



collection
Références

n°125

Transport par câble aérien en milieu urbain

SOUS LA COORDINATION
D'YVES SCHNEIDER (STRMTG) ET CÉCILE CLÉMENT-WERNY (CERTU)



Transport par câble aérien en milieu urbain

Certu

9, rue Juliette Récamier 69456 Lyon - France

Collection Références

Cette collection comporte les guides techniques, les ouvrages méthodologiques et les autres ouvrages qui, sur un champ donné, présentent de manière pédagogique ce que le professionnel doit savoir. Le Certu a suivi une démarche de validation du contenu et atteste que celui-ci reflète l'état de l'art. Il recommande au professionnel de ne pas s'écarter des solutions préconisées dans le document sans avoir pris l'avis d'experts reconnus.

Le Certu publie également les collections Dossiers et Essentiel.

Remerciements

Ont contribué à la rédaction de ce document :

Cécile Clément-Werny (Certu),

Yves Schneider (STRMTG) ;

le PCI Transport du quotidien et notamment :

Gaëlle Chapron, David Dubois, Alexandre Elaphos, Anne Le Ruyet ;

le PCI Interface Voirie Transports collectifs et notamment :

Isabelle Basset, Michaël Potier, Sandrine Rousic.

Les auteurs expriment leur reconnaissance à tous les interlocuteurs sollicités dans le cadre de ce travail, et notamment :

Gilles Chomat, Maryvonne Dejeammes (Certu) ;

Dominique Abinal (cabinet Eric) ;

Gildas Bouffaud (La Métro – Grenoble) ;

Brigitte Boutault (Syndicat mixte des transports Sillages – Grasse) ;

Julien Veyrat, Jean-Paul Huard, Michaël Fauché, Christian Bouvier, Jean Souchal (Pomagalski) ;

Eduard Bretcha (Leitner Espagne) ;

Denis Creissels (Creissels Technologies) ;

Joachim Dejaco (STA – Bolzano) ;

Bernard Teiller, Clément Nectoux, Jean-Claude Georges (Doppelmayr France) ;

Denis Ribot, Sylvain Lainé, Jean-Louis Hlisnikovsky (Leitner) ;

Arnaud de Labonnefon (STRMTG, BC Sud-Est) ;

Michel Lambert (Régie du téléphérique de la Bastille – Grenoble) ;

Montserrat Pérez Adrián (TMB – Barcelone) ;

Eric Premat (STRMTG), Fany Audrant (DGITM) ;

Carlos Sanchez Tomé (téléphérique de Montjuic – Barcelone) ;

Serge Tarassoff, Robert Tardieu (Domaines Skiabiles de France) ;

Christophe Tambourin (cabinet DCSA) ;

parc national de la Vanoise.

Les auteurs remercient en particulier les constructeurs, qui ont mis à leur disposition des illustrations et des informations techniques précieuses.

Nous remercions également les relecteurs :

Sébastien Rabuel, Nantes Métropole ;

Claude Soulas, IFFSTAR ;

Jean-François Donque, agglomération d'Annemasse ;

François Rambaud, Certu ;

Thomas Vidal, Certu ;

Jacques Legaignoux, Région Rhône-Alpes ;

Gaëtan Rioult, STRMTG ;

Michel Arras, STRMTG.

Sommaire

■ Avertissement	5
■ Introduction	7
PREMIÈRE PARTIE	
■ Présentation générale des transports par câble	8
DEUXIÈME PARTIE	
■ Réglementation des transports par câble aérien	22
TROISIÈME PARTIE	
■ Éléments de choix d'un système de transport par câble aérien en milieu urbain	36
QUATRIÈME PARTIE	
■ Intégration et mise en œuvre d'un transport par câble aérien dans le réseau de transport	84
CINQUIÈME PARTIE	
■ Synthèse et bilan	96
■ Annexes	107
■ Table des matières	141

Avertissement

Le présent document constitue un ouvrage à vocation pédagogique compilant un ensemble d'informations – partielles sur certaines thématiques, faute de données fiables disponibles – destiné avant tout aux services techniques de collectivités locales, en majorité peu familiarisés avec ces systèmes de transport. Il n'est pas un support méthodologique pour la conduite d'un projet concret de transport par câble aérien ni un recueil technique à l'usage de spécialistes du domaine.

En s'inscrivant dans une telle perspective, ses auteurs ont été confrontés à la diversité caractérisant ce mode de transport : l'existence de nombreuses installations à câble en service en France et le développement du parc sur plusieurs décennies ont été accompagnés d'une diversification des technologies mises au point par les constructeurs. L'offre industrielle s'est ainsi progressivement adaptée à différents types d'utilisation, mais la réglementation, les conditions d'exploitation, les performances, les coûts relatifs à ces différentes solutions techniques ont suivi la même évolution en complexifiant l'information.

En outre, l'objet de cet ouvrage n'est pas de livrer une comparaison de l'ensemble des types de systèmes à câble (du funiculaire à l'ascenseur incliné, du pont transbordeur au téléphérique). Les technologies des systèmes sur voie rigide sont mieux connues, leur utilisation en milieu urbain effective. Les informations fournies concernent donc essentiellement les systèmes aériens, les autres technologies ne donneront lieu qu'à des évocations assez générales.

Afin de faciliter l'appropriation par le lecteur des informations concernant ces systèmes, des simplifications ont été jugées nécessaires et appliquées dans le texte. Des regroupements dans la présentation des types de systèmes ont été opérés. Des choix terminologiques s'écartant parfois du vocabulaire adopté par les professionnels du domaine ont été effectués, toujours dans ce seul but.

Les options prises pourront paraître excessives, trop démarquées des usages « historiques », voire source de confusion pour les acteurs familiers du transport par câble. Les auteurs comptent néanmoins sur leur compréhension, en considérant qu'un lecteur prenant connaissance de ce document saura, s'il le souhaite, aborder par la suite des informations plus détaillées et nuancées, sans difficulté.

Il subsiste quelques aspects, parmi tous ceux abordés dans le document, sur lesquels il n'a pas été possible de déterminer un point de vue consensuel. Les auteurs considèrent avant tout que l'échange a permis de faire avancer – à défaut d'aboutir – la réflexion y compris sur des sujets complexes, comme la manière d'affecter les coûts induits par la construction et l'exploitation d'une installation à câble. Ces questions seront sans doute éclairées par de futurs retours d'expérience ou des évolutions techniques ou technologiques.

Introduction

La première loi issue du Grenelle Environnement de 2009¹ identifie clairement les transports par câble parmi les alternatives pouvant offrir des réponses performantes dans une politique de réduction des nuisances et des émissions de pollutions et de gaz à effet de serre.

Les télécabines et les téléphériques restent perçus essentiellement comme des systèmes réservés au transport des skieurs des stations de sports d'hiver. De fait, ils font partie intégrante des paysages montagneux français.

En milieu urbain, d'autres modes de transport participent à l'identité de la ville par une intégration et une acceptation réussie, comme le tramway historique de Lisbonne. Le transport par câble aérien a potentiellement des atouts similaires en donnant accès à de nouveaux paysages, en apportant une nouvelle dimension, non seulement au déplacement quotidien, mais également à l'espace urbain.

Mais aujourd'hui, les systèmes de transport par câble aérien sont quasiment absents du paysage des transports collectifs urbains et périurbains en France. L'utilisation des transports par câble aérien est pourtant possible en milieu urbain. Plusieurs agglomérations étrangères (Medellín, Caracas, Rio de Janeiro, New York, Alger, Constantine...) disposent même de télécabines et de téléphériques entièrement intégrés dans leur réseau de transport collectif. Certaines réalisations emblématiques ont prouvé que les transports par câble aérien peuvent être pertinents dans le champ des transports urbains, dans des contextes marqués chacun par ses spécificités propres.

Par ailleurs, un certain nombre de collectivités territoriales françaises, en métropole ou dans les départements d'outre-mer, se sont engagées dans l'étude de projets concrets. Les démarches récemment lancées ont pour objectif d'évaluer les potentialités et contraintes de services des systèmes à câble aérien en tant que maillon d'un réseau existant de transports collectifs urbains ou périurbains.

C'est entre autres pour répondre à des sollicitations de plus en plus nombreuses sur les performances et caractéristiques de ces systèmes, que le Certu et le STRMTG ont engagé des études permettant d'aider les collectivités dans leurs orientations, en leur fournissant les éclairages techniques les plus impartiaux et complets possibles dans l'état des connaissances actuelles.

Les informations recueillies doivent alimenter la réflexion globale sur la pertinence des systèmes de transport collectif en site propre (TCSP) en milieu urbain et périurbain en France.

P R E M I È R E P A R T I E

Présentation générale des transports par câble

1 Précisions sur la terminologie utilisée

Le domaine des transports par câble recourt à une terminologie spécifique. Toutefois, les acceptions liées au vocabulaire sont variables selon le contexte (usage populaire, réglementaire, industriel...). Quelques précisions préalables s'imposent donc sur cet aspect pour limiter les confusions.

Un glossaire complet est proposé en annexe B.

■ Remontée mécanique

Au sens de la réglementation française, sont appelés « remontées mécaniques » tous les appareils de transport public de personnes par chemin de fer funiculaire ou à crémaillère, par téléphérique, par téléskis ou par tout autre engin utilisant des câbles porteurs ou tracteurs (article L342-7 du Code du tourisme).

Ce terme est principalement associé aux équipements des stations de montagne. Il comprend des types d'installations inutilisables en transport collectif urbain, comme les télésièges ou les téléskis. Ce terme de « remontées mécaniques » ne sera pas employé dans ce document, en dehors des passages traitant de la réglementation technique applicable en matière de sécurité. Il lui sera préféré la désignation plus générique d'installations de transport par câble (installations ou systèmes à câble, en raccourci).

■ Transport par câble

L'expression « transport par câble » désignera dans ce document tout système de transport dans lequel des véhicules sont mus par l'intermédiaire d'un câble d'acier.

Le transport par câble comprend différentes catégories de systèmes : les funiculaires, les téléphériques, les télécabines. Les télésièges et les téléskis, n'étant

pas appropriés à un usage de transport collectif urbain (TCU), ne seront pas évoqués dans la suite du document.

Par abus de langage, dans la suite du document, l'expression « transport par câble » pourra être utilisée en lieu et place de « transport par câble aérien ».

■ Téléphérique

Au sens de la réglementation française, un téléphérique est une installation « dans laquelle les passagers sont transportés dans des véhicules suspendus à un ou plusieurs câbles ». Ce vocabulaire officiel s'oppose à l'acception plus répandue dans le public, qui identifie généralement les téléphériques comme des installations équipées de un ou deux véhicules circulant en aller-retour entre deux points (on mentionnera l'exception à cette habitude de l'emblématique « téléphérique de la Bastille », à Grenoble).



Téléphérique de Portland (États-Unis) – Crédit photo : IARM

Dans ce document, le terme de téléphérique désignera toute installation à câble équipée de un ou deux véhicules fermés de moyenne et grande capacité circulant en aller-retour sur le même chemin de câbles.

■ Télécabine

La notion de télécabine est absente de la réglementation française.



Télécabine de Saragosse (Espagne) – Crédit photo : Leitner

Dans ce document, le terme de télécabine désignera toute installation à câble équipée de plusieurs véhicules fermés de faible ou moyenne capacité circulant en mouvement unidirectionnel (sur une boucle).

■ Funiculaire

Selon la norme NF EN 1907 relative à la terminologie se rapportant aux installations à câble transportant des personnes, les funiculaires désignent des remontées mécaniques dans lesquelles les véhicules sont tractés par un ou des câbles, et se déplacent sur une voie posée sur le sol ou portée par des ouvrages fixes.



Funiculaire d'Innsbruck (Autriche) – Crédit photo : Leitner

■ Automated People Mover

Un APM se définit comme un système de transport guidé, à fonctionnement entièrement automatique, équipé de véhicules se déplaçant sur une voie qu'ils sont seuls à utiliser. Un APM n'est pas obligatoirement un système de transport par câble, d'autres moyens de traction pouvant être employés (motorisation embarquée).



APM de Pérouse (Italie) – Crédit photo : Leitner

REMARQUE

Ce dernier groupe de systèmes de transport est évoqué dans ce document parce qu'il correspond à un marché en fort développement chez les constructeurs d'installations à câble. L'anglicisme employé reflète l'absence d'une terminologie française suffisamment explicite et répandue pour désigner ces systèmes de transport automatisés. Ceux-ci font l'objet d'un intérêt croissant à travers le monde ainsi que de nombreuses publications recourant à une terminologie variée, parfois confuse.

Au risque de se heurter dans le cas présent à une représentation populaire du funiculaire, ce terme désignera dans ce document toutes les installations définies par la terminologie normative européenne citée. Ainsi, un funiculaire pourra être piloté « manuellement » depuis le véhicule par un agent d'exploitation ou fonctionner automatiquement, rouler sur rails, pneus ou se déplacer sur coussins d'air, franchir de forts dénivelés ou relier deux points sur un trajet

quasiment horizontal. Un APM à câble sera donc considéré comme un funiculaire particulier (automatique), mais aussi comme un APM particulier (à distinguer des APM automoteurs).

Pour être complet, un recensement des différents systèmes de transport par câble en service doit inclure les ponts transbordeurs, dont il subsiste une installation française, et les ascenseurs inclinés (voir Annexe C).

■ Fonctions des câbles (transport par câble aérien)

Les câbles des installations de transport par câble aérien peuvent assurer différentes fonctions : câble porteur, câble tracteur ou câble porteur et tracteur.

- **Câble porteur** : câble dormant disposé de façon à n'assurer que la sustentation de véhicules comprenant un chariot roulant sur ce câble. Les câbles porteurs ont une fonction comparable à celle assurée par des rails.
- **Câble tracteur** : câble mobile disposé de façon à transmettre son mouvement aux véhicules qui lui sont attachés, sans assurer leur sustentation.
- **Câble porteur-tracteur** : câble mobile disposé de façon à transmettre son mouvement aux véhicules qui lui sont attachés, tout en assurant leur sustentation.

■ Technologies monocâbles, bicâbles ou tricâbles

Suivant le nombre et la fonction des câbles employés, on distinguera plusieurs technologies d'installations aériennes de transport par câble.

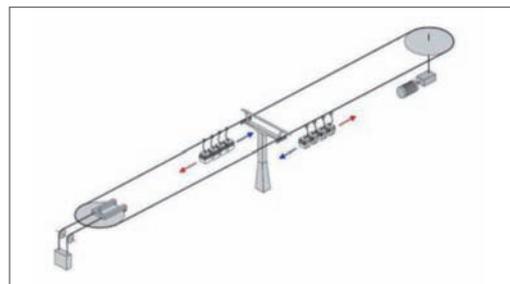
- **Système monocâble** : système de transport par câble aérien disposant d'un seul câble à la fois porteur et tracteur.
- **Système bicâble (ou « 2S »)** : système de transport par câble aérien disposant d'un câble porteur et d'un câble tracteur.
- **Système tricâble (ou « 3S »)**² : système de transport par câble aérien disposant de deux câbles porteurs et d'un câble tracteur.

- **Système double monocâble** : système de transport par câble aérien disposant de deux câbles à la fois porteurs et tracteurs.

■ Types de mouvement du câble tracteur

On distingue plusieurs types de mouvement du câble tracteur :

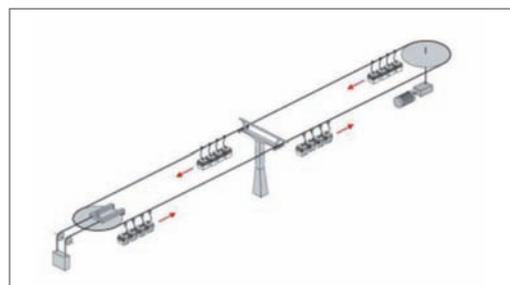
Bidirectionnel à va-et-vient : le câble tracteur fonctionne alternativement dans un sens puis dans l'autre et entraîne deux véhicules se déplaçant en sens contraire ;



Principe du mouvement bidirectionnel à va-et-vient –
Source Pomagalski

Bidirectionnel à va-ou-vient : le câble tracteur fonctionne alternativement dans un sens puis dans l'autre et entraîne un seul véhicule ;

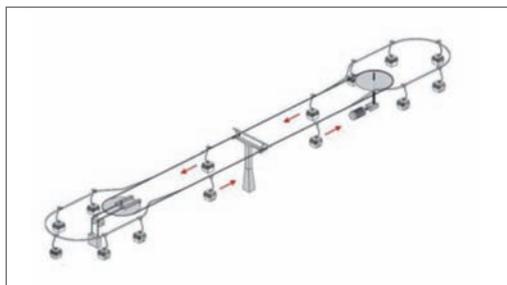
Unidirectionnel pulsé : le câble tracteur fonctionne toujours dans le même sens mais sa vitesse varie périodiquement suivant la position des cabines. Le câble ralentit fortement ou s'arrête lorsqu'une cabine arrive en station ;



Principe du mouvement unidirectionnel pulsé –
Source Pomagalski

² La réglementation technique française ne distingue pas les systèmes bicâbles et tricâbles ainsi définis, considérés tous deux comme des systèmes bicâbles car utilisant des câbles ayant deux fonctions distinctes.

Unidirectionnel continu : le câble tracteur fonctionne toujours dans le même sens et est animé d'une vitesse constante.



Principe du mouvement unidirectionnel continu –
Source Pomagalski

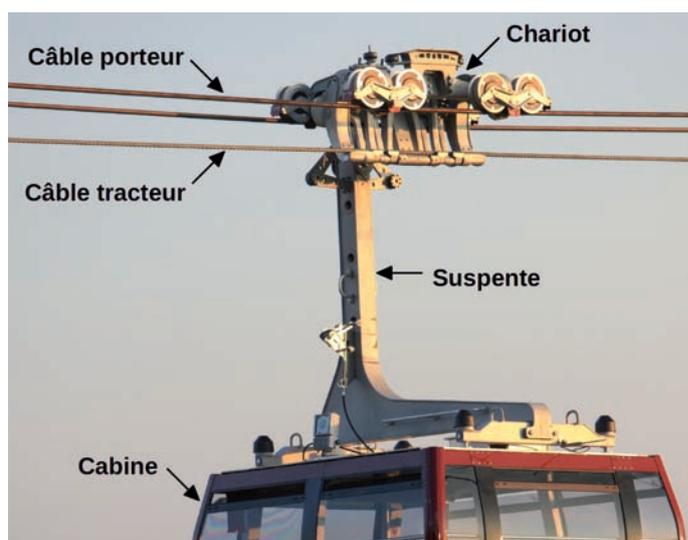
■ Systèmes fixes et débrayables

Dans les systèmes bidirectionnels ou unidirectionnels discontinus, l'embarquement et le débarquement des passagers est rendu possible par la vitesse réduite voire nulle du câble tracteur lors du passage des cabines en station. Dans les systèmes unidirectionnels continus, les cabines sont désolidarisées du câble tracteur lors de leur passage en station, afin de permettre l'embarquement et le débarquement des passagers, tout en maintenant les cabines en mouvement hors station, pour conserver une vitesse de déplacement moyenne élevée. On parle alors de système débrayable (ou découplable). Ces systèmes permettent ainsi un embarquement/débarquement à faible vitesse (0,3 m/s) ou à l'arrêt.

- **Système débrayable** : système équipé de véhicules munis d'une pince débrayable qui permet de désolidariser les véhicules du câble tracteur dans les stations pour une circulation à faible vitesse, tandis que les véhicules en ligne ne sont pas ralentis.
- **Système fixe** : système équipé de véhicules munis d'une pince fixe, les véhicules restant toujours solidaires du câble tracteur.

■ Autres termes fréquemment employés

- **Cabine** : constituant d'une installation de transport à câble destiné à recevoir et transporter les passagers.
- **Chariot** : constituant d'un véhicule de télécabine ou de téléphérique comportant un bâti et des galets, supportant le reste du véhicule et roulant sur le ou les câbles porteurs.
- **Véhicule** : ensemble cabine + chariot.
- **Pince ou attache** : élément du chariot assurant la liaison entre le véhicule et le câble tracteur.
- **Suspente** : constituant d'un véhicule assurant la liaison entre la cabine et le chariot.
- **Station** : ensemble de bâtiments et de structures comprenant les installations techniques, les aires d'embarquement/débarquement ainsi que, s'il y a lieu, des zones d'accueil et d'abri.
- **Hauteur de survol** : distance entre la surface du plancher des véhicules fermés et la surface du terrain.
- **Installation** : système complet implanté dans son site, comprenant le génie civil et les sous-systèmes (extrait de la directive 2000/9/CE du 20 mars 2000).
- **Portée** : distance entre deux appuis du câble



Constituants d'une télécabine – Crédit photo : CETE de Lyon

2 Caractéristiques des systèmes de transport par câble aérien

Conçu spécifiquement pour le franchissement d'obstacles, le transport par câble s'est principalement développé en montagne. Son utilisation est également possible en milieu urbain, où il rencontre depuis quelques années plusieurs succès remarquables à l'étranger.

En Amérique du Sud, des télécabines sont construites pour desservir les quartiers défavorisés situés à flanc de montagne ou sur les collines de grandes métropoles (Medellín, Caracas, Rio de Janeiro...). En Amérique du Nord, des téléphériques permettent de relier des quartiers urbains isolés (île Roosevelt à New York, complexe hospitalo-universitaire sur les hauteurs de Portland, Oregon...).

Ce chapitre a pour objectif de décrire les différents systèmes aériens actuellement en service.

AVERTISSEMENT

Les indications relatives aux différents systèmes présentés doivent être appréhendées comme des ordres de grandeur, à l'exception des vitesses maximales et des hauteurs de survol qui résultent de la réglementation.

Les performances affichées sont celles des systèmes **existants**, sans préjuger des évolutions potentielles apportées par des installations ou systèmes à câble innovants.

Cette présentation des différents systèmes ne se veut pas exhaustive. Il existe quelques installations atypiques de transport par câble qui n'entrent pas strictement dans les catégories de systèmes présentées dans ce chapitre.

2.1 Les téléphériques à va-et-vient

Les transports par câble se sont développés sur la base de ce concept très simple : deux véhicules (ou deux trains de véhicules accouplés) sont liés à un même câble tracteur, de sorte que lorsque l'on tire sur le câble tracteur, les deux véhicules se déplacent à la même vitesse mais en sens contraire. Ils atteignent les stations opposées simultanément. Cette disposition présente l'avantage d'équilibrer les masses à vide et donc de limiter l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'ensemble. Les véhicules sont liés au câble tracteur par une attache fixe. C'est la variation de la vitesse du câble qui permet de ralentir à l'approche des stations puis de s'arrêter.

Selon la technologie employée, les caractéristiques sont différentes.

Caractéristiques	Téléphérique à va-et-vient
Capacité maximale	Jusqu'à 2000 voyageurs par heure et par sens
Capacité des cabines	Jusqu'à 200 places
Vitesse maximale (réglementaire)	45 km/heure (12,5 m/s)
Portée maximale	De l'ordre de 3 km
Hauteur maximale de survol	Aucune contrainte technique réglementaire

Il est possible d'utiliser la technologie monocâble, mais celle-ci limite les performances des téléphériques à va-et-vient. L'absence de câble porteur les confine à des installations aux caractéristiques modestes, réservées à des applications particulières (une liaison temporaire par exemple). Le principe de ce système, limité à un véhicule par chemin de câble, impose en général l'utilisation de véhicules de grande capacité, avec, entre autres, des câbles porteur et tracteur dimensionnés en conséquence.



Téléphérique de Portland – Crédit photo : Doppelmayr.
Cabinet d'architecture : Angel/Graham/Pfenninger/Scholl

2.2 Les téléphériques à va-ou-vient

Dans ce système, un seul véhicule (ou un seul train de véhicules accouplés) circule en aller-retour sur un ou deux câbles porteurs. Ce système peut être doublé (deux chemins de câble indépendants, portant chacun son véhicule) lorsque les contraintes de disponibilité nécessitent une telle redondance.

Le téléphérique de Roosevelt Island à New York, rénové en 2010, fonctionne selon ce mode. Le système est entièrement doublé, chaque véhicule possède sa propre machinerie (câble porteur, câble tracteur, groupe moteur) et se déplace indépendamment

de l'autre. Il s'agit en fait de deux téléphériques indépendants. Le principal avantage de ce système réside dans sa capacité à fonctionner avec un seul véhicule, l'autre véhicule pouvant être immobilisé de manière moins contraignante en période de maintenance ou de faible affluence. Il en résulte une disponibilité plus élevée et une modularité des débits plus importante que sur les va-et-vient classiques.



Téléphérique de New York – Crédit photo : CETE de Lyon

Les caractéristiques de ces téléphériques sont les mêmes que celles des téléphériques à va-et-vient.

Caractéristiques	Téléphérique à va-ou-vient
Capacité maximale	Jusqu'à 2000 voyageurs par heure et par sens
Capacité des cabines	Jusqu'à 200 places
Vitesse maximale (réglementaire)	45 km/heure (12,5 m/s)
Portée maximale	De l'ordre de 3 km
Hauteur maximale de survol	Aucune contrainte technique réglementaire

Pour les téléphériques à va-et-vient comme pour ceux à va-ou-vient, les fréquences de départ dépendent de la vitesse en ligne et de la longueur de l'installation.

2.3 Les télécabines pulsées à mouvement unidirectionnel discontinu

Il s'agit d'installations de transport à câble à mouvement unidirectionnel (boucle tournant dans le même sens) dont le câble tracteur est animé d'un mouvement à vitesse variant périodiquement en fonction de la position des véhicules. Le système est simple à mettre en œuvre. Il se prête parfaitement à un arrêt complet des véhicules en station.

Ces installations peuvent se décliner dans les technologies monocâbles, bicâbles et tricâbles.

Les véhicules peuvent en outre être disposés en trains (groupe de cabines accouplées ou rapprochées entre elles). Lors de l'entrée en station, c'est alors l'ensemble des véhicules qui ralentit, même ceux qui sont éventuellement en ligne (cas de plus de deux trains de véhicules).

Les installations « pulsées », compte tenu de leurs caractéristiques, sont adaptées aux trajets courts et à des débits modestes.

Caractéristiques	Télécabine pulsée
Capacité maximale	Jusqu'à 1000 voyageurs par heure et par sens
Capacité des cabines	Jusqu'à 10 places
Vitesse maximale (réglementaire)	Installation monocâble : 21,6 km/h (6 m/s) Installations bicâbles et tricâbles : 27 km/h (7,5 m/s)
Portée maximale	Installation monocâble : couramment de 150 m à 300 m Installation bicâble : 1500 m Installation tricâble : jusqu'à 3000 m
Hauteur maximale de survol	Installation monocâble : 30 m (60 m pour le franchissement de courtes dépressions) Installations bicâble et tricâble : aucune contrainte technique réglementaire

2.4 Les télécabines à mouvement unidirectionnel continu

Ce sont des installations de transport à câble à mouvement unidirectionnel dont le ou les câbles tracteurs ou porteurs-tracteurs sont animés d'un mouvement de vitesse constante. La capacité souhaitée et les contraintes techniques (longueur des portées et importance des dénivellations) conditionnent les choix technologiques (monocâbles, bicâbles, tricâbles).

Ces systèmes sont pour la plupart débrayables, offrant la possibilité de faire circuler les véhicules en station à une vitesse différente de celle du câble tracteur, qui reste constante. À leur arrivée en station, après débrayage, les véhicules sont ralentis par un système à friction sur train de pneus pour atteindre la vitesse de circulation dans la station. Ainsi, la durée du trajet en ligne n'est pas pénalisée et le temps d'embarquement et de débarquement compatible avec les échanges de passagers.

Pour des courtes distances (inférieures à 500 m), le système débrayable est inadapté car trop coûteux en regard du service rendu. Il est préférable de mettre en place une installation de transport à câble à mouvement de va-et-vient ou pulsé, techniquement plus simple et financièrement plus économique. En revanche, pour des distances importantes, une installation nécessitant une capacité élevée impose un système débrayable.

Il est également possible d'immobiliser totalement les véhicules et d'installer des portes palières. De tels dispositifs existent déjà dans des installations entièrement automatisées.

Afin d'éviter les collisions entre les véhicules en station, un espace minimal sépare deux véhicules successifs en ligne. Le débit de l'installation est déterminé par la capacité des véhicules, cet espace minimal et l'intervalle de temps entre deux véhicules successifs. Les caractéristiques de la station (longueur des quais, circulation et arrêt des véhicules, organisation des flux de passagers) doivent être compatibles avec ces paramètres pour un fonctionnement efficace et en sécurité.

■ Les télécabines monocâbles

Un unique câble porteur-tracteur assure la traction et la sustentation de ces véhicules. Les véhicules sont découplés du câble en station et parcourent à vitesse réduite les zones d'embarquement et débarquement.

Les installations monocâbles présentent les caractéristiques suivantes :

Caractéristiques	Téléphérique à va-et-vient
Capacité maximale	Jusqu'à 3200 voyageurs par heure et par sens
Capacité des cabines	Jusqu'à 15 places
Vitesse maximale (réglementaire)	21,6 km/heure (6 m/s)
Portée maximale ³	Couramment de 150 m à 300 m
Hauteur maximale de survol	30 m (60 m pour le franchissement de courtes dépressions) Voir partie 2 chapitre 2 sur la réglementation



Télécabine de Barcelone – Crédit photo : Leitner

■ Les télécabines doubles monocâbles

Il s'agit de systèmes très particuliers, ayant donné lieu à un nombre assez réduit de réalisations dans le monde, développés essentiellement pour améliorer la stabilité au vent des cabines, grâce à deux câbles porteurs-tracteurs, assurant à la fois la traction et la sustentation des véhicules. Cette technologie permet d'exploiter en sécurité avec des vents plus forts (d'environ 100 km/h : voir partie 3 chapitre 3 sur cet aspect) que dans le cas d'une télécabine monocâble. Par ailleurs, la présence de deux câbles affranchit ces systèmes des limites réglementaires de hauteur de survol.

La majorité des installations de ce type fonctionnent avec des véhicules munis d'attaches débrayables, mais certaines d'entre elles sont exploitées sur un mode va-et-vient, avec des trains de plusieurs cabines (cf. paragraphes précédents) ce qui réduit leur coût de réalisation mais limite également la capacité du système en termes de débit (de manière significative par rapport aux indications du tableau suivant).

Caractéristiques	Téléphérique à va-et-vient
Capacité maximale	Jusqu'à 4000 voyageurs par heure et par sens
Capacité des cabines	24 à 30 places au maximum selon les systèmes
Vitesse maximale (réglementaire)	28,8 km/h (8 m/s) - (installations en service : plutôt 6 m/s ou 7 m/s)
Portée maximale ³	Jusqu'à 800 m pour des installations réalisées en France
Hauteur maximale de survol	Aucune contrainte technique réglementaire



Funitel du mont Parnes (Grèce) – Crédit photo : Doppelmayr

La portée maximale peut être supérieure à celle indiquée. Par exemple, l'installation réalisée en 2012 pour la Volga entre Nijni-Novgorod et Bor en Russie comporte une portée de 900 m. Cependant, les contraintes induites par des portées importantes sur le dimensionnement des supports (compte tenu des flèches des lignes, des efforts à reprendre) ne permettent d'envisager qu'exceptionnellement des portées supérieures aux valeurs du tableau précédent pour ce type de systèmes.

■ Les télécabines bicâbles ou tricâbles

Un câble ou deux câbles porteurs assurent la sustentation du véhicule et un câble tracteur assure la traction du véhicule. Comme pour les télécabines monocâbles, à leur arrivée en station, les véhicules sont ralentis par un système à friction sur train de pneus et découplés du câble tracteur. Les opérations de débarquement et d'embarquement se font à faible vitesse.

Caractéristiques	Télécabine bicâble (2S1)	Télécabine tricâble (3S)
Capacité maximale	Jusqu'à 4000 voyageurs par heure et par sens	Jusqu'à 4500 voyageurs par heure et par sens
Capacité des cabines	Jusqu'à 17 places	Jusqu'à 35 places
Vitesse maximale	27 km/h (7,5 m/s)	27 km/h (7,5 m/s)
Portée maximale	1500 m	Jusqu'à 3000 m
Hauteur maximale de survol	Aucune contrainte technique réglementaire	Aucune contrainte technique réglementaire



Télécabine bicâble de Hong Kong – Crédit photo : Leitner

Acteurs et intervenants dans l'implantation des transports par câble aérien 3

Différentes étapes jalonnent la période précédant la mise en service d'une installation de transport par câble, ainsi que toute la durée de son exploitation. Les procédures d'autorisations délivrées en France aux Autorités organisatrices des transports (AOT) et aux exploitants mettent en jeu plusieurs types d'intervenants, brièvement présentés dans ce chapitre.

Ils doivent le faire en accord avec les AOTU lorsque les services organisés sont situés pour partie à l'intérieur d'un PTU (article L2121-10). À noter qu'en outre-mer, les départements n'ont pas cette compétence : ce sont les Régions ou, le cas échéant, les communes ou leurs groupements qui peuvent l'exercer (articles L2311-3, L2321-2, L2331-2, L2341-2).

3.1 Les Autorités organisatrices de transport compétentes pour un transport par câble aérien

L'autorité organisatrice compétente dépend de l'étendue géographique de la desserte assurée par le transport par câble, et notamment du fait qu'il desserve ou non un périmètre des transports urbains (PTU).

À l'exception des remontées mécaniques situées en zone de montagne qui relèvent du Code du tourisme, les transports par câble font partie des transports guidés définis par l'article L2000-1 du Code des transports, à savoir *tout transport public dont les véhicules sont assujettis à suivre, sur tout ou partie de leur parcours, une trajectoire déterminée à l'exclusion des remontées mécaniques relevant des dispositions du Code du tourisme et des systèmes de transport situés dans l'enceinte d'un établissement soumis aux réglementations relatives aux établissements recevant du public, aux activités foraines ou aux parcs de loisirs.*

Par conséquent, lorsque les transports par câble assurent un service public :

- les Autorités organisatrices des transports urbains (AOTU) sont compétentes pour leur organisation à l'intérieur des PTU (article L1231-2 du Code des transports) ;
- les départements sont compétents pour créer ou exploiter des infrastructures de transports non urbains de personnes, ferrés ou guidés, d'intérêt local (article L2112-1 du Code des transports).

3.2 Le STRMTG

L'élaboration et le contrôle de l'application de la réglementation en matière de sécurité des « remontées mécaniques » relèvent des compétences du ministère chargé des Transports.

Service à compétence nationale rattaché à la Direction Générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer (DGITM) de ce ministère, le Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés (STRMTG) constitue le pôle de compétence de l'administration française en matière de sécurité des remontées mécaniques et des transports guidés. Un exposé plus détaillé de ses missions est proposé en Annexe E.

Le rôle des pouvoirs publics dans le contrôle de la sécurité des installations est fondé sur un ensemble de textes⁵.

3.3 Les constructeurs

Il existe deux grands groupes industriels au niveau mondial : le groupe HTI, qui détient les deux constructeurs Leitner et Pomagalski et le groupe Doppelmayr-Garaventa, ainsi que des fabricants plus spécialisés, en nombre très réduit.

Dans le secteur du transport urbain, ces constructeurs ont réalisé plusieurs grandes opérations en câble aérien. Certaines ont été analysées dans le cadre de cette étude⁶.

Voir la partie 2 relative à la réglementation française.

Notamment les télécabines de Barcelone, Bolzano, Grenoble, Medellín, les téléphériques de New York, Portland, le projet de funiculaire de Grasse... Ces installations sont décrites en Annexes H et I.

- Leitner a réalisé la nouvelle télécabine de Bolzano (Italie).
- Pomagalski a réalisé la télécabine de Medellín (Colombie) et a rénové le téléphérique reliant l'île de Roosevelt à Manhattan, à New York.
- Doppelmayr a réalisé le téléphérique de Portland (États-Unis) et la télécabine de Caracas (Venezuela).
- Garaventa a réalisé la télécabine de Constantine (Algérie).

■ Le groupe HTI

Le constructeur Leitner, dont le siège se situe en Italie, possède également une agence française implantée à Montmélian (Savoie), ainsi qu'une filiale, AGUDIO, plus spécialisée dans la construction de funiculaires, bi et tricâbles.

Le constructeur Pomagalski dont le siège et le service d'ingénierie sont à Grenoble, s'appuie sur cinq filiales :

- SIGMA, spécialisée dans la production de cabines pour les télécabines, funiculaires et d'autres types de navettes ;
- SACMI, en charge de la construction mécanique (mécanosoudure) ;
- SEMER, chargé de l'automatisation et de l'électronique utilisées dans le groupe ;
- COMAG, en charge des opérations de génie civil et du montage ;
- SKIRAIL, intervenant notamment dans la construction d'ascenseurs inclinés et petits funiculaires.

■ Le groupe Doppelmayr–Garaventa

Le constructeur Doppelmayr, dont le siège se situe en Autriche, possède une agence française implantée à Modane (Savoie). Ce groupe, organisé en structure plus intégrée (construction de l'ensemble des composants d'une installation à câble), possède toutefois une filiale, CWA, spécialisée dans la construction des cabines.

La société Garaventa est basée en Suisse.

Parmi les autres constructeurs présents sur le marché du transport par câble, on peut citer **BMF** (Bartholet Maschinenbau AG, constructeur de téléphériques), basé en Suisse.

3.4 Les OQA

La réglementation destinée à garantir la sécurité des installations de transport par câble prévoit plusieurs niveaux de contrôle et de vérification. Elle organise par conséquent les différents niveaux de responsabilité des intervenants au projet.

À ce titre, l'évaluation de la sécurité d'une installation en projet est assurée par une « tierce partie », dénommée expert agréé dont les responsabilités sont distinctes de celles du maître d'ouvrage et/ou de l'AOT, du maître d'œuvre, de l'exploitant, du constructeur et des services de l'État.

La réglementation⁷ applicable à une installation est différente selon que la remontée mécanique se situe en zone de montagne, l'expert étant alors qualifié de « maître d'œuvre » en remontée mécanique (son rôle ne devant pas être confondu avec celui du maître d'œuvre défini dans la loi relative à la maîtrise d'ouvrage publique) ou qu'elle se situe hors zone de montagne, les missions d'évaluation de la sécurité étant alors remplies par un « Organisme qualifié agréé » (OQA).

Le présent document s'intéressant aux zones urbaines et périurbaines, seules les missions des OQA y seront développées⁸. On notera simplement que :

- les missions attribuées respectivement aux OQA et aux maîtres d'œuvre « remontées mécaniques » ne recouvrent pas exactement le même champ ;
- ces experts ne peuvent les exercer que s'ils disposent d'un agrément ministériel délivré au vu de leurs compétences. L'agrément « maître d'œuvre », délivré pour exercer les missions d'évaluation de la sécurité des remontées mécaniques en zone de montagne, vaut agrément pour évaluer la sécurité de celles situées en zones urbaines ou périurbaines (article 3-5 du décret STPG).

⁷ Voir la partie 2 relative au cadre réglementaire français.

⁸ Pour plus d'informations sur la réglementation applicable en zone de montagne et les maîtres d'œuvre de remontées mécaniques, se reporter à l'Annexe F.

Aussi, lors de la conception et de la réalisation d'une remontée mécanique assurant un service de transport public de personnes, les missions d'évaluation de la sécurité de toute installation à câble sont exercées par un organisme qualifié agréé « remontées mécaniques ». Elles incluent notamment l'évaluation globale des risques extérieurs, des contraintes exportées vers l'exploitation et l'évacuation en cas d'incident.

D E U X I È M E P A R T I E

Réglementation des transports par câble aérien

Différents textes visant à garantir un haut niveau de sécurité des installations à câble transportant des personnes s'appliquent :

- la directive européenne relative aux installations à câble transportant des personnes (directive 2000/9/CE du Parlement européen et du Conseil du 20 mars 2000 relative aux installations à câble transportant des personnes [Journal officiel L106 du 3 mai 2000]) et le décret n° 2003-426 du 9 mai 2003 relatif à la mise sur le marché des constituants et sous-systèmes assurant la sécurité des remontées mécanique ;
- le décret n° 2003-425 du 9 mai 2003 relatif à la sécurité des transports publics guidés (dit décret STPG) et le Code du tourisme ;
- l'arrêté du 7 août 2009, modifié par l'arrêté du 20 mai 2010, relatif à la conception, à la réalisation, à la modification, à l'exploitation et à la maintenance des téléphériques.

La directive comporte les obligations auxquelles sont soumis les concepteurs et fabricants des matériels employés dans ces installations.

Les deux autres textes cités décrivent les procédures administratives, obligations et exigences techniques relatives à la réalisation et à l'exploitation d'une installation, s'appliquant aux maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, exploitants et services de l'État.

