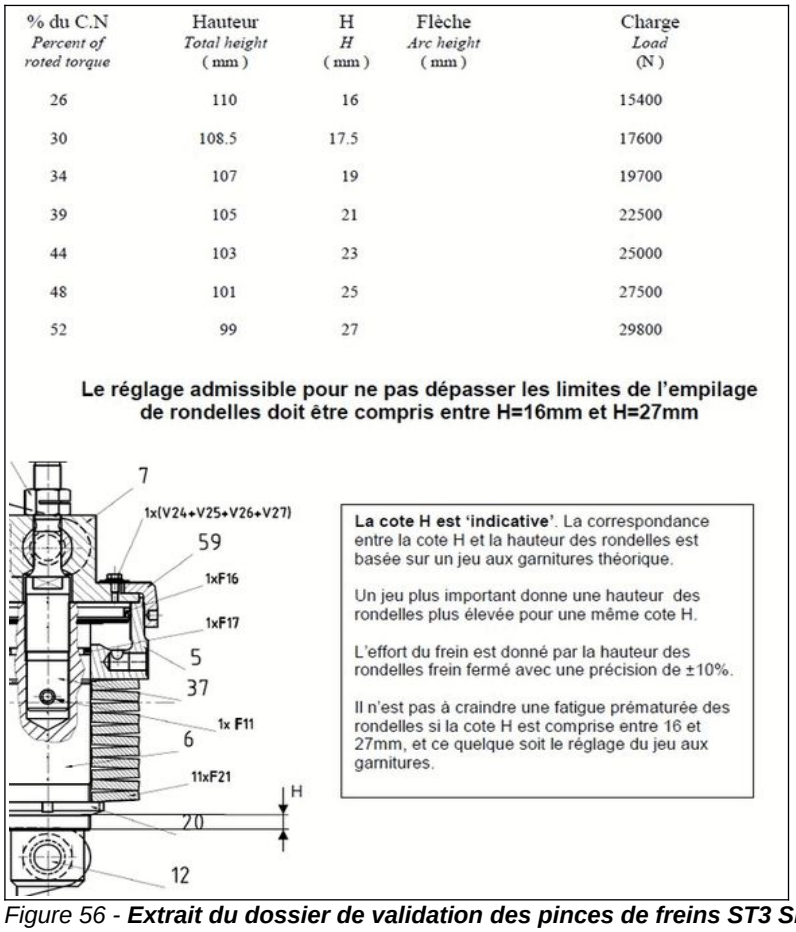
Figure 55 - ***Course possible du vérin dans la chambre*** *(plan ATV)*

Le rapport entre le serrage des rondelles et le serrage au niveau des pinces est égal à environ 3 (rapport de levier entre piston et garnitures = 281 mm/92 mm = 3,05). Le bras de levier entre le vérin et les plaquettes étant donc d'un facteur 3, le débattement maximum de 2,8 mm du vérin sous l'action de la libération de la pression hydraulique et de la force des rondelles Belleville entraîne un déplacement de 0,9 mm des plaquettes. Comme il y a 2 plaquettes, si l'usure est bien symétrique, **la limite de la capacité des plaquettes à être mises en contact normalement sur la piste de freinage est de 0,45 mm** : au-delà, le piston est en butée et aucun effort n'est appliqué sur les plaquettes.

Ici, il est important de noter que le réglage à la cote de 30 mm a un impact direct et notable sur le débattement possible du piston et donc sur l'usure maximale possible au niveau des garnitures. Au-delà, l'effort de freinage n'est plus transmis correctement. Le réglage de cette cote à 30 mm est restée constant pendant de nombreuses années, la traçabilité remontant au moins jusqu'en 2010.

- ***Effet des réglages de l'empilement des rondelles (cote de compression) lors de l'IA***

Au cours de l'IA 2021, il y a eu diminution / relâche du couple sur les pinces de F1 pour rechercher un freinage moins fort : de 121 mm au début de l'IA, la cote est passée à 121,6 mm puis à 122,2 mm (avec cote de garde déclarée constante à 30 mm). Puis du couple est remis avec une cote à 121,5 mm mais cela donne un essai avec un temps de freinage (19 secondes) aussi long qu'avec une cote relevée à 122,2 mm.



% du C.N *Percent of roted torque*	Hauteur *Total height* (mm)	H *H* (mm)	Flèche *Arc height* (mm)	Charge *Load* (N)
26	110	16		15400
30	108.5	17.5		17600
34	107	19		19700
39	105	21		22500
44	103	23		25000
48	101	25		27500
52	99	27		29800

Figure 56 - ***Extrait du dossier de validation des pinces de freins ST3 SH*** *(source Seirel)*

Dans le dossier de validation de la pince suite au remplacement de la centrale hydraulique et l'évolution du type de rondelles, l'effet de la variation de la hauteur totale de l'empilement sur le couple (image du couple) est précisé. Cette longueur d'empilement est égale à la cote de compression des rondelles moins la largeur d'un écrou (pièce n° 20) de 12 mm.
Ainsi une cote de compression à 122,2 mm équivaut à une hauteur totale de 110,2 mm, ce qui est au-delà de la dernière valeur donnée – 26 % du couple pour une hauteur de 110 mm.

À la cote de 122,2 mm, puisqu'elle est en dehors du périmètre maîtrisé, nous n'avons (dans le dossier de modification) pas d'information sur la valeur possible du couple théorique : il n'y a pas de garantie du couple au-delà de 122,0 mm mais la valeur reste très proche de la limite. À noter qu'il est précisé que ces valeurs sont indicatives. Les caractéristiques des rondelles sont données par leur fabricant Schnorr et l'effort fourni est

quasi linéaire en fonction de leur compression. De plus, à cette cote de compression, le F1 plein couple à la descente permet un arrêt en 19 secondes ; un couple résiduel existe puisqu'on a pu ralentir.

En synthèse, les réglages de la cote de compression lors de l'Inspection Annuelle impactent directement le couple de serrage des rondelles transmis à la poulie (ici la capacité de freinage est plus faible) – sans le rendre nul. La limitation des capacités par la butée n'était pas connue des agents S3V présents. De plus, une mise en garde sur cette butée n'était pas explicitement apportée dans la notice de réglage des freins. Au fondement, la lecture du plan de la pince permettait de détecter la possibilité de mise en butée.

Considérant qu'à aucun moment un réglage de l'entrefer n'est évoqué, la cote de compression évolue en fonction de l'évolution de l'épaisseur des garnitures. Le témoignage du chef de secteur (p.23) éclaire la situation : « *Le chef de secteur descend avec le conducteur à la machinerie. La pince P1 du frein F1 est à 122 mm, et non pas à 121,1 mm comme mesuré à 9 h 20. Afin de rééquilibrer les valeurs des pinces P1 et P2, une seule pince est réglée, celle tout à droite en descendant l'escalier [F1P2]* ». Le passage de la cote de compression de 121,2 à 122 mm indique d'une part que le couple appliqué a diminué mais également que l'épaisseur totale des deux garnitures de cette pince a réduit, alors qu'uniquement un F1 modulé en descente (quasi 100 %) et un F1 plein couple descente ont eu lieu. Cette variation de cote traduit une usure cumulée des garnitures de F1P1 égale à 0,9 mm/3 soit 0,3 mm pour les deux garnitures donc 150 microns par garniture si l'usure est symétrique. Les deux freinages ayant eu lieu sur 11 s pour le F1 modulé (appliqué au maximum) et 10,6 s pour le F1 plein couple, le taux d'usure vaut environ 7 µm/s. Ainsi, l'évolution « spontanée » de la cote de compression entre 9 h 20 et 10 h 30 ne peut que traduire l'usure des garnitures sur la pince F1P1, d'une vitesse estimée à 7 µm/s.

- ***Observations complémentaires sur l'activation des pinces de frein***

Le circuit hydraulique a été vérifié : la mise en pression manuelle du circuit hydraulique a été réalisée et pour chaque pince, une mesure du déplacement en fonction de la pression a été effectuée. Cette activation a été réalisée à la montée en pression et à la redescente, ce qui tracera les courbes ci-après présentant une hystérèse. L'évolution du déplacement des quatre pinces en fonction de la pression est en adéquation à l'attendu.

Des variations entre les pinces du F2 sont observables : pour F2P1, à la cote de 3 mm (course du piston dans le vérin, en descente de pression) correspond une pression de 42,4 bars alors que pour F2P2 elle est de 30 bars. Cette variation de 25 % entre les deux pinces exprime un déséquilibre, une dissymétrie entre les deux pinces du frein F2 : F2P1 freine plus fort que F2P2. Par contre, entre F1P1 et F1P2, les pressions sont similaires.

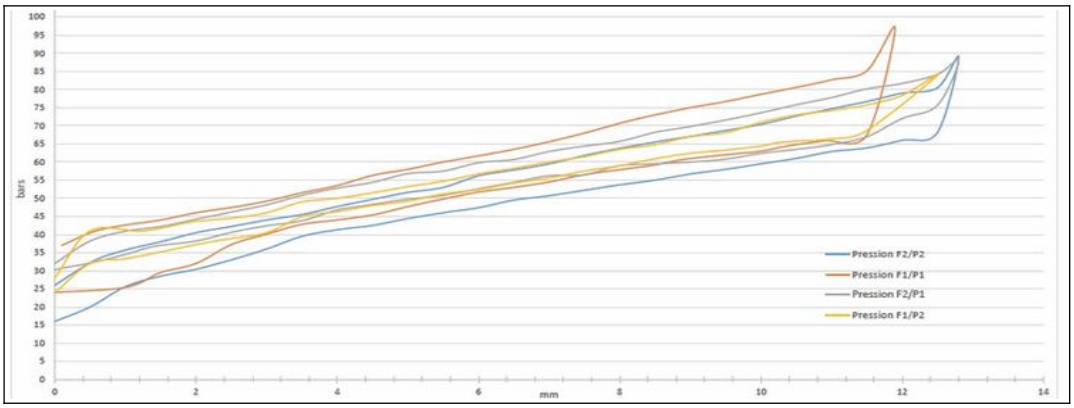


Figure 57 - ***Relevés des courses en fonction de la pression hydraulique pour chaque pince*** *(source Aix Hydro)*

Avec la traduction de ces pressions en effort, réalisée par le STRMTG, il est confirmé que l'effort délivré par l'empilement des rondelles de la pince F2P2 est plus faible.

Effort de l'empilement de rondelles ressorts	**F1P1**	**F1P2**	**F2P1**	**F2P2**
Pour la garde de réglage initial de 30 mm	15 625 N	17 601 N	16 908 N	14 606 N
Juste avant mise en butée interne	12 020 N	13 361 N	13 861 N	9 883 N

Cette différence est plus marquée lorsqu'on s'approche de la fin de la force de serrage.

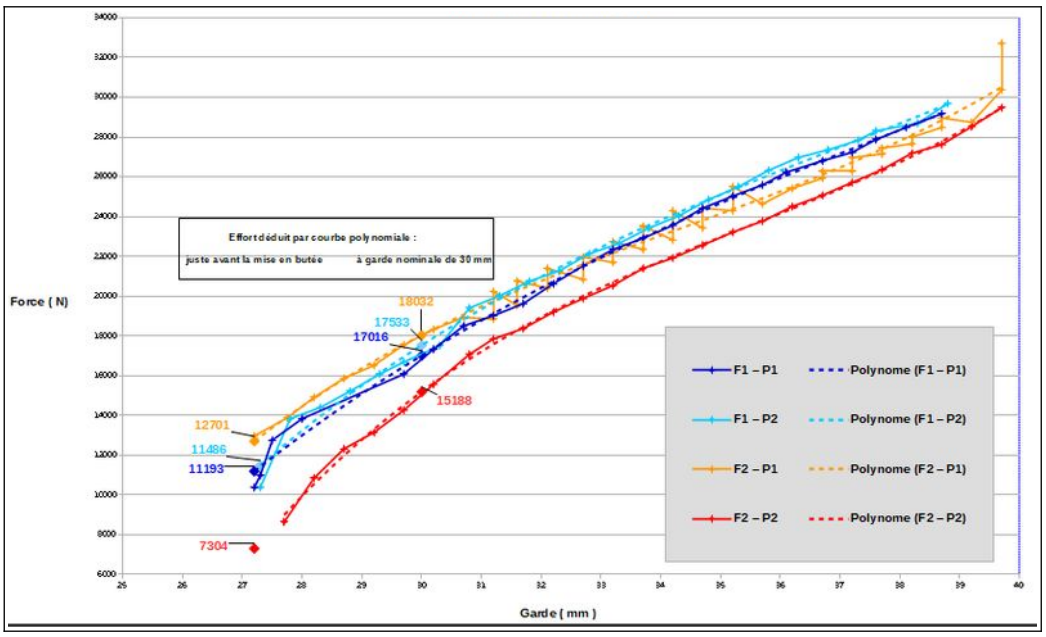


Figure 58 - ***Force de l'empilement des rondelles Belleville pour chaque frein en fonction de la cote de garde*** *(source STRMTG)*

Trois causes peuvent expliquer ce déséquilibre : 1- le réglage n'est pas le même selon les pinces, or les témoignages indiquent que les réglages sont toujours faits de la même manière quelle que soit la pince ; 2- la géométrie du piston et du vérin varie entre les pinces ; 3- une ou des rondelles sont abîmées sans que cela se voie forcément.

Concernant l'entrefer, pinces ouvertes, on observe que les plaquettes ne sont pas positionnées de façon parallèle à la piste de freinage des poulies. Un écart de 0-0,3 mm en bas et de 0,2-0,75 mm en haut est observé. Mais frein fermé, les plaquettes se réalignent et reviennent parallèles à la piste – du fait que les pinces sont « flottantes »[32]. Les axes de frein présentent un degré de liberté permettant cet ajustement. L'effort de poussée se répartit de manière uniforme sur les deux plaquettes.

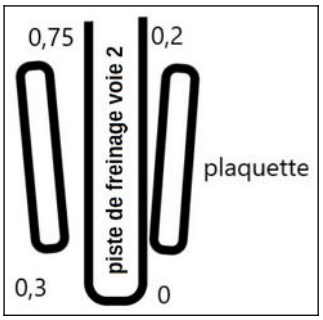


Figure 59 - ***Mesures des distances entre plaquettes de F1P2 et la piste de freinage***

Figure 60 - ***Supports de plaquette vides*** *(photo expert judiciaire)*

32 Un télex du 05/12/1984 précise que, du fait que les pinces sont flottantes, le voile des poulies peut être plus important que précisé sur la notice ATV, et ce jusqu'à 2 mm. Une note du 28/02/1985 d'ATV à Poma donne la valeur de ± 2,5 mm de déplacement admissible. Le fait d'être flottantes permet aux pinces de reprendre le voile de la poulie.

En synthèse, la pression hydraulique permet une ouverture et une fermeture de chacune des pinces. Du fait du degré de liberté sur les axes de frein l'effort de poussée se répartit sur les deux côtés de la pince, sur les deux garnitures. Un déséquilibre est constaté entre les deux pinces de frein F2, mais les mesures ne montrent pas de déséquilibre sur le F1.

