



MILLAU 2013

GRANDE TYROLIENNE SUR CORDE

du 10 au 18 mai 2013

RAPPORT FINAL



Une opération coordonnée par le **SPÉLÉO SECOURS FRANÇAIS**

Sommaire

CONTEXTE DE RÉALISATION	4
MAITRISE D'OUVRAGE	5
ÉQUIPE TECHNIQUE.....	5
Coordination générale	5
A la recherche, au repérage des sites, aux démarches administratives	5
Calculs.....	5
Technique.....	5
IMPLANTATION GÉOGRAPHIQUE	6
VUE 3D DE L'IMPLANTATION.....	7
VUE D'ENSEMBLE	8
SIMULATIONS PRÉPARATOIRES.....	9
MISE EN PLACE HÉLIPORTÉE DE LA CORDE.....	10
Franchissement des routes	10
Franchissement du réseau électrique ERDF	10
LA CORDE.....	12
Essai d'allongement	12
Essais de résistance après usage.....	12
INSTRUMENTATION TECHNIQUE	13
Les poulies	13
Échauffement généré	13
Tensions appliquées à la corde.....	15
Tension initiale et maximale	15
Mesure de la vitesse	16
Le coefficient de traînée et coefficient de frottement de la poulie	18
INFLUENCE DU VENT	18
Impact théorique.....	18
Analyse préalable du problème	19
MOYENS MIS EN ŒUVRE POUR LA MESURE DU VENT	20
Conclusion.....	21
DÉSINSTALLATION DE LA TYROLIENNE.....	22
SCENARIOS DE DEPOSE DE LA CORDE	22
Analyse entre les simulations et la pratique	24

MESURAGE DE LA TYROLIENNE.....	24
Levé au théodolite	24
Relevé au GPS différentiel	24
Conclusion.....	27
 CARTE D'IDENTITÉ DE LA TYROLIENNE DE MILLAU	30
 LE PROCES VERBAL DE LA BRIGADE DE GENDARMERIE DE LA CAVALERIE	31
 PARTENAIRES.....	32



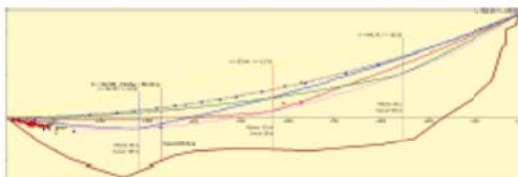
Vue d'un passager par brouillard sur la tyrolienne « Millau 2013 »

CONTEXTE DE RÉALISATION

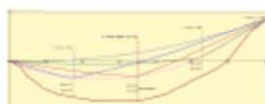
Dans le cadre de l'organisation du congrès de spéléologie « MILLAU 2013 », une manifestation d'ampleur nationale destinée à commémorer le cinquantième de la création de la Fédération française de spéléologie, le Spéléo secours français (SSF) a expérimenté la mise en place et la gestion d'une tyrolienne provisoire de 2205 m de portée pour 383 m de dénivelé.

Cette tyrolienne d'exception constituait la poursuite d'une campagne d'essais débutée par le SSF sur ce type d'installation en 1996, continuée depuis 2008 sur la thématique des longues portées.

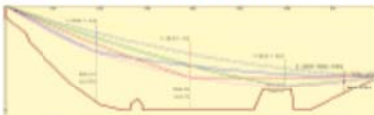
2008 : Tyrolienne Pierre Rias (1 096 m, -245 m)



2009 : Tyrolienne du Pouzin, Tour de France (700 m)



2010 : Tyrolienne MJC Rodez (860 m, -70 m)



2013: Tyrolienne Millau 2013 (2 131 m, -383 m)

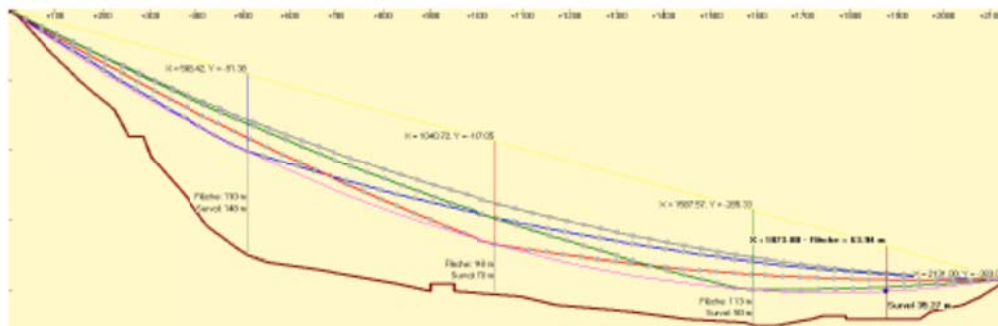


Figure 1. Les tyroliennes réalisées de 2008 à 2013 représentées à la même échelle.

MAITRISE D'OUVRAGE

Le Spéléo secours français, commission technique spécialisée de la Fédération française de spéléologie, association agréée par la Direction générale de la Sécurité civile et de la gestion des crises (DGSCGC), a assuré la maîtrise d'ouvrage de cette réalisation.

Celle-ci a été conduite en étroite collaboration avec le Comité spéléologique régional de Midi-Pyrénées, co-organisateur de la manifestation « MILLAU 2013 ».

ÉQUIPE TECHNIQUE

Le SSF a fait appel à un certain nombre de ses spécialistes pour la conception du projet puis sa réalisation sur le terrain.

Coordination générale

Bernard TOURTE

Président du Spéléo secours français

En charge du concept, de l'étude, du développement, de la coordination et de la mise en œuvre technique des projets de grandes tyroliennes au sein du SSF (tyroliennes de Vercors 2008, Ardèche 2009, Rodez 2010 et Millau 2013).

A la recherche, au repérage des sites, aux démarches administratives

Jean-Pierre GRUAT

En charge de l'organisation générale du congrès national des cinquante ans de la Fédération française de spéléologie,

Instigateur de l'idée d'une tyrolienne d'exception pour les cinquante ans de la FFS, acteur essentiel pour la recherche des sites potentiels, leur repérage et pour l'ensemble des démarches administratives nécessaires à la réalisation effective de cette tyrolienne.

Chantal CUSSAC

Actrice de l'ombre, présente sur tous les fronts : recherche de sites, démarchage administratif, négociations sensibles avec les propriétaires, appui médiatique et soutien technique durant toute la phase de mise en œuvre de cette tyrolienne.

Eric BOYER

Trésorier de l'organisation du congrès des cinquante ans de la FFS, fortement impliqué sur la recherche des sites potentiels d'implantation de la tyrolienne, sur leur repérage et sur l'ensemble des démarches administratives nécessaires à l'opération.

Calculs

Jean-Pierre CASSOU

Développeur de programmes et expert en simulation expérimentale.

Laurent MOREL

Expert en instrumentation de mesure.

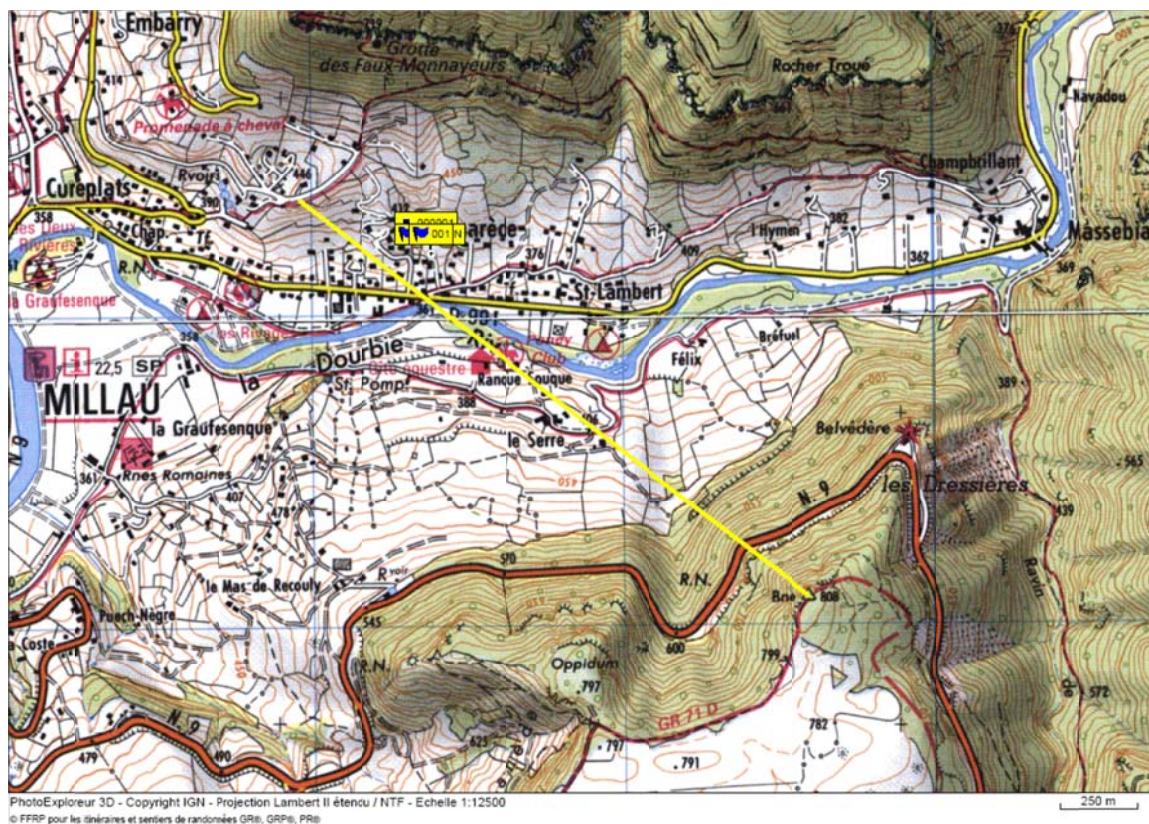
Baudouin LISMONDE

Expert en calculs dynamiques.

Technique

Sylvain BOUTONNET, Sébastien VERLHAC, Vanessa KYSEL, Eric BOYER, Cédric AZEMAR, Denis MORALES, Ruben GOMEZ, Samuel BOUTONNET, Pierre ORTOLI, Florian CHENU

À ce noyau se sont jointes ponctuellement de nombreuses personnes, en particulier lors des phases de mise en place et de démontage, ainsi que lors de la gestion des passages. Que toutes soient ici très chaleureusement remerciées.



IMPLANTATION GÉOGRAPHIQUE

L'installation a été réalisée entre les points suivants :

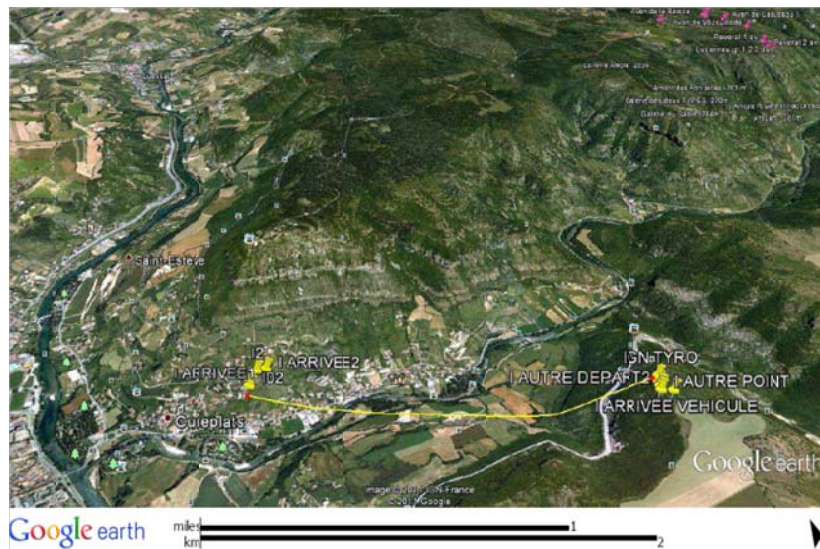
Départ (coordonnées UTM)