Le cadre réglementaire français 1

1.1 Cadrage préalable

Le présent cadrage ne porte que sur la réglementation applicable en matière de sécurité de l'ouvrage et ne préjuge en rien des autorisations éventuellement nécessaires au titre d'autres réglementations.

Il convient d'indiquer tout d'abord que si la définition de la notion de remontées mécaniques figure à l'article L342-7 du Code du tourisme⁹, les règles régissant la sécurité de ces installations sont partagées entre :

- le **Code du tourisme** (articles L342-7 à L342-26) dès lors que la remontée mécanique est installée en zone de montagne, telle que définie par l'article 3 de la loi n° 85-30 du 9 janvier 1985 relative au développement et à la protection de la montagne, dite « loi montagne » ;
- le **Code des transports** (articles L1611-1 à L1614-3 et articles L2211-1 à L2211-6) dès lors que la remontée mécanique constitue, en application de l'article L2000-1 du Code des transports, un transport guidé implanté hors zone de montagne. Dans ce cas, le décret n° 2003-425 du 9 mai 2003 relatif à la sécurité des transports publics guidés (dit « décret STPG ») s'applique, les transports par câble constituant un système de transport public dont les véhicules sont assujettis à suivre sur tout ou partie de leur parcours une trajectoire déterminée.

Dans ce document, **seule la réglementation issue du Code des transports sera traitée**¹⁰.

Les règles de sécurité applicables aux transports par câble hors zone de montagne sont fixées par les articles précédemment cités du Code des transports et des décrets d'application n° 2003-425 du 9 mai 2003 relatif à la sécurité des transports publics guidés et n° 2003-426 du même jour relatif à la mise sur le marché des constituants et sous-systèmes assurant la sécurité des remontées mécaniques.

Le décret STPG prévoit un régime juridique différent selon que :

- les remontées mécaniques assurent un transport public régulier de personnes ;
- les remontées mécaniques assurent un transport public de personnes à vocation exclusivement touristique, historique ou sportive.

Le champ du présent document est limité aux remontées mécaniques de type transport à câble, implantées en zones urbaines et périurbaines et assurant un transport public régulier de personnes.

1.2 Le régime d'autorisation et le régime d'exploitation

Dès lors que la remontée mécanique assure un service régulier de transport, l'autorité compétente pour l'organisation des transports urbains (AOTU) et l'exploitant sont tenus de respecter les dispositions suivantes.

■ Première phase : le régime d'autorisation

Les règles de sécurité applicables sont fixées par le Titre II du décret n° 2003-425 précité. Il s'ensuit que le maître d'ouvrage doit élaborer successivement trois dossiers :

- dossier de définition de sécurité (DDS), qui présente notamment les principales caractéristiques techniques et fonctionnelles du projet ;
- dossier préliminaire de sécurité (DPS), qui permet d'obtenir l'autorisation de construire le système ;
- dossier de sécurité (DS), qui permet d'obtenir l'autorisation de mise en exploitation.

L'arrêté du 23 mai 2003 relatif aux dossiers de sécurité des systèmes de transport public guidés urbains fixe le contenu de ces dossiers. Ces derniers sont adressés au préfet du département dans lequel va être implantée l'installation. Dans les deux mois

⁹ « Sont dénommés « remontées mécaniques » tous les appareils de transports publics de personnes par chemin de fer funiculaire ou à crémaillère, par téléphérique, par téléskis ou par tout autre engin utilisant des câbles porteurs ou tracteurs. » Article L342-7 du Code du tourisme.

¹⁰ Des informations relatives à la réglementation en zone de montagne, issue du Code du tourisme, sont toutefois fournies en Annexe F.

à compter de la réception du dossier, le préfet peut demander des pièces complémentaires. À compter de la complétude du dossier, le délai d'instruction est fixé à trois mois, pour permettre au préfet de donner son avis (pour le DDS) ou sa décision (pour le DPS et le DS). Ce délai peut être majoré d'un mois en cas de consultation de la commission consultative départementale de sécurité et d'accessibilité et de deux mois en cas de consultation de la Commission nationale d'évaluation de la sécurité des transports guidés (CNESTG).

En amont de la mise en service, un dossier d'autorisation pour les tests et essais doit également être établi, si ceux-ci présentent des risques pour les tiers, les riverains ou les utilisateurs du système. Il fait donc l'objet d'une demande d'autorisation préfectorale spécifique.

Le maître d'ouvrage est tenu de choisir un Organisme qualifié agréé (OQA) auquel il confiera une mission d'évaluation de la sécurité de la conception, de la réalisation ou de l'exploitation. Les différentes autorisations seront délivrées (ou rejetées) également au vu de ses avis.

Le décret n° 2003-425 est complété pour les aspects purement techniques par 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.

Les dispositions de cet arrêté prévoient les seules exigences essentielles de sécurité et laisse la définition des moyens à mettre en œuvre à un corpus de règles de l'art défini dans les guides techniques RM1 et RM2 du Service technique des remontées mécaniques et des transports guidés (voir paragraphe 3.2).

Sans être impératives, ces règles de l'art n'en sont pas moins incitatives dès lors que leur respect constitue pour celui qui s'en prévaut et pour les services de contrôle, une présomption de conformité avec les exigences réglementaires de sécurité.

■ Deuxième phase : le régime d'exploitation

Les documents à produire sont :

- le règlement de sécurité de l'exploitation (RSE). Le RSE, prévoyant notamment un dispositif permanent de contrôle et d'évaluation du niveau de sécurité, est transmis au préfet pour approbation. Toute modification ultérieure du RSE doit être approuvée par le préfet ;
- le règlement de police, objet du décret du 22 mars 1942 et de l'arrêté du 7 août 2009 pour les téléphériques ;
- le plan d'intervention et de sécurité (PIS). Le PIS est transmis au préfet. Toute modification au PIS fait l'objet, préalablement à son application, d'une information du préfet.

Dix ans après la mise en service d'une installation, un dossier de sécurité actualisé est transmis au préfet, accompagné des RSE et PIS actualisés. Ces documents sont soumis à l'avis d'un OQA.

Ces procédures sont identiques à celles qui s'appliquent dans le cadre de la réalisation d'un projet de tramway ou de métro.

■ Synthèse des régimes d'autorisation et d'exploitation

Le tableau suivant présente la synthèse des textes, procédures et réglementations techniques applicables à une remontée mécanique située en milieu urbain ou périurbain, assurant un transport régulier de personnes.

Type d'installation	Exemples	Régime d'autorisation				Régime d'exploitation			
		Textes applicables	Procédure	Exigences essentielles	Réglementation technique	Textes applicables	Procédure	Exigences essentielles	Réglementation technique
Remontée mécanique assurant un transport public régulier de personnes dans un PTU	Funiculaires de Lyon	Décret STPG du 9 mai 2003 (Titre II)	DDS (intention)	OQA-RM	Décret n° 2003-426 du 9 mai 2003	Décret STPG du 9 mai 2003	DSA (article 35 tous les 10 ans)	Avis ou approbation du préfet sur les modifications RSE et PIS	Arrêté du 7 août 2009
	Funiculaire de Pau	Décret du 22 mars 1942	DPS (travaux)	Autorisation du préfet	Arrêté du 7 août 2009	Décret du 22 mars 1942	RSE		Guide RM1
	Futur funiculaire de Grasse		DAE (essais)		Guide RM2		PIS		
			DS (mise en exploitation)				RP		
			Arrêté du 23 mai 2003						

Récapitulatif des régimes d'autorisation et d'exploitation – Source STRMTG

1.3 Le contexte réglementaire et les délais de mise en œuvre

Les délais de réalisation d'une installation en zone de montagne peuvent être relativement rapides (de l'ordre de six à neuf mois), en particulier en raison des délais d'instruction assez courts prévus dans la réglementation qui s'y applique.

La situation est différente en milieu urbain et périurbain. Le tableau ci-après montre les écarts existant entre les délais résultant de l'application du Code des transports et du processus STPG en zone urbaine ou périurbaine ou du Code du tourisme en zone de montagne.

Transport par câble en zone urbaine ou périurbaine (Code des transports)		Remontée mécanique de montagne (Code du tourisme)	
Phase	Délai maximum	Phase	Délai maximum
DDS	2 mois (éléments complémentaires) + 2 mois (complétude) + 3 mois (instruction)	DAET (demande d'autorisation d'exécution des travaux)	3 mois (2 mois pour instruction avec avis conforme du préfet)
DPS	2 mois (éléments complémentaires) + 2 mois (complétude) + 3 mois (instruction)	DAME (demande d'autorisation de mise en exploitation)	3 mois (2 mois pour instruction avec avis conforme du préfet)
DS	2 mois (éléments complémentaires) + 2 mois (complétude) + 3 mois (instruction)		
Construction	Pas d'éléments en France (minimum 8 à 9 mois)	Construction	6 à 9 mois (pour un projet avec des difficultés d'accès)

Délais de mise en œuvre – Source CETE de Lyon

En outre, les contraintes pesant sur le déroulement d'un projet en matière d'urbanisme, de disponibilité foncière pour l'implantation des stations, des pylônes, peuvent générer des délais de procédure supplémentaires en milieu urbain. Une procédure de déclaration d'utilité publique sera, par exemple, *a priori* nécessaire, alors qu'elle n'intervient que rarement dans un projet situé en zone de montagne. Les études d'impact seront généralement plus complexes. En milieu urbain, la réalisation des éléments de génie civil peut également être soumise à des contraintes liées à la densité des équipements et constructions existants (déplacements de réseaux, organisation des chantiers...) potentiellement consommatrices de temps.

Il est donc indispensable de considérer avec prudence les nombreux exemples « de montagne » pour évaluer le délai global de réalisation d'un projet en milieu urbain.

La réglementation technique française 2 concernant la conception et l'exploitation des téléphériques et des télécabines

Les exigences techniques réglementaires sont définies par l'arrêté du 7 août 2009 modifié par l'arrêté du 20 mai 2010 relatif à la conception, à la réalisation, à la modification, à l'exploitation et à la maintenance des téléphériques¹¹.

Cet arrêté est accompagné de plusieurs guides techniques rédigés sous la direction du STRMTG :

- le guide RM2, « relatif à la conception générale et la modification des téléphériques » (et des télécabines)
- le guide RM1, « relatif à l'exploitation et la maintenance des téléphériques » (et des télécabines)

Les exigences de sécurité prévues par l'arrêté sont présumées satisfaites dès lors que les dispositions prévues par les guides RM1 et RM2 sont respectées.

Néanmoins, **il est possible de déroger aux dispositions techniques prévues dans ces guides sous réserve de satisfaire aux exigences de sécurité pour les usagers, personnels et tiers.** Cette justification du respect des exigences de sécurité peut par exemple se fonder sur un retour d'expérience constitué à partir d'un parc d'installations, de constituants de sécurité ou sous-systèmes comparables à celui concerné, situés dans un pays de l'Union européenne.

Les paragraphes qui suivent ne reprennent pas l'ensemble des dispositions de l'arrêté de manière exhaustive, mais évoquent quelques aspects présentant une importance particulière pour une installation de transport par câble réalisée en milieu urbain ou périurbain.

2.1 La réglementation relative à l'implantation des installations

L'article 7.1 de l'arrêté du 7 août 2009 précise que tout téléphérique ou télécabine « est conçu de manière à garantir la libre circulation des véhicules et de leurs passagers en évitant, par la mise en place de distances de sécurité, tout heurt avec les infrastructures de l'installation ou son environnement. »

Pour satisfaire à cette exigence essentielle, le guide RM2 du STRMTG s'appuie sur la notion de gabarit libre.

■ Le gabarit libre des téléphériques et des télécabines

Le gabarit libre d'un téléphérique ou d'une télécabine est un volume défini en ajoutant des distances de sécurité à l'espace enveloppe du téléphérique ou de la télécabine. Ce gabarit libre ne doit pas interférer avec :

- l'espace enveloppe d'une autre remontée mécanique ;
- l'infrastructure du téléphérique ou de la télécabine ;
- son environnement immédiat (bâtiment, ligne électrique, gabarit routier...).

L'espace enveloppe est déterminé en prenant en compte les déviations latérales et verticales des câbles, les oscillations transversales et longitudinales des véhicules et la zone résultant du profil physique des véhicules, de la zone des mains, des pieds, des skis et des autres équipements qu'il est prévu de transporter.

Cet espace varie en fonction des installations, mais il est de l'ordre de quelques mètres autour du câble porteur.

¹¹ On rappelle qu'au sens de la réglementation française, le terme de téléphérique renvoie à « toute installation dans laquelle les usagers sont transportés dans des véhicules suspendus à un ou plusieurs câbles ». Cette définition englobe les télécabines et les téléphériques dans la terminologie précisée au début de ce document. Cette réglementation technique est la même que celle appliquée aux installations de montagne.

Les déviations et oscillations dépendent aussi du vent et de la charge utile des véhicules.

Des distances de sécurité sont à prendre en compte, horizontalement et verticalement, entre l'espace enveloppe du téléphérique et les obstacles fixes. Elles sont de 4 m, sauf lorsqu'il s'agit d'éléments dont la position relative est maîtrisée par l'exploitant. Dans ce cas particulier, la distance de sécurité est ramenée à 1,50 m.

Dans les zones où les obstacles mobiles sont susceptibles d'interférer avec le téléphérique ou la télécabine, la distance de sécurité verticale par rapport au gabarit maximum des véhicules est de 1,50 m. Cette disposition concerne notamment les survols des axes routiers, en prenant en compte les gabarits routiers autorisés sur les axes en question.

■ La protection des installations et des personnes en cas d'incendie

Tout bâtiment existant survolé susceptible de présenter un risque d'incendie doit être pris en compte en respectant les distances de sécurité suivantes :

- Verticalement : 20 m ;
- Horizontalement : 8 m.

Ces valeurs peuvent être diminuées à la condition que toutes les dispositions aient été prises pour qu'un incendie du bâtiment survolé ne puisse mettre en péril les usagers du téléphérique ou de la télécabine. Les nouvelles valeurs proposées sont soumises à l'accord des services de contrôle.

En cas de survol d'un espace boisé, deux cas de figure sont à considérer :

- survol à une hauteur supérieure à 30 m par rapport au sommet de la végétation : dans ce cas, pas de contrainte spécifique vis-à-vis du téléphérique ;
- survol à moins de 30 m du sommet de la végétation : le survol de l'espace boisé est possible, à la condition que le sol situé à la verticale du téléphérique soit libre de tout boisement en respectant des distances de sécurité de 1,50 m de part et d'autre de l'installation.

■ Les hauteurs de survol

L'arrêté du 7 août 2009 pose également une exigence liée à la gêne potentielle induite par la sensation de vide. Elle est ainsi exprimée dans le guide RM2 :

Type de système	Hauteur maximale de survol	Dérogations
Téléphérique	Aucune	
Télécabine double monocâble Télécabine bicâble Télécabine tricâble	Aucune	
Télécabine monocâble	30 m	<ul style="list-style-type: none"> • 60 m dans le cas de franchissements des courtes dépressions • Sans limitation s'il y a au maximum cinq véhicules sur toute la longueur de chaque brin de câble simultanément concernés par le franchissement de courtes dépressions

Hauteurs maximales de survol des installations de transport par câble

Les courtes dépressions sont définies comme les dépressions du niveau de survol par rapport à la référence de 30 m dont la longueur totalisée sur le parcours est :

- inférieure à 225 m pour les installations d'une longueur inférieure à 1500 m ;
- inférieure à 15 % de la longueur de la ligne pour les installations d'une longueur supérieure à 1500 m.

2.2 La réglementation relative à la sécurité des usagers

■ Vitesse en ligne

La vitesse maximale en ligne réglementaire pour les différents systèmes est définie à l'article 9 de l'arrêté du 7 août 2009. Elle varie suivant le type de système.

Type de système	Vitesse maximale en ligne réglementaire
Téléphérique bicâble à va-et-vient	12,5 m/s (45 km/h) ¹²
Télécabine tricâble	7,5 m/s (27,5 km/h)
Télécabine bicâble	7,5 m/s (27,5 km/h)
Télécabine double monocâble	8 m/s (28,8 km/h)
Télécabine monocâble	6 m/s (21,6 km/h)

Vitesses maximales en ligne autorisées – Source STRMTG

■ Vitesse en station

La vitesse de marche maximale d'un téléphérique ou d'une télécabine comportant uniquement des véhicules fermés ne peut excéder 0,5 m/s (1,8 km/h) lors de l'embarquement et du débarquement des usagers.

■ Accompagnement des véhicules

Selon la capacité des véhicules, la présence d'un agent d'exploitation à l'intérieur du véhicule est exigée. Cet accompagnement est obligatoire lorsque les véhicules ont une capacité supérieure à quarante personnes (rappel : uniquement pour les systèmes à câble aériens).

2.3 La réglementation relative à l'exploitation

■ Les contrôles en exploitation

Quatre types de contrôles sont réalisés par l'exploitant préalablement à l'ouverture au public du téléphérique ou de la télécabine (début du service). Ils comprennent :

- des **contrôles quotidiens**, comprenant notamment la détection de tout bruit anormal, un contrôle visuel des véhicules, et un parcours d'essai quotidien pour vérifier entre autres le libre fonctionnement des appuis des câbles, le libre passage des véhicules au droit des ouvrages de ligne et des poulies ;
- un **contrôle hebdomadaire** ayant pour objet de vérifier le fonctionnement et l'état de certains dispositifs tels que le moteur de secours et les freins ;
- un **contrôle mensuel** comprenant des contrôles visuels sur notamment les câbles, les dispositifs de guidage des véhicules en station, les moyens d'évacuation spécifiques à l'installation et des essais destinés à vérifier l'efficacité des systèmes de freinage et du moteur de secours ;
- un **contrôle à réaliser en cas d'interruption de l'exploitation** pendant une durée supérieure à un mois : ce contrôle reprend tout ce qui est prévu dans le cadre des contrôles hebdomadaire et mensuel.

■ L'évacuation

L'exploitant doit élaborer un plan d'évacuation regroupant toutes les dispositions relatives aux moyens humains et matériels, ainsi que les procédures à mettre en œuvre pour l'évacuation des passagers en cas d'immobilisation du téléphérique (voir partie 3 chapitre 5).

La durée prévisionnelle totale de l'ensemble des opérations permettant l'évacuation de tous les usagers ne doit pas dépasser trois heures trente minutes.

Le plan d'évacuation doit être porté à la connaissance du personnel, lequel doit avoir reçu une formation adéquate.

¹² Limitation à 7,5 m/s (27 km/h) lors du passage aux pylônes pour les téléphériques non accompagnés.

Pour l'évacuation, plusieurs types de solutions sont envisageables :

- la récupération du véhicule avec les passagers à l'intérieur et retour en station ;
- le transfert des passagers sur un chariot de secours et retour en station ;
- l'évacuation verticale jusqu'à une hauteur maximale de 80 à 100 m, pouvant nécessiter ensuite une prise en charge des passagers au sol.

Aucun plan d'évacuation n'est basé uniquement sur l'intervention d'un hélicoptère : en effet, ce type d'intervention, bien que possible (et effectivement réalisé dans certains cas), est fortement dépendant des conditions météorologiques.

■ Le règlement de police

Le règlement de police fixe les dispositions destinées à garantir le maintien du bon ordre public lors de l'accès, du transport et du débarquement des usagers.

Il précise notamment les modalités d'accès aux installations et de transport des personnes de moins de 1,25 m et des personnes à mobilité réduite, ainsi que la conduite à tenir par les usagers en cas d'accident ou d'incident.

■ Les inspections périodiques

Ces inspections périodiques s'effectuent en dehors des périodes d'exploitation commerciale.

Elles sont de quatre types :

- les inspections annuelles comprenant des contrôles visuels sans démontage et des essais ;
- les inspections pluriannuelles portant sur les pinces fixes ou découplables, sur les chariots et les freins embarqués ;
- les grandes inspections ;
- les inspections des câbles et de leurs attaches.

Ces inspections constituent de fait une contrainte pour les exploitants, qui doivent l'intégrer dans la programmation du service et les procédures de travail.

Les grandes inspections ont pour objectif de soumettre les principaux composants du téléphérique ou de la télécabine à un examen approfondi et complet afin d'anticiper des problèmes de fatigue de ces constituants. Généralement, il s'agit d'un contrôle non destructif réalisé à l'issue d'un démontage.

Les dates des grandes inspections sont fixées selon des durées de fonctionnement de l'installation :

- première grande inspection : au plus tard 22 500 heures de fonctionnement sans excéder quinze ans après la mise en exploitation de l'installation. Pour les appareils qui ont atteint 22 500 heures de fonctionnement avant dix ans, cette première grande inspection peut être réalisée, au plus tard, à l'issue de la dixième année de service avec l'accord du service de contrôle ;
- deuxième grande inspection : au plus tard 15 000 heures de fonctionnement sans excéder dix ans après la première grande inspection ;
- troisième grande inspection et suivantes : 7500 heures de fonctionnement sans excéder cinq ans après la précédente.

Il est délicat d'indiquer une durée moyenne pour le déroulement des grandes inspections. En zone de montagne, elles sont naturellement réalisées en dehors de la saison de ski, durant les périodes d'arrêt de l'exploitation, et peuvent s'étaler sur des délais compris entre un et trois mois. De tels délais ne sont évidemment pas compatibles avec le niveau de disponibilité requis pour une exploitation de TCU. L'organisation de la maintenance et des contrôles réglementaires doit s'adapter à ce contexte. Certains exploitants, à l'étranger, ont mis en place, et continuent à développer, des procédures pour intégrer ces contraintes, combinant une maintenance continue des installations et des arrêts d'exploitation réduits (de l'ordre de une semaine), concentrant les opérations qui ne peuvent être réalisées « en temps masqué ».

La réalisation d'une grande inspection peut être étalée sur trois années à condition de la débiter un an avant son échéance théorique.

Les services de l'État en charge du contrôle administratif réglementaire des installations de transport

par câble peuvent accorder un report d'une année d'une échéance de grande inspection. Cette grande inspection est alors remplacée par une inspection annuelle complétée d'un programme de contrôles approuvé par les services de l'État.

L'examen des dispositions de l'arrêté du 7 août 2009 en vigueur en la matière met notamment en évidence la nécessité d'une nouvelle interprétation opérationnelle des exigences évoquée en début de chapitre.

À titre d'exemple, les périodicités de réalisation des grandes inspections vont être très différentes suivant les modalités d'exploitation du transport par câble :

- remontée mécanique de montagne : fonctionnement de 9 heures à 17 heures sur cinq mois, soit 1200 heures par an ;
- transport par câble en milieu urbain, en supposant que son exploitation obéisse aux contraintes habituelles dans ce contexte : fonctionnement 365 jours par an de 6 heures à 22 heures, soit 5800 heures par an au minimum¹³.

Le respect strict des exigences définies en la matière donne les résultats suivants :

Type d'installation	Première grande inspection	Deuxième grande inspection	Inspections suivantes
Remontée mécanique de montagne (1500 heures de fonctionnement par an)	Quinze ans ou 22 500 heures	Dix ans ou 15 000 heures (sans excéder dix ans)	Cinq ans ou 7 500 heures
Transport par câble en milieu urbain (5800 heures de fonctionnement par an minimum)	Dix ans maximum en accord avec les services de contrôle	15 000 heures (sans excéder dix ans)	7500 heures sans excéder cinq ans

Fréquence des grandes inspections – Source CETE de Lyon

En zone de montagne, ces grandes inspections sont, dans la majorité des cas, relativement faciles à organiser compte tenu de l'utilisation saisonnière de l'installation. En milieu urbain, l'interruption du service sur ce modèle de maintenance pose d'autres problèmes, par exemple celui de la mise en place d'un transport de substitution, en particulier dans

le cas d'une installation réalisée précisément dans un site comportant des obstacles difficilement franchissables par des véhicules routiers ou ferroviaires.

Des solutions adaptées à des contextes particuliers ont été mises au point. Certaines remontées mécaniques françaises, comme le « téléphérique »¹⁴ de la Bastille à Grenoble, ont opté, en accord avec les services de contrôle de l'État, pour un programme prévisionnel de contrôle continu afin de limiter les risques d'interruption du service. D'autres organisations, originales, restent sans doute à imaginer. Quelques pistes sont proposées dans la suite de ce document (cf. partie 3 chapitre 4).

Plus de 7000 heures
de fonctionnement annuel
pour les installations
fonctionnant 365 jours par
an de 5 heures à 24 heures,
comme c'est le cas
de la plupart des tramways
en France.

Il s'agit en fait d'une
télécabine : cf. remarque
partie 1 chapitre 2.

3 Le cadre européen : des objectifs de sécurité concernant la fabrication des matériels

Le domaine des installations à câbles transportant des personnes a également fait l'objet d'une directive européenne : la directive 2000/9 du Parlement européen et du Conseil du 20 mars 2000. Elle règle les aspects relatifs à la fabrication industrielle et au marché correspondant, alors que les États membres restent libres de leurs règles d'adaptation au site et de leurs procédures d'autorisation de construire et d'exploiter, exposées dans les paragraphes précédents pour ce qui concerne la France.

La directive vise à assurer la sécurité des personnes tout en garantissant la libre circulation des éléments constitutifs des installations à câbles.

Ses dispositions concernent essentiellement les concepteurs et les constructeurs et ne seront donc pas développées dans ce document¹⁵.

¹⁵ Une description générale de ce volet réglementaire est cependant proposée en Annexe G.

T R O I S I È M E P A R T I E

Éléments de choix d'un système de transport par câble aérien en milieu urbain

1 La nécessité d'une vision à long terme du réseau de transport

■ Anticiper les évolutions du territoire

Le choix d'un système de transport par câble, comme de tout autre mode de transport, est largement dépendant de la vision à long terme du réseau de transport urbain et périurbain dans lequel il devra s'inscrire.

Les stratégies de localisation de l'habitat, des zones d'emplois, des équipements, modifient les besoins de déplacements à l'intérieur d'un territoire. Ces stratégies peuvent être influencées par les politiques publiques menées en matière de déplacements. Dans la mesure du possible, le projet de transport devra anticiper les évolutions du territoire, dans une vision prospective globale.

■ Avoir une vision à long terme du réseau de transport

Les transports par câble sont des systèmes soumis à certaines limites en termes d'évolutivité. Si certains éléments sont conçus pour être démontables (donc modifiables), ce n'est pas le cas de l'ensemble du système, notamment des stations. Leur construction peut perturber le fonctionnement des territoires dans lesquels ils s'insèrent, même s'ils nécessitent des travaux moins importants et moins longs qu'un projet de tramway, par exemple.

L'importance pour la collectivité de disposer d'une vision à long terme de son réseau de transport est liée, y compris à travers un choix d'implanter un système de transport par câble, aux possibilités d'évolutions ultérieures du réseau. Les questions de capacité des systèmes de transport par câble doivent être anticipées afin d'éviter des difficultés à moyen terme. En effet, il sera difficile (voire impossible) d'augmenter la capacité d'un système de transport par câble s'il n'a pas été, dès l'origine, conçu pour.

Cette problématique de la vision à long terme n'est pas une spécificité des transports par câble. Elle est commune à tous les modes de transport collectif en site propre (TCSP)¹⁶.

■ Limiter les ruptures de charges et rechercher le maillage global du réseau

Les transports par câble sont souvent évoqués pour assurer le rabattement vers un pôle d'échanges ou un mode de transport lourd (gare, station de métro ou de tramway...).

La rupture de charge est toutefois vécue comme une contrainte très forte par tous les usagers des transports collectifs. Elle est particulièrement pénalisante dans une optique de report modal des usagers de la voiture vers les transports collectifs. Ainsi, la part modale des transports collectifs chute si le nombre de ruptures de charge est élevé, i.e. supérieur ou égal à deux¹⁷. Le lieu d'échanges doit donc être aménagé de façon à minimiser cette contrainte : confort d'usage, correspondance de quai à quai, information aux voyageurs, temps d'attente réduits..

Par ailleurs, un grand nombre de réseaux de transport, qu'ils soient urbains ou ferroviaires, connaissent des phénomènes de saturation aux heures de pointe. En conséquence, les impacts d'une évolution d'un réseau sur la charge des sections partagées par plusieurs lignes et des principaux nœuds d'échange devraient être évalués en amont.

Par exemple, le remplacement d'une ligne de bus directe par un transport par câble en rabattement sur un mode « lourd » (à forte capacité) devrait s'attacher à ce que :

- le temps gagné lors du trajet ne soit pas perdu lors de la correspondance ;
- le rabattement vers le mode lourd n'aggrave pas la saturation du réseau ;
- le rapport entre le débit du système à câble et celui du transport lourd soit tel que lors des périodes d'hyperpointe le temps d'attente soit acceptable.

¹⁶ Pour plus de précisions sur cette problématique, on pourra se reporter aux ouvrages du Certu et notamment *Les modes de transports collectifs urbains – Éléments de choix pour une approche globale des systèmes (2004)*, *Bus à haut niveau de service – Concept et recommandations (2005)*, *Bus à haut niveau de service (BHNS) : du choix du système à sa mise en œuvre (2009)*.

¹⁷ Voir par exemple les rapports d'étude publiés par le Certu : *Évaluation des transports en commun en site propre, Certu, Cete Nord-Picardie, 2000* et *Recommandations pour l'évaluation socio-économique des projets de TCSP, Certu, 2002*.

Demande et capacité 2

La détermination de la capacité d'une installation doit s'inscrire dans la réflexion sur la structure du réseau de transport que l'on souhaite mettre en place et sur la fonction que devra assurer le transport par câble. L'analyse de la demande de déplacement sur l'itinéraire considéré permettra d'estimer la fréquentation potentielle du système en heure de pointe.

La fréquentation en heure de pointe est un des critères les plus décisifs dans le choix du système et de ses modalités d'exploitation. Elle conditionne le dimensionnement du système de transport par câble dans le double objectif :

- d'éviter les problèmes de congestion pénalisant le fonctionnement du réseau ;
- de faire face aux évolutions de la demande ; les installations de transport sont dimensionnées sur la base d'études prospectives de déplacements.

■ Capacité théorique maximale des installations

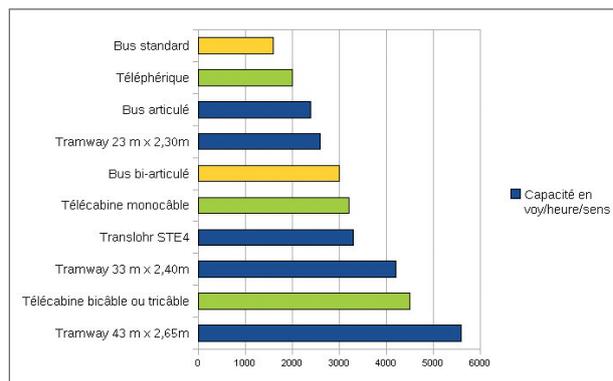
La capacité théorique maximale des systèmes de transport par câble est fonction de deux paramètres :

- la capacité unitaire des cabines ;
- la fréquence de passage des véhicules en station (liée à la vitesse du câble tracteur et à l'espace entre véhicules en ligne).

Les capacités théoriques maximales des différents systèmes de transport par câble s'étendent sur une échelle assez large. Elles sont comparables, pour les plus performants d'entre eux en la matière, aux capacités maximales que peuvent offrir les modes de transports urbains traditionnels comme le bus ou le tramway, étant entendu que :

- la capacité des systèmes de transport par câble est déterminée en multipliant la capacité unitaire d'une cabine par le nombre maximal de cabines pouvant passer en station en une heure. Le débit maximal est atteint lorsque, notamment, l'organisation des flux de passagers est optimale en station ;

- pour les autres systèmes de surface, bus et tramway, la capacité maximale en France est déterminée avec une occupation de quatre personnes par m² + places assises et une fréquence de passage de trois minutes. La capacité des systèmes « bus » est déterminée à partir d'une configuration de type « bus à haut niveau de service » (BHNS), qui implique la mise en place de mesures sur l'exploitation et l'infrastructure permettant d'assurer la régularité et la fiabilité du service.



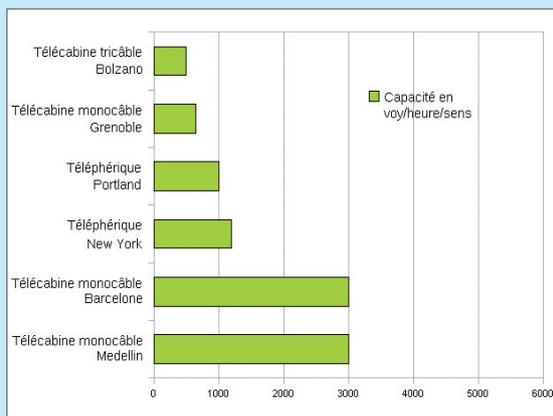
Capacité maximale théorique de différents systèmes de transport – Source Certu, constructeurs

La capacité maximale d'une installation de transport par câble détermine le dimensionnement de son infrastructure (supports, câbles porteurs, ancrages...). On conçoit ainsi que la charge correspondant à cette capacité ne peut en aucun cas être dépassée ; la capacité de l'installation est donc calculée sur la base du nombre maximal de personnes admissibles dans une cabine, garantissant le non-dépassement de cette charge.

Il en va différemment des autres modes de TCSP. En effet, le dimensionnement d'un parc de bus, de tramways ou métros est établi en France sur la base d'un remplissage des véhicules calculé avec une densité de quatre personnes par m². Ce ratio peut cependant être dépassé dans la pratique, la densité effective pouvant atteindre six personnes par m²,

ce qui permet notamment aux systèmes d'absorber un pic de fréquentation en heures de pointe supérieur aux capacités annoncées.

Parmi les systèmes de transport par câble étudiés, les plus capacitifs offrent une capacité de 3000 voyageurs par heure et par sens. Aux heures de pointe, les télécabines de Medellín approchent le débit maximal permis par le système monocâble équipé de cabines de 8/10 places, fonctionnant à 5 m/s.



Capacités théoriques de systèmes de transport par câble existants – Source constructeurs, exploitants

■ Augmenter la capacité théorique des systèmes de transport par câble : une éventualité à intégrer dès la conception

La question de la capacité maximale des systèmes de transport est complexe, car elle nécessite de se projeter dans l'avenir. Des réserves de capacité doivent donc être prévues afin de faire face à d'éventuelles hausses de la fréquentation.

Il est possible d'augmenter la capacité du système :

- en mettant des véhicules supplémentaires en circulation, à vitesse constante ;
- en augmentant la vitesse de circulation, à nombre de véhicules constant ;
- en remplaçant les véhicules existants par des véhicules de capacité supérieure.

Dans les systèmes de transport par bus ou tramway, il est possible d'augmenter jusqu'à un certain point

(en élevant la fréquence ou avec un nouveau matériel roulant) le nombre ou la capacité des véhicules en circulation. Pour les systèmes de transport par câble, ces évolutions devront être intégrées dès la conception du système. Si le système n'a pas été dimensionné dès l'origine pour supporter une charge supplémentaire, il ne sera pas possible de substituer aux cabines existantes des cabines de capacité supérieure, ni de rajouter des cabines supplémentaires sans modifier le reste de l'installation.

À **Bolzano**, la télécabine tricâble fonctionne avec huit cabines mais a été conçue pour pouvoir accueillir deux cabines supplémentaires en cas de hausse de la fréquentation.

■ Comment ajuster la capacité aux évolutions périodiques de la demande ?

Tous les systèmes de transports urbains en service sont exploités de façon différente suivant les périodes de l'année et de la journée afin de s'adapter aux fluctuations de la demande et d'optimiser les coûts d'exploitation. Les mesures les plus courantes adoptées pour y parvenir consistent à réduire les fréquences de passage des bus et tramways pendant les heures creuses, ou au contraire à injecter des véhicules supplémentaires en cas de forte affluence.

Les systèmes de transport par câble peuvent se prêter à une modulation de la capacité pour répondre aux évolutions périodiques de la demande.

Deux types d'opérations sont possibles :

- faire varier la vitesse du câble tracteur.
Cette mesure permet d'économiser de l'énergie (cf. partie 3 chapitre 6), mais augmente les temps d'attente en station et allonge la durée des trajets.

À **Medellín**, les lignes K et J du MetroCable (télécabine monocâble) sont exploitées à 5, 4 ou 3,5 m/s suivant l'affluence en station. Le temps de trajet varie donc de sept à onze minutes sur la ligne K et de neuf à quatorze minutes sur la ligne J.

À **Barcelone**, la télécabine monocâble de Montjuïc peut fonctionner à une vitesse de 5 m/s, mais la vitesse d'exploitation habituelle est de 2,5 m/s. En raison de la vocation touristique de l'installation, la vitesse commerciale n'est pas un critère déterminant. Une vitesse réduite permet en outre aux passagers de mieux profiter de la vue. Toutefois, la vitesse d'exploitation est augmentée en cas d'affluence ;

- faire varier le nombre de véhicules en ligne, mais cette possibilité est rarement mise en œuvre. Une telle disposition ne constitue pas le meilleur moyen pour répondre aux fluctuations quotidiennes de la demande. Les exploitants qui y recourent aujourd'hui effectuent généralement les opérations nécessaires pour des périodes suffisamment longues et prédéterminées.

À **Bolzano**, la télécabine tricâble fonctionne avec huit cabines. En heure de pointe, les cabines ne sont pas stockées en station et il y a toujours au minimum six cabines en circulation sur le câble. En heure creuse, trois cabines sont stockées dans chaque station et seules deux cabines circulent en ligne. Le passage d'une exploitation « heure creuse » vers une exploitation « heure de pointe » ou vice versa se fait simplement à partir du poste de commande. Cette opération ne nécessite aucune autre procédure.

À **Grenoble**, le « téléphérique » fonctionne avec deux trains de cinq véhicules en été et deux trains de quatre véhicules en hiver.

À **Barcelone**, la télécabine de Montjuïc a été conçue pour fonctionner avec cinquante cabines. Toutefois, suivant l'affluence prévisionnelle, elle peut fonctionner avec quinze, trente ou quarante cabines en ligne.

L'augmentation de la vitesse du câble tracteur, pour accroître la capacité du système, induit des coûts supplémentaires d'exploitation (voir partie 3 chapitre 6).

À RETENIR : CAPACITÉS DES SYSTÈMES DE TRANSPORT PAR CÂBLE.

- La capacité de l'installation est fonction de différents paramètres interdépendants.
- Des capacités maximales de 3200 voyageurs par heure et par sens pour les télécabines monocâbles.
- Des capacités maximales de 4000 à 4500 voyageurs par heure et par sens pour les télécabines bicâbles ou tricâbles.
- Il n'est pas possible de dépasser la charge maximale autorisée pour une installation de transport par câble, même ponctuellement. Pour les autres modes de TCSP, le débit constaté en période de pointe peut aller au-delà de la capacité affichée.
- Il n'est pas possible, à coût économique raisonnable, d'augmenter la capacité de l'installation en cours de vie, sauf si cette évolution a été prise en compte lors de la conception.

3 Le niveau de service offert par le transport par câble aérien

Le niveau de service fait référence aux notions de temps de parcours (y compris temps d'attente en station et vitesse commerciale), d'amplitude horaire, d'accessibilité, de confort du système de transport. Pour plus de détails sur cette notion, le lecteur peut se rapporter à l'ouvrage publié par le Certu en 2009 : Bus à haut niveau de service (BHNS) : du choix du système à sa mise en œuvre.

3.1 Les temps de parcours

Pour les usagers, l'attractivité d'un service de transport est fortement liée au temps de déplacement entre les points d'origine et de destination. Ce temps de déplacement dépend notamment :

- de la vitesse commerciale du système de transport ;
- de la fréquence de passage ;
- des éventuels temps de transfert entre modes de transport qui peuvent être plus longs du fait de la différence de niveau entre les systèmes au sol et les stations des systèmes aériens ;
- des temps d'attente en station.

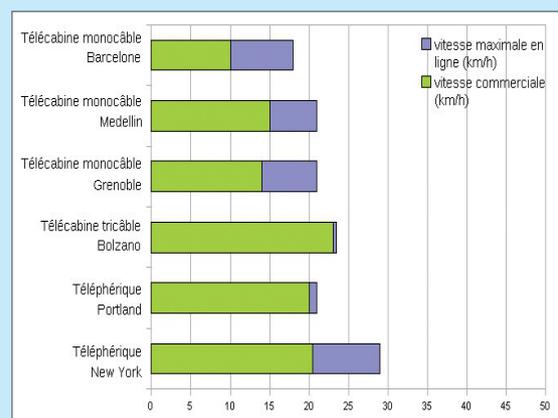
■ La vitesse commerciale de station à station

La vitesse commerciale des transports par câble dépend de plusieurs facteurs, et en particulier de la vitesse du câble en ligne et de la distance moyenne entre stations.