3.10.2 - Les investigations sur les garnitures des freins

- Les épaisseurs de plaquettes

L'épaisseur d'une plaquette neuve est 14 mm dont 10 mm de garniture Cosid 132. Les épaisseurs des plaquettes des deux freins F1 utilisées le 27/09/2021 lors des pré-essais (plaquettes 1er jeu) ont été prises par l'exploitant, en 3 points, avec un pied à coulisse et avec une marge d'erreur estimée à 1/10 mm. Les épaisseurs des deux plaquettes de F1P1 ainsi que les deux de F1P2 sont mesurées à 14,0 mm d'épaisseur (épaisseur totale avec le support qui fait 4,2 mm d'épaisseur). Puis le CETIM a effectué les mesures suivantes en cinq points des garnitures qui lui ont été transmises :

Référence Plaquette	*Epaisseur Garniture (mm)*					*Epaisseur Moyenne*
Plaquette Neuve Récente (Fourniture ATV)	10,46	10,44	10,37	10,41	10,21	*10,38 mm*
Plaquette Neuve 2012 (Stock S3V)	10,08	10,04	10,05	10,12	10,08	*10,07 mm*
Plaquette veille de l'incident 2019 n°1	7,94	7,95	7,97	8,02	8,17	*8,01 mm*
Plaquette veille de l'incident 2019 n°2	9,98	9,95	10,05	10,14	10,06	*10,04 mm*
Plaquette du jour de l'incident F1P2	8,80	8,80	8,86	9,02	8,97	*8,89 mm*
Plaquette du jour de l'incident F2P2	9,63	9,95	9,48	9,45	9,42	*9,59 mm*

*Figure 61 - **Synthèse des mesures d'épaisseur de garniture** (source CETIM[33])*
La plaquette veille de l'incident 2019 n° 1 correspond à une des plaquettes de la pince F2P1

Ainsi, une garniture neuve peut avoir une épaisseur moyenne entre 10,38 mm et 10,07 mm, et présenter une variation de 0,25 mm d'épaisseur.

Le CETIM a également mesuré l'épaisseur de deux garnitures du 1er jeu : l'une fait en moyenne 10,04 mm (donc aucune usure) et l'autre 8,01 mm (soit 2,0 mm d'usure). Cette plaquette a été usée de façon importante. N'ayant aucun élément sur les réglages de l'entrefer et des cotes, toute analyse s'avère hasardeuse.

Pour les garnitures impliquées dans l'accident (2d jeu), les épaisseurs des plaquettes sont mesurées sur site lors de l'expertise judiciaire :

Plaquettes neuves = 14 mm	**F1P2**	**F1P1**	**F2P1**	**F2P2**
Plaquette d'un côté	12,7 mm	12,6 mm	13,2 mm	13,2 mm
Plaquette de l'autre côté	12,6 mm	12,6 mm	13,0 mm	13,0 mm

Les mesures du CETIM (8,89 mm pour une garniture 2d jeu et 9,59 mm pour l'autre) ne concordent pas avec les mesures de l'expert judiciaire. Nous garderons ici les valeurs mesurées au contradictoire (lors de l'expertise) à savoir : quatre garnitures des freins F1

33 Il ne nous a pas été précisé la localisation des points de mesure.

présentent une usure homogène située entre 1,3 à 1,4 mm, celles du frein F2 présentent une usure de 0,8 mm à 1,0 mm.

Il est possible de comptabiliser les tests de freinages F2MST mais sans traçabilité de la vitesse et le lieu de déclenchement du freinage, l'analyse reste peu pertinente pour caractériser l'usure des garnitures. Selon les données issues de l'automate, le 27/09/2021, 5 F2 ont été engagés. Le 28/09/2021, 4 F2 ont été engagés. Le 29/09/2021, le F2 a été commandé en test spécifique une fois à la descente avant celui ayant mené à l'accident mais également il a été déclenché 2 fois en "rattrapage" du F1. En comparaison, une inspection annuelle « classique » sollicite une fois le frein F2 en descente à 100 % et une autre fois en modulé, sachant que des pré-essais sont toujours réalisés. Lors de l'IA 2021, le F2 semble donc avoir été sollicité de façon « usuelle » pour une IA, par contre le F1 a été plus sollicité.

En synthèse, toutes les garnitures du 2d jeu ont perdu de l'épaisseur – jusqu'à 1,4 mm soit 14 %. Les garnitures du F1 sont plus usées que celles du F2, certainement du fait d'un plus grand nombre de sollicitations dans la matinée qui précède ainsi que lors des pré-essais (13 F1 pour 9 F2). Cette usure s'est effectuée en moins de 48 heures. Et dans le 1er jeu, on observe quatre garnitures présentant de l'usure oblique (dont l'une avec l'usure la plus importante de toutes celles mesurées – 2,0 mm).

Les capteurs d'usure en place sont télémécaniques et même s'ils avaient été réglés lors de l'IA, ils n'auraient pu mesurer un millimètre d'usure. Aujourd'hui, les remontées mécaniques récentes sont soit équipées d'un rattrapage de jeu automatique permettant de compenser l'usure des garnitures, soit d'une détection d'usure[34].

- ***La matière des plaquettes***

Les analyses effectuées montrent que :

- La surface des plaquettes est constituée de composés organiques ainsi que de composés inorganiques. Toutefois, la présence d'inorganique en forte proportion empêche l'identification stricte de ces composés.
- Aucune différence de nature, ni aucune pollution, n'a été mise en évidence par les analyses directes sur les plaquettes.
- Le lavage des plaquettes a permis de mettre en évidence la présence d'un composé ou d'un mélange de composé extractible par l'éthanol sur la surface des plaquettes du jour de l'incident. Ce ou ces composés, vraisemblablement à base d'amide (ou d'amine), d'ester et d'aliphatique (chaîne carbonée) sont présents en faible proportion. Les signaux obtenus sont en effet (très) faibles. Ne connaissant pas l'historique des plaquettes, il est impossible de conclure sur l'origine de ces produits.
- Ces résidus n'ont, cependant, pas été détectés sur les plaquettes neuves.

- ***Les particules sous les pinces***

Les analyses par le CETIM des particules prélevées sous les pinces montrent que :

- les particules F1P1 peuvent s'apparenter avec celle des plaquettes mais sont d'aspect beaucoup plus gras, avec une teneur associée en carbone importante ;
- les particules F1P2 ont une composition similaire à celle des plaquettes avec un enrichissement significatif en fer ;
- les particules F2P1 sont très probablement issues des plaquettes (toutefois plus grasses également) ;

34 La norme EN 13223 (v.2004) demande à ce que : « *9.2.6 L'usure des garnitures de frein doit pouvoir être compensée par des réglages ; dans le cas du frein de service, elle doit être surveillée. 9.2.7 La course résiduelle qui doit subsister dans un frein fermé doit être contrôlable.* »

- parmi les particules F2P2, sont observées des particules du même type que les plaquettes et des particules organiques d'aspect marron.

Les particules récoltées et analysées proviennent probablement des plaquettes d'après leur composition grandement similaire, avec pour certaines un enrichissement en fer possiblement dû à un frottement sur la piste de freinage en acier.

- ***Une usure asymétrique des garnitures***

Il a été constaté que les plaquettes ne sont pas positionnées de façon parallèle mais inclinées par rapport à la piste de freinage quand les freins sont ouverts. Si le jeu des plaquettes est réglé comme sur la figure à droite lorsque le frein est ouvert, cela entraîne un contact constant et "en léchage" de la piste de freinage avec une partie des plaquettes.

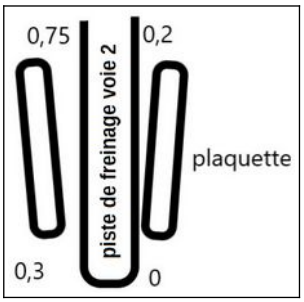


Figure 62 - ***Positionnement des plaquettes du frein F1P2 par rapport à la piste de freinage (frein ouvert)***

De plus, une usure oblique est visible sur quatre plaquettes du 1er jeu.

Figure 63 - ***Garnitures de l'avant-veille (1er jeu de plaquettes)*** *(photos TMD Friction)*

Étant donné que cette usure est plane (pas de rupture de pente sur la surface de la garniture), on considère que l'effort a été transmis de façon homogène à toute la surface des plaquettes. Le léchage de la piste de freinage lorsque les freins sont ouverts peut ne plus être visible après l'accident si une usure des garnitures a eu lieu et aplani la surface.

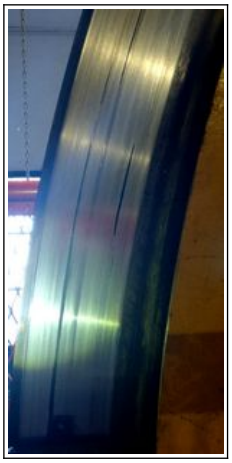
- ***L'usure de 1,4 mm et réglages***

L'usure des garnitures de F1 (1,4 mm) est plus importante que celle des garnitures de F2 très probablement du fait que le F1 a été plus sollicité que le F2 pendant les 2 jours qui ont précédé l'accident. On a observé que la limite de la capacité des plaquettes à être mises en contact normalement sur la piste de freinage est de 0,45 mm (cf. débattement du vérin maxi de 2,8 mm). Le fait que 1,4 mm ont été usés alors que le débattement possible est de 0,5 mm, est dû aux réglages de la pince qui ont permis de reprendre le jeu et poursuivre l'usure. En effet, changer la cote de compression n'éloigne ni ne rapproche les garnitures de la piste de freinage mais influe sur le couple appliqué. Et la cote de garde est maintenue à 30 mm. Donc c'est le réglage de l'entrefer qui permet de rapprocher les garnitures de la piste et de poursuivre leur usure. Une intervention sur l'entrefer n'a lieu qu'au changement de garnitures (cf. notice ATV de réglage des pinces). Or l'exploitant a changé les garnitures lundi après-midi mais également le mardi après-midi lorsqu'il les nettoie et les toile, il doit nécessairement les sortir de leur emplacement puis les remettre et nécessairement effectuer le réglage de l'entrefer. L'analyse pour F1 vaut également pour F2.

Ainsi le réglage de l'entrefer au moment de la dépose et repose des garnitures – par deux fois, permet d'expliquer que l'usure des garnitures de F1 relevée à 1,4 mm est largement supérieure à l'usure qui serait permise par le jeu du vérin et sa mise en butée (0,45 mm).

- ***La température atteinte par les garnitures***

Les différents témoignages recueillis suite à l'accident font état d'un dégagement de fumée et d'odeur de brûlé. Pour la garniture Cosid 132, les odeurs de brûlé sont identifiées à partir d'une température de 160 °C environ et les composants organiques commencent à brûler à 250 °C. Un dépôt blanchâtre sur les côtés des garnitures est visible sur au moins une plaquette du 2d jeu, signe d'une contrainte excessive, d'une surchauffe locale.



Les traces noires sur les pistes de freinage sont dues à une température localement excessive, à partir de 200 °C sur la zone de contact (entre la piste et une garniture).

Figure 64 - ***Traces noires sur une poulie (similaires sur l'autre poulie)*** *(photo BEA-TT)*

Avant l'accident, à 13 h 45, les larges traces grises sur la garniture du 2d jeu sont également le signe d'une surchauffe locale.

Après l'accident, les garnitures présentent des zones claires sur leur tranche :

Figure 65 - ***Photo du 4 mars 2022 des garnitures impliquées dans l'accident*** *(photo TMD Friction)*

Figure 66 - ***Garniture en place*** *(photo STRMTG du 19/10/2021)*

Si latéralement sur un revêtement utilisé, on constate des zones claires, notamment au niveau des rainures, on peut en déduire qu'un dégazage sous une charge thermique élevée est à l'origine d'une telle dégradation. Or selon leur constructeur, les plaquettes de frein qui ont été soumises à des températures supérieures à leur plage de température de fonctionnement, sont susceptibles de voir leurs propriétés modifiées lors des freinages ultérieurs en raison de la forte sollicitation thermique. Il se forme une couche de « haute température » dans laquelle les composants de réticulation du mélange sont fondus et détruits. La cohésion des autres éléments de friction du mélange est donc diminuée dans cette zone de fusion. Selon l'importance de la charge thermique, la plaquette de frein peut présenter un coefficient de friction légèrement différent (plus élevé ou plus faible) lors des freinages suivants. Cette couche soumise aux contraintes s'use aussi plus rapidement. En effet, l'usure d'une garniture dépend de l'énergie apportée sur une matière, et cette énergie dépend entre autres de la force appliquée, de la durée de l'application des forces, de la température, de la matière et de l'état des surfaces en contact, etc.

Après l'usure de cette couche soumise aux contraintes thermiques, la garniture de friction présente à nouveau les mêmes propriétés qu'une garniture de friction rodée non soumise à la température – si l'exposition aux contraintes thermiques cesse.

La température à la surface de la garniture de friction diminue très rapidement en raison de la convection et de la dissipation de chaleur. Mais la température interne, mesurée à côté de la zone de friction, s'accumule en raison des freinages répétés. Le fabricant de garnitures ne peut indiquer d'intervalle entre chaque freinage permettant de revenir à une température normale de fonctionnement, cela dépend de l'énergie apportée : si l'énergie augmente ou si le temps est plus court, l'énergie introduite et absorbée augmente également, ce qui entraîne une usure plus importante.

Un léger contact constant peut entraîner un échauffement non maîtrisé de la piste de freinage, qui s'ajoute à l'échauffement lors du test suivant et conduit à une température finale plus élevée. Une estimation de la montée en température à chaque freinage par F1MST ou F2MST en descente, vue la masse freinée, serait d'environ +50 °C. La notice ATV d'entretien de la pince ST3 SH rappelle le risque d'échauffement anormal et la vérification puis le remède associé.

NATURE	VERIFICATION	REMEDE
La pince ne s'ouvre pas	Pression: 80 bars mini.	Vérifier centrale hydraulique
Diminution progressive du couple	Vérifier le jeu aux garnitures: 0,5 à 0,7 mm.	Refaire le réglage
Echauffement anormal du disque lors de la mise en route	Jeu insuffisant entre garniture et disque en position ouverte	Refaire le réglage des garnitures
	Perpendicularité du disque par rapport à la semelle ± 4‰	. Refaire le calage

Figure 67 - ***Extrait de la notice ATV des pinces ST3 SH*** *(source Poma)*

À noter que la question du rodage des garnitures du 2d jeu s'est posée. Toutefois, les capacités de celles-ci auraient dû s'améliorer au fur et à mesure des essais et non se dégrader. Le fabricant indique que les plaquettes sont rodées lorsqu'environ 65-70 % de leur surface de friction a été sollicitée et que le nombre de freinages nécessaires pour obtenir un rodage optimal doit être déterminé sur place.

De plus, on a supposé que l'installation avait atteint 15-16 m/s lors de l'accident. Comme la vitesse influe de façon importante sur les forces applicables (ces dernières dépendent du carré de la vitesse), l'augmentation de la vitesse entraîne une augmentation des forces applicables. Il faut garder en mémoire que les plaquettes de freins ont donc nécessairement été soumises à des contraintes excessives lors de la forte montée en vitesse.

Concernant le 1er jeu de garnitures, on observe des incrustations dans la surface (cf. Figure 31 -). Elles correspondraient à ce qui s'appelle des "poissons", incrustations dures et magnétiques, se formant par une combinaison d'eau et de températures élevées – bien au-delà de 100° C. En raison de ce que l'on appelle les températures flash du disque de frein, celui-ci est modifié à quelques endroits de sa structure métallique. L'abrasion de ces endroits s'accumule dans des incrustations métalliques de la plaquette (le revêtement Cosid 132 ne contient aucun composant magnétique). Ces "poissons" ne modifient pas les propriétés de la plaquette, mais sont un indicateur de températures élevées. Par la suite, ils provoquent des stries dans le disque de frein. Ces "poissons" du 1er jeu de garnitures indiquent qu'une augmentation de température était déjà à l'œuvre lors des freinages qui ont précédé leur changement le 27/09/2021 après-midi. En

l'absence de données enregistrées (a minima vitesse, temps, freins commandés), nous ne pourrons effectuer d'analyse sur la montée en température du 1er jeu de garnitures.