Latitude	Longitude	Altitude
1709538,25	3210169,76	805,45

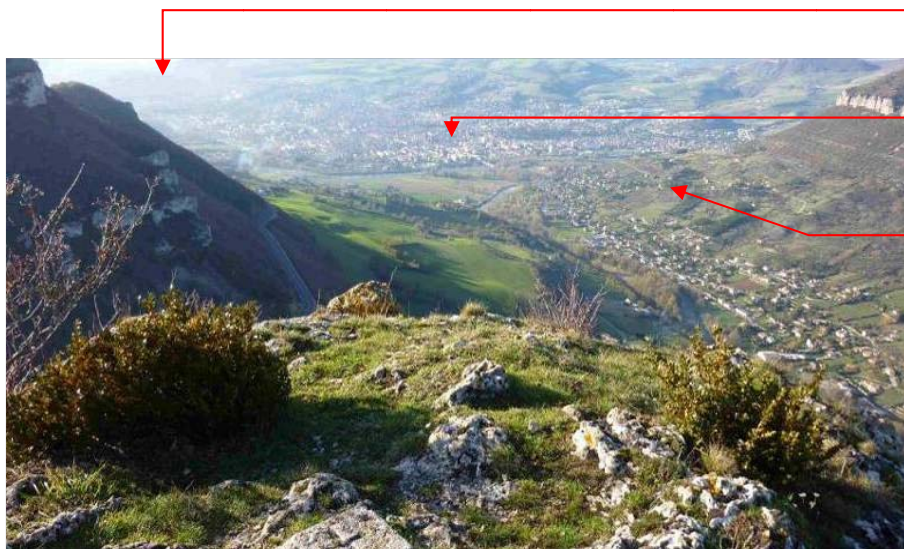
Arrivée

Latitude	Longitude	Altitude
1707787,16	3211452,59	427,24

VUE 3D DE L'IMPLANTATION



Vues générales des zones de départ et d'arrivée, avant implantation



Viaduc de
Millau

Ville de
Millau

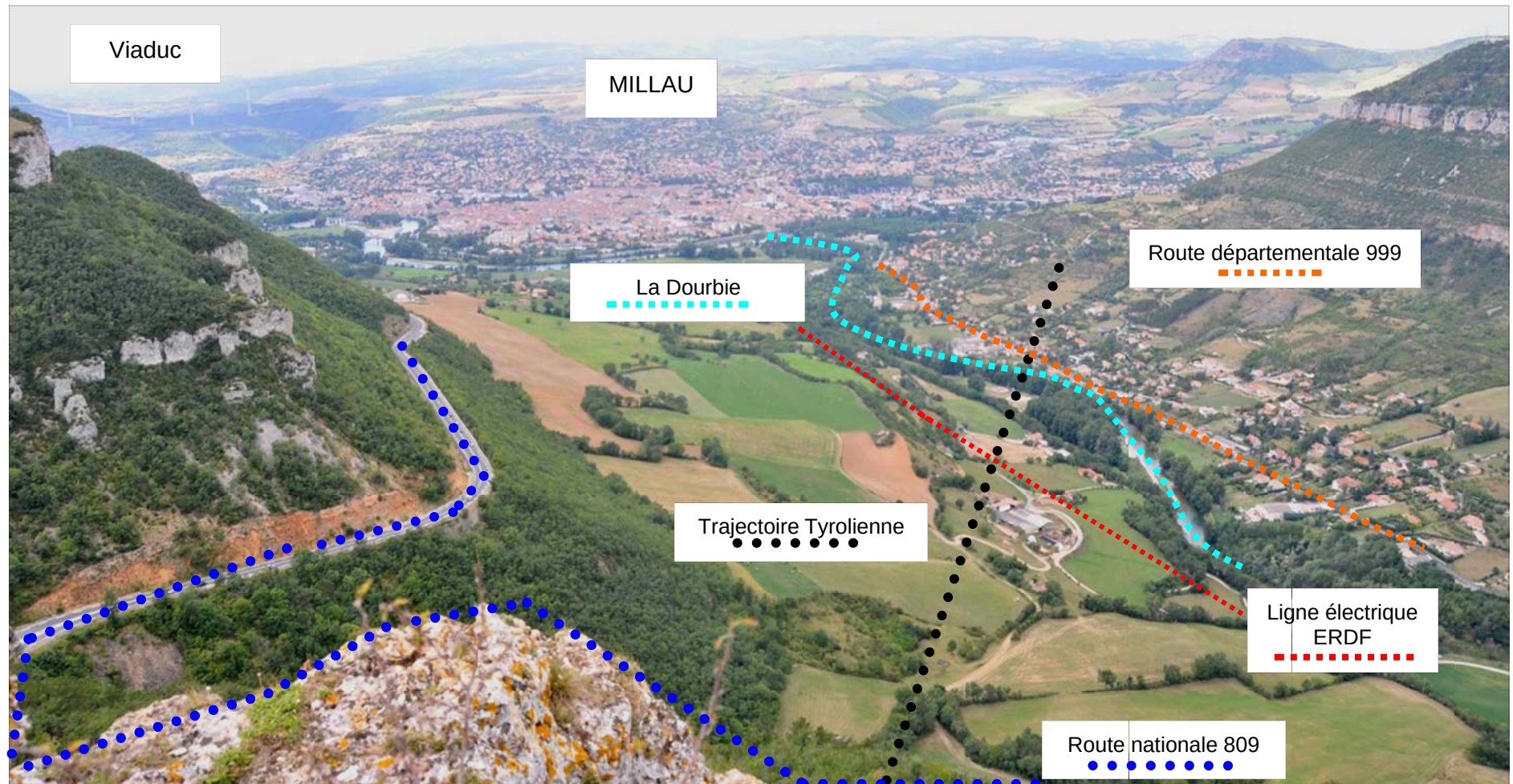
Secteur
d'arrivée de
la tyrolienne



Point de départ
de la tyrolienne

Point d'arrivée,
(sur terrain privé)

VUE D'ENSEMBLE



SIMULATIONS PRÉPARATOIRES

Profil en long de la tyrolienne envisagée

- Tension de simulation : 600 daN
- Poids de la charge roulante simulée : 92 kg

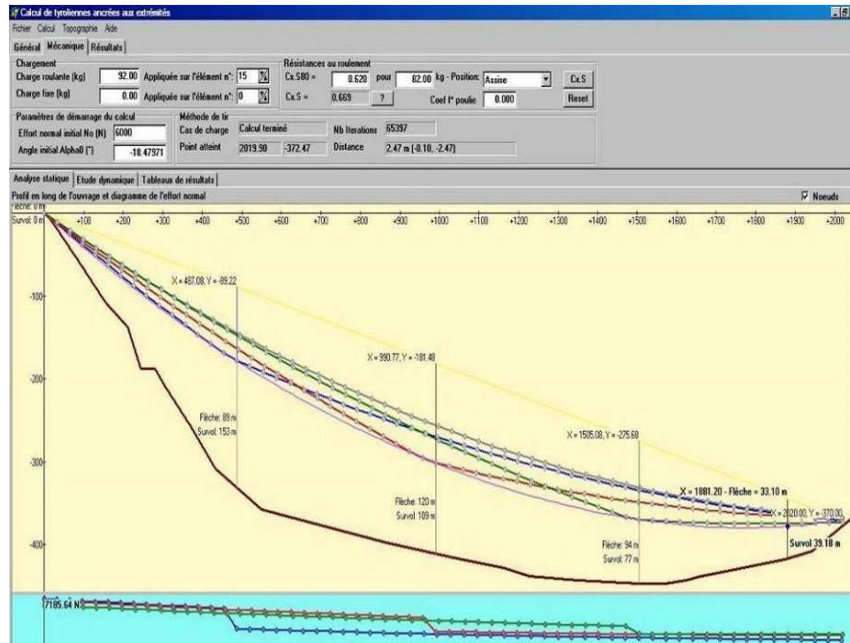
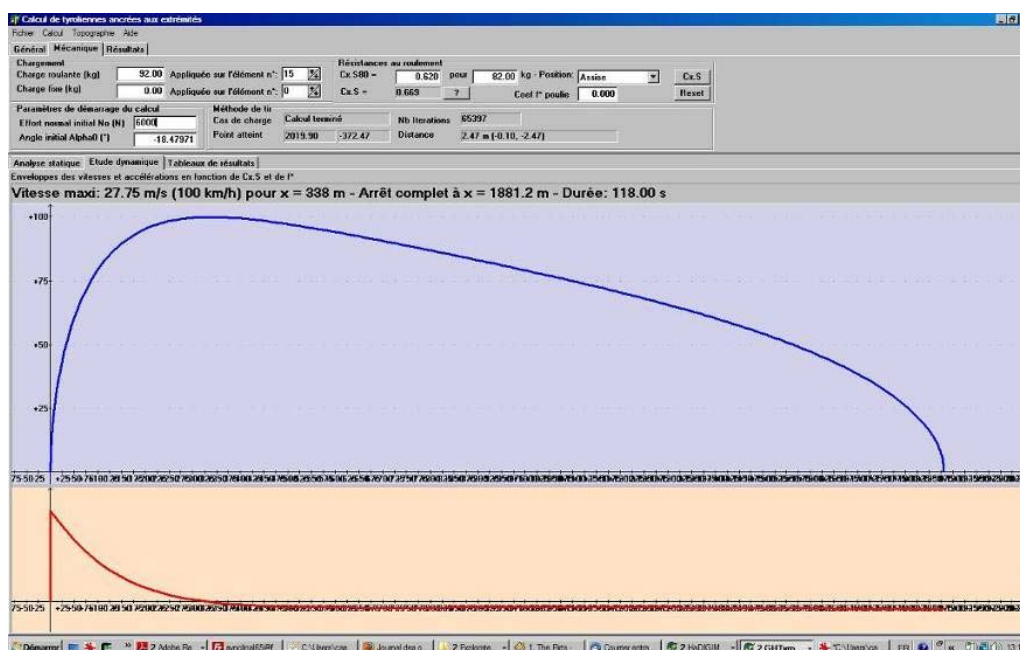


Figure 2

- La ligne marron représente le profil de terrain.
- La ligne grise représente la corde à vide (sous une tension initiale de 600 daN).
- La ligne violette représente la trajectoire de la charge roulante.

A noter que le tirant d'air, soit la hauteur libre disponible entre la trajectoire de la corde en fonctionnement et le sol est en moyenne de 90 mètres, 40 en phase terminale.

Courbe de vitesse, durée et distance prévisionnelle



MISE EN PLACE HÉLIPORTÉE DE LA CORDE

La mise en place de cette tyrolienne expérimentale provisoire a été réalisée par un hélicoptère PUMA.



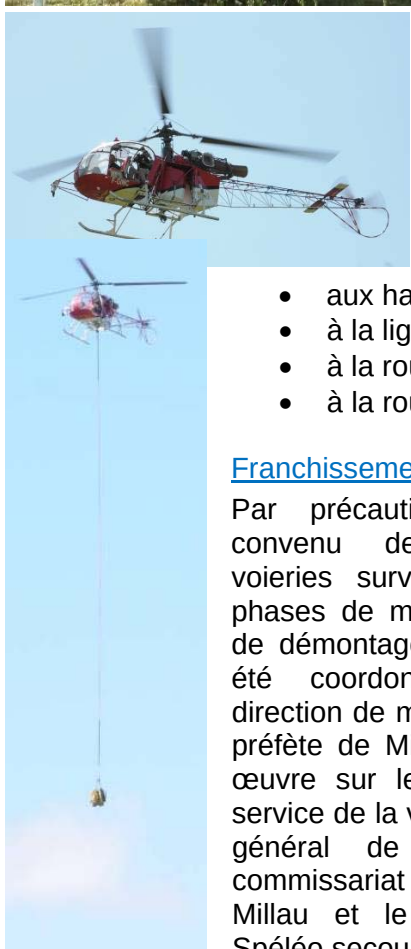
Principe

La manœuvre a débuté au point d'arrivée de la Tyrolienne, avec, dans un premier temps, un déroulé complet de la corde au sol afin de supprimer tout risque d'emmêlement lors de la manœuvre héliportée. Une extrémité a ensuite été héliportée au point haut. Le déroulement de la corde au sol a été contrôlé par un dispositif mécanique de freinage jusqu'à l'arrivée de l'hélicoptère au point haut, où l'extrémité de la corde a été amarrée sur les ancrages

temporaires prévus à cet effet.

Pour cette opération de mise en place de la corde, l'hélicoptère s'est dans un premier temps élevé verticalement jusqu'à une hauteur de plus de 500 m par rapport au sol, avant d'amorcer son déplacement latéral vers le point haut de la tyrolienne. Cette méthode a permis un maintien de la corde à bonne hauteur durant toute la phase de mise en place par rapport:

- aux habitations survolées (moins de cinq) ;
- à la ligne haute-tension ERDF ;
- à la route nationale 809 ;
- à la route départementale 999.



Franchissement des routes

Par précaution, il a été convenu de fermer les voies survolées lors des phases de mise en place et de démontage. L'opération a été coordonnée sous la direction de madame la sous-préfète de Millau et mise en œuvre sur le terrain par le service de la voirie du Conseil général de l'Aveyron, le commissariat de police de Millau et le personnel du Spéléo secours français.



Franchissement du réseau électrique ERDF

Le survol d'une ligne électrique de haute tension (20 000 V) a imposé la coupure temporaire de l'alimentation de cette ligne durant les phases de mise en place et de démontage. Cette opération sensible vis-à-vis de la clientèle n'a pu aboutir que grâce à la volonté et la compétence des services d'ERDF Aveyron.



Premier essai sur la tyro : « C'est fabuleux ! »

Record | Bernard Tourte qui préside le Spéléo secours français a ouvert la voie, hier à midi.



■ Sur une falaise du Larzac, Bernard Tourte s'apprête à s'élancer : direction le pied de la Pouncho. ET

Hier à midi, Bernard Tourte s'est lancé en premier sur la plus longue tyrolienne en corde statique du monde (2131 mètres !). Celle-là même qui, depuis lundi, enjambe la rivière Dourbie et relie les causses Noir et du Larzac. Président du Spéléo secours français (SSF), ce Toulousain de 44 ans a bénéficié de ce privilège, après avoir dirigé durant deux jours l'installation de cet ouvrage temporaire tissé spécialement à l'occasion de l'anniversaire du cinquantenaire de la Fédération française de spéléologie. À l'arrivée, il s'est confié à *Midi Libre*.

Vous venez de réaliser le premier essai sur la longue tyrolienne installée entre une falaise du Larzac et le quartier de Caussibols. Prés de 2 km de descente vertigineuse, sur une corde de 10 mm de diamètre, c'est un record mondial. Quelles sont vos premières sensations ?
C'est fabuleux, ce genre d'expérience, ça reste ancré dans la mémoire. Je suis arrivé à 170 mètres de la zone d'arrivée, c'est pas mal du tout. Ce qui manque, j'ai dû le faire en me tranchant au moyen d'une poulie... On va essayer de faire quelques petits réglages mais on n'arrivera pas à une bien meilleure performance, tout simplement parce que les montagnes sur les causses sont un peu limitées en altitude. Il nous manque environ 200 mètres supplémentaires de dénivelé pour aller jusqu'au bout. C'est dommage mais il faut savoir être raisonnable. Je pense qu'on pourrait encore jouer sur la tension de la corde, mais au final, on gagnerait très peu en distance.