La vitesse commerciale de station à station ne correspond pas à la vitesse maximale en ligne annoncée pour un type de système. Il faut prendre en compte les temps d'accélération des véhicules en sortie de station et de décélération à l'arrivée, les ralentissements liés au passage par d'éventuelles stations intermédiaires... Le différentiel entre ces deux vitesses sera donc plus élevé à mesure que le nombre de stations intermédiaires augmente et que la distance entre deux stations diminue.

En outre, les systèmes de transport par câble ne sont pas systématiquement exploités à leur vitesse maximale. Certaines installations peuvent être ralenties en heures creuses, afin de réduire leur consommation énergétique par exemple.

Globalement, les vitesses commerciales de station à station des systèmes étudiés varient de 15 à 24 km/h. Les systèmes à vocation touristique (Barcelone, Grenoble) sont toutefois plus lents.



Vitesse maximale en ligne et vitesse commerciale de station à station des systèmes de transport par câble existants – Source constructeurs, exploitants

Les distances entre deux stations de ces systèmes (interstations) sont les suivantes :

- Barcelone : 758 m
- Medellín : entre 600 et 900 m
- Grenoble : 700 m
- Portland : 1027 m
- New York : 958 m
- Bolzano : 4 560 m

Ces vitesses moyennes de station à station sont du même ordre de grandeur que les vitesses commerciales des tramways en service en France¹⁸.

¹⁸ Les tramways en circulation en France en 2005 affichaient des vitesses commerciales comprises généralement entre 15 et 22 km/h pour des distances entre stations comprises entre 400 et 500 m. Les vitesses des différentes lignes de métro étaient comprises entre 24,5 et 33 km/h (notamment parce que, pour les métros, les distances entre stations sont supérieures à 500 m). Pour plus de détails, on pourra consulter la fiche *Panorama des villes à transports publics guidés – Situation 2005* réalisée par le Certu.

■ **Le cadencement**

Un des atouts des systèmes de transport par câble est de circuler en site propre intégral, indépendamment des contraintes de circulation auxquelles peuvent être soumis les modes de transport de surface. Il garantit un cadencement régulier des véhicules tout au long de la journée.

■ **Le temps d'attente en station**

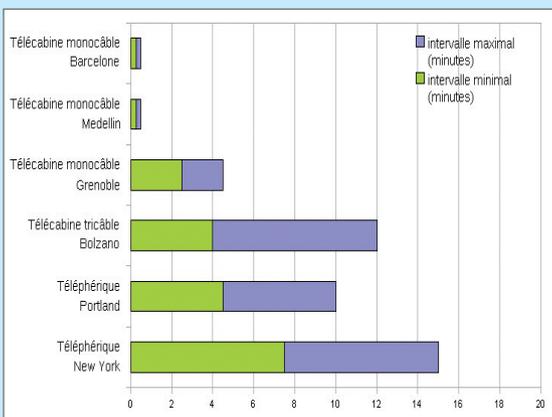
La fréquence de passage des cabines en station varie fortement suivant le système de transport par câble :

- pour les télécabines, la fréquence de passage peut être élevée : les cabines peuvent se présenter en station de façon quasi continue ;
- pour les téléphériques, la fréquence de passage est plus réduite : elle correspond a minima au temps de trajet entre les deux stations, augmenté du temps d'embarquement et débarquement.

À **Barcelone** et **Medellín**, les cabines des télécabines partent toutes les douze secondes en cas d'affluence.

À **Bolzano**, les cabines de la télécabine tricâble partent toutes les quatre minutes en heure de pointe. En heure creuse, il n'y a qu'un départ toutes les douze minutes.

À **New York**, le téléphérique de Roosevelt Island part toutes les huit minutes en heure de pointe et toutes les quinze minutes en heures creuses.



Intervalle de passage en station des cabines des systèmes de transport par câble existants – Source constructeurs, exploitants

Le temps d'attente en station ne dépend pas uniquement de la fréquence de passage des cabines. Il faut également prendre en compte le temps nécessaire à la montée/descente des passagers. Ce temps peut être conséquent dans certaines situations :

- cas d'une station intermédiaire où les cabines arrivent déjà occupées ;
- cas d'un transport par câble devant faire face à l'arrivée massive d'un flux de voyageurs, par exemple parce qu'il est en correspondance avec un mode de transport lourd, ou lors d'événements majeurs (manifestations..).



File d'attente pour accéder au MetroCable de Medellin en heure de pointe – Crédit photo : Pomagalski

■ **La vitesse maximale en ligne**

La vitesse maximale en ligne correspond à la vitesse maximale du câble tracteur. En France, la réglementation¹⁹ impose des vitesses maximales en ligne variables suivant les types de systèmes (cf. partie 2 chapitre 2). Les systèmes de transport par câble proposés par les différents constructeurs présentent des performances très proches de ces valeurs.

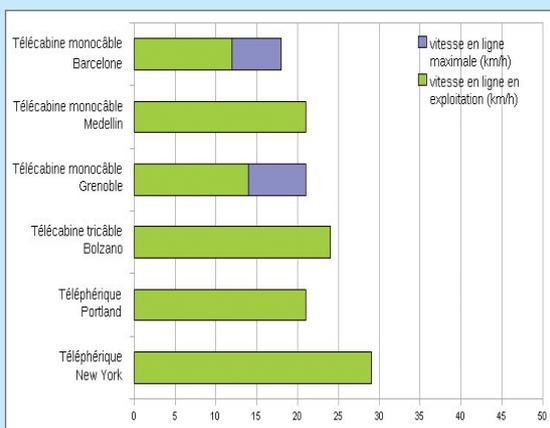
Type de système	Vitesse maximale en ligne autorisée	Vitesse maximale en ligne proposée par les constructeurs
Téléphérique	12,5 m/s (45 km/h) ²⁰	Jusqu'à 12 m/s (43 km/h)
Télécabine tricâble	7,5 m/s (27,5 km/h)	De 7 à 7,5 m/s (25 à 27 km/h)
Télécabine bicâble	7,5 m/s (27,5 km/h)	De 7 à 7,5 m/s (25 à 27 km/h)
Télécabine double monocâble	8 m/s (28,8 km/h)	De 6 à 7 m/s (22 à 25 km/h)
Télécabine monocâble	6 m/s (21,6 km/h)	De 5 à 6 m/s (18 à 22 km/h)

Vitesses maximales en ligne suivant le type de système de transport par câble – Source CETE de Lyon

Article 9 de l'arrêté 19 du 7 août 2009.

Limitation à 7,5 m/s (27 km/h) lors du passage aux pylônes pour les téléphériques non accompagnés.

Les systèmes de télécabines analysés dans le cadre de cette étude ont des vitesses maximales en ligne comprises entre 18 et 24 km/h. Les téléphériques ont des vitesses en ligne comprises entre 22 et 28 km/h. Pour différentes raisons, certains systèmes ne sont pas exploités à leur vitesse maximale, d'autres ne le sont qu'à certains moments de la journée.



Vitesse en ligne des systèmes de transport par câble existants –
Source constructeurs, exploitants

Remarque : lorsque la vitesse d'exploitation est inférieure à la vitesse maximale autorisée, cette mesure est adoptée pour allonger volontairement la durée du trajet dans un objectif touristique (le voyage est considéré comme un moyen de découverte du paysage survolé), ou diminuer la sollicitation (énergie consommée, usure mécanique) du système, dans ce dernier cas souvent en dehors des heures de pointe.

3.2 La gestion des accès aux véhicules en station

La gestion des entrées et des sorties des cabines constitue un élément primordial de la performance des installations à câble. Les enjeux sont doubles : garantir le respect de la charge maximale des véhicules et optimiser la capacité du système.

■ Contrôler la charge des cabines

En période de pointe, l'affluence peut conduire certains passagers à vouloir entrer en surnombre

dans les cabines. Un tel risque engage la sécurité des installations, en particulier dans les télécabines où les passagers ne sont pas accompagnés par un agent d'exploitation. Une surveillance visuelle continue de la zone d'embarquement peut limiter ce risque, mais il existe d'autres moyens de contrôle de la charge embarquée : contrôle d'accès au quai d'embarquement, pesage de la zone d'embarquement ou des véhicules.

■ Optimiser la capacité du système

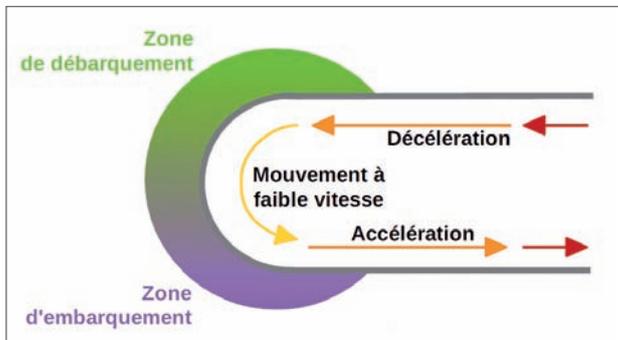
Pour les systèmes de forte capacité, la dissociation des mouvements de descente et de montée à bord des cabines est préconisée : délimitation d'une zone de débarquement et d'une zone d'embarquement, protection efficace de la zone de débarquement.

Deux aires en station peuvent être marquées dans ce cas, une première en zone de débarquement et une seconde en zone d'embarquement. Cette disposition a plusieurs conséquences :

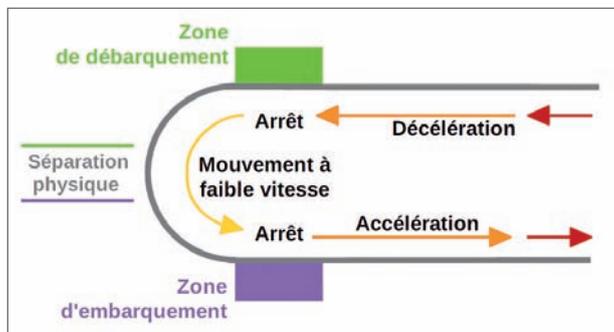
- impact sur la conception des stations, notamment dimensionnement des équipements électromécaniques ;
- possibilité d'installation de portes palières, plus favorables à la performance du système ;
- pas d'impact sur les temps de parcours, sauf dans le cas d'une station intermédiaire. Le temps de passage dans une station intermédiaire peut être estimé à soixante secondes si la cabine marque deux arrêts, et à environ trente secondes pour le franchissement d'une station intermédiaire avec un simple ralentissement. Ce temps dépend des caractéristiques propres à chaque installation.

D'une manière générale, la zone de débarquement doit être dimensionnée pour permettre une descente aisée des passagers. À titre d'exemple, la largeur des quais de TCSP doit être d'au moins 2,50 m (configuration en quai latéral) ou de 3 m (configuration en quai axial).

Cas des stations d'extrémité



Fonctionnement traditionnel : mouvements d'entrée-sortie en mouvement et non dissociés sur le quai - Source STRMTG



Fonctionnement préconisé : mouvements d'entrée-sortie dissociés et à l'arrêt - Source STRMTG

À **Medellín**, des « auxiliaires de stations » contrôlent la zone d'embarquement et veillent à ce que le remplissage des cabines soit optimal à l'heure de pointe. Ils régulent également les accès à bord en heure creuse, notamment en interdisant à une personne de monter seule à bord dans la cabine pour limiter les risques de dégradations volontaires. Il y a deux à trois auxiliaires dans chaque station.

Cas des stations intermédiaires

La gestion des accès aux véhicules est plus délicate pour des installations comportant des stations intermédiaires. En effet, une gestion inappropriée peut interdire l'accès aux cabines aux passagers se présentant aux stations intermédiaires, ces cabines arrivant déjà saturées. Il est possible d'ajouter des véhicules au niveau des stations intermédiaires, moyennant l'installation de dispositifs techniques adaptés (engendrant des coûts supplémentaires). Cependant, les installations en service, en particulier en Amérique du Sud,

s'adaptent aux fluctuations de la demande sans recourir à de tels dispositifs, en faisant plutôt varier le nombre des véhicules en ligne selon la journée, ou la vitesse de déplacement des véhicules.

Cette configuration impose à l'exploitant de contrôler le nombre de passagers accédant aux cabines pour, si nécessaire :

- limiter l'accès dans les stations précédentes ;
- ou conserver un minimum de places vacantes dans chacune des cabines ;
- ou laisser partir des cabines vides, ce qui peut être géré automatiquement si le système est équipé de portes palières. Cette dernière disposition étant la plus adaptée.

3.3 L'amplitude horaire de fonctionnement

L'amplitude horaire de fonctionnement n'est pas liée au choix du système de transport par câble. Elle relève du choix de l'autorité organisatrice. Ainsi, il est parfaitement possible de faire fonctionner un transport par câble de 5 heures à 24 heures, à l'instar des modes lourds de transports collectifs urbains (métro, tramway, bus à haut niveau de service). Toutefois, le choix de l'amplitude horaire impacte la politique de maintenance du système.

3.4 L'accessibilité aux personnes à mobilité réduite

■ La réglementation relative à l'accessibilité des personnes handicapées et à mobilité réduite

La loi n° 2005-102 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées impose l'accessibilité de l'ensemble des services de transport collectif à l'horizon 2015. Les dispositions de la loi ont été reprises par les articles L1111 et L1112 du Code des transports.

L'accessibilité concerne l'ensemble de la chaîne du déplacement de son domicile à sa destination.

Elle s'applique à tous les types de handicaps et plus largement les personnes à mobilité réduite, de façon temporaire ou durable. Les personnes âgées, les femmes enceintes, les personnes avec des poussettes d'enfants ou des bagages lourds en font partie.

Dans le cas d'un transport par câble, comme pour tous les autres modes de transport, l'ensemble des composantes du transport doivent être accessibles :

- l'entrée et les espaces de circulation dans les stations jusqu'au quai d'embarquement et de débarquement ;
- l'espace d'accueil, de vente et d'information, y compris le guichet ou la machine de vente des titres et l'ensemble de l'information donnée aux voyageurs ;
- la montée et la descente de la cabine, ainsi que la cabine elle-même et ses équipements ;
- l'intermodalité avec les autres moyens de transport en correspondance.

À RETENIR : PRINCIPALES DISPOSITIONS RÉGLEMENTAIRES CONCERNANT L'ACCESSIBILITÉ ISSUES DE LA LOI DU 11 FÉVRIER 2005.

- L'accessibilité concerne l'ensemble des handicaps et l'ensemble des personnes à mobilité réduite, que le handicap soit temporaire ou permanent.
- La mise en accessibilité doit faire l'objet d'une concertation avec les représentants des personnes handicapées.
- Tous les services de transports collectifs devront être rendus accessibles avant le 13 février 2015. Lorsque la mise en accessibilité des réseaux existants s'avère impossible techniquement, un moyen de transport adapté doit être mis à disposition, après avis de la commission consultative départementale de sécurité et d'accessibilité.
- Des dispositions particulières peuvent être prises pour assurer le droit au transport des personnes handicapées, des personnes à mobilité réduite et de leurs accompagnateurs.
- Un traitement des informations sous la forme visuelle et auditive est nécessaire pour les malentendants ou les malvoyants. Des normes de luminosité, de contraste, de taille des caractères... sont à respecter.
- Les détenteurs d'une carte d'invalidité accèdent en priorité aux places assises dans les transports publics.
- Les chiens assistant les personnes handicapées doivent être acceptés librement et gratuitement dans les transports publics.
- L'AOT doit mettre en place une procédure de dépôt de plainte (ou de signalement) concernant les obstacles à la libre circulation des personnes à mobilité réduite. Cette procédure vise à recueillir les remarques des usagers et à permettre aux gestionnaires de réagir.

■ L'accessibilité aux stations

L'accessibilité associe, sur le périmètre restreint d'une station, les trois dimensions de la chaîne du déplacement : le bâti, la voirie et le service de transport. Elle concerne l'ensemble des handicaps et l'ensemble des personnes à mobilité réduite.

Les gares et bâtiments d'accès aux transports collectifs sont des établissements recevant du public. Ils relèvent donc de la circulaire interministérielle

n° DGUHC 2007-53 du 30 novembre 2007 relative à l'accessibilité des établissements recevant du public, des installations ouvertes au public et des bâtiments d'habitation et sont soumises aux obligations correspondantes.

L'accessibilité aux stations dont le quai d'embarquement se situe en hauteur par rapport à la rue suppose la mise en place d'ascenseurs ou de rampes pour les personnes à mobilité réduite. L'embarquement au niveau du sol permet de s'affranchir de cette difficulté, mais pose d'autres problèmes techniques (profil en long du câble) ainsi que d'insertion urbaine (emprise au sol).

Le « téléphérique » de la Bastille à **Grenoble** a été réaménagé pour la mise en accessibilité des stations et du site sur la partie haute. Les stations, reconstruites lors de sa rénovation complète en 1976, comportaient déjà un ascenseur. D'autres aménagements ont été effectués sur la station aval au cours de l'hiver 2005 et sur la station amont au cours de l'hiver 2008, comprenant en particulier la mise en place de rampes.

■ L'embarquement dans la cabine

Les transports par câble sont des transports guidés. Ils sont soumis à la réglementation concernant l'accessibilité aux véhicules de transport public guidés, en particulier l'arrêté du 13 juillet 2009²¹. La réglementation prévoit notamment que les personnes à mobilité réduite puissent accéder aux véhicules de transport avec la plus grande autonomie possible et sans danger. Elle impose entre autres :

- des lacunes horizontales et verticales inférieures à 50 mm entre le quai et le seuil des portes des véhicules (contrôlé à mi-charge et à l'état neuf du système) ;
- une largeur effective de passage de 800 mm minimum au droit des portes ;
- un dispositif sonore et visuel annonçant la fermeture des portes ;
- un dispositif embarqué d'annonce sonore et visuelle du nom de l'arrêt ;
- un emplacement pour fauteuil roulant, de dimensions minimales de 1 300 x 800 mm, libre de tout obstacle à l'intérieur du véhicule...

Cas des téléphériques

L'accès aux cabines des téléphériques ne pose pas de problème particulier. Les véhicules marquent un arrêt prolongé en station afin de permettre l'embarquement et le débarquement de nombreux passagers. Les portes sont largement dimensionnées. Le système est parfaitement compatible avec l'installation de portes palières automatiques, afin de garantir la sécurité des voyageurs en attente sur le quai.

De l'aménagement intérieur des cabines dépend la facilité de circulation des personnes à mobilité réduite, et notamment des personnes en fauteuil roulant.

À **New York**, les deux cabines de cent dix places du téléphérique de Roosevelt Island assurent le transport des personnes à mobilité réduite. L'accès aux cabines se fait par des portes électriques coulissantes d'une largeur de 3 m. En station, le plancher de la cabine s'aligne parfaitement au niveau du quai.

Cas des télécabines

Pour la majorité des télécabines existantes, l'embarquement et le débarquement des voyageurs s'effectuent alors que le véhicule est en mouvement, souvent suivant une trajectoire courbe. La vitesse de la cabine est généralement de 0,3 m/s au niveau de la porte d'accès (soit un peu plus de 1 km/h), notamment dans les systèmes actuellement en service dans le monde en milieu urbain. Cela constitue une des spécificités des télécabines par rapport aux autres modes de transport urbain.

L'embarquement dans une cabine en mouvement pourrait être un obstacle à l'accessibilité de certaines personnes à mobilité réduite :

- il est impossible pour certaines personnes d'embarquer, de manière autonome, en quelques secondes dans un véhicule qui avance en continu, même à vitesse réduite, et soumis lui-même à un mouvement irrégulier ;
- si l'embarquement est prévu en courbe, le marche-pied ou un dispositif comble-lacune ne permet pas de garantir une lacune franchissable facilement ;

- l'accès est plus complexe pour les personnes en fauteuil roulant s'il est nécessaire de relever l'assise des banquettes en même temps qu'elles embarquent.

Pour pallier ce problème, certaines télécabines sont arrêtées à la demande. Cet arrêt a un impact sur le débit du système.

Ce constat, particulier aux télécabines en service, ne résulte pas d'une contrainte technique incontournable : l'une des deux télécabines en service dans la station de Villard-de-Lans en Isère est exploitée avec un arrêt complet systématique à l'embarquement et au débarquement.

Dans la mesure où, à 1 km/h, l'accès des personnes à mobilité réduite (PMR) ne pose pas de problème sauf aux chiens guides d'aveugles²², les recommandations relatives à la prise en compte de l'accessibilité des PMR sont les suivantes :

- pour les petites cabines avec banquette relevable, un arrêt en station est préconisé à cause de la manipulation à faire par un utilisateur de fauteuil roulant. Cet arrêt peut se faire à la demande, pour l'embarquement et le débarquement. L'exploitation doit alors être adaptée, par exemple avec la présence de personnel pour l'assistance à l'embarquement et au débarquement, dans chaque station ;
- pour les cabines avec un espace pour les fauteuils roulants disponible à proximité de la porte, la vitesse en station de 1 km/h est envisageable, à condition que le quai soit linéaire dans toute la zone d'embarquement/débarquement pour respecter la lacune, et que cette zone soit isolée du vent pour limiter l'amplitude des oscillations.

Il est également possible de systématiser l'arrêt complet des cabines en station, cet arrêt étant localisé de préférence en ligne droite, afin de garantir une lacune minimale entre le quai et la cabine.

■ Impact des mesures de mise en accessibilité sur la capacité des systèmes et les coûts

En termes de coûts, il n'est pas possible d'estimer quantitativement l'impact des mises en accessibilité des transports à câble aériens du fait du peu de systèmes urbains accessibles en place à ce jour. On peut noter que par rapport à une installation standard de montagne, il convient d'ajouter :

- en investissement, les coûts des ascenseurs notamment ;
- en exploitation, le coût de l'entretien de ces ascenseurs et le coût éventuel du personnel dédié à l'embarquement/débarquement des PMR.

En outre, le choix d'un arrêt systématique en station de chaque véhicule a un impact réel sur la capacité des systèmes de type télécabine. Il convient sans doute, en relation avec les associations d'usagers concernés, de procéder à l'évaluation d'autres adaptations ou organisations pour les PMR (de type arrêt d'une cabine sur dix par exemple).

²² Voir les conclusions de l'étude sur l'accessibilité aux PMR des Automated People Mover de type SK 6000 (*The SK 6000 system : validation of its accessibility for Charles de Gaulle Airport*, Maryvonne Dejeannes, Georges Pachiaudi, Anne Dangleterre, Vincent Blanchet, INRETS, Guy Desbrée, RATP, Pierre Marcel, SOULE, communication au 5^{ème} colloque international sur les transports collectifs automatiques, Paris, juin 1996).

À **Barcelone**, la télécabine a été agréée conforme aux respect des normes en vigueur concernant l'accessibilité des personnes à mobilité réduite (PMR). Son fonctionnement est modulable : le conducteur peut faire ralentir voire arrêter quelques secondes la cabine dans laquelle va monter ou descendre la PMR. La cabine concernée apparaît sur les écrans de la station où se présente le voyageur et un opérateur peut prendre des mesures en conséquence. L'espacement entre les cabines permet d'arrêter une cabine sans arrêter le câble et l'ensemble des cabines. Les cabines offrent huit places assises et deux places debout. La largeur de passage au droit des portes est de 821 mm. Les assises sont des banquettes latérales en aluminium pouvant être relevées si nécessaire. Lorsqu'une personne en fauteuil roulant entre dans la cabine, elle relève une des deux banquettes et prend place à bord. L'autre banquette reste abaissée, ce qui permet d'accueillir quatre autres voyageurs.



*Barcelone : bande de guidage et ascenseur d'accès au quai –
Crédit photo : CETE de Lyon*



*Barcelone : faible lacune entre le quai et la cabine –
Crédit photo : CETE de Lyon*

Les cabines de la télécabine tricâble de **Bolzano** offrent trente-cinq places dont vingt-quatre assises. Les assises des sièges peuvent se relever, ce qui permet d'accueillir des personnes en fauteuil roulant. L'arrêt complet de la cabine en station permet aux PMR d'embarquer très facilement. Les cabines marquent un arrêt d'une durée de une minute et trente secondes en heure de pointe ou de onze minutes en heure creuse. Les mouvements de montée et descente des passagers sont dissociés.

Le système pulsé unidirectionnel de la Bastille à **Grenoble** propose un arrêt complet des cabines en station, ce qui simplifie l'accès des personnes à mobilité réduite. En revanche, la forme ronde des cabines du « téléphérique » de la Bastille rend l'insertion des fauteuils complexe du fait qu'il n'existe qu'un seul point de tangence entre la cabine et le quai.

À **Medellín**, les cabines du MetroCable ne s'arrêtent pas en station afin de garantir une capacité de 3000 personnes par heure et par sens. Les cabines se succèdent toutes les douze secondes en station. La vitesse des cabines lors des phases d'embarquement et de débarquement est de 0,3 m/s au droit du marchepied. Toutefois, l'arrêt des cabines peut être obtenu pour embarquer une personne à mobilité réduite, par exemple.



*Barcelone : vitesse très réduite en station pour faciliter la montée –
Crédit photo : CETE de Lyon*

3.5 Le confort

■ Dans les cabines, une approche du niveau de confort nécessairement différente des autres modes de transport urbain

Les exigences de conception des cabines, notamment la recherche d'une solution optimisant les performances du système quant à la charge transportée, ainsi qu'une alimentation électrique disponible en ligne limitée (batteries, sources photovoltaïques embarquées), influent sur les choix liés au niveau de confort intérieur.

Cas des cabines de petite taille (télécabines monocâbles ou bicâbles)

Les cabines des systèmes monocâbles ou bicâbles, dont la capacité unitaire est généralement de l'ordre de huit à seize places, disposent de possibilités plus limitées en terme d'équipements de confort. La taille modeste des cabines laisse relativement peu de marges de manœuvre concernant l'aménagement intérieur.

En ce qui concerne le confort thermique, les cabines actuellement en service ne disposent pas de ventilation mécanique, ni de climatisation²³. Le mouvement de la cabine permet une ventilation naturelle généralement suffisante pour garantir une ambiance thermique acceptable. En hiver, il est possible d'équiper les cabines de sièges chauffants²⁴. Cependant, les constructeurs ont récemment entrepris des développements en la matière : des cabines équipées de dispositifs de réfrigération et de chauffage, exploitant les batteries de plus en plus performantes ou les supercapacités actuellement disponibles sur le marché, commencent à être commercialisées.

Des systèmes d'éclairage intérieur de la cabine, peu énergivores, sont envisageables et équipent déjà des installations en service. Il en est de même des systèmes de communication bidirectionnelle entre la cabine et les stations. L'équipement en systèmes de vidéocommunication est possible en pratique, mais se heurte à des contraintes techniques croissant fortement avec le nombre de véhicules en ligne, qui peuvent se traduire par des coûts

d'installation très élevés. Sa mise en œuvre est plus pertinente dans les téléphériques et systèmes tricâbles.

Généralement, l'aménagement des cabines permet à la quasi-totalité des passagers de voyager assis. Ainsi, la plupart des cabines de huit à dix places offrent huit places assises ou dix places debout. La quasi-assurance de voyager assis constitue une différence notable vis-à-vis des autres systèmes de transport public.

À **Barcelone**, les cabines de la télécabine de Montjuïc offrent deux types de vitrages, l'un panoramique sur le côté, et l'autre à mi-hauteur derrière les banquettes. Ce choix a permis d'installer des stries d'aération dans la partie basse, derrière les banquettes. Sur la partie haute, des volets d'aération viennent compléter la ventilation en été, et peuvent être fermés en hiver. Les banquettes ne sont pas rembourrées mais ajourées dans le but de faciliter le passage de l'air. Les cabines ne sont pas équipées de système de communication embarqué. Une cabine peut transporter dix personnes debout, mais pour des raisons de confort et en raison de la vocation essentiellement touristique de l'installation, celle-ci n'est exploitée qu'avec les places assises.

À **Medellín**, les cabines du MetroCable disposent d'un éclairage intérieur et d'interphones. Elles sont alimentées grâce à des panneaux photovoltaïques disposés sur le toit de chacune d'elles. Elles comportent huit places assises ou dix places debout.

Cas des cabines de grande taille (téléphériques et télécabines tricâbles)

Les cabines des télécabines tricâbles et des téléphériques, de plus grande taille, peuvent bénéficier de prestations de meilleure qualité : chauffage, ventilation, éclairage, information aux voyageurs, meilleure insonorisation, larges portes automatiques...

En revanche, les cabines de téléphériques sont majoritairement équipées d'une proportion de places assises assez réduite, l'aménagement des cabines de tricâbles se rapprochant de celui

²³ Ces systèmes sont fortement consommateurs d'énergie et nécessitent d'embarquer des batteries lourdes et coûteuses comparativement au coût de la cabine.

²⁴ Dans ce cas, les sièges sont chauffés lors du passage en station, et restituent la chaleur lors du trajet. Il n'est donc pas nécessaire d'embarquer des batteries.

des autres télécabines. Dans ces cas, les places assises sont généralement réparties le long des parois, pour laisser un large espace libre au centre de la cabine. Il existe en tout cas une réelle souplesse concernant l'aménagement intérieur des cabines.

Les cabines de la télécabine tricâble de **Bolzano** sont spacieuses et modulables. Elles peuvent accueillir trente-cinq personnes, dont vingt-huit assises. Les sièges sont répartis le long des parois et au milieu de la cabine. Les assises peuvent se relever afin d'offrir plus d'espace aux personnes à mobilité réduite et faciliter le transport des vélos. Les cabines sont équipées de caméras et d'un interphone permettant de communiquer avec le poste de commande. Elles sont éclairées par des diodes électroluminescentes. L'alimentation électrique est assurée par une batterie, qui est rechargée lors du passage en station.

À **New York**, les cabines du téléphérique de Roosevelt Island disposent d'un système de chauffage et de rafraîchissement par ventilation mécanique contrôlée. Ce système est alimenté par des batteries embarquées. Leur capacité limitée est suffisante pour un trajet normal, mais ne permet pas de maintenir la ventilation en cas d'incident durant plusieurs heures. Le système de ventilation peut être complété par les volets d'aération présents sur certaines vitres et sur le toit. L'éclairage de la cabine est assuré par des diodes. La cabine est en outre équipée d'un système de vidéosurveillance et de plusieurs écrans LCD qui diffusent des messages d'information. Elle peut accueillir cent dix personnes dont seize assises. Les banquettes sont disposées de part et d'autre de la cabine, et sont relevables en cas d'affluence.

■ Le confort en station

La conception des stations de la plupart des installations exploitées en milieu urbain leur confère un très bon niveau de confort : espace d'attente abrité, voire chauffé et climatisé, pratiquement indispensable pour les voyageurs amenés à patienter en station (file d'attente en période de forte affluence, temps d'attente de l'arrivée d'une cabine d'un téléphérique...).

Certaines stations disposent de suffisamment d'espace pour offrir des services très variés aux utilisateurs (toilettes, commerces...).

À **Bolzano**, la station inférieure de la télécabine du Renon dispose d'un vaste hall d'accueil chauffé, d'un espace guichet et de toilettes. On y accède par des portes automatiques. L'accès au quai d'embarquement se fait par escalier ou par ascenseur. Des commerces sont directement accessibles depuis l'intérieur de la station.

3.6 La continuité du service : l'impact de la maintenance et des aléas

■ La disponibilité des systèmes

Le taux de disponibilité est un indicateur majeur de production. Il traduit le temps de fonctionnement réel du système par rapport au temps de fonctionnement prévu sur une année. Il résulte de l'état du système (ses performances intrinsèques, leur évolution dans le temps) et des moyens mis en place pour pallier une défaillance.

Les taux constatés sur les installations à câble aériennes exploitées en milieu urbain sont généralement élevés, mais étroitement dépendants des procédures et dispositions mises en place relatives à la continuité du service et à l'organisation de la maintenance.

La disponibilité du système est généralement calculée par les constructeurs et les exploitants à partir du nombre d'heures de fonctionnement prévu, en excluant les jours ou plages horaires réservés à la maintenance programmée ou les interruptions résultant de facteurs « extérieurs » (sortant des conditions normales de fonctionnement).

À **Medellín**, le MetroCable a un taux de disponibilité de 99,6 %, rendu possible grâce à une politique de maintenance très performante.

À **New York**, le téléphérique de Roosevelt Island est constitué de deux systèmes totalement indépendants, favorables à une disponibilité quasi totale.

L'Aerial Tram de **Portland** a affiché un taux de disponibilité de 99,3 % tous événements confondus (aléas du système et météo) au cours de l'année 2007. Deux interruptions de service de deux jours chacune ont été planifiées pour entretien mécanique : une première pour raccourcir le câble tracteur, la seconde, répartie sur deux week-ends consécutifs, pour retendre les câbles porteurs. Au-delà de ces interruptions programmées, le téléphérique a connu seize coupures en 2007, interrompant le service normal pour une durée cumulée de trente heures. Les temps d'interruption ont varié de treize minutes à près de six heures, pour une durée moyenne légèrement inférieure à deux heures. Les conditions météorologiques, et notamment des vitesses de vent dépassant 72 km/h, ont été la principale cause de ces interruptions non programmées.

■ L'impact des aléas environnementaux et urbains

Les aléas météorologiques, essentiellement le vent et, dans une moindre mesure, le givre, sont les principales causes d'interruption non programmée du service des systèmes de transport par câble. Ce constat doit cependant être relativisé. Les différents systèmes de transport par câble n'ont pas le même comportement par rapport au vent : la conception des systèmes double monocâble et tricâbles offre une meilleure stabilité au vent (fonction du nombre et de la disposition des câbles), bien que leurs cabines soient généralement plus importantes et présentent donc une prise au vent supérieure.

Les performances résumées dans le schéma suivant montrent néanmoins des limites d'exploitation plutôt larges.

En réalité, les conditions maximales respectées par les exploitants sont souvent inférieures et ne résultent pas des limites technologiques, mais plutôt de considérations liées au confort des passagers pendant le voyage ; et le retour d'expérience ne met pas en évidence une faiblesse particulière de ce système dans les situations rencontrées.

Les orages constituent un autre facteur climatique identifié par les exploitants comme pouvant perturber ou nécessiter l'arrêt de l'exploitation (risque d'endommagements des équipements électriques et électroniques des installations).

De manière générale, les interruptions du service liées aux aléas climatiques, effectives, restent compatibles avec les exigences du transport collectif urbain, comme en témoignent les taux de disponibilité constatés.

Globalement, les vitesses de vent maximales admissibles par les transports par câble varient de 70 à 110 km/h suivant les systèmes étudiés dans ce document. Toutefois, les exploitants peuvent procéder à un ralentissement du câble tracteur lorsque la vitesse du vent s'approche de ces valeurs, afin de maintenir des conditions de confort convenables pour les passagers.

- Télécabine monocâble (technologie « classique » : jusqu'à 20 m/s (environ 70 km/h).
- Télécabine bicâble (technologie « classique » : jusqu'à 20 m/s (70 km/h).
- Télécabine tricâble et téléphérique : jusqu'à 30 m/s (environ 110 km/h).
- Télécabine « double monocâble » : jusqu'à 35 m/s (plus de 120 km/h).

À **New York**, les deux câbles porteurs du téléphérique de Roosevelt Island sont espacés de 4,1 m afin d'assurer une meilleure stabilité au vent en évitant les effets de balancier dus au vent fort de l'East River. Cette disposition permet d'assurer le fonctionnement normal du téléphérique avec des vents soufflants jusqu'à 105 km/h.

■ Impact de la maintenance sur la disponibilité

La politique de maintenance recouvre plusieurs types d'opérations : l'entretien « courant », la maintenance continue et les grandes inspections²⁵.

L'entretien courant (nettoyage des cabines et des stations, interventions techniques simples), n'impacte pas la disponibilité du système.

²⁵ Pour plus de détails sur ces opérations, se reporter en partie 3 chapitre 4 consacré à l'entretien et à la maintenance des transports par câble.

La maintenance continue sur l'année peut nécessiter des arrêts du système, qu'il convient d'organiser en prenant en compte l'objectif de la continuité d'un service de transport urbain. Dans la plupart des cas, il est envisageable d'effectuer ces opérations lors de la période de fermeture nocturne du transport par câble ou en « nuit longue », c'est-à-dire en fermant le transport par câble quelques heures avant l'heure de fermeture habituelle. En cas d'impossibilité, ces opérations doivent être réalisées en période creuse, de façon à réduire les conséquences pour les usagers.

Les grandes inspections sont rendues obligatoires par la réglementation française, et sont déterminées par le nombre d'heures de fonctionnement des constituants de l'installation. Elles peuvent être phasées dans le temps, ce qui limite leur impact sur la disponibilité du système.

L'âge du matériel a un impact sur le poids de la maintenance – comme pour toute installation technique – susceptible d'être accru par les dispositions réglementaires décrites en partie 2.

La maintenance du « téléphérique » de la Bastille à **Grenoble** a été adaptée à ces contraintes de service dans la mesure où il est ouvert au public 3 800 h/an. Durant sa fermeture complète pendant le mois de janvier, des travaux de maintenance importants sont réalisés, les essais et les contrôles de type « grande inspection » sont effectués par roulement avec des périodicités variables selon les composants.

D'autre part, il est fermé le lundi matin pour des opérations de maintenance sur la période de janvier à avril. L'exploitant envisage d'étendre la fermeture à toute la journée sur une période de six mois (hors vacances scolaires), du fait notamment du vieillissement du système.

À **Bolzano**, deux heures d'arrêt sont programmées un lundi par mois entre 15 heures et 17 heures, ce qui correspond à l'heure la plus creuse de la journée (les scolaires ont terminé leur journée et les actifs sont encore au travail). En outre, l'installation est à l'arrêt trois semaines en novembre et trois semaines en mars. L'objectif est double : assurer la maintenance lourde et permettre au personnel de partir en congés. Ces deux coupures de trois semaines sont considérées comme trop longues au regard de la fréquentation pendulaire. L'autorité organisatrice souhaiterait, dans un futur proche, arrêter l'installation sur deux périodes de deux semaines.

À **Medellín**, l'exploitant a fait le choix d'arrêter le service sept jours consécutifs chaque année, pour concentrer sur cette période toutes les opérations de maintenance nécessitant l'intervention d'équipes spécialisées du constructeur, se déplaçant depuis l'Europe. D'autres dispositions, moins pénalisantes pour la continuité du service, sont possibles en France métropolitaine, où la mobilisation de spécialistes pose moins de problèmes logistiques.

■ Les transports de substitution

La mise en place, par l'autorité organisatrice, de services de transport de substitution, pour pallier une éventuelle indisponibilité du transport par câble, peut s'avérer complexe, en particulier dans les configurations de franchissement d'obstacle ; les niveaux de services offerts dans ces circonstances peuvent être dégradés de manière importante. Cet aspect doit donc bien être pris en compte lors des choix de conception initiaux, y compris ceux engageant l'organisation de la maintenance.

À RETENIR : LE NIVEAU DE SERVICE DES INSTALLATIONS DE TRANSPORT PAR CÂBLE.

- Des vitesses commerciales de l'ordre de 15 à 25 km/h.
- Des temps de parcours extrêmement fiables du fait du site propre intégral.
- De bons taux de disponibilité.
- Des temps d'attente en station fortement liés au contexte (structure de la demande, intermodalité), à anticiper lors du dimensionnement de l'installation.
- La garantie de la prise en compte de l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite est une obligation réglementaire et implique des adaptations techniques notamment aux stations.
- Des prescriptions réglementaires en matière de maintenance ayant un fort impact sur l'exploitation.
- Une vitesse du câble tracteur à adapter aux objectifs déterminés par l'exploitant : équilibre entre débit nécessaire, objectif de niveau de service, coûts d'exploitation...
- Pour optimiser les débits, une gestion des flux des accès à organiser avec soin en station, notamment par le dimensionnement des quais.
- Un contrôle fiable du nombre de personnes à bord des cabines (c'est-à-dire de la charge embarquée).
- Présence obligatoire d'un agent d'exploitation à bord des cabines d'une capacité supérieure à 40 personnes.

La durée de vie et la maintenance 4 des transports par câble aérien

4.1 La durée de vie et le démontage des installations

La durée de vie des équipements fixes de transport par câble est estimée entre trente et cinquante ans. Certains éléments structurels comme les pylônes ou les bétons d'ancrage ont des durées de vie encore plus longues. Celle des autres composants est plus réduite et variable.

Le premier téléphérique de Roosevelt Island à **New York** a été mis en service en 1976. Il a fonctionné de façon satisfaisante jusqu'en 2005, avant que des pannes successives rendent nécessaire le renouvellement du système. Lors de ce renouvellement en 2010, les têtes de pylônes, les équipements fonctionnels (véhicules, câbles, partie électromécanique) ont été totalement changés ; les bases des pylônes ont été conservées. Les enveloppes des bâtiments abritant les deux stations n'ont pas été modifiées, l'aménagement intérieur a été refait.