- ***Les types de garniture***

La notice ATV de 1984 indique que la pince ST3 SH peut être équipée soit de « *garnitures de friction (retombée en marche)* » (prévue pour des freinages avec une vitesse de frottement élevée) de référence "2.04", soit de « *garnitures de friction (retombée à l'arrêt)* » (prévue pour des freinages avec une vitesse de frottement très faible, type freins de « parking ») de référence "2.05". C'est la garniture à retombée en marche qui a été sélectionnée par le constructeur Poma pour l'usage sur le téléphérique de La Saulire. La notice présente bien un seul type de pièce de rechange pour les garnitures de friction, celle à retombée en marche, la garniture "M". Elle présente un effort de retenue de 105 000 N (frein d'urgence dynamique) supérieur à la valeur admissible issue de la note de calcul initiale (9 144 N nécessaires). Selon le plan ATV (11257-28 version A), la garniture est de qualité « 394 », sans fournir d'autre précision.

Figure 68 - ***Garniture G95 conservée à La Saulire*** *(photos S3V)*

Figure 69 - ***Comparaison entre garnitures Cosid 132 (gauche) et G95 (droite)*** *(photo expert judiciaire)*

Différents types de garnitures de garnitures se sont succédé :

- Au départ en 1984, les plaquettes installées étaient de type « 665 » livrées par ATV à Poma (fournies par Flertex). Puis de qualité « G95 » livrées par ATV à Poma (fournies par Soleda). Les bons de livraison indiquent cinq dates (13/02/1984, 3/12/1984, 13/09/1985, 22/06/2004, 19/05/2005).
- En 2010, lors de la modification, il n'y a pas d'enregistrement des références des garnitures installées mais il s'agissait très probablement de garnitures issues de la dernière livraison ATV à Poma du 19/05/2005 : à retombée en marche, probablement de type G95. Les huit garnitures de type G95 stockées par S3V présentent une mention manuscrite rajoutée « 06/19 ». Cela correspondrait à juin 2019, mois de la Grande Inspection et donc à leur date de dépose.
- En 2013, dans le rapport d'IA, il est tracé le fait que l'exploitant a remplacé peu avant les plaquettes du frein F2. Leur référence n'est pas indiquée.
- À partir de novembre 2010, des plaquettes en Cosid 132 sont livrées à S3V par ATV, pour un total de 8 jeux (paires) de plaquettes (la première commande de plaquettes Cosid 132 par S3V date du 18/11/2010). Mais c'est en 2019, lors de la Grande Inspection, que S3V trace le fait que des plaquettes Cosid 132 sont installées sur La Saulire. Elles resteront sur le téléphérique jusqu'au 27 septembre 2021. **La référence 11257-28/CO132/37-18 permet de s'assurer que ce sont les garnitures en place sur La Saulire le 14 juin 2019 (installées lors de la grande inspection) jusqu'au 27 septembre 2021.**

- Un troisième jeu, de Cosid 132, est présent sur l'établi de La Saulire mais dont l'usage (date, durée, exposition au freinage) est inconnu.
- De ce fait, une hypothèse probable est qu'il n'y a pas eu de changement de plaquettes depuis 2010 pour F1 et 2013 pour F2, et ce jusqu'en 2019.
- Les plaquettes impliquées dans l'accident sont déposées dans le cadre de l'expertise judiciaire : ce sont des Cosid 132. Et au cours des pré-essais, les plaquettes installées sont bien de type Cosid 132 (installées lors de la Grande Inspection).
- Dans le but de trouver un moyen d'exploiter en sécurité avec une seule cabine l'été, S3V commande 4 jeux de type CR-2M en 2010 et 2013. De coefficient de friction inférieur à la qualité 132, elles sont utilisées pour des essais de freinage avec une seule cabine. Ces essais n'étant pas concluants, le STRMTG n'autorise pas une telle exploitation de l'appareil et la société S3V renoncera au projet et à ce type de plaquettes.

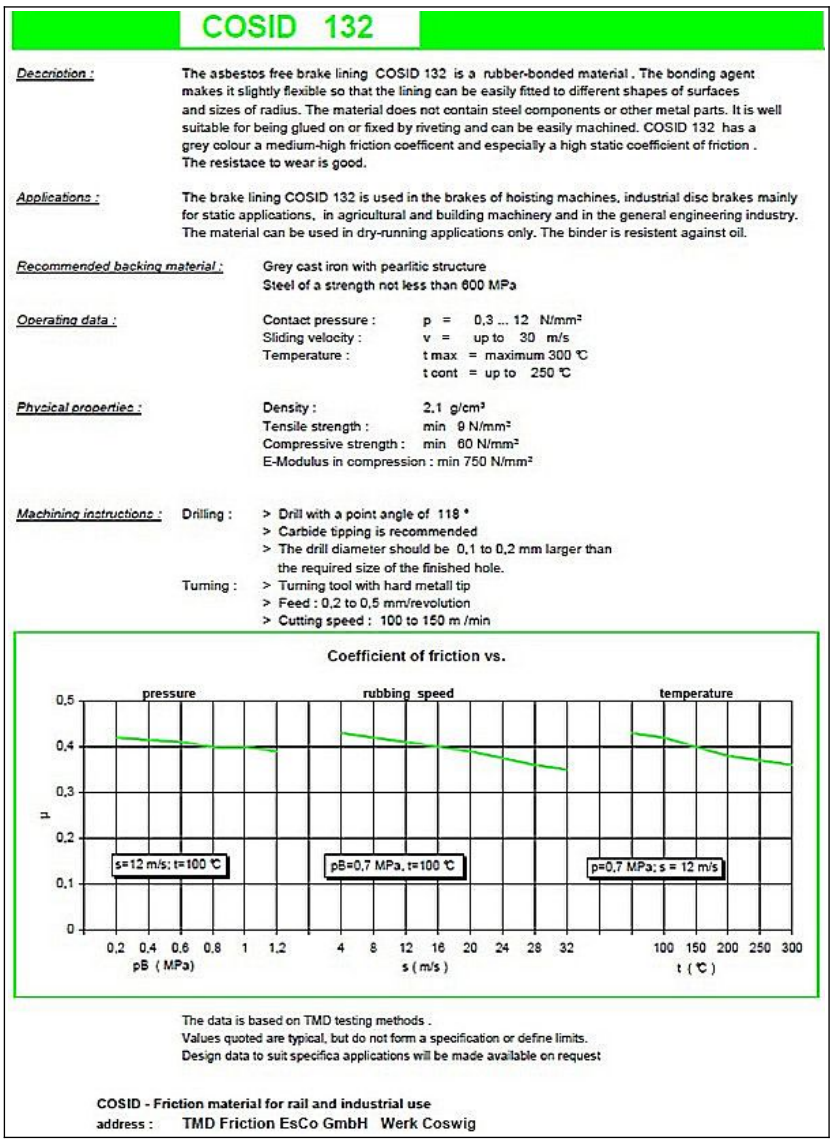
Indépendamment de leur date d'installation sur les freins, les garnitures ont été fournies et livrées selon les circuits suivants :

- à partir de 1985 = type 665 : Flertex → ATV → Poma → S3V
- à partir d'une date inconnue = G95 : Sauleda → ATV → Poma → S3V
  et une dernière facture en 2005 pour des G95 indique : Sauleda → ATV → S3V
- à partir du 18/11/2010 = Cosid 132 : TMD Friction → ATV → S3V

La qualité « 132 » des garnitures ATV est celle mise dans 80 % de leurs applications. En 2010, sur la grande majorité de ses applications, ATV a remplacé les plaquettes par des types Cosid 132. Courchevel, avec le téléphérique de La Saulire, est leur seul client connu de garnitures dans le domaine des remontées mécaniques. Les garnitures sont achetées (entre 100 à 200 par an) à TMD Friction. ATV a sélectionné la garniture de type Cosid 132 comme plaquette standard pour ses caractéristiques en statique ainsi qu'en usage dynamique d'urgence.

Cette garniture est constituée d'un mélange de matières qui, d'un point de vue microscopique, sont inhomogènes en raison des différentes tailles de particules des différents composants. Jusqu'à 25 matières peuvent être présentes dans la composition de la garniture. Sans pour autant révéler la formule chimique exacte, TMD Friction communique les principales matières : charges telles que oxyde de magnésium, oxyde d'aluminium, silicate d'aluminium, barytine de l'ordre de 60 % en poids, caoutchouc et accélérateur de l'ordre de 21 % en poids, fibres comme la cellulose et la laine de roche de l'ordre de 19 % en poids, composés carbonés comme la suie et le coke de l'ordre de 1,5 % en poids.

TMD Friction précise que les données figurant sur la fiche technique des plaquettes, et notamment celles concernant le coefficient de friction, sont données à titre purement indicatif, selon des méthodes de laboratoires internes, et ne peuvent en aucun cas être garanties comme des valeurs spécifiques ni des valeurs limites. TMD Friction rappelle ainsi à ses clients que la qualification de la compatibilité des plaquettes de freins avec des applications spécifiques, nécessite des données ou des vérifications supplémentaires. Toutes leurs courbes de coefficient de friction se réfèrent expressément à leur frein d'essai.



COSID 132

Description : The asbestos free brake lining COSID 132 is a rubber-bonded material . The bonding agent makes it slightly flexible so that the lining can be easily fitted to different shapes of surfaces and sizes of radius. The material does not contain steel components or other metal parts. It is well suitable for being glued on or fixed by riveting and can be easily machined. COSID 132 has a grey colour a medium-high friction coefficent and especially a high static coefficient of friction . The resistace to wear is good.

Applications : The brake lining COSID 132 is used in the brakes of hoisting machines, industrial disc brakes mainly for static applications, in agricultural and building machinery and in the general engineering industry. The material can be used in dry-running applications only. The binder is resistent against oil.

Recommended backing material : Grey cast iron with pearlitic structure
Steel of a strength not less than 600 MPa

Operating data :
Contact pressure : p = 0,3 ... 12 N/mm²
Sliding velocity : v = up to 30 m/s
Temperature : t max = maximum 300 °C
t cont = up to 250 °C

Physical properties :
Density : 2,1 g/cm³
Tensile strength : min 8 N/mm²
Compressive strength : min 60 N/mm²
E-Modulus in compression : min 750 N/mm²

Machining instructions :
Drilling :
> Drill with a point angle of 118 °
> Carbide tipping is recommended
> The drill diameter should be 0,1 to 0,2 mm larger than the required size of the finished hole.
Turning :
> Turning tool with hard metall tip
> Feed : 0,2 to 0,5 mm/revolution
> Cutting speed : 100 to 150 m /min

The data is based on TMD testing methods .
Values quoted are typical, but do not form a specification or define limits.
Design data to suit specifica applications will be made available on request

COSID - Friction material for rail and industrial use
address : TMD Friction EsCo GmbH Werk Coswig

Figure 70 - ***Fiche technique du produit de la garniture*** *(source TMD Friction)*

La société ATV a mené des essais pour la qualification des garnitures Cosid 132 avant de les proposer à son client S3V. En effet, en 2006, ATV a demandé à TMD Friction la transmission d'échantillons de garnitures Cosid 132. ATV a réalisé des essais sur les garnitures Cosid 132 et ceux-ci répondaient à ses attentes. ATV a informé TMD Friction avoir même réalisé des essais comparatifs avec les produits de quatre différents fabricants de garnitures. ATV indiquait que les garnitures Cosid 132 avaient des résultats "*en général légèrement au-dessus de la moyenne*". Les essais par ATV consistent à la mise sur banc dynamique d'un lot de plaquettes, afin de réaliser une mesure d'effort de freinage (couple).

- ***Les tests in situ sur les plaquettes***

En février 1985, ATV écrit à Poma qu'ils ont constaté que « *les 4 pinces avaient une épaisseur de garniture comprise entre 9 et 10 mm ce qui indique qu'après deux mois d'exploitation, plus la période d'essais et de réception où les freins ont été très sollicités avec des freinages en charge, les garnitures ne se sont pratiquement pas usées puisque l'épaisseur initiale est de 10 mm* ».

En avril 1985, il a été réalisé plus de 200 freinages pendant 7 heures au bout desquels il n'a pas été constaté d'usure des garnitures. Toutefois, le document n'indique pas qui les a réalisés et comment, ni la référence des garnitures utilisées.

En septembre 2010, lors de la mise en place de la modification, de très nombreux essais de freinage dans le point de plus forte pente ont été réalisés pour les essais du maître d'œuvre puis des essais ont également été réalisés avec le service de contrôle. Aucune usure particulière n'a été constatée par le maître d'œuvre DCSA. Il devait ici s'agir nécessairement des garnitures G95 – les garnitures ne pouvaient être des Cosid 132 puisque les premières ont été commandées par S3V à ATV en novembre 2010.

Des essais d'IA ont eu lieu pendant 6 ans probablement sans changement des plaquettes G95. La mise en place des Cosid 132 est certaine en juin 2019. Hors inspections annuelles, le nombre de freinages n'est pas connu, y compris à forte charge.

On a observé précédemment une diminution des temps de freinage lors des inspections annuelles à partir de 2019. En les corrélant avec les valeurs des cotes de réglages relevées lors de ces IA (cote de garde et cotes de compression), il n'est possible de tirer de conclusion que pour le frein F1 en 2019. En effet, la cote de compression varie de 1 mm pour F1P1. Or l'effort varie de 1 500 N selon les calculs du STRMTG[35] : le temps diminue avec un effort moindre sur F1P1. Dans l'hypothèse où l'entrefer est toujours réglé de la même manière, on pourrait dire que la garniture de type Cosid 132 se freinait plus fort que ses prédécesseures – probablement aux dépens du coefficient de friction et de l'usure.

Les autres variations de cote peuvent expliquer – partiellement – l'amélioration des temps de freinage : par exemple en 2019, F2 donne un peu plus d'effort et le temps de freinage est bien meilleur. Il n'est pas possible de déterminer la part de l'efficacité de la garniture Cosid 132 dans cette amélioration.

- ***Le produit Berner***

Selon les témoignages, le mardi 28 septembre 2021, il est procédé au nettoyage des pistes de freinage et de l'ensemble des garnitures (2^{d} jeu) avec le produit Berner.

En 2013, un problème de couple de freinage a été diagnostiqué par Aix Hydro comme étant liée à l'utilisation de ce liquide nettoyant pour freins. Aix Hydro avait alors précisé d'utiliser le dégraissant recommandé par ATV et non le Berner, dans la conclusion de son compte rendu d'intervention transmis à Seirel : « *Le fait d'apporter du couple aux pinces n'apporte rien. Il y a un problème d'adhérence des plaquettes sur le disque. Le disque a été nettoyé au printemps avec un nettoyant frein Berner. Ces produits ne sont pas faits pour nettoyer des freins lents. Ils laissent un film gras qui sur une voiture est éliminé par la montée en température forte et rapide des disques lors d'un freinage appuyé. Sur un disque lent, cette combustion ne se produit pas et l'adhérence des plaquettes s'en trouve fortement affectée. Il est donc nécessaire de nettoyer les pistes avec un produit adapté et de remplacer les plaquettes par des neuves pour repartir avec le bon coefficient de friction* ». Et Aix Hydro précise à Seirel en octobre 2013 : « *ATV préconise l'utilisation de : CRC KF dégraissant séchage rapide. Le produit existe en bombe ou en bidon de 5 litres. 2 applications avec essuyage chiffon propre. Ou alors au trichloréthylène, mais ce n'est normalement plus autorisé. Changer absolument les plaquettes APRES nettoyage du disque* ».
Il n'a pas été trouvé trace d'une transmission à l'exploitant de ce compte rendu.

Le fabriquant TMD Friction quant à lui déconseille par principe l'utilisation de nettoyants pour freins pour nettoyer les plaquettes de frein.