Installer cet ouvrage dans les airs a nécessité énormément de travail en amont. Quel est le lien avec la spéléo moderne ?

Cet ouvrage est un record, c'est vrai, mais c'est surtout une avancée technique. Cet ouvrage est un moyen de perfectionner nos connaissances et nos savoir-faire sur les techniques qu'on utilise aujourd'hui pour les secours en milieu souterrain. Depuis les années 90, il y a eu moult innovations concernant les tyroliennes. Aujourd'hui, celle-ci montre bien qu'on est tout à fait capable d'en installer avec plus de 2 km de portée, tout en garantissant la sécurité de tous. Pour l'heure, il n'existe pas de grotte ou de gouffre à ma connaissance qui permettrait qu'on y installe une tyrolienne de 2 km. Mais la technique est là, et on peut potentiellement l'exploiter demain dans des opérations de sauvetage de population ou de transports de matériels, je pense notamment en cas de séisme.

D'autres sportifs vont-ils tenter l'expérience ?

Oui, bien sûr, mais seulement des spéléologues. Car il faut maîtriser les techniques, d'autant plus s'il faut s'auto-évacuer ou être en mesure de progresser seul sur la corde.

Recueilli par JÉRÉMY BEAUBET
jbeaubet@midilibre.com

► En raison d'une météo orageuse, les essais pourraient être interrompus aujourd'hui et reprendre demain.

Le Parisien

Arnellie Parion | Publié le 17.05.2013, 11h00

Actualité > Inédit

Aveyron : c'est la plus grande tyrolienne du monde !



Cette tyrolienne de plus de 2,1 km relie d'un seul tenant le Causse du Larzac et le Causse noir, dans l'Aveyron sur un dénivelé de 400m. | Photo pqr « Le Midi Libre » Eva Tissot.

C'est un record ! Une tyrolienne de plus de 2,1 km vient d'être installée à Millau (Aveyron), avec l'aide d'un hélicoptère, puis inaugurée, à l'occasion du 8e congrès européen de spéléologie et du 50e anniversaire de la Fédération française de spéléologie.

La corde reliant d'un seul tenant le Causse du Larzac et le Causse noir, sur un dénivelé de 400 m, a permis de battre le record du monde de la plus longue tyrolienne, qui ne dépassait pas jusqu'alors les 1 300m.

Lors des essais, la descente a duré deux minutes, avec des pics de vitesse frôlant les 115 km/h. Le précédent record avait été établi dans le Vercors en 2008.

Aujourd'hui en France

Midi Libre

Millau : à 115 km/h sur la plus longue "tyro" en corde du monde !

JÉRÉMY BEAUBET

14/05/2013, 14 h 38 | Mis à jour le 14/05/2013, 19 h 43



C'est le spéléologue Bernard Tourte qui a ouvert la voie, ce mardi soir, au-dessus de cet millieu. (JTB/TF1007)

Ce midi s'est déroulé à Millau la première tentative de descente sur la plus longue tyrolienne en corde du monde (2 164 mètres !). C'est le président du Spéléo secours français (SSF), Bernard Tourte, qui en a eu le privilège après avoir dirigé l'installation de cet ouvrage temporaire tissé pour l'occasion. Agé de 44 ans, ce spéléologue toulousain s'est élancé à la mi-journée sur cette corde statique et inclinée surplombant la rivière de la Dourbie et reliant les causses Noir et du Larzac.

Un tour le mange d'exception

Pour son premier essai, les conditions météorologiques étaient optimales. Si "balade" dans le ciel millavois a duré un peu moins de 2 minutes avec des pics de vitesse frôlant les 115 km/h. Hélas, malgré son expérience, Bernard Tourte n'a pas réussi à rejoindre la zone d'arrivée, et ce en raison d'un écoulement insuffisant (400 mètres) entre les deux points d'ancrage. Sa "chute", longue de deux kilomètres, a été interrompue à environ 170 mètres du but. Il en manque donc un peu mais ce n'est finalement pas très grave : l'ancien record du monde, établi dans le Vercors en 2008 (1122 mètres), est déjà battu !

Traverse réservée aux spécialistes

D'autres essais sont prévus dans la journée. À chaque traversée - uniquement réservée à des spécialistes -, les organisateurs vont mesurer le poids du passage, la tension de la corde (hors charge) et la distance atteinte. Pour mémoire, cet événement exceptionnel se déroule dans le cadre du cinquantième anniversaire la Fédération Française de Spéléologie qui se tiendra ce week-end à la salle des fêtes de Millau.

L'interview de Bernard Tourte à lire dans notre édition de demain (*Midi Libre* Millau).



RECORD DU MONDE DE TYROLIENNE SUR CORDE ()

SPORTS ET LOISIRS



Information

Site web :

<http://www.millau2013.ffspeleo.fr>

d'exemple et pour bien comprendre voici le record actuel établi en 2008 lors du congrès européen Vercors 2008 organisé par la Fédération Française de Spéléologie http://ssf.ffspeleo.fr/index.php?option=com_content

VENDREDI
**10
MAI**



Adresse

12100 MILLAU

Suite à la tyrolienne de 1160 mètres installée en Isère lors du rassemblement Vercors 2008, plus de 2500 mètres de cordes seront cette fois utilisés pour unir le Causse du Larzac et le Causse Noir et les majestueuses gorges de la Dourbie seront survolées. La tyrolienne, par son côté spectaculaire, apportera un peu de piment à la manifestation, mais ce n'est pas la seule motivation qui anime les spéléologues. Cette opération permet d'étudier le comportement des cordes utilisées en spéléologie en situation extrême, cela contribue ainsi à l'amélioration technique des équipements employés. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES Cette tyrolienne sur corde se développera sur la commune de Millau. Longueur de portée entre point d'ancrage = 2100 mètres Altitude de départ = 810 mètres / Altitude d'arrivée = 394 mètres Dénivelé total de la tyrolienne = 416 mètres À titre

LA CORDE

La corde utilisée était de marque Courant, il s'agissait d'une référence standard dont les caractéristiques étaient les suivantes :

Type	A
Diamètre	10,5 mm
Résistance statique	3200 daN
Résistance avec nœud de huit	2200 daN
Pourcentage de gaine	37%
Glissement de la gaine	0,1%
Allongement 50/150 kg	2,3%
Poids métrique	68 g
Rétraction au trempage	3,6%
Nouabilité	0,9
Nombre de chutes tenues (100 kg)	12

Plusieurs essais ont été réalisés sur cette corde, avant et après l'opération

Essai d'allongement

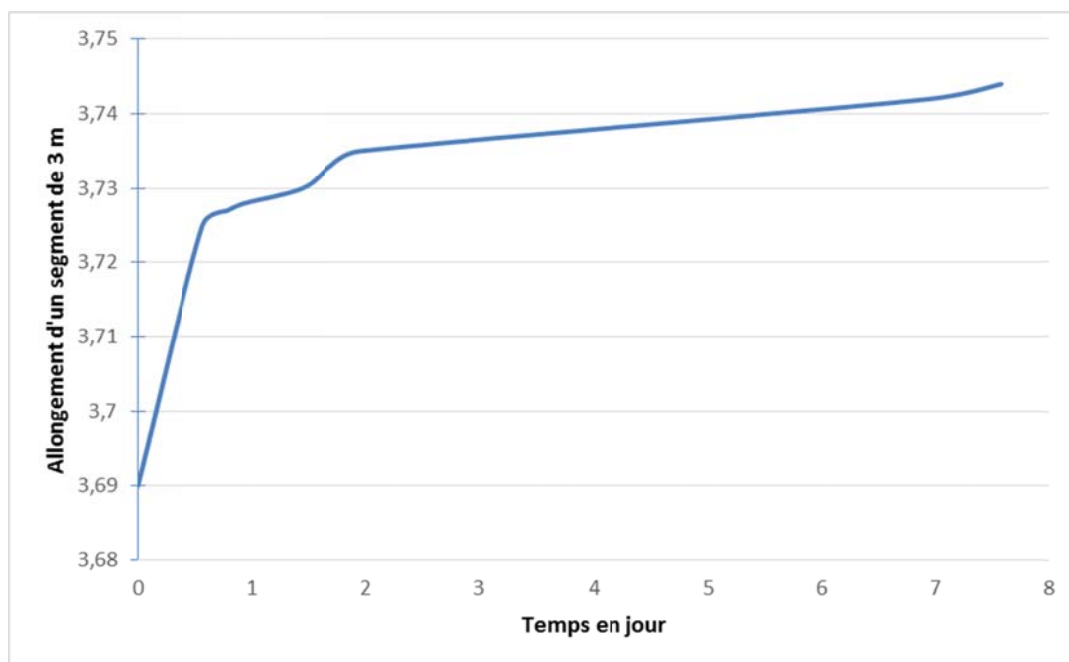


Figure 3. Allongement d'un segment de corde 3m sur une semaine sous charge constante de 600 kg. Essai effectué dans le laboratoire de l'entreprise Petzl.

Essais de résistance après usage

Comme lors des tyroliennes précédentes, des essais de résistance ont été réalisés par la société Courant. Trois morceaux de corde ont pour cela été sélectionnés, un sur le tronçon du haut au niveau des agrès, un au milieu, un sur le tronçon du bas au niveau des agrès également. Ces essais dont le détail des résultats reste à venir, ne démontrent aucun endommagement ou affaiblissements conséquents de la corde malgré les tensions parfois élevées qui ont pu être appliquées.

INSTRUMENTATION TECHNIQUE

Afin de valider les différents calculs et hypothèses, mais aussi de permettre de bénéficier d'un maximum de données techniques tout du long de l'expérimentation, la tyrolienne a été instrumentée de manière à relever de nombreux paramètres. Ainsi, la tension dans la corde a été mesurée en continu au point bas toutes les minutes, ainsi que l'échauffement des deux poulies de test qui a été mesuré toutes les secondes lors des tests. L'instrumentation en place permettait également d'enregistrer la vitesse de rotation des poulies de tests, la vitesse du vent et la température de l'air.

Tous les paramètres géométriques et géographiques ont été relevés de deux façons indépendantes, au moyen d'un théodolite et d'un GPS différentiel embarqué.

Les poulies



Les deux poulies instrumentées utilisées lors des tests

Les deux types de poulies utilisés ont été équipés d'un capteur thermique en inox sans contact.

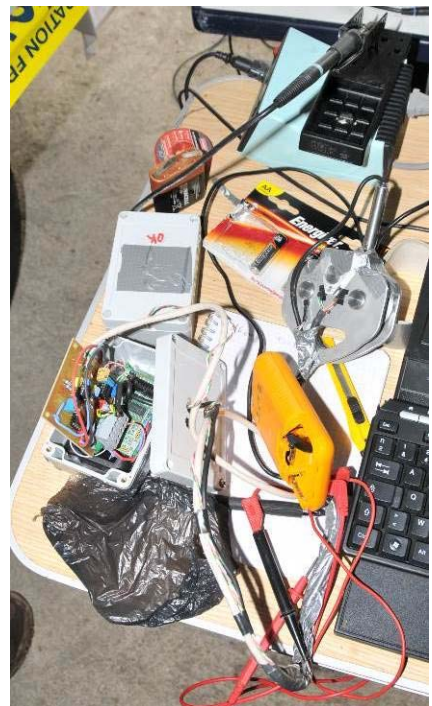
La poulie « Tandem » Petzl de la photo de gauche ci-dessus (modèle du commerce) comporte aussi un compte-tours (à l'extrémité du câble rouge). Les données recueillies permettent d'obtenir la vitesse de rotation et la distance parcourue.

La poulie de droite est une version prototype développée par les Ets Petzl à la demande du SSF. Elle est munie de réas de poulies « Rescue » Petzl, plus gros en diamètre que ceux du modèle « Tandem ».

Échauffement généré

Lors de la descente, la température sur les galets de la poulie augmente. Cet échauffement est principalement dû aux pertes dans les roulements à bille. La vitesse de rotation atteint les milliers de tour minute et dépasse les dix milles tour par minute.

Pour mesurer l'échauffement, un capteur infrarouge relève sans contact toutes les secondes la température du fond de la gorge, là où la température peut être critique. Cependant la mesure sans contact sur de l'aluminium est délicate à réaliser, car la valeur de l'émissivité est basse. Les mesures en absolue sont délicates. Elles permettent néanmoins une comparaison entre les deux courbes réalisées sur les deux types de poulie, la Réa de 25 mm (que l'on trouve dans le commerce) et la Réa 45mm réalisée par Petzl pour ce projet.



La figure 4 présente l'évolution de cette température en fonction du temps. La température maximum est obtenue à $t = 70$ s pour la Réa 45 mm et 90 seconde pour la Réa 25 mm (figure 5).

On observe, au mieux, un échauffement d'un peu plus de 45 °C pendant le test, ce qui est bien en dessous de toute valeur critique pour la Réa 25mm, et 30° pour la Réa 45mm. La montée en température est plus importante sur la poulie de petit diamètre. Cela est dû principalement à une vitesse de rotation beaucoup plus élevée de 1,8 (le rapport des diamètres des poulies) et donc moins de pertes dues aux roulements à bille. D'autre part la masse et le volume de la poulie sont plus importants dans la Réa 45 mm, permettant une meilleure dissipation des pertes.