La télécabine 3S de **Coblence** en Allemagne relie les deux principaux sites d'une exposition horticole internationale. Plusieurs millions de visiteurs l'ont empruntée pendant les six mois de l'exposition. Longue de 850 m, l'installation franchit le Rhin et un dénivelé de plus de 100 m. L'installation est temporaire. Ouverte à l'été 2010, elle devrait être démontée en 2013.

Le démontage des éléments électromécaniques d'un transport par câble est relativement facile à réaliser, ce qui constitue un atout lorsqu'il s'agit de renouveler complètement une installation en fin de vie. Ce n'est évidemment pas le cas des éléments de génie civil (ancrages des pylônes, bâtiments des stations...).

Par ailleurs, la réutilisation d'un système de transport par câble sur un autre site que celui pour lequel il a été conçu est possible mais complexe. En effet, ces installations sont avant tout conçues « sur

mesure » pour répondre aux caractéristiques attendues et aux problématiques du site (capacité, dénivelé, puissance nécessaire, possibilités d'implantation des pylônes...). Une réutilisation est donc conditionnée par la similarité des critères de service et l'adaptabilité à la nouvelle géographie.

4.2 L'entretien et la maintenance

La problématique de la maintenance est cruciale en milieu urbain, où l'installation est fortement sollicitée. En moyenne, on peut estimer qu'un transport par câble urbain ou périurbain fonctionne pendant 5800 à 7000 heures par an²⁶, soit cinq à six fois plus qu'une installation de montagne sur la même période.

Les opérations d'entretien et de maintenance recouvrent trois types d'opérations :

- l'entretien courant ;
- la maintenance continue ;
- les grandes inspections.

■ L'entretien courant

L'entretien courant comprend le nettoyage des cabines et des stations et les interventions techniques simples. Il inclut par exemple le traitement des pannes qui peuvent affecter les cabines comme l'ouverture et la fermeture des portes. Il relève de l'exploitant qui doit aussi se conformer à la politique qualité négociée le cas échéant avec l'autorité organisatrice. L'entretien courant n'impacte pas la disponibilité.

À **Barcelone**, le nettoyage de la télécabine de Montjuïc est organisé de la manière suivante : nettoyage des cabines une fois par semaine ; lavage des vitres des stations deux fois par mois ; nettoyage complet des stations une fois par trimestre et nettoyage plus approfondi une fois par an après la maintenance annuelle.

5800 heures correspond à un fonctionnement de 6 heures à 22 heures tous les jours de l'année. 7000 heures correspond à un fonctionnement de 5 heures à 24 heures. Voir partie 2 chapitre 2.

■ La maintenance continue

Elle englobe les travaux d'entretien « basiques », les opérations de contrôle et le remplacement de pièces d'usure. Certains contrôles nécessitent le démontage d'un constituant. Parmi les opérations les plus courantes spécifiques à ce mode de transport figurent le contrôle des câbles, pinces, balanciers et galets, le nettoyage et le graissage des balanciers, des pinces et des galets, le nettoyage du câble...

Le retour d'expérience des constructeurs et des exploitants d'installations de transport par câble urbain, encore très limité, met cependant en évidence certains principes, décrits ci-après.

Anticiper les réparations et la commande des pièces de rechange

L'usure de certains composants du système rend nécessaire leur remplacement périodique. La commande, la fabrication et la livraison de ces pièces nécessitant des délais, leur achat anticipé conditionne la bonne disponibilité du système (supérieure à 99 %).

La constitution d'un stock de pièces de roulement à cette fin doit comporter au moins :

- les cabines (une ou deux suivant le type, pour les télécabines) ;
- les cartes électroniques (automates) ;
- sections d'une longueur suffisante de câble tracteur, à déterminer en fonction des systèmes ;
- balanciers, galets, pinces.

Ménager quelques jours par an pour les opérations les plus lourdes

En milieu urbain, les opérations de maintenance doivent toujours être les plus « transparentes » possibles pour les usagers. La maintenance de nuit doit être privilégiée. La quasi-totalité des opérations de maintenance peuvent être réalisées lors des périodes de fermeture commerciale du système.

L'arrêt de l'installation pendant cinq à six jours par an pour réaliser les opérations de maintenance les plus lourdes constitue une option aujourd'hui éprouvée ; d'autres types d'organisation peuvent néanmoins être

élaborés. Par ailleurs, le remplacement des câbles – opération à envisager après huit à neuf ans, au plus tôt, d'exploitation de type urbain – nécessite l'arrêt de l'installation pendant une durée d'une semaine environ.

Préférer les opérations de remplacement « par bloc »

Les opérations de maintenance traditionnelles en zone de montagne (démontage, contrôle et remontage) sont peu adaptées au contexte urbain. Le remplacement « par bloc » des éléments nécessitant d'être révisés répond mieux aux exigences d'une exploitation urbaine, à condition de disposer d'un stock comportant chaque type de pièce nécessitant d'être contrôlée.

Intégrer la problématique de la maintenance dès la conception

La problématique de la maintenance doit être évoquée dès la conception de l'installation. Des dispositions constructives permettent de faciliter les opérations de maintenance :

- favoriser les systèmes électromécaniques plus évolués (voire « durcis »), spécialement adaptés aux conditions d'exploitation en milieu urbain, limite le nombre d'interventions de maintenance. Le surcoût d'investissement peut être compensé sur la durée de vie de l'installation, par une maintenance moins contraignante (nombre d'interventions, pendant la nuit) ;
- garantir l'accessibilité au pied des pylônes permet de faciliter les opérations de maintenance, comme le remplacement des balanciers ;
- disposer d'un garage pour remiser les cabines facilite également leur maintenance et leur nettoyage.

Suivre et évaluer les procédures de maintenance pour une meilleure programmation

Pour assurer la disponibilité du système, il est nécessaire de s'assurer, en amont, des risques d'interruption du service, des modalités de réparation en cas de panne ou d'incident. La formalisation de procédures de maintenance simples et efficaces permet de minimiser les temps d'arrêt nécessaires.

Les constructeurs ont engagé des investigations concernant les mesures organisationnelles envisageables pour optimiser la maintenance et *in fine* améliorer la disponibilité des installations. Ce travail n'est pas achevé aujourd'hui et des marges de progrès sont certainement possibles en la matière.



Salle d'entretien des cabines à Barcelone – Crédit photo : CETE de Lyon

Les principales opérations de maintenance réalisées sur le MetroCable de Medellín sont les suivantes :

Opération	Responsable	Fréquence	Arrêt d'exploitation
Inspection des pinces	Metro de Medellín	Tous les ans par rotation	Non
Inspection des véhicules	Metro de Medellín	Tous les trois ans par rotation	Non
Inspection des stations et des supports	Metro de Medellín avec constructeur	Tous les trois ans par rotation	Pendant l'arrêt annuel (environ 7 jours)
Inspection du câble	Metro de Medellín avec entreprise extérieure spécialisée	Tous les six mois	Un jour

Exemples d'opérations de maintenance réalisées sur le MetroCable de Medellín – Source Metro de Medellín

■ Les grandes inspections

Les grandes inspections correspondent aux opérations de maintenance les plus contraignantes. Toutefois, la réglementation autorise un phasage de ces opérations, permettant le cas échéant de limiter la durée d'interruption du service.

La réglementation française concernant les grandes inspections est basée sur des retours d'expérience concernant des remontées mécaniques de montagne. Cette réglementation est de fait plus contraignante pour une installation « urbaine » exploitée 7000 heures par an, car le rythme des grandes inspections est déterminé par la durée de fonctionnement : une application de cette réglementation calquée sur les remontées mécaniques de montagne impose pratiquement une fréquence annuelle pour ces inspections, dans le cas d'une exploitation urbaine. Les dispositions réglementaires en vigueur sont cependant compatibles avec une organisation des inspections plus adaptée aux caractéristiques d'une

exploitation en milieu urbain. Une évolution de cet aspect de la réglementation pourrait également être envisagée sur la base d'un retour d'expérience justifiant cette évolution.

À **Medellín**, les télécabines du MetroCable devraient faire l'objet d'une grande inspection toutes les 7500 heures, soit tous les ans, si la réglementation française s'appliquait. L'exploitant a organisé sa maintenance de manière à limiter les interruptions de service générées par les opérations de contrôle des différents éléments de ses installations.

■ La contractualisation de la maintenance

Différents types d'organisations ont été mis en place pour les installations à câble urbaines en service :

- concession : l'exploitation et la maintenance de l'installation sont totalement confiées à un constructeur (New York) ;
- exploitation en régie, maintenance confiée par contrat quasiment en totalité à un constructeur ;
- exploitation en régie, maintenance partiellement contractualisée (Medellin), pour les opérations les plus complexes.

À **Medellin**, la maintenance continue est réalisée par les services techniques du Metro de Medellin, qui ont une grande connaissance des installations. Le constructeur Pomagalski a rédigé des manuels d'intervention à disposition des exploitants pour que la maintenance continue puisse se réaliser sans encombre. Pomagalski intervient dans la formation de l'équipe technique de l'exploitant, la rédaction de procédures techniques, la fourniture de composants nécessaires et de pièces de rechange... Le constructeur dispose également de sept jours de fermeture complète des installations par an pour réaliser à la demande de l'exploitant les opérations de maintenance les plus contraignantes.

À **Barcelone**, l'exploitant de la télécabine de Montjuic a formalisé une maintenance continue et annuelle dans le contrat d'exploitation. Après trois ans d'exploitation, le constructeur est toujours très présent pour son rôle d'expert du système, pour la fourniture des pièces de maintenance et pour la maintenance annuelle. La présence sur place d'un représentant du groupe maintient un contact continu entre l'exploitant et le constructeur.

La ville de **Portland** est responsable de la maintenance des stations supérieure, inférieure et du pylône du téléphérique. Elle assure également la surveillance réglementaire et la régulation du système.

À RETENIR : LA MAINTENANCE DES INSTALLATIONS.

- Des durées de vie comparables à celles des tramways.
- Une problématique de la maintenance très prégnante, à intégrer dès la conception des installations.
- Des opérations de maintenance pouvant être réalisées majoritairement de nuit, un arrêt annuel du service de quelques jours.

La sécurité 5

5.1 Les procédures de sécurité

La mise en œuvre d'un projet de transport par câble, comme de tout transport guidé urbain, nécessite la production et la validation de trois dossiers de sécurité²⁷ :

- le dossier de définition de sécurité (DDS) ;
- le dossier préliminaire de sécurité (DPS) ;
- le dossier de sécurité (DS).

La validation de ces dossiers permet d'obtenir l'autorisation d'exploiter.

En exploitation, les contrôles sont périodiques et clairement définis. À ces contrôles s'ajoutent des inspections périodiques (annuelles, pluriannuelles, grandes inspections et inspections spécifiques).

Enfin, le domaine des installations à câble transportant des personnes a également fait l'objet d'une directive européenne : la directive européenne 2000/9 du 20 mars 2000. Elle règle les aspects relatifs à la fabrication industrielle. La directive vise à assurer la sécurité des personnes tout en garantissant la libre circulation des éléments constitutifs des installations à câbles.

Le ratio entre le nombre d'accidents graves et le nombre de voyages effectués par an (il est difficile d'en établir d'autres, significatifs, compte tenu des spécificités de ce mode de transport), rend évidentes les performances du transport par câble en matière de sécurité.

Le tableau suivant présente l'accidentologie des télécabines et des téléphériques français entre mai 2002 et avril 2011²⁸.

Saison	2002/ 2003	2003/ 2004	2004/ 2005	2005/ 2006	2006/ 2007	2007/ 2008	2008/ 2009	2009/ 2010	2010/ 2011
Passages en millions	84	88	83	77	66	71	82	73	90
Nombre d'accidents graves	0	2	0	0	0	1	0	0	0
Dont blessés graves	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Dont morts	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Accidentologie des transports par câble en France – Source STRMTG

5.2 Équipements des véhicules

Les véhicules des installations urbaines récemment mises en service disposent de systèmes de télécommunication avec le poste de commande centralisé. Leur équipement en caméras de surveillance en liaison directe avec le poste de commande peut également être envisagé dans certains cas (nombre de véhicules réduit), étant précisé que la complexité, donc le coût, d'un tel dispositif croît fortement avec le nombre de véhicules à équiper. Ce coût peut être réduit en limitant l'équipement à un système d'enregistrement des images (à l'exemple des dispositions adoptées dans de nombreux réseaux de tramways français). L'exploitation d'une installation de transport collectif en milieu urbain couvrant une période nocturne (tôt le matin et tard le soir), l'éclairage intérieur des véhicules s'impose.

Chaque véhicule de la télécabine tricâble de **Bolzano** est équipé de deux caméras et d'un système d'appel afin de communiquer avec l'opérateur. L'opérateur présent au poste de commande visionne sur un écran de contrôle l'intérieur de chaque cabine.

Des règles particulières d'exploitation peuvent être prescrites localement afin de garantir la sécurité des passagers à bord.

À **Medellín**, il n'est pas autorisé de voyager seul dans une cabine du MetroCable.

Enfin, il est nécessaire de s'assurer que les passagers n'entrent pas en surnombre dans les cabines (voir partie 3 chapitre 3).

Ces procédures sont 27
détaillées en partie 2.

Pour des chiffres 28
d'accidentologie pour les
systèmes de type tramway,
consulter les rapports
annuels disponibles sur
le site du STRMTG.

5.3 La prévention des actes de malveillance

Le choix peut être fait de prévenir d'éventuels actes de malveillance en stationnant l'ensemble des véhicules en station lors de l'arrêt nocturne du service. Les stations doivent alors être pourvues de locaux de remisage si la longueur des quais est insuffisante pour stocker l'ensemble des véhicules. L'espace étant contraint en milieu urbain, un stockage sur plusieurs niveaux peut être envisagé. Un mécanisme d'acheminement des véhicules entre les quais d'embarquement et la zone de remisage est alors nécessaire. Lorsque de tels aménagements sont prévus dans les installations en service, ils sont aussi destinés aux opérations de maintenance.

Les pylônes doivent être accessibles au personnel d'exploitation pour les opérations d'entretien et de maintenance. Néanmoins, des mesures spécifiques doivent être prises pour dissuader l'intrusion de personnes non habilitées.

5.4 L'évacuation

■ La réglementation

Réglementairement, la durée totale de l'ensemble des opérations permettant l'évacuation de tous les usagers ne doit pas dépasser trois heures trente minutes.

L'exploitant doit élaborer un plan d'évacuation regroupant toutes les dispositions relatives aux moyens humains et matériels, ainsi que les procédures à mettre en œuvre pour l'évacuation des passagers en cas d'immobilisation de la télécabine ou du téléphérique. La formation des agents et des exercices d'évacuation réguliers permettent de garantir une mise en œuvre efficace du plan de sauvetage.

En milieu urbain, un tel plan doit également intégrer l'évacuation des personnes à mobilité réduite, et prévoir les éventuelles dispositions spécifiques correspondantes.

■ Les différents systèmes d'évacuation

L'**évacuation verticale** est la plus courante dans les remontées mécaniques de montagne ; elle consiste à descendre les passagers depuis les cabines vers le sol (terrain naturel, toit d'un bâtiment, embarcation fluviale...). La présence dans le véhicule d'un agent formé est obligatoire afin de réaliser l'évacuation par le biais de techniques de corde. Pour une efficacité maximale, ces opérations sont menées simultanément par plusieurs équipes autonomes, généralement composées de deux personnes : une dans le véhicule pour évacuer les passagers et l'autre au sol pour réceptionner et guider le passager.

- Pour les cabines d'une capacité supérieure à quarante places, la réglementation impose la présence permanente dans le véhicule d'un agent d'exploitation formé à ces procédures d'évacuation.
- Pour les véhicules de capacité inférieure, l'agent d'exploitation doit être acheminé dans la cabine en cas de problème, ce qui nécessite l'utilisation de techniques spécifiques de déplacement sur câble.
- D'autres techniques inapplicables en montagne, mais plus facilement envisageables en milieu urbain pourraient être étudiées (évacuation par nacelles, échelle de pompier).

L'**évacuation avec transfert** consiste soit à amener un autre véhicule au plus près du véhicule à évacuer (par exemple sur l'autre chemin de câbles de la boucle) et de transférer un à un les passagers, soit à amener un véhicule de secours, le solidariser avec le véhicule secouru (lui-même découplé ensuite du câble) et enfin de les acheminer en station ou vers le pylône le plus proche. Elle est rarement adoptée en France pour les installations monocâbles (durée importante des opérations), sauf sur quelques sections limitées, situées à l'aplomb de zones à risque (secteurs avalanches par exemple).

La **récupération des véhicules (ou récupération intégrée)** consiste à ramener les véhicules avec leurs passagers dans les stations en utilisant des procédures exceptionnelles et des moyens propres à l'installation.

On notera que ces procédures sont différentes de celles employées dans les systèmes à voie rigide

en site propre (qu'ils soient ou non à câble). Pour ces derniers, une sur-largeur de la plate-forme (et un parapet) est en effet souvent réalisée pour permettre d'évacuer les passagers à pied lors de l'arrêt des véhicules. Si cette possibilité est *a priori* plus simple à mettre en œuvre, elle implique cependant un surcoût à la construction important par rapport aux systèmes aériens.

Dans la plupart des procédures décrites, l'évacuation doit se dérouler dans un délai maximal de trois heures trente minutes. Dans la configuration particulière suivante, cette durée peut être ramenée à quatre-vingt-dix minutes : deux procédures d'évacuation sont prévues, évacuation verticale ou récupération intégrée. Dans le cas d'un dysfonctionnement, l'exploitant analyse la panne et décide après un délai maximal de trente minutes du mode de secours approprié. Lorsqu'il considère qu'il peut ramener les véhicules en station, les passagers doivent être récupérés dans un délai maximal total de quatre-vingt-dix minutes (comprenant la durée d'analyse de la panne). Sinon, il procède à une évacuation verticale dans les conditions mentionnées.

Parmi les différents systèmes d'évacuation décrits, la récupération intégrée est la plus adaptée au contexte urbain : elle est d'ailleurs concrètement mise en place sur des installations tricâbles récentes et devrait permettre de disposer d'un retour d'expérience favorisant son développement.

Cette disposition est possible pour les systèmes monocâbles, mais n'est pas étudiée en France à ce jour.

■ Les préconisations en milieu urbain

Il est difficile d'envisager que chaque véhicule d'une installation de transport collectif urbain ne soit pas équipé d'un système de télécommunication performant permettant :

- d'établir un contact avec les passagers dans les meilleurs délais, destiné à les rassurer et à leur indiquer la conduite à tenir en cas d'incident ;
- de leur indiquer le déroulement des opérations entreprises pour remédier à la situation en cas d'incident nécessitant une évacuation.

Les procédures d'évacuation basées sur la récupération des véhicules doivent être privilégiées. Elles ont plusieurs avantages :

- le maintien à l'intérieur des véhicules de l'ensemble des passagers ;
- le retour en station des véhicules ;
- une évacuation des personnes à mobilité réduite (personnes âgées, personnes handicapées, bébés en poussette) plus aisée qu'avec d'autres procédures.

Le rapatriement des véhicules en station nécessite l'installation de différents dispositifs spécifiques, par exemple un système d'entraînement indépendant du système principal (moteur de secours, éventuellement réducteur supplémentaire, ensemble de galets s'ajustant sur la poulie en cas de défaillance de celle-ci et permettant de déplacer le câble tracteur...), qui vient s'ajouter au système classique, qu'il soit monocâble, bicâble ou tricâble.

Enfin, les véhicules des systèmes tricâbles et des téléphériques peuvent être équipés de matériels de survie (eau, couvertures de survie...), dans l'éventualité d'une immobilisation prolongée des cabines.

La télécabine tricâble de **Bolzano** est équipée d'une ligne de sauvetage située au-dessus de la ligne d'exploitation classique. Cette ligne de sauvetage bénéficie d'un dispositif de mise en tension et d'un entraînement spécifiques. Un chariot de secours est alors mis en mouvement jusqu'à chaque cabine, découple le train de roulement et ramène la cabine en station à une vitesse d'un mètre par seconde. Le chariot de secours ne sert pas à porter la cabine : il s'agit juste d'un dispositif d'entraînement, la cabine roulant sur les deux câbles porteurs. Le rapatriement de l'ensemble des véhicules en station est rendu acceptable du fait d'un faible nombre de cabines (six à huit en ligne et deux en station sur le quai de départ) de grande capacité (trente-cinq places).

Les cabines du nouveau téléphérique de Roosevelt Island à **New York** disposent sur leur toit de toilettes chimiques prêtes à être installées à l'intérieur du véhicule. De l'eau et de la nourriture sont également stockés à bord des cabines.

À **Medellín**, aucune évacuation n'a été nécessaire jusqu'à ce jour (l'installation la plus ancienne étant en service depuis huit ans).

6 La consommation d'énergie

Il n'a pas été jugé possible d'établir dans ce document une caractérisation claire, fiable et quantifiée des performances des systèmes à câble en matière de consommation d'énergie, ni, de ce fait, d'être en mesure de les comparer avec celles d'autres modes de transport. Les raisons en sont multiples.

Le parc d'installations à câble en service étant exploité essentiellement en zone de montagne, il n'est pas possible de rassembler des statistiques en nombre suffisant pour en dégager des conclusions pertinentes dans le cas de systèmes destinés à être exploités selon les contraintes propres aux réseaux de transport collectif urbain.

Les technologies employées, les configurations qui déterminent les différents paramètres des choix technologiques présentent elles-mêmes des différences telles d'une installation à une autre qu'elles peuvent difficilement donner lieu à des conclusions générales sur ce sujet.

Enfin, les contextes caractérisant respectivement les installations à câble et celles recourant à d'autres modes de transport collectif en service sont tellement contrastés qu'il n'apparaît pas raisonnable d'en déduire des classements comparatifs sur leurs performances respectives, en l'état actuel des connaissances.

Quelques données issues du parc d'installations en service en montagne ont néanmoins été réunies et exploitées pour livrer des ordres de grandeur caractérisant des systèmes, dans leur domaine d'utilisation actuel. Ces ordres de grandeur sont estimés à partir de la consommation réelle (calculée sur la base de la consommation constatée et de la durée de fonctionnement correspondante) nécessaire pour déplacer le câble tracteur et les véhicules entraînés sur une distance de 1 km et de la capacité des installations considérées, transformées en pko (places-kilomètre offertes). On en tire ces quelques ratios :

- les installations monocâbles considérées consomment entre 0,05 et 0,1 kWh/pko ;
- les installations bicâbles et tricâbles considérées consomment entre 0,01 et 0,05 kWh/pko.

Remarque : en divisant une consommation réelle par une capacité théorique, le ratio obtenu est inférieur à un ratio basé sur le nombre de passagers réellement transportés.

Ces éléments permettent une approche, certes uniquement qualitative et simplifiée de ce sujet, mais riche d'enseignements, détaillés ci-après.

■ Des consommations variables suivant les types de systèmes

Les télécabines monocâbles (et double monocâbles) sont les systèmes les moins performants si l'on considère le ratio [kWh/pko]. Cela s'explique par le fait que la technologie monocâble (un ou deux câbles à la fois porteurs et tracteurs) génère, pour un même nombre de passagers-km transportés, davantage de frottements qu'une installation bicâble ou tricâble. En effet, le nombre des points de contact entre pièces en mouvement, ainsi que les charges reprises au niveau de ces points de contact et supports, à l'origine de ces frottements, sont plus défavorables aux installations monocâbles (frottements générés par le passage du câble porteur-tracteur sur les galets au niveau de chaque pylône). Dans le cas des systèmes bicâbles et tricâbles, les fonctions de support et de traction sont assurées par des câbles distincts, ce qui permet d'envisager des portées entre pylônes plus importantes et de mettre en circulation des véhicules de plus grande capacité unitaire.

■ Influence de la vitesse en ligne sur la consommation

Les exemples montrent qu'une réduction de la vitesse des véhicules permet de diminuer la consommation énergétique. Il existe donc un réel intérêt à adapter la vitesse à la fréquentation.

À **Medellín**, une adaptation de la vitesse à la fréquentation permet de diminuer sensiblement la consommation énergétique des lignes du MetroCable pour une amplitude de fonctionnement équivalente.

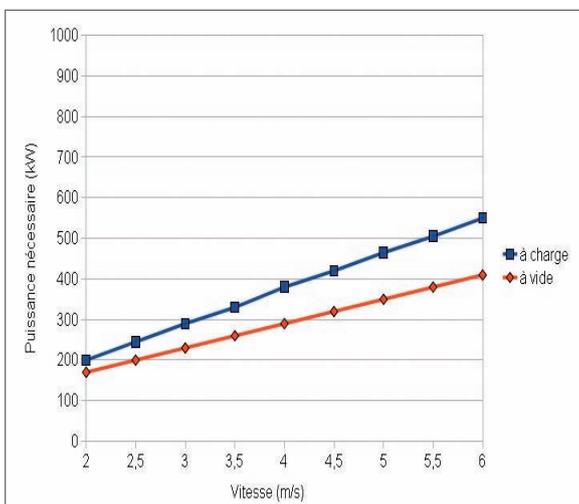
Amplitude de fonctionnement	Variation de la vitesse du câble	Vitesse du câble	Consommation énergétique
4 h 30 – 23 h 30	Vitesse constante (situation théorique)	5,0 m/s de 4 h 30 à 23 h 30	12 122 kWh (calculée)
4 h 30 – 23 h 30	Vitesse variable (situation réelle)	3,5 m/s de 4 h 30 à 15 h 15 4,0 m/s de 15 h 15 à 15 h 45 5,0 m/s de 15 h 45 à 20 h 40 3,5 m/s de 20 h 40 à 23 h 30	5 700 kWh (mesurée)

Variation de la consommation suivant la vitesse du câble – Source Pomagalski

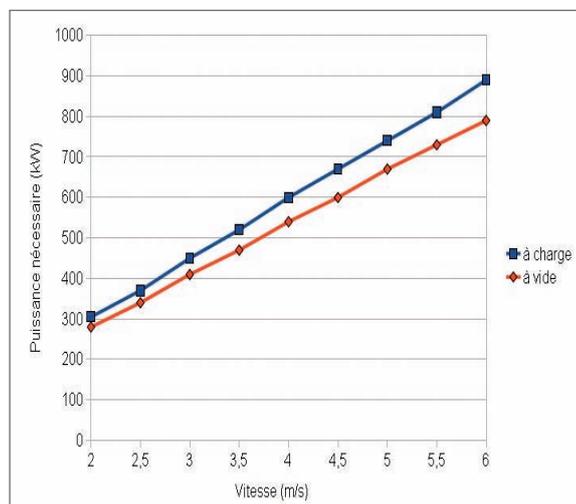
■ Influence du dénivelé sur la consommation

Les graphiques ci-après ont pour objet d'illustrer les impacts de quelques paramètres caractéristiques sur la consommation électrique d'une installation à câble. Ils reposent sur les **calculs** des puissances nécessaires au fonctionnement d'une installation en fonction de la vitesse d'exploitation, de la charge de l'installation et du franchissement de dénivelé.

Ces éléments ont été calculés par le constructeur Pomagalski sur la base d'une installation monocâble « type » d'une longueur de 3000 m, franchissant soit un dénivelé de 500 m, soit « horizontale » avec un histogramme de charge (répartition des véhicules sur le câble) vraisemblable pour un système monocâble.



Évolution de la puissance nécessaire avec la vitesse du câble en l'absence de dénivelé – Source : Pomagalski



Évolution de la puissance nécessaire avec la vitesse du câble avec un dénivelé de 500 m – Source : Pomagalski

Ces éléments permettent de déduire les résultats suivants :

- la charge transportée par l'installation « mobilise » la puissance nécessaire à hauteur de 20 % avec un dénivelé nul et à hauteur de 10 % avec un dénivelé de 500 m ;
- chaque franchissement de 100 m de dénivelé supplémentaire nécessite environ 10 % de puissance supplémentaire ;
- la puissance nécessaire et la vitesse de l'installation sont fortement corrélées ; fonctionner à 6 m/s en charge au lieu de 3 m/s nécessite environ 90 % de puissance supplémentaire.

À RETENIR : LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE.

- Une consommation qui croît fortement avec la vitesse du câble.
- Une consommation qui croît moins avec la charge ou le dénivelé.
- Des performances variables suivant les systèmes, les installations monocâbles étant globalement plus énergivores que les autres systèmes à câble en raison de frottements plus importants.
- Un constat : des données encore trop peu nombreuses en ce qui concerne l'analyse des cycles de vie et les inventaires énergétiques des systèmes de transport.

■ Problématique de la comparaison avec la consommation énergétique d'autres modes de transport collectif

Malgré le peu de données publiques disponibles, on peut estimer qu'une rame de tramway consomme en moyenne entre 3 et 6 kWh pour parcourir 1 km, selon les configurations, les types de matériels. Rapporté au nombre de places disponibles dans les matériels en service concernés, le ratio consommation d'énergie par pko évolue entre 0,01 kWh/pko et 0,03 kWh/pko. Encore une fois, il est difficile de comparer ces valeurs avec celles relatives aux installations à câble, sur la seule base du retour d'expérience du parc exploité en montagne. Ces considérations montrent néanmoins l'intérêt de conduire des analyses précises, complètes (sur l'ensemble du cycle de vie des systèmes) et rigoureuses, si l'on souhaite disposer de vrais repères comparatifs. De telles analyses ne sont pas disponibles à ce jour.

Les coûts d'investissement et d'exploitation 7

7.1 Les coûts d'investissement

De même que pour les performances énergétiques, un constat s'impose : il est difficile d'établir des ratios généraux d'investissement par kilomètre de ligne ou par type de système de transport par câble. Chaque installation est unique et dépend d'un nombre important de paramètres (type de technologie, capacité souhaitée, nombre et volumes des stations, contraintes d'insertion, topographie...). En outre, le recueil de données économiques détaillées en matière de coûts est entravé par la sensibilité de ce type d'informations, au premier plan du jeu concurrentiel industriel.

■ Première approche basée sur les coûts d'investissement en montagne

L'objectif de ce paragraphe est par conséquent modeste : il propose des ordres de grandeur d'investissement établis sur la seule base d'installations de montagne. En effet, les exemples d'installations urbaines sont aujourd'hui trop peu nombreux pour établir des valeurs comparables en milieu urbain. Il en résulte que les chiffres indiqués ne prennent pas en compte les coûts induits par les spécificités d'une installation à vocation de transport collectif urbain (accessibilité aux personnes à mobilité réduite, mesures d'intégration urbaine, architecture adaptée des stations et des pylônes...).

Décomposition des coûts HT par poste		Monocâbles	Tricâbles
Stations	Station motrice (génie civil et système électromécanique)	2,5 à 3 M€	4 à 5 M€
	Station intermédiaire (génie civil et système électromécanique)	2 à 2,5 M€	-
	Station retour (génie civil et système électromécanique)	1 M€	3 à 4 M€
Câbles	Câble tracteur	40 € par mètre	
	Câble porteur/tracteur	50 € par mètre	
	Câble porteur	70 € par mètre	
Véhicules	Cabine 8 à 10 places (installation monocâble)	30 000 €	-
	Cabine 35 places (installation tricâble)	-	300 000 €
	Cabine 100 places (téléphérique)	-	1 M€
Pylônes classiques	Système monocâble	100 000 €	-
	Système tricâble	-	500 000 €
Honoraires, frais de maîtrise d'œuvre, travaux préparatoires et aléas		10 % du coût du projet	

Décomposition des coûts par poste indicatifs pour les systèmes monocâbles et tricâbles en montagne – Source CETE de Lyon

Ces ratios permettent d'estimer les coûts approximatifs suivants pour une installation de montagne d'une capacité de 2 500 voyageurs par heure et par sens et d'une longueur de 1000 à 2000 m :

- télécabine monocâble : 7,5 millions d'euros HT ;
- télécabine tricâble : 15 millions d'euros HT.

Les éléments suivants détaillent le coût réel d'une **télécabine monocâble de montagne** mise en service lors de l'hiver 2010/2011. Cette installation présente une longueur sur la pente de 550 m pour un dénivelé de 170 m. La vitesse du câble tracteur est de 4,50 m/s. Elle est équipée de vingt-cinq véhicules de dix places et offre une capacité de 2500 voyageurs par heure et par sens. Les stations sont simples avec génie civil réduit au minimum. Le coût global du projet est de 6 millions d'euros hors taxes, selon la décomposition suivante :

Poste	Coûts réels (€HT)
Études	200 000 €
Génie civil station motrice	950 000 €
Génie civil station retour	500 000 €
Système électromécanique	2 350 000 €
Génie civil pylônes	110 000 €
Pylônes et balanciers	350 000 €
Câble	40 000 €
Véhicules (25 cabines)	560 000 €
Divers	400 000 €
Frais de maîtrise d'œuvre, travaux préparatoires et aléas	546 000 €
Total	6 006 000 €

Décomposition des coûts par poste pour une installation de montagne – Source CETE de Lyon

Dans cet exemple, les éléments de génie civil d'une station motrice d'une télécabine monocâble de montagne s'élèvent à 1 million d'euros environ, soit 30 % de son coût global (génie civil fonctionnel et système électromécanique).

Autre exemple d'installation de montagne, la télécabine tricâble de **Val-d'Isère** (technologie tricâble, longueur de 2 km, trois pylônes et dix-huit véhicules de trente places pour une capacité de 2600 personnes par heure et par sens) présente un coût global de 15 millions d'euros. La part du génie civil représente 50 % du coût global.

■ Spécificités liées à l'intégration en milieu urbain

En milieu urbain, une intégration plus contraignante et les partis d'aménagements architecturaux définis par le maître d'ouvrage augmenteront sensiblement les coûts relatifs au génie civil (stations et pylônes). On peut considérer qu'un surcoût minimal de 50 % est applicable sur les éléments du génie civil et notamment les stations. Le poste foncier est également à prendre en considération (le coût de l'emprise nécessaire pour l'aménagement des stations notamment est différent en milieu urbain).

Selon cette approche, le coût d'une station motrice d'un système monocâble en milieu urbain est plus proche de 4 millions d'euros. Le coût de la réalisation d'espaces supplémentaires intégrés aux stations (commerces, parking...) ou celui d'un design particulièrement élaboré est bien entendu à ajouter à cette valeur.

La réalisation d'une station intermédiaire n'est pas sans effet sur le coût global d'un projet. Une simple station technique, nécessitée par un changement de direction, est moins onéreuse qu'une station intermédiaire avec changement de direction permettant la montée et la descente des passagers.

Enfin, s'agissant d'installation de transport collectif en milieu urbain soumise à des contraintes de service plus exigeantes qu'en montagne, il est préconisé de prévoir un investissement initial complémentaire de 3 à 5 % du coût global du projet afin d'anticiper l'achat de pièces de roulement, pour optimiser la maintenance de l'installation, l'objectif étant de garantir à l'usager un taux de disponibilité élevé du système.

La télécabine monocâble de **Barcelone** est longue de 752 m. Elle compte cinquante-quatre véhicules de huit places et douze pylônes. Elle dispose d'une station intermédiaire de changement de direction avec une descente des voyageurs autorisée dans le sens descendant. Sa capacité théorique est de 3000 voyageurs par heure et par sens.

En appliquant les ratios précédents, le coût du projet de Barcelone pourrait être estimé à environ 9,2 millions d'euros hors taxes s'il était réalisé en zone de montagne. Or le coût global réel du projet s'élève à 14,5 millions d'euros, dont 50 % pour le génie civil et les aménagements et 50 % pour le système électromécanique.

Par rapport à une installation classique de montagne, il faut donc constater un surcoût global du projet en milieu urbain de l'ordre de 60 % et des coûts de génie civil d'environ 7 millions d'euros pour les trois stations. En effet, les stations « classiques » du constructeur sont insérées dans des bâtiments contemporains à l'architecture épurée de manière à s'intégrer aux particularités environnementale et paysagère du site. En tout état de cause, en milieu urbain, les coûts dédiés à la qualité des aménagements et au traitement architectural des stations ne sont pas marginaux.

Poste	Coût estimé en montagne (€HT)	Coût réel (€HT)
Véhicules (54 cabines)	1 620 000 €	NC
Station motrice	3 000 000 €	NC
Station intermédiaire	1 500 000 €	NC
Station retour	1 000 000 €	NC
Pylônes	1 200 000 €	NC
Câble	60 000 €	NC
Honoraires, frais de maîtrise d'œuvre et aléas	838 000 €	NC
Total	9 218 000 €	14 500 000 €

Décomposition indicative des coûts de la télécabine de Barcelone – Source CETE de Lyon

En milieu périurbain, la télécabine tricâble de **Bolzano** (technologie tricâble, longueur de 4,5 km, sept pylônes et huit véhicules de trente-cinq places pour une capacité de 550 voyageurs par heure et par sens) présente un coût global de 18,7 millions d'euros. La part du génie civil représente 36 % du coût global. Le génie civil de la station motrice est de 2,6 millions d'euros. Ce montant ne comprend pas le système électromécanique de l'installation elle-même.

Dans le cadre d'un partenariat public-privé, le constructeur s'est vu confier la gestion du parking et des locaux commerciaux de la station basse pour une durée de quarante années. En contrepartie, le coût global de l'opération a été réduit de 20 % pour l'Autorité organisatrice des transports. Le coût réel global de l'opération serait donc de 22 millions d'euros avec un poste foncier nul.

Le téléphérique de **Portland** (téléphérique va-et-vient tricâble d'une longueur de 1 km avec un pylône intermédiaire « emblématique » (de conception unique), deux cabines de soixante-dix-huit places et une capacité de 1014 voyageurs par heure et par sens) présente un coût global de 42,5 millions d'euros. Le design très particulier du pylône intermédiaire et la réalisation de cabines spécifiques expliquent le coût du projet.

L'insertion urbaine engendre inévitablement des surcoûts liés à une architecture soignée des stations et des pylônes. Cette dimension architecturale est difficilement quantifiable et peut augmenter très sensiblement les coûts des projets.

De manière générale, la modestie du marché en milieu urbain (avec comme corollaire un niveau de standardisation faible du marché des systèmes proposés), les particularités d'insertion liées à chaque site et la complexité des analyses de pertinence de cette filière laissent entrevoir des coûts significativement supérieurs à ceux observés en milieu de montagne.

7.2 Les coûts d'exploitation

Trois postes de dépenses composent essentiellement les coûts d'exploitation :

- les charges de personnel lié à l'exploitation et à la maintenance continue ;
- les charges d'entretien et de maintenance ;
- les dépenses énergétiques.

■ Les charges de personnel lié à l'exploitation et à la maintenance continue

Les charges de personnel représentent un poste important. La présence de personnel est requise de façon continue :

- à bord des cabines d'une capacité supérieure à quarante personnes ;
- dans les stations, pour la conduite de l'installation (y compris surveillance du débarquement et de l'embarquement des passagers).

Le retour d'expérience, très limité, d'exploitations en milieu urbain montre qu'il est envisageable de fonctionner avec deux personnes par station, si l'embarquement se fait dans des cabines en mouvement. Ce personnel est alors affecté à l'aide à l'embarquement et au débarquement, à la surveillance et à la maintenance continue de l'installation.

Dans cette configuration, quatre personnes doivent être présentes en permanence pour une installation comprenant deux stations – c'est-à-dire constituée d'un seul tronçon. Autrement dit, il faut prévoir une équipe de vingt-cinq personnes afin d'exploiter le transport par câble sur une plage horaire d'une vingtaine d'heures par jour tout au long de l'année pour une structure autonome.

Le coût horaire d'un emploi dans les transports publics urbains en France est estimé à 25€ par heure²⁹. Dans le cas de l'installation évoquée précédemment, la charge de personnel à prévoir est dans cette hypothèse de l'ordre de 3000€ par jour.

Dans ce contexte, l'automatisation des transports par câble apparaît comme un enjeu fort puisqu'elle permet de ne plus avoir de personnel en station pour gérer les flux. Certaines dispositions facilitant l'embarquement des passagers, comme l'arrêt complet en ligne droite en station et la présence de portes palières permettent d'aller dans ce sens.

■ Les charges d'entretien et de maintenance

L'exploitation d'une installation de transport par câble en milieu urbain impose la mise en place d'une maintenance préventive et continue. Les constructeurs estiment que le coût de la maintenance courante d'une installation de type urbain, intégrant les charges de personnel et les pièces de rechange, s'élève à environ 60 000€ pour 1000 heures de fonctionnement.

Pour un fonctionnement en mode urbain de 7000 heures par an, le montant de la dépense annuelle du poste maintenance serait, avec cette hypothèse, de 420 000€ par an.