Afin de vérifier l'impact du produit Berner, il a été demandé au CETIM de réaliser des essais sur des plaquettes après dégraissage au nettoyant de frein Berner et séchage

35 Les valeurs pour F1P1 ont également été calculées par le STRMTG, de la même façon que pour F2P2 et les valeurs sont 15 625 N à une cote de garde de 30 mm et 14 111 N à 29 mm.

simple de 2 heures. Les performances mesurées sont similaires aux performances des plaquettes pour lesquelles il n'y a pas eu d'application de Berner.

À noter que le liquide nettoyant pour freins Berner possède une date de péremption et des consignes de températures de conservation : la première n'a pas été identifiée et les secondes doivent être comprises entre +5° et +25 °C. Or la machinerie où le stock de bidons Berner est stocké subit des températures hivernales, n'étant pas chauffé. Bien que ne connaissant pas la température de solidification du Berner, on peut supposer que l'exploitant se serait rendu compte si les bidons avaient gelé. Par contre, les caractéristiques et les propriétés du produit ont pu être modifiées. Une interrogation sur le suivi des contraintes exportées de liquides sensibles peut également se poser. En outre, le CETIM a effectué ses tests avec du Berner "neuf" et non avec celui stocké dans la machinerie, interrogeant la représentativité des essais.

Enfin, l'application d'un produit sur les garnitures et les pistes de freinage induirait plutôt des freinages longs juste après son application puis une amélioration du freinage au fur et à mesure de sa vaporisation. Ce qui pourrait expliquer les alarmes de l'automate pour les tests réalisés après le nettoyage le 28/09/2021. Mais pour le matin de l'accident, les temps de freinage sont très courts en F1 à la descente (10,6 secondes) puis augmentent au fur et à mesure, à l'opposé de l'effet que pourrait donner le Berner. Cette hypothèse d'un impact du produit Berner sur la dégradation des capacités de freinage pendant la matinée du 29/09/2021 conduisant à l'accident semble improbable.

- ***Les comparaisons des caractéristiques des différentes garnitures par le CETIM***

Des essais ont été réalisés par le CETIM sur des échantillons de : G95, Cosid 132 neuves, Cosid 132 du 1er jeu, Cosid 132 de l'accident (2d jeu). Il s'agissait d'examens micrographiques, de microanalyses, de spectroscopie infrarouge, de chromatographie gazeuse et d'essais tribologiques sur un banc d'essai. Les graphes ci-dessous présentent les résultats sur le taux d'usure, la température atteinte et le coefficient de friction obtenu.

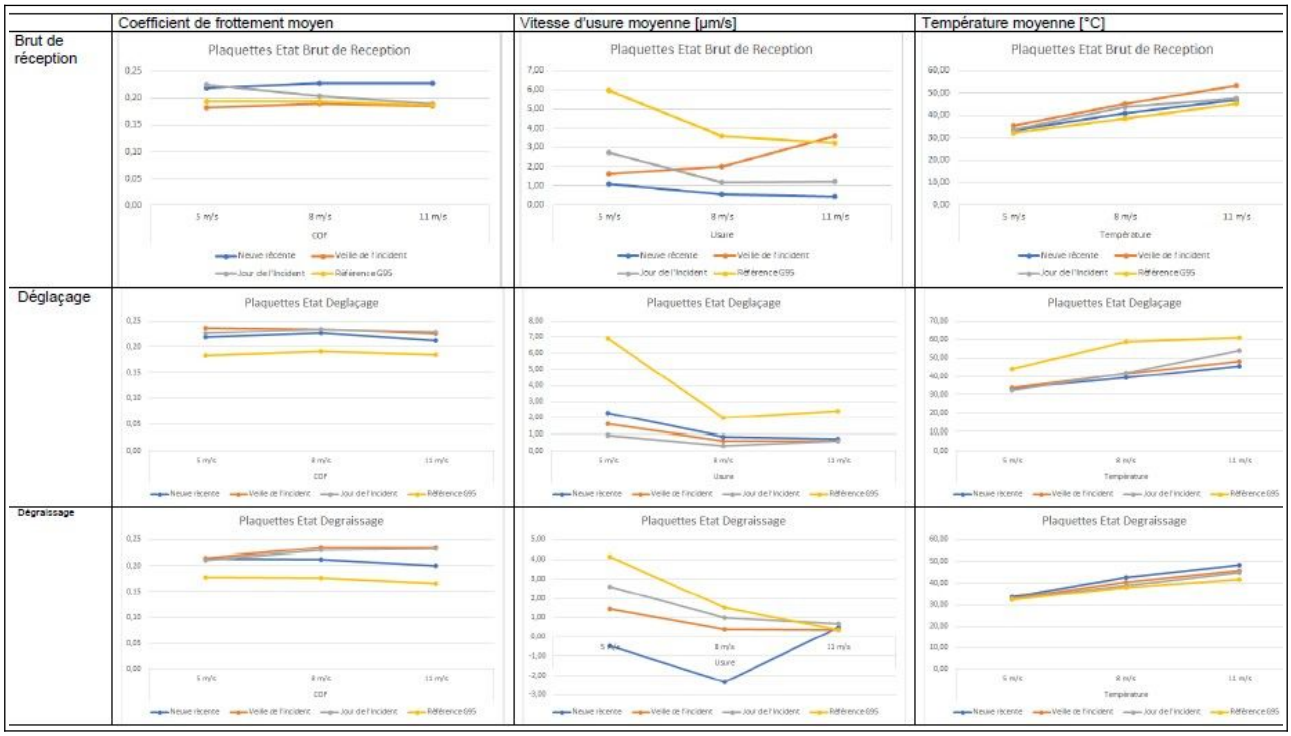


Figure 71 - ***Résultats obtenus sur banc d'essai avec 4 types de garnitures à 5, 8 et 11 m/s*** *(source CETIM)*

Les analyses effectuées sur les 6 plaquettes mettent en évidence que toutes les plaquettes sont de même nature et constituées de carbone, oxygène, magnésium,

aluminium, silicium et soufre en éléments majeurs, de baryum et de calcium en faible teneur, et de zinc, de sodium, de potassium et de fer en faible teneur ou en traces. Aucune différence de nature, ni aucune pollution, n'ont été mises en évidence par les analyses directes sur les plaquettes.

En synthèse, le coefficient de friction est peu dépendant de la vitesse, du type et de l'état des plaquettes. On note néanmoins des coefficients légèrement plus faibles pour la plaquette de référence G95. Les vitesses d'usure étant très faible (< 10 µm/s), il est considéré que l'influence du type et de l'état des plaquettes est négligeable. On notera néanmoins des valeurs légèrement supérieures pour la plaquette de référence G95. Il n'y a donc pas de différence significative dans le comportement tribologique (frottement, usure et température de contact) entre les différentes plaquettes, ni en fonction de leur état (brute, décapée, dégraissée).

Toutefois, les traces de surchauffe présentées précédemment remettent en question la représentativité des résultats du CETIM par rapport au système réel : la température maximale observée à 2 MPa est de 48 °C sur des essais de 65 secondes alors que les températures réelles rencontrées avant même l'accident sont a minima de 160 °C. De plus, le taux d'usure est en moyenne de 2 microns selon les résultats du CETIM. Or lorsque F1P1 passe de 121,1 mm (9 h 23) à 122 mm (vers 10 h 30), seuls un F1 modulé (quasi à 100 %) en descente de 11 secondes et un F1 plein couple en descente de 12 secondes ont été réalisés – en ce qui concerne le F1. L'usure pour une garniture est de 150 microns ((122-121,1 mm)/3 pour 2 garnitures) donc le taux d'usure est de 150 µm/23 s = 6,5 µm/s ce qui est 3 fois plus important que les résultats du CETIM.

3.10.3 - Une hypothèse explorée

Sur ce téléphérique de La Saulire, les deux seuls changements notables sont la modification de 2010 (donc suivie de 10 inspections annuelles conclusives) et le changement de type de garnitures en juin 2019. Malgré l'absence de traçabilité, nous considérons probable que les premières garnitures Cosid 132 ont été installées en 2019 après la Grande Inspection. En effet, l'installation des Cosid 132 a été bien tracée en 2019 par l'exploitant et sur les G95 a été apposée la mention "06/2019" au dos, probablement inscrite au moment de la dépose.

Les essais en 1984 et en 2010 avec d'autres types de garniture indiquent que leur usure était très faible. Pour présenter une usure allant jusqu'à 1,4 mm, le taux d'usure des garnitures Cosid 132 doit être largement supérieur aux quelques microns par seconde mesurés par le CETIM. Ceci est très probablement dû aux températures subies par les garnitures. Les constats physiques permettent d'estimer que les garnitures ont atteint des températures d'au moins 160 °C, voire localement un minimum de 200 °C.

Le coefficient de friction en a certainement été impacté. Il dépend non seulement de la garniture de frein en elle-même mais également du disque de frein et de la rugosité de la surface, de la pression, de la vitesse, de la température, etc. C'est une force créée par l'interaction de deux surfaces en contact qui glissent l'une sur l'autre et qui s'oppose au mouvement. Il est donc impossible d'indiquer un coefficient de friction précis pour une matière sans connaître la matière de la surface avec laquelle elle interagit ni le système de freinage dans sa globalité. La valeur du fournisseur est indicative et le test du CETIM sur son banc d'essai ne garantit pas la valeur du coefficient sur La Saulire.

Or il n'y a pas eu de vérification du comportement des garnitures de remplacement de la G95 en rapport avec le téléphérique de La Saulire, tel qu'on peut le rencontrer en homologation routière pour les plaquettes dites de ‘‘remplacement’’ ou homologation ferroviaire. Il n'a pas été retrouvé trace de test réalisé in situ (alors que des tests ont été réalisés et tracés avec la garniture CR-2M pour vérifier la faisabilité de l'exploitation en cabine seule – dans le cadre d'une demande par S3V auprès du STRMTG). Nous

n’avons pas de garantie quant au comportement des Cosid 132 sur le système de frein de La Saulire. C’est pourquoi nous émettons l’hypothèse d’une probable inadéquation de la garniture Cosid 132 avec le système de frein de La Saulire.

Au moment du changement du type de garnitures, des essais et mesures auraient permis de quantifier l’efficacité des nouvelles garnitures, de vérifier à quel rythme elles s’usent et ainsi pouvoir faire évoluer le processus de vérification régulière et de réglage des freins.

3.10.4 - Des éléments de clarification et autre hypothèse moins probable

- Usure du 1er jeu de garnitures

Les Cosid 132 ont été mises en place sur les freins F1 et F2 de La Saulire en 2019. Elles ont subi l’inspection annuelle de 2019 et celle de 2020, et possiblement quelques arrêts en exploitation (probablement pas en pleine charge ni à la vitesse maximale) :

- les rapports IA de 2019 et 2020 ne mentionnent pas de réglages ou de tests répétés pour obtenir les temps corrects : on suppose qu’il n’y a eu que peu de freinages plein couple à la descente (un de chaque frein à chaque IA, donc au total 2 F1 et 2 F2) ;
- l’exploitation était réduite du fait des restrictions sanitaires dues à l’épidémie de Covid et globalement, l’usage du F2 est très rare en exploitation.

Le 27 septembre 2021, ces garnitures émettent une odeur de brûlé et sont comme glacées avec des incrustations métalliques, preuve d’une augmentation locale de température (mini 160 °C). Les usures des garnitures du 1er jeu présentent une usure oblique pour quatre d’entre elles. L’usure la plus importante de celles observées y compris post-accident n’a pas trouvé d’explication à ce jour.

N’ayant pas de mesure d’épaisseur faite en 2019 et 2020, nous ne pouvons qu’avoir un doute raisonnable sur le fait les garnitures Cosid 132 se seraient usées différemment que les G95 dans le système de freinage et qu’on aurait pu être sur la "sellette" pendant deux ans sans s’en rendre compte.

- Déséquilibre entre les pinces d’un même frein

Le graphe d’Aix Hydro indique une dissymétrie entre la pince F2P1 et F2P2. Cette dissymétrie de l’effort de freinage induit une sursollicitation de F2P1 aux dépens de F2P2. Les efforts devaient donc être absorbés en grande partie par la pince F2P1 lors d’un freinage : les garnitures équipant cette pince la plus contrainte s’échauffent plus que celles de l’autre pince. Elles subissent une usure accrue en raison de cette charge thermique anormalement élevée, tant que la couche endommagée est présente. Par la suite, quand F2P1 atteindra la butée à force d’usure de ses garnitures, ce sera au tour des garnitures de F2P2 de supporter la majorité des contraintes de freinage et de subir, à leur tour un échauffement et donc une usure importante. Pendant ce temps, le frein F2P1 en butée sera en léchage par rapport à la piste de freinage. Il n’y a alors plus d’effort sur cette pince de frein en butée. Un tel contact "caressant" entraîne une augmentation de la température des garnitures.

Pour les freins F1, le témoignage du chef de secteur qui vers 10 h 30, en descendant la première fois en machinerie pour régler l’empilement, trouve F1P1 à 122 mm au lieu de 121,1 mm à 9 h 23, indique que cette pince encaisse une partie de l’effort. Ce déséquilibre est confirmé par les premiers constats où il restait 0,4 mm de marge à la pince F1P2. Toutefois la raison n’a pas pu être déterminée – a minima, pas par un déséquilibre au niveau de la pression / débattement.

La fragilité de cette hypothèse repose également sur le fait que nous n’identifions pas la cause et la date de début de ce déséquilibre entre les pinces de F2.

3.11 - Les investigations sur les facteurs humains et organisationnels

La particularité de cet événement est qu'il concerne un groupe, en tant que somme d'individus.

Nous ne recherchons pas ici qui aurait détenu l'autorité au sein de ce groupe pour stopper les essais mais comment améliorer et éviter la reproduction d'un tel accident.

L'objectif est bien de comprendre pourquoi ces cinq personnes ont agi d'une telle façon dans une situation qui va conduire à un accident, alors que leurs connaissances et leurs compétences les rend chacun aptes à connaître les risques et détecter des situations dangereuses sur ce type d'installation. Et de déterminer si des facteurs organisationnels ont contribué également à l'accident.

3.11.1 - Le rôle du technicien d'inspection annuelle et le rôle de l'exploitant

Nous rappelons ici en préambule le guide RM1 du STRMTG « Exploitation, modification et maintenance des téléphériques » explicitant l'arrêté du 7 août 2009 : « *Les essais de frein dans les différents cas de charge et les inspections des dispositifs de sécurité doivent être réalisés selon une procédure pré-établie et donner lieu à l'établissement d'un procès-verbal d'essais. […] Ces vérifications sont faites sous le contrôle du Technicien d'Inspection Annuelle.* »
En outre, Transcable Halec a formalisé son intervention en IA par une fiche mission, fournie à la fin de l'acte d'engagement soumis à S3V lors de la consultation de 2018. Cette fiche mission détaille entre autres le contenu des vérifications à réaliser par le TIA (liste des essais, examens, relevés et vérifications à effectuer). Les vérifications du TIA consistent principalement en la réalisation des essais et en un contrôle des valeurs obtenues pour se conformer à la réglementation. Parmi la liste, seul l'« *examen visuel des freins et de leurs garnitures avec manœuvre à l'arrêt et vérification des courses* » n'a pas été mentionné dans les témoignages excepté la mesure des deux cotes des freins.
Il est précisé dans la suite de la fiche que « *Les vérifications sont effectuées dans la configuration d'utilisation dans laquelle l'appareil est présenté. Les examens, mesures effectués et les essais suivis sont ceux réalisables : – sans démontage ; – sans intervention nécessitant la modification ou le déréglage des circuits ou dispositifs de sécurité ; en utilisant les accès permanents ou spécialement aménagés, appropriés et conformes à la réglementation*. ».
La fiche mission précise également les dispositions à prendre par le client (l'exploitant) : « *Une personne compétente connaissant bien les installations, possédant les habilitations électriques nécessaires et habilitée à la conduite de l'appareil sera désignée pour accompagner l'intervenant Transcable Halec. Le client conserve la direction et la responsabilité des installations et équipements sur lesquels Transcable Halec est appelé à intervenir* » et « *la conduite des installations est sous la responsabilité du client qui assurera lui-même les manœuvres nécessaires* ».