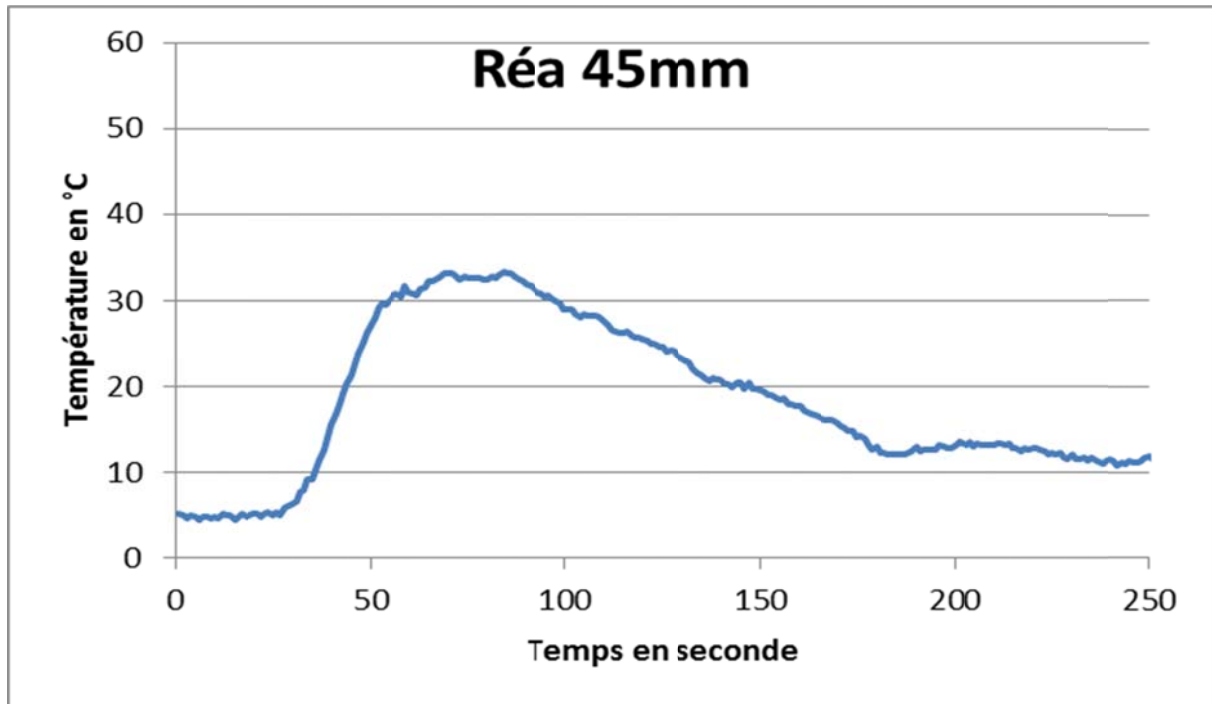


Figure 4 : Température en fond de gorge, poulie avec Réa de 45mm.

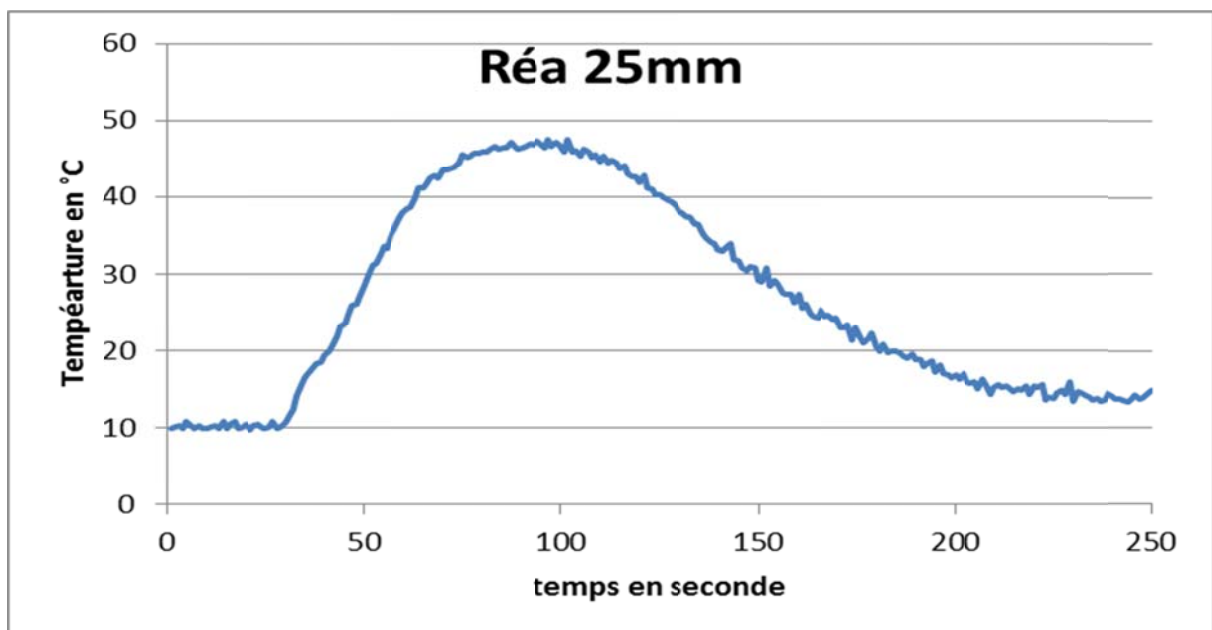


Figure 5 : Température en fond de gorge, poulie avec Réa de 25 mm.

Tensions appliquées à la corde

La tyrolienne a été instrumentée dès sa mise en fonctionnement au moyen de deux dynamomètres disposés en série sur son extrémité basse. Ce montage a permis la lecture directe des efforts appliqués au moyen d'un boîtier numérique, ainsi que l'enregistrement permanent de la tension dans la corde au cours du temps, de jour comme de nuit, durant la période des deux cent cinquante passages réalisés.



Tension initiale et maximale



Une fois mise en place et verrouillée, la corde a été calibrée à une tension de 520 daN. Lors d'un passage sur la tyrolienne, l'évolution de la tension mesurée sur l'ancrage du bas se manifestait par une courbe continue présentant un maximum pouvant dépasser les 600 daN et atteindre 650 daN au bout de trente à quarante secondes de descente. Sur l'ancrage du haut, les valeurs atteintes sont plus importantes car il faut ajouter à la tension sur l'ancrage du bas la composante verticale du poids de la corde, soit un poids total de 28 daN (380 m de dénivelé multipliés par la masse linéique de la corde, soit 73 g). Cette valeur reste éloignée de la tension de rupture théorique de la corde (donnée pour 3200 daN). Cependant il est difficile de connaître la tension maximale admissible pour garantir une sécurité optimale. Il faudrait également prendre en compte les différents agrès qui viennent blesser la corde, ainsi que sa fatigue.

Suivant les conditions météo du moment (vent continu ou non, pluie..), les passages donnaient des valeurs différentes de durée de descente, de tension maximale, de forme de la courbe de tension, de distance d'arrêt. Ces valeurs dépendaient du poids du passager, de son coefficient de pénétration dans l'air (qui change lui-même en cours de descente en fonction de la position prise à chaque instant par le passager) et également des conditions initiales de départ. En effet, le passager qui se lâche simplement et celui qui donne une impulsion vont conduire à des résultats différents. Une rafale de vent peut aussi ponctuellement modifier une courbe.

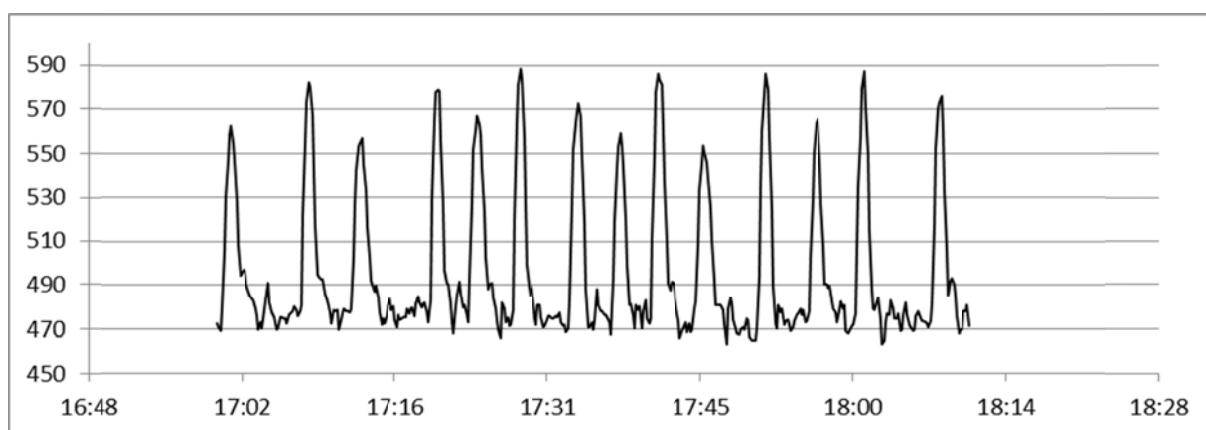


Figure 6 Effort dans la corde au niveau de l'ancrage du bas. Enregistrement de quatorze passages successifs le 17 mai 2013, avec une moyenne d'un passage toutes les cinq minutes.

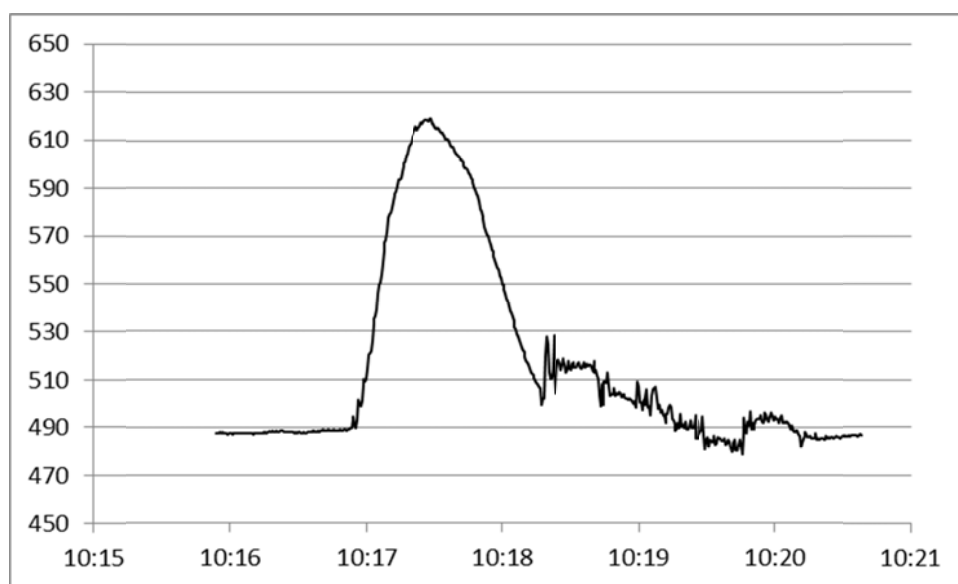


Figure 7. Zoom sur un passage

Mesure de la vitesse

Le principe est celui d'un compte-tours. Une marque de peinture noire est peinte sur le flasque de la poulie. Une diode infrarouge éclaire ce flasque et un phototransistor détecte l'atténuation de lumière lors de son passage à chaque tour effectué. Toutes les secondes on compte le nombre de tours. Il est alors facile de tracer le profil vitesse et distance parcourue en fonction du temps.

Les deux poulies (réas de 25 et 45 mm de diamètre) ont été instrumentées.

Plusieurs essais ont été effectués. Avec le réa de 25 mm on observe sur chaque passage des valeurs aberrantes au-dessus de 90 km/h : la poulie doit vibrer et la mesure est surestimée.

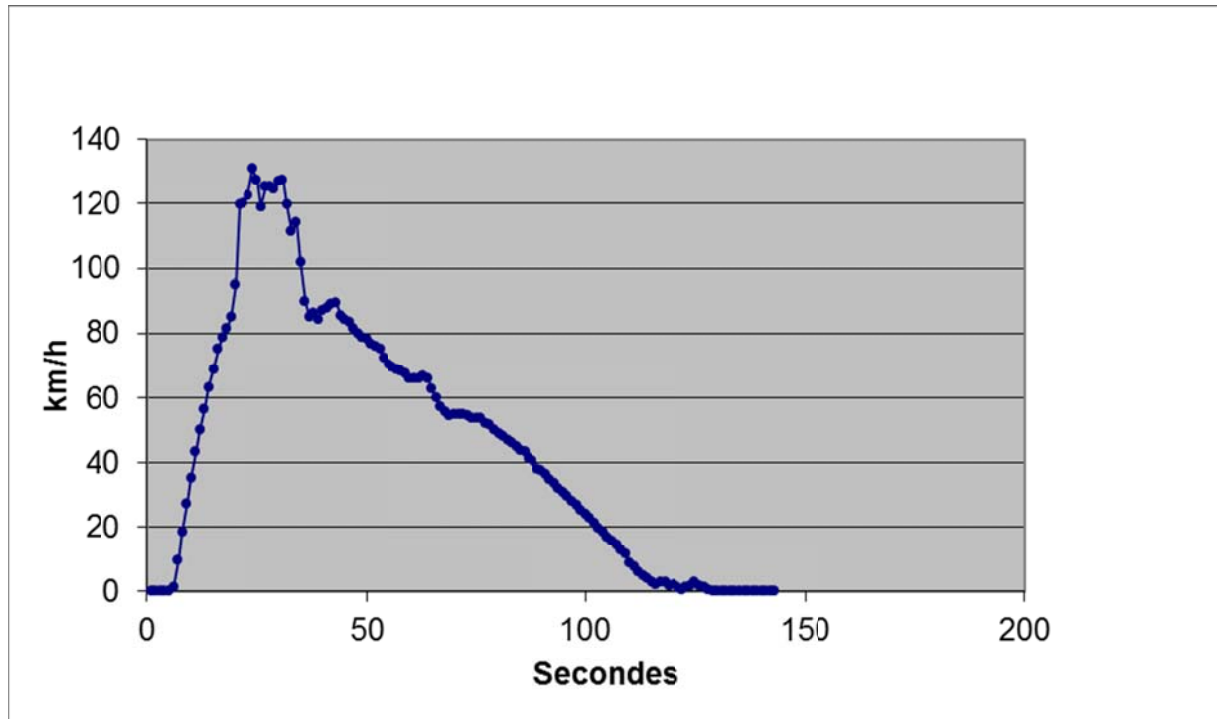


Figure 8. Mesure de vitesse avec le réa de 25 mm.