■ Les dépenses énergétiques

La consommation moyenne d'une installation mono-câble d'un tronçon, à faible dénivelé, d'une capacité de 3000 passages/heure/direction (p/h/d) étant évaluée très grossièrement à 200 mégawatt-heure

²⁹ Source enquête annuelle transports urbains DIGITM-Certu-GART-UTP données 2009. Ce coût ne tient pas compte des coûts de structure. En cas de création d'une structure dédiée à l'exploitation du transport par câble, ces coûts devront être pris en compte.

pour 1000 heures de fonctionnement, l'ordre de grandeur du coût horaire de son alimentation en énergie est de 20€ (au tarif de 0,08€/kWh HT constaté en 2009).

■ Le coût total d'exploitation

Au final, on peut estimer, avec ces hypothèses, les coûts d'exploitation d'une installation de transport par câble comportant un seul tronçon à environ 250€ par heure de fonctionnement, ou autour de 1,8 million d'euros par an sur la base de 7000 heures de fonctionnement par an (moins dans le cas d'installations plus automatisées).

À RETENIR : LES COÛTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION.

- Des coûts d'investissement encore peu maîtrisés en milieu urbain.
- Une forte variabilité des coûts en fonction du nombre et la conception des stations.
- Des charges d'exploitation de maintenance fortement liées aux charges de personnel d'exploitation, des enjeux forts en terme d'automatisation des systèmes.
- Des charges de maintenance à mieux identifier, en prenant en compte les conditions propres aux installations urbaines.

8 L'insertion des systèmes de transport par câble aérien

À RETENIR : PRINCIPALES CONTRAINTES RÉGLEMENTAIRES CONCERNANT L'INSERTION D'UN SYSTÈME DE TRANSPORT PAR CÂBLE AÉRIEN.

L'implantation d'une ligne de transport par câble doit respecter des distances réglementaires (bâtiments, obstacles proches, sol) et des normes de sécurité relative au risque d'incendie.

En ville, les contraintes liées au droit des sols ont un fort impact sur le tracé et les zones d'implantation des pylônes.

La portée maximale des installations aériennes est limitée par les contraintes techniques liées au système, mais aussi par les hauteurs réglementaires de survol.

Pour plus de détails, se reporter à la partie 2.

8.1 Le tracé

■ Tracé rectiligne

Le tracé d'un transport par câble est par nature constitué d'une succession de sections rectilignes délimitées par deux stations.

Chaque franchissement de pylône permet toutefois une déviation du tracé de 1 degré. Ainsi, tout changement de direction d'une ligne de transport par câble nécessite une station intermédiaire. Cette station peut être une simple station technique, sans montée ou descente possible, ou une station intermédiaire complète accessible aux voyageurs. L'allongement du temps de parcours généré par le franchissement d'une station varie de trente secondes dans le cas d'une station technique à environ soixante secondes dans le cas d'une station

intermédiaire, la cabine marquant deux arrêts successifs pour la descente puis la montée des voyageurs.

Les installations de transport par câble en service en milieu urbain sont généralement de faible longueur, de 1 à 3 km avec peu d'arrêts, le plus souvent deux ou trois. Des installations de longueurs supérieures sont techniquement réalisables ; leur intérêt est dans la plupart des situations contraint par l'équilibre entre temps de trajet et attractivité (donc fréquentation), nombre de stations intermédiaires et coût induit.

■ Franchissement d'obstacles ou de dénivelés

Le transport par câble aérien est essentiellement employé pour répondre à des problématiques de franchissement d'un obstacle (cours d'eau, faisceau ferroviaire...) ou de dénivelé important (pente, lacets).

Franchissement d'obstacles

Le transport par câble aérien permet par exemple, dans certaines configurations, de franchir des obstacles (rivière, vallons, canyons, voie ferrée, voie de circulation routière) en évitant la construction d'un ouvrage d'art ou des détours par des franchissements existants, pénalisant d'autres moyens de transport collectif.

On ne trouve pas d'installations à câble aériennes exploitées en milieu urbain en France, mis à part le « téléphérique » de la Bastille à **Grenoble** qui franchit l'Isère. À l'étranger, outre le téléphérique de **New York**, reliant Roosevelt Island à Manhattan, celui de **Constantine** en Algérie relie deux quartiers séparés par une rivière très encaissée. À **Nha-Trang** au Vietnam, une télécabine relie la ville à l'île de Hon Tre... Les installations de ce type sont régulièrement mises en service : franchissement de la Tamise à Londres, de la Volga à **Nijni-Novgorod** (Russie) - mises en service prévues en 2012.

Relier des zones habitées séparées par un dénivelé important

Le transport par câble est capable d'opérer dans des reliefs à très fortes pentes. Le câble peut offrir une alternative à des parcours routiers en lacets ou contraints à des détours importants, en améliorant parfois significativement les temps de déplacement.

La pente maximale admise par les systèmes à câble en service (notamment en zone de montagne) est de l'ordre de 50 à 60 %. Cette technologie permet cependant de faire face à des pentes encore plus importantes (jusqu'à 100 %), moyennant une adaptation de certains constituants (notamment dimensionnement des suspentes).

À **Medellín** en Colombie, le MetroCable – télécabines monocâbles – relie depuis 2004 des quartiers défavorisés au réseau de métro. Cette desserte a permis de désenclaver ces quartiers à forte densité urbaine. À **Barcelone**, un téléphérique franchit la rade pour relier le port à la colline qui accueille le parc de Montjuïc et ses nombreuses installations culturelles et de loisirs. À **Madrid**, un téléphérique permet d'accéder à un parc urbain également marqué par un relief accentué.

■ Emprise au sol

Le transport par câble aérien est caractérisé par une emprise au sol limitée à l'espace occupé par les stations et les supports (pylônes). Cette particularité en explique deux autres : des contraintes (et des délais) de construction moindres que dans le cas d'un autre transport guidé au sol, et des conditions de démontage a priori plus simples.

La télécabine de **Funchal** sur l'île de Madère (Portugal) exploite ces possibilités dans la partie basse du trajet, en s'insérant dans un tissu bâti dense.

8.2 Les stations

Les stations sont fonctionnellement des structures imposantes : elles abritent non seulement les équipements électromécaniques les plus encombrants des systèmes mais aussi les espaces d'accueil du public, voire d'autres services (locaux commerciaux par exemple). La qualité de leur traitement architectural conditionne fortement leur insertion dans un milieu par nature.

■ Nombre de stations

La majorité des lignes de transport par câble en service comporte uniquement deux stations d'extrémité. Les installations à vocation de transport collectif urbain, mises en service dans les métropoles sud-américaines au cours de la décennie passée, intègrent deux, trois ou quatre stations intermédiaires, pour créer des points d'échange et parfois un changement de direction.

Le coût relatif d'une station par rapport au coût des autres éléments du système est élevé ; par ailleurs, chaque passage en station, y compris purement technique (sans échanges de voyageurs) réduit significativement la vitesse commerciale. Une conception du système privilégiant une localisation des changements de direction dans des points également favorables aux échanges de voyageurs est recommandée dans la mesure du possible.

Il résulte également d'un tel constat qu'une demande de transport nécessitant de nombreuses connexions altère la pertinence des systèmes de transport par câble, au regard des alternatives possibles.

■ Distance et localisation des stations

La distance entre deux stations des systèmes de transport par câble en service en milieu urbain varie de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres (avec stations intermédiaires). Elle est essentiellement liée au coût global, aux performances attendues du système mis en place et aux possibilités de localisation des dessertes de voyageurs.

La distance entre les deux stations du téléphérique d'**Istanbul** en Turquie est de 382 m. Il n'y a pas de station intermédiaire.

La télécabine de **Maokong** à Taïwan est longue de 4100 m, avec deux stations intermédiaires, techniques, présentant la particularité de faire circuler les cabines en station à 2 m/s (au lieu de 0,7 m/s dans la grande majorité des cas).

Dans les cas où le transport par câble assure une fonction de rabattement sur le réseau de transport collectif existant, son efficacité est conditionnée par l'attention portée aux aménagements de la station spécifiques aux questions d'intermodalité dès la conception (longueur, qualité des cheminements...).

Les télécabines de **Medellin** sont intégrées au réseau de transports urbains de l'agglomération. Les stations d'extrémité basses des lignes K et L sont aménagées directement au-dessus d'une station de métro.

L'installation mise en service en 2011 à **Rio** aboutit à l'une des gares du réseau ferroviaire desservant l'agglomération brésilienne.

À **Caracas**, la première télécabine mise en service est reliée à une extrémité à une station de métro.

■ Niveau d'embarquement

Le niveau d'embarquement et de débarquement des usagers, au sol ou en hauteur, dépend notamment :

- des emprises disponibles ;
- des contraintes géographiques et d'usage (riverains, routes...) ;
- des fonctions connexes des stations, comme une connexion à assurer avec un autre mode de transport ou la présence d'activités complémentaires commerciales ou autres ;
- des coûts d'investissement et d'exploitation.

Si l'accès aux véhicules se fait au sol, ce qui peut paraître avantageux en termes d'intermodalité, il est nécessaire de protéger les véhicules des conflits d'usage possibles (circulations piétonne, routière...).

Ainsi, la zone de circulation des véhicules sous le gabarit routier doit être neutralisée, ce qui augmente l'emprise de la station. En outre, il faut dans ce cas également prévoir des pylônes de compression en entrée de station, induisant potentiellement des gênes visuelles et sonores.

Si l'accès aux stations se fait en hauteur, des équipements supplémentaires doivent être prévus : escaliers, ascenseurs, rampes, ce qui induit des coûts d'investissement et d'exploitation supplémentaires mais aussi des temps d'accès aux véhicules pour les usagers plus longs que si l'embarquement se fait au sol. Dans ce cas, les véhicules n'entrent pas en conflit avec d'autres circulations si les cabines sont maintenues au-dessus du gabarit routier. L'emprise au sol est donc réduite.

Dans tous les cas, les stations doivent être équipées de dispositifs de sécurisation pendant les heures d'interruption du service, en particulier afin d'interdire l'accès aux quais. Ces dispositifs sont plus aisés à mettre en œuvre dans les stations situées en hauteur, qui sont de fait à privilégier.

■ Arrêts en station

Voir partie 3 chapitre 3.

■ Emprises des stations

Les caractéristiques des équipements électromécaniques des systèmes à câble imposent les dimensions minimales suivantes (hors aire de stockage des cabines) :

- station d'extrémité : longueur minimale de 25 à 30 m et largeur de 10 m ;
- station intermédiaire : longueur minimale de 50 à 60 m et largeur de 10 m.

Pour mémoire, une station de tramway classique (longueur 33 m) nécessite une emprise de 40 m de longueur et 10 à 12 m de largeur.

Les stations des installations urbaines sud-américaines présentent une emprise au sol supérieure à ces dimensions minimales (40 m de long pour 25 m de large, par exemple à **Medellín**) justifiée par un choix architectural répondant à un projet urbain particulier.

À **Bolzano**, les contraintes d'insertion ont fortement pesé sur la conception de la station basse, insérée en milieu urbain dense. Cette station est trop courte pour permettre une décélération puis un arrêt d'une cabine circulant à la vitesse maximale en ligne du câble tracteur. Le câble tracteur est donc ralenti de 7 m/s à 3 m/s dès qu'une cabine approche de la station basse.

La définition de la dimension du quai d'embarquement doit prendre en compte la capacité maximale souhaitée pour l'installation et donc la fréquence d'arrivée des cabines, le temps de passage en station, en particulier en cas d'arrêt, déterminant la quantité maximale de cabines à stocker.

Enfin, les options prises pour le remisage et l'entretien des cabines (stockage sur les quais des différentes stations, si celui-ci est possible, en sous-sol ou dans un bâtiment annexe spécifique) se répercutent aussi sur les caractéristiques des stations.

■ Architecture

Les stations des transports par câble mises en service en milieu urbain ont souvent été traitées de façon plus élaborée que celles dédiées uniquement aux loisirs. Une telle démarche s'impose non seulement en raison d'une problématique d'insertion visuelle de la station plus forte en ville, mais aussi des impératifs de qualité de service dans les transports publics urbains : confort des stations (esthétique, ambiance thermique, acoustique), accueil et sécurité des voyageurs (information, zones d'attente, services hébergés, mesures de protection avant l'accès aux cabines) relèvent bien d'une approche architecturale globale.



Station aval de la télécabine de Bolzano – Crédit photo : Leitner



Station du téléphérique de Roosevelt Island à New York – Crédit photo : CETE de Lyon

8.3 Les pylônes

Il existe trois types de pylônes :

- les pylônes « support » ont pour fonction de maintenir le profil en long du câble à une hauteur suffisante au-dessus du sol, en termes de sécurité ;
- les pylônes « compression » permettent de conserver une tension du câble suffisante et de rabattre son profil en long pour éviter des hauteurs de survol trop importantes. Ils sont généralement positionnés dans les zones à forte rupture de pente (« creux ») et en entrée de station basse ;
- les pylônes « support-compression » sont utilisés lorsque les variations de comportement du câble (résultant des différentes configurations de chargement, de tension lors du fonctionnement de l'installation) nécessitent ponctuellement les deux fonctions.

Les pylônes « compression » et surtout « support-compression » génèrent plus de vibrations : cet aspect, lié à celui du confort des voyageurs, doit être également évalué lors de la conception.

À **Grenoble**, la hauteur de pylône du « téléphérique » de la Bastille est de 23 m.

À **Annaba** en Algérie, quelques pylônes sont implantés dans un cimetière.

Sur la côte est du Vietnam, une télécabine de quarante-sept cabines de huit places chacune relie la ville de **Nha-Trang** à l'île de Hon-Tre. Neuf pylônes ont été nécessaires pour couvrir la distance de 3 km. Les six pylônes positionnés en mer sont fixés à des plateformes offshore profondes de 60 m et atteignent jusqu'à 70 m de hauteur pour laisser passer les cargos. La portée entre pylônes est de 450 m environ.

■ Implantation

Les pylônes ont une emprise au sol faible. Celle-ci est de l'ordre de 1 m de diamètre au sol pour un pylône « classique » d'une hauteur de 30 à 40 m. Pour d'autres types de pylônes, pylônes « treillis » ou nécessitant des massifs de fondation importants, l'emprise au sol peut être plus conséquente.

L'implantation des pylônes est en partie imposée par le type de système de transport retenu et les caractéristiques liées à la charge transportée (voir paragraphe suivant sur les portées entre les pylônes). Le concepteur dispose cependant d'une marge de manœuvre importante qui lui permet de varier leur espacement pour bénéficier des emplacements les plus favorables (au milieu d'une avenue, dans un parc ou un espace public...).

Les interventions pour maintenance et de sécurité requièrent la mise en place de moyens d'accès rapides aux têtes de pylônes. Lorsqu'il s'agit d'échelles, elles doivent aussi être pourvues de dispositifs de prévention des intrusions suffisamment dissuasifs. Des dispositions complémentaires peuvent être nécessaires pour protéger les pieds de pylônes des chocs éventuels.

■ Portée

La portée maximale est liée au système de transport par câble mis en œuvre.

La distance entre deux pylônes est souvent de l'ordre de 150 m pour une installation monocâble, mais peut atteindre 600 m, voire plus dans certaines situations particulières.

Elle peut atteindre jusqu'à 3 000 m, voire davantage, pour une installation tricâble ou un téléphérique.

Deux caractéristiques expliquent pour l'essentiel cet écart : des câbles porteurs fixes pour les installations multicâbles, pouvant être dimensionnés pour supporter des charges plus importantes, et une meilleure stabilité des véhicules dans le cas d'installations multicâbles (à conditions de vent identiques, pour une même portée, les conditions de confort sont meilleures pour une installation bicâble, et davantage encore pour une installation tricâble ou double monocâble).

■ Design

La quasi-totalité des installations en service dans le monde a été réalisée avec des pylônes de conception standardisée, pylônes métalliques cylindriques ou coniques, ou structures en treillis, pour des raisons économiques évidentes.

Ce type d'infrastructure ne répond pas toujours de manière satisfaisante aux exigences des maîtres d'ouvrage, particulièrement dans les secteurs urbanisés, très sensibles à l'impact visuel de ces équipements. Des efforts sont entrepris à l'occasion d'opérations en site contraint, en jouant sur la couleur des pylônes (il existe d'ailleurs des revêtements colorés antigraffiti), et plus rarement sur des conceptions architecturales originales. L'intervention d'architectes dans la conception des pylônes conduit à des coûts d'infrastructure très supérieurs à ceux d'équipements plus conventionnels.

En montagne, l'insertion paysagère des installations conduit parfois à peindre les pylônes. À **Megève**, les pylônes sont peints en vert. À **Val-Thorens**, les pylônes sont peints en blanc, couleur plus adaptée à un environnement peu végétalisé.

À **Rio**, la décoration de certains pylônes a été confiée à des artistes, qui les ont transformés en véritables totems multicolores.

Le téléphérique de Roosevelt Island à **New York** est construit avec des pylônes en treillis. Seules les têtes des pylônes ont été modifiées lors de la rénovation de l'installation en 2010.



Pylône du téléphérique de New York – Crédit photo : CETE de Lyon



Pylônes des télécabines de Medellín – Crédit photo : Pomagalski

La complexité technique qui accompagne la conception d'un support de système à câble aérien explique le surcoût associé à la mise au point d'un nouveau modèle : la résistance des structures aux efforts, la transmission de ces efforts aux fondations impliquent l'étude de nombreux scénarios pour ces installations (configurations de charge variables, compte tenu du déplacement des véhicules sur le câble, de toutes les possibilités liées au nombre de passagers transportés, mais aussi aux différentes conditions météorologiques, notamment de vent). De ce point de vue, les pylônes de type cylindrique constituent une solution optimisant la simplicité de réalisation et les performances en matière de tenue au vent.

Le pylône du téléphérique de Portland a ainsi fait l'objet d'un important travail de design, offrant une esthétique réellement innovante, dont certaines dimensions imposantes résultent en partie de la reprise des efforts (en particulier de la prise au vent de l'ouvrage).

La géométrie des pylônes est également limitée par les contraintes liées à l'inclinaison et aux oscillations des cabines (cf. partie 2 chapitre 2 sur la réglementation relative à l'espace enveloppe autour des véhicules).

À Londres, dans le cadre des jeux Olympiques de 2012, un travail particulier a été réalisé sur le design des pylônes de l'installation destinée à relier les rives de la Tamise. En forme d'hélice, particulièrement allégés dans leur volume par rapport aux pylônes implantés dans les zones de montagne, ils ont été clairement dessinés pour améliorer à la fois leur insertion et leur acceptabilité sociale.



Pylône du transport par câble de Londres –
Crédit photo : Transport for London

Une bonne acceptation des systèmes à câble aérien est de toute évidence liée en partie à l'esthétique des pylônes, éléments visuels les plus présents de ces installations, mais les démarches architecturales innovantes en la matière ont une incidence forte sur le dimensionnement et le coût global du système.

8.4 Le survol des bâtiments et des parcelles privées

La réglementation relative au droit de propriété, applicable à la réalisation d'équipements d'intérêt public, est de nature à peser sur le déroulement de projets de transport par câble aérien en milieu urbain.

Aujourd'hui, la portée exacte de ces contraintes est sans doute encore estompée par l'absence de référence concrète suffisamment récente en matière d'installation à câble en zone urbaine, ainsi que par les spécificités de la situation française : le Code du tourisme instaure en effet un dispositif particulier en zone de montagne (un classement d'une commune en zone de montagne relève d'un arrêté). Dans son chapitre traitant de la montagne, il comprend plusieurs dispositions relatives à une servitude destinée notamment à permettre « le survol des terrains où doivent être implantées des remontées mécaniques, l'implantation des supports de lignes dont l'emprise au sol est inférieure à quatre mètres carrés, le passage des pistes de montée, les accès nécessaires à l'implantation, l'entretien et la protection des pistes et des installations de remontée mécanique. »

Cela signifie que la construction d'une nouvelle installation de transport par câble ne nécessite dans ce cas ni déclaration d'utilité spécifique ni procédure d'expropriation préalable (même si elle ouvre droit à indemnité, le cas échéant). Ce cadre favorable, qui a permis la réalisation en nombre important d'installations de transport par câble en France, n'existe pas hors zone de montagne.

Une loi de 1941 toujours en vigueur³⁰ établit, certes, une servitude de survol au profit des téléphériques. Mais elle ne l'autorise que dans le cas de propriétés

30 Loi du 8 juillet 1941 établissant une servitude de survol au profit des téléphériques, consolidée au 27 août 1941.

non bâties, survolées par une installation à plus de 50 m du sol. De telles conditions d'application sont donc restrictives pour les installations auxquelles s'intéresse le présent document.

En dehors du cas de figure précédent, seules une servitude conventionnelle (supposant l'accord de tous les propriétaires des fonds grevés) ou l'expropriation sont possibles.

D'autres mesures réglementaires, liées aux risques d'incendie, encadrent les conditions de survol des bâtiments (voir partie 2 chapitre 2). Les valeurs réglementaires définies notamment pour les hauteurs de survol ont été déterminées avant tout pour des projets en montagne où les contraintes d'urbanisation sont a priori moins fortes ; une évolution des règles d'insertion et de survol, adaptée à l'insertion en milieu urbain ne peut être envisagée qu'à partir d'un retour d'expérience suffisant.

Le constructeur adopte généralement une marge de sécurité supplémentaire sur la hauteur de survol réglementaire pour anticiper les effets dynamiques liés au mouvement des câbles et aux déplacements des véhicules sur les câbles.

Ces mesures réglementaires appellent quelques commentaires :

- les cabines peuvent s'approcher davantage des bâtiments si des dispositifs efficaces de protection contre l'incendie sont prévus. De tels dispositifs présentent des coûts non évalués dans ce document ;
- dans la traversée d'un parc arboré ou d'une forêt, il faut défricher une zone s'étendant de 1,5 à 2 m de part et d'autre de l'installation. Si cela est interdit ou impossible pour des raisons pratiques ou réglementaires (zone classée), l'installation doit survoler la zone à 30 m au-dessus de la cime des arbres ;
- en milieu urbain, les zones industrielles « à risque » et les couloirs aériens peuvent aussi nécessiter une adaptation du tracé ou du profil en long d'une installation ;
- le passage à proximité des lignes électriques est envisageable en respectant certaines dispositions constructives (par exemple, nappe de câbles protégeant l'installation contre les risques liés aux courants induits ou aux chutes de câbles).

À RETENIR : PRINCIPALES CONTRAINTES TECHNIQUES D'INSERTION DES TRANSPORTS PAR CÂBLE EN MILIEU URBAIN ET PÉRIURBAIN.

- Un tracé constitué de sections droites, chaque changement de direction nécessitant l'aménagement d'une station intermédiaire.
- Des installations en service de longueurs de quelques kilomètres en général : un constat à relier à des considérations économiques et fonctionnelles, davantage que techniques.
- Peu de stations intermédiaires, généralement deux, trois dans les installations existantes.
- Une réglementation technique induisant des contraintes d'insertion, notamment vis-à-vis des bâtiments riverains.
- Des conditions de survol du bâti en milieu urbain réglementées strictement par la loi.

9 Les impacts sur l'environnement et le milieu urbain

9.1 Les impacts sonores

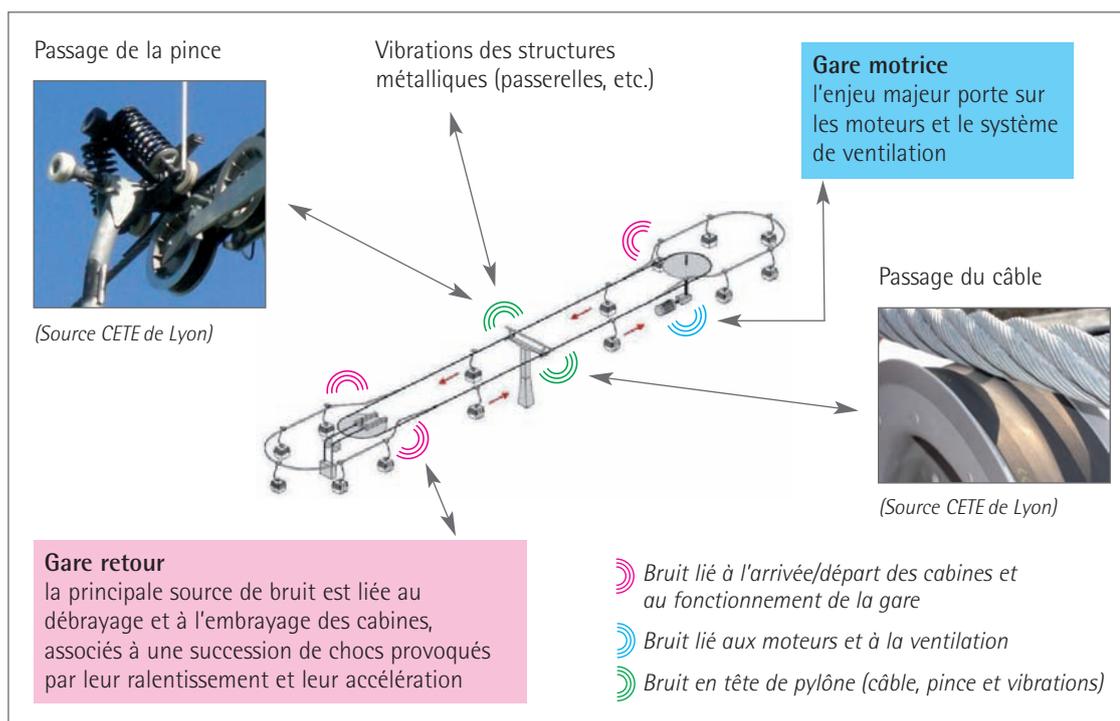
Les installations françaises de transport par câble étant principalement situées en montagne, l'enjeu en termes de nuisances sonores est généralement faible, même si le confort acoustique des usagers est de plus en plus fréquemment pris en compte.

Dans le cas d'une implantation en milieu urbain, la densité de population exposée et la coexistence d'autres sources de bruit replacent les nuisances sonores au centre des problématiques d'intégration. C'est ce qui a pu être constaté à l'étranger, dans des villes comme Medellín en Colombie ou Bolzano en Italie, où la question du bruit généré par une nouvelle infrastructure de transport s'est posée. Elle a révélé des lacunes dans la connaissance des phénomènes physiques en jeu et des technologies de réduction du bruit, en comparaison avec d'autres modes de transports terrestres pour lesquels il existe aujourd'hui des méthodes de prévision du bruit et une réglementation fournie.

Description des sources de bruit

Les sources de bruit dans un système de transport par câble sont d'une nature différente de celles des transports terrestres tels que la route ou le fer. En effet, le bruit émis par le déplacement des cabines « en ligne » est négligeable et les principales sources de bruit sont localisées au niveau de la tête des pylônes et des stations.

En tête de pylône, le bruit est généré par une succession de chocs au passage du câble et de la pince de la cabine sur les galets. En station, le bruit provient également des chocs provoqués par le passage du câble et des cabines, amplifiés par le ralentissement et l'accélération des cabines, auxquels s'ajoute le bruit des moteurs et du système de ventilation.



Impact acoustique

Les résultats décrits dans ce paragraphe sont issus d'une campagne de mesures visant à caractériser l'impact acoustique d'une télécabine monocâble débrayable. Les autres technologies (bicâbles, tricâbles) n'ont pas encore fait l'objet d'études acoustiques détaillées par les services du ministère.

Autour des pylônes

D'un point de vue spectral, on constate une énergie importante dans la bande 500 – 3 kHz dans la zone de perception maximale de l'homme, ainsi qu'un pic très basse fréquence (autour de 100 Hz). Ces fréquences sont en partie atténuées par l'oreille humaine mais on ne peut pas encore conclure quant au ressenti des riverains.

Les pylônes ne génèrent pas tous le même niveau de bruit. Les pylônes « compression » et « support-compression » sont plus bruyants que les pylônes « support » : de l'ordre de 10 dB(A)³¹ en plus. Par exemple, le niveau sonore est supérieur à 50 dB(A) dans un rayon de 15 m autour d'un pylône support, contre 40 m autour d'un pylône support-compression. À titre indicatif, à 10 m d'une voie de tramway le niveau sonore global atteint 65 à 75 dB(A)³². Une étude comparative plus détaillée reste à mener.

À chaque passage de cabine, le niveau global de bruit s'élève de 5 à 10 dB(A) selon les cabines. L'énergie acoustique émise en tête de pylône est liée aux chocs de la pince sur les galets. Il arrive que la pince ne choque pas l'ensemble des galets, ce qui réduit l'émergence sonore. Cette succession d'événements brefs et bruyants constitue une source potentielle de gêne.

La charge ne semble pas avoir d'influence sur le niveau de bruit émis. La vitesse d'exploitation est un paramètre influent : le niveau de bruit ambiant mesuré est inférieur de 3 dB(A) en moyenne quand la vitesse passe de 6 m/s à 5 m/s, ce qui correspond à une baisse perceptible par l'oreille humaine.

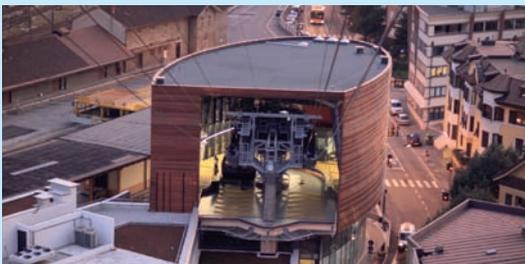
Autour des stations

Dans les stations, l'enjeu porte sur le bruit de machinerie et le bruit émis lors du ralentissement et de l'accélération des cabines.

À moins de 10 m autour d'une station « ouverte », le niveau sonore global est compris entre 60 et 65 dB(A) du côté de la zone d'embarquement, et entre 67 et 72 dB(A) du côté départ/arrivée des cabines. Ces niveaux sont probablement supérieurs à ceux d'une station en milieu urbain. Ils permettent cependant de mettre en évidence l'importance de la qualité du traitement acoustique de cette dernière.

STATION FERMÉE OU OUVERTE

Une station de montagne est généralement « ouverte », ce qui permet à l'énergie sonore de se propager dans toutes les directions. En milieu urbain, les stations sont « fermées », c'est-à-dire confinées dans un bâtiment dont une face (ou deux pour une station intermédiaire) comprend une ouverture suffisamment grande



Station urbaine "fermée" de Bolzano (source Leitner)

pour permettre l'entrée et la sortie des cabines. L'énergie sonore émise à l'extérieur est alors principalement concentrée sur cette face, à condition d'avoir pris des dispositions assurant une bonne isolation acoustique du bâtiment.



Station "ouverte" de Chamrousse (source CETE de Lyon)

Rappelons qu'un bruit supérieur de 10 dB est perçu comme étant deux fois plus fort.

Source : Lionel Segaud, 32
CETE Nord-Picardie,
Directivité verticale de trois tramways français, 2010.

À chaque passage de cabine, le niveau de bruit s'élève de 8 à 10 dB(A) suivant les cabines.

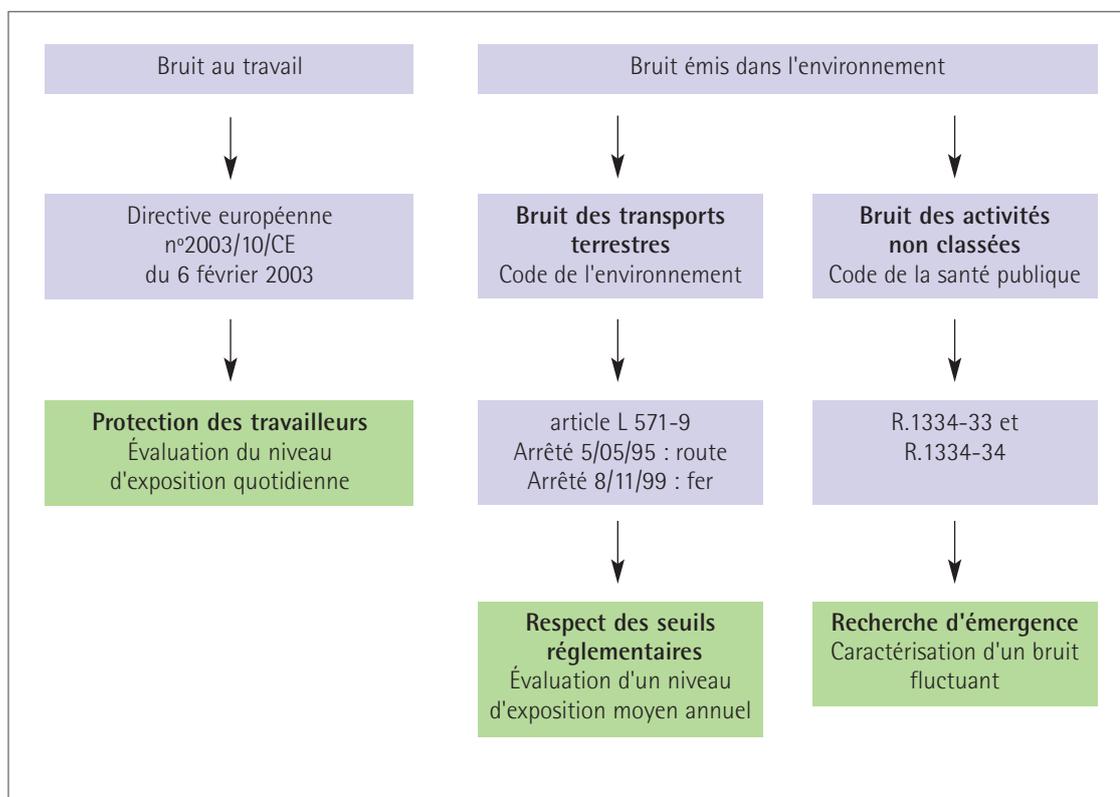
La vitesse d'exploitation est un paramètre influent : le niveau de bruit ambiant mesuré est inférieur de 2 dB(A) quand la vitesse passe de 6 m/s à 5 m/s.

La réglementation

Depuis la loi cadre sur le bruit en 1992, la législation française s'est dotée de nombreux textes en matière de bruit sur le plan national et européen. Pourtant, il n'existe actuellement pas de réglementation « bruit » adaptée au transport par câble. On peut alors envisager de décliner la réglementation sur le bruit au travail, le bruit des transports terrestres et le bruit des activités non classées.

Dans le cadre de la réglementation sur le bruit au travail, la loi fixe des prescriptions minimales en matière de protection des travailleurs contre les risques pour leur santé et leur sécurité résultant ou susceptibles de résulter d'une exposition au bruit, notamment le risque pour l'ouïe.

Les sources principales de bruit émis dans l'environnement incluent le bruit aérien, routier, ferroviaire, industriel, de chantier et de voisinage. Le transport par câble peut être considéré comme une infrastructure de transport terrestre, mais en l'absence d'arrêté définissant les seuils à respecter pour ce type de transport, cette réglementation est difficile à appliquer.



Source CETE de Lyon

Par ailleurs, la réglementation du bruit de voisinage, qui, en l'état actuel, exclut les infrastructures de transports prévoit des valeurs limites d'émergence. Ce type d'indicateur permet de traiter un bruit fluctuant. Les deux approches sont intéressantes et complémentaires. Il ne paraît pas possible aujourd'hui d'en privilégier une au détriment de l'autre.

Dans certaines situations (déroulement d'un chantier, mise en service d'une infrastructure), des mesures complémentaires de limitation des nuisances sonores ont été mises en œuvre. Des conditions relatives au bruit peuvent être fixées par les maîtres d'ouvrage à l'occasion de la rédaction du cahier des clauses techniques particulières (CCTP). L'exploitant et/ou le constructeur sont alors tenus de respecter les niveaux limites consignés dans ces documents. En outre, l'absence de décret applicatif spécifique au transport par câble n'exonère pas le maître d'ouvrage de conduire une étude d'impact acoustique, et n'interdit pas d'envisager des mesures de réduction de cet impact dans le cadre d'une politique purement volontariste.

Plusieurs types de dispositifs peuvent être mis en œuvre :

- des spirales ou balises colorées sont disposées sur certaines sections d'installations de montagne (essentiellement des téléskis et des télésièges), mais uniquement sur des câbles non destinés à la circulation des véhicules (comme la ligne de sécurité destinée à la surveillance technique de l'installation). Elles rendent les câbles plus visibles par les oiseaux. Les dispositifs de visualisation des câbles ont démontré leur efficacité, notamment sur les câbles électriques ;
- des effigies de rapaces peuvent être mises en place en haut des pylônes de manière à effrayer certaines espèces, et les éloigner des lignes ;
- les risques de collision avec les cabines sont moindres, car plus repérables par les oiseaux. Ils peuvent encore être minimisés par la plantation d'arbres à haute tige le long des lignes, ou la mise en place d'effaroucheurs pour inciter les oiseaux à passer au-dessus de l'installation ;
- d'autres dispositifs de visualisation sont expérimentés.

9.2 Les impacts sur l'avifaune

Les câbles aériens, et notamment les câbles de transport par câble, sont des facteurs de mortalité des oiseaux, principalement du fait du risque de collision en vol. Les grands oiseaux sont les principales victimes de ces collisions.

Cette problématique est d'autant plus prégnante lors de la traversée d'espaces naturels sensibles ou de corridors écologiques, comme les cours d'eau. Les risques sont majorés lorsque le câble est de petite taille, ou s'éloigne du sol.

Le cadre réglementaire impose la prise en compte de l'environnement par les maîtres d'ouvrage lors d'un projet d'aménagement aussi important que celui d'une installation de transport, notamment par l'intermédiaire de l'étude d'impact. Bien qu'il ne fixe pas d'objectifs de moyens sur cet aspect, les progrès réalisés en matière de dispositifs de visualisation des câbles aériens, en particulier à travers le retour d'expérience issu des projets de lignes électriques, méritent d'être mentionnés ici.

Dans le cadre d'un programme d'inventaire et de visualisation des câbles aériens dangereux pour les oiseaux sur les domaines skiables mené depuis 2000 par l'Observatoire des Galliformes de Montagne, le parc national de la Vanoise s'est impliqué dans la recherche de dispositifs de visualisation pour les infrastructures dangereuses, notamment pour les télécabines et les téléphériques. Des dispositifs ont été posés, en test, sur une dizaine de télécabines (gainés spiralées rouges, pinces avec plaques réfléchissantes...). La recherche de matériel se poursuit en partenariat avec le STRMTG, les constructeurs de remontées mécaniques ainsi que Domaines Skiables de France.

9.3 L'impact du génie civil sur l'environnement

Pour les systèmes de transport par câble aérien, la part du génie civil en section courante est plus réduite que dans d'autres systèmes de TCSP, puisqu'on s'affranchit complètement des ouvrages d'art et des voies rigides de circulation des véhicules. Les travaux de génie civil sont localisés et limités aux bâtiments accueillant les stations et aux pylônes.

- Les installations monocâbles nécessitent des pylônes plus petits, donc avec des ancrages moins importants, mais plus rapprochés.
- Le volume de béton nécessaire pour une station est fortement dépendant du traitement architectural et des caractéristiques des zones d'embarquement (hauteur du niveau d'embarquement, stockage des véhicules).

9.4 L'impact visuel

L'impact visuel constitue un élément déterminant des débats publics suscités par un projet de transport par câble en milieu urbain. Deux problématiques doivent être distinguées en la matière :

- l'impact lié à la perception visuelle, esthétique, des câbles, des pylônes, des cabines et des stations dans l'espace urbain, par nature très présents, puisque situés en hauteur. La recherche des solutions les plus adaptées aux enjeux identifiés dans ce domaine passe par un travail sur l'architecture des stations, des pylônes ou le design des cabines ;
- le sentiment d'intrusion ressenti par les riverains dont l'espace privé se retrouve dans le champ visuel des usagers du système de transport par câble, ce sentiment étant susceptible d'être associé à une qualité de vie altérée.

Fondée sur une somme d'appréhensions individuelles subjectives, l'ampleur d'un tel impact est difficile à anticiper. Il faut aussi prendre en compte le fait que l'absence, en France, d'installation à câble aérien en service en milieu urbain ne permet pas de rationaliser les préjugés négatifs au moyen d'une référence concrète. Le cas du métro aérien illustre

cette difficulté, auxquels les autres types de TCSP (implantés au niveau de la rue) ne sont pas confrontés : ouvrages d'art (viaducs, stations en hauteur), véhicules circulant en vis-à-vis des étages d'immeubles riverains. Son utilité en termes socio-économiques, quantifiée par des mises en œuvre réelles, est telle que son acceptabilité sociale a été améliorée, malgré son insertion dans des sites très urbanisés.

En outre, les mesures permettant de réduire efficacement l'intrusion visuelle existent, même si elles restent sans doute à explorer davantage (conception et aménagement des véhicules réduisant les champs visuels des passagers, écrans visuels sur les vitres des immeubles riverains...).

À **Issy-les-Moulineaux** (Ile-de-France), un projet de transport à câble aérien a été abandonné devant une réaction massive de riverains ne souhaitant pas voir des « bennes » passer devant leurs fenêtres.