Cela est corroboré par le SGS (système de gestion de la sécurité) de l'exploitant qui « *a pour objet d'une part, de décrire l'organisation mise en place par l'exploitant pour exploiter et maintenir les installations, d'autre part, de démontrer sa capacité à maîtriser les risques et à assurer une gestion sûre de ses installations* ».

Lors de l'IA de La Saulire, en se basant sur les différents témoignages, le jeu d'acteurs entre les cinq personnes présentes peut être identifié comme suit :

- le TIA est dans un rôle de prise de mesures : il demande de réaliser les essais, en suivant la procédure d'Inspection Annuelle, relève les données, il juge les temps de freinage obtenus et selon, demande des modifications de réglage. Ultérieurement, il aurait rédigé un rapport avec ses conclusions à destination de l'exploitant.

- le conducteur répond aux demandes du TIA et se place dans un rôle d'exécutant des essais demandés, il effectue des réglages du couple si besoin.
- le responsable d'IA – ici le chef de secteur Remontées Mécaniques Ouest – est dans un rôle de réglage de l'appareil et d'observation globale du déroulement.
- l'électricien est dans un rôle d'exécutant en attente de sollicitations très spécifiques et ponctuelles.
- le technicien du STRMTG est dans un rôle d'observateur du TIA (évaluation des pratiques) et d'observateur des résultats d'essais de cette installation.

L'objectif du groupe lors de l'IA est la réalisation des essais et l'obtention de temps de freinage acceptables à la descente pour engager les essais à la montée. On constate que la sécurité de l'installation au cours de l'inspection annuelle n'est pas surveillée par une personne / entité identifiée, avec un manque de clarté entre le rôle du TIA et le rôle de l'exploitant.

Concernant le positionnement physique de chacun dans le poste de pilotage du téléphérique, tous les témoignages indiquent que : le TIA est à gauche avec son outil branché sur une platine dédiée dans l'armoire de commande, le conducteur est au pupitre, le chef de secteur RM à proximité du conducteur, le responsable électrique derrière vers l'armoire électrique, l'agent du STRMTG observe depuis un angle de la pièce.

Figure 72 - ***Reconstitution dans le poste de pilotage du téléphérique : position du TIA (à gauche) et du conducteur (à droite)*** *(photo S3V)*

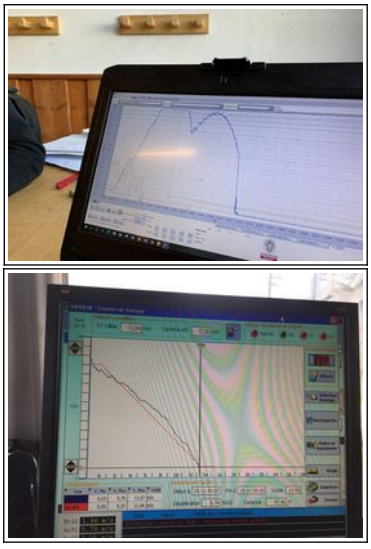


Figure 73 - ***Écrans (en haut du TIA et en bas du conducteur)*** *(photos S3V)*

Sur son écran, le TIA peut visualiser les essais sous forme de courbes – celles exposées en amont dans ce rapport. Elles lui permettent d'interpréter l'essai et de le valider ou non. Ces données lui sont ainsi nécessaires pour la réalisation de l'IA puis la rédaction de son rapport incluant ses conclusions de l'IA, tel qu'en 2020 dans le rapport de Transcable Halec sur l'IA de La Saulire : « *Les résultats des essais et vérifications sont satisfaisants. L'appareil peut assurer normalement son service, sous réserve d'obligations techniques ou administratives dont nous n'aurions pas eu connaissance.* »

De son côté, le conducteur dispose sur son poste d'un affichage permettant de visualiser la courbe de freinage de l'essai (cf. photo ci-dessus). Il dispose de la courbe de vitesse, de la courbe de contrôle de la décélération de l'essai, des mêmes données (heure de début de l'essai, heure de fin, durée, distance d'arrêt, gamma de décélération) que le TIA et des derniers défauts enregistrés par l'automate, affichés en bas de son écran. Ces défauts

sont également visibles, derrière, sur l'écran en façade de l'armoire de l'automate (cf. Figure 11 -).

Ainsi, les courbes telles que nous avons pu les observer précédemment sont visibles au fur et à mesure, sur l'écran du TIA ainsi que sur celui du conducteur.

3.11.2 - La détection d'une situation à risque

- Au cours de la matinée du 29 septembre 2021

Le moment de rupture dans la succession d'actions du 29/09/2021 est le lancement du test F2MST à 12 h 10 : à partir de là, la situation ne peut plus être rattrapée (comme nous l'avons vu précédemment, F1 et F2 sont déjà en dessous de leurs capacités).

L'absence d'objection – et même de doute – par les 5 participants quant au lancement de cet essai repose sur deux défaillances humaines antérieures : celle de la saisie d'informations et celle du diagnostic de la situation[36]. Ces défaillances induiront nécessairement la défaillance du pronostic, ainsi que celle de la décision d'engagement de l'essai et des tentatives de rattrapage.

- Les **défaillances au niveau de la saisie d'informations** concernent l'absence de lecture de certaines informations, à savoir :
  - La lecture des graphes sur l'ordinateur du TIA ou sur l'écran du conducteur, pour au moins les deux essais caducs précédant celui de l'accident. Sur la courbe de 11 h 23, il est visible que le F1 s'est ouvert environ 4 secondes après son application. Ce dernier n'était donc pas assez efficace. Pour l'essai de 11 h 59, le F1 insuffisant ① s'est ouvert pour permettre l'entrée en action du F2 ②. Le freinage du frein d'urgence était alors en valeur inférieure à la limite réglementaire et s'était dégradé en comparaison de l'essai précédent. Un cumul des deux freins est même nécessaire pour arrêter la cabine ③.

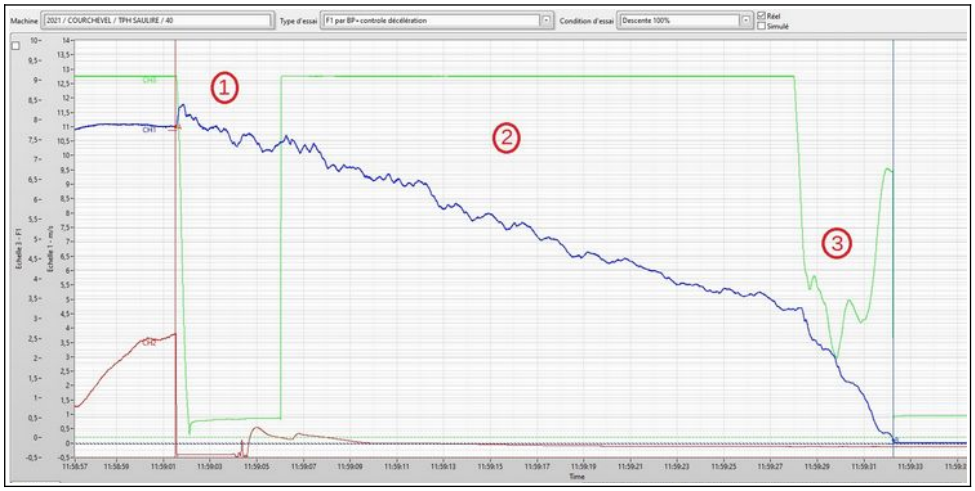


Figure 74 - ***Essai de 11 h 59, dernier essai avant celui fatidique de 12 h 10***

  - La lecture des alarmes affichées sur la console de l'automate à la vue de tous et qui nécessitaient un acquittement avant qu'il ne soit possible de relancer de nouvelles séquences d'essais. Notamment la présence du défaut sur la supervision « F2M – contrôle décélération frein de service DTCx » à 11 h 22 et 11 h 59 indique que le système est défaillant (F2 nécessaire pour aider F1) : il aurait dû être lu et compris par l'agent ayant acquitté ce défaut. A minima une discussion avec les autres

36 Pierre Van Eslande. *L'erreur humaine dans les scénarios d'accident cause ou conséquence ?* Recherche Transports Sécurité n° 66, Janvier-Mars 2000

intervenants voire une action aurait dû être prise avant d'acquitter le défaut. Tous connaissent le fonctionnement d'un automate, les défauts sont acquittés et aucun ne s'interroge sur les implications de ces alertes/défauts.

- Le réglage de l'entrefer n'est pas évoqué dans les témoignages, interrogeant quant à son réglage (ou son absence de réglage surtout) au cours des essais.
- Une information leur a totalement échappé : les témoignages indiquent que tous sont persuadés que le F2 n'a pas ou peu été sollicité au cours de l'IA. Confirmant le fait que les courbes n'ont pas été suffisamment observées ni que fut identifié le défaut "temps d'arrêt trop long'' lors de l'essai précédent, c'est également une erreur de diagnostic qui conduit à l'accident. En effet, puisque le F2 est censé avoir été peu sollicité de la journée, ni réglé, il doit être efficace – moyennant le doute de l'exploitant qui s'interroge quant à son réglage. Il n'y a donc pas eu de perception du F2 défaillant.
- Il n'est pas effectué de vérification quant à l'état des garnitures ni leur épaisseur malgré l'odeur et les réglages de cotes.
- La saisie d'information est clairement focalisée sur l'obtention des temps de freinage adéquats et sur les réglages pour améliorer ces temps par rapport aux attendus.

Toutefois, l'Inspection Annuelle est reportée parce que les temps de freinage à la descente ne sont pas dans la fourchette attendue et ne permettront pas des essais en sécurité à la montée.

Afin de tenter d'expliquer comment des individus ayant des connaissances sur un tel appareil – et loin d'être novices dans le domaine – sont passés à côté de ces informations, nous émettons l'hypothèse d'un cumul de facteurs humains : une concurrence d'attention (leur préoccupation principale est d'obtenir des valeurs de temps et ne prêtent pas attention aux autres informations), un biais d'habitude (rappelons que cette installation est connue des intervenants pour freiner très fort et être délicate à régler ; les émissions d'odeur de freinage ne sont pas inhabituelles lors d'IA) et une perte de repères du fait du téléphérique passant rapidement d'une situation où il freine trop fort et donc les essais plein couple à la montée ne sont pas engagés parce que risqués, à une situation où le téléphérique ne freine pas assez.

- Les **défaillances au niveau du diagnostic porté sur la situation** concernent l'absence de réflexion quant au risque encouru :
  - Tout d'abord, la conséquence des points précédents sur les défaillances de saisie des informations induit nécessairement la réduction voire l'absence de questionnements pouvant conduire à un diagnostic de la situation. Ces informations non saisies n'ont donc pas pu leur "mettre la puce à l'oreille" et enclencher une réflexion au sein du groupe. En effet, il n'est pas fait mention par les agents présents qu'ils se soient auto-restreints ou limités, ou aient été limités par leurs pairs, dans l'expression d'un sentiment de danger.
  - Certaines informations ont bien été saisies par les personnes présentes : une odeur de brûlé importante jugée plus ou moins habituelle, des dépôts noirs revenus sur la piste de freinage, le temps de freinage ne variant pas (19 secondes – entre 11 h 23 et 11 h 59) alors que l'empilement des rondelles des pinces de F1 est remis comme initialement. Cela n'a pas provoqué de réflexion des participants et une interprétation de ces données n'a pas été réalisée.
  - Le diagnostic est biaisé par le fait que la situation de départ présente des conditions initiales non identifiées ou inconnues / incomprises des acteurs : la course maximale possible de la pince permise par les réglages (butée) et le changement du type de garniture (G95 vers Cosid 132).

La problématique ici repose sur la non-perception du danger via les anomalies de comportement de l'installation par les participants (aucun doute n'a été mentionné dans les témoignages, aucune hésitation ou auto-censure – puisqu'on prend évidemment pour acquis qu'aucun d'entre eux n'aurait laissé le téléphérique aller à sa perte).

Le groupe est en recherche d'une solution à un problème mais pas de recherche (donc pas d'analyse et encore moins de résolution) d'un second problème plus important in fine. La question de la sécurité ne se pose pas.

Attention, il n'est pas normal que de nombreux réglages de freins soient demandés et réalisés lors d'une IA. Cela sous-entend que l'appareil n'est pas prêt. Pour rappel, l'IA est, selon l'article 45 de l'arrêté du 7 août 2009, une vérification par une personne indépendante et agréée (TIA) des capacités de l'installation. Et modifier un couple de freinage a un impact important. De plus, les essais ayant eu lieu avant les réglages devraient être refaits puisque l'état de l'installation a évolué.

- ***Au cours des pré-essais du 27 et 28 septembre 2021***

En amont de l'IA, les pré-essais réalisés afin d'effectuer des réglages de l'appareil et de vérifier ses temps de freinage, sont émaillés d'incidents : une odeur de brûlé, la piste de freinage qui chauffe puis les pistes qui présentent des dépôts noirs et les garnitures du 2^{d} jeu (neuf), qui voient leur surface se glacer.

Ces informations ont bien été saisies par les agents de S3V. Toutefois, comme des corrections sont apportées et qu'elles sont conclusives (plus d'odeur, plus de dépôt noir, certainement des temps de freinage satisfaisants), l'analyse de la situation n'est pas poussée plus loin[37]. Étant donné l'absence d'information quant à l'évolution des plaquettes, la non perception de la possible mise en butée, l'absence d'enregistrements vitesse / temps et la supposée correction du problème des plaquettes, il n'y a pas eu de détection d'une situation pouvant présenter un risque. Et donc l'inspection annuelle est maintenue pour le lendemain.

Ignorant les valeurs de réglages des cotes le lundi et mardi, et sans graphes des essais réalisés, il n'est pas possible de connaître le comportement de l'installation, d'identifier des précurseurs et de ce fait, mener une analyse d'évitabilité est malheureusement ici irréalisable.

En conclusion, on constate des défaillances au niveau de la saisie d'informations notamment l'absence de lecture de certaines informations, défaillances qui impactent pour partie les défaillances au niveau du diagnostic porté sur la situation et l'absence de réflexion quant au risque encouru. L'accident aurait pu être évité mais ces défaillances ne sont pas la cause de l'événement, elles y contribuent en n'ayant pas pu empêcher le lancement de l'essai fatidique. Ceci conduit à qualifier ces facteurs humains comme contributifs et à identifier un facteur organisationnel concernant la gestion de la sécurité au cours d'une inspection annuelle.

3.11.3 - Les processus de maintenance, la traçabilité des produits et la gestion documentaire

En préalable, il est à noter que la notice générale de réglages et entretien qui est en possession de S3V au moment de l'accident, est celle du téléphérique de Vaujany. Or les freins y sont très différents de La Saulire, il est évident que les pages correspondant à l'entretien et réglages des pinces et des garnitures ne sont pas adéquates. La notice des

37 Étant donné la complexité de l'analyse post accident, nous jugeons cette réaction compréhensible.

pinces ST3 SH est un autre document à part chez S3V, qui a indiqué n'avoir jamais été en possession d'une notice générale de La Saulire. Le manuel global dédié à La Saulire, daté de mars 1987, a toutefois été transmis par Poma aux services de contrôle (STRMTG) dans le cadre de la mise en service de l'appareil.
Plusieurs notices de la pince ont été présentées par les différentes parties au cours des investigations : estampillée Poma ou pas, nous n'avons pas observé de gestion des indices selon les évolutions (mineures) de la notice.