Plusieurs essais ont été effectués. On obtient une courbe en forme de cloche avec une montée beaucoup plus rapide que la descente. Certains passages ont dépassé des vitesses de 110 km/h.

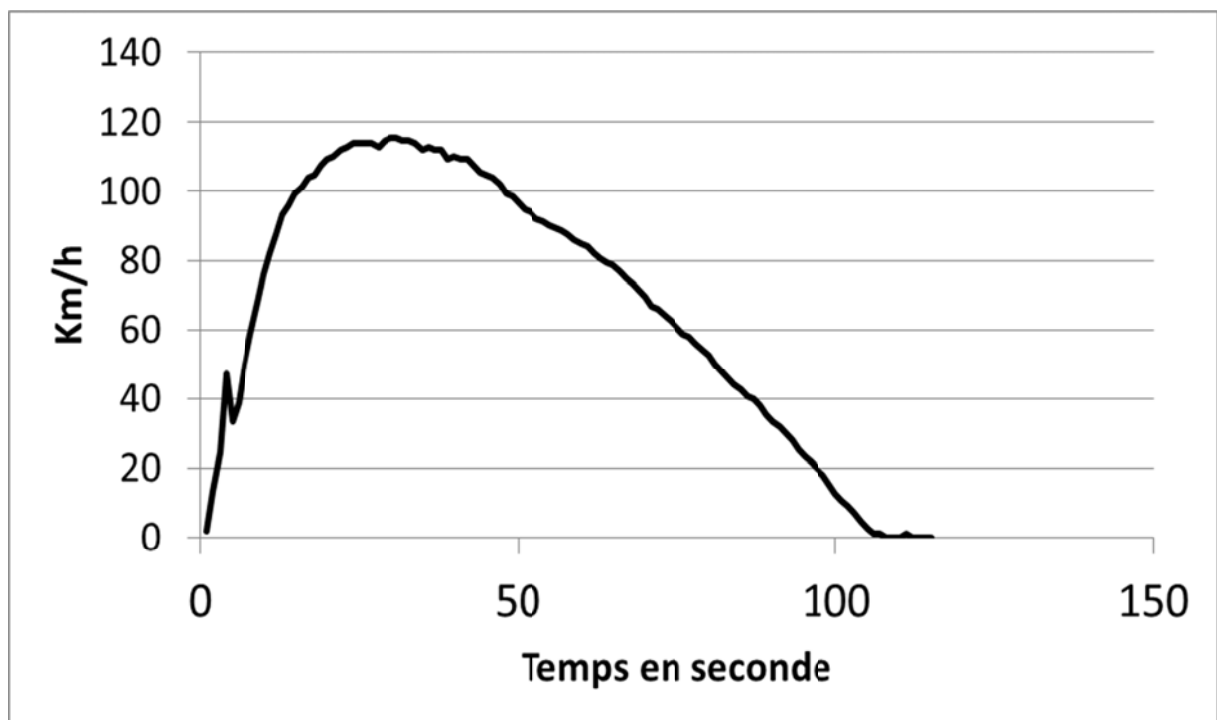


Figure 9. Mesure de la vitesse avec le réa de 45 mm.

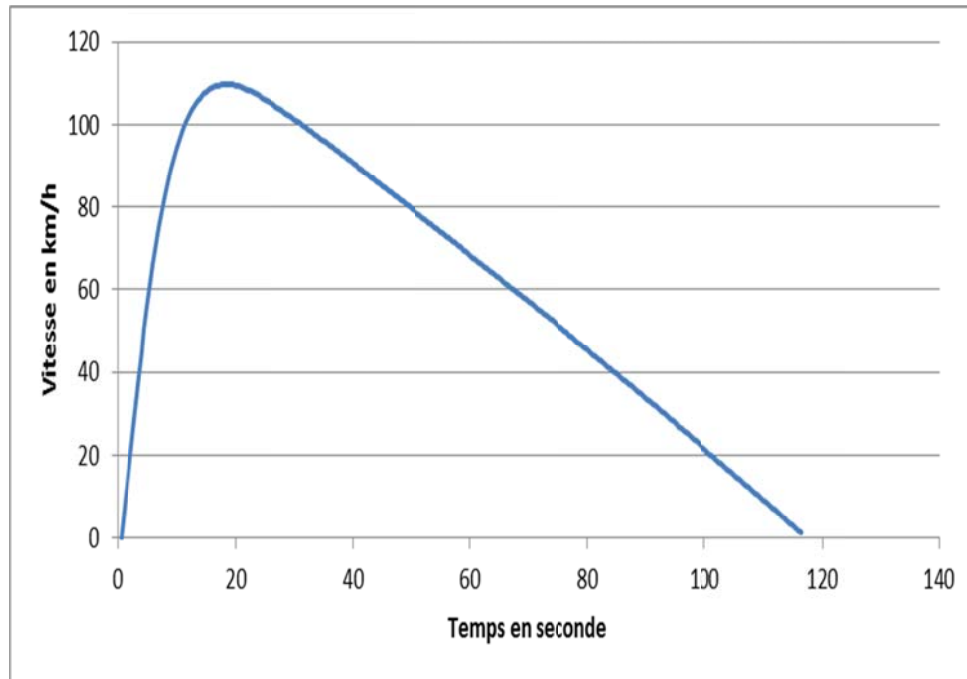


Figure 10. Courbe de la vitesse du passager, théorique et mesurée.

La courbe expérimentale n'est pas totalement identique à la courbe théorique car dans le cas réel, la position du passager ne reste pas identique au cours de la descente et donc son C_x (coefficient de pénétration dans l'air) varie au cours du temps. D'autre part, les frottements de la poulie sur la corde, mal connus, sont susceptibles d'influencer le profil de vitesse. Pour chaque descente, le profil de vitesse et de tension dans la corde est différent. Néanmoins, on retrouve à peu près la même allure.

Le coefficient de traînée et coefficient de frottement de la poulie

Les coefficients de traînée et de frottement de la poulie sont des paramètres déterminants pour connaître le lieu d'arrêt des candidats. Avec les différents essais, il n'a pas été possible de déterminer une différence entre les deux poulies. A chaque saut, les conditions sont différentes. On peut tout de même dire que les coefficients de frottement du réa de 45 sont moindres. Il faudrait faire des tests spécifiques pour pouvoir donner un chiffre. Il est à noter que le réa de 25 vibre au-dessus d'une certaine vitesse et pour cette configuration de tyrolienne.

INFLUENCE DU VENT

Impact théorique

Étant donné l'exposition très ventée de Millau et de ses environs, une attention toute particulière a été portée à ce facteur dans la phase de réflexion et de préparation du projet. En effet, si l'on se réfère aux données purement théoriques, l'accroissement des tensions appliquées lorsqu'un vent constant ou en rafales impacte latéralement une telle portée de tyrolienne, on peut être légitimement inquiet...

Un calcul simple montre une surface d'exposition de la corde de la tyrolienne au vent tout à fait conséquente : $2205 \text{ m (longueur entre amarrages)} \times 0.01 \text{ (diamètre de la corde en m)} = 22 \text{ m}^2$ de surface de corde exposée au vent.

En terme d'exposition au vent, la tyrolienne représenterait donc l'équivalent de la surface du géniois d'un bateau de 9 m ou la surface d'une voile de parapente.

Analyse préalable du problème

La forme horizontale prise par la corde (vue de dessus donc) dans un vent de 100 km/h, avec une tension initiale de 600 daN, a été calculée en prenant le programme de calcul de la corde sans charge, en imposant comme longueur au repos celle qui donne 600 daN de tension sur l'amarrage supérieur, et en remplaçant la masse linéique de la corde par une masse plus grande calculée en fonction la force linéique du vent (0,543 kg/m pour un vent de 100 km/h et un diamètre de 11 mm). Avec ces conditions, la tension due au vent sur l'amarrage supérieur est d'environ 947 daN (la même que sur l'inférieur). La tension totale équilibrant les deux forces (pesanteur + vent) sera de l'ordre de $\sqrt{9472 + 6002} = 1120$ daN sur l'amarrage supérieur.

Cette valeur est élevée mais demeure dans la marge de sécurité avec la corde considérée (facteur de sécurité de trois). La flèche horizontale maxi de 330 m nécessite de considérer les obstacles latéraux possibles.

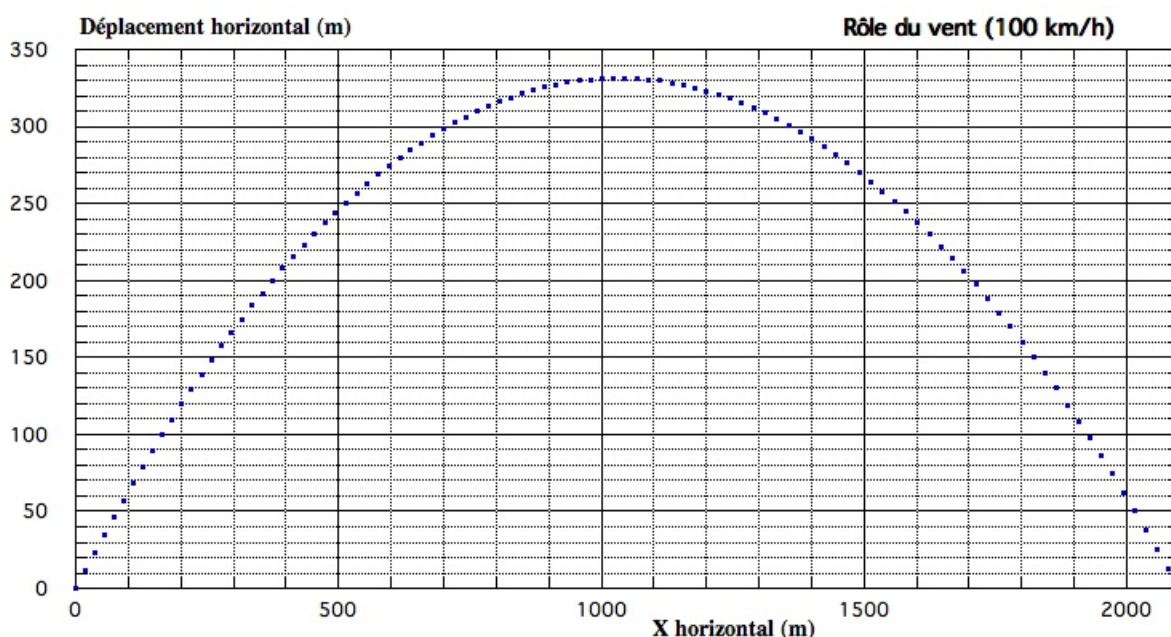


Figure 11. Forme de la corde dans le plan horizontal avec un vent transversal de 100 km/h

Deux simulations obtenues par deux méthodes différentes donnent, pour l'une, une tension aux amarrages de 706 daN et une flèche maxi de 174 m, et pour l'autre 857 daN et 180 m de flèche. On voit que l'accord est acceptable.

MOYENS MIS EN ŒUVRE POUR LA MESURE DU VENT

Le vent représentant l'un des soucis majeurs, divers moyens techniques ont été envisagés afin de se tenir du mieux possible informé de son évolution.

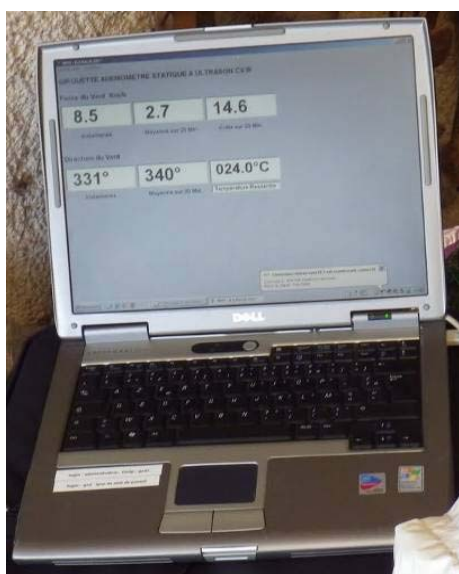


Un premier anémomètre portatif à hélice et à lecture directe a permis d'effectuer des mesures ponctuelles en tout point et à tout moment.

Un second anémomètre à coupelle équipé d'une interface à enregistrement toutes les minutes a été installé au sommet de la tyrolienne. Enfin, une girouette anémomètre statique à ultra son a été installée au sommet d'un mat au point d'arrivée de la tyrolienne. Cette station a permis le relevé permanent

de l'orientation du vent, de sa force et de la température ambiante. A noter que cette station était positionnée à soixante mètres à peine du point d'amarrage bas de la tyrolienne où se situait l'enregistrement permanent des données de tension au moyen d'un dynamomètre.