À **Medellín**, le transport par câble a été bien accueilli. Le contexte de ce réel succès du câble, qui dessert des quartiers défavorisés et jusqu'alors dépourvus d'équipements publics, puis transformés par des politiques urbaines volontaristes, a fait que le transport par câble a été au final perçu comme une source de valorisation, voire de pacification de zones marquées par la violence. Les aménagements réalisés ont participé à la baisse sensible de la criminalité, à une création de valeur foncière et au développement de commerces.

9.5 L'impact sur l'aménagement urbain

Les installations de transport par câble, comme d'autres infrastructures de transport, peuvent aussi être un des outils d'une opération de « désenclavement » et d'une politique de revalorisation urbaine (requalification de quartiers, réhabilitation du bâti et des espaces publics).

La réalisation de bâtiments accueillant des stations pourvues de quais d'embarquement et de débarquement

surélevés offrent par exemple, aux étages inférieurs, des surfaces disponibles pour l'implantation d'autres services.

Dans le projet de la télécabine de **Rio de Janeiro** sont également prévus la construction d'écoles, d'un centre civique, de parcs, de résidences, de logements sociaux et d'espaces commerciaux. Les bâtiments abritant les stations disposent de plusieurs niveaux et sont destinés à offrir aux usagers un ensemble de services : centres sociaux, bibliothèque, crèche, dispensaire médical et atelier de formation professionnelle. Les stations deviendront alors, en plus de leur destination première, des lieux de passage, des centres de vie sociale et de rencontres.

La municipalité de **Medellín** a accompagné la réalisation des télécabines de projets d'aménagement urbains et sociaux : création de parcs, d'écoles, de bibliothèques, d'équipements publics et de logements sociaux, réfection des rues...

La station basse de la télécabine tricâble de **Bolzano** dispose aux niveaux inférieurs d'un parking, d'un supermarché et d'un bar-restaurant.

L'amélioration significative de la desserte par un système de transport par câble, vecteur de reconquête urbaine, peut rendre très attractifs le ou les quartiers desservis, et générer une augmentation de la demande de logements, accentuant la pression foncière.

Cette pression foncière est par exemple constatée sur le plateau italien de Suprabolzano, qui dispose d'une liaison par câble performante avec Bolzano, chef-lieu de la province italienne du sud-Tyrol. Il est aujourd'hui très apprécié d'habiter sur le plateau situé à 1000 m d'altitude en disposant d'une possibilité de se rendre facilement à Bolzano quotidiennement, via la télécabine, pour le travail et certains loisirs et services. La création d'un parking relais à proximité de la station de Suprabolzano est par ailleurs programmée.

Comme toute nouvelle infrastructure de transport, la mise en service d'une installation de transport par

câble peut donc générer sur un territoire des effets contrastés (désenclavement, développement, pression foncière ou périurbanisation). Les porteurs de projet devront donc anticiper les évolutions du territoire, en les traduisant dans un projet d'aménagement global, à moyen et long terme.

À RETENIR : LES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT ET LE MILIEU URBAIN.

- Des impacts visuels et acoustiques à identifier et prendre en compte dans la conception.
- Des enjeux forts en matière d'acceptabilité sociale.
- Des impacts socio-économiques contrastés, à anticiper dans le cadre d'un projet urbain global.

Q U A T R I È M E P A R T I E

Intégration et mise en œuvre d'un transport par câble aérien dans le réseau de transport

1 La participation des citoyens et des riverains

■ La concertation en amont des travaux

La concertation avec les habitants constitue une étape essentielle de la mise en œuvre d'un projet de transport par câble. La concertation prévue dans le cadre de l'élaboration des Plans de déplacement urbains doit amener l'autorité organisatrice à identifier les futurs axes TCSP de son réseau. C'est aussi l'occasion de sensibiliser les citoyens sur les différentes technologies envisageables.

Les procédures imposées par la loi sont communes à tous les projets de TCSP de plus de 1,9 M€ H.T. Si le Code de l'urbanisme impose une concertation en amont des travaux, le maître d'ouvrage est libre de l'organiser comme il le souhaite. Les études de faisabilité et d'opportunité étant au cœur du choix du système, il semble opportun de mettre en place une concertation à cette étape du processus.

Le Code de l'environnement et les procédures d'expropriation éventuellement nécessaires imposent la réalisation d'une enquête publique. Cette enquête est l'occasion de présenter les premières études techniques du projet ainsi que les études connexes (réorganisation du réseau de bus...).

Outre ces phases de concertation réglementaires, il est important d'informer et de communiquer régulièrement sur le projet, sa pertinence en terme de stratégie de transport, ses impacts environnementaux et sociaux...

Le retour d'expérience issu des premiers projets de transport par câble aérien en France met en évidence la sensibilité des riverains à l'intrusion visuelle et à l'esthétique d'une installation. Ces préoccupations doivent nécessairement être prises en compte lors des phases de concertation et à travers les outils de communication développés pour la présentation du projet.



*Problématique de l'intrusion visuelle à Bolzano –
Crédit photo : Leitner*

■ Pendant les travaux

Les travaux des TCSP « au sol » engendrent des perturbations importantes de même nature quel que soit le mode : difficultés pour l'accès des riverains et aux commerces, livraisons rendues délicates, cheminements piétons rendus plus complexes, circulation routière perturbée... Ces situations se prolongent pendant plusieurs années : de l'ordre de un à deux ans pour un projet de BHNS, trois ans pour un projet de tramway.

Les travaux d'aménagement d'un transport par câble sont sensiblement moins perturbants. La voirie ne sera impactée que ponctuellement, aux emplacements des pylônes et des stations. La construction des stations et des pylônes peut aussi induire le déplacement des réseaux souterrains (électricité, gaz, eau, téléphone) pour permettre leur entretien ultérieur. Par ailleurs, les délais de construction des bâtiments accueillant les stations, plus ou moins imposants en fonction de leur localisation et de leur utilisation, peuvent être conséquents.

■ Une fois le transport par câble en service

Une autre des spécificités du transport par câble fréquemment mentionnées lors des projets en milieu urbain est l'obstacle que constituent certaines phobies à l'utilisation de ce mode de transport. Deux craintes ressortent principalement : la « peur du vide » et l'angoisse inspirée par la perspective des incidents susceptibles d'immobiliser ces systèmes (techniques ou mauvaises conditions météorologiques).

L'appréhension du vide paraît difficile à réduire lorsqu'elle relève de phobies.

La dégradation des conditions de transport pendant le voyage lors de vent fort peut affecter certains utilisateurs potentiels. La limitation de ces situations d'inconfort (balancement de la cabine, accélérations verticales du véhicule...) fait partie des objectifs de qualité de service, liée également à des choix technologiques dépendant des données locales (météorologiques surtout) et des objectifs d'exploitation poursuivis.



*Surplomb « aérien » à Funchal (Madère - Portugal) –
Crédit photo : IARM*

2 Intermodalité et multimodalité

Pour être efficace, attractif, un système de transport par câble doit être intégré au réseau de transport collectif de l'agglomération. Cet objectif couvre un ensemble de dispositions de conception et d'exploitation : des correspondances avec les autres modes de transport adaptées aux attentes des passagers (rapidité, lisibilité, confort), une tarification intégrée, l'utilisation d'un système billettique unique, l'existence de moyens d'information et de vente des titres unifiés... L'enjeu évoqué ne caractérisant pas les seuls transports par câble, les commentaires qui suivent se limitent aux aspects résultant des spécificités techniques de ces systèmes.

■ Anticiper la réorganisation du réseau

La réorganisation d'un réseau de transport consécutive à la mise en service d'un nouvel équipement doit être étudiée le plus en amont possible.

L'objectif qui doit prévaloir lors de cette réorganisation est d'améliorer sensiblement les conditions de déplacement pour le plus grand nombre d'usagers. Encourager le rabattement à chaque extrémité d'une installation de transport par câble est favorable à sa fréquentation, mais l'impact sur le nombre global de déplacements en transports collectifs peut être limité, en contrepartie, par une multiplication des correspondances.

■ Rendre efficaces les connexions avec les autres modes de transport public

Lorsque le transport par câble est utilisé en rabattement vers un autre mode de transport lourd (train, métro, tramway...), l'interconnexion entre l'installation de transport par câble et les autres modes de transport doit être conçue pour limiter la gêne ressentie par l'usager.

L'organisation des correspondances constitue un enjeu central. Si, globalement, la problématique est similaire à celle rencontrée lors de la mise en service d'une ligne de tramway ou de BHNS, quelques différences méritent d'être soulignées :

- les correspondances d'un transport par câble avec les autres modes de transport circulant « au sol » sont globalement plus complexes. En effet, l'embarquement dans les cabines se fait principalement en hauteur et non au niveau de la rue. Il n'est donc pas possible d'organiser des correspondances « quai à quai » avec un bus ou un tramway. Ces contraintes sont du même ordre que celles rencontrées lors d'une correspondance avec un métro circulant en souterrain ou en viaduc. Elles peuvent néanmoins être considérées comme pénalisantes dans le cas de trajets terminaux assez courts en transport à câble aérien, succédant à des transferts longs ;
- des espaces d'attente abrités, agréables et sûrs doivent être aménagés dans les situations où les voyageurs sont amenés à patienter avant d'accéder à une cabine.

À **Medellín**, les trois lignes du MetroCable sont parfaitement intégrées au réseau de transport urbain. Les lignes J et K sont en connexion directe avec le métro : la station des télécabines est située juste au-dessus des quais du métro.



Correspondances métro-télécabine à San Javier à Medellín –
Crédit photo : Pomagalski



Espace d'attente à l'intérieur de la station de correspondance –
Crédit photo : Pomagalski

À **Bolzano**, la station inférieure de la télécabine du Renon est située à 300 m de la gare ferroviaire. Elle n'a pas pu être installée à proximité immédiate de celle-ci en raison d'une urbanisation trop dense. Cette disposition était pourtant envisagée dans les premières réflexions de l'autorité en charge des transports, la *Struttura Trasporto Alto Adige*, qui cherche aujourd'hui les moyens d'améliorer la liaison piétonne entre les deux sites. La station inférieure de la télécabine est par ailleurs desservie par quatre lignes de bus urbains. La station supérieure est accolée à la gare terminus du chemin de fer du Renon, petite ligne ferroviaire qui relie différentes communes du plateau.



Plan du réseau de transport de Bolzano intégrant la télécabine –
Source SASA SpA-AG : www.sasabz.it

■ Intégrer la tarification, la billettique, la vente des titres et l'information aux voyageurs

La bonne intégration du système de transport par câble dans le réseau de transport d'une agglomération suppose que les modalités d'accès aux moyens de transport et les dispositifs d'information aux voyageurs soient communs à l'ensemble du réseau.

Le même **système tarifaire** doit s'appliquer au transport par câble et aux autres modes de transport collectif de l'agglomération. Le choix d'une tarification « plate » à l'intérieur de la zone desservie

par le transport par câble doit concerner l'ensemble de la gamme tarifaire (titres à l'unité, formules d'abonnement illimité...). De la même façon, les **supports des billets** doivent être identiques (ou au moins interoperables).

La **vente des titres** de transport doit être possible en station, à l'image de ce qui se pratique dans certains systèmes de transport à haut niveau de service. Les bâtiments des stations peuvent se prêter à l'installation d'agences commerciales dans les principales stations. La mise en place de distributeurs automatiques dans toutes les stations paraît indispensable³³.

La vente des titres à bord n'est pas possible en l'absence de personnel d'exploitation dans les cabines, à l'exception des cabines de plus de quarante places. La mise en place de distributeurs automatiques à bord des cabines n'est pas pertinente pour les systèmes équipés de petites cabines, à la fois pour des raisons de poids et d'encombrement et de nombre de cabines à équiper. Par ailleurs, cela complexifie les opérations de contrôle des titres.

Concernant la **lutte contre la fraude**, les installations de transport par câble se prêtent à l'installation de dispositifs de contrôle d'accès de type portillon automatique, à l'instar de ce qui se pratique dans les réseaux de métro. La fermeture des espaces d'attente constitue un autre moyen de lutte contre la fraude en générant peu de contraintes supplémentaires relatives à l'aménagement des stations.

Enfin, les voyageurs doivent disposer de **systèmes d'information** cohérents à l'échelle du réseau, intégrant les installations de transport par câble, portant aussi bien sur les données permanentes (plan, horaires, calcul d'itinéraires...) qu'en temps réel (perturbations, temps d'attente...), et relayés sur les mêmes supports (fiches horaires, site Internet, agences commerciales, renseignements téléphoniques, applications pour Smartphone, services d'alerte par SMS et courriel...).

L'information diffusée doit aussi traiter :

- en station, les éventuels temps d'attente en cas de saturation, les informations circonstancielles en cas de perturbations en cours ou programmées ;
- en cabine, les éventuelles incidences de perturbations affectant le fonctionnement de la ligne (ralentissement, arrêt temporaire...), la durée prévisionnelle de la perturbation et les procédures à suivre.

■ Identifier clairement la ligne de transport par câble

La nature même de l'installation de transport par câble constitue un élément fort d'identification. Mais le niveau de service offert doit également pouvoir être clairement identifié par les usagers, les riverains et les visiteurs à l'aide d'une représentation appropriée dans le réseau de transport collectif urbain.

À titre d'exemple, les lignes du MetroCable de Medellín sont représentées de la même façon que les lignes de métro sur les plans du réseau de transport.

À **Medellín**, les télécabines J et K du MetroCable disposent d'une billettique et d'une tarification intégrée avec le métro. Des portillons permettent de contrôler la validation des titres de transport. La ligne L, à vocation touristique, dispose d'une tarification spécifique.

À **New York**, le téléphérique de Roosevelt Island est accessible avec la carte « MetroCard », qui donne également accès au bus et au métro, au même prix qu'un trajet en métro. Les stations sont équipées de portillons automatiques, identiques à ceux utilisés dans les stations de métro. Le téléphérique n'est toutefois pas clairement indiqué sur les plans du réseau.



Distributeur de la carte « MetroCard » et portillons d'accès en station du téléphérique de New York – Crédit photo : CETE de Lyon

Roosevelt Island Tram Schedule			
Roosevelt Island Departures		Manhattan Departures	
Rush Hours 7 am - 10 am, 3 pm - 8 pm Mon-Fri	Non-Rush Hours All other times Mon-Fri All Day Sat & Sun	Rush Hours 7 am - 10 am, 3 pm - 8 pm Mon-Fri	Non-Rush Hours All other times Mon-Fri All Day Sat & Sun
Every Hour At	Every Hour At	Every Hour At	Every Hour At
:00	:00	:00	
:08		:08	:07
:15	:15	:15	
:23		:23	:22
:30	:30	:30	
:38		:38	:37
:45	:45	:45	
:53		:53	:52

Dispositif d'information aux voyageurs à bord du téléphérique de New York – Crédit photo : CETE de Lyon

L'organisation institutionnelle et contractuelle 3

3.1 Quelle réglementation appliquer ?

Les règles régissant la conception, la sécurité et l'exploitation des transports par câble sont partagées entre :

- le Code du tourisme si l'installation est implantée en zone de montagne ;
- le Code des transports si l'installation constitue un transport guidé implanté hors zone de montagne.

Seul le Code des transports s'applique dans le cas d'installations assurant des services de transport public urbain et périurbain. Il convient notamment de respecter les dispositions du décret n° 2003-425 du 9 mai 2003 relatif à la sécurité des transports publics guidés (dit « décret STPG »).

Ce décret prévoit un régime juridique différent selon que le transport par câble constitue un transport public régulier de personnes ou qu'il assure un transport public à vocation exclusivement touristique, historique ou sportive. **Il appartient à l'Autorité organisatrice des transports de déterminer si elle souhaite que le transport par câble assure ou non un service régulier de transport public de personnes.**

Le champ de ce document reste limité aux systèmes de transport par câble assurant un service de transport public régulier de personnes.

3.2 Les rôles des autres acteurs

La mise en place d'un projet de transport par câble nécessite l'intervention de plusieurs acteurs, outre l'Autorité organisatrice des transports, maître d'ouvrage et donneur d'ordre, acteur principal du projet.

Le rôle du constructeur du transport par câble sera variable suivant le montage contractuel retenu. Suivant les cas, son rôle sera limité à la conception du système et à la fourniture des éléments indispensables au fonctionnement de l'installation (système électromécanique, cabines, pylônes...). Mais il pourra également être amené à participer à la construction, voire à l'exploitation du transport par câble, seul ou en collaboration avec l'exploitant du réseau de transport de l'Autorité organisatrice.

Le projet de transport par câble en milieu urbain ou périurbain nécessite la réalisation d'une étude d'insertion dans le réseau de transport existant et dans l'environnement global de son lieu d'implantation. Ce travail pourra nécessiter des études préalables de conception architecturale et/ou urbaine importantes, dont les choix pourront impacter la conception et l'exploitation du système de transport par câble.

Enfin, un Organisme qualifié agréé (OQA) devra impérativement intervenir afin de réaliser une évaluation globale de la sécurité du système, y compris les risques extérieurs, les contraintes exportées vers l'exploitation et l'évacuation en cas d'incident.

3.3 Comment gérer l'exploitation d'un transport par câble d'un point de vue contractuel ?

Les règles de gestion concernant les transports urbains ou départementaux s'appliquent aux systèmes de transport par câble.

L'Autorité organisatrice va devoir identifier comment va s'intégrer la gestion du transport par câble dans celle du réseau existant. Devra-t-il faire l'objet d'une exploitation séparée de celle du réseau de transport en place ou non ? Devra-t-il être géré par le même exploitant ou non ? Devra-t-il être exploité par le constructeur ?

Pour définir la gestion de l'exploitation, l'Autorité organisatrice des transports compétente va devoir identifier non seulement ses objectifs en matière d'exploitation et de prise de risque financier, sur les recettes, sur les charges d'exploitation et sur l'investissement, mais aussi le rôle qu'elle souhaite tenir en matière de réalisation de l'investissement et en matière d'emprunt.

■ Modes de gestion de l'exploitation dissociée de la construction

Ce mode de gestion est le plus fréquemment rencontré. L'Autorité organisatrice des transports (AOT) réalise l'investissement dédié à la construction du système de transport et choisit ensuite le mode d'exploitation du service. Elle peut faire le choix d'une gestion directe ou lancer un appel d'offres afin de choisir un exploitant qui pourra, selon les résultats de la consultation, être l'exploitant du réseau initial ou un autre exploitant.

Dans le premier cas, l'exploitation en gestion directe par la collectivité peut prendre la forme d'une gestion en régie locale, constituée en vue de cette seule exploitation ou préexistante, dont l'objet aura été étendu au transport par câble, par un établissement public industriel et commercial ou par une société publique locale.

Dans le second cas, la gestion déléguée intervient au terme d'une procédure de mise en concurrence. Selon les objectifs poursuivis par l'AOT, notamment en termes de maîtrise de l'exploitation, celle-ci choisira soit de passer un marché public (après appel d'offres), soit de conclure une délégation de service public (après avis d'appel public à la concurrence). L'AOT effectue ensuite le contrôle de l'exploitation selon les termes du contrat.

- En marché public, le prix doit procéder autant que possible d'un partage des risques entre l'acheteur public et le titulaire du marché, avec la préoccupation de protéger ce dernier contre les conséquences des aléas les plus lourds, mais aussi d'une incitation au respect des engagements contractuels et à la réduction des coûts.
- En délégation de service public, la rémunération du délégataire est liée au résultat de l'exploitation du service. Le délégataire assume une part significative du risque d'exploitation. L'affermage est un mode de gestion déléguée d'un service public industriel et commercial, les équipements nécessaires à l'exploitation du service sont remis en gestion au fermier par la collectivité qui en a assuré le financement.

■ Modes de gestion associant construction et gestion de l'exploitation

L'Autorité organisatrice peut souhaiter confier l'investissement à un partenaire privé, que ce soit pour des raisons budgétaires ou pour des raisons techniques. Elle peut choisir entre deux types de contrats :

- la concession ;
 - ou le contrat de partenariat public-privé.
- La concession est une forme de délégation de service public. Le cocontractant est chargé d'exécuter un ouvrage public à ses frais, avec ou sans subvention, et est rémunéré par l'exploitation de l'ouvrage public ou l'exécution du service public avec le droit de percevoir des redevances sur les usagers de l'ouvrage. La collectivité est propriétaire de l'ouvrage dès le départ et la durée de la concession doit en permettre l'amortissement.

- Les contrats de partenariat public-privé sont des contrats administratifs par lesquels, en l'espèce, une collectivité territoriale confie à un tiers, pour une période déterminée en fonction de la durée d'amortissement des investissements ou des modalités de financement retenues, une mission globale relative au financement d'ouvrages ou d'équipements nécessaires au service public, à la construction ou transformation des ouvrages ou équipements, ainsi qu'à leur entretien, leur maintenance, leur exploitation ou leur gestion, et, le cas échéant, à d'autres prestations de services concourant à l'exercice, par la personne publique, de la mission de service public dont elle est chargée.

Le cocontractant de la personne publique assure la maîtrise d'ouvrage des travaux à réaliser. Il peut se voir confier tout ou partie de la conception des ouvrages.

La rémunération du cocontractant fait l'objet d'un paiement par la personne publique pendant toute la durée du contrat. Elle peut être liée à des objectifs de performance assignés au cocontractant.

Concernant les transports par câble, les contrats de partenariats ou concessions pourraient porter soit uniquement sur les stations (comme c'est le cas à Bolzano), soit sur l'ensemble du système (New York).

Sans préjuger des contraintes liées à la construction ou à l'architecture, rien ne s'oppose à l'intégration des stations dans des bâtiments à vocation multiples. Les dispositions contractuelles relatives à l'exploitation des stations devront prendre en compte les particularités inhérentes à ce type d'implantation.

■ Quel lien avec le contrat d'exploitation du réseau de transport existant ?

Si l'AOT souhaite que le transport par câble soit exploité par le même opérateur que celui qui exploite le réseau de transport préexistant.

L'exploitation du transport par câble ne pourra pas être confiée à l'exploitant du réseau existant par voie d'avenant à la convention initiale. Il sera nécessaire d'attendre la fin du contrat en cours.

Une nouvelle procédure de mise en concurrence sera alors lancée pour l'ensemble du réseau de transport en incluant le transport par câble. Suivant certaines situations, à étudier, le contrat en cours peut être dénoncé de façon anticipée sous conditions d'accords entre les partenaires et d'indemnisations.

Si l'AOT souhaite dissocier l'exploitation du système de transport par câble de celle du réseau de transport existant

La contractualisation du transport par câble pourra se faire à tout moment. Toutefois, et souvent pour des raisons d'harmonisation avec d'autres contrats en cours ou futurs, il est intéressant de faire en sorte que la durée du contrat soit envisagée en rapport avec la date d'expiration du contrat en cours.

En transport départemental, le recours à plusieurs exploitants et à une contractualisation par ligne ou par lot est plus habituelle. La coexistence de plusieurs exploitants peut se gérer par conventions, notamment pour bien prendre en compte l'intermodalité.

■ L'exploitation et la maintenance des transports par câble requièrent des compétences spécifiques

L'exploitation du transport par câble demande des compétences spécifiques dont les exploitants de transport urbain ou de transport interurbain ne disposent pas nécessairement aujourd'hui.

L'essence même des contrats spécifiques aux transports à câble est de miser sur une entreprise ou un groupement associant les compétences nécessaires.

Pour ceux portant sur l'ensemble du réseau intégrant le transport par câble, il est important de prendre en compte cette problématique de compétence technique et notamment de la maintenance. Il pourrait y avoir un partenariat spécifique signataire du contrat d'exploitation, de la sous-traitance intégrée au contrat d'exploitation ou un contrat de maintenance spécifique dissocié du contrat d'exploitation.

La sous-traitance ne pourra pas se faire sans accord de l'Autorité organisatrice et sans son concours, et ce sera l'opérateur contractant qui en sera responsable vis-à-vis de l'Autorité organisatrice.

La maintenance ayant des caractères multiples, elle nécessite de la compétence à différents niveaux ou de l'expertise, obligatoires et prévisibles dans le temps ou exceptionnelles. Si hormis la sous-traitance, des contrats d'assistance technique ou d'expertise sont envisagés par l'Autorité organisatrice, la convention pour la gestion d'exploitation devra non seulement y faire référence, mais bien intégrer les obligations qui perturberont la disponibilité du réseau. La continuité du service public devra faire l'objet d'une attention particulière. L'ensemble des partenaires peuvent être signataires d'une même convention traitant des interdépendances.

■ **Gestion contractuelle de l'intermodalité, l'intégration tarifaire, l'image et la qualité du réseau**

Quelle que soit la formule retenue (associant ou non la construction et l'exploitation du transport par câble, intégrant ou non le transport par câble avec l'ensemble du réseau), il est toujours possible de voir apparaître plusieurs exploitants dans un réseau. Il est important que l'ensemble des contrats d'exploitation prennent en compte les impératifs de **l'intermodalité**. Des conventions spécifiques entre partenaires concernés fixeront les objectifs et les règles techniques, juridiques et financières.

Des conventions pourraient être signées entre différentes Autorités organisatrices de transport pour intégrer le transport par câble, notamment dans les projets de centre d'échange. Les contrats d'exploitation y feront référence en tant que de besoin.

L'**image du réseau** et son identification par son unicité (même information, même tarification, même bureau d'accueil, même logo...), notamment en cas de contrats d'exploitation multiples, feront l'objet d'une attention particulière dans chaque

contrat d'exploitation. En matière d'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite mais aussi pour tout le monde, des symboles distinguant les modes seront étudiés.

Comme pour tout contrat de transport public, le respect de l'exploitation et le respect de la **qualité de service** attendue par l'Autorité organisatrice feront l'objet de clauses très précises voire financières (primes, pénalités...) dans les contrats. La sous-traitance éventuelle sera elle aussi soumise à ces obligations.

C I N Q U I È M E P A R T I E

Synthèse et bilan

1 Des systèmes à intégrer dans la réflexion sur le choix du mode

Les agglomérations françaises de toutes tailles s'intéressent de plus en plus aux projets de TCSP. Les contraintes financières de plus en plus fortes invitent à adapter le plus finement possible l'offre à la demande, tout en répondant aux besoins des usagers en matière de qualité de service.

Depuis plusieurs années, des innovations technologiques au niveau des matériels roulants, des infrastructures ou des modalités d'exploitation sont venues élargir la gamme des choix possibles. Le concept de BHNS permet ainsi d'apporter des réponses intermédiaires entre le tramway et le bus classique.

La démarche qui conduit au choix d'un mode de TCSP est complexe. Le choix final résulte d'une procédure itérative d'adéquation entre les objectifs retenus et les contraintes identifiées. Outre la nature même de la desserte à assurer, les principaux critères de choix qui permettent de préférer un système de transport à un autre sont la capacité horaire/demande, l'intégration au réseau existant, les coûts d'investissement et d'exploitation et les contraintes d'insertion (pente, espace viaire disponible...).

■ Tramway, BHNS, transports par câble aérien : quelques critères de choix

Les caractéristiques des systèmes de transport par câble en terme de capacité sont proches de celles des tramways et des BHNS.

Type de système	Capacité horaire maximale
Bus	1600 voy/heure/sens
BHNS (bus articulé)	2400 voy/heure/sens
Translohr STE4	3300 voy/heure/sens
Tramway 33 x 2,40 m	4200 voy/heure/sens
Tramway 43 x 2,65 m	5600 voy/heure/sens
Télécabine monocâble	3200 voy/heure/sens
Télécabine bicâble / tricâble	4000 / 4500 voy/heure/sens
Téléphérique	2000 voy/heure/sens

Capacités et vitesses commerciales des systèmes de TCSP – Sources Certu, CETE de Lyon

La structure des coûts d'investissement des transports par câble n'est pas comparable à celle des autres systèmes de TCSP. En effet, les coûts des transports par câble sont davantage liés au nombre et à la configuration des stations qu'à la longueur de l'installation. Contrairement aux autres systèmes de TCSP comme le BHNS ou le tramway, le coût d'investissement par kilomètre d'infrastructure n'est pas l'indicateur le plus pertinent. Les ratios indiqués dans le tableau ci-dessous, issus de données d'installations à câble de montagne, sont donc à utiliser avec précaution.

Toutefois, dans le cas particulier d'installations de transport par câble de conception « classique » composées d'un tronçon d'une longueur de 1000 à 2000 m, les coûts d'investissement des différents systèmes de transport par câble apparaissent inférieurs à ceux des tramways, et correspondent à la limite haute de ceux des BHNS.

Cependant, la diversité actuelle des systèmes de transports à câble fait partie des éléments pénalisants de leur mise en œuvre. Elle implique la complexité des études amont, la non-standardisation des systèmes proposés, et donc un surcoût certain des coûts d'investissements, voire d'exploitation.

Type de système	Coût d'un véhicule	Investissement par km de ligne (hors matériel roulant)	Durée de vie des matériels	Coût d'exploitation par véh.km
Bus	300 k€ (90 places)	0,1 M€ /km	10 à 15 ans	3 à 4€ /km
BHNS (bus articulé)	0,3 à 0,9 M€ (120 places)	2 à 10 M€ /km	15 à 30 ans	3,5 à 5€ /km
Translohr STE4	2,5 M€ (210 places)	10 à 15 M€ /km	25 à 30 ans	5 à 7€ /km
Tramway 33 x 2,40 m	1,5 à 2,5 M€ (220 places)	13 à 22 M€ /km	30 à 40 ans	6 à 7€ /km
Tramway 43 x 2,65 m	2 à 3 M€ (300 places)	13 à 22 M€ /km	30 à 40 ans	6 à 9€ /km
Télécabine monocâble	30 k€ (8 places)	De l'ordre de 5 à 10 M€ /km*	25 à 30 ans	
Télécabine bi ou tricâble	0,3 M€ (35 places)	De l'ordre de 8 à 15 M€ /km*	25 à 30 ans	
Téléphérique	0,3 à 1 M€ (40 à 200 places)	Entre 8 et 20 M€ /km*	30 à 40 ans	

Tableau comparatif des coûts des systèmes – Sources Certu, CETE de Lyon, DSF, constructeurs

Coûts en € HT 2010

* Les coûts s'entendent pour des installations d'une longueur de 1 à 2 km sans station intermédiaire. Les coûts d'investissement ne prennent pas en compte les surcoûts éventuels liés à l'insertion urbaine, au travail architectural spécifique sur les stations et les pylônes, sur le design des véhicules...

L'insertion des transports par câble doit législativement prendre en compte la réglementation en matière de sécurité ainsi que les contraintes liées à

l'emprise des stations et aux trajets rectilignes entre deux stations. Ces systèmes offrent des perspectives dans les franchissements d'obstacles et de dénivelés.

Type de système	Emprise en alignement droit	Emprise en courbe	Rayon minimal acceptable	Emprise au sol des stations	Pente maximale admissible
Bus	6,5 à 7 m	10 à 12 m	11 à 12 m	12 x 10,5 m (quais en vis-à-vis)	13 % ³⁴
BHNS non guidé (bus articulé)	6,7 à 7,3 m	9 à 11 m	12 m	20 x 11 m (quais en vis-à-vis)	13 %
BHNS guidé (bus articulé)	6,7 à 7,3 m	9 à 11 m	25 m	20 x 11 m (quais en vis-à-vis)	13 %
Translohr STE4	5,4 m	6,7 à 7 m	10,5 m*	40 x 7,5 m (quai central)	13 %
Tramway 33 x 2,40 m	5,6 à 5,8 m	7 à 7,5 m	25 m*	40 x 10 m (quai central) 40 x 11 m (quais latéraux)	6 à 10 % ³⁵
Tramway 43 x 2,65 m	6,1 à 6,3 m	7,5 à 8 m	25 m*	50 x 8,5 m (quai central)	6 à 10 %
Télécabine monocâble	23 à 24 m (y compris distances latérales de sécurité) **	Tracé rectiligne	Tracé rectiligne	25 x 10 m (station d'extrémité) 50 x 10 m (station intermédiaire)	60 % en général > à 100 % avec dispositions constructives
Télécabine bi ou tricâble	24 à 30 m (y compris distances latérales de sécurité) **	Tracé rectiligne	Tracé rectiligne	25 x 10 m (station d'extrémité) 50 x 10 m (station intermédiaire)	60 % en général > à 100 % avec dispositions constructives
Téléphérique	24 à 30 m (y compris distances latérales de sécurité) **	Tracé rectiligne	Tracé rectiligne	25 x 10 m (station d'extrémité)	60 % en général > à 100 % avec dispositions constructives

13 % correspond à la limite de confort des passagers. Des pentes de 15 % peuvent être admises localement.

Tableau comparatif des gabarits et profils de l'infrastructure – Sources Certu, CETE de Lyon

* De préférence > à 30 ou 40 m pour limiter les pertes de vitesse, le bruit et les usures.

**Les valeurs indiquées correspondent à l'espace qui doit être dépourvu d'obstacle à hauteur de passage des cabines.

Selon le taux de motorisation du tramway. **35**

■ Quel système de transport par câble aérien pour quel usage ?

Le domaine des transports par câble regroupe sous une même appellation une grande variété de systèmes, chacun ayant ses caractéristiques propres.

Le choix d'un système de transport par câble ne peut être fait indépendamment de l'environnement urbain ou périurbain dans lequel il va s'insérer. Les relations qui s'établissent entre un système de transport collectif et son environnement sont multiples et interdépendantes. Il n'est donc pas possible de déterminer a priori le type de système de transport par câble avant d'avoir réalisé une analyse fine du contexte, et notamment des conditions d'insertion qui sont déterminantes.

Globalement, les différents paramètres à prendre en compte pourraient être a minima (ordre non hiérarchique) :

- capacité/demande ;
- coûts d'investissement et d'exploitation ;
- insertion urbaine des pylônes et des stations ;
- conditions de survol des bâtiments (en référence à la réglementation) ;
- adaptation du système aux conditions climatiques locales (vitesse du vent par exemple) ;
- adaptation du système aux conditions géographiques (déclivité par exemple) sur l'itinéraire ;
- impacts environnementaux (bruit au niveau des stations, des supports, consommation énergétique notamment) ;
- insertion dans le réseau de transport urbain ;
- conditions de gestion de l'intermodalité ;
- accessibilité des PMR ;
- ...

Type de système	Capacité (voy/h/sens)	Vitesse commerciale	Durée de vie des matériels	Portée maximale	
Télécabine monocâble	3200	18 à 22 km/h	25 à 30 ans	150 à 300 m	
Télécabine bi ou tricâble	4000 / 4500	21 à 24 km/h	25 à 30 ans	1,5 à 3 km	
Téléphérique	2000	18-35 km/h	30 à 40 ans	3 km	
Type de système	Coûts d'investissement (hors matériel roulant)	Coût d'un véhicule	Consommation énergétique	Coût d'exploitation par véh.km	
Télécabine monocâble	De l'ordre de 5 à 10 M€/km*	30 k€ (8 places)	Données non consolidées		
Télécabine bi ou tricâble	De l'ordre de 8 à 15 M€/km*	0,3 M€ (35 places)	Données non consolidées		
Téléphérique	Entre 8 et 20 M€/km*	0,3 à 1 M€ (40 à 200 places)	Données non consolidées		
Type de système	Emprise en alignement droit	Emprise en courbe	Rayon minimal acceptable	Emprise au sol des stations	Pente maximale admissible
Télécabine monocâble	23 à 24 m (y compris distances latérales de sécurité) **	Tracé rectiligne	Tracé rectiligne	25 x 10 m (station d'extrémité) 50 x 10 m (station intermédiaire)	60 % en général > à 100 % avec dispositions constructives
Télécabine bi ou tricâble	24 à 30 m (y compris distances latérales de sécurité) **	Tracé rectiligne	Tracé rectiligne	25 x 10 m (station d'extrémité) 50 x 10 m (station intermédiaire)	60 % en général > à 100 % avec dispositions constructives
Téléphérique	24 à 30 m (y compris distances latérales de sécurité) **	Tracé rectiligne	Tracé rectiligne	25 x 10 m (station d'extrémité)	60 % en général > à 100 % avec dispositions constructives

Comparaison des principales caractéristiques des différents systèmes de transport par câble – Source CETE de Lyon

* Données non consolidées.

** Les valeurs indiquées correspondent à l'espace qui doit être dépourvu d'obstacle à hauteur de passage des cabines.

Coûts en € HT 2010

Des systèmes adaptés à certaines configurations 2

■ Des systèmes particulièrement adaptés aux franchissements

Les différents systèmes de transport par câble aériens sont particulièrement adaptés pour des problématiques de franchissement de coupures et d'obstacles : franchissement d'infrastructures importantes (faisceau ferroviaire, voies autoroutières...), de cours d'eau, de fortes dépressions (vallées, canyons...), de dénivelés...

Ils peuvent éviter la construction d'ouvrages d'art de franchissement (viaduc, tunnel...) coûteux. Lors des franchissements de dénivelés, ils permettent des trajets directs, là où les autres modes de transport³⁶ sont contraints par des pentes maximales admissibles réduites³⁷.

Les installations en service aujourd'hui en milieu urbain ou périurbain ont essentiellement cette fonction de franchissement :

- le téléphérique de New York franchit l'East River et relie l'île de Roosevelt Island à Manhattan. Initialement ce téléphérique était une solution de transport provisoire en attendant la construction de l'extension du métro souterrain ;
- la télécabine de Constantine (Algérie) traverse les gorges de l'Oued Rhummel afin de relier les parties est et ouest au niveau de la ville ;
- la télécabine de Bolzano permet de relier la ville de Bolzano au plateau du Renon et offre aux habitants du plateau une solution de transport attractive (un temps de transport de onze minutes contre vingt-cinq minutes par la route) et sécurisée (l'itinéraire routier est une route de montagne sinueuse) ;
- les télécabines de Medellín desservent, depuis les stations de métro, les quartiers situés sur les collines.

■ Le transport par câble aérien à la place du tramway ou du BHNS ?

Le domaine de pertinence du transport par câble peut parfois recouper ceux du tramway et du bus à haut niveau de service. En particulier, les caractéristiques des systèmes de transport par câble en matière de capacité ou de vitesse commerciale peuvent atteindre, et parfois dépasser, celles des tramways et des BHNS.

Toutefois, à la différence du tramway et des BHNS, les systèmes de transport par câble ne sont pas pertinents pour constituer l'armature d'un réseau de transports urbains d'une agglomération importante.

- En raison du coût et des problématiques d'insertion, le nombre de stations d'un système de transport par câble doit être réduit. Le transport par câble n'est pas le mode le plus pertinent pour assurer une desserte fine des quartiers.
- Pour ces mêmes raisons, la longueur des systèmes de transport par câble est limitée à quelques kilomètres (de l'ordre de trois à cinq) en milieu urbain. Les transports par câble ne sont pas adaptés pour traverser une agglomération sur une dizaine de kilomètres.
- Les contraintes réglementaires qui s'appliquent aux transports par câble, notamment en matière de protection contre les incendies et du droit à la propriété, rendent difficile leur insertion en milieu urbain dense. À moins d'interventions lourdes sur le bâti avoisinant, les possibilités d'implantation d'un transport par câble en centre-ville sont limitées aux rues les plus larges. Par ailleurs, le tracé en ligne droite, impératif entre deux stations, représente une contrainte forte d'insertion.
- La constitution de réseaux de plusieurs lignes de transport par câble interconnectées risque de s'avérer problématique, notamment pour les croisements de lignes et l'insertion des nœuds d'échanges. De fait, ce système peut aisément constituer un maillon d'un réseau secondaire en complément par exemple d'un maillage en bus.

À l'exception des 36
funiculaires, des systèmes
à crémaillère...

Les pentes maximales 37
admissibles sont de l'ordre
de 13 % pour les bus et
trolleybus. Elles sont
généralement limitées à 6 à
8 % voire 10 % pour les
tramways suivant leur
motorisation.

- Outre ces éléments techniques, il est important de prendre en considération l'impact visuel qui peut rendre impopulaire ce type d'installation.

■ Les transports par câble aérien, des outils au service du développement urbain ?

Le développement des agglomérations s'accompagne d'un développement des zones périurbaines qu'il est aujourd'hui difficile de desservir par un réseau de transport collectif performant. Prolonger un métro ou un tramway génère des investissements conséquents, d'autant que ces projets d'extension peuvent nécessiter de franchir des infrastructures de transport (périphériques, voies ferroviaires...) ou des éléments naturels (fleuve, dénivelé, zones inondables...) qui accentuent le coût et la difficulté des projets.

Il est ainsi pertinent de réfléchir à la mise en œuvre de solutions alternatives telles que les systèmes de transport par câble, qui permettent de desservir très rapidement un pôle d'échanges multimodal afin de rabattre des usagers sur le réseau structurant de transport collectif.