Concernant le stockage des plaquettes au magasin ou à la machinerie de La Saulire, la différence va résider dans les températures subies : le magasin se trouve dans un bâtiment chauffé regroupant tous les services techniques de S3V (serrurerie, magasin, garage d'entretien des véhicules, etc.). La machinerie de La Saulire quant à elle, est située dans la gare inférieure motrice à 2 077 m d'altitude et n'est pas chauffée. Cela peut avoir un impact sur les produits (Berner, garnitures…).

Ensuite, il a été constaté l'absence de traçabilité des références des garnitures montées sur l'installation avant 2019 puis que cela a été amélioré à partir de la grande inspection de 2019. Cela ne permet pas d'être formel sur la chronologie de leurs mises en place et durée de vie – dans le cadre de l'enquête. De plus, cette absence de suivi par l'exploitant de ses consommables entrants et de ce qui est mis en place entraîne une méconnaissance de la réaction de son installation, ni d'une évolution possible.
Heureusement la confusion avec d'autres freins d'autres téléportés de la station de Courchevel n'est pas possible étant donné la spécificité géométrique de ces plaquettes. Nous attirons par ailleurs l'attention sur le risque de tomber sur un lot défectueux lors d'un changement de 8 plaquettes en même temps. Il n'a pas été retrouvé de consigne écrite du constructeur (du téléphérique ou des garnitures) à ce sujet. Aujourd'hui, les constructeurs de téléphériques déconseilleraient de changer les garnitures toutes en même temps.
De plus, le changement de fournisseur et de produit a été réalisé sans suivi ni contrôle ni qualification du nouveau produit. Les garnitures sont traitées comme un consommable ou une pièce d'usure mais pas de sécurité. Pour autant, elles participent activement au maintien du niveau de sécurité de l'installation.

Par ailleurs, les contrôles mensuels sont bien effectués par l'exploitant, en conformité avec l'article 42 de l'arrêté du 7 août 2009. Les valeurs des temps d'arrêt à vitesse nominale des véhicules (à vide) sont enregistrées sur le registre de La Saulire. Les agents font une lecture directe sur l'outil Supreme pour noter les temps obtenus. Ils font aussi une vérification physique sur les pinces de frein : cote garde, état des plaquettes, absence de fuite, libre rotation des axes, etc. Comme La Saulire n'a pas été exploitée durant l'hiver 2020/2021 du fait des restrictions sanitaires, les tests mensuels de cet hiver-là n'ont pas été faits. Les dernières valeurs des temps d'arrêt sont donc :

- Décembre 2020 = F1 à 11,1 s et F2 à 14,5 s (en montée à x = 230 m).
- Mai 2021 = F1 à 11,1 s et F2 à 14,0 s (en descente à x = 1 490 m).
- Juillet 2021 = F1 à 11,2 s et F2 à 14,3 s (en montée à x = 230 m).
- Août 2021 = F1 à 11,8 s et F2 à 8,8 s (en montée à x = 230 m).

Ces valeurs sont très proches – excepté le F2 d'août 2021. Mais comme les cotes de compression des pinces ne sont pas notées, il n'y aura pas de conclusion possible concernant ces temps.

Lors de l'Inspection Annuelle, les réglages sur les organes de sécurité que sont les pinces de frein ne sont pas notés de façon contradictoire après chaque modification des cotes. De plus, les témoignages ne sont pas concordants quant au moyen de lancement des

essais (via ordinateur ou bouton-poussoir). Il n'existe pas de documentation ou de notice à destination de l'exploitant ou du TIA décrivant ce fonctionnement.

Le jeu entre la piste de freinage et la garniture des plaquettes doit être vérifié régulièrement conformément à la notice, que cela soit en fonctionnement normal ou durant les essais réglementaires qui sollicitent fortement les garnitures, afin que l'efficacité de freinage soit toujours assurée. Ce contrôle n'a jamais fait l'objet de relevé, y compris lors de la rénovation de 2010.
Il s'est avéré impossible de mettre les plaquettes et garnitures parallèles à la piste de freinage, ne permettant pas une prise de mesure fiable des cotes.
Or, la vérification de ce jeu aux pré-essais et essais de septembre 2021, a minima la reprise de la cote, aurait permis à S3V de retrouver un jeu correct et s'assurer de l'efficacité des freins, et la perception d'une possible usure rapide des garnitures.

Enfin, l'ensemble de ces observations sur la traçabilité perfectible, le stockage des plaquettes et la gestion de ces stocks, la vérification du jeu entre piste et plaquettes, s'applique aux agents d'exploitation sur le terrain mais également à l'encadrement, dans son rôle de second regard. Le Système de Gestion de la Sécurité (SGS) de S3V en précise les grandes lignes dans son chapitre concernant le dispositif permanent de contrôle et d'évaluation du niveau de sécurité.

3.12 - L’autre téléphérique français aux pinces de freins identiques : le téléphérique de Chantemerle à Serre-Chevalier

Également construit en 1984, ce téléphérique de Chantemerle est un téléphérique bicâble à va-et-vient. D’une longueur de 2 313 m et de dénivelé de 576 m, sa pente moyenne est de 25,75 % et sa pente maximale de 53 %. Il possède 5 pylônes. Le téléphérique est équipé de deux cabines pouvant accueillir 40 personnes debout et 1 cabinier. Le modèle de frein est ST3 SH suivant le plan ATV de référence 11786, donc des pinces identiques à celles de La Saulire mais avec un empilage de 13 rondelles de 6 mm.

Suite à l’accident de La Saulire, le STRMTG a effectué une visite technique au téléphérique de Chantemerle. Il a constaté que l’écrou de précontrainte des rondelles ressort est pratiquement en butée sur l’extrémité du bras. La longueur de sortie de tige du vérin a été mesurée sur site à l’aide d’un réglet : pour le frein F2, la sortie de tige est d’environ 30 mm et pour le frein F1, d’environ 27,2 mm. Ainsi selon le plan ATV, la course encore disponible avant que le frein soit en butée mécanique est de 2,9 mm pour le frein F2 et 0,1 mm pour le frein F1.

Figure 75 - ***Écrou de précontrainte et limite de course sur une pince du frein F1 du téléphérique de Chantemerle*** *(photo STRMTG)*

Le rapprochement des bras de levier côté garniture ayant un débattement d’un tiers de l’écartement des bras côté vérin, le débattement restant peut être traduit par une usure encore possible de chaque garniture avant que le frein ne soit en butée mécanique et soit inhibé de : (2,9/3) / 2 = 0,48 mm pour F2 et de (0,1/3) / 2 = 0,02 mm pour F1.

L’exploitant a également constaté un défaut de parallélisme de plaquettes avec le plan de freinage présent sur F1 (et absent sur F2).

En 2022, des plaquettes neuves ont été installées sur F1 et F2 : le changement des garnitures est fait par rechargement de leur support par une société extérieure. Il s’agit d’un matériau de friction moulé, sans amiante, développé principalement pour des utilisations industrielles. Ses constituants primaires sont des résines, des fibres courtes, des modificateurs de friction et des particules métalliques. Son coefficient de friction µ vaut 0,45 ± 0,05. La température maximum d’utilisation recommandée par le fournisseur est en application continue 250 °C et en application intermittente 350 °C. L’exploitant indique que les garnitures font l’objet d’une usure relativement faible.

Ainsi, en France, un autre téléphérique est équipé de pinces ST3 SH d’ATV : celui de Chantemerle à Serre-Chevalier. Le réglage des cotes s’est avéré laisser aussi peu, voire moins, de débattement du vérin donc des plaquettes. La notice n’était également pas à disposition mais dans les archives de l’exploitant. L’exploitant a immédiatement apporté les corrections nécessaires, notamment sur le réglage du frein F1. Puis il a mis en place un suivi quotidien avec traçabilité des valeurs de réglage. À noter que le coefficient de friction annoncé est plus élevé que celui des garnitures Cosid 132 mais le système global de freinage est différemment installé.

Des pinces ATV sont également en place en France sur des télésièges fixes et des télécabines, mais elles sont de modèles différents (notamment avec de la technologie électromécanique) : la comparaison avec La Saulire n’est pas possible.

4 - Analyse du déroulement de l’accident

La collision du mercredi 29 septembre 2021 entre les cabines et les structures des gares du téléphérique de La Saulire a eu lieu au cours de l’inspection annuelle (opération de maintenance réglementairement obligatoire). Étaient présents trois techniciens de l’exploitant S3V, un Technicien d’Inspection Annuelle de Transcable Halec et un agent du STRMTG.

Les pré-essais de la veille et avant-veille ont présenté une succession d’écarts dans le comportement attendu qui pourront être utiles à notre analyse de l’événement. Nous commencerons donc le déroulement de l’accident et son analyse deux jours avant ladite collision.

- Le lundi 27/09/2021, le matin, la cabine n° 1 est chargée à 100 % de sa capacité avec des lests représentant 11,4 tonnes – la cabine n° 2 restant à vide. L’après-midi, les pré-essais ont lieu. Les tests de freinage ne font pas remonter de défaut particulier, hormis lors des essais du frein F1 de 13 h 35 et 13 h 57 où un temps long de freinage (hors limite) a été observé. À l’issue d’un certain nombre d’essais, la piste de freinage devient tiède et une odeur de brûlé se fait sentir. Les agents de S3V ouvrent alors les pinces de frein et observent l’état des plaquettes (1er jeu).

  Ils les retirent étant donné qu’elles présentent une surface “glacée’’, même si elles ne présentent pas d’usure de leur garniture. Les analyses ultérieures montreront que 4 garnitures sur les 8 plaquettes du 1er jeu présentent une usure – atteignant pour l’une 2,0 mm. Les 8 plaquettes (1er jeu) seront remplacées par un jeu neuf (2d jeu), entre 15 h 23 et 15 h 55 selon les témoignages et l’historique de l’automate.

  Deux tests du F1 et un test du F2 sont réalisés, puis la journée se termine.

- Le mardi 28/09/2021, les essais de préparation se poursuivent : 5 arrêts en freinage F1 et F2 sont effectués. À leur issue, un dépôt noir est visible sur les deux côtés des pistes de freinage de chaque poulie. Plusieurs alarmes ‘‘verrouillages ouverts des pinces’’ sont remontées sur les freins F1 et F2. Les plaquettes présentent un état de surface jugé anormal par l’exploitant : elles sont “glacées” avec de larges traces grises. Aussi pour y remédier, les agents S3V toilent les huit plaquettes (2d jeu) et réalisent un nettoyage complet des pistes de freinage avec du nettoyant Berner. L’automate indique que ceci a lieu entre 14 h 10 et 15 h 10. Ils remettent les garnitures en place en conservant les côtes de réglage de l’année dernière.

  Les essais de freinage reprennent : les premiers essais de freins F1 remontent des alarmes de type “surveillance sens de marche” par l’automate de sécurité, qui apparaissent de façon normale à la fin d’un essai de freinage avec lancement automatique du test. Une analyse ultérieure du produit Berner a été réalisé par le CETIM, indiquant qu’il n’influence pas les caractéristiques des garnitures. Si le produit Berner dégradait l’adhérence, son application aurait dû induire des freinages longs juste après son application puis une amélioration du freinage au fur et à mesure de sa vaporisation. Ceci pourrait expliquer les alarmes de l’automate pour les tests réalisés après le nettoyage.

  Puis un test de frein F2 et un dernier test de frein F1 sont réalisés et ne font pas remonter d’alarme. Les temps sont jugés en adéquation avec leurs attentes. Les odeurs de brûlé, des dépôts noirs et des échauffements ne sont plus observés. L’automate indique un verrouillage de chaque frein (F1 et F2) qui pourrait correspondre à une vérification visuelle par les agents quant à l’état des garnitures des freins F1 et F2 après ces derniers essais.

- Le mercredi 29/09/2021, à l'arrivée du TIA au téléphérique de La Saulire, les mesures de cotes de garde et des cotes de compression sur les 4 pinces de frein sont réalisées en présence des participants (S3V, Transcable Halec et STRMTG).

  Puis ils remontent tous au poste de pilotage de l'appareil. Le technicien TIA installe son appareil de mesure et d'enregistrement sur l'interface de l'automate. Les phases d'essais en charge sont lancées. Le TIA déroule ses essais dans l'ordre retenu lors de la dernière inspection : il demande à ce que soient engagés des essais de freinage F1 (modulés) puis F2 (étagés) et des arrêts électriques, en montée et en descente.

  Lors du test de freinage F1 modulé à la descente à 10 h 27, l'installation freine trop fortement (temps de freinage de 10,6 s). Pour remédier à cela, le conducteur descend en machinerie. Il observe une pince (F1P1) desserrée à 122,0 mm – réglage qu'il ne change pas – et il desserre l'autre pince F1 (F1P2) à 121,6 mm. Cette évolution de la cote de compression, passant de 121,2 à 122,0 mm sans intervention humaine, indique d'une part que le couple appliqué a diminué mais également que l'épaisseur totale des deux garnitures de cette pince a réduit.

  Après cette reprise de réglage, un nouvel essai du frein F1 en descente débute à 10 h 53. Un temps de freinage de 14 secondes est alors observé, ce qui est jugé encore trop court. Le conducteur S3V, peut-être aidé du chef de secteur, desserre un peu plus les freins F1 en réglant les cotes des deux pinces à 122,2 mm et l'essai suivant de 11 h 10 donne un temps de freinage égal à 19 secondes.

  Le dernier temps de freinage (19 secondes) étant jugé trop long, l'agent redescend de nouveau en machinerie et resserre toutes les cotes de compression des rondelles aux mêmes valeurs que le matin, afin de remettre du couple de freinage. L'essai suivant à 11 h 23 donne un temps de freinage de nouveau à 19 secondes.

  Suite aux reprises de réglage des freins F1, les cotes de garde ont été à chaque fois contrôlées à 30 mm, les entrefers n'ont eux pas été contrôlés. Il est à noter qu'aucune reprise de réglage n'a été effectuée sur les pinces du frein F2.

  Des discussions ont certainement lieu entre les personnes présentes dans le poste de pilotage. À 11 h 41, l'alarme "Verrouillage ouvert frein 1", acquittée après 9 minutes, pourrait correspondre à une vérification visuelle par les agents quant à l'état des garnitures des freins F1. Un essai est engagé à 11 h 53 pour un frein F1 en montée, jugé satisfaisant (essai en montée).

  Un autre essai de F1 en descente est lancé à 11 h 59 : le frein F1 s'applique puis au bout de 4,5 secondes, étant donné la faible décélération, le frein F1 est desserré et le F2 est appliqué. Puis 22 secondes plus tard, le F1 régulé agit automatiquement en complément du F2. Le temps total d'arrêt de l'installation est 30 secondes. Durant cet essai, le frein F1 ne s'est pas comporté comme attendu, tout comme le frein F2 – preuve en est le cumul nécessaire des freins (aidés du profil de la ligne qui s'aplatit) pour arrêter les cabines. Des alarmes sont émises par l'automate de sécurité lors de cet essai. L'essai est considéré "non valide" par le technicien d'inspection annuelle.

  Le dépôt noir s'est reformé sur les pistes de freinage, l'odeur est revenue.

  Au regard des résultats des essais des freins F1 lors de cette matinée du 29/09/2021, l'ensemble des participants s'entend pour arrêter les essais et reporter l'inspection annuelle.