Des rafales de 80 km/h ont été révélées, en particulier le samedi, alors que la tension initiale de la tyrolienne se situait à ce même moment à 260 daN. La courbe enregistrée par le dynamomètre montre alors des fluctuations qui, au plus fort, n'excèdent pas les 50-60 daN au-dessus de la tension initiale. Les vents qui traversent cette vallée ne sont pas constants. Il s'agit plutôt de vents turbulents, de bourrasques, sur des zones bien



délimitées qui sont bien inférieures à celle de la tyrolienne. C'est-à-dire à un instant donné le vent n'appuie pas sur toute la longueur de la corde, mais seulement sur un tronçon. La force induite est donc largement plus faible que si le vent était constant sur le trajet de la corde. Dans le graphique représentant la vitesse du vent et la tension dans la corde, il n'y a pas de relation directe entre ces deux grandeurs. En effet, il faudrait avoir une mesure continue du vent sur tout le profil de la corde en instantané et sommer tous ces efforts pour connaître la tension engendrée.

Sur les prochaines tyroliennes de très grande distance, il faudra donc rester très prudent sur l'impact des vents.

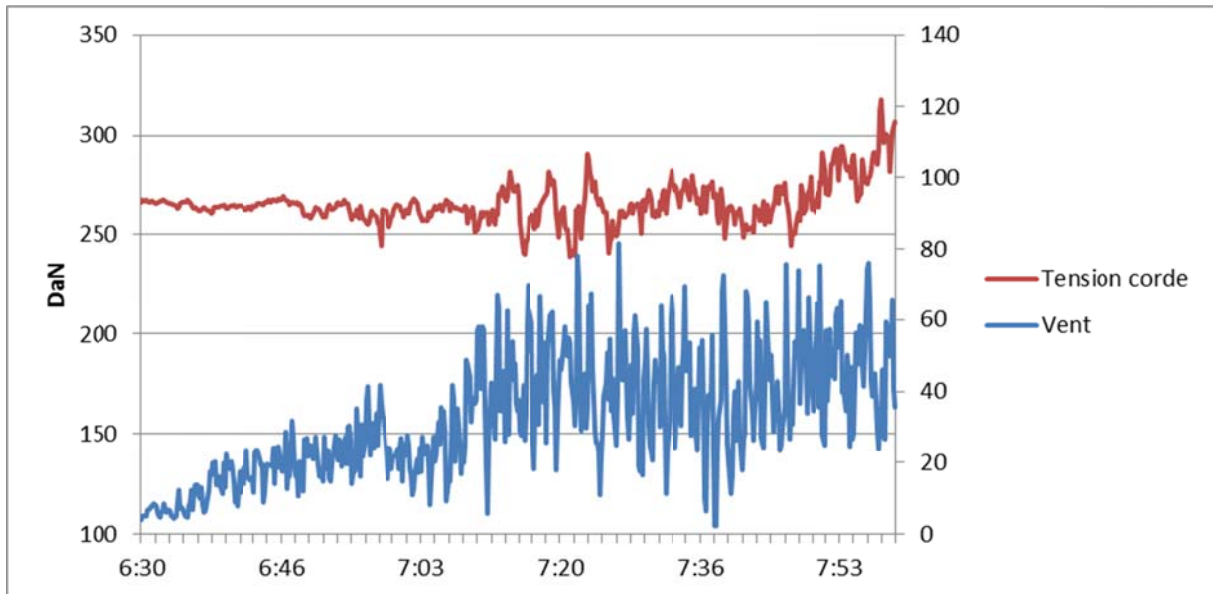


Figure 12. Vitesse du vent et tension dans la corde le samedi.

Conclusion



Si l'on s'en tient à la théorie, le facteur vent représente un véritable danger du fait des surtensions qui peuvent s'appliquer aux amarrages, au dispositif de blocage ainsi qu'à la corde support elle-même avec des efforts qui serraient susceptible d'atteindre les 1200 daN pour un vent latéral établi de l'ordre de 70 km/h.

À Millau, les valeurs mesurées sont beaucoup plus faibles. Ceci s'explique par le fait que cette zone est soumise à des vents très turbulents et dont les efforts s'annulent en partie.

On peut déduire des travaux menés que la force appliquée par le vent à cette tyrolienne ne présentait clairement pas un danger objectif pour la corde semi-statique utilisée et cela du fait de deux raisons essentielles :

- le fait que la corde, bien que sous tension, demeure mobile dans l'espace et a tendance à se mettre en appui sur le flux de vent ;
- et surtout le caractère « en rafale » des vents rencontrés.



D'une manière générale, la section cylindrique de la corde lui confère un profil aérodynamique limitant sa prise au vent. Néanmoins, le vent reste un élément à suivre de très près dans le cas de tyroliennes établis sur des sites susceptibles d'être soumis à des vents forts et réguliers.

DÉSINSTALLATION DE LA TYROLIENNE

La tyrolienne a été démontée comme prévu le 18 mai 2013 vers 18h00 en réalisant simplement la réduction progressive de la tension de la corde puis sa dépose au sol. L'opération avait été minutieusement coordonnée entre le SSF et les services de la voirie, du commissariat central et d'ERDF. Elle a été toutefois sérieusement compliquée par les très importants orages qui se sont abattus sur Millau dès 16h00 ce jour-là et ont mis hors circuit un important transformateur ainsi que la ligne 20 000 V.

SCENARIOS DE DEPOSE DE LA CORDE

Il était nécessaire, durant toute la phase d'exploitation, de pouvoir assurer la dépose au sol de la corde en cas de nécessité, par exemple :

- blocage technique d'un passager en ligne,
- parapentiste venant heurter la tyrolienne.

Plusieurs simulations ont été réalisées :

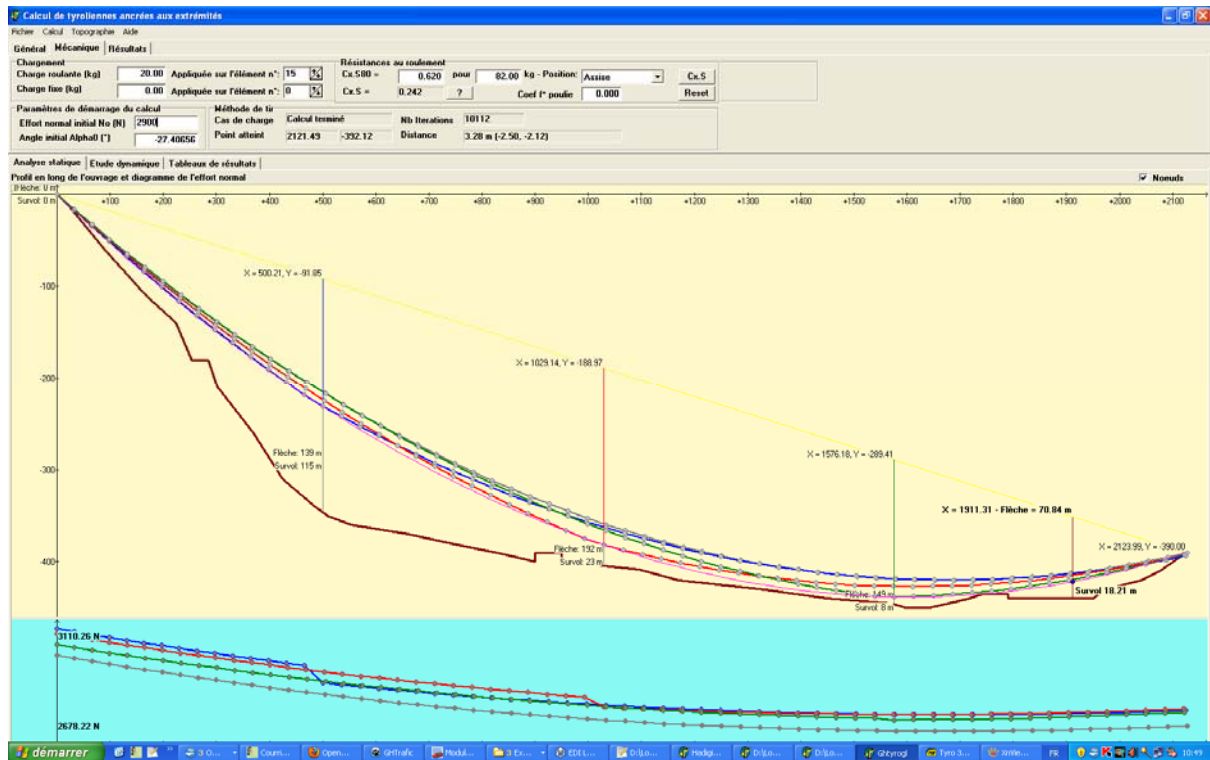


Figure 13. Dépose de la corde à vide au sol

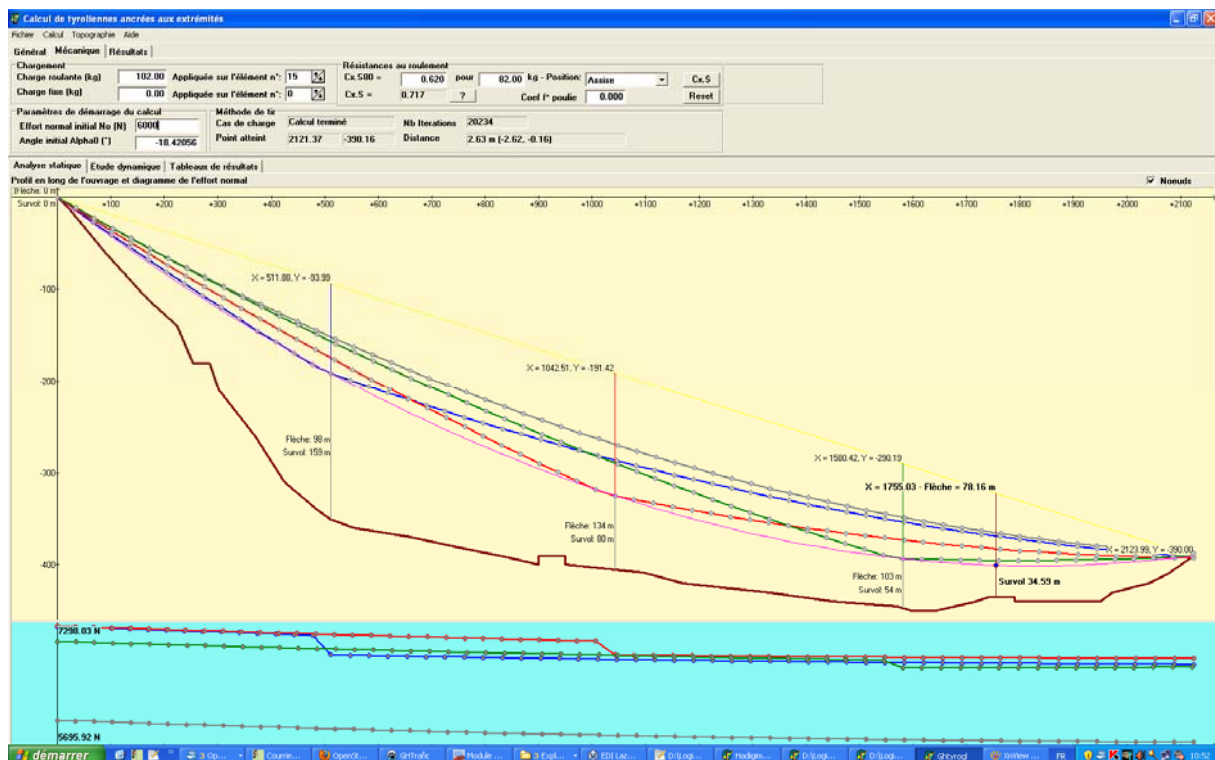


Figure 14. Dépose de la corde au sol avec passager

Analyse entre les simulations et la pratique

La procédure d'urgence n'ayant pas dû être déclenchée en pratique, la conformité de l'étude théorique avec la réalité n'a pu être vérifiée. Toutefois, durant la phase des essais, la première charge test de 80 kg, trop peu profilée, a stoppé sa course à environ 250 m du point d'arrivée prévu. Un intervenant s'est rendu au contact de cette charge et s'est alors stabilisé à près de 10 m du sol aux environs du point bas de la tyrolienne, ce qui correspond bien au point identifié « survol 34.50 m » sur la figure 14. Ce constat atteste de la cohérence de la simulation réalisée.

Lors de la dépose finale, la corde détendue depuis le point bas s'est d'abord posée au sol au point identifié « survol 23 m » sur la figure 12 puis sur le secteur bâti proche de l'arrivée.

Le différentiel d'une quinzaine de mètres constaté entre simulation et mise en pratique semble correspondre à la surestimation, volontaire mais non uniforme, de la garde au sol dans les simulations réalisées. Elle garantissait une sécurité indispensable au cas où un obstacle n'aurait pas pu être précisément identifié sur les cartographies utilisées (couverture végétale par exemple).

MESURAGE DE LA TYROLIENNE

Levé au théodolite

Le mesurage officiel de la tyrolienne a été réalisé au théodolite Topcon GPT 7500.

Afin de disposer d'une bonne visibilité de la mire située en point haut de la tyrolienne, l'appareil a dû être installé au point bas à l'aplomb de la poulie de relevage/dépose, soit à 42 m de distance du point d'amarrage bas de la tyrolienne.