Pistes d'actions pour un transport 3 à câble en milieu urbain

■ Des éléments nécessitant un approfondissement

Même si le nombre d'installations de transport par câble aérien en service dans le monde tend à augmenter, leur nombre reste encore limité en milieu urbain et le retour d'expérience encore insuffisant pour déterminer avec précision le domaine de pertinence de ces systèmes.

En particulier, l'absence d'installation récente de transport par câble exploitée suivant un fonctionnement de type « transport urbain » en France ne permet pas l'analyse de certains paramètres comme les coûts, l'organisation de la maintenance ou l'insertion urbaine. Les besoins en recherches et en évaluations sont donc divers. Ils se situent à différents niveaux : technologique, social, organisationnel, financier...

Les **coûts d'investissement** des transports par câble en milieu montagne sont aujourd'hui connus et maîtrisés, il s'agit d'installations classiques répondant surtout à des exigences de transport et de sécurité. Or les installations urbaines de transport par câble existantes (Barcelone, Portland) ou en projet (Londres) montrent que les caractéristiques architecturales ont une influence sensible sur les coûts des projets. La dimension architecturale des stations et des pylônes ainsi que leur insertion urbaine sont aujourd'hui des paramètres difficilement quantifiables et nécessitent un approfondissement complémentaire.

L'organisation de la maintenance des installations de transport par câble revêt une importance stratégique. Garantir un taux de disponibilité élevé du système nécessite :

- des investissements : une redondance des éléments mécaniques principaux et un stock de pièces de roulement afin d'optimiser la maintenance de l'installation. Les premiers retours d'expérience (Medellín, Bolzano) permettront de préciser ces éléments ;

- une planification des opérations d'entretien et de contrôle limitant la durée des interruptions de service.

L'**acceptabilité par les voyageurs d'un fonctionnement en conditions dégradées** est une question sensible. L'application de la réglementation, à l'instar des installations de montagne, implique à court terme des interruptions récurrentes du service et la mise en place récurrente de transport de substitution difficilement acceptables par les usagers.

Les questions relatives à l'exploitation en milieu urbain et à la maintenance continue associée nécessitent une réflexion commune à l'ensemble des acteurs : Autorité organisatrice de transport, exploitant, services de l'État et constructeurs.

Enfin se pose la question très sensible de l'**acceptabilité par les riverains**. Quelques projets hexagonaux n'ont pas abouti du fait d'une opposition marquée de la part de la population, l'impact visuel et l'intrusion visuelle étant des éléments forts d'opposition. À l'étranger, ces éléments ne semblent pas être aussi contraignants. La mise en place d'outils de concertation et de communication spécifiques vis-à-vis des riverains est indispensable avec, en parallèle, un travail de la part des constructeurs et des concepteurs sur l'architecture des installations et l'ergonomie des véhicules.

Ces démarches doivent intégrer les prescriptions quant à l'accessibilité des systèmes aux personnes à mobilité réduite.

■ Quelques pistes pour l'avenir

Aujourd'hui, le transport par câble apparaît comme un mode de transport particulièrement adapté dans les cas de franchissements. Toutefois, les possibilités d'intégration en milieu urbain dense en France semblent limitées, notamment en raison de la réglementation en vigueur.

- Concernant le survol des parcelles privées, la réglementation actuelle conduit soit à l'expropriation, soit à un accord formel avec le ou les propriétaires permettant d'instituer une servitude de survol. Ces dispositions viennent contrecarrer l'un des principaux avantages des systèmes de transport par câble, à savoir de pouvoir s'affranchir – ou presque – des caractéristiques des espaces traversés.
- La réglementation concernant la sécurité incendie est, elle aussi, contraignante. Les dispositions qu'elle prescrit par défaut réservent a priori l'implantation des systèmes de transport par câble aux zones dépourvues de contraintes d'occupation du sol trop fortes de ce point de vue (par exemple, rues larges sans immeubles trop proches). Elle prévoit cependant que si l'absence de danger est prouvée, les distances de sécurité indiquées par défaut peuvent être réduites.
- Enfin, la réglementation concernant la maintenance et les grandes inspections a été établie en fonction du retour d'expérience sur les remontées mécaniques de montagne. Elle paraît exigeante pour les transports par câble en milieu urbain, dont les conditions d'exploitation sont radicalement différentes, notamment du fait de l'absence d'arrêt prolongé d'exploitation. Une adaptation de la réglementation pourrait être établie, basée sur le retour d'expérience d'installations de transport par câble urbaines. Mais il y a d'autres pistes à explorer, parmi lesquelles une politique de maintenance organisée en fonction des contraintes commentées dans ce document (contrôle et entretien en continu de certains constituants, standardisation plus poussée, quitte à surdimensionner certains éléments, choix de conception relatifs à la durée de vie des constituants les plus sollicités).

Ces démarches pourraient déboucher sur la conception de « nouveaux » systèmes de transport par câble, à l'image radicalement différente des installations de montagne.



Annexes

Annexe A - Sigles et acronymes utilisés

AOTU	Autorité Organisatrice des Transports Urbains
APM	Automated People Mover
BHNS	Bus à Haut Niveau de Service
BC	Bureaux de contrôle du STRMTG
CERTU	Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques
CNESTG	Commission Nationale d'Évaluation de la Sécurité des Transports Guidés
DAE	Dossier d'Autorisation des tests et Essais
DAET	Demande d'Autorisation d'Exécution des Travaux
DAME	Demande d'Autorisation de Mise en Exploitation
DDS	Dossier de Définition de Sécurité
DMC	Double monocâble
DPS	Dossier Préliminaire de Sécurité
DS (DSR)	Dossier de Sécurité (Dossier de Sécurité Régularisé)
DSA	Dossier de Sécurité Actualisé
DSF	Domaines Skiabiles de France
DGITM	Direction Générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer
OQA	Organisme Qualifié Agréé
OQA-RM	Organisme Qualifié Agréé Remontées Mécaniques
FIRM	Fichier Informatisé des appareils de Remontées Mécaniques
GART	Groupement des Autorités Responsables des Transports
IARM	International Association of Ropeway Manufacturers
LOTI	Loi d'Orientation des Transports Intérieurs
OITAF	(Organizzazione Internazionale Trasporti a Funne (Organisation Internationale des Transports à Câble)
PIS	Plan d'Intervention et de Sécurité
PMR	Personne à Mobilité Réduite
PTS	Personal Transportation System
PTU	Périmètre de Transport Urbain
RP	Règlement de Police
RM	Remontée Mécanique
RSE	Règlement de Sécurité et d'Exploitation
STPG	Sécurité des Transports Publics Guidés
STRMTG	Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés
TCSP	Transport Collectif en Site Propre
TCU	Transport Collectif Urbain
TPC	Transport Par Câble
TPG	Transports Publics Guidés

Annexe B - Glossaire

Automated People Mover

Système de transport par câble circulant au sol, fonctionnant en mode va-et-vient ou en mode débrayable, entièrement automatisé. Ces systèmes sont assimilables à des petits métros.

Balancier

Élément du pylône assurant la liaison entre le pylône et le câble, par l'intermédiaire de trains de galets.

Bicâble

Système de transport par câble comportant un câble porteur et un câble tracteur.

Câble dormant

Câble ancré à l'une de ses extrémités au moins, et reposant éventuellement sur un ou des supports intermédiaires.

Câble porteur

Câble dormant disposé de façon à n'assurer que la sustentation de véhicules comprenant un chariot roulant sur lui. Les câbles porteurs fonctionnent comme des rails.

Câble porteur tracteur

Câble mobile disposé de façon à transmettre son mouvement aux véhicules qui lui sont attachés, tout en assurant leur sustentation.

Câble tracteur

Câble mobile disposé de façon à transmettre son mouvement aux véhicules qui lui sont attachés, sans assurer leur sustentation.

Chariot

Constituant d'un véhicule de télécabine ou de téléphérique comportant un bâti et des galets, supportant le reste du véhicule et roulant sur le ou les câbles porteurs.

Débrayage

Système permettant de désolidariser le véhicule du câble tracteur dans les stations pour une circulation à faible vitesse et éventuellement un ou plusieurs arrêts, tandis que les véhicules en ligne ne sont pas ralentis.

Double monocâble

Système de transport par câble comportant deux câbles à la fois porteurs et tracteurs.

Électromécanique

Éléments mécaniques et électroniques d'un système de transport par câble, comprenant notamment le ou les moteurs, les câbles, les pylônes et leurs équipements, le système d'embrayage-débrayage, les cabines, les commandes.

Funiculaire

Système de transport par câble circulant au sol sur des rails dont les véhicules, tractés par un câble, effectuent un mouvement de va-et-vient entre les deux stations terminales. Chaque véhicule peut circuler sur sa propre voie ou sur une voie commune aux deux véhicules, qui dans ce cas comporte une section de croisement au milieu du parcours.

Funitel

Système de transport par câble double monocâble pour lequel l'espacement entre les deux câbles est important (plus de 3 m) et la suspente est courte, ce qui offre une bonne stabilité au vent.

Galet

Élément mobile du balancier, assimilable à une roue et généralement assemblé par trains de quatre ou six éléments, sur lequel roule le câble porteur.

Station

Ensemble de bâtiments et de structures comprenant les installations techniques, les éventuelles aires d'embarquement et de débarquement et éventuellement des zones d'accueil et d'abri.

Station technique

Station intermédiaire ne permettant pas la montée ou la descente des passagers, destinée uniquement au changement de direction du système de transport par câble.

Ligne

Partie de l'installation située entre deux stations (comprenant les câbles, les pylônes et les véhicules).

Ligne de sécurité

Câble chargé de transmettre les informations entre les capteurs situés sur les pylônes et le poste de commande.

Monocâble

Système de transport par câble comportant un seul câble à la fois porteur et tracteur. Dans le cas des systèmes double monocâble, on trouve deux câbles à la fois porteurs et tracteurs.

Mouvement bidirectionnel

Système pour lequel le câble tracteur fonctionne alternativement dans un sens puis dans l'autre. Les cabines circulent en aller-retour. Le mouvement est nécessairement discontinu.

Mouvement continu

Système pour lequel le câble tracteur est animé d'une vitesse constante. Les installations à mouvement continu doivent être débrayables afin de permettre l'embarquement des passagers à vitesse réduite, tout en maintenant une vitesse commerciale supérieure.

Mouvement discontinu

Système pour lequel la vitesse du câble tracteur varie suivant la position des véhicules. Le câble ralentit fortement ou s'arrête lorsqu'une cabine arrive en station.

Mouvement unidirectionnel

Système pour lequel le câble tracteur fonctionne toujours dans le même sens. Les cabines circulent en boucle, toujours dans le même sens. Le mouvement peut être continu ou discontinu.

Pince (ou attache)

Élément assurant la liaison entre le véhicule et le câble tracteur. La pince peut être fixe ou débrayable.

Portée

Distance entre deux pylônes.

Potence

Élément supérieur du pylône qui supporte les balanciers.

Potence de décâblage

Élément du pylône surmontant la potence, utilisé pour tirer le câble vers le haut et l'enlever des balanciers.

Poulie de renvoi

Poulie située à l'extrémité opposée à la poulie motrice ou toute poulie qui fait dévier le câble.

Poulie motrice

Poulie qui transmet le mouvement au câble tracteur.

Pulsé

Système animé d'un mouvement unidirectionnel discontinu. Les véhicules peuvent en outre être disposés en trains (groupe de cabines accouplées). Lors de l'entrée en station, c'est alors l'ensemble des véhicules qui ralentit, même ceux qui sont éventuellement en ligne (cas de plus de deux trains de véhicules).

Pylône de compression

Pylône supportant une poulie qui résiste à la poussée ascendante du câble.

Pylône de support

Pylône supportant une poulie qui résiste à la poussée descendante du câble.

Suspente

Constituant d'un véhicule assurant la liaison entre la cabine et le chariot.

Télécabine

Système de transport par câble équipé de plusieurs cabines fermées circulant en mouvement unidirectionnel.

Téléphérique

Système de transport par câble équipé de une ou deux cabines fermées circulant en mouvement bidirectionnel.

Transport par câble

Désigne tout système de transport dans lequel les véhicules sont mus par un câble. Cette appellation regroupe les systèmes circulant au sol (pour lesquels le câble a une fonction de traction exclusivement) et les systèmes aériens (pour lesquels le ou les câbles assurent une fonction de traction et une fonction porteuse).

Tricâble

Système de transport par câble comportant deux câbles porteurs et un câble tracteur.

Va-et-vient

Type de mouvement bidirectionnel où le câble tracteur fonctionne alternativement dans un sens puis dans l'autre et entraîne deux véhicules se déplaçant en sens contraire.

Va-ou-vient

Type de mouvement bidirectionnel où le câble tracteur fonctionne alternativement dans un sens puis dans l'autre et entraîne un seul véhicule.

Véhicule

Constituant d'un système de transport par câble destiné à recevoir et transporter les passagers.

Annexe C - Exemples de systèmes à câbles sur voie rigide

■ Les funiculaires

Les funiculaires offrent une réelle souplesse dans la conception du tracé, acceptant non seulement des contraintes très fortes en profil en long, mais également des sections en courbe, contrairement aux installations à câble aériennes. La dimension des véhicules utilisés est variable et plusieurs véhicules peuvent être accouplés (trains de véhicules). Les funiculaires sont, en outre, les systèmes de transport à câble les plus rapides et permettant les débits les plus élevés. Ils présentent une excellente disponibilité, au vu des résultats d'exploitation observés. On assiste depuis quelques années à un essor des Automated People Mover, en particulier pour des

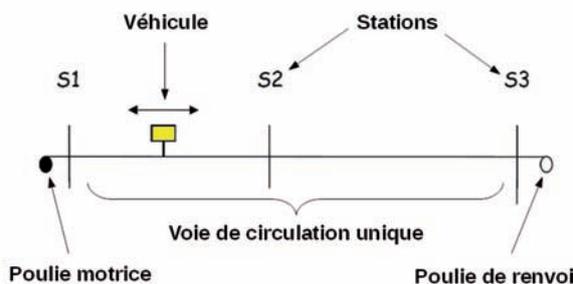
trajets en site propre courts (hectométriques) ou de moyenne longueur (jusqu'à 5 km), à haut niveau de service : ils sont majoritairement utilisés, à ce jour, pour assurer des liaisons sur des terminaux d'aéroports internationaux (Zurich, Mexico, Toronto, Le Caire...) ou la desserte de centres commerciaux importants (Las Vegas), voire comme moyen de transport en commun urbain intra muros (Venise, Pérouse, en Italie). Leur succès trouve une partie de son origine dans la nouvelle offre qu'ils proposent en terme de rapport coût d'investissement/niveau de service.

Ces systèmes peuvent fonctionner selon différents principes technologiques, de complexités très différentes.

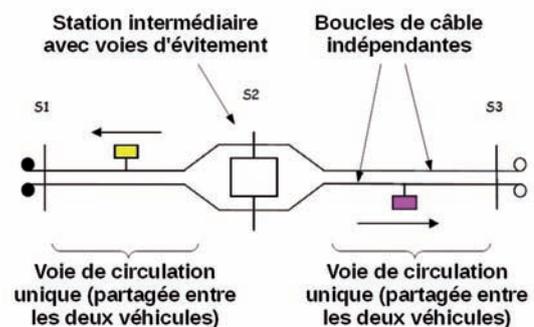
Classification simplifiée des solutions existantes

1) Mode va-et-vient

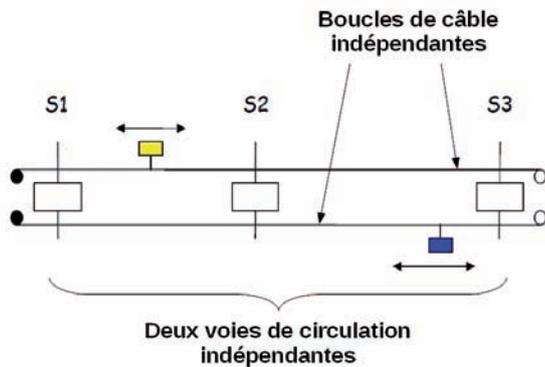
- À voie simple: un seul train sur une voie unique fonctionnant en va-et-vient



- À voie simple avec évitement : deux trains circulant sur la même voie avec un évitement, fonctionnant en va-et-vient. Chaque train a sa propre boucle de câble.

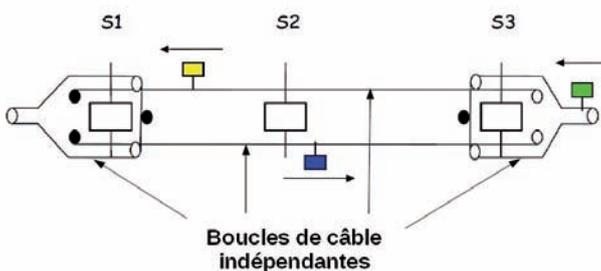


- À double voie : chaque train circule sur sa propre voie, dispose d'une machinerie et d'une boucle de câble indépendantes. Système conçu pour les trajets de plus de 3 km avec plusieurs stations intermédiaires, pourvu d'un très bon niveau de disponibilité grâce aux deux installations complètement indépendantes.



2) Mode « Pinched loop »

Cette configuration permet à plusieurs trains de circuler simultanément sur une trajectoire circulaire, grâce à plusieurs boucles. Chaque train circule sur sa propre voie, mû par une machinerie et une boucle de câble indépendantes. Dans chaque station, chaque train est détaché du câble pour permettre la circulation des autres trains pendant les phases d'arrêt. Le changement de boucle de câble s'effectue à l'arrêt dans les stations pendant les phases d'embarquement et de débarquement. Aux extrémités des voies, des aiguillages permettent à chaque véhicule de changer de voie pour repartir dans l'autre sens.



3) Systèmes à mouvement continu (mode débrayable)

Installations comportant deux voies et une boucle de câble. Les véhicules sont débrayés à chaque station. Aux extrémités des voies, des rails rotatifs permettent à chaque véhicule de changer de voie pour repartir dans l'autre sens.

Caractéristiques des funiculaires

Caractéristiques (observées)	Mode va-et-vient (une ou deux voies)	Mode « pinched loop » (plusieurs boucles)	Mode débrayable (une seule boucle)
Capacité maximale	8000 voyageurs par heure et par sens	5000 voyageurs par heure et par sens	3000 voyageurs par heure et par sens
Capacité maximale des véhicules	400 voyageurs	230 voyageurs	50 voyageurs
Intervalle de temps minimal entre deux véhicules	Variable suivant la distance	Variable suivant la distance	60 secondes
Longueur des tronçons	Jusqu'à 3-4 km	Jusqu'à 5 km	Jusqu'à 3-4 km
Vitesse maximale	46,8 km/h (13 m/s)	46,8 km/h (13 m/s)	30 km/h
Pente maximale	50,00%	12 %	12 %
Rayon de courbure minimal	50 m	50 m	50 m

Exemples

En France, Lyon dispose de deux funiculaires qui permettent d'accéder, depuis le centre historique, au quartier résidentiel de Saint-Just (jusqu'à 10 000 voyages par jour) et à la colline de Fourvière (jusqu'à 4000 voyages par jour). La ville de Grasse conduit la dernière phase d'un projet de funiculaire reliant la gare ferroviaire à la ville haute (distance d'environ 550 m pour 100 m de dénivelé) intégrant un haut niveau de qualité dans l'intégration de l'infrastructure, la conception et l'esthétique des véhicules. La capacité de l'installation est d'environ 900 voyageurs par heure et par sens.

Le funiculaire de Montjuïc à Barcelone affiche un taux de disponibilité de 99,9 % pour les années 2008 et 2009 avec environ 1 700 000 voyages par an. Sa capacité maximale est de 8000 voyageurs par heure et par sens.



Funiculaire d'Innsbruck (Autriche) – Crédit photo : IARM
Longueur de 1830 m, dénivelé de 288 m, vitesse de 10 m/s pour une capacité de 1200 personnes par heure et par sens

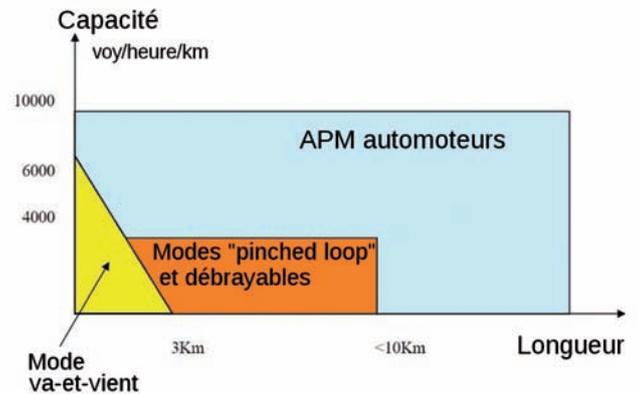
Le MiniMetro débrayable de Pérouse en Italie comporte sept stations pour une longueur totale de 3 km. Sa capacité maximale théorique est de 3065 voyageurs par heure et par sens. Le taux de disponibilité est proche de 99,8 %.



MiniMetro de Pérouse – Crédit photo : Leitner

L'agglomération de Caracas termine la réalisation d'une installation de type « pinched loop » de 2,4 km et comprenant cinq stations, intégrée à son réseau de transport public. Cet équipement disposera d'une capacité maximale théorique de 3000 voyageurs par heure et par sens.

Une approche du domaine d'emploi de ces différents types de systèmes a été élaborée par les constructeurs, sur la base de deux critères, la capacité et la longueur de l'installation. Il est fourni ci-après à titre indicatif, afin d'illustrer d'une manière plus éloquent cet aspect. Comme toute approche de ce type, une application stricte et systématique de cette abaque serait excessive, chaque contexte comportant des particularités non quantifiables.



Source Pomagalski

Remarque : comme pour les systèmes à câble aériens, la capacité est intégrée dans les calculs de dimensionnement à travers une charge maximale.

■ Les ascenseurs inclinés

Les ascenseurs inclinés en service sont des appareils utilisant les principes de fonctionnement de l'ascenseur « vertical » équipant les immeubles. Ils sont utilisés pour les trajets courts, en ligne droite. Les véhicules, généralement de taille modeste (moins de quarante personnes), circulent sur des voies munies de rails. Le fonctionnement est entièrement automatique, sans conducteur. L'accès aux cabines est protégé par les portes palières, comme pour les ascenseurs traditionnels.

En France, les appareils construits avant 1995 sont considérés comme des remontées mécaniques en l'absence de norme les concernant. Depuis 1996 et la parution de la norme NF P82-400 relative aux ascenseurs inclinés, les nouvelles installations ne sont plus considérées comme des remontées mécaniques.

Funiculaires et ascenseurs : quelles différences ?

Plusieurs principes technologiques distinguent ces deux modes de transport, parmi lesquels :

Ascenseur	Funiculaire
Chaîne cinématique	
Nappe de câbles reliée à la cabine et généralement à un contrepoids, entraînée par un tambour « moteur ».	Câble tracteur relié à 1 ou 2 véhicules, entraîné par une poulie motrice.
Adhérence	
L'adhérence de la nappe de câbles sur le tambour est assurée <i>a minima</i> . La perte d'adhérence est acceptée voire demandée en cas notamment de blocage de la cabine.	L'adhérence du câble tracteur sur la poulie motrice est assurée dans tous les cas de charges. La perte d'adhérence est interdite.
Contrôle de la vitesse en ligne	
En cas de survitesse, le dispositif déclenche le frein parachute embarqué sur la cabine qui freine sur un guide indépendant des rails de guidage de la cabine.	La vitesse est mesurée depuis les roues du véhicule et l'automate de sécurité déclenche le frein de voie embarqué sur le véhicule qui agit sur le rail de roulement.
Gestion de l'arrivée en station	
Si la cabine ne s'arrête pas en station (glissement des câbles sur le tambour, défaillance du moteur électrique...), elle est ralentie et arrêtée grâce aux amortisseurs présents dans la fosse.	Si la cabine ne s'arrête pas, la vitesse trop élevée d'entrée en station est détectée par des dispositifs automatiques qui déclenchent un premier frein sécurisé et si nécessaire un deuxième frein qui agit directement sur la poulie motrice. Il n'y a pas d'amortisseur, mais seulement des butoirs qui peuvent être percutés à très petite vitesse.

■ Les ponts transbordeurs

Un pont transbordeur est un pont métallique sur lequel circule un chariot tracté par un câble et auquel est suspendu une nacelle servant de plate-forme.

En France, il n'existe plus qu'un seul pont de ce type en service, en Charente-Maritime (pont de Martrou). En l'absence de réglementation spécifique, il est considéré comme une remontée mécanique au sens de la réglementation française.

Annexe D - Bibliographie

■ Guides techniques

Guide technique RM1 : exploitation et maintenance des téléphériques, STRMTG, 2010.

Guide technique RM2 : conception générale et modifications des téléphériques, STRMTG, 2010.

Guide technique RM52 : exploitation des funiculaires, STRMTG, 2008.

■ Textes réglementaires

Décret n° 2003-425 du 9 mai 2003 relatif à la sécurité des transports publics guidés

Décret n° 2003-426 du 9 mai 2003 relatif à la mise sur le marché des constituants et sous-systèmes assurant la sécurité des remontées mécaniques

Circulaire du 14 août 2003 d'application du décret 2003-426 du 9 mai 2003 relatif à la mise sur le marché des constituants et sous-systèmes assurant la sécurité des remontées mécaniques transposant la directive 2000/9/CE du Parlement européen et du Conseil du 20 mars 2000 relative aux installations à câbles transportant des personnes.

Décret n° 2007-934 du 15 mai 2007 relatif au contrôle technique et de sécurité de l'État portant sur les remontées mécaniques et les tapis roulants mentionnés à l'article L342-17-1 du Code du tourisme.

Arrêté du 9 mai 2008 relatif à la procédure d'agrément des maîtres d'œuvre et des vérificateurs des remontées mécaniques et des tapis roulants mentionnés à l'article L342-17-1 du Code du tourisme.

Arrêté du 7 août 2009 relatif à la conception, à la réalisation, à la modification, à l'exploitation et à la maintenance des téléphériques, modifié par arrêté du 20 mai 2010

Arrêté du 26 juillet 2010 relatif à la déclaration des accidents graves et des événements affectant la sécurité de l'exploitation des remontées mécaniques et des tapis roulants mentionnés à l'article L342-17-1 du Code du tourisme.

■ Sites Internet

- **Site du STRMTG**
www.strmtg.equipement.gouv.fr
- **Site du Certu**
www.certu.fr
- **Site du FIRM**
<http://firm.application.equipement.gouv.fr>
- **Site de l'OITAF**
www.oitaf.org/index_f.htm

Annexe E - Missions du STRMTG

Des informations concernant le Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés sont disponibles sur son site www.strmtg.equipement.gouv.fr.

Le domaine couvert par les « remontées mécaniques » est défini au chapitre 1. relatif à la terminologie. Sont dénommés par ailleurs « transports guidés » tous les appareils de transports publics guidés urbains de personnes (métros, tramways sur fer ou sur pneus et autres systèmes de transports guidés urbains) et les systèmes de transports publics guidés non urbains de personnes à vocation touristique ou historique à l'exception de ceux relevant du réseau ferré national (chemins de fer touristiques ou historiques, draines à pédales et autres systèmes de transports guidés à vocation touristique ou historique). À cette liste, il convient de rajouter deux lignes de service régulier non exploitées par la SNCF : le Chemin de Fer de Provence et le Chemin de Fer de Corse.

Les missions du service sont :

- d'assurer une fonction d'observatoire du parc français des installations de remontées mécaniques et de transports guidés ;
- de concourir à la promotion des techniques relatives à ces installations ;
- de conduire des études, recherches et expertises, d'effectuer la collecte et l'exploitation des statistiques, de produire et de diffuser des documents et référentiels techniques ;
- de délivrer les avis et les attestations prévus par la réglementation, d'instruire les dossiers soumis aux commissions spécialisées et de faire à l'administration centrale toutes propositions relatives à l'évolution de la réglementation ;
- d'exercer une mission d'animation, d'assistance et de conseil auprès des services du ministère, notamment dans le domaine de la sécurité et en organisant les échanges d'expériences avec les autres organismes du réseau scientifique et technique du ministère ;

- d'entretenir les relations avec les organismes scientifiques, techniques ou de contrôle, externes au ministère, ainsi qu'avec les organisations professionnelles ;
- de participer au développement des compétences des personnels du ministère intervenant dans ces secteurs d'activités, en particulier par des formations spécifiques.

Il effectue d'autre part des missions de contrôle technique ou d'instruction de demandes d'autorisation des installations en service ou nouvelles relevant de sa compétence, en application de la réglementation portant sur la sécurité de ces installations. Il s'appuie à cette fin sur son réseau de BC (bureaux de contrôle, répartis sur le territoire).

Parallèlement à ses activités régaliennes et depuis le 14 janvier 2003, le STRMTG assure des missions en tant qu'**organisme notifié**³⁸ pour délivrer des certificats de conformité aux exigences essentielles de la directive européenne 2000/9/CE relative aux installations à câbles transportant des personnes.

Annexe F – Réglementation en zone de montagne

La zone de montagne est définie par l'article 3 de la loi montagne (n° 85-30 du 9 janvier 1985) comme se caractérisant par des handicaps liés à l'altitude, à la pente et/ou au climat, qui ont pour effet de restreindre de façon conséquente les possibilités d'utilisation des terres et d'augmenter de manière générale le coût des travaux. Le classement d'une commune ou d'une partie de commune en zone de montagne résulte d'un arrêté ministériel. Les principaux arrêtés de classement en zone de montagne sont datés du 6 septembre 1985 et du 28 mai 1997.

Le classement en zone de montagne induit des procédures réglementaires spécifiques concernant la réalisation et l'exploitation de remontées mécaniques.

Le maître d'ouvrage doit obtenir deux autorisations : une autorisation d'exécution des travaux (AET) et une autorisation de mise en exploitation (AME).

Ces autorisations sont délivrées par l'autorité compétente en matière de permis de construire, à savoir le maire, après avis conforme du représentant de l'État dans le département au titre de la sécurité et des aménagements de remontée, le préfet.

Par ailleurs, pour la construction ou la modification substantielle d'une remontée mécanique, un maître d'œuvre unique et agréé pour le projet, indépendant du maître d'ouvrage, du ou des constructeurs ainsi que de l'exploitant de l'installation doit être désigné (article R342-4 du Code du tourisme).

La fonction de **maître d'œuvre dans les remontées mécaniques de montagne** correspond à une notion totalement spécifique à ce domaine et doit être distinguée des missions de maîtrise d'œuvre définies dans la loi MOP (relative à la maîtrise d'ouvrage publique), d'acception plus commune. Le maître d'œuvre, qui bénéficie d'un agrément ministériel, assure plusieurs missions qui comprennent au moins : la description et l'organisation du projet ;

- la vérification de l'adaptation du projet au terrain ;
- la vérification de la cohérence générale de la conception du projet ;
- la production du rapport de sécurité ;
- la vérification de la conformité du projet à la réglementation technique et de sécurité ;
- la direction des réunions de chantier et l'établissement de leurs comptes-rendus ;
- la vérification de la conformité de l'installation réalisée au projet adopté ;
- la réception du génie civil, y compris le contrôle des essais réalisés sur site ;
- la direction des essais probatoires de l'installation ;
- l'établissement du dossier de demande d'autorisation de mise en exploitation.

On notera que ces missions relèvent de plusieurs catégories de fonctions habituellement bien séparées dans les marchés publics de maîtrise d'œuvre, comme l'assistance à maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre, l'évaluation de la conformité réglementaire de la sécurité de l'installation, pendant sa réalisation, avant mise en service.

Ce métier « multifonctionnel » de maître d'œuvre dans les remontées mécaniques de montagne est une exception française qui ne peut pas s'appliquer en milieu urbain. En effet, le cadre réglementaire impose dans cette situation que les missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage et de contrôle ne soient pas réalisées par le même organisme.

Le tableau ci-après synthétise les procédures administratives en vigueur en zone de montagne.

Textes applicables	Régime d'autorisation			Régime d'exploitation		
	Procédure	Exigences essentielles	Réglementation technique	Procédure	Exigences essentielles	Réglementation technique
Code du tourisme	DAET (travaux) DAME (mise en exploitation)	Maître d'œuvre unique	Décret n° 2003-426 du 09/05/03	Règlement d'exploitation (RE)	Vérifications périodiques	Arrêté du 07/08/09 (guide RM1)
		Bureau de contrôle technique	Arrêté du 07/08/09 (guide RM2)	Règlement de police (RP)	Avis conforme du préfet sur les modifications RE, RP, PE	Arrêté du 07/08/06 (guide RM3)
		Avis conforme du préfet	Arrêté du 07/08/06 (guide RM3)	Plan d'évacuation (PE)		Guide RM5 (funiculaires)

Synthèse des procédures administratives en vigueur en zone de montagne – Source STRMTG

Annexe G - Cadre européen

■ La directive européenne relative aux installations à câbles transportant des personnes

La directive 2000/9 concerne tous les types d'installations à câbles transportant des personnes, qu'il s'agisse du transport dans les stations touristiques de montagne ou de transport en milieu urbain. Elle ne fait pas de distinction entre montagne et milieu urbain.

C'est une directive « nouvelle approche », technique législative qui consiste à mettre en place un dispositif juridique complet s'appuyant sur des « exigences essentielles » garantissant un haut niveau de sécurité. Ces exigences ne définissent que les objectifs à atteindre mais n'indiquent pas de solutions techniques pour y parvenir.

Ces exigences essentielles sont données dans l'annexe II de la directive ; elles s'appliquent à la conception, la construction et la mise en service, y compris la maintenabilité et l'exploitabilité des installations. Ces exigences sont séparées en six groupes :

- exigences générales, notamment citée en premier, la sécurité des personnes (usagers, travailleurs et tiers) formulée comme une exigence fondamentale pour la conception, la construction et l'exploitation des installations ;
- exigences relatives au génie civil ;
- exigences relatives aux câbles, aux systèmes d'entraînement et de freinage ainsi qu'aux installations mécaniques et électriques ;
- véhicules et dispositifs de remorquage ;
- dispositifs pour les usagers : il est précisé qu'il doit être possible que les enfants et les personnes à mobilité réduite utilisent l'installation en toute sécurité si le transport de ces personnes est prévu sur l'installation ;
- exploitabilité.

■ Les normes harmonisées ou normes européennes, un outil pour satisfaire aux exigences de la directive

Une norme harmonisée au sens de la nouvelle approche est une norme technique européenne qui a suivi une procédure particulière et a été établie en regard d'exigences essentielles d'une directive européenne « nouvelle approche » : elle définit des spécifications techniques adoptées par les organismes européens de normalisation, dans le cadre d'un mandat octroyé par la commission européenne.

Les normes harmonisées constituent un moyen, privilégié par la directive, pour satisfaire aux dispositions de celle-ci : le respect de ces normes démontre la conformité d'une installation aux exigences essentielles, mais elles ne sont pas d'application obligatoire.

Il est en effet également possible de démontrer par d'autres justifications particulières (études de sécurité, autres normes, essais...) que l'installation est conforme aux exigences essentielles. La satisfaction des exigences essentielles contenues dans la directive est la seule obligation imposée aux fabricants.

Deux conditions sont nécessaires pour que les normes harmonisées associées à une directive aient un effet juridique et confèrent la présomption de conformité aux exigences essentielles de sécurité de ladite directive :

- le législateur doit publier leurs références au JOUE (Journal officiel de l'Union européenne) ;
- la norme harmonisée doit être transposée au niveau national telle quelle. Cependant, il n'est pas nécessaire qu'elle soit transposée dans tous les États membres pour que cette condition soit remplie.

Les mesures nationales françaises de transposition communiquées à la Commission sont les suivantes :

- décret n° 2003-426 du 9 mai 2003 relatif à la mise sur le marché des constituants et sous-systèmes assurant la sécurité des remontées mécaniques ;
- ordonnance n° 2004-1198 du 12 novembre 2004 portant diverses dispositions d'adaptation au droit communautaire dans le domaine des installations à câbles transportant des personnes et relatives aux remontées mécaniques en montagne.

■ Le marquage CE, une obligation

Avant la mise sur le marché d'un constituant de sécurité, le fabricant doit apposer le marquage CE, qui atteste de la conformité aux exigences essentielles de la directive. Cette disposition est obligatoire pour les constituants de sécurité visés par la directive et destinés au marché communautaire.

La procédure d'évaluation de conformité est effectuée à la demande du fabricant par un organisme notifié.

L'évaluation de la conformité se subdivise en modules qui se rapportent à la phase de conception des constituants de sécurité (module B), à leur phase de production (modules D et F) ou aux deux (modules H et G). Le constituant devra être soumis aux deux phases avant de pouvoir être mis sur le marché. Le fabricant peut choisir, parmi les quatre procédures complètes possibles (B + D, B + F, H ou G), celle qui lui semble la plus appropriée et la plus économique pour évaluer le constituant en question.

Chaque organisme notifié est désigné par un État membre (le seul organisme notifié français, dans le domaine des installations à câbles, est le STRMTG). Une fois notifié par un État membre, un organisme peut immédiatement exercer ses activités dans l'ensemble du marché intérieur. De la même manière, les fabricants peuvent choisir n'importe quel organisme notifié parmi ceux qui ont été désignés pour appliquer la procédure d'évaluation de la conformité.

Il est indispensable que ces organismes notifiés opèrent avec un niveau avéré de compétence, d'intégrité et de professionnalisme. L'annexe VIII de la directive énumère les critères minimaux auxquels ces organismes doivent satisfaire pour être désignés par un État membre. La Commission européenne publie une liste consolidée des organismes notifiés, régulièrement mise à jour dans le Journal officiel de l'Union européenne. À ce jour, il y a vingt-quatre organismes notifiés.

La directive européenne ne faisant pas de distinction entre la montagne et le milieu urbain, le marquage CE s'impose au fabricant dans les deux situations.

Pour un appareil innovant, le marquage CE, financé par le fabricant, représente environ 10 % du coût de la « tête de série ». Cet investissement financier est répercuté sur le prix de vente. Le développement éventuel de matériels spécifiquement conçus pour un usage en transport urbain, soumis à cette obligation, pourrait donc induire un léger alourdissement des coûts et des délais habituels de conception. Néanmoins, on peut estimer que si une installation en milieu urbain recourt à l'innovation, celle-ci ne concernera certainement pas l'ensemble des constituants de sécurité et des sous-systèmes utilisés et consistera aussi en des évolutions de matériels, voire de sous-systèmes de transport à câbles déjà marqués CE.

Annexe H - Installations analysées dans le cadre de l'étude

Des systèmes de transport par câble actuellement en service en milieu urbain ou péri-urbain sont présentés ci-après. Il s'agit d'installations intégrées au réseau de transport urbain ou d'installations à vocation touristique ou assurant des dessertes spécifiques.