- Suite aux résultats précédents et aux réglages sur les pinces de frein F1, l'exploitant souhaite vérifier le réglage des pinces du frein F2, dont les capacités sont les plus visibles en freinage à la descente : un dernier essai est demandé par les agents S3V. Aucune objection n'est émise, le câblage de l'ordinateur du TIA sur l'armoire de commande est maintenu en place.

À 12h10:19, le conducteur lance donc l'essai F2MST. La cabine n° 1 est positionnée en gare amont. Elle descend, l'accélération de l'appareil est pilotée manuellement via le potentiomètre disponible au pupitre, l'installation atteint la vitesse de 11 m/s.

La cabine chargée franchit le point de lancement de l'essai : la traction est coupée automatiquement et le pilotage de la tombée du frein est engagé. Mais au lieu de réduire, la vitesse augmente. Des défauts et alarmes sont enregistrés par l'automate. Le système mécanique de détection de survitesse se déclenche, la survitesse est également détectée par l'automate ainsi que le non-ralentissement du téléphérique ("contrôle décélération").

L'installation continue à prendre de la vitesse. Le conducteur essaye de l'arrêter en utilisant tous les boutons-poussoirs d'arrêt sur le pupitre. Mais les investigations montreront que le frein d'urgence était déjà commandé. L'électricien coupe l'alimentation électrique de l'armoire de commande derrière lui par le biais d'un sectionneur. La vitesse atteint probablement les 16,5 m/s. Une partie des données de vitesse est écrêtée du fait de la plage de mesure (acquisition de 0 à 10 V) et la saturation de certains composants.

À partir de la coupure de traction et jusqu'à l'écrêtage des données, l'accélération est quasi constante et en moyenne est égale à 0,38 m/s².

La cabine n° 1 descendante croise la cabine n° 2 montante et approche du pylône. La vitesse décroît jusqu'à l'arrivée de la cabine descendante au niveau du pylône puis augmente de nouveau par oscillations.

Les participants sortent tous du poste de commande. Le responsable électrique descend en machinerie, le conducteur le suit. Ils voient les freins qui sont tombés (serrés donc), de la fumée s'échappe des quatre pinces. Croyant que les moteurs sont encore en action, raison de l'accélération des cabines au lieu de leur freinage, ils coupent les armoires de puissance mais cela n'a pas d'effet.

L'installation ralentit un peu (possiblement du fait du profil de la ligne qui s'aplanit) et la cabine n° 1, chargée de 11,4 tonnes d'eau, heurte la gare aval à une vitesse d'environ 8 m/s soit 30 km/h. Le téléphérique s'arrête de fait. Entre la coupure de la traction et le choc, il s'est écoulé 1 minute et 47 secondes.

Il n'y a pas eu de blessé.

Les deux cabines sont très endommagées : en gare aval, la cabine s'est encastrée sur environ 1,50 m dans la structure du quai et de la gare ; en gare amont, l'autre cabine est restée coincée dans la structure de la gare, pliant son châssis et sa suspente. Les attaches au câble tracteur des deux cabines sont également touchées.

On observe plusieurs éléments :

- Les freins sont plaqués sur les pistes de freinage.
- Les traces noires sont présentes de chaque côté des deux pistes de freinage.
- Les garnitures impliquées dans l'accident (2^{d} jeu) sont usées de 1,3 mm à 1,4 mm pour les pinces de frein F1 et de 0,8 à 1,0 mm pour les pinces de frein F2.
- Les cotes de garde sont passées de 30 mm à ± 27 mm pour toutes les pinces de frein. Les cotes de compression des rondelles ont augmenté de l'ordre de 3 mm.
- Des résidus sont observés sous les pinces du frein F1, moins sous celles du F2.
  Ils proviennent probablement des plaquettes d'après leur composition grandement similaire, avec pour certaines un enrichissement en fer possiblement dû à un frottement sur la piste de freinage en acier.
- Des garnitures présentent des traces de températures élevées, a minima 160 °C.

- Aucune anomalie de fonctionnement de la commande et du pilotage des freins, ni d'anomalie de réponses des pinces de freins n'est enregistrée.
- Le frein F1 vient en soutien du F2 après le délai d'anti-cumul et un temps supplémentaire possiblement lié à la coupure de l'alimentation électrique via le sectionneur dans le poste de commande.

Au fur et à mesure de la matinée du 29 septembre 2021, on observe globalement une évolution décroissante des décélérations, avec des réglages manuels concernant uniquement la cote de compression des rondelles du frein F1. Cette dérive de la capacité de freinage de l'installation est observée sur les deux types de freins F1 et F2. Toutefois, cette évolution des temps de freinage au regard des réglages n'est pas détectée par les participants aux essais d'inspection annuelle.

Les analyses ont montré que :

- De 2010 à 2020, les temps de freinage ont globalement diminué au fur et à mesure des inspections annuelles, en considérant un réglage de l'entrefer pérenne entre ces inspections annuelles. Principalement, les essais ''F1 plein couple descente'' et ''F2 plein couple descente'' diminuent respectivement de 3,8 et 3,3 s. Une variation dans les temps de freinage obtenus est observable à partir de 2019. Les cotes de compression et les cotes de garde restent sensiblement les mêmes d'année en année. Toutefois, une variation d'1 mm peut avoir un impact notable sur le freinage.
- Les plaquettes ont été changées le 27/09/2021 au cours des pré-essais, les plaquettes installées sont de type Cosid 132 et celles démontées également de type Cosid 132. En 2019, ce sont des plaquettes G95 qui sont démontées et 8 nouvelles plaquettes en Cosid 132 sont installées (très probablement pour la première fois sur le téléphérique).

  Or le CETIM a comparé différentes garnitures (Cosid 132 neuves, du 1er jeu, du 2d jeu, garnitures G95 en place avant les Cosid 132) et aucune différence de nature, ni aucune pollution, n'ont été mises en évidence par les analyses directes sur les plaquettes.
- Étant donné que les performances de freinages du F1 et du F2 se dégradent au fur et à mesure de la matinée jusqu'à être inacceptables lors des tests de 11 h 23 et 11 h 59, nous considérons probable l'hypothèse que les garnitures à l'issue de l'accident ont été dégradées avant l'engagement du test fatidique.

Avec un tel réglage (cote de garde à 30 mm), le plan des pinces montre que le débattement maximum du vérin sous l'action de la libération de la pression hydraulique et de la force des rondelles Belleville est de 2,8 mm. Cela autorise un déplacement de 0,9 mm des plaquettes. Comme il y a 2 plaquettes, si l'usure est bien symétrique, la limite de la capacité des plaquettes à être mises en contact normalement sur la piste de freinage est de 0,45 mm. Il est à préciser que cette information sur le débattement existe dans la documentation depuis la mise en service de l'appareil et se trouve rappelée dans la modification de 2010.

Lors de la vérification du circuit hydraulique, on observe une dissymétrie de l'effort de freinage sur le frein F2, induisant une sursollicitation de F2P1 aux dépens de F2P2. Les charges sont donc absorbées en grande partie par une seule pince lors d'un freinage. Alors les garnitures équipant la pince la plus contrainte s'échauffent nettement plus que celle de l'autre pince. Elles subissent une usure accrue en raison de cette charge thermique anormalement élevée. Quand la première pince atteint la butée dans la chambre du piston, à force d'usure de ses garnitures, ce sera au tour des garnitures de la seconde pince de supporter la majorité des contraintes de freinage et de subir, à son tour un échauffement et donc une usure importante.

Les pinces du frein F1 présentent également un déséquilibre – sans en connaître la cause : dans les constats, F1P1 s'use plus vite que F1P2 (cote de compression augmente de 9 h 20 à 10 h 30) et après l'accident F1P1 est en butée mais pas F1P2.

L'usure des garnitures de F1 (1,3-1,4 mm) est plus importante que celle des garnitures de F2 très probablement du fait que le F1 a été plus sollicité que le F2 pendant les 2 jours qui ont précédé l'accident.

Enfin, les réglages de la pince ont permis de reprendre le jeu et poursuivre l'usure jusqu'à 1,3-1,4 mm pour F1 et 0,8-1,0 mm pour F2.

La cause première de la collision des cabines contre les structures des gares est la capacité réduite de freinage de l'installation. Cette capacité s'est dégradée dans la matinée au cours des essais, avec le dernier essai avant l'accident se déroulant de façon anormale.

Deux facteurs entrent en compte :

1- l'usure inhabituelle des garnitures Cosid 132 ne correspondant pas à l'attendu sur le téléphérique de La Saulire, dépassant ainsi l'usure admissible des plaquettes de frein qui aurait dû rester limitée à 0,45 mm ; et

2- la mise en butée rapide des pinces de frein via un débattement réduit du piston dans sa chambre, du fait du réglage de la cote de garde à 30 mm. Cette contrainte existant depuis 1985 était méconnue par les agents de S3V présents lors de l'IA.

L'absence de détection de ce risque de butée et l'absence de la détection de l'usure par capteur ou mesure manuelle ont empêché un rattrapage possible de l'événement.

Bien que le temps supplémentaire avant l'entrée en action du F1 (et de ses capacités restantes à ce moment-là) ne peut pas être corrélé à une aggravation de l'accident, il est dommage que le F1 ne soit pas entré en application plus tôt – tout en respectant la réglementation.

Le déséquilibre entre les pinces du frein F2, et potentiellement celui entre les pinces du frein F1, a pu contribuer à une reprise des efforts sur une pince en priorité puis sur l'autre une fois les premières garnitures trop sollicitées.

Un facteur contributif concerne les défaillances au niveau de l'identification, de l'utilisation et de l'analyse des informations fournies par le système aux différents intervenants au cours des essais, les empêchant de détecter le risque et d'éviter l'accident. Les multiples réglages de la cote n'ont pas dû améliorer la visibilité sur le comportement des freins.

Enfin, une hypothèse est proposée : sur ce téléphérique de La Saulire, les deux seuls changements notables sont la modification de 2010 et le changement de type de garnitures avec la mise en place de la garniture Cosid 132 en juin 2019. L'usure des garnitures Cosid 132 sur La Saulire a été importante, très probablement du fait des températures élevées subies par les garnitures. Le coefficient de friction en a certainement été impacté, sachant que la valeur de ce coefficient sur le téléphérique de La Saulire ne peut être garantie par le fournisseur puisque dépendante de la matière de la surface avec laquelle elle interagit et du système de freinage dans sa globalité. Or il n'y a pas eu de calcul ni de qualification / essais de la garniture Cosid 132 remplaçant la G95 vis-à-vis du téléphérique de La Saulire. C'est pourquoi nous émettons l'hypothèse d'une probable inadéquation de la garniture Cosid 132 avec le système de frein de La Saulire.

5 - Analyse des causes et facteurs associés, orientations préventives

5.1 - L’arbre des causes

Les investigations permettent d’établir le schéma ci-après : il synthétise le déroulement de l’accident et identifie les causes et les facteurs associés mis en évidence par le BEA-TT.

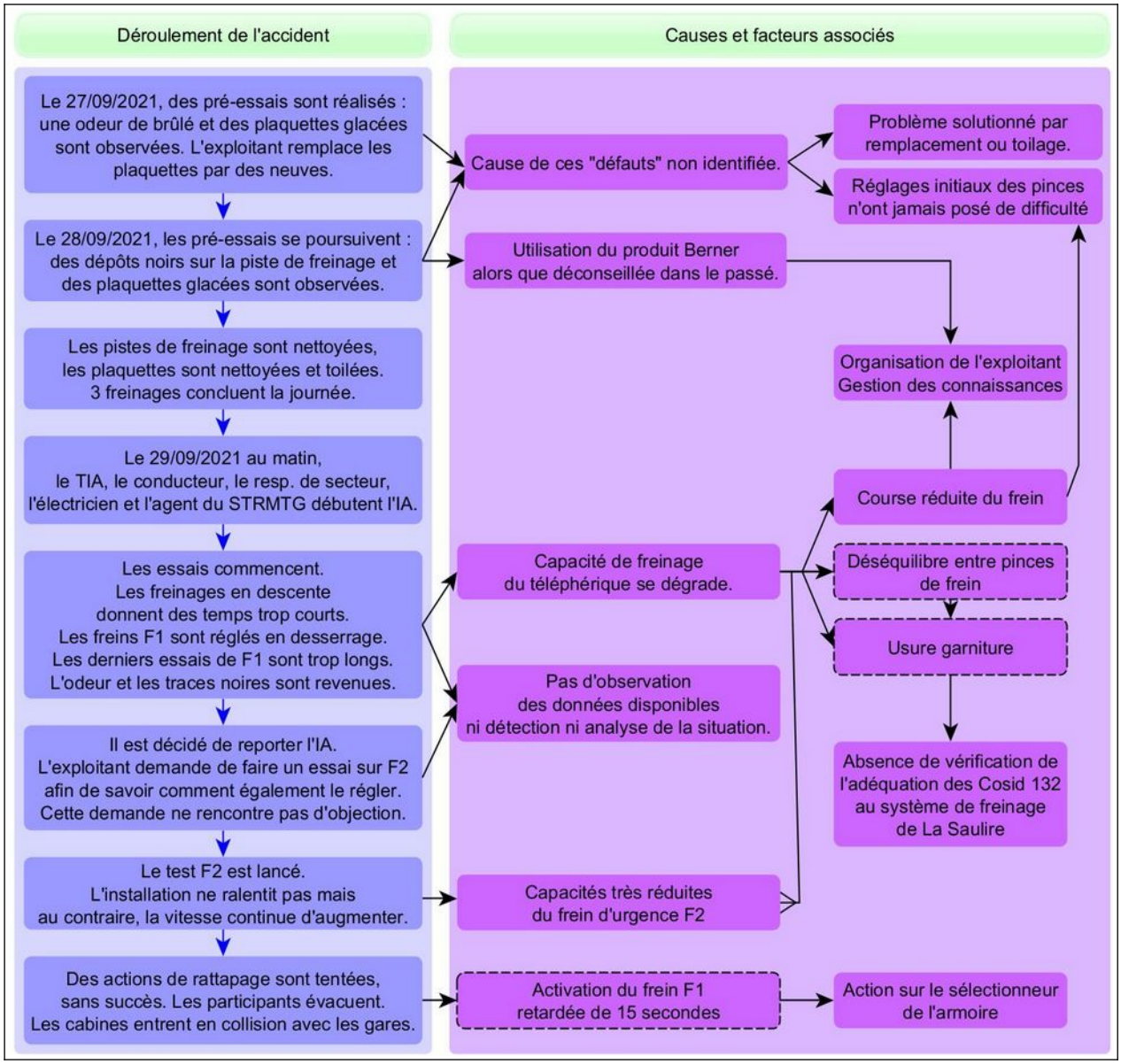


Figure 76 - ***Arbre des causes***

5.2 - Les causes de l’événement

Le 29 septembre 2021 à 12 h 10, lors de l’inspection annuelle, un des essais de freinage se déroule mal : au moment du déclenchement du test de frein d’urgence en descente, la vitesse de l’installation – 11 m/s – augmente au lieu de diminuer. Or un serrage des pinces du frein d’urgence puis des pinces du frein de service 33 secondes plus tard ont bien eu lieu. La vitesse atteint un maximum puis, globalement, diminue – mais insuffisamment. Les cabines ne s’arrêtent pas et heurtent respectivement les gares amont et aval à une vitesse de 8 m/s.

La cause première de la collision des cabines contre les structures des gares est la capacité réduite de freinage de l'installation. Cette capacité de freinage s'est dégradée dans la matinée au cours des essais, avec les deux derniers essais avant l'accident se déroulant de façon anormale.