La longueur officielle relevée depuis ce point est de 2163 m auxquels il convient d'ajouter les 42 m signalés ci-dessus.

La longueur totale officielle, d'amarrage à amarrage, est donc de **2205 m**.

Relevé au GPS différentiel

La procédure appliquée.

Les mesures ont été réalisées en mode cinématique. C'est la SCP GRAVELLIER-FOURCADIER, géomètres experts et ingénierie - 70 rue de la menuiserie 12100 MILLAU - qui a réalisé les mesures et les calculs. Le matériel utilisé se composait de deux antennes Leica SR530.

Les mesures en mode cinématique fournissent la trajectoire d'une antenne itinérante. Si les coordonnées brutes sont enregistrées toutes les secondes



(cas sur la tyrolienne de Millau 2013), il en résulte des coordonnées tridimensionnelles pour chaque seconde à laquelle l'antenne a été déplacée.

Pour calculer les coordonnées, il faut pouvoir résoudre "les ambiguïtés" pour qu'une précision de positionnement de niveau centimétrique puisse être atteinte en mouvement (ambiguïtés : nombre entier inconnu de cycles de la phase porteuse contenus dans la distance entre le récepteur et le satellite au moment du verrouillage du satellite). La manière la plus sûre d'y parvenir consiste à débiter les levers en mode

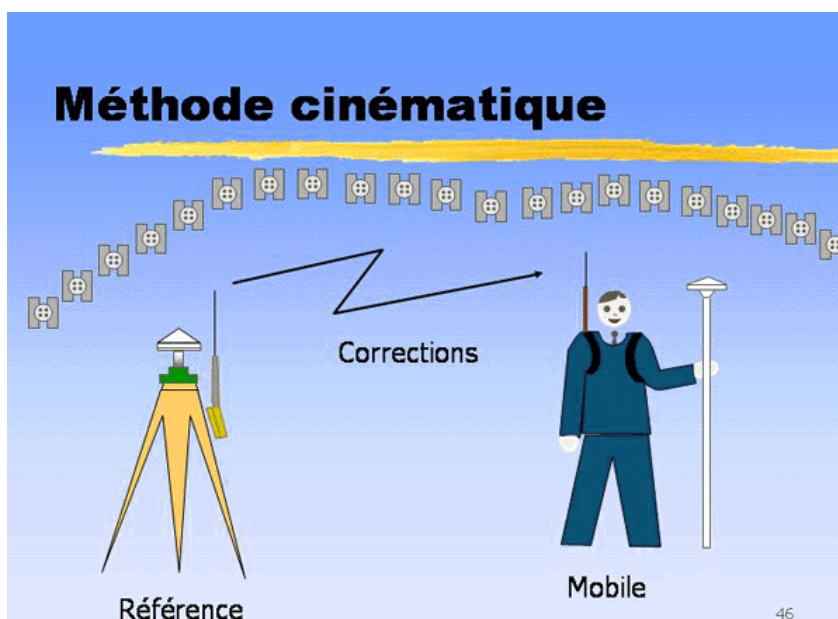


Figure 15. Principe de la méthode cinématique appliquée.

cinématique par une initialisation statique d'une durée d'environ 5 mn d'observations bifréquence en mode Statique qui permet de résoudre les "ambiguïtés" en post traitement (Un récepteur GPS bi-fréquence est un récepteur capable d'effectuer des mesures sur les deux fréquences L1 et L2 du système GPS).



Une antenne a été mise en place sur trépied pour servir de capteur de référence près du point de départ de la tyrolienne sur une zone dégagée d'où était visible tout le tracé de la tyrolienne du départ à l'arrivée. (Photo ci-contre) employée de la SCP GRAVELLIER-FOURCADIER).



Une fois l'initialisation statique réalisée avec l'autre antenne, cette dernière peut être déplacée. Chantal CUSSAC va l'embarquer avec elle lors de son passage sur la tyro (voir autre photo ci-dessus). La haute précision sera préservée aussi longtemps que le contact avec les satellites est maintenu (réception des signaux), donc en l'absence de toute obstruction, ce qui a été le cas durant toute la descente (il n'y en a pas sur la tyro tendue dans le ciel de Millau).

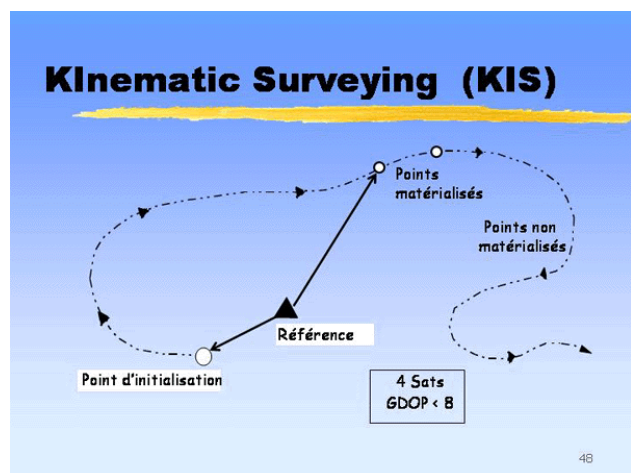


Figure 16. L'analyse cinématique



Toutes les conditions préconisées pour mesurer un nombre de points élevé rapidement (toutes les secondes) et efficacement, ont été requises à savoir:

- ✓ Des mesures en mode statique ont été effectuées sur l'antenne de référence
- ✓ La distance séparant le capteur de la référence était courte (moins de 3 km)
- ✓ La zone de lever était dégagée
- ✓ Le mobile a été maintenu fixe durant l'initialisation statique
- ✓ La géométrie des satellites étaient très favorable (plus de six satellites)

Conclusion

Les mesures ont été réalisées dans les meilleures conditions possibles, ce qui veut dire que la précision de positionnement de niveau centimétrique a été atteinte en mouvement. (Selon la commission « positionnement statique et dynamique » du CNIG, la précision est dite centimétrique si elle se situe entre 0 et 5 cm).

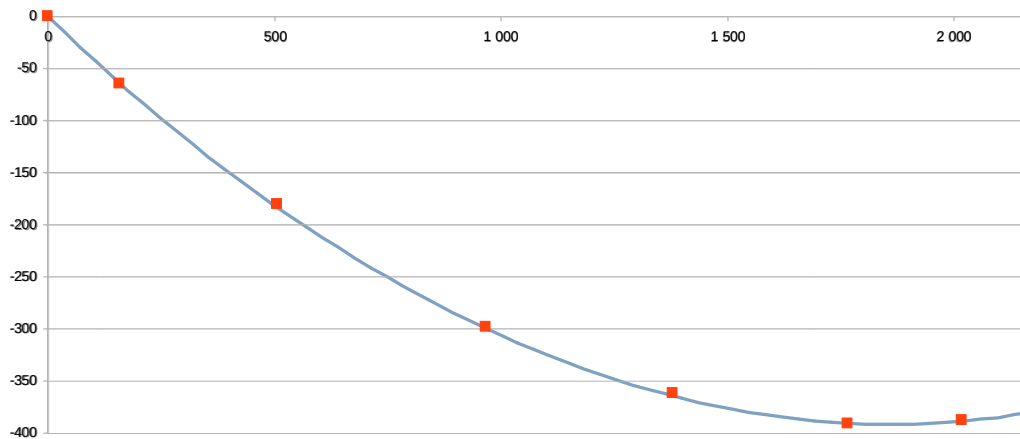


Figure 17. Trajet suivi par la corde

- En bleu : la trajectoire de simulation issue de GHTopo
- En orange : les points relevés au GPS

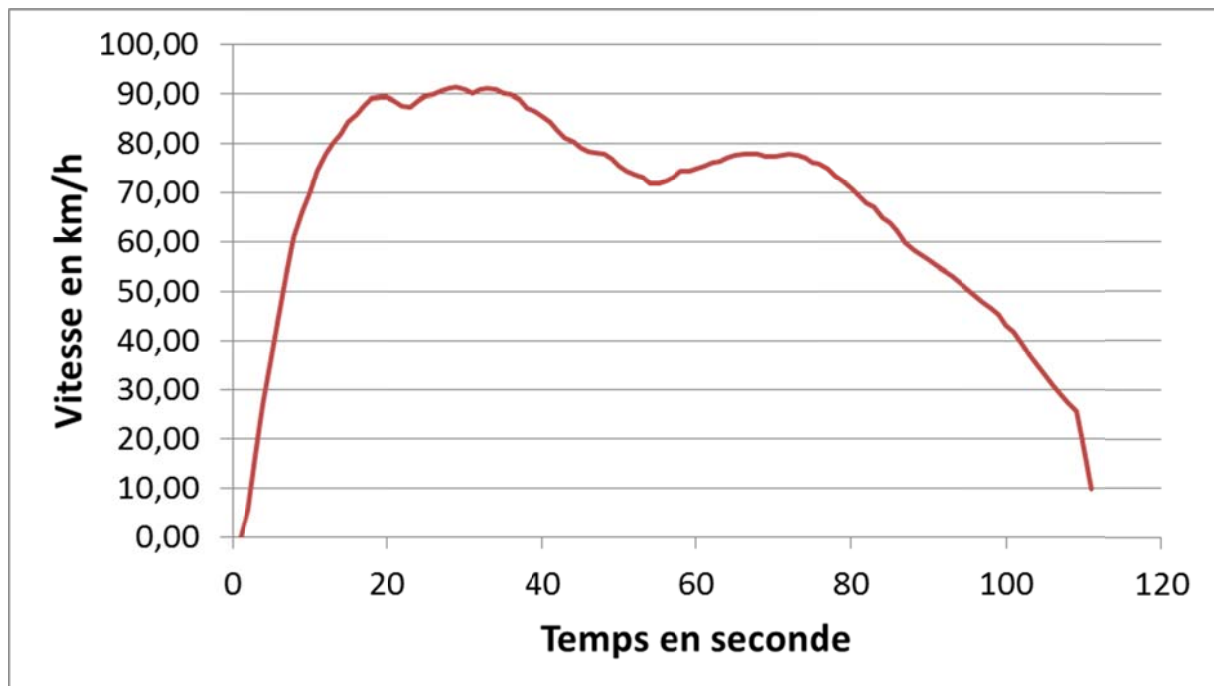


Figure 18. Courbe de vitesse en km/h issue des levés fournis par le GPS.

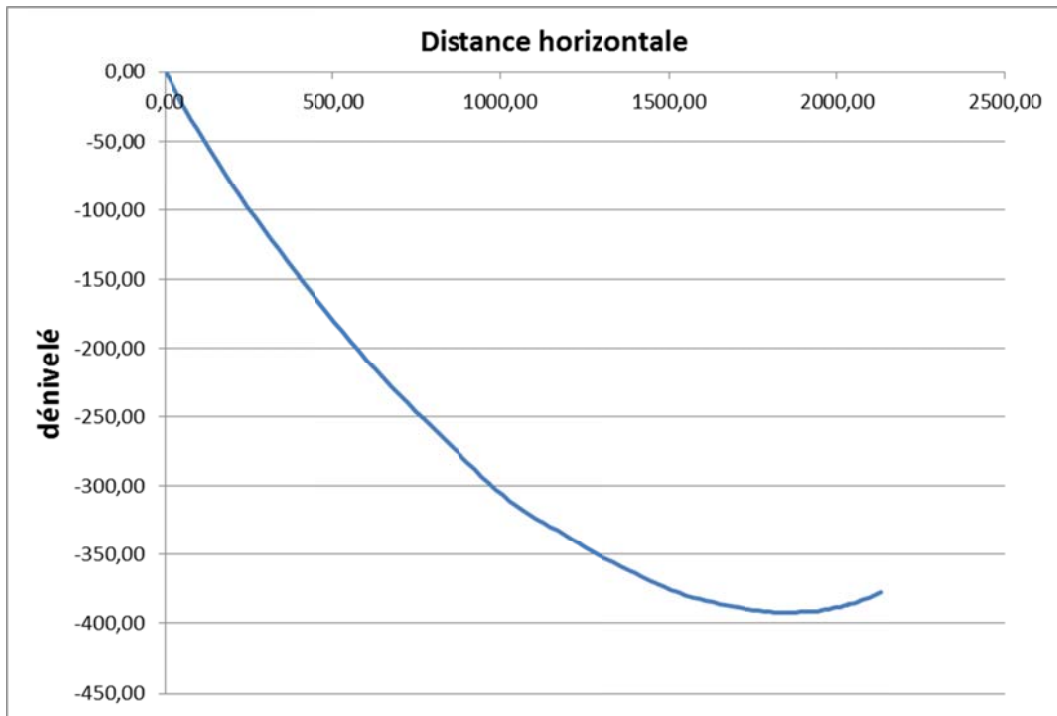


Figure 19. Courbe de descente fournie par le GPS.

Sur le graphique suivant sont représentées les trois vitesses obtenues par simulation, par la poulie et le GPS différentiel. Les résultats obtenus par la simulation et la poulie sont de mêmes valeurs maximums et ont la même allure. On observe tout de même un décalage des courbes dans le temps, probablement dû à un Cx mal connu. Celle du GPS atteint des valeurs de vitesse moindre et on observe une deuxième bosse. Elle peut être due à un changement brutal de position de la personne au cours du trajet et ou de la charge embarquée (gros sac et antenne, voir photo). Ce type de courbe (deux bosses) a déjà été observé sur d'autres descentes où les candidats ont bougé. Il aurait été intéressant de coupler les deux méthodes de mesures lors de la descente.

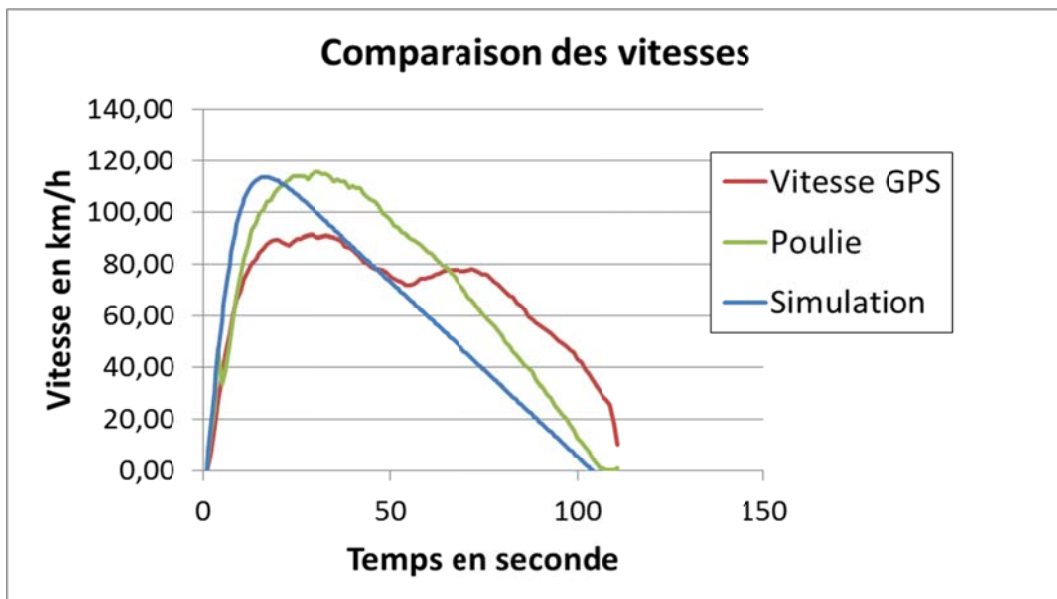


Figure 20. La tyrolienne de Millau pour les tous petits

Petit le Quotidien

Pour les 6-10 ans : 10 minutes de lecture chaque jour

n° 4 072 - 0,44 €

Vendredi 24 mai 2013

La météo de demain

Sur une corde de plus de 2 kilomètres de long !

La semaine dernière, une longue tyrolienne a été accrochée quelques jours à une falaise, près de Millau, dans le sud de la France.



l'info de la Une

Des **spéléologues** spécialistes des sauvetages ont installé la tyrolienne géante, à l'aide d'un hélicoptère. Ensuite, ils l'ont testée. C'était un entraînement exceptionnel. Ces spéléologues utilisent assez souvent des tyroliennes pour sortir un blessé d'une grotte, sur un **brancard**.

En savoir plus
Beaucoup d'infos sur les spéléologues secouristes sur : www.speleo-secours-francais.com



Quelques ateliers dans les arbres

La fiche découverte sport

Le filet d'ascension

Souvent, il permet de grimper à la première **plate-forme**.



Le tronc couché

Il est **fixe**. Marcher dessus, c'est comme passer sur une poutre en gymnastique !



Les pas glissés

On peut parcourir ce trajet de face, ou sur le côté en faisant des « pas glissés ».



Les balançoires

Il faut passer de rondin en rondin, qui se balancent, accrochés à des câbles.



Les troncs fuyants

Les **rondins**, longs de 2 mètres, sont espacés.



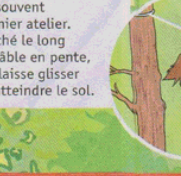
Les tonneaux

Ils forment un tunnel dans lequel il faut ramper.



La tyrolienne

C'est souvent le dernier atelier. Accroché le long d'un câble en pente, on se laisse glisser pour atteindre le sol.



Les ateliers dans les arbres sont de bons entraînements pour les **vias ferratas**. Ce sont des parcours qui proposent le même genre d'acrobaties... dans la montagne !

Les mots difficiles

Spéléologue : personne qui explore les grottes.
Brancard : sorte de lit sans pieds formé d'une toile tendue entre 2 barres.
Plate-forme (ici) : surface plate autour d'un tronc d'arbre, en hauteur.
Fixe (ici) : qui ne bouge pas.
Rondin (ici) : morceau de bois rond et court.

Le coin des Incollables

1/ Le Tyrol est une région d'un pays d'Europe. L'**Allemagne** ou l'**Autriche** ?
 2/ Pour quelle construction située près d'elle la ville de Millau est-elle célèbre ?
 Un viaduc (un pont très long).

CARTE D'IDENTITÉ DE LA TYROLIENNE DE MILLAU

La corde

Il s'agissait d'une fabrication spéciale d'une longueur de 2870 m de la référence « Bandit » produite en standard par les Établissement Courant.

Ancrages	Ils ont été réalisés sur « spits », goujons et amarrages naturels. Les points d'amarrages ont été conçus au moyen de répartiteurs de charge de type SSF
Distance entre points d'amarrages	2205 m (mesurée au théodolite Topcon GPT 7500)
Distance parcourue au roulage entre points d'amarrages sur la trajectoire de la corde	2200 m
Dénivelé (différence d'altitude entre point haut et point bas)	380 m
Point bas atteint en fond de boucle	42 m sous l'amarrage du bas
Vitesse maximale atteinte	environ 120 km/h
Verrouillage de la corde	par descendeurs autobloquants Petzl
Mise en tension de la corde	par palan monté sur descendeurs autobloquants Petzl, depuis le point bas
Tension initiale appliquée à la corde	environ 520 daN (mesurée au dynamomètre)
Tension maximale (lors des phases de reprises de tension)	environ 720 daN
Tension maximale appliquée à la corde lors des passages	environ 650 daN
Mise en place	par hélicoptère
Parcours de la tyrolienne	sur poulies Tandem Speed Petzl
Nombre de passages	250 en 5 jours

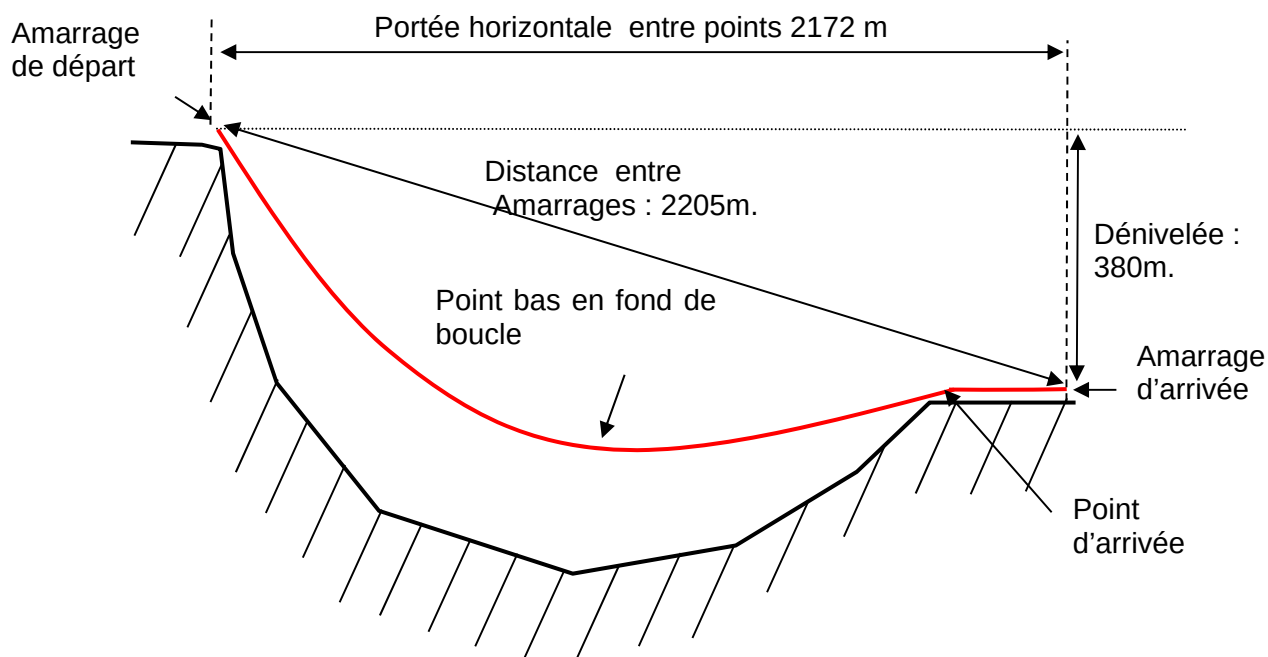


Figure 21. Croquis schématique des caractéristiques dimensionnelles

LE PROCES VERBAL DE LA BRIGADE DE GENDARMERIE DE LA CAVALERIE

GENDARMERIE NATIONALE				PROCÈS-VERBAL DE RENSEIGNEMENT ADMINISTRATIF	
Compagnie ou escadron MILLAU COB MILLAU BP LA CAVALERIE					
Code unité	Nbr P.V.	Année	Nbr dossier justice	Nbr pièce	N° feuillet
15106	693	2013		0-1	1/2
Analyse et références					
Affaire Constatation de la mise en œuvre de " La tyrolienne expérimentale Secours Speleo Français Millau 2013"					
Le mercredi 29 mai 2013 à 11 heures 00 minutes.					
Nous soussigné Adjudant MANGIN Frédéric, en résidence à LA CAVALERIE					
Vu l'article(s) L.3211-3 du code de la défense					
Nous trouvant au bureau de notre unité à LA CAVALERIE 12230 rapportons les opérations suivantes :					
Ce jour, nous procédons à l'enquête citée en référence,					
Le 18/05/2013 à 10 heures, nous avons procédé aux constatations suivantes sur le territoire de la commune de Millau -12- au lieu dit "la borne IGN".					
Il s'agit de la mise en place d'une corde simple dans le but d'effectuer une tyrolienne de très grande envergure et d'y faire passer des membres de la Fédération Française de Spéléologie sur la totalité de son parcours. Cette tyrolienne nommée TYROLIENNE EXPERIMENTALE SPELEO SECOURS FRANCAIS MILLAU 2013 a été installée par le Spéleo Secours Français, département de la Fédération Française de Spéléologie suivant les méthodes classiques utilisées lors des opérations de secours.					
Caractéristiques de l'atelier constatées :					
Nom de l'atelier	TYROLIENNE EXPERIMENTALE SPELEO SECOURS FRANCAIS MILLAU 2013				
Emplacement de départ					
Lieu	La Borne IGN - Causse du Larzac				
Altitude	810 mètres				
Coordonnées	Lat/long - N 44°5'31.76" - E 003°7'10.76"				
Emplacement de l'arrivée					
Lieu	Causse Ndr				
Altitude	386 mètres				
Coordonnées	Lat/long - N 44°8'09.78" - E 003°5'51.79"				
Corde utilisée					
Longueur tyrolienne	2 205 mètres				
Longueur totale corde	2870 mètres				
diamètre	10,5 millimètres				
Marque /type	Marque "COURANT" - type spéléo				
Amarrages	De type répartiteur sur mousquetons/plaquettes/goujons validé par le Spéleo Secours Français				
Données diverses					
Dénivelée	390 mètres Appareil de mesure : Tiedolite topcone : GPT 75000				
Vitesse max mesurée par radar embarqué Ultralight	110 km/h à 100 mètres du départ				
(DESTINATAIRES)					
[1] - Mme la Sous-préfète de l'Aveyron à Millau					
[1] - Mme la Présidente de la Fédération Française de Spéléologie					
[1] - M le Président du Spéleo Secours Français					
[1] - Groupe des spéléologues de la Gendarmerie de l'Isère					
[1] - Archives					
Date de clôture Le 29/05/2013					
Vu et transmis par : 					

PV n° 15106/693/2013	Pièce n° 0-1	Feuillet n° 2/2
Vitesse max calculée	115 km/h	
Vitesse max mesurée par compte-tour sur poulie tandem speed (Petzl)	120 km/h	
Nombre de passages	250 personnes ont été comptabilisées sur la totalité du parcours	
Temps moyen d'un passage	2 minutes	

Nous transmettons la présente procédure à Madame la sous-Préfète de l'Aveyron à Millau.

Fait et clos à La Cavalerie le 29 mai 2013.

L'Officier de police judiciaire.



PARTENAIRES

Le **SPELEO SECOURS FRANÇAIS** tient à remercier chaleureusement tous les acteurs de cette réalisation, et en particulier les organisateurs de Millau 2013, dont Jean-Pierre Gruat, Chantal Cussac et Éric Boyer, sans oublier tous les partenaires sans qui ce projet n'aurait pu aboutir :

La Société COURANT, ERDF Millau, la SCP Gravellier-Fourcadier, géomètres-experts, les Ets Petzl, l'IUT Lyon 1, Gédimat Millau, La Société Roc et Canyon, la société Prévenscop, la ferme de l'Hôpital de Millau et M. Bascoul, M. Taurines, la Mairie de Millau, les Ets Big Mat et Point P, la société Héli-union, la sous-préfecture de Millau, le commissariat central de Millau, les services de la voirie du département de l'Aveyron et de la ville de Millau, la brigade de gendarmerie de La Cavalerie, les services de la DDCSPP de l'Aveyron.

Coordination réalisation de ce rapport :
Bernard Tourte

Contributions diverses sur ce rapport :
Laurent Morel, Baudouin Lismonde, Jean Pierre Cassou, Georges Marbach, Jean Pierre Gruat, Nathalie Rizzo, Jean-Luc Rouy

Photos :
Droits Spéléo secours français.