Type d'installation	Installations intégrées au réseau de transport urbain	Installations à vocation touristique ou assurant des dessertes spécifiques
Installations en service	Téléphérique de Roosevelt Island à New York (États-Unis) Téléphérique de Portland (États-Unis) Télécabine du Renon à Bolzano (Italie) Télécabine de Constantine (Algérie) Télécabines MetroCable de Medellín (Colombie)	Télécabine du mont Parnes (Grèce) Télécabine de Montjuic à Barcelone (Espagne) Télécabine de la Bastille à Grenoble (France) Funiculaire de l'aéroport de Zurich (Suisse)
Installations à l'étude ou abandonnées	Projet de funiculaire de Grasse (France) Projet de télécabine La Carronnerie-Campus à Grenoble (France) Projet de téléphérique à Issy-les-Moulineaux (France)	

MetroCable de Medellín

Agglomération	Medellín (Colombie)	Type d'installation	Télécabines monocâble
Présentation	<p>Les télécabines de Medellín sont les premières télécabines urbaines au monde. On compte actuellement 3 lignes en connexion directe avec le métro. Les lignes K et J ont une vocation de transport public, la ligne L a une vocation plus touristique.</p> <p>Ligne K (2004) : 2 km Ligne J (2007) : 2,7 km Ligne L (2010) : 4 km Un appel d'offres a été lancé pour une quatrième ligne</p> <p>AOT : ville de Medellín Opérateur : Metro de Medellín Constructeur : Pomagalski</p>	 <p>MetroCable de Medellín – Crédit photo : Pomagalski</p>	
Quartiers reliés	<p>Ligne K : du quartier Acevedo (connexion avec le métro) au quartier de Santo Domingo Ligne J : du quartier San Javier (connexion avec le métro) à la station Aurora du quartier Nuevo Occidente Ligne L : du quartier de Santo Domingo (connexion avec la ligne J) au parc éco-touristique Arvi</p>	<p>Les télécabines ont permis le développement social et économique des quartiers populaires qu'elles ont désenclavés. Ces quartiers sont désormais reliés rapidement au centre-ville par les lignes K et J. La ligne L donne accès à un parc.</p>	
Caractéristiques techniques	<p>Nombre de stations K : 4 stations / J : 4 stations / L : 2 stations</p>	<p>Tarifification K, J : identique au métro (1550 \$) L : tarif spécifique (2500 \$)</p>	<p>Amplitude de fonctionnement 19 heures par jour 355 jours par an soit 7000 heures de fonctionnement annuel</p>
	<p>Matériel K : 93 cabines 8/10 personnes J : 110 cabines 8/10 personnes L : 27 cabines 8/10 personnes</p>	<p>Vitesse et temps de parcours Vitesse maximale en ligne : K : 5 m/s / J : 5 m/s / L : 6 m/s Temps de trajet : K : 9 min / J : 11 min / L : 14 min</p>	<p>Capacité et fréquentation Capacité : K : 3000 voy/heure/sens / J : 3000 voy/heure/sens / L : 1200 voy/heure/sens Cadencement : K : 11,5 s / J : 12 s / L : 65 s Fréquentation : K : 1 000 000 voy/mois</p>
	<p>Nombre de pylônes K : 20 pylônes / J : 31 pylônes / L : 25 pylônes</p>	<p>Dénivellation K : 400 m / J : 400 m / L : 822 m</p>	<p>Largeur des voies : K : 5,70 m / J : 5,70 m Disponibilité : K : 99,8 %</p>

Roosevelt Island Aerial Tramway

Agglomération	New York (États-Unis)	Type d'installation	Téléphérique va-ou-vient
Présentation	<p>Système de type va-ou-vient d'une longueur de 958 m avec 2 cabines fonctionnant indépendamment l'une de l'autre. Le téléphérique a été mis en service en novembre 2010. Il remplace un téléphérique mis en service en mai 1976, dont la durée de vie initialement de 17 ans a été étendue à plus de 30 ans.</p> <p>AOT : État de New York Opérateur : Roosevelt Island Operator Corp/Poma Constructeur : Pomagalski</p>	 <p>Roosevelt Island Aerial Tramway – Crédit photo : CETE de Lyon</p>	
Quartiers reliés	Liaison de Manhattan (2e Avenue) à Roosevelt Island (entre 59e et 60e Rues) surplombant l'East River parallèlement au Queensboro Bridge	Roosevelt Island est une île d'une superficie de 0,6 km ² au milieu de l'East River. 10 000 personnes y vivent. L'île est desservie par la ligne F du métro, dont le tracé est parallèle à celui du téléphérique.	
Caractéristiques techniques	<p>Nombre de stations 2 stations : Manhattan et Roosevelt Island</p>	<p>Tarifcation Identique à celle du métro</p>	<p>Amplitude de fonctionnement 365 jours/an Amplitude horaire de 6 h à 3 h du matin</p>
	<p>Matériel 2 cabines indépendantes, accessibilité PMR 110 passagers et 1 accompagnateur par cabine</p>	<p>Vitesse et temps de parcours Vitesse d'exploitation : 8 m/s Temps de parcours : 3 min</p>	<p>Capacité et fréquentation Capacité : 1200 voy/heure/sens Fréquence : 8 min (HP) ou 15 min (HC) Fréquentation prévue : 5000 voy/jour soit 2 millions de passagers/an</p>
	<p>Systèmes de sécurité innovants avec un concept de sauvetage intégré (rapatriement de la cabine) Maintenance et mode dégradé facilités</p>	<p>Hauteur maximale : 76 m 3 pylônes Longueur : 958 m</p>	<p>Large espace entre les câbles porteurs pour assurer une meilleure stabilité au vent et exploiter avec des rafales à 105 km/h</p>

Télécabine du Renon

Agglomération	Bolzano (Italie)	Type d'installation	Télécabine tricâble
Présentation	<p>Mise en service en 1999</p> <p>Construction d'une ligne de chemin de fer à crémaillère en 1907 puis remplacée en 1966 par un téléphérique permettant de relier Bolzano à la station estivale du Ritten.</p> <p>AOT : STA (Struttura Trasporto Alto Adige) Opérateur : Società Autobus Alto Adige Constructeur : Leitner</p>	 <p><i>Télécabine du Renon – Crédit photo : Leitner</i></p>	
Quartiers reliés	Du centre-ville (station de Bolzano) au plateau du Renon (Suprabolzano)	Il s'agit à la fois d'une desserte touristique estivale et d'une desserte pour les résidents de Suprabolzano qui se rendent à leur travail dans la vallée.	
Caractéristiques techniques	<p>Nombre de stations 2 stations : station de Bolzano et Plateau du Renon</p>	<p>Tarification Ticket AR : 3,50 € Avec abonnement, ticket AR : 2,18 €</p>	<p>Amplitude de fonctionnement De 6 h 30 à 23 h du lundi au samedi De 7 h 00 à 23 h le dimanche 6 semaines d'arrêt par an (3 en novembre et 3 en mars)</p>
	<p>Matériel 8 cabines de 35 personnes (10 à terme) Écartement des cabines : 1,5 km</p>	<p>Vitesse et temps de parcours Vitesse max : 7 m/s Durée du trajet : 11,7 min</p>	<p>Capacité et fréquentation Capacité : 550 voy/heure/sens (740 à terme) Fréquence : de 4 min (HP) à 11 min (HC)</p>
	<p>Longueur et dénivelé Longueur oblique: 4560 m Dénivelé : 950 m</p>	<p>Système ralenti à chaque entrée en station du fait d'une emprise disponible réduite en ville : la vitesse passe de 7 m/s à 3 m/s. Pour éviter un nombre accru de ralentissements et d'accélération, l'écartement des cabines a été cadencé de manière à ce que 2 cabines rentrent simultanément dans les stations correspondantes et que les 2 véhicules prêts à partir quittent la station.</p>	

Portland Aerial Tram

Agglomération	Portland (États-Unis)	Type d'installation	Téléphérique va-et-vient
Présentation	<p>Mise en service en 2006, cette installation a été financée à hauteur de 70 % par l'Oregon Health&Science University</p> <p>AOT : ville de Portland Opérateur : Oregon Health&Science University Constructeur : Doppelmayr</p>	 <p>Portland Aerial Tram – Crédit photo : IARM</p>	
Quartiers reliés	Oregon Health&Science University (Marquam Hill) à South Waterfront District	Il s'agissait de relier le bord du fleuve qui disposait de disponibilité foncière au campus existant. L'installation est intégrée au réseau de tram existant.	
Caractéristiques techniques	<p>Nombre de stations 2 stations : Oregon Health&Science University et South Waterfront District</p>	<p>Tarification 4 \$ l'aller-retour 100 \$ l'abonnement annuel Abonnements du réseau de transport urbain acceptés</p>	<p>Amplitude de fonctionnement Du lundi au vendredi de 5 h 30 à 21 h 30 Le samedi de 9 h à 17 h Le dimanche de 13 h à 17 h (juin à septembre) Fréquence : 5 à 6 min</p>
	<p>Matériel 2 cabines de 78 passagers + 1 accompagnateur</p>	<p>Vitesse et temps de parcours Vitesse max : 35 km/h Durée du trajet : 3 min</p>	<p>Capacité et fréquentation Capacité : 1014 voy/heure/sens Fréquence : 13 départs par heure Fréquentation en 2007 : 1,2 million de voyageurs (0,8 million de voyageurs attendus)</p>
	<p>Longueur et dénivelé Longueur développée : 1027 m Dénivelé : 121 m</p>	Arrêt au delà de 72 km/h de vent	

Télécabine de Constantine

Agglomération	Constantine (Algérie)	Type d'installation	Télécabine monocâble
Présentation	<p>Projet datant de 1983 Jumelage avec Grenoble</p> <p>Début des travaux en avril 2007 Premiers essais en décembre 2007 Mise en service le 5 juin 2008</p> <p>Opérateur : Entreprise de transport de Constantine Constructeur : Doppelmayr Garaventa</p>	 <p><i>Télécabine de Constantine – Crédit photo : Doppelmayr</i></p>	
Quartiers reliés	De la rive est de la ville (place Tatache au centre-ville) à la rive ouest	Dessert les quartiers nord de la ville (100 000 habitants) et le centre hospitalier (5000 agents). Traverse des gorges, survole un pont suspendu, un massif rocheux et un maquis.	
Caractéristiques techniques	<p>Nombre de stations Tatache (surface 1400 m²) CHU Ben Badis (surface 1820 m²) Tannoudji (surface 1680 m²)</p>	<p>Tarifcation 15 dinars par passager</p>	<p>Amplitude de fonctionnement De 6 h à 23 h</p>
	<p>Matériel 33 cabines de 15 places (10 assises et 5 debout)</p>	<p>Vitesse et temps de parcours Vitesse en ligne : 6 m/s (21,6 km/h) Durée de la traversée : 7 min</p>	<p>Capacité et fréquentation Capacité : environ 2000 voy/heure/sens</p>
	<p>Longueur et dénivelé Tatache – CHU : 425 m, dénivelé 55 m CHU – Tannoudji : 1092 m, dénivelé 32 m</p>	<p>Dispositions prises pour l'évacuation d'urgence des malades Groupe électrogène pour prendre le relais en cas de coupure d'électricité</p>	<p>En cas de vent à plus de 60 km/h, alarme sonore et visuelle au poste de commande En cas de vent à plus de 80 km/h, arrêt total de l'activité du système</p>

Téléphérique de la Bastille

Agglomération	Grenoble (France)	Type d'installation	Télécabine pulsée
Présentation	<p>Le premier téléphérique a été mis en service en 1934. Ce téléphérique de type va-et-vient a été le premier téléphérique urbain au monde. En 1976, il a été rénové et remplacé par un téléphérique pulsé.</p> <p>Opérateur : Régie du Téléphérique de Grenoble Bastille Constructeur : Pomagalski</p>	 <p><i>Téléphérique de la Bastille – Crédit photo : CETE de Lyon</i></p>	
Quartiers reliés	Du centre-ville au site de la Bastille en survolant l'Isère	Téléphérique à vocation touristique. Le site de la Bastille est un ancien fort militaire du XIX ^e siècle reconverti en site touristique.	
Caractéristiques techniques	<p>Nombre de stations 2 stations : inférieure et supérieure</p>	<p>Tarifification Tarif général : 6,60 € Abonnés au réseau de transports urbains : 4,05 €</p>	<p>Amplitude de fonctionnement Ouverture toute l'année Horaires variables suivant la saison 4000 heures de fonctionnement annuel Arrêt pour maintenance annuelle en janvier</p>
	<p>Matériel Cabines en forme de bulle 2 trains de 4 ou 5 bulles suivant la saison 6 personnes par cabine au maximum</p>	<p>Vitesse et temps de parcours Vitesse max : 6 m/s Vitesse d'exploitation : de 3 à 5 m/s Vitesse en station : 0,1 m/s Temps de parcours : 3 min</p>	<p>Capacité et fréquentation Capacité : 720 voy/heure/sens Fréquentation : 250 000 voy/an Forte affluence en juillet et août</p>
	<p>Longueur et dénivelé Longueur : 700 m Dénivelé : 260 m</p>	<p>L'exploitant n'intervient que pour la manœuvre du treuil et la mise en place des nacelles de secours. Ces nacelles sont utilisées pour acheminer les pompiers sur les véhicules. L'évacuation des véhicules est réalisée par les pompiers en « vertical » sauf pour les survols importants (aval du pylône, survol de l'Isère) où les usagers sont descendus avec la nacelle jusqu'en station.</p>	

Télécabine de Montjuïc

Agglomération	Barcelone (Espagne)	Type d'installation	Télécabine monocâble
Présentation	<p>Mise en service en 1970. Reconstruction en 2007 d'une nouvelle télécabine sur le même tracé pour 14,5 M€. Elle est située sur la colline de Montjuïc, dans le prolongement d'un funiculaire qui assure la première partie du trajet.</p> <p>Le funiculaire est lui en correspondance avec le métro.</p> <p>À l'origine, un second funiculaire permettait d'atteindre le haut de la colline. Il a été remplacé par la télécabine.</p> <p>AOT : Opérateur : Transports Métropolitains Barcelonais Constructeur : Leitner</p>	 <p><i>Télécabine de Montjuïc – Crédit photo : Leitner</i></p>	
Quartiers reliés	De Montjuïc (avenue Miramar) au château de Montjuïc		La télécabine a une vocation touristique. Elle permet d'atteindre le haut de la colline de Montjuïc, réputée pour sa citadelle, ses jardins et son panorama sur Barcelone.
Caractéristiques techniques	<p>Nombre de stations 3 stations dont une station intermédiaire permettant un changement de direction à angle droit</p>	<p>Tarifcation Billet spécifique (9 € A/R)</p>	<p>Amplitude de fonctionnement Ouverture toute l'année</p>
	<p>Matériel 54 véhicules 8 personnes par cabine</p>	<p>Vitesse et temps de parcours Vitesse max : 5 m/s Vitesse d'exploitation : 2,5 m/s Durée du trajet : 4,30 min</p>	<p>Capacité et fréquentation Capacité : 3000 voy/heure/sens</p>
	<p>Longueur et dénivelé Longueur : 750 m Dénivelé : 85 m</p>	Télécabine conçue pour fonctionner avec 50 cabines. Suivant l'affluence prévisionnelle, 15, 30, 40 ou 50 cabines en ligne.	

Funitel du mont Parnès

Agglomération	Parc national du mont Parnès (Grèce)	Type d'installation	Télécabine double monocâble
Présentation	<p>Un premier téléphérique a été mis en service en 1972. Dans les années 2000, il ne répondait plus aux attentes de l'hôtel casino qu'il dessert, notamment en raison de débits trop faibles et de résistance au vent insuffisante. Une nouvelle installation double monocâble a été mise en service en 2006. Elle constitue le plus grand transport par câble de l'histoire de la Grèce.</p> <p>AOT : Regency Casino Mont Parnes Opérateur : Emeta Constructeur : Doppelmayr Garaventa</p>	 <p><i>Funitel du mont Parnès – Crédit photo : Doppelmayr</i></p>	
Quartiers reliés	Du pied du mont Parnès (où a été construit un parking de 1800 places) au sommet	Funitel à vocation touristique, il permet d'accéder en haut du mont Parnès (1430 m) et à son hôtel casino. L'accès est aussi possible par navette et par taxi.	
Caractéristiques techniques	<p>Nombre de stations 2 stations</p>	<p>Tarifcation Accès gratuit</p>	<p>Amplitude de fonctionnement De 16 h à 4 h du matin en semaine De 9 h à 4 h du matin le week-end</p>
	<p>Matériel 21 cabines classiques de 20 places, 2 cabines VIP de 6 places et 1 chariot pour les marchandises</p>	<p>Vitesse et temps de parcours Vitesse max : 6 m/s Durée du trajet : moins de 5 min</p>	<p>Capacité et fréquentation Capacité : 2000 voy/heure/sens</p>
	<p>Longueur et dénivelé Longueur : 1721 m Dénivelé : 572 m</p>	<p>Résistance au vent Exploitation normale avec des vents de 100 km/h</p>	<p>Particularité Deux quais d'embarquement distincts : un pour les cabines classiques et un pour les cabines VIP</p>

Skymetro de l'aéroport de Zurich

Agglomération	Aéroport international de Zurich (Suisse)	Type d'installation	Funiculaire
Présentation	<p>Le Skymetro relie l'Airside Center au dock E en passant sous une piste de l'aéroport. Il a été mis en service en septembre 2003. La construction du Skymetro a coûté au total 165 millions de francs suisses, dont 90 millions pour les tunnels.</p> <p>Autorité organisatrice : Flughafen Zürich AG Opérateur : OTIS Constructeur : Pomagalski</p>	 <p>Skymetro de Zurich – Crédit photo : Pomagalski</p>	
Quartiers reliés	Desserte interne à l'aéroport de Zurich, du dock E (une des plates-formes d'embarquement) à l'Airside Center (centre de services aux voyageurs avec restaurants, bars, commerces, zones d'attente...)	L'aéroport de Zurich est le principal aéroport suisse, il accueille plus de 20 millions de passagers par an.	
Caractéristiques techniques	Nombre de stations 2 stations	Tarifcation Gratuit (carte d'embarquement nécessaire pour accéder à bord)	Amplitude de fonctionnement De 4 h 15 à 23 h 00 Disponibilité exigée de 99,4 %
	Matériel 3 trains de 3 wagons, d'une capacité de 112 passagers chacun	Vitesse et temps de parcours Vitesse maximale : 48 km/h Temps de parcours : 2,45 min	Capacité et fréquentation Capacité : 2250 voy/heure/sens Fréquence : 3 min
	Longueur et dénivelé Longueur : 1138 m Dénivelé : nul	Insertion Tunnel tout au long de la ligne	Technologie utilisée Technologie unique à glissement par coussins d'air qui maintiennent les véhicules à 0,2 mm au-dessus du tablier en béton

Projet de funiculaire de Grasse

Agglomération	Grasse (France)	Type d'installation	Funiculaire
Présentation	<p>Premier funiculaire mis en service en 1907. Arrêt d'exploitation le 30 mars 1938 suite à la fin de l'exploitation de la ligne ferroviaire Cannes-Grasse.</p> <p>Le chantier du funiculaire devrait débuter en 2012 pour une mise en service en 2013.</p> <p>Projet de voie unique en section courante d'une longueur de 570 m avec zone de croisement de 80 m à double voie. Système de va-et-vient fonctionnant avec 2 rames équipées de planchers à inclinaison variable.</p> <p>AOT : Syndicat mixte des transports du pays de Grasse (26 communes, 120 000 habitants) Constructeur : Pomagalski</p>	 <p>Site du futur funiculaire – Crédit photo : CETE Méditerranée</p>	
Quartiers reliés	De la gare SNCF de Grasse (en ville basse) au cours Honoré Cresp en centre-ville de Grasse	L'urbanisme et la voirie étant contraints, ce projet va permettre d'aérer le cœur de la ville de Grasse en décongestionnant la circulation et en réduisant les nuisances.	
Caractéristiques techniques	<p>Nombre de stations 4 stations (quais horizontaux) : station basse à la gare SNCF, station intermédiaire à Carnot, station intermédiaire à Adrets, station haute au centre-ville</p>	<p>Tarifification Intégré à la tarification locale du réseau de transports urbains</p>	<p>Amplitude de fonctionnement De 6 h à 23 h (calé sur le TER) Fiabilité de fonctionnement 365 jours par an</p>
	<p>Matériel Capacité par rame : 40 à 60 places dont 20 places assises. Système accessible aux PMR.</p>	<p>Vitesse et temps de parcours Vitesse d'exploitation : 6 à 8 m/s Temps de parcours : 4 à 5 min</p>	<p>Capacité et fréquentation Capacité : 600 voy/heure/sens Fréquence : 4 min Fréquentation attendue : 2700 voy/jour</p>
	<p>Longueur et dénivélé Longueur initiale : 570 m Dénivélé : 110 m</p>	<p>Insertion Viaduc de 60 m pour franchir l'avenue Pierre Sémard</p>	<p>Mode d'exploitation Exploitation automatique avec un poste de commande en station motrice</p>

Annexe I - Systèmes de transports par câble urbains dans le monde

Les tableaux qui suivent dressent une liste non exhaustive des projets et réalisations de transports par câble urbains dans le monde, par pays.

■ Algérie

Ville	Système	Desserte	Caractéristiques	Mis en service
Alger	Téléphérique El Madania - Belouezdad	Relie les quartier du Hamma à la cité Diar el Mahçoul	Longueur : 0.2 km Nombre de stations : 2 Constructeur : Pomagalski	1956 (rénové en 1982 et 2009)
Alger	Téléphérique de Notre- Dame d'Afrique	Relie le quartier de Bologhine à la basilique de Notre-Dame d'Afrique	Longueur : 0.3 km Nombre de stations : 2 Constructeur : Pomagalski	1982 (rénové en 2009)
Alger	Téléphérique du Mémorial	Relie le Jardin d'essai au mémorial du Martyr	Longueur : 0,2 km Nombre de stations : 2 Constructeur : Pomagalski	1987 (rénové en 2009)
Alger	Téléphérique du palais de la Culture	Relie le quartier d'El-Anassers au palais de la Culture	Longueur : 0,4 km Nombre de stations : 2 Constructeur : Pomagalski	1987 (rénové en 2009)
Constantine	Télécabine	Relie deux versants de la ville, de part et d'autres de gorges	Longueur : 1,5 km Nombre de stations : 3 Nombre de cabines : 33 Capacité d'une cabine : 15 places Constructeur : Doppelmayr	Juin 2008
Annaba	Télécabine	Relie la ville de Seraidi (10 000 hab) au centre d'Annaba (400 000 hab)	Longueur : 4,0 km Constructeur : Pomagalski	1987
Tlemcen	Télécabine	Relie le centre de Tlemcen au plateau Lalla Setti	Longueur : 1,7 km Nombre de stations : 3	2009
Skikda	Téléphérique	Relie les hauteurs de Bouabaz et de Bouyala, via le centre-ville	Longueur : 2 km Nombre de stations : 3	2009

■ Allemagne

Ville	Système	Desserte	Caractéristiques	Mis en service
Coblence	Télécabine Buga (tricable)	Connexion entre le centre-ville et le château, situé sur une colline de l'autre côté du Rhin	Longueur : 0,9 km Nombre de stations : 2 Nombre de cabines : 40 Capacité d'une cabine : 8 places Constructeur : Doppelmayr	Juillet 2011
Cologne	Télécabine Rhein-Seilbahn (bicable)	Relie les deux rives du Rhin, fonctionne seulement en période estivale	Longueur : 0,9 km Nombre de stations : 2 Nombre de cabines : 45 Capacité d'une cabine : 4 places	Août 1966 (remplace une télécabine datant de 1957)

■ Brésil

Ville	Système	Desserte	Caractéristiques	Mis en service
Rio	Télécabine de la favela do Alemão (monocable)	Relie une favela de près de 100 000 habitants à la gare de trains de banlieue de Bomsucesso	Longueur : 3,4 km Nombre de stations : 6 Nombre de cabines : 152 Capacité d'une cabine : 4 places Constructeur : Pomagalski	Janvier 2011
Rio	Télécabine de la favela de Rocinha (monocable)	Relie une favela à une station de la future ligne 4 du métro	Longueur : 2,5 km Nombre de stations : 8	Fin 2012

■ Canada

Ville	Système	Desserte	Caractéristiques	Mis en service
Laval	Tricable	Entre station de métro Montmorency et Carrefour Laval	Non définies	Non définie

■ Colombie

Ville	Système	Desserte	Caractéristiques	Mis en service
Manizales	Cable Aéreo (télécabine monocâble)	Relie le centre-ville à un quartier en hauteur, où est implantée le terminal des bus	Longueur : 2,1 km Nombre de stations : 2 Nombre de cabines : 42 Capacité d'une cabine : 10 places Constructeur : Leitner	Octobre 2010
Medellín	MetroCable J (télécabine monocâble)	Dessert le quartier de Nuevo Occidente depuis le terminus d'une ligne de métro	Longueur : 2,9 km Nombre de stations : 4 Nombre de cabines : 119 Capacité d'une cabine : 10 places Constructeur : Pomagalski	Novembre 2007
Medellín	MetroCable K (télécabine monocâble)	Relie la station de métro Acevedo au quartier de Santo Domingo, sur une hauteur	Longueur : 2,0 km Nombre de stations : 4 Nombre de cabines : 93 Capacité d'une cabine : 10 places Constructeur : Pomagalski	Août 2004
Medellín	MetroCable L (télécabine monocâble)	Relie le parc Arvi en continuité de la ligne K, à partir du terminus Santo Domingo	Longueur : 4,6 km Nombre de stations : 2 Nombre de cabines : 54 Capacité d'une cabine : 10 places Constructeur : Pomagalski	Février 2010

■ Espagne

Ville	Système	Desserte	Caractéristiques	Mis en service
Barcelone	Téléphérique de Montjuïc (télécabine monocâble)	Relie le terminus du funiculaire de Montjuïc au sommet de la colline de Montjuïc	Longueur : 0,7 km Nombre de stations : 3 Nombre de cabines : 54 Capacité d'une cabine : 8 places Constructeur : Leitner	Mai 2007 (remplace une télécabine de 1970)
Esparre- guera	Télécabine Olessa – Esparreguera (monocâble)	Relie la commune d'Esparreguera (22 000 habitants) à la gare d'Olessa (trains de banlieue de Barcelone)	Longueur : 1,0 km Nombre de stations : 2 Nombre de cabines : 2 Capacité d'une cabine : 15 places Constructeur : Pomagalski	2005

■ États-Unis

Ville	Système	Desserte	Caractéristiques	Mis en service
New York	Roosevelt Island Aerial Tramway (téléphérique)	Relie Manhattan et l'île de Roosevelt Island, en franchissant l'East River	Longueur : 958 m Nombre de stations : 2 Nombre de cabines : 2 Capacité d'une cabine : 110 places Constructeur : Pomagalski	Novembre 2010 (remplace un téléphérique datant de 1976)
Portland	Portland Aerial Tram (téléphérique)	Relie un quartier en bord de mer au campus universitaire, l'Oregon Health and Science University, sur Marquam Hill.	Longueur : 1005 m Nombre de stations : 2 Nombre de cabines : 2 Capacité d'une cabine : 78 places Constructeur : Doppelmayr	Janvier 2007

■ France

Ville	Système	Desserte	Caractéristiques	Mis en service
Bagnolet Montreuil Romainville	Transport par câble	Du terminus de la ligne 3 du métro à Romainville via Montreuil et le quartier de la Noue à Bagnolet	Longueur : 2,2 km Nombre de stations : 4	À l'étude
Brest	Double monocâble	Entre station de tramway « Français libres » et l'Atelier des Capucins	Longueur : 370 m Nombre de stations : 2 Nombre de cabines : 6 Capacité d'une cabine : 20 places	En projet
Créteil Villeneuve- Saint-Georges	Métrocâble (télécabine)	Du terminus de la ligne 8 du métro à Créteil à Villeneuve- Saint-Georges, via Limeil-Brévannes	Longueur : 4,4 km Nombre de stations : 4	En projet
Grasse	Funiculaire Gare - Centre- ville	Relie la gare de Grasse (ville basse) au centre-ville (ville haute)	Longueur : 570 m Nombre de stations : 4 Nombre de cabines : 2 Constructeur : Pomagalski	En projet
Grenoble	Télécabine de la Bastille	Relie le centre de Grenoble au site de la Bastille, à vocation touristique, en franchissant l'Isère	Longueur : 700 m Nombre de stations : 2 Nombre de cabines : 24 Capacité d'une cabine : 6 places Constructeur : Pomagalski	1976
Grenoble	Non défini	Entre Fontaine et Lans-en-Vercors	Longueur : 10 km Nombre de stations : 3	À l'étude
Grésivaudan (Brignoud - Crolles)	Télécabine	De la gare TER de Brignoud à la zone d'activités de Crolles	Plusieurs scénarios à l'étude (de 2 à 6 km)	À l'étude
Grésivaudan (Goncelin - Allevard)	Télécabine	De la gare TER de Goncelin à la commune d'Allevard	Plusieurs scénarios à l'étude (de 9 à 12 km)	À l'étude
Nîmes	Transport par câble	Du pôle hospitalier et universitaire de Carémeau sud à une station du futur tramway	Longueur : 200 m Nombre de stations : 3	À l'étude
Toulouse	Téléphérique Cancéropôle - Rangueil	De l'université Paul Sabatier à la ZAC du Cancéropôle en passant par le CHU de Rangueil	Nombre de stations : 3	En projet

■ Italie

Ville	Système	Desserte	Caractéristiques	Mis en service
Bolzano	Télécabine du Renon	Relie le centre-ville de Bolzano au plateau du Renon, où vivent 5000 personnes	Longueur : 4453 m Nombre de stations : 2 Nombre de cabines : 8 Capacité d'une cabine : 35 places Constructeur : Leitner	2009 (remplace un téléphérique datant de 1966)

■ Portugal

Ville	Système	Desserte	Caractéristiques	Mis en service
Funchal	Télécabine de Funchal (monocâble)	Relie le centre de Funchal, en bord de mer, au village de Monte, sur les hauteurs	Longueur : 3,2 km Nombre de stations : 2 Constructeur : Doppelmayr	2000
Vila Nova de Gaia (Porto)	Télécabine monocâble	Relie le secteur touristique de Cais de Gaia à la station de métro Jardim do Morro	Longueur : 560 m Nombre de stations : 2 Nombre de cabines : 21 Capacité d'une cabine : 8 places Constructeur : Etermar/Doppelmayr	Avril 2011

■ Royaume-Uni

Ville	Système	Desserte	Caractéristiques	Mis en service
Londres	Télécabine	Franchit la Tamise entre Royal Victoria Dock et North Greenwich (sites des jeux Olympiques de 2012)	Longueur : 1100 m Nombre de stations : 2 Coût estimé : 40 M€	2012

■ Russie

Ville	Système	Desserte	Caractéristiques	Mis en service
Nijni Novgorod	Télécabine	Relie les villes de Nijni Novgorod et Bor, de part et d'autre de la Volga	Longueur : 3660 m Nombre de stations : 2	En projet

■ Singapour

Ville	Système	Desserte	Caractéristiques	Mis en service
Singapour	Jewel Cable Car (télécabine monocâble)	Relie le parc de loisirs de l'île de Sentosa depuis le Mount Faber, situé sur l'île principale de Singapour	Longueur : 1,7 km Nombre de stations : 3 Nombre de cabines : 97 Capacité d'une cabine : 8 places Constructeur : Doppelmayr	2010 (ancienne télécabine mise en service en 1974, puis reconstruite en 1994)

■ Taïwan

Ville	Système	Desserte	Caractéristiques	Mis en service
Taipei	Télécabine de Maokong	Relie un centre de loisirs au métro	Longueur : 4,0 km Nombre de stations : 6 Nombre de cabines : 147 Capacité d'une cabine : 8 places Constructeur : Pomagalski	2007

■ Turquie

Ville	Système	Desserte	Caractéristiques	Mis en service
Ankara	Télécabine Ankara - Keçiören	Relie deux quartiers en franchissant un dénivelé de 65 m	Longueur : 1,6 km Nombre de stations : 2 Nombre de cabines : 16 Capacité d'une cabine : 8 places Constructeur : STM	Novembre 2007
Istanbul	Téléphérique Eyüp - Piyerloti	Desserte intégrée au réseau de transport collectif	Longueur : 380 m Nombre de stations : 2 Nombre de cabines : 2 x 2 Capacité d'une cabine : 8 places Constructeur : Leitner	2005
Istanbul	Téléphérique Maçka - Taşkışla	Desserte intégrée au réseau de transport collectif	Longueur : 330 m Nombre de stations : 2	1993

■ Venezuela

Ville	Système	Desserte	Caractéristiques	Mis en service
Caracas	MetroCable San Augustin (télécabine monocâble)	Relie des quartiers défavorisés, situés sur une colline, à une station de métro	Longueur : 1,8 km Nombre de stations : 5 Constructeur : Doppelmayr	Janvier 2010
Caracas	MetroCable Mariche (télécabine monocâble)	Relie des quartiers défavorisés, situés sur une colline, à une station de métro	Longueur : 4,8 km Nombre de stations : 5 Constructeur : Doppelmayr	Avril 2012

Table des matières

	Remerciements	2
	Sommaire	3
	Avertissement	5
	Introduction	7
PREMIÈRE PARTIE	Présentation générale des transports par câble	8
	1. Précisions sur la terminologie utilisée	10
	2. Caractéristiques des systèmes de transport par câble aérien	14
	2.1. Les téléphériques à va-et-vient	14
	2.2. Les téléphériques à va-ou-vient	15
	2.3. Les télécabines pulsées à mouvement unidirectionnel discontinu	16
	2.4. Les télécabines à mouvement unidirectionnel continu	16
	3. Acteurs et intervenants dans l'implantation des transports par câble aérien	19
	3.1. Les Autorités organisatrices de transport compétentes pour un transport par câble aérien	19
	3.2. Le STRMTG	19
	3.3. Les constructeurs	19
	3.4. Les OQA	20
DEUXIÈME PARTIE	Réglementation des transports par câble aérien	22
	1. Le cadre réglementaire français	25
	1.1. Cadrage préalable	25
	1.2. Le régime d'autorisation et le régime d'exploitation	25
	1.3. Le contexte réglementaire et les délais de mise en œuvre	27
	2. La réglementation technique française concernant la conception et l'exploitation des téléphériques et des télécabines	29
	2.1. La réglementation relative à l'implantation des installations	29
	2.2. La réglementation relative à la sécurité des usagers	31
	2.3. La réglementation relative à l'exploitation	31
	3. Le cadre européen : des objectifs de sécurité concernant la fabrication des matériels	34
TROISIÈME PARTIE	Éléments de choix d'un système de transport par câble aérien en milieu urbain	36
	1. La nécessité d'une vision à long terme du réseau de transport	38
	2. Demande et capacité	39

3. Le niveau de service offert par le transport par câble aérien	42
3.1. Les temps de parcours	42
3.2. La gestion des accès aux véhicules en station	44
3.3. L'amplitude horaire de fonctionnement	45
3.4. L'accessibilité aux personnes à mobilité réduite	45
3.5. Le confort	50
3.6. La continuité du service : l'impact de la maintenance et des aléas	51
4. La durée de vie et la maintenance des transports par câble aérien	55
4.1. La durée de vie et le démontage des installations	55
4.2. L'entretien et la maintenance	55
5. La sécurité	59
5.1. Les procédures de sécurité	59
5.2. Équipements des véhicules	59
5.3. La prévention des actes de malveillance	60
5.4. L'évacuation	60
6. La consommation d'énergie	62
7. Les coûts d'investissement et d'exploitation	65
7.1. Les coûts d'investissement	65
7.2. Les coûts d'exploitation	68
8. L'insertion des systèmes de transport par câble aérien	70
8.1. Le tracé	70
8.2. Les stations	71
8.3. Les pylônes	74
8.4. Le survol des bâtiments et des parcelles privées	76
9. Les impacts sur l'environnement et le milieu urbain	78
9.1. Les impacts sonores	78
9.2. Les impacts sur l'avifaune	81
9.3. L'impact du génie civil sur l'environnement	82
9.4. L'impact visuel	82
9.5. L'impact sur l'aménagement urbain	82

QUATRIÈME PARTIE **Intégration et mise en œuvre d'un transport par câble aérien dans le réseau de transport**

84

1. La participation des citoyens et des riverains	86
2. Intermodalité et multimodalité	88
3. L'organisation institutionnelle et contractuelle	91
3.1. Quelle réglementation appliquer ?	91
3.2. Les rôles des autres acteurs	91
3.3. Comment gérer l'exploitation d'un transport par câble d'un point de vue contractuel ?	92

CINQUIÈME PARTIE **Synthèse et bilan**

96

1. Des systèmes à intégrer dans la réflexion sur le choix du mode	98
2. Des systèmes adaptés à certaines configurations	101
3. Pistes d'actions pour un transport à câble en milieu urbain	103

Annexes**107**

Annexe A. Sigles et acronymes utilisés	108
Annexe B. Glossaire	109
Annexe C. Exemples de systèmes à câbles sur voie rigide	112
Annexe D. Bibliographie	116
Annexe E. Missions du STRMTG	117
Annexe F. Réglementation en zone de montagne	118
Annexe G. Cadre européen	120
Annexe H. Installations analysées dans le cadre de l'étude	122
Annexe I. Systèmes de transports par câble urbains dans le monde	133

Aerial cable transport systems in urban areas

Enacted in 2009, the first law to emerge from the Grenelle de l'Environnement (the French government's environmental round table) identified cable transport as a strong option for meeting the requirements of noise, pollution and greenhouse gas emission reduction policies. However, this system remains more or less absent from the tapestry of urban and periurban public transport in France - both aerial tramways and cable cars are still seen by most people as a form of transport exclusive to ski resorts.

However, a number of local authorities in France are currently undertaking studies on real aerial cable transport projects within local urban areas.

This work outlines a number of technical and regulatory aspects intended to assist transport authorities with the decision-making process, as well as some practical information regarding the implementation of these systems. It is based on the experiences of using such systems in foreign cities (such as New York, Portland, Medellín, Bolzano and Constantine) and on data collected from European manufacturers and operators. It is aimed at the senior management and project managers of public transport systems, research consultancies and urban public transport operators.

It also invites reflection from all urban transport system stakeholders on the possible ways transport networks could evolve as part of controlled geographical development of urban areas.

Transporte por cable aéreo en medio urbano

La primera ley resultante del Grenelle del medio ambiente, promulgada en 2009, identifica los transportes por cable entre las alternativas que pueden ofrecer respuestas eficaces en una política de reducción de las molestias y emisiones de contaminaciones y gases de efecto invernadero. Sin embargo, estos sistemas están prácticamente ausentes del paisaje de los transportes colectivos urbanos y periurbanos en Francia. Sus declinaciones aéreas, de tipo teleféricos o telecabinas, se siguen percibiendo esencialmente como reservadas al transporte de los esquiadores en las estaciones de deportes de invierno.

Aun así, varias administraciones territoriales francesas han emprendido actualmente el estudio de proyectos concretos de transporte por cable aéreo, en el interior de sus zonas urbanas.

Con el fin de ayudar a las autoridades organizadoras de transportes en su toma de decisiones, esta obra propone elementos técnicos y reglamentarios, así como informaciones prácticas en cuanto a la puesta en obra de estos sistemas. Se basa en las experiencias realizadas en instalaciones extranjeras en medio urbano (Nueva York, Portland, Medellín, Bolzano, Constantina...) y en datos recogidos de empresas explotadoras y constructores europeos. Se dirige a los responsables «transportes y desplazamientos», a los jefes de proyectos de transportes de las administraciones, a las oficinas de proyectos y a las empresas explotadoras de transportes colectivos urbanos.

Invita igualmente a todos los actores concernidos por los sistemas de transportes urbanos a reflexionar sobre las evoluciones posibles de las redes de transporte, en una perspectiva de desarrollo geográfico controlado por las zonas urbanas.

© CERTU - 2012

Service technique placé sous l'autorité du ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement et du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, le centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques a pour mission de faire progresser les connaissances et les savoir-faire dans tous les domaines liés aux questions urbaines. Partenaire des collectivités locales et des professionnels publics et privés, il est le lieu de référence où se développent les professionnalismes au service de la cité.

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Certu est illicite (loi du 11 mars 1957). Cette reproduction par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Photo de couverture : installation "Complejo do Alemão" à Rio de Janeiro, crédit photo CETE de Lyon

Coordination : Service Éditions (Sylvaine Paris)

Mise en page : Laurent Mathieu - Graphisme - tél. 06 13 41 04 53

Dépot légal : juin 2012

ISBN : 978-2-11-129491-2

ISSN : 1263-3313

Bureau de vente :

9, rue Juliette Récamier

69456 LYON cedex 06 - France

& 04 72 74 59 59

Internet : <http://www.certu.fr>

Cette collection comporte les guides techniques, les ouvrages méthodologiques et d'autres types de publications présentant des savoir-faire qui, sur un champ donné, présentent de manière pédagogique ce que le professionnel doit savoir.

Le Certu a suivi une démarche de validation du contenu et atteste que celui-ci reflète l'état de l'art. Il recommande au professionnel de ne pas s'écarter des solutions préconisées dans le document sans avoir pris l'avis d'experts reconnus.

Transport par câble aérien en milieu urbain

La première loi issue du Grenelle de l'environnement, promulguée en 2009, identifie les transports par câble parmi les alternatives pouvant offrir des réponses performantes dans une politique de réduction des nuisances et des émissions de pollutions et de gaz à effet de serre ; pourtant, ces systèmes sont quasiment absents du paysage des transports collectifs urbains et périurbains en France. Leurs déclinaisons aériennes, de type téléphériques ou télécabines, y restent perçues essentiellement comme réservées au transport des skieurs dans les stations de sports d'hiver.

Cependant, plusieurs collectivités territoriales françaises sont engagées actuellement dans l'étude de projets concrets de transport par câble aérien à l'intérieur de leurs agglomérations.

Afin d'aider les autorités organisatrices de transports dans leurs prises de décision, cet ouvrage propose des éléments techniques et réglementaires, ainsi que des informations pratiques quant à la mise en œuvre de ces systèmes. Il s'appuie sur les expériences issues des installations étrangères en milieu urbain (New-York, Portland, Medellín, Bolzano, Constantine...) et sur des données recueillies auprès des constructeurs et d'exploitants européens. Il s'adresse aux responsables «transports et déplacements» et aux chefs de projets transports des collectivités, aux bureaux d'études ainsi qu'aux exploitants de TCU.

Il invite également tous les acteurs concernés par les systèmes de transports urbains à réfléchir sur les évolutions possibles des réseaux de transport dans une perspective de développement géographique maîtrisé des agglomérations.