Plusieurs facteurs techniques, organisationnels et humains ont contribué à l'événement :

- L'usure inhabituelle des garnitures et l'absence de vérification de la compatibilité des garnitures Cosid 132 avec le système de freinage de La Saulire.
- La non-perception par les cinq participants à l'inspection annuelle de la dégradation de capacité de freinage des deux freins.
- La méconnaissance par les acteurs de l'inspection annuelle, notamment chez l'exploitant, quant à la mise en butée possible d'une pince de frein et de la marge restante très faible du fait des réglages des cotes.

Les orientations préventives visant à éviter le renouvellement d'un tel événement sont à rechercher dans les domaines suivants :

- la compatibilité de nouvelles garnitures avec une installation et son système de freinage ;
- la conscience du risque au cours d'une inspection annuelle ;
- la traçabilité (des documents et des produits) et la gestion des connaissances au sein de l'exploitant.

5.2.1 - La compatibilité de nouvelles garnitures avec une installation et son système de freinage

À l'issue des investigations, nous avons émis l'hypothèse d'une probable inadéquation de la garniture Cosid 132 avec le système de frein de La Saulire. Quel que soit le degré de certitude de cette hypothèse et de manière similaire aux homologations routière et ferroviaire, au moment du changement du type de garnitures de la G95 vers la Cosid 132, des essais et mesures de vérification du comportement de la nouvelle garniture en rapport avec le téléphérique de La Saulire auraient permis de quantifier l'efficacité de cette nouvelle garniture, de vérifier à quel rythme elle s'use, d'enregistrer le comportement de la garniture et ainsi pouvoir, le cas échéant, faire évoluer le processus de vérification régulière et de réglage des freins.

En outre, nous avons constaté que la course réduite du frein (mise en butée rapide) est un facteur contributif de l'accident, en lien étroit avec le degré d'usure des garnitures.

Avec le retour d'expérience de La Saulire, le postulat que le frein d'urgence / de sécurité ne peut défaillir, a été mis à mal. L'accident du 29/09/2021 nous rappelle que l'ensemble des éléments de cette fonction de sécurité participe à la maîtrise du risque.

À noter que les funiculaires peuvent avoir des systèmes de freinage concernés par la problématique, de façon similaire aux téléphériques.

L'ensemble de ces éléments conduit le BEA-TT à émettre la recommandation suivante.

Recommandation R1 à l'attention du STRMTG

Afin de vérifier et d'améliorer la gestion des interfaces entre les garnitures et le système de freinage, mener les actions suivantes sur les installations de téléphériques et de funiculaires :

- **Avec la profession, mettre en place un processus de vérification de l'adéquation des garnitures des freins avec l'installation correspondante lors d'un changement de référence des garnitures.**

- **Faire vérifier par les exploitants le risque d'atteinte d'une butée mécanique sur les pinces de freins (identifier si butée, vérifier les réglages adéquats, couvrir le risque le cas échéant).**
- **Enfin, lors d'une modification ou d'un remplacement d'un système de freinage sur une installation existante, privilégier la mise en place d'un dispositif de détection d'usure de plaquettes.**

Le BEA-TT invite également l'ensemble des exploitants de téléphériques – et de funiculaires – à vérifier la bonne surveillance (processus interne ou capteur) de l'épaisseur des garnitures de frein de leurs installations.

Cet accident a permis de réaliser un focus sur les garnitures de frein. Toutefois, d'autres éléments d'une remontée mécanique pourraient être concernés de façon similaire, en étant considérés comme consommables ou pièces d'usure mais dont leur modification aurait un potentiel impact sur la sécurité du système (exemple : garniture de bandage, huile de centrale de frein, etc.).

C'est pourquoi ***le BEA-TT invite les exploitants de téléphériques et de funiculaires à s'assurer lors d'un changement de matière, de fabrication ou toute autre évolution d'un élément de sécurité ou pièce d'usure de leur.s installation.s, que l'impact de la modification sur la sécurité est évalué.***

L'accident a eu lieu alors qu'un outil de collecte d'informations était branché. Toutefois, les investigations ont été limitées par le manque de données des jours précédant l'inspection annuelle. Dans l'esprit des enregistreurs de paramètres d'exploitation présents sur les matériels roulants métro et tramway, et celui du Guide technique relatif à la conception générale et à la modification substantielle des téléphériques RM2 (version 2023), le BEA-TT émet la recommandation suivante.

Recommandation R2 à l'attention du STRMTG

Pour les projets de téléphériques, imposer l'enregistrement de la vitesse de l'installation, la date et heure, la distance parcourue ou localisation, l'état (ouvert / fermé) des freins F1 et F2, et tout autre paramètre pertinent à déterminer en plus des défauts et alarmes – même lorsqu'ils ne sont pas encore acquittés.

Entre autres inconnues, le déséquilibre entre les pinces du frein F2 n'a aujourd'hui pas trouvé d'explication. Or l'installation de La Saulire va être rénovée avec notamment un nouveau câble tracteur, le remplacement des deux véhicules ainsi que de tout le système de freinage, de toutes les armoires de puissance, auxiliaires et de commande, le remplacement des trois moteurs principaux par des moteurs asynchrones avec ajout de volants d'inertie, le remplacement des capteurs et codeurs, etc. Le calcul de ligne d'origine n'est pas remis en cause et les gares ainsi que le pylône sont conservés. Cette opération, réalisée avec le constructeur Poma et avec DCSA comme responsable de modification, sera conforme à la réglementation technique et de sécurité en vigueur. Ainsi, **étant donné la rénovation importante prévue, le BEA-TT n'émet pas de recommandation spécifique se rapportant au téléphérique de La Saulire.**

Un autre téléphérique français, Chantemerle, à Serre-Chevalier, est équipé de pinces ST3 SH d'ATV. Étant donné que l'exploitant a immédiatement apporté les corrections nécessaires, notamment sur le réglage du frein F1, et mis en place un suivi quotidien avec traçabilité des valeurs de réglage, ***le BEA-TT invite l'exploitant du téléphérique Chantemerle, SCV Domaine Skiable, à poursuivre sa vigilance et sa traçabilité sur le réglage des freins.***

5.2.2 - La conscience du risque au cours d'une inspection annuelle

À l'issue des investigations sur les facteurs organisationnels et humains, la conscience du risque encouru du fait des installations poussées à leurs limites au cours d'une inspection annuelle n'apparaît pas ancrée dans l'esprit des participants. Les inspections annuelles sont des essais réglementaires dont le but est de s'assurer du maintien de la sécurité de l'installation. Ce sont des essais habituellement menés sous des contraintes temporelles fortes et avec un objectif d'obtention de temps de freinage adéquats au regard de la réglementation. Il semble pertinent de remettre la sécurité au cœur de ce contrôle réglementaire. L'absence de détection du risque croissant de dégradation de la capacité de freinage par les trois acteurs met également en exergue le manque de clarté entre le rôle du TIA et le rôle de l'exploitant, donc l'absence d'identification d'un pilote ou chef sécurité, dont l'une des missions serait de s'assurer que le niveau de sécurité est maintenu à tout moment.

Par ailleurs, en temps normal, après une inspection annuelle, les garnitures de frein ne sont pas remplacées, elles sont considérées / supposées encore bonnes. Dans le cas de La Saulire, si les essais avaient été arrêtés après celui de 11 h 59, l'installation était dans un état potentiellement à risque, ce sont ici quasiment des essais destructifs qui ont été réalisés. À l'issue d'une Inspection Annuelle, le risque de garnitures dégradées n'est ainsi pas à exclure. Et de façon générale, après toute IA aboutissant sans événement et de façon conclusive, aucune vérification de l'état de l'appareil n'est aujourd'hui prévue. De plus, lorsque des réglages sont effectués sur une installation au cours de son Inspection Annuelle, il est pertinent de vérifier leurs impacts sur les essais et sur l'appareil. C'est pourquoi le BEA-TT émet la recommandation suivante.

Recommandation R3 à l'attention du STRMTG

En coopération avec les exploitants de téléphériques et les techniciens d'inspection annuelle, déterminer des règles organisationnelles et méthodologique remettant la sécurité au centre de ces essais réglementaires, notamment en :
– entérinant clairement la répartition des rôles entre exploitant et technicien d'inspection annuelle, notamment pour la maîtrise de la sécurité de l'installation,
– analysant tout réglage du système de freinage au cours de l'IA mais également au cours des pré-essais et
– vérifiant à l'issue de l'inspection annuelle l'état des éléments qui ont pu être modifiés ou impactés par les essais.

5.2.3 - La traçabilité des documents et des produits, et la gestion des connaissances au sein de l'exploitant

Des problématiques liées à l'absence de traçabilité des documents et des garnitures ont été soulevées au cours des investigations (références des garnitures achetées, stockées et installées sur le téléphérique, surveillance régulière du jeu entre garnitures et disque, notice du téléphérique, gestion des indices selon les évolutions de la notice des freins, stockage adéquat des produits, gestion de l'alerte sur l'usage déconseillé du Berner

en 2013). C'est pourquoi le BEA-TT émet une première recommandation concernant l'amélioration du SGS de l'exploitant.

Recommandation R4 à l'attention de l'exploitant S3V

Dans le cadre du Système de Gestion de la Sécurité, améliorer la traçabilité des documents, des produits et des actions réalisées sur l'ensemble de l'exploitation et de la maintenance des remontées mécaniques sous sa responsabilité.

D'autre part, la présence de la butée dans le frein – donc la sensibilité par rapport à l'usure des plaquettes – et la nécessité de surveiller le jeu aux garnitures n'étaient pas connues par l'ensemble des agents de l'exploitant en charge de ce téléphérique.

De plus, sans pouvoir identifier si ce facteur a contribué à l'aggravation de l'accident étant donné l'état des freins F1 avant même le lancement du test fatidique, les 15 secondes supplémentaires avant application du frein de service F1 sont dues à une action extérieure à l'automatisme sur le sectionneur de l'armoire. Le sectionneur n'a pas pour but d'arrêter au plus tôt l'installation mais de couper l'alimentation en cas d'incendie ou d'électrocution.

Par ailleurs, l'observation d'éléments (épaisseur des garnitures, différentes cotes dont l'entrefer, température du disque de freinage, enregistrement des graphes sur l'outil informatique Suprême) suite aux incidents lors des pré-essais et des essais avant l'accident aurait peut-être permis à l'exploitant de détecter puis analyser la situation ou a minima, de réaliser des mesures pour débuter une analyse interne de l'incident.

Le BEA-TT émet donc la recommandation suivante.

Recommandation R5 à l'attention de l'exploitant S3V

Améliorer la formation des agents, notamment concernant la bonne connaissance des installations et de leurs limites ; et améliorer l'analyse des incidents (détection des précurseurs, perception des situations anormales, profondeur d'analyse, évaluation des actions correctives).

Le téléphérique de La Saulire était certes un appareil de quarante ans et pour lequel la mise en service n'a pas été simple, notamment le réglage initial des freins. Il y a un flou sur l'applicabilité de la notice au début de l'exploitation. Le fait que l'exploitant n'effectue pas le réglage à partir du jeu et d'une cote freins ouverts à 40 mm, a réduit le débattement possible du piston dans la chambre, rendant rapide une atteinte de la butée en cas d'usure des garnitures. Aujourd'hui, des capteurs sont couramment installés pour ce faire, voire des mécanismes de réglage automatique permettent de tenir compte de l'usure des plaquettes de freins. Pour rappel, la norme EN 13223 demande que « l'usure des garnitures de frein doit pouvoir être compensée par des réglages ; dans le cas du frein de service, elle doit être surveillée » et que « la course résiduelle qui doit subsister dans un frein fermé doit être contrôlable ».

À la lumière de ce retour d'expérience, ***le BEA-TT invite les exploitants de téléphériques – et de funiculaires le cas échéant, si besoin appuyés par les constructeurs, à veiller à ce que cette surveillance et contrôlabilité, si faite par des agents, soient évidemment réalisables, et aisées.***

Annexe : décision d'ouverture d'enquête

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

BEATT
Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de transport Terrestre

Le Directeur

La Défense, le 13 OCT. 2021

DECISION

Le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre,

Vu le Code du tourisme et notamment l'article L. 342-8 ;

Vu le Code des transports et notamment les articles L. 1621-1 à L. 1622-2 et R. 1621-1 à R. 1621-26 relatifs, en particulier, à l'enquête technique après un accident ou un incident de transport terrestre ;

Vu les circonstances de la collision des deux cabines avec les gares du téléphérique de La Saulire à Courchevel (73) survenue le 29 septembre 2021 ;

décide

Article 1 : Une enquête technique est ouverte en application des articles L. 1621-1 et R. 1621-22 du Code des transports concernant la collision de deux cabines du téléphérique de La Saulire avec les structures de leurs gares respectives survenue le 29 septembre 2021 dans la station de Courchevel en Savoie.

Jean-Damien PONCET

Grande Arche – Paroi Sud 92055 – LA DEFENSE CEDEX
Tél. : 01 40 81 21 83 – Mél : bea-tt@developpement-durable.gouv.fr
www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr

Règlement Général de Protection des Données

Le bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre (BEA-TT) est investi d'une mission de service public dont la finalité est la réalisation de rapports sur les accidents afin d'améliorer la sécurité des transports terrestres (articles L. 1621-1 et 1621-2 du code des transports, voir la page de présentation de l'organisme).

Pour remplir cette mission, les personnes chargées de l'enquête, agents du BEA-TT habilités ainsi que d'éventuels enquêteurs extérieurs spécialement commissionnés, peuvent rencontrer toute personne impliquée dans un accident de transport terrestre (article L. 1621-14) et recueillir toute donnée utile.

Ils traitent alors les données recueillies dans le cadre de l'enquête dont ils ont la responsabilité uniquement pour la seule finalité prédéfinie en garantissant la confidentialité des données à caractère personnel. Les rapports d'enquêtes sont publiés sans le nom des personnes et ne font état que des informations nécessaires à la détermination des circonstances et des causes de l'accident. Les données personnelles sont conservées pour une durée de 4 années à compter de la publication du rapport d'enquête, elles sont ensuite détruites.

Le traitement « Enquête accident BEA-TT » est mis en œuvre sous la responsabilité du BEA-TT relevant du ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires (MTECT). Le MTECT s'engage à ce que les traitements de données à caractère personnel dont il est le responsable de traitement soient mis en œuvre conformément au règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données (ci-après, « *règlement général sur la protection des données* » ou RGPD) et à la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés.

Les personnes concernées par le traitement, conformément à la législation en vigueur, peuvent exercer leurs droits auprès du responsable de traitement : **droit d'accès aux données, droit de rectification, droit à la limitation, droit d'opposition.**

Pour toute information ou exercice de vos droits, vous pouvez contacter :

1- Le responsable de traitement :

- par mail à l'adresse : **bea-tt@developpement-durable.gouv.fr**
- ou par courrier (avec copie de votre pièce d'identité en cas d'exercice de vos droits) à l'adresse :

Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires
À l'attention du directeur du BEA-TT
Grande Arche - Paroi Sud, 29e étage, 92055 LA DEFENSE Cedex

2- Le délégué à la protection des données (DPD) du MTECT :

- par mail à l'adresse **: dpd.daj.sg@developpement-durable.gouv.fr** ;
- ou par courrier (avec copie de votre pièce d'identité en cas d'exercice de vos droits) à l'adresse :

Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires
À l'attention du Délégué à la protection des données
SG/DAJ/AJAG1-2
92055 La Défense cedex

Vous avez également la possibilité d'adresser une réclamation relative aux traitements mis en œuvre à la Commission nationale informatique et libertés (3 Place de Fontenoy - TSA 80715 - 75334 PARIS CEDEX 07).

Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre

Grande Arche - Paroi Sud
92055 La Défense cedex
Téléphone : 01 40 81 21 83
bea-tt@developpement-durable.gouv.fr
www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr