

Stations téléphériques de jaugeage

Description, notes de calcul et règles à observer pour leur installation

M. ALDEGHERI

Directeur de Recherches de l'ORSTOM, Toulouse
avec la collaboration de :

R. GAUDU

Maitre assistant à l'INPT de Toulouse

G. BACON

Ingénieur au CNRS

pour le calcul des tensions et des flèches

RÉSUMÉ

Cette note à caractère pratique présente de façon détaillée les éléments constitutifs d'une station téléphérique de jaugeage. Elle fournit aux usagers les caractéristiques et les conditions d'emploi des câbles d'acier, le calcul des tensions et des flèches, les différents types d'ancrages et le calcul des massifs.

La méthodologie de montage est également exposée ainsi que le résumé des diverses opérations à réaliser pour installer ce type de station de mesure.

ABSTRACT

This practical note presents into details the constitutive parts of a telepheric gauging station. It provides to the users the characteristics and conditions for use of steel cables, the tension and sag calculations, the different types of anchorage and the fill calculation.

At last, the author deals with setting up methodology and gives an outline of the operations to realize in the field for equipping the telepheric gauging station.

1. INTRODUCTION

Sur les rivières où il n'existe pas de pont ou de passerelle convenable pour les mesures de débit et lorsque les vitesses dépassent 3 m/s, le seul matériel permettant de réaliser les jaugeages dans de bonnes conditions est la station téléphérique appelée aussi traille téléphérique ou transporteur aérien.

Ce matériel permet de choisir le lieu d'implantation en fonction des meilleures conditions hydrauliques liées aux valeurs des débits à contrôler et des facilités d'accès en vue d'une exploitation facile de la station.

Nous ne parlerons ici que des transporteurs aériens pour saumons et moulinets avec chariot commandé à partir d'une rive. Nous citerons pour mémoire les transporteurs destinés aux déplacements d'une nacelle sur laquelle peuvent prendre place un ou deux opérateurs manœuvrant directement l'équipement de mesure. La nacelle peut se déplacer par traction des opérateurs sur le câble porteur (modèle simple) ou à l'aide d'un treuil double placé sur une berge ; dans ce cas les déplacements peuvent être horizontaux et verticaux, afin de se rapprocher au maximum du plan d'eau (voir fig. 1). Nous ne donnons cette figure que pour illustrer le principe de la nacelle suspendue. Il est bien évident que l'équipement de jaugeage pour une rivière en crue n'est pas celui qui est représenté mais le saumon manœuvré par un treuil fixé à un porte-à-faux solidaire de la nacelle.

Pour ce genre d'installation, les coefficients de sécurité à appliquer sont très importants. Ceci entraîne une

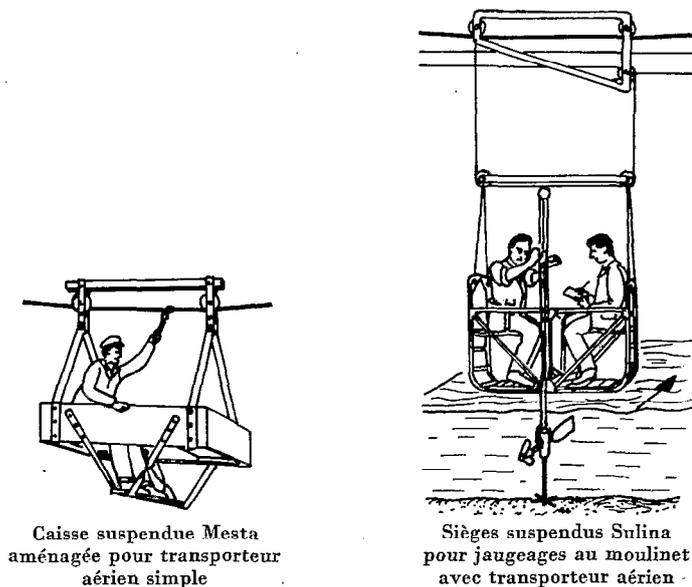


Figure 1

augmentation notable des prix de revient et une utilisation pratiquement nulle de ce type de transporteurs aériens pour la mesure des débits en rivière.

Nous ne décrivons pas dans cette note les différents types de transporteurs aériens proposés par les constructeurs de matériel hydrométrique. Le lecteur trouvera les descriptions détaillées dans les notices citées en bibliographie.

On distingue deux types de stations téléphériques : les stations légères et mobiles pour rivières peu larges (portée maximale 50 m) utilisées avec des saumons d'une masse maximale de 25 kg et les stations fixes sur grandes rivières, jusqu'à 250 m, pour saumons lourds (100 kg). Les stations du premier type sont généralement livrées par le constructeur avec tous les éléments en pièces détachées et leur montage ne pose, en principe, aucune difficulté. Le but de cette note est de donner aux hydrologues quelques conseils pour l'installation des stations téléphériques sur les rivières ayant plus de 100 m de large. Après la description sommaire des divers éléments constitutifs d'une traîlle téléphérique, nous donnerons quelques tableaux et abaques pour la mise en tension des câbles et enfin quelques règles à observer pour la mise en place, l'exploitation et l'entretien de ce matériel.

Le coût des téléphériques avec chariot est assez élevé, et leur utilisation ne se justifie, le plus souvent, que pour les études d'aménagements importants (Mangoky, Ikopa, Betsiboka à Madagascar, Kouilou au Congo, etc.) ou sur les rivières très dangereuses en crue (oueds d'Afrique du Nord, etc.).

La plus grande station téléphérique installée par l'ORSTOM est celle du Mangoky au Banian dont la portée entre appuis atteint 425 m. De telles portées posent quelques problèmes pour la manœuvre du saumon (poules de renvoi au milieu de la portée et treuils de commande sur les 2 berges) aussi la largeur maximale équipée avec le matériel courant n'excède-t-elle que très rarement 250 m.

Les avantages de ce matériel sont les suivants :

- les jaugeages peuvent être effectués avec un personnel réduit : un ou deux agents bien entraînés réalisent la mesure dans de bonnes conditions même par forte crue ;
- les opérateurs sont abrités des intempéries et ils ne courent aucun risque même en période de très hautes eaux ;
- la mise en service des installations est très rapide.

Ces équipements présentent toutefois quelques inconvénients, en particulier avec les portées supérieures à 150 m :

- le matériel de mesure est loin des opérateurs, ce qui rend les réglages plus difficiles et les dépannages plus longs ;
- le déplacement du matériel est assez lent. Avec un treuil manuel et une portée de 250 m, il faut de 20 à 30 minutes pour traverser la rivière ;
- pour ces raisons, il est nécessaire de disposer d'un contact de fond en parfait état de marche.

Rappelons que l'utilisation d'une station téléphérique devient dangereuse pour le matériel dès que les vitesses dépassent 5 à 6 m/s.

2. PRINCIPE DE LA STATION TÉLÉPHÉRIQUE ET ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS

La figure 2 montre le schéma de principe d'une traille téléphérique de 250 m de portée maximale.

Notons que dans le cas représenté sur cette figure, les pylônes sont utilisés pour réaliser un tirant d'air suffisant au-dessus des plus hautes eaux. Dans le cas de rivières avec berges très escarpées le câble porteur sera ancré directement dans les berges à une hauteur convenable au-dessus des plus hautes eaux (voir photo 1).

Comme on peut le voir sur la figure 2, les éléments constitutifs d'une station téléphérique sont les suivants :

- le treuil double ;
- les câbles porteurs et tracteurs ;
- le câble électroporteur ;
- les ancrages et supports de câbles et de treuil ;
- l'abri.

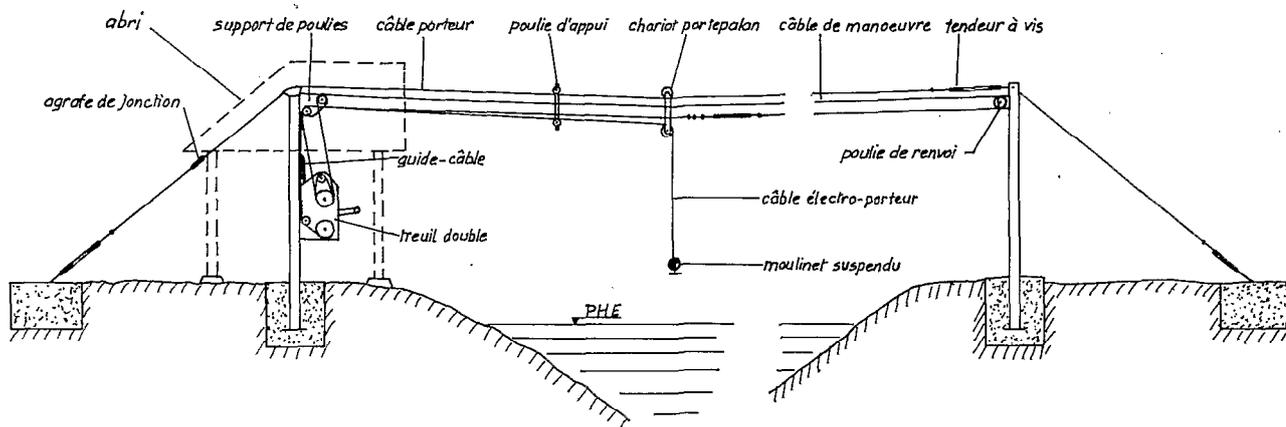


Figure 2

3. TREUILS

La description des treuils est donnée dans les notices HLF 120/18 de OTT et M 23-24/a de NEYRPIC (les planches I et II montrent quelques types de treuils doubles utilisés actuellement sur les stations téléphériques de jaugeages).

Le treuil doit être fixé sur son support conformément aux indications du constructeur en veillant à ce que la manivelle soit à bonne hauteur, afin de rendre les manœuvres plus aisées. Il faut manipuler avec précaution le mécanisme d'embrayage et, dans le cas des treuils doubles OTT, bien mettre en face l'un de l'autre les repères rouges gravés sur la manivelle et sur la flasque du treuil. L'enclenchement ou le déclenchement sera ainsi plus facile. Notons cependant que le débrayage est toujours plus difficile que l'embrayage par suite de la traction du saumon. Tous les points prévus par le constructeur doivent être graissés régulièrement. Lors de la remontée du saumon ou du retour du chariot vers l'abri, veiller au bon enroulement du câble électroporteur à spires jointives (mises à la masse par écrasement) : ceci est capital pour la bonne conservation du câble. Certains treuils possèdent un dispositif de guidage du câble électroporteur.

Dans le cas de grandes portées (200 à 250 m) la manœuvre manuelle du treuil est une opération pénible. Aussi, lorsque la station de jaugeage est située à proximité d'une ligne électrique, on peut installer un treuil double motorisé. La société OTT fabrique actuellement un dispositif de télécommande pour transporteurs aériens électriques. Les positions des différentes verticales, les positions du moulinet sur chaque verticale ainsi que les temps de fonctionnement sont programmés sur des compteurs à présélection. On a le choix entre trois vitesses (7 cm/s,

25 cm/s et 50 cm/s) pour les déplacements horizontaux et verticaux. L'appareil comporte un compteur d'impulsions incorporé,

L'installation d'un treuil électrique dans les régions isolées ne doit être décidée qu'après avoir étudié soigneusement les avantages et les inconvénients de cette solution. En effet, ce treuil ne pouvant fonctionner que grâce à un groupe électrogène, on risque de multiplier les causes de pannes qui surviendront toujours pendant la crue la plus forte d'où manque des informations les plus intéressantes.

Notons qu'il est possible de monter sur les treuils doubles Neyrpic un régulateur de vitesse pour permettre les jaugeages par intégration.

4. CÂBLES D'ACIER

4.1. GÉNÉRALITÉS SUR LES CÂBLES D'ACIER (1)

Les câbles d'acier sont en général formés d'un ou plusieurs *torons* comportant eux-mêmes un certain nombre de *fils d'acier clair ou zingué* : ces torons sont enroulés en hélice autour d'une *âme centrale* réalisée soit en *textile* (sisal, jute ou chanvre imprégné de graisse), soit en *fils métalliques câblés*, soit en composition *mixte textile-acier*.

On distingue les câbles *monotorons* ou *multitorons*. En général, le toron est utilisé comme constituant d'un câble, mais il existe néanmoins de nombreux cas d'utilisation de torons simples. Citons à titre d'exemple, les haubans, les câbles spiraloïdaux de transporteurs aériens, les câbles de ponts suspendus, etc. D'une façon générale, le câble monotoron est utilisé quand l'emploi auquel le câble est destiné ne demande pas de souplesse.

La majorité des câbles est cependant constituée de torons multiples, six en général. Les câbles ainsi obtenus présentent une section droite un peu moins circulaire que les câbles monotorons, mais ils ont une bonne tenue tout en conservant une certaine souplesse. Les câbles courants contiennent 6 torons de 7 fils (1 + 6, soit 42 fils au total), de 19 fils (1 + 6 + 12, soit 114 fils), de 37 fils (1 + 6 + 12 + 18, soit 222 fils), (voir fig. 3).

Citons également deux compositions spéciales : les câbles antigiratoires ou Nuflex et les câbles clos.

Les câbles antigiratoires sont composés de plusieurs couches de fils ou de torons câblés en sens opposés d'une couche à l'autre. Ils permettent d'éviter la rotation de la charge suspendue lorsque la hauteur de levée est importante et que la charge n'est pas guidée. Leur utilisation nécessite un certain nombre de précautions élémentaires destinées à éviter leur déformation soit au repos, soit en cours de service.

Les câbles clos sont des monotorons constitués d'un noyau de fils ronds recouvert de deux couches de fils profilés dits Z. La surface extérieure de tels câbles est parfaitement lisse et les désigne comme porteurs de téléphériques à marchandises ; d'autre part, l'enclavement des fils extérieurs est tel que l'intérieur du câble est parfaitement protégé contre la corrosion ; ils ont en outre de bonnes qualités antigiratoires, mais nécessitent de grands diamètres d'enroulement.

Tous les câbles exposés à l'eau, aux intempéries, ou à l'humidité seront de préférence composés de fils galvanisés. La couche de zinc des fils extérieurs pourra être enlevée par les frottements, mais les fils intérieurs conserveront leur protection.

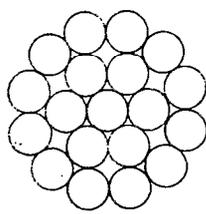
Les câbles porteurs de téléphériques sont des câbles monotorons généralement constitués par des fils d'acier ayant une résistance à la rupture de 1 400 à 1 600 N/mm². Le coefficient de sécurité adopté pour les stations de jaugeage par téléphérique est pris égal à 3.

Les câbles tracteurs sont le plus souvent des câbles à 6 torons 1 + 6 fils, sur âme en chanvre, d'un diamètre de 6,3 mm. La charge de rupture effective est de l'ordre de 20 000 N.

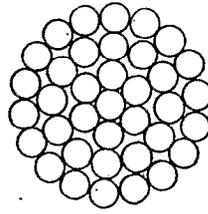
Les tableaux suivants donnent les caractéristiques principales des câbles pouvant être utilisés pour la construction des téléphériques de jaugeage. Les valeurs des charges de rupture portées sur ces tableaux seront en première approximation multipliées par 10 pour être exprimées en Newtons (tabl. I et II).

Notons que les câbles du tableau I (6 torons 1 + 6 fils) sont plus souples que les câbles du tableau II (monotorons). Les modules d'élasticité apparents sont nettement différents : 108 000 N/mm² pour les 6 torons et

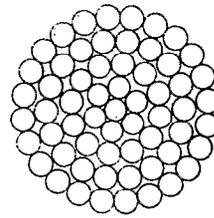
(1) Les tableaux de caractéristiques et les documents graphiques contenus dans ce paragraphe sont extraits de *Câbles d'acier. Caractéristiques et conditions générales d'emploi*, documentation publiée par les Hauts Fourneaux de la Chiers.



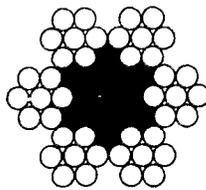
Toron de 19 fils
(1+6+12)



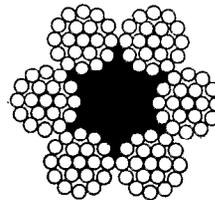
Toron de 37 fils
(1+6+12+18)



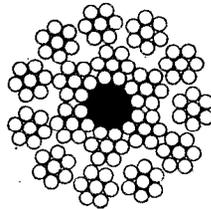
Toron de 61 fils
(1+6+12+18+24)



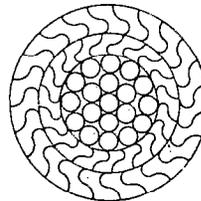
6 torons de 7 fils
(1+6)
Ame centrale
en textile



6 torons de 19 fils
(1+6+12)
Ame centrale
en textile



Nuflex
17 torons de 7 fils
(1+6)
Ame centrale
en textile

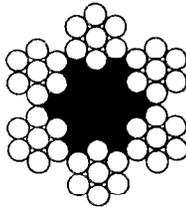


Câble clos

Fig. 3. — Quelques types de câbles usuels

160 000 N/mm² pour les câbles monotorons à 19 fils. Les câbles à 6 torons seront utilisés de préférence dans le cas de conditions de travail pénibles (appareils de levage). Dans le cas particulier des stations téléphériques, ces câbles seront choisis pour les câbles tracteurs, pour les haubans des pylônes et en général pour toutes les jonctions réalisées avec des cosses en cœur et des serre-câbles. Par contre pour les câbles porteurs, où l'on recherche une composition de câble à module d'élasticité élevé de façon à obtenir sous la charge une stabilité aussi grande que possible, on choisira de préférence les câbles monotorons à 19 fils.

TABLEAU I



6 TORONS DE 7 FILS

(1 + 6)

Ame centrale en textile

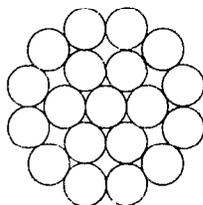
Diamètre du câble		Diamètre des fils (mm)	Section du câble (mm ²)	Poids au mètre (kg)	Charge de rupture effective (kg)				
théorique (mm)	pratique maximum (mm)				Acier doux (1)	140 kg/mm ²	160 kg/mm ²	180 kg/mm ²	200 kg/mm ²
1,35	1,42	0,15	0,74	0,007	54	94	105	120	130
1,80	1,89	0,20	1,32	0,012	96*	165*	190*	215*	230*
2,25	2,36	0,25	2,06	0,019	150*	260*	295*	335*	360*
2,70	2,83	0,30	2,97	0,028	215*	375*	430*	480*	520*
3,15	3,31	0,35	4,04	0,038	290*	510*	580*	650*	710*
3,60	3,78	0,40	5,28	0,049	380*	670*	760*	860*	920*
4,05	4,25	0,45	6,68	0,062	480*	840*	960*	1 100*	1 150*
4,50	4,72	0,5	8,25	0,077	590*	1 050*	1 200*	1 350*	1 450*
5,40	5,67	0,6	11,9	0,110	860*	1 500*	1 700*	1 900*	2 100*
6,30	6,61	0,7	16,2	0,150	1 150*	2 050*	2 350*	2 600*	2 850*
7,20	7,56	0,8	21,1	0,195	1 550*	2 650*	3 050*	3 400*	3 700*
8,10	8,50	0,9	26,7	0,250	1 900*	3 350*	3 850*	4 350*	4 650*
9,00	9,45	1,0	33,0	0,305	2 400*	4 150*	4 750*	5 300*	5 800*
9,90	10,4	1,1	39,9	0,370	2 850*	5 000*	5 700*	6 500*	7 000*
10,8	11,3	1,2	47,5	0,440	3 400*	6 000*	6 800*	7 700*	8 300*
11,7	12,3	1,3	55,7	0,520	4 000*	7 000*	8 000*	9 000*	9 700*
12,6	13,2	1,4	64,7	0,600	4 650*	8 100*	9 300*	10 400*	11 400*
13,5	14,2	1,5	74,2	0,690	5 300*	9 400*	10 600*	12 000*	13 000*
14,4	15,1	1,6	84,4	0,780	5 700*	10 600*	12 200*	13 600*	14 800*
15,3	16,1	1,7	95,3	0,890	6 400	12 000	13 800	15 400	16 600
16,2	17,0	1,8	107	0,990	7 200*	13 400*	15 400*	17 400*	18 800*
17,1	18,0	1,9	119	1,110	8 000	15 000	17 200	19 200	21 000
18,0	18,9	2,0	132	1,230	8 800*	16 600*	19 000*	21 500*	23 000*
18,9	19,8	2,1	145	1,350	9 100	18 200	21 000	23 500	25 500
19,8	20,8	2,2	160	1,490	10 000*	20 000*	23 000*	26 000*	28 000*
20,7	21,7	2,3	174	1,620	11 000	22 000	25 000	28 500	30 500
21,6	22,7	2,4	190	1,770	12 000*	24 000*	27 500*	31 000*	33 000
22,5	23,6	2,5	206	1,920	12 800	26 000	29 500	33 500	36 000
23,4	24,6	2,6	223	2,070	13 000	28 000	32 000	36 000	39 000
24,3	25,5	2,7	240	2,230	14 000*	30 500*	34 500*	39 000*	42 000
25,2	26,5	2,8	259	2,410	15 000	32 500	37 000	42 000	45 500
26,1	27,4	2,9	277	2,580	16 000	35 000	40 000	45 000	48 500
27,0	28,3	3,0	297	2,760	17 000*	37 500*	42 500*	48 000*	52 000
27,9	29,3	3,1	317	2,950	17 600	40 000	45 500	51 000	55 000
28,8	30,2	3,2	338	3,150	18 200	42 500	48 500	55 000	59 000
29,7	31,2	3,3	359	3,350	19 400	45 000	52 000	58 000	63 000
30,6	32,1	3,4	381	3,550	20 500*	48 000*	55 000*	62 000*	67 000
31,5	33,1	3,5	404	3,750	22 000	51 000	58 000	65 000	71 000
35,1	36,9	3,9	502	4,650	27 000	63 000			

(1) Pour l'acier doux recuit, diviser par 2 la charge de rupture indiquée pour l'acier doux.

* Ces câbles font l'objet de la norme AFNOR : A 47-201.

L'AFNOR adopte pour diamètre nominal, le diamètre pratique maximum.

TABLEAU II



TORON DE 19 FILS

(1 + 6 + 12)

Diamètres		Section du câble (mm ²)	Poids au mètre (kg)	Acier doux (1)	Charge de rupture effective (kg)			
Câble (mm)	Fils (mm)				140 kg/mm ²	160 kg/mm ²	180 kg/mm ²	200 kg/mm ²
1,00	0,20	0,60	0,005	44	78	88	100	105
1,25	0,25	0,93	0,008	68	120	135	155	165
1,50	0,30	1,34	0,011	100*	175*	195*	220*	240*
1,75	0,35	1,83	0,016	135*	235*	270*	305*	325*
2,00	0,40	2,39	0,020	175*	310*	350*	395*	425*
2,25	0,45	3,02	0,026	225*	390*	445*	500*	540*
2,50	0,5	3,73	0,032	275*	480*	550*	620*	670*
3,00	0,6	5,37	0,046	395*	690*	790*	890*	960*
3,50	0,7	7,31	0,062	540*	940*	1 050*	1 200*	1 300*
4,00	0,8	9,55	0,081	710*	1 250*	1 400*	1 600*	1 700
4,50	0,9	12,1	0,105	900*	1 550*	1 800*	2 000*	2 150
5,00	1,0	14,9	0,125	1 100*	1 900*	2 200*	2 450*	2 650
5,50	1,1	18,1	0,155	1 350*	2 350*	2 650*	3 000*	3 250
6,00	1,2	21,5	0,185	1 600*	2 750*	3 150*	3 550*	3 850
6,50	1,3	25,2	0,215	1 850*	3 250*	3 700*	4 150*	4 500
7,00	1,4	29,2	0,250	2 150*	3 750*	4 300*	4 800*	5 200
7,50	1,5	33,6	0,285	2 500*	4 350*	4 950*	5 500*	6 000
8,00	1,6	38,2	0,325	2 650*	4 950*	5 600*	6 300*	6 800
8,50	1,7	43,1	0,365	2 950	5 600	6 300	7 100	7 700
9,00	1,8	48,4	0,410	3 350*	6 200*	7 100*	8 000*	8 700
9,50	1,9	53,9	0,460	3 700	6 900	7 900	8 900	9 600
10,0	2,0	59,7	0,510	3 900*	7 700*	8 800*	9 800*	10 800
10,5	2,1	65,8	0,560	4 200	8 500	9 700	10 800	11 800
11,0	2,2	72,2	0,610	4 600*	9 300*	10 600*	12 000	13 000
11,5	2,3	78,9	0,670	5 100	10 200	11 600	13 000	14 200
12,0	2,4	86,0	0,730	5 500*	11 000*	12 600*	14 200	15 400
12,5	2,5	93,3	0,790	5 900	12 000	13 700	15 400	16 600
13,0	2,6	101	0,860	6 100	13 000	14 800	16 600	18 000
13,5	2,7	109	0,930	6 500*	14 000*	16 000*	18 000	19 600
14,0	2,8	117	0,990	7 000	15 000	17 200	19 400	21 000
14,5	2,9	125	1,060	7 500	16 200	18 400	20 500	22 500
15,0	3,0	134	1,140	8 000*	17 200*	19 800*	22 000	24 000
15,5	3,1	143	1,220	8 500	18 400	21 000	23 500	25 500
16,0	3,2	153	1,300	8 800	19 800	22 500	25 000	27 500
16,5	3,3	162	1,380	9 000	21 000	24 000	26 500	29 000
17,0	3,4	173	1,470	9 500*	22 500*	25 500*	28 500	31 000
17,5	3,5	183	1,560	10 000	23 500	27 000	30 000	33 000
18,0	3,6	193	1,640	10 600	25 000	28 500	32 000	
19,0	3,8	215	1,830	11 800	27 500	31 500	35 500	
20,0	4,0	239	2,030	13 200	31 000	35 000	39 500	
21,0	4,2	263	2,240	14 400	34 000	38 500	43 500	
22,5	4,5	302	2,570	16 600	39 000	44 500	50 000	
25,0	5,0	373	3,170	20 500	48 000	55 000	62 000	

(1) Pour l'acier doux recuit, diviser par 2 la charge de rupture indiquée pour l'acier doux.

* Ces câbles font l'objet de la norme AFNOR : A 47-152.

Nous indiquons ci-après les valeurs des modules d'élasticité apparents à retenir pour les types de câbles les plus courants.

TABLEAU III

TABLEAU DES MODULES D'ÉLASTICITÉ APPARENTS

Compositions	Nature de l'âme centrale	Module d'élasticité (kg/mm ²)
Fils d'acier	—	20 000
Torons de (1 + 6) fils	—	13 000
Torons de 19 fils	—	16 000
Torons de 37 fils	—	15 000
Câbles (1 + 6) torons de (1 + 6) fils	toron métallique	13 800
Câbles (1 + 6) torons de 19 fils	toron métallique	13 000
Câbles 6 torons de 19 fils	métallique câblée	12 300
Câbles 6 torons de (1 + 6) fils	textile	10 800
Câbles 6 torons de 19 fils	textile	10 000
Câbles 6 torons de 37 fils	textile	9 200
Câbles 6 torons de 61 fils	textile	8 700
Câbles 8 torons de 19 fils	textile	7 800
Câbles 8 torons de 19 fils	métallique câblée	12 000
Câbles Nuflex	textile	12 000

Tous les calculs de flèches et de tensions de câbles porteurs seront établis pour des câbles monotorons 19 fils de dimensions normalisées disponibles couramment dans le commerce ou, à défaut, à la Société des Hauts Fourneaux de la Chiers, Service commercial câbles, 25, faubourg de Lyon, Bourg-en-Bresse (Ain).

Le diamètre d'un câble est le diamètre du cercle circonscrit à la section droite du câble : il importe d'en tenir compte lors de la mesure avec un pied à coulisse (voir fig. 4).

La longueur L de câble d'acier que peut recevoir un tambour ou une bobine est donnée par la formule suivante :

$$L = \frac{(D^2 - d^2) b}{4\,000 S^2}$$

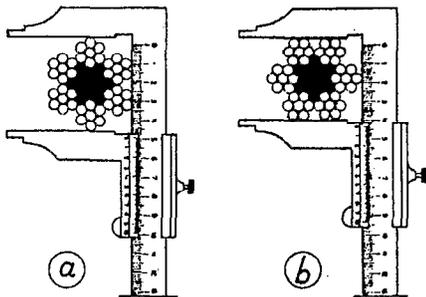
dans laquelle (fig. 4 bis)

D = diamètre des joues en m

d = diamètre du fût

b = largeur entre joues

S = diamètre du câble.



a) méthode correcte · b) méthode incorrecte

Fig. 4. — Mesure du diamètre d'un câble

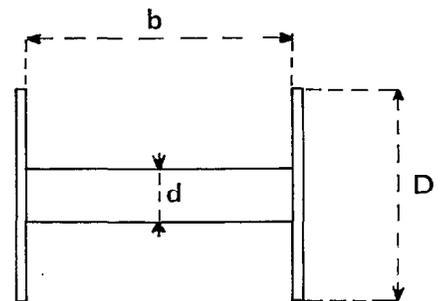


Figure 4 bis

4.1.1. Entretien des câbles

Un câble acier doit être conservé dans un endroit sec, exempt d'émanations d'acides. Il ne doit pas être stocké directement sur le sol même cimenté. Il doit être isolé en le posant sur des pièces de bois.

En service, sur un tambour, éviter les chevauchements et croisements. Ne jamais laisser un câble électroporteur enroulé sous forte tension. Après chaque mesure poser le saumon sur le sol au pied du treuil. Éviter les flexions en sens opposé, par exemple sur des poulies très rapprochées.

Les câbles doivent être graissés à intervalles réguliers suffisamment rapprochés. Les câbles galvanisés doivent être graissés aussi souvent que les câbles en acier clair. Pour graisser un câble porteur de téléphérique, fixer au chariot un chiffon copieusement imbibé de graisse et le faire circuler plusieurs fois sur le câble. Cependant, il convient de ne pas trop graisser le câble tracteur, car cela pourrait occasionner des glissements sur le touret du treuil de manœuvre.

4.1.2. Manutention

Le diamètre des tambours de treuil ou des poulies ne doit pas être inférieur à 500 fois le diamètre de l'un des fils élémentaires composant le câble. Les câbles sont livrés en couronnes, tourets ou bobines. Le déroulement d'un câble lors de sa pose est une opération délicate qui doit être menée avec méthode et précaution (fig. 5). Il faut éviter que le câble ne prenne du mou car il y aurait risque de formation d'une boucle qui, même redressée, constituerait toujours un point de plus grande usure.

4.1.3. Serre-câbles

Une boucle sur un câble souple (pour fixation à un tendeur par exemple) peut être réalisée en ayant recours à des serre-câbles et des cosses en cœur de dimensions appropriées. Le nombre de serre-câbles à mettre en place sur une extrémité du câble doit être conforme aux indications du tableau IV. On doit bien veiller en outre à ce que le brin tirant du câble repose sur les plaques de serrage et ne risque pas d'être déformé par les étriers (voir fig. 5). Il est nécessaire de ménager entre deux serre-câbles à poser sur un câble de diamètre D un intervalle minimum de 6 à 8 D ; enfin, ne pas oublier que l'usage de serre-câbles inflige à la charge de rupture effective une perte de 15 à 20%.

TABLEAU IV

NOMBRE DE SERRE-CABLES

Diamètres des câbles (en mm)	Nombre de serre-câbles	
	Câbles ordinaires sur âme textile	Câbles antigiratoires à haute résistance sur âme métallique
5 à 12	3	4
12 à 20	4	5
20 à 25	5	6
25 à 35	6	7
35 à 50	7	8

4.1.4. Coupe

Si une coupe est nécessaire sur un câble de diamètre D, on devra exécuter une ou plusieurs ligatures de longueur suffisante (4 D environ) en utilisant un fil d'acier doux recuit de diamètre approprié (environ 0,05 D). Prendre soin de ligaturer en sens inverse de celui du câblage.

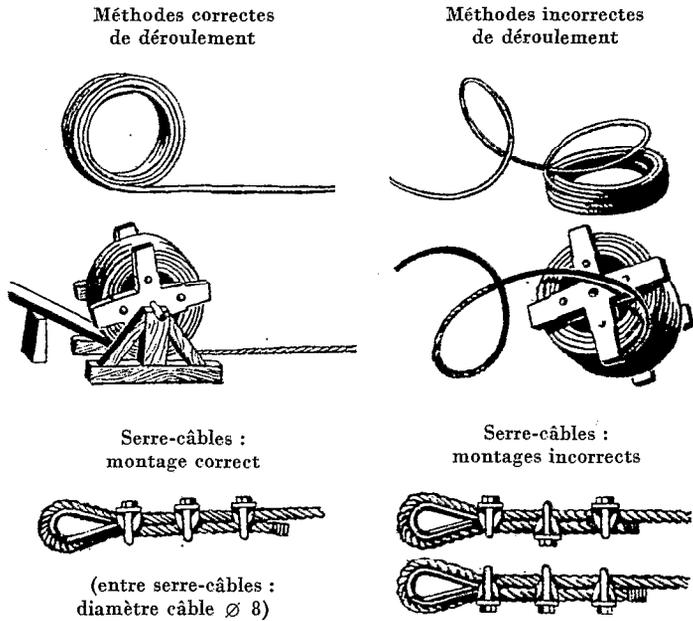


Figure 5

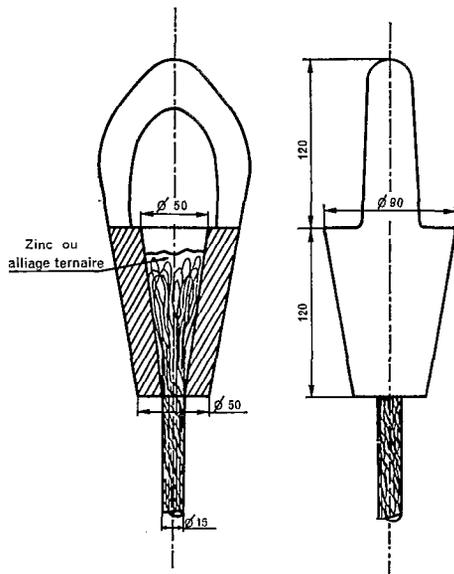


Fig. 6. — Douille pour fixation du câble porteur (cotes données pour câble de 15 mm)

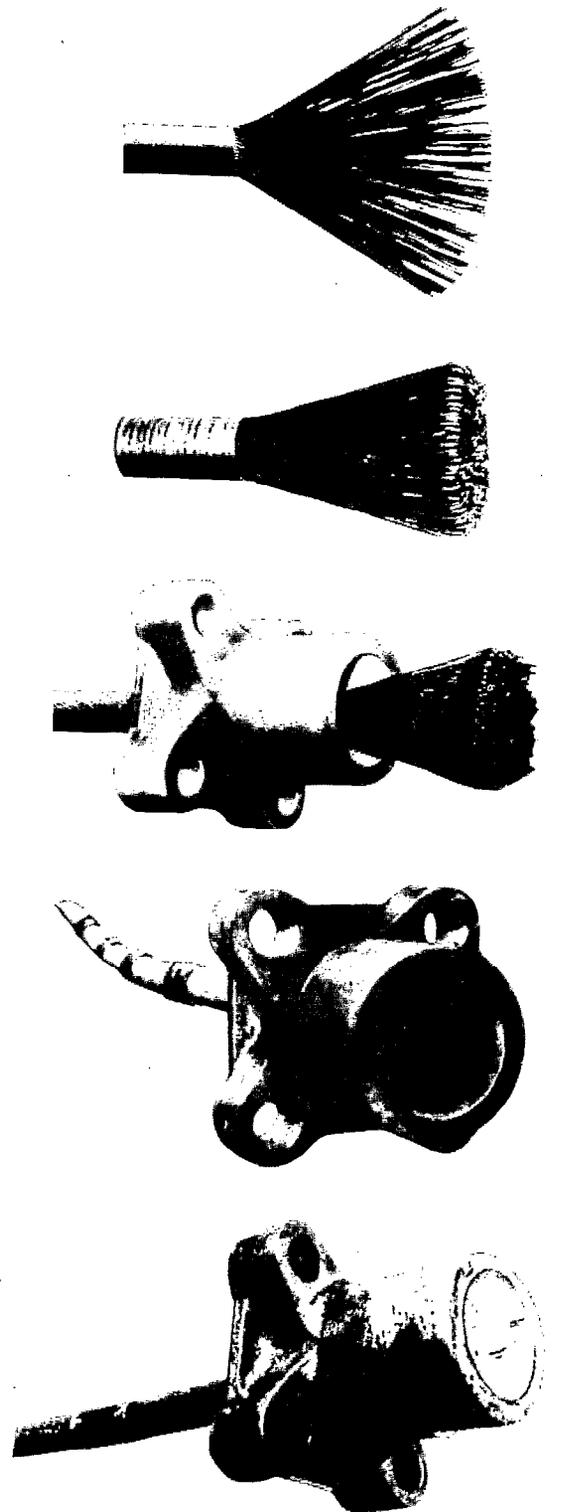


Fig. 7. — Phases successives d'une opération de culottage d'un câble porteur de pont suspendu

4.1.5. Culottage

La pose des douilles pour raccord du câble au tendeur (câble monotoron) se fait par culottage. La figure 6 montre la forme des douilles utilisées pour un câble de 15 mm. La douille doit être capable de supporter l'effort d'éclatement du coin et les efforts de flexion engendrés par les accessoires d'attache.

Les dimensions normales de la cavité pour réaliser une attache confortable sont les suivantes :

- diamètre de la grande base 2,5 à 3 fois le diamètre du câble ;
- diamètre de la petite base 1,10 à 1,15 fois le diamètre du câble ;
- hauteur de la cavité : 6 à 8 fois le diamètre du câble.

La première phase du travail consiste à décâbler les fils sur une longueur un peu supérieure à celle du culot, puis à les replier à leur extrémité sur une longueur égale à 10 diamètres environ, de façon à former une gerbe tronconique. Cette gerbe est ensuite enfoncée dans la cavité du culot. Il reste à parachever son coincement par coulée correcte d'un métal ou d'un alliage fluide fondant à basse température. Les métaux les plus employés sont : le zinc électrolytique et l'alliage ternaire (plomb 83,7%, étain 7%, antimoine 9,3%). La densité de cet alliage est de 10,2 et son point de fusion 233-245 °C ; il se coule à 340-350 °C.

Nous avons réalisé sur la Betsiboka et l'Ikopa des culottages de ce type sans trop de difficulté. Pour arriver à un bon résultat, il faut prendre les précautions suivantes :

- Bien nettoyer la touffe de fils et la douille avec de l'essence.
- Caler la douille dans une position verticale, à une hauteur suffisamment grande pour qu'à la sortie de la douille le câble pende au-dessus du sol sur une distance égale à 50 fois son diamètre, en direction verticale. Bien caler la touffe de fils dans le cône.
- Rendre étanche la sortie du câble hors de la douille (cordon d'amiante et terre glaise).
- Chauffer le cône de manière régulière à environ 250 °C avec une lampe à souder, de façon que le métal de scellement ne se refroidisse pas prématurément au contact des points les plus froids (à 250 °C le papier est grillé au contact du cône, une baguette de soudure à l'étain fond).
- Le zinc doit être coulé entre 460 et 480 °C.
- L'alliage ternaire entre 340 et 350 °C. (Le papier se calcine rapidement dans le bain de zinc à 480 °C environ.)
- Couler le métal dans la douille maintenue chaude. Dès que la coulée est terminée, continuer à chauffer pour permettre aux bulles d'air de se dégager de la masse.
- Eviter pendant la coulée et la solidification toute secousse au câble et à la douille. Le cône doit refroidir lentement à l'air ; *il ne faut pas le tremper dans l'eau.*

La figure 7 montre les phases successives de culottage d'un câble de pont suspendu. Pour les stations téléphériques équipées de câbles monotorons les opérations sont identiques.

4.2. CALCUL DES TENSIONS ET DES FLÈCHES

Dans les calculs qui suivent nous admettons que les appuis ou ancrages sont au même niveau. Lors de la recherche de l'emplacement, il faut trouver un site qui permette de réaliser facilement cette condition.

La courbe représentée par un câble reposant sur deux appuis et tendu fortement est une chaînette.

Dans les calculs mécaniques des lignes électriques, on admet généralement que la courbe d'équilibre d'un câble tendu entre deux appuis est très voisine d'une parabole dont l'équation est obtenue en arrêtant au second terme le développement en série de l'équation de la chaînette. Cette substitution présentait l'avantage d'une simplification des calculs à l'époque où les ordinateurs n'avaient pas encore fait leur apparition dans le domaine du calcul scientifique et industriel.

Nous avons pensé qu'avec les moyens de calcul dont nous disposons actuellement il est préférable de calculer les flèches et les tensions des câbles directement à partir de l'équation générale des câbles tendus.

4.2.1. Equation générale des câbles tendus :

Considérons un câble de masse ρ par unité de longueur tendu entre les points A et B situés au même niveau et distants de $L = 2 \ell$ (fig. 8). θ est la tension du câble dirigée suivant la tangente à la courbe. Ecrivons l'équilibre du petit élément ds sous l'action des forces qui lui sont appliquées θ , tension du fil et ρg poids par unité de longueur

$$\theta(s+ds) \vec{T}(s+ds) - \theta(s) \vec{T}(s) + \vec{\rho}g ds = 0$$

$$\Rightarrow \frac{d}{ds} [\theta(s) \vec{T}(s)] + \vec{\rho}g = 0$$

si \mathcal{R} est le rayon de courbure de l'élément ds

$$\frac{d\theta}{ds} \vec{T} + \frac{\theta}{\mathcal{R}} \vec{N} + \vec{\rho}g = 0.$$

On multiplie scalairement par $\vec{T}(s)$

$$\frac{d\theta}{ds} + \vec{\rho}g \cdot \vec{T} = 0 \Rightarrow \frac{d\theta}{ds} = \rho g \frac{dz}{ds}$$

si $\rho = \rho_0$

on a :

$$\theta = \rho_0 g z + C$$

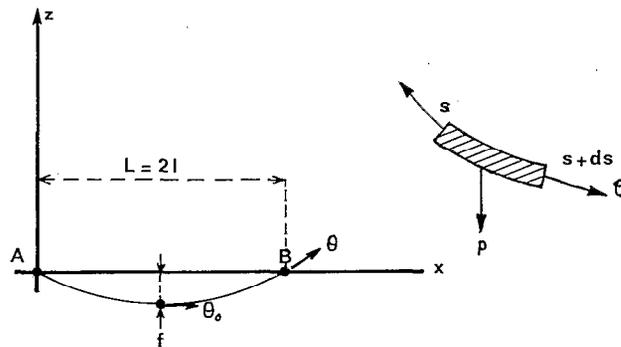


Figure 8

Cette relation donne la variation de la tension en fonction de z . On remarque que si la flèche f est petite, cette tension est pratiquement constante : $\theta \simeq \theta_0$

Projetons la relation vectorielle $\frac{d}{ds} (\theta(s) \vec{T}(s)) + \vec{\rho}g = 0$ sur les axes \vec{Ox} et \vec{Oz} , on obtient :

$$\text{axe } Ox \rightarrow \frac{d}{ds} \left(\theta \frac{dx}{ds} \right) = 0 \Rightarrow \theta \frac{dx}{ds} = \theta_0 = C$$

(θ_0 est la tension à vide).

$$\text{axe } Oz \rightarrow \frac{d}{ds} \left(\theta \frac{dz}{ds} \right) = \rho g.$$

$$\Rightarrow \frac{d}{ds} \left(\theta \frac{dx}{ds} \frac{dz}{dx} \right) = \frac{d}{ds} \left(\theta \frac{dx}{ds} \right) \frac{dz}{dx} + \theta \frac{dx}{ds} \frac{d}{ds} \frac{dz}{dx} = \rho g$$

Or

$$\frac{d}{ds} \left(\theta \frac{dx}{ds} \right) = 0 \quad \text{et} \quad \theta \frac{dx}{ds} = \theta_0$$

d'où :

$$\theta_0 \frac{dx}{ds} \frac{d^2z}{dx^2} = \rho g.$$

En faisant l'hypothèse que $\rho = \rho_0$ on obtient :

$$\frac{dz}{dx} = \text{sh} \left(\frac{\rho g x}{\theta_0} + \alpha_1 \right) \quad (1)$$

en intégrant :

$$Z = \frac{\theta_0}{\rho g} \text{ch} \left(\frac{\rho g x}{\theta_0} + \alpha_1 \right) + \alpha_2. \quad (2)$$

C'est l'équation de la chaînette qui permet de calculer la cote Z d'un point d'abscisse x en fonction de trois paramètres θ_0 , α_1 et α_2 qui seront définis à partir de deux points et d'une autre grandeur : longueur de l'arc, flèche ou tension.

Pour $x = 0$ et $z = 0$ l'équation (2) s'écrit :

$$0 = \frac{\theta_0}{\rho g} \text{ch}(\alpha_1) + \alpha_2$$

Pour $x = \ell$, $\frac{dz}{dx} = 0$ l'équation (1) s'écrit :

$$0 = \text{sh} \left(\frac{\rho g \ell}{\theta_0} + \alpha_1 \right)$$

$$\Rightarrow \alpha_1 = -\frac{\rho g \ell}{\theta_0}$$

d'où

$$\alpha_2 = -\frac{\theta_0}{\rho g} \text{ch} \left(\frac{\rho g \ell}{\theta_0} \right)$$

En portant ces valeurs dans l'équation (2), on obtient :

$$Z = \frac{\theta_0}{\rho g} \left[\text{ch} \frac{\rho g}{\theta_0} (x - \ell) - \text{ch} \left(\frac{\rho g \ell}{\theta_0} \right) \right] \quad (3)$$

ℓ est la valeur de référence pour les longueurs.

Nous allons établir les expressions donnant la flèche à vide f_v et la longueur du câble à vide ℓ_v dans l'hypothèse simplificatrice suivante : la tension du câble est constante tout au long du câble et égale à θ_0 (tension à vide).

On a : $f_v = -Z$ pour $x = \ell$

$$f_v = \frac{\theta_0}{\rho g} \left[\text{ch} \frac{\rho g \ell}{\theta_0} - 1 \right] \quad (5)$$

$$\ell_v = \int_0^{\ell} ds = \frac{\theta_0}{\rho g} \frac{d^2 z}{dx^2} dx = \int_0^{\ell} \operatorname{ch} \frac{\rho g}{\theta_0} (x - \ell) dx$$

$$\ell_v = \frac{\theta_0}{\rho g} \left[\operatorname{sh} \frac{\rho g}{\theta_0} (x - \ell) \right]_0^{\ell}$$

$$\boxed{\ell_v = \frac{\theta_0}{\rho g} \operatorname{sh} \frac{\rho g \ell}{\theta_0}} \quad (6)$$

Définissons également la longueur du câble au repos ℓ_0 dans l'hypothèse où la tension t est constante

On a :

$$\ell_0 \cong \frac{\ell_v}{1 + \frac{t}{SE}} \cong \frac{\frac{\theta_0}{\rho g} \operatorname{sh} \frac{\rho g \ell}{\theta_0}}{1 + \frac{\theta_0}{SE}}$$

S section du câble, E module d'élasticité.

De la même manière, nous définirons les flèches en charge f_c , la longueur du câble en charge ℓ_c en fonction de la tension en charge θ_c , de la charge P concentrée au milieu de la portée et de la charge répartie sur le câble ω_c (poids du câble + effort dû au vent : $\omega_c = \sqrt{\rho g^2 + T^2}$, T force de traînée du vent supposée horizontale).

Pour $x = 0$ $z = 0 \Rightarrow \frac{\theta}{\rho g} \operatorname{ch}(\alpha_1) + \alpha_2 = 0$

Pour $x = \ell$ avec une charge P concentrée, on a :

$$\begin{aligned} \theta \frac{dz}{ds} &= -\frac{P}{2} \Rightarrow \theta \frac{dx}{ds} \frac{dz}{dx} = -\frac{P}{2} \\ \Rightarrow \theta_c \frac{dz}{dx} &= -\frac{P}{2} \quad \text{avec} \quad \theta_c = \theta \frac{dx}{ds} = C = \text{tension en charge} \\ \Rightarrow \theta_c \operatorname{sh} \left(\frac{\omega_c \ell}{\theta_c} + \alpha_1 \right) &= -\frac{P}{2} \end{aligned}$$

La flèche en charge $f_c = -Z$ pour $x = \ell$

$$\begin{aligned} Z = -f_c &= \frac{\theta_c}{\omega_c} \left[\operatorname{ch} \left(\operatorname{arg} \operatorname{sh} \frac{P}{2 \theta_c} \right) - \operatorname{ch} \left(\operatorname{arg} \operatorname{sh} \frac{P}{2 \theta_c} - \frac{\omega_c \ell}{\theta_c} \right) \right] \\ \Rightarrow \boxed{Z = -f_c} &= \frac{\theta_c}{\omega_c} \left[\operatorname{ch} \left(\operatorname{arg} \operatorname{sh} \frac{P}{2 \theta_c} \right) - \operatorname{ch} \left(\operatorname{arg} \operatorname{sh} \frac{P}{2 \theta_c} + \frac{\omega_c \ell}{\theta_c} \right) \right] \end{aligned} \quad (7)$$

Longueur du câble

$$\begin{aligned} \ell_c &= \frac{\theta_c}{\omega_c} \left[\operatorname{sh} \left(\frac{\omega_c}{\theta_c} x + \alpha_1 \right) \right]_0^{\ell} \\ \ell_c &= \frac{\theta_c}{\omega_c} \left[\operatorname{sh} \left(\frac{\omega_c \ell}{\theta_c} + \alpha_1 \right) - \operatorname{sh} \alpha_1 \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\ell_c &= \frac{\theta_c}{\omega_c} \left[\operatorname{sh} \left(\frac{\omega_c \ell}{\theta_c} + \operatorname{arg sh} \frac{-P}{2 \theta_c} - \frac{\omega_c \ell}{\theta_c} \right) - \operatorname{sh} \left(\operatorname{arg sh} \frac{-P}{2 \theta_c} - \frac{\omega_c \ell}{\theta_c} \right) \right] \\
\Rightarrow \ell_c &= \frac{\theta_c}{\omega_c} \left[\operatorname{sh} \operatorname{arg sh} \frac{-P}{2 \theta_c} + \operatorname{sh} \left(\operatorname{arg sh} \frac{P}{2 \theta_c} + \frac{\omega_c \ell}{\theta_c} \right) \right] \\
\Rightarrow \ell_c &= \frac{\theta_c}{\omega_c} \left[\frac{-P}{2 \theta_c} + \operatorname{sh} \left(\operatorname{arg sh} \frac{P}{2 \theta_c} + \frac{\omega_c \ell}{\theta_c} \right) \right] \\
\Rightarrow \ell_c &= \frac{\theta_c}{\omega_c} \operatorname{sh} \left(\operatorname{arg sh} \frac{P}{2 \theta_c} + \frac{\omega_c \ell}{\theta_c} \right) - \frac{P}{2 \omega_c} \quad (8)
\end{aligned}$$

Les deux équations (5) et (7) vont permettre le calcul des flèches maximales à vide et en charge en fonction des tensions et des portées.

Rappelons qu'avec les notations que nous avons utilisées, les flèches à vide et en charge sont données, lorsqu'on assimile l'arc de chaînette à un arc de parabole, par les relations :

$$f_v = \frac{L^2 P}{8 \theta_v} \Leftrightarrow \theta_v = \frac{L^2 P}{8 f_v} \quad (9)$$

$$f_c = \frac{L}{4 \theta_c} \left(P + \frac{\rho_c L}{2} \right) \Leftrightarrow \theta_c = \frac{L}{4 \rho_c} \left(P + \frac{\rho_c L}{2} \right) \quad (10)$$

Dans ces formules L est la portée entre appuis, alors que dans les équations (5) et (7) $\ell = \frac{L}{2}$.

4.2.2. Application de ces résultats aux calculs des stations téléphériques

Nous calculerons les flèches dans les conditions de fonctionnement suivantes :

4.2.2.1. Effort dû au vent. Nous supposons qu'il est possible de jauger par un vent soufflant horizontalement à la vitesse de 150 km/h (42,0 m/s). Cette vitesse est atteinte fréquemment dans les régions soumises aux cyclones tropicaux.

La force de traînée s'exerçant sur un profil cylindrique de grande longueur est donnée par la formule :

$$T = \frac{1}{2} C_x \rho S V^2$$

ρ masse volumique de l'air

S maître couple du profil cylindrique

V vitesse du vent

C_x coefficient de résistance, de l'ordre de 1,2 pour les nombres de Reynolds rencontrés ici, ce qui donne pour un vent de 150 km/h et pour un tronçon de câble de 1 m

$$T = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot D \cdot \left(\frac{150}{3,6} \right)^2$$

$$T \cong 1\,250 \times D \text{ N/m.}$$

D diamètre du câble.

La pression, dirigée horizontalement, exercée par le vent sur le câble porteur est donc égale à 1 250 Pa (1).

(1) Nous rappelons que 1 pascal (Pa) = 1 N/m² = 10⁻⁵ bar
1 newton (N) = 10⁵ dynes = 0,102 kgf

Dans cette hypothèse, la charge répartie due au poids propre du câble ρg et à la poussée du vent T sera égale à :

$$\omega_c = \sqrt{(\rho g)^2 + T^2}$$

par mètre linéaire de câble porteur.

4.2.2.2. Charge concentrée : la mesure sera effectuée dans les conditions suivantes :

- jaugeage avec un saumon de masse 100 kg ;
- effort dû au courant, aux herbes et aux corps flottants dont la composante verticale est égale à 3 500 N ;
- masse du chariot et accessoires 50 kg.

La charge concentrée est égale dans ces conditions à :

$$P = 1\ 000 + 3\ 500 + 500 = 5\ 000\ N.$$

4.2.2.3. Calcul des flèches en charge

Les tableaux V_1 à V_3 donnent les flèches maximales en charge calculées à l'aide de l'équation (7) dans les conditions définies ci-dessus : vent de 1 250 Pa et charge concentrée de 5 000 N en fonction des tensions et des portées pour quelques câbles usuels.

A l'aide de ces tableaux, connaissant la flèche maximale possible à partir de la topographie des lieux, du niveau des plus hautes eaux, on déterminera la tension maximale à laquelle sera soumis le câble en fonction de la portée et on choisira le câble sachant que la tension maximale doit être au plus égale à $\frac{R}{3}$, R étant la charge de rupture du câble considéré. Le coefficient de sécurité pour le câble porteur est donc pris égal à 3.

Nous avons également fait les calculs avec la formule simplifiée (10). Les écarts sur les valeurs de la flèche sont peu importants, de l'ordre de quelques centimètres, avec les câbles de faible diamètre pour R/3 et les grandes portées, nuls pour les portées supérieures à 100 m avec les câbles de gros diamètres. Ces résultats sont intéressants, car ils montrent que si l'on est amené à utiliser un câble différent de ceux que nous avons étudiés ici, les calculs peuvent être faits en toute sécurité à partir des formules simplifiées. Le tableau VI donne pour les 8 câbles, les flèches en charge avec une tension égale à R/3 et pour des portées de 25 à 250 m.

A vide de charge la tension et la flèche seront nettement plus faibles. Pour la mise en place du câble, il est nécessaire de connaître cette flèche afin de fixer le câble de telle façon que la tension maximale dans les conditions de fonctionnement les plus défavorables n'excède jamais le 1/3 de la charge de rupture.

TABLEAU V-1

CABLE NO 1 1 TORON 19 FILS (1+6+12)
CARACTERISTIQUES PHI=8.0MM Q=3.25N/M R=49 500N S=38.2MM2

```

*****
*
* TC * FLECHE EN CHARGE EN M POUR LES PORTEES SUIVANTES EN M *
*
* 1000N* 25 * 50 * 75 * 100 * 125 * 150 * 175 * 200 * 225 * 250 *
*
*****
*
* 2.0 *16.29 *33.97 *53.12 *73.80 *96.12 * ***** *
* 4.0 * 8.06 *16.61 *25.66 *35.22 *45.31 *55.93 *67.09 *78.81 *91.10 *
* 6.0 * 5.36 *11.01 *16.97 *23.23 *29.81 *36.69 *43.88 *51.40 *59.23 *67.39 *
* 8.0 * 4.01 * 8.24 *12.69 *17.36 *22.24 *27.35 *32.68 *38.24 *44.01 *50.02 *
* 10.0 * 3.21 * 6.59 *10.14 *13.86 *17.75 *21.82 *26.06 *30.47 *35.06 *39.82 *
*
* 12.0 * 2.67 * 5.49 * 8.44 *11.54 *14.78 *18.16 *21.68 *25.34 *29.14 *33.09 *
* 14.0 * 2.29 * 4.70 * 7.23 * 9.88 *12.65 *15.55 *18.56 *21.69 *24.94 *28.32 *
* 16.0 * 2.01 * 4.11 * 6.33 * 8.65 *11.07 *13.59 *16.23 *18.96 *21.91 *24.75 *
*****

```

TABLEAU V-2

CABLE NO 2. 1 TORON 19 FILS (1+6+12)
 CARACTERISTIQUES PHI=10.0MM Q=5.10N/M R=77 000N S=59.7MM2.

```
*****
*
* TC *          FLECHE EN CHARGE EN M POUR LES PORTEES SUIVANTES EN M
*
* 1000N* 25 * 50 * 75 * 100 * 125 * 150 * 175 * 200 * 225 * 250
*
*****
*
* 8.0 * 4.04 * 8.37 *12.97 *17.86 *23.02 *28.48 *34.22 *40.26 *46.59 *53.22 *
* 10.0 * 3.23 * 6.69 *10.36 *14.25 *18.36 *22.70 *27.26 *32.04 *37.06 *42.30 *
* 12.0 * 2.69 * 5.57 * 8.62 *11.86 *15.28 *18.88 *22.66 *26.63 *30.78 *35.12 *
* 14.0 * 2.31 * 4.77 * 7.39 *10.16 *13.08 *16.15 *19.40 *22.79 *26.33 *30.04 *
* 16.0 * 2.02 * 4.17 * 6.46 * 8.88 *11.44 *14.13 *16.95 *19.92 *23.01 *26.25 *
*
* 18.0 * 1.79 * 3.71 * 5.74 * 7.89 *10.16 *12.55 *15.06 *17.69 *20.44 *23.31 *
* 20.0 * 1.61 * 3.34 * 5.17 * 7.10 * 9.14 *11.29 *13.55 *15.91 *18.38 *20.96 *
* 22.0 * 1.47 * 3.03 * 4.70 * 6.45 * 8.31 *10.26 *12.31 *14.46 *16.70 *19.05 *
* 24.0 * 1.35 * 2.78 * 4.30 * 5.92 * 7.62 * 9.41 *11.28 *13.25 *15.31 *17.45 *
* 26.0 * 1.24 * 2.57 * 3.97 * 5.46 * 7.03 * 8.68 *10.41 *12.23 *14.13 *16.10 *
*
*****
```

TABLEAU V-3

CABLE NO 3 1 TORON 19 FILS (1+6+12)
 CARACTERISTIQUES PHI=12.0MM Q=7.30N/M R=110 000N S=86.0MM2

```
*****
*
* TC *          FLECHE EN CHARGE EN M POUR LES PORTEES SUIVANTES EN M
*
* 1000N* 25 * 50 * 75 * 100 * 125 * 150 * 175 * 200 * 225 * 250
*
*****
*
* 4.0 * 8.20 *17.19 *27.00 *37.65 *49.17 *61.59 *74.95 *89.28 ****** *
* 8.0 * 4.08 * 8.50 *13.27 *18.39 *23.86 *29.69 *35.88 *42.44 *49.37 *56.67 *
* 12.0 * 2.72 * 5.65 * 8.82 *12.20 *15.81 *19.65 *23.72 *28.01 *32.54 *37.30 *
* 16.0 * 2.04 * 4.24 * 6.60 * 9.14 *11.84 *14.70 *17.73 *20.94 *24.30 *27.84 *
* 20.0 * 1.63 * 3.39 * 5.28 * 7.30 * 9.46 *11.75 *14.17 *16.72 *19.41 *22.23 *
*
* 24.0 * 1.36 * 2.82 * 4.40 * 6.08 * 7.88 * 9.78 *11.80 *13.92 *16.15 *18.50 *
* 28.0 * 1.16 * 2.42 * 3.77 * 5.21 * 6.75 * 8.38 *10.11 *11.92 *13.84 *15.85 *
* 32.0 * 1.02 * 2.12 * 3.30 * 4.56 * 5.91 * 7.33 * 8.84 *10.43 *12.10 *13.86 *
* 36.0 * 0.90 * 1.88 * 2.93 * 4.05 * 5.25 * 6.52 * 7.86 * 9.27 *10.76 *12.32 *
* 40.0 * 0.81 * 1.69 * 2.64 * 3.65 * 4.72 * 5.87 * 7.07 * 8.34 * 9.68 *11.08 *
*
*****
```

TABLEAU V-4

CABLE NO 4 1 TORON 19 FILS (1+6+12)
CARACTERISTIQUES PHI=13.5MM Q=9.30N/M R=140 000N S=109MM2

```

*****
*
* TC *          FLECHE EN CHARGE EN M POUR LES PORTEES SUIVANTES EN M
*
* 1000N* 25 * 50 * 75 * 100 * 125 * 150 * 175 * 200 * 225 * 250 *
*
*****
*
* 5.0 * 6.59 *13.87 *21.85 *30.56 *40.01 *50.23 *61.23 *73.06 *85.72 *99.26 *
* 10.0 * 3.28 * 6.87 *10.78 *15.00 *19.55 *24.41 *29.60 *35.12 *40.96 *47.14 *
* 15.0 * 2.18 * 4.57 * 7.17 * 9.97 *12.97 *16.18 *19.60 *23.23 *27.07 *31.12 *
* 20.0 * 1.64 * 3.43 * 5.37 * 7.47 * 9.71 *12.11 *14.67 *17.38 *20.24 *23.26 *
* 25.0 * 1.31 * 2.74 * 4.29 * 5.97 * 7.77 * 9.68 *11.72 *13.88 *16.17 *18.58 *
*
* 30.0 * 1.09 * 2.29 * 3.58 * 4.97 * 6.47 * 8.07 * 9.76 *11.56 *13.46 *15.46 *
* 35.0 * 0.94 * 1.96 * 3.07 * 4.26 * 5.54 * 6.91 * 8.37 * 9.91 *11.53 *13.25 *
* 40.0 * 0.82 * 1.71 * 2.68 * 3.73 * 4.85 * 6.05 * 7.32 * 8.67 *10.09 *11.59 *
* 45.0 * 0.73 * 1.52 * 2.39 * 3.31 * 4.31 * 5.37 * 6.50 * 7.70 * 8.97 *10.30 *
* 50.0 * 0.66 * 1.37 * 2.15 * 2.98 * 3.88 * 4.84 * 5.85 * 6.93 * 8.07 * 9.27 *
*
*****

```

TABLEAU V-5

CABLE NO 5 1 TORON 19 FILS (1+6+12)
CARACTERISTIQUES PHI=15.0MM Q=11.4N/M R=172 000N S=134MM2

```

*****
*
* TC *          FLECHE EN CHARGE EN M POUR LES PORTEES SUIVANTES EN M
*
* 1000N* 25 * 50 * 75 * 100 * 125 * 150 * 175 * 200 * 225 * 250 *
*
*****
*
* 15.0 * 2.20 * 4.63 * 7.30 *10.20 *13.33 *16.70 *20.31 *24.15 *28.24 *32.57 *
* 20.0 * 1.65 * 3.47 * 5.47 * 7.64 * 9.98 *12.50 *15.19 *18.06 *21.10 *24.33 *
* 25.0 * 1.32 * 2.78 * 4.37 * 6.11 * 7.98 * 9.99 *12.14 *14.43 *16.85 *19.42 *
* 30.0 * 1.10 * 2.31 * 3.64 * 5.08 * 6.64 * 8.32 *10.11 *12.01 *14.03 *16.17 *
* 35.0 * 0.94 * 1.98 * 3.12 * 4.36 * 5.69 * 7.13 * 8.66 *10.29 *12.02 *13.85 *
*
* 40.0 * 0.83 * 1.73 * 2.73 * 3.81 * 4.98 * 6.24 * 7.58 * 9.00 *10.52 *12.11 *
* 45.0 * 0.73 * 1.54 * 2.43 * 3.39 * 4.43 * 5.54 * 6.73 * 8.00 * 9.34 *10.77 *
* 50.0 * 0.66 * 1.39 * 2.19 * 3.05 * 3.99 * 4.99 * 6.06 * 7.20 * 8.41 * 9.69 *
* 55.0 * 0.60 * 1.26 * 1.99 * 2.77 * 3.62 * 4.53 * 5.51 * 6.54 * 7.64 * 8.81 *
* 60.0 * 0.55 * 1.16 * 1.82 * 2.54 * 3.32 * 4.16 * 5.05 * 6.00 * 7.01 * 8.07 *
*
*****

```

TABLEAU V-6

CABLE NO 6 1 TORON 19 FILS (1+6+12)
 CARACTERISTIQUES PHI=17.0MM Q=14.7N/M R=225 000N S=173MM2

TC	FLECHE EN CHARGE EN M POUR LES PORTEES SUIVANTES EN M										
1000M	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	

25.0	1.33	2.83	4.48	6.30	8.28	10.43	12.74	15.22	17.86	20.66	
30.0	1.11	2.35	3.73	5.25	6.90	8.69	10.61	12.67	14.85	17.20	
35.0	0.95	2.02	3.20	4.50	5.91	7.44	9.09	10.85	12.73	14.73	
40.0	0.83	1.77	2.80	3.93	5.17	6.51	7.95	9.49	11.14	12.88	
45.0	0.74	1.57	2.49	3.50	4.60	5.79	7.07	8.44	9.90	11.45	
50.0	0.67	1.41	2.24	3.15	4.14	5.21	6.36	7.59	8.90	10.30	
55.0	0.60	1.28	2.04	2.86	3.76	4.73	5.78	6.90	8.09	9.35	
60.0	0.55	1.18	1.86	2.62	3.45	4.34	5.30	6.32	7.42	8.58	
65.0	0.51	1.08	1.72	2.42	3.18	4.00	4.89	5.84	6.84	7.92	
70.0	0.48	1.01	1.60	2.25	2.95	3.72	4.54	5.42	6.36	7.35	

TABLEAU V-7

CABLE NO 7 1 TORON 19 FILS (1+6+12)
 CARACTERISTIQUES PHI=20.0MM Q=20.3N/M R=310 000N S=239MM2

TC	FLECHE EN CHARGE EN M POUR LES PORTEES SUIVANTES EN M										
1000M	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	

55.0	0.61	1.32	2.12	3.01	3.99	5.06	6.22	7.48	8.93	10.27	
60.0	0.56	1.21	1.94	2.76	3.65	4.64	5.70	6.85	8.09	9.41	
65.0	0.52	1.12	1.79	2.54	3.37	4.28	5.26	6.33	7.47	8.69	
70.0	0.48	1.04	1.66	2.36	3.13	3.97	4.89	5.87	6.93	8.06	
75.0	0.45	0.97	1.55	2.20	2.92	3.71	4.56	5.48	6.47	7.52	
80.0	0.42	0.91	1.45	2.07	2.74	3.48	4.28	5.14	6.07	7.06	
85.0	0.40	0.85	1.37	1.94	2.58	3.27	4.02	4.84	5.71	6.64	
90.0	0.38	0.81	1.29	1.84	2.43	3.09	3.80	4.57	5.39	6.27	
95.0	0.36	0.77	1.23	1.74	2.31	2.93	3.60	4.33	5.11	5.94	
100.0	0.34	0.73	1.16	1.65	2.19	2.78	3.42	4.11	4.85	5.64	

TABLEAU V-8

CABLE NO 8 1 TORON 19 FILS (1+6+12)
 CARACTERISTIQUES: PHI=25.0MM Q=31.7N/M R=480 000N S=373MM²

```

*****
*
* TC * FLECHE EN CHARGE EN M POUR LES PORTEES SUIVANTES EN M *
*
* 1000N* 25 * 50 * 75 * 100 * 125 * 150 * 175 * 200 * 225 * 250 *
*
*****
*
* 70.0 * 0.50 * 1.09 * 1.79 * 2.58 * 3.48 * 4.47 * 5.56 * 6.76 * 8.05 * 9.44 *
* 80.0 * 0.44 * 0.96 * 1.56 * 2.26 * 3.04 * 3.91 * 4.87 * 5.91 * 7.04 * 8.26 *
* 90.0 * 0.39 * 0.85 * 1.39 * 2.01 * 2.70 * 3.47 * 4.32 * 5.25 * 6.26 * 7.34 *
* 100.0 * 0.35 * 0.76 * 1.25 * 1.81 * 2.43 * 3.13 * 3.89 * 4.73 * 5.53 * 6.61 *
* 110.0 * 0.32 * 0.70 * 1.14 * 1.64 * 2.21 * 2.84 * 3.54 * 4.30 * 5.12 * 6.00 *
*
* 120.0 * 0.29 * 0.64 * 1.04 * 1.50 * 2.03 * 2.61 * 3.24 * 3.94 * 4.69 * 5.50 *
* 130.0 * 0.27 * 0.59 * 0.96 * 1.39 * 1.87 * 2.41 * 2.99 * 3.64 * 4.33 * 5.08 *
* 140.0 * 0.25 * 0.55 * 0.89 * 1.29 * 1.74 * 2.23 * 2.78 * 3.37 * 4.02 * 4.72 *
* 150.0 * 0.23 * 0.51 * 0.84 * 1.20 * 1.62 * 2.09 * 2.59 * 3.15 * 3.75 * 4.40 *
* 160.0 * 0.22 * 0.48 * 0.78 * 1.13 * 1.52 * 1.95 * 2.43 * 2.95 * 3.52 * 4.13 *
*
*****

```

4.2.2.4. Détermination de la flèche à vide pour que la flèche en charge ne dépasse pas la valeur admissible

Un câble tendu entre deux appuis prendra une flèche d'autant plus petite que la tension du câble sera grande. Lorsque ce câble supportera une charge concentrée au milieu de la portée la flèche qu'il prendra dans ces conditions sera évidemment fonction de la flèche qu'il avait à vide de charge. Les formules (5) et (7) du paragraphe précédent donnent les flèches ou les tensions à vide et en charge dans des conditions bien précises, mais elles ne permettent pas de connaître la flèche à vide (ou la tension à vide) lorsqu'on se fixe la flèche en charge.

En admettant, ce qui est le cas pour une station téléphérique, qu'il n'y a pas glissement du câble aux appuis, l'augmentation de flèche est due à l'allongement élastique sous l'effet de la charge et à la déformation du profil d'équilibre ; la chaînette à vide se transforme en deux arcs de chaînette avec une discontinuité au point d'application de la charge (voir figure 9).

Les équations (6) et (8) du paragraphe 4.2.1, donnent les longueurs du câble à vide et en charge en fonction des tensions θ_0 et θ_c .

Aux tensions θ_c et θ_0 correspondent les flèches f_c et f_v . θ_c étant connue, on en déduit la flèche maximale admissible en charge.

Ecrivons que la longueur des câbles au repos est la même, nous avons :

$$\frac{L_v}{1 + \frac{\theta_v}{SE}} = \frac{L_c}{1 + \frac{\theta_c}{SE}}$$

S section du câble

E module d'élasticité des câbles = 180 000 N/mm².

En remplaçant L_v et L_c par leur valeur donnée par les équations (6) et (8), on pourra résoudre par un processus itératif du second ordre convergent très rapidement l'équation transcendante $\theta_v = f(\theta_c)$.

Les calculs pour les différents câbles ont été exécutés sur ordinateur. Les résultats sont rassemblés dans le tableau VII qui donne pour chaque câble les valeurs de la flèche en charge (f_c), de la tension en charge (T_c), de la flèche à vide (f_v), de la tension à vide (T_v). Les flèches sont exprimées en mètres et les tensions en newtons. La

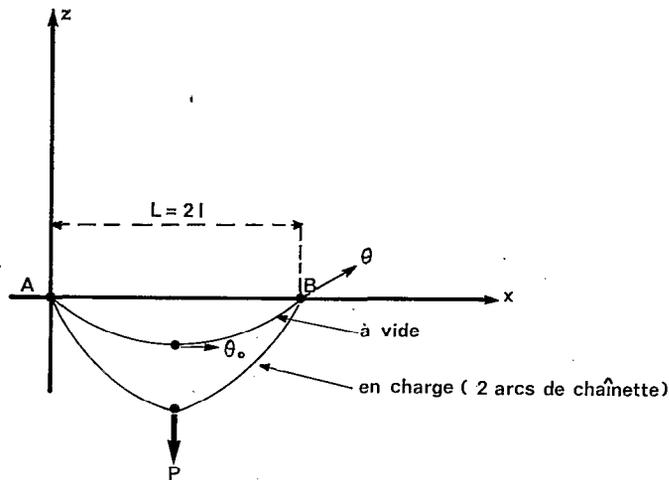


Figure 9

partie utile de ce tableau est comprise entre les zones hachurées : dans ces deux zones les câbles ne conviennent pas car ils sont, soit trop petits pour les grandes portées, soit trop gros pour les portées faibles.

A l'aide de ce tableau, sachant que la flèche maximale en fonction des caractéristiques de la section (niveau des appuis, plus hautes eaux) ne doit pas dépasser en charge une valeur f_c et ayant choisi le câble à utiliser à partir de la tension maximale (tableau V_1 à V_8), on pourra définir la flèche f_v à donner au câble à vide au moment de son installation.

Par exemple : si l'on a une section dans laquelle la flèche maximale admissible est de 4,15 m et la portée entre appuis 150 m, le tableau VI montre que le câble n° 5 convient le mieux : tendu avec une flèche de 4,16 m, il est soumis à une tension de 60 000 N. Pour qu'il en soit ainsi dans les conditions de fonctionnement les plus défavo-

TABLEAU VI

* CABLE*	FLECHE EN CHARGE EN M POUR $TC=R/3$									
* NO *	ET LES DISTANCES ENTRE APPUIS EN M									
	* 25	* 50	* 75	* 100	* 125	* 150	* 175	* 200	* 225	* 250

* 1	* 2.01	* 4.11	* 6.33	* 8.65	* 11.07	* 13.59	* 16.23	* 18.96	* 21.81	* 24.75
* 2	* 1.24	* 2.57	* 3.97	* 5.46	* 7.03	* 8.68	* 10.41	* 12.23	* 14.13	* 15.10
* 3	* 0.81	* 1.69	* 2.64	* 3.65	* 4.72	* 5.87	* 7.07	* 8.34	* 9.68	* 11.08
* 4	* 0.66	* 1.37	* 2.15	* 2.98	* 3.88	* 4.84	* 5.85	* 6.93	* 8.07	* 9.27
* 5	* 0.55	* 1.16	* 1.82	* 2.54	* 3.32	* 4.16	* 5.05	* 6.00	* 7.01	* 8.07
* 6	* 0.48	* 1.01	* 1.60	* 2.25	* 2.95	* 3.72	* 4.54	* 5.42	* 6.36	* 7.35
* 7	* 0.34	* 0.73	* 1.16	* 1.65	* 2.19	* 2.78	* 3.42	* 4.11	* 4.85	* 5.64
* 8	* 0.22	* 0.48	* 0.78	* 1.13	* 1.52	* 1.96	* 2.43	* 2.95	* 3.52	* 4.13

rables, il faudra tendre ce câble à vide avec une flèche f_v égale à 1,09 m ce qui correspond à une tension à vide de 29 433 N. Le tableau VII a été reporté sur le graphe 10 donnant directement les variations de f_v en fonction de f_c pour les câbles monotrons.

TABLEAU VII

* CABLE* DISTANCES ENTRE APPUIS EN M *										
* NO	* 25	* 50	* 75	* 100	* 125	* 150	* 175	* 200	* 225	* 250

* 1	FC* 2.01	* 4.11	* 6.33	* 8.55	* 11.07	* 13.59	* 15.23	* 18.36	* 21.51	* 24.75
	TC* 16000.	* 16000.	* 16000.	* 16000.	* 16000.	* 16000.	* 16000.	* 16000.	* 16000.	* 16000.
	FV* 1.55	* 3.20	* 4.96	* 6.83	* 8.80	* 10.88	* 13.05	* 15.34	* 17.73	* 20.22
	TV* 185.	* 319.	* 463.	* 599.	* 725.	* 846.	* 960.	* 1068.	* 1170.	* 1268.
* 2	FC* 1.24	* 2.57	* 3.97	* 5.46	* 7.03	* 8.58	* 10.41	* 12.23	* 14.12	* 15.10
	TC* 26000.	* 26000.	* 26000.	* 26000.	* 26000.	* 26000.	* 26000.	* 26000.	* 26000.	* 26000.
	FV* 0.73	* 1.57	* 2.53	* 3.59	* 4.75	* 6.00	* 7.35	* 8.79	* 10.32	* 11.94
	TV* 548.	* 1014.	* 1419.	* 1779.	* 2102.	* 2395.	* 2663.	* 2909.	* 3137.	* 3348.
* 3	FC* 0.81	* 1.69	* 2.54	* 3.65	* 4.72	* 5.87	* 7.07	* 8.34	* 9.68	* 11.08
	TC* 40000.	* 40000.	* 40000.	* 40000.	* 40000.	* 40000.	* 40000.	* 40000.	* 40000.	* 40000.
	FV* 0.05	* 0.24	* 0.62	* 1.14	* 1.79	* 2.55	* 3.40	* 4.33	* 5.35	* 6.44
	TV* 10980.	* 9283.	* 8327.	* 7977.	* 7944.	* 8054.	* 8229.	* 8432.	* 8645.	* 8855.
* 4	FC* 0.56	* 1.37	* 2.15	* 2.98	* 3.88	* 4.84	* 5.85	* 6.93	* 8.07	* 9.27
	TC* 50000.	* 50000.	* 50000.	* 50000.	* 50000.	* 50000.	* 50000.	* 50000.	* 50000.	* 50000.
	FV* 0.03	* 0.12	* 0.30	* 0.57	* 0.97	* 1.48	* 2.10	* 2.83	* 3.65	* 4.56
	TV* 26083.	* 23991.	* 22009.	* 20241.	* 18785.	* 17584.	* 16916.	* 16413.	* 16105.	* 15934.
* 5	FC* 0.55	* 1.16	* 1.82	* 2.54	* 3.32	* 4.16	* 5.05	* 6.00	* 7.01	* 8.07
	TC* 60000.	* 60000.	* 60000.	* 60000.	* 60000.	* 60000.	* 60000.	* 60000.	* 60000.	* 60000.
	FV* 0.02	* 0.09	* 0.23	* 0.43	* 0.71	* 1.09	* 1.56	* 2.13	* 2.80	* 3.56
	TV* 39285.	* 37184.	* 35089.	* 33056.	* 31149.	* 29433.	* 27955.	* 26741.	* 25791.	* 25047.
* 6	FC* 0.48	* 1.01	* 1.60	* 2.25	* 2.95	* 3.72	* 4.54	* 5.42	* 6.36	* 7.35
	TC* 70000.	* 70000.	* 70000.	* 70000.	* 70000.	* 70000.	* 70000.	* 70000.	* 70000.	* 70000.
	FV* 0.02	* 0.09	* 0.23	* 0.43	* 0.70	* 1.06	* 1.52	* 2.06	* 2.70	* 3.48
	TV* 49980.	* 47619.	* 45255.	* 42952.	* 40778.	* 38800.	* 37072.	* 35522.	* 34450.	* 33580.
* 7	FC* 0.34	* 0.73	* 1.16	* 1.65	* 2.19	* 2.78	* 3.42	* 4.11	* 4.85	* 5.64
	TC* 100000.	* 100000.	* 100000.	* 100000.	* 100000.	* 100000.	* 100000.	* 100000.	* 100000.	* 100000.
	FV* 0.02	* 0.07	* 0.17	* 0.31	* 0.51	* 0.75	* 1.06	* 1.42	* 1.85	* 2.35
	TV* 88054.	* 83986.	* 81859.	* 79593.	* 77508.	* 75339.	* 73220.	* 71177.	* 69240.	* 67441.
* 8	FC* 0.22	* 0.48	* 0.78	* 1.13	* 1.52	* 1.95	* 2.43	* 2.95	* 3.52	* 4.13
	TC* 160000.	* 160000.	* 160000.	* 160000.	* 160000.	* 160000.	* 160000.	* 160000.	* 160000.	* 160000.
	FV* 0.01	* 0.05	* 0.15	* 0.27	* 0.43	* 0.63	* 0.97	* 1.15	* 1.48	* 1.86
	TV* 150995.	* 149230.	* 147373.	* 145436.	* 143446.	* 141371.	* 139318.	* 137256.	* 135205.	* 133182.

4.2.2.5. Influence de la température

Dans tous les calculs qui viennent d'être faits, il n'a pas été tenu compte de l'influence de la température. Des essais réalisés à Madagascar ont montré que des écarts de température de quelques dizaines de degrés entraînent des variations assez peu importantes de la flèche (voir tabl. VIII).

TABLEAU VIII
VARIATIONS DES FLÈCHES AVEC LA TEMPÉRATURE

<i>Betsiboka à Ambodiroka : portée 244 m</i>			
Charge en newtons	Flèche pour les températures du câble de :		
	19°	26°	32°
Vide	4,68	4,77	4,90
250	4,80	4,92	5,09
750	5,06	5,21	5,38
1 250	5,31	5,44	5,59
1 750	5,53	5,68	5,81

<i>Ikopa à Antsatrana : portée 217 m</i>				
Charge en newtons	Flèche pour les températures du câble de :			
	13°	25°	27°	37°
Vide	3,12	3,26	3,34	3,43
250	3,27	3,45	3,52	3,60
750	3,55	—	3,79	3,86
1 250	3,76	—	4,04	4,11
1 750	4,00	4,12	4,25	4,31

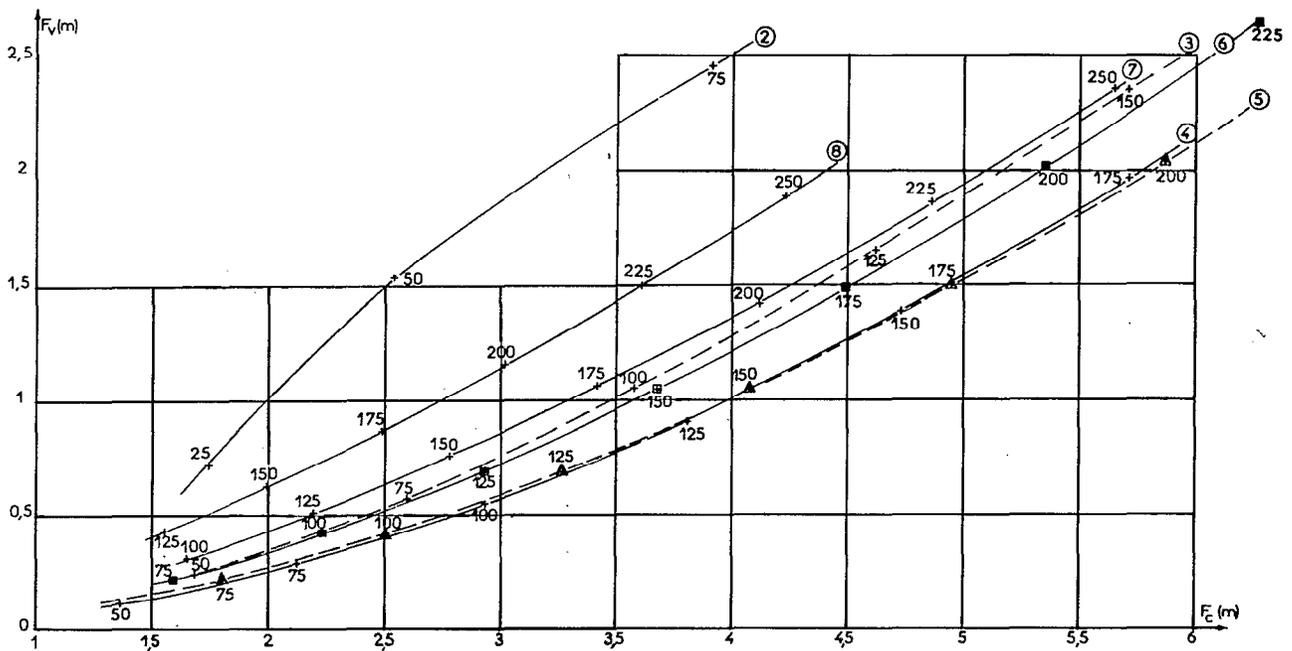


Fig. 10. — Abaque donnant la flèche à vide F_v en fonction de la flèche maximale en charge F_c pour des câbles monoton 19 fils

125 : portée en mètres

②	∅ 10 mm	$S = 59,7 \text{ mm}^2$	$R = 77 \text{ 000 N}$
③	∅ 12 mm	$S = 86,0 \text{ mm}^2$	$R = 110 \text{ 000 N}$
④	∅ 13,5 mm	$S = 109 \text{ mm}^2$	$R = 140 \text{ 000 N}$
⑤	∅ 15 mm	$S = 134 \text{ mm}^2$	$R = 172 \text{ 000 N}$
⑥	∅ 17 mm	$S = 173 \text{ mm}^2$	$R = 225 \text{ 000 N}$
⑦	∅ 20 mm	$S = 239 \text{ mm}^2$	$R = 310 \text{ 000 N}$
⑧	∅ 25 mm	$S = 373 \text{ mm}^2$	$R = 480 \text{ 000 N}$

La variation de flèche, dans les deux cas ci-dessus, est de l'ordre de 30 à 35 cm pour un écart de température de 24°. Lors de la détermination de f₀, il conviendra donc d'ajouter 50 cm pour tenir compte de ces écarts de température.

Une fois l'installation réalisée, il importe de vérifier le comportement de l'ensemble et de faire quelques mesures de flèche sous différentes conditions de température et de charge.

4.2.2.5. Vérification de la flèche à vide après installation de l'ensemble.

Cette vérification sera réalisée comme indiqué dans le paragraphe « montage d'une station téléphérique classique ».

Les tableaux IX₁ à IX₈ donnent les flèches maximales à vide de charge des divers câbles en fonction des tensions et des portées calculées à partir de la formule (5) :

f_v = (θ₀ / ρg) (ch (ρgℓ / θ₀) - 1) (5)

Ces tableaux donnent pour des valeurs de la tension à vide encadrant les tensions calculées dans le tableau VII les flèches prises par le câble pour des portées comprises entre 25 et 250 m. Le tableau X donne la tension du câble tracteur lorsqu'il sera mis en place avec une flèche sensiblement égale à celle du câble porteur.

5. CÂBLE ÉLECTROPORTEUR

Les stations téléphériques de jaugeage sont équipées de câble électropporteur antigiratoire identiques à ceux

TABLEAU IX-1

CABLE: NO 1 1 TORON: 19 FILS (1+6+12)
CARACTERISTIQUES: PHI=8.0MM. Q=3.25N/M R=49 500N: S=38.2MM2

Table with columns for TV (1000N) and various spans (25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250) and rows for different tension values (0.2 to 3.0).

TABLEAU IX-2

CABLE NO 2 1 TORON 19 FILS (1+6+12)
 CARACTERISTIQUES PHI=10.0MM Q=5.10N/M R=77 000N S=59.7MM2

```
*****
*
* TV * FLECHE A VIDE EN M POUR LES PORTEES SUIVANTES EN M *
*
* 1000N* 25 * 50 * 75 * 100 * 125 * 150 * 175 * 200 * 225 * 250 *
*
*****
*
* 0.5 * 0.80 * 3.20 * 7.26 * 13.03 * 20.61 * 30.11 * 41.71 * 55.58 * 71.95 * 91.08 *
* 1.0 * 0.40 * 1.60 * 3.60 * 6.41 * 10.05 * 14.52 * 19.85 * 26.06 * 33.17 * 41.21 *
* 1.5 * 0.27 * 1.06 * 2.39 * 4.26 * 6.67 * 9.61 * 13.11 * 17.16 * 21.78 * 26.96 *
* 2.0 * 0.20 * 0.80 * 1.79 * 3.19 * 4.99 * 7.19 * 9.80 * 12.82 * 16.25 * 20.09 *
* 2.5 * 0.16 * 0.64 * 1.43 * 2.55 * 3.99 * 5.75 * 7.83 * 10.24 * 12.97 * 16.02 *
*
* 3.0 * 0.13 * 0.53 * 1.20 * 2.13 * 3.32 * 4.79 * 6.52 * 8.52 * 10.79 * 13.33 *
* 3.5 * 0.11 * 0.45 * 1.02 * 1.82 * 2.85 * 4.10 * 5.59 * 7.30 * 9.24 * 11.41 *
* 4.0 * 0.10 * 0.40 * 0.90 * 1.59 * 2.49 * 3.59 * 4.89 * 6.38 * 8.08 * 9.98 *
* 4.5 * 0.09 * 0.35 * 0.80 * 1.42 * 2.21 * 3.19 * 4.34 * 5.67 * 7.18 * 8.87 *
* 5.0 * 0.08 * 0.32 * 0.72 * 1.27 * 1.99 * 2.87 * 3.91 * 5.10 * 6.46 * 7.98 *
*
*****
```

TABLEAU IX-3

CABLE NO 3 1 TORON 19 FILS (1+6+12)
 CARACTERISTIQUES PHI=12.0MM Q=7.30N/M R=110 000N S=86.0MM2

```
*****
*
* TV * FLECHE A VIDE EN M POUR LES PORTEES SUIVANTES EN M *
*
* 1000N* 25 * 50 * 75 * 100 * 125 * 150 * 175 * 200 * 225 * 250 *
*
*****
*
* 7.5 * 0.08 * 0.30 * 0.68 * 1.22 * 1.90 * 2.74 * 3.73 * 4.87 * 6.16 * 7.61 *
* 8.0 * 0.07 * 0.28 * 0.64 * 1.14 * 1.78 * 2.57 * 3.49 * 4.57 * 5.78 * 7.14 *
* 8.5 * 0.07 * 0.27 * 0.60 * 1.07 * 1.68 * 2.42 * 3.29 * 4.30 * 5.44 * 6.71 *
* 9.0 * 0.06 * 0.25 * 0.57 * 1.01 * 1.58 * 2.28 * 3.11 * 4.06 * 5.14 * 6.34 *
* 9.5 * 0.06 * 0.24 * 0.54 * 0.96 * 1.50 * 2.16 * 2.94 * 3.84 * 4.87 * 6.01 *
*
* 10.0 * 0.06 * 0.23 * 0.51 * 0.91 * 1.43 * 2.05 * 2.79 * 3.65 * 4.52 * 5.71 *
* 10.5 * 0.05 * 0.22 * 0.49 * 0.87 * 1.36 * 1.95 * 2.66 * 3.48 * 4.40 * 5.43 *
* 11.0 * 0.05 * 0.21 * 0.47 * 0.83 * 1.30 * 1.87 * 2.54 * 3.32 * 4.20 * 5.19 *
* 11.5 * 0.05 * 0.20 * 0.45 * 0.79 * 1.24 * 1.78 * 2.43 * 3.17 * 4.02 * 4.96 *
* 12.0 * 0.05 * 0.19 * 0.43 * 0.76 * 1.19 * 1.71 * 2.33 * 3.04 * 3.85 * 4.75 *
*
*****
```

TABLEAU IX-4

CABLE NO 4 1 TORON 19 FILS. (1+6+12)
CARACTERISTIQUES PHI=13.5MM Q=9.30N/M R=140 000N S=109MM2

```

*****
*
* TV *          FLECHE A VIDE EN M POUR LES PORTEES SUIVANTES EN M
*
* 1000N* 25 * 50 * 75 * 100 * 125 * 150 * 175 * 200 * 225 * 250 *
*
*****
*
* 12.0 * 0.06 * 0.24 * 0.54 * 0.97 * 1.51 * 2.19 * 2.97 * 3.88 * 4.91 * 6.06 *
* 14.0 * 0.05 * 0.21 * 0.47 * 0.83 * 1.30 * 1.87 * 2.54 * 3.32 * 4.20 * 5.19 *
* 16.0 * 0.04 * 0.18 * 0.41 * 0.73 * 1.13 * 1.63 * 2.22 * 2.91 * 3.68 * 4.54 *
* 18.0 * 0.04 * 0.16 * 0.36 * 0.64 * 1.01 * 1.45 * 1.98 * 2.58 * 3.27 * 4.04 *
* 20.0 * 0.03 * 0.14 * 0.32 * 0.58 * 0.91 * 1.31 * 1.78 * 2.32 * 2.94 * 3.63 *
*
* 22.0 * 0.03 * 0.13 * 0.30 * 0.53 * 0.82 * 1.19 * 1.62 * 2.11 * 2.67 * 3.30 *
* 24.0 * 0.03 * 0.12 * 0.27 * 0.48 * 0.76 * 1.09 * 1.48 * 1.93 * 2.45 * 3.03 *
* 26.0 * 0.03 * 0.11 * 0.25 * 0.45 * 0.70 * 1.00 * 1.37 * 1.79 * 2.26 * 2.79 *
* 28.0 * 0.02 * 0.10 * 0.23 * 0.41 * 0.65 * 0.93 * 1.27 * 1.66 * 2.10 * 2.59 *
* 30.0 * 0.02 * 0.10 * 0.22 * 0.38 * 0.60 * 0.87 * 1.18 * 1.55 * 1.96 * 2.42 *
*
*****

```

TABLEAU IX-5

CABLE NO 5 1 TORON 19 FILS. (1+6+12)
CARACTERISTIQUES PHI=15.0MM Q=11.4N/M R=172 000N S=134MM2

```

*****
*
* TV *          FLECHE A VIDE EN M POUR LES PORTEES SUIVANTES EN M
*
* 1000N* 25 * 50 * 75 * 100 * 125 * 150 * 175 * 200 * 225 * 250 *
*
*****
*
* 22.0 * 0.04 * 0.16 * 0.36 * 0.65 * 1.01 * 1.46 * 1.98 * 2.59 * 3.28 * 4.05 *
* 24.0 * 0.04 * 0.15 * 0.33 * 0.59 * 0.93 * 1.34 * 1.82 * 2.38 * 3.01 * 3.71 *
* 26.0 * 0.03 * 0.13 * 0.31 * 0.55 * 0.85 * 1.23 * 1.68 * 2.19 * 2.77 * 3.43 *
* 28.0 * 0.03 * 0.13 * 0.29 * 0.51 * 0.79 * 1.14 * 1.56 * 2.03 * 2.58 * 3.18 *
* 30.0 * 0.03 * 0.12 * 0.27 * 0.47 * 0.74 * 1.07 * 1.45 * 1.90 * 2.40 * 2.97 *
*
* 32.0 * 0.03 * 0.11 * 0.25 * 0.44 * 0.70 * 1.00 * 1.36 * 1.78 * 2.25 * 2.78 *
* 34.0 * 0.02 * 0.10 * 0.23 * 0.42 * 0.65 * 0.94 * 1.28 * 1.68 * 2.12 * 2.62 *
* 36.0 * 0.02 * 0.10 * 0.22 * 0.39 * 0.62 * 0.89 * 1.21 * 1.58 * 2.00 * 2.47 *
* 38.0 * 0.02 * 0.09 * 0.21 * 0.38 * 0.58 * 0.84 * 1.15 * 1.50 * 1.90 * 2.34 *
* 40.0 * 0.02 * 0.09 * 0.20 * 0.35 * 0.56 * 0.80 * 1.09 * 1.42 * 1.80 * 2.23 *
*
*****

```

TABLEAU IX-6

CABLE NO 6 1 TORON 19 FILS (1+6+12)
 CARACTERISTIQUES PHI=17.0MM Q=14.7N/M R=225 000N S=173MM2

```
*****
*
* TV * FLECHE A VIDE EN M POUR LES PORTEES SUIVANTES EN M *
*
* 1000N* 25 * 50 * 75 * 100 * 125 * 150 * 175 * 200 * 225 * 250 *
*
*****
*
* 24.0 * 0.05 * 0.19 * 0.43 * 0.76 * 1.20 * 1.72 * 2.34 * 3.06 * 3.98 * 4.79 *
* 28.0 * 0.04 * 0.16 * 0.37 * 0.66 * 1.02 * 1.48 * 2.01 * 2.62 * 3.32 * 4.10 *
* 32.0 * 0.04 * 0.14 * 0.32 * 0.57 * 0.89 * 1.29 * 1.76 * 2.30 * 2.91 * 3.59 *
* 36.0 * 0.03 * 0.13 * 0.28 * 0.51 * 0.80 * 1.15 * 1.56 * 2.04 * 2.58 * 3.19 *
* 40.0 * 0.03 * 0.11 * 0.26 * 0.46 * 0.72 * 1.03 * 1.41 * 1.83 * 2.33 * 2.87 *
*
* 44.0 * 0.03 * 0.10 * 0.23 * 0.42 * 0.65 * 0.94 * 1.28 * 1.67 * 2.11 * 2.61 *
* 48.0 * 0.02 * 0.09 * 0.21 * 0.38 * 0.59 * 0.86 * 1.17 * 1.53 * 1.94 * 2.39 *
* 52.0 * 0.02 * 0.08 * 0.20 * 0.35 * 0.55 * 0.79 * 1.08 * 1.41 * 1.79 * 2.21 *
* 56.0 * 0.02 * 0.08 * 0.18 * 0.33 * 0.51 * 0.74 * 1.00 * 1.31 * 1.66 * 2.05 *
* 60.0 * 0.02 * 0.07 * 0.17 * 0.30 * 0.47 * 0.69 * 0.93 * 1.22 * 1.55 * 1.91 *
*
*****
```

TABLEAU IX-7

CABLE NO 7 1 TORON 19 FILS (1+6+12)
 CARACTERISTIQUES PHI=20.0MM Q=20.3N/M R=310 000N S=239MM2

```
*****
*
* TV * FLECHE A VIDE EN M POUR LES PORTEES SUIVANTES EN M *
*
* 1000N* 25 * 50 * 75 * 100 * 125 * 150 * 175 * 200 * 225 * 250 *
*
*****
*
* 45.0 * 0.03 * 0.14 * 0.31 * 0.56 * 0.88 * 1.27 * 1.73 * 2.26 * 2.95 * 3.52 *
* 50.0 * 0.03 * 0.13 * 0.28 * 0.51 * 0.79 * 1.14 * 1.55 * 2.03 * 2.57 * 3.17 *
* 55.0 * 0.03 * 0.11 * 0.26 * 0.46 * 0.72 * 1.04 * 1.41 * 1.84 * 2.34 * 2.88 *
* 60.0 * 0.03 * 0.10 * 0.24 * 0.42 * 0.66 * 0.95 * 1.29 * 1.69 * 2.14 * 2.64 *
* 65.0 * 0.02 * 0.09 * 0.22 * 0.39 * 0.61 * 0.88 * 1.19 * 1.56 * 1.98 * 2.44 *
*
* 70.0 * 0.02 * 0.09 * 0.20 * 0.36 * 0.56 * 0.82 * 1.11 * 1.45 * 1.83 * 2.26 *
* 75.0 * 0.02 * 0.08 * 0.19 * 0.34 * 0.52 * 0.76 * 1.04 * 1.35 * 1.71 * 2.11 *
* 80.0 * 0.02 * 0.08 * 0.18 * 0.32 * 0.49 * 0.71 * 0.97 * 1.27 * 1.60 * 1.98 *
* 85.0 * 0.02 * 0.07 * 0.17 * 0.30 * 0.46 * 0.67 * 0.91 * 1.19 * 1.51 * 1.86 *
* 90.0 * 0.01 * 0.07 * 0.16 * 0.28 * 0.44 * 0.63 * 0.86 * 1.12 * 1.42 * 1.76 *
*
*****
```

TABLEAU IX-8

CABLE NO 8 1 TORON 19 FILS (1+6+12)
 CARACTERISTIQUES PHI=25.0MM Q=31.7N/M R=480 000N S=373MM2

```
*****
*
* TV *          FLECHE A VIDE EN M POUR LES PORTEES SUIVANTES EN M          *
*
* 1000N* 25 * 50 * 75 * 100 * 125 * 150 * 175 * 200 * 225 * 250 *
*
*****
*
* 70.0 * 0.03 * 0.14 * 0.32 * 0.56 * 0.88 * 1.27 * 1.73 * 2.26 * 2.87 * 3.54 *
* 80.0 * 0.03 * 0.12 * 0.28 * 0.50 * 0.77 * 1.11 * 1.52 * 1.98 * 2.51 * 3.10 *
* 90.0 * 0.02 * 0.11 * 0.25 * 0.44 * 0.69 * 0.99 * 1.35 * 1.76 * 2.23 * 2.75 *
*100.0 * 0.02 * 0.10 * 0.22 * 0.39 * 0.62 * 0.89 * 1.21 * 1.59 * 2.00 * 2.48 *
*110.0 * 0.02 * 0.09 * 0.20 * 0.36 * 0.56 * 0.81 * 1.10 * 1.44 * 1.82 * 2.25 *
*
*120.0 * 0.02 * 0.08 * 0.18 * 0.33 * 0.51 * 0.74 * 1.01 * 1.32 * 1.67 * 2.06 *
*130.0 * 0.02 * 0.07 * 0.17 * 0.30 * 0.47 * 0.68 * 0.93 * 1.22 * 1.54 * 1.90 *
*140.0 * 0.02 * 0.07 * 0.16 * 0.28 * 0.44 * 0.64 * 0.87 * 1.13 * 1.43 * 1.77 *
*150.0 * 0.01 * 0.06 * 0.14 * 0.26 * 0.41 * 0.59 * 0.81 * 1.06 * 1.34 * 1.65 *
*160.0 * 0.01 * 0.06 * 0.13 * 0.25 * 0.39 * 0.55 * 0.76 * 0.99 * 1.25 * 1.55 *
*
*****
```

utilisés avec les treuils simples ou les cyclopotences. La longueur du câble doit être au moins égale à la portée entre appuis augmentée de la différence de niveau entre la poulie de renvoi et le point le plus bas du lit de la rivière.

Le diamètre est égal à 3,6 mm pour le câble D5 de OTT, et à 2,8 mm pour le câble référence 2453 A de NEYRPIC. La charge de rupture effective de ces câbles est de l'ordre de 6 000 N.

6. LES ANCRAGES

Lorsque le câble a été choisi en fonction de la flèche maximale et après calcul de la tension maximale qu'il devra supporter, il faut définir le type d'ancrage à utiliser à partir des caractéristiques du sol constituant les berges. Le coefficient de sécurité des ancrages sera pris égal à 2. Le fait de ne pas adopter un coefficient de sécurité de 3 comme pour le câble porteur est basé sur les considérations suivantes :

- La charge appliquée au câble porteur est absorbée dans une large proportion par son élasticité avant d'être transmise aux ancrages.
- Tout déplacement d'un ancrage sous l'influence d'une tension excessive provoque immédiatement une augmentation de la flèche du câble d'où, corrélativement, une diminution de la tension.

6.1. DIFFÉRENTS TYPES D'ANCRAGES :

1^{er} type : Ancrage dans le rocher

On perce dans le rocher une cavité en queue d'aronde pour que l'ancrage soit bien solidaire du rocher. Le tout est garni de béton vibré correctement. La section de l'ancrage doit être suffisante pour permettre une bonne liaison avec le béton. La longueur est fonction de l'effort à exercer. L'ancrage devant répartir les efforts sur un certain volume de roche correspond à un ancrage poids (fig. 11).

TABLEAU X

CABLE NO 0 6 TORONS 7 FILS (1+6)
 CARACTERISTIQUES PHI=6.3MM Q=1.5N/M R=20 000N S=16.2MM2

```

*****
*
* TV * FLECHE A VIDE EN M POUR LES PORTEES SUIVANTES EN M *
*
* 1000N* 25 * 50 * 75 * 100 * 125 * 150 * 175 * 200 * 225 * 250 *
*
*****
*
* 0.5 * 0.23 * 0.94 * 2.11 * 3.76 * 5.88 * 8.47 * 11.55 * 15.11 * 19.17 * 23.71 *
* 1.0 * 0.12 * 0.47 * 1.05 * 1.88 * 2.93 * 4.22 * 5.75 * 7.51 * 9.51 * 11.75 *
* 1.5 * 0.08 * 0.31 * 0.70 * 1.25 * 1.95 * 2.81 * 3.83 * 5.00 * 6.33 * 7.82 *
* 2.0 * 0.06 * 0.23 * 0.53 * 0.94 * 1.46 * 2.11 * 2.87 * 3.75 * 4.75 * 5.86 *
* 2.5 * 0.05 * 0.19 * 0.42 * 0.75 * 1.17 * 1.69 * 2.30 * 3.00 * 3.80 * 4.69 *
*
* 3.0 * 0.04 * 0.15 * 0.35 * 0.62 * 0.97 * 1.41 * 1.91 * 2.50 * 3.16 * 3.91 *
* 3.5 * 0.03 * 0.13 * 0.30 * 0.53 * 0.84 * 1.20 * 1.64 * 2.14 * 2.71 * 3.35 *
* 4.0 * 0.03 * 0.11 * 0.26 * 0.47 * 0.73 * 1.05 * 1.43 * 1.87 * 2.37 * 2.93 *
* 4.5 * 0.03 * 0.10 * 0.23 * 0.41 * 0.65 * 0.94 * 1.27 * 1.67 * 2.11 * 2.60 *
* 5.0 * 0.02 * 0.09 * 0.21 * 0.38 * 0.58 * 0.84 * 1.15 * 1.50 * 1.90 * 2.34 *
*
* 5.5 * 0.02 * 0.08 * 0.19 * 0.34 * 0.53 * 0.75 * 1.04 * 1.36 * 1.72 * 2.13 *
* 6.0 * 0.02 * 0.08 * 0.17 * 0.31 * 0.48 * 0.70 * 0.96 * 1.25 * 1.58 * 1.95 *
* 6.5 * 0.02 * 0.07 * 0.16 * 0.29 * 0.45 * 0.65 * 0.88 * 1.15 * 1.46 * 1.80 *
* 7.0 * 0.01 * 0.06 * 0.15 * 0.27 * 0.41 * 0.60 * 0.82 * 1.07 * 1.35 * 1.67 *
* 7.5 * 0.01 * 0.06 * 0.14 * 0.25 * 0.39 * 0.55 * 0.76 * 1.00 * 1.26 * 1.56 *
*
* 8.0 * 0.01 * 0.06 * 0.13 * 0.23 * 0.37 * 0.52 * 0.72 * 0.94 * 1.19 * 1.46 *
* 8.5 * 0.01 * 0.05 * 0.12 * 0.22 * 0.34 * 0.49 * 0.67 * 0.88 * 1.11 * 1.37 *
* 9.0 * 0.01 * 0.05 * 0.11 * 0.21 * 0.32 * 0.45 * 0.64 * 0.83 * 1.05 * 1.30 *
* 9.5 * 0.01 * 0.05 * 0.11 * 0.19 * 0.31 * 0.44 * 0.60 * 0.79 * 1.00 * 1.23 *
* 10.0 * 0.01 * 0.04 * 0.10 * 0.18 * 0.29 * 0.42 * 0.57 * 0.75 * 0.94 * 1.17 *
*
*****

```

2^e type : Ancrage dans le sol

On distingue deux cas suivant le type de sol.

a) Le massif d'ancrage n'a aucune butée latérale et se trouve simplement posé sur le sol. Dans ce cas, on tient compte du frottement sol-massif avec un coefficient de frottement qui varie de 0,3 à 0,6. Pour du sable et du gravier les calculs peuvent être conduits avec $\mu = 0,5$. Sur terrain limoneux, il ne faut en aucun cas dépasser $\mu = 0,3$. Le tableau XI ci-après, extrait de *Lignes électriques à T.H.T.* par H. Carpentier, donne quelques valeurs de μ pour différents types de terrain.

b) Le massif d'ancrage est fondé dans un sol consistant et se trouve éloigné d'au moins 3 m de la ligne de rupture de pente des berges. Dans ce cas, on tient compte d'une réaction du sol en tête de massif de $90\,000\text{ N/m}^2$ (1).

(1) Rappelons que : $1\text{ newton m}^2\text{ (N/m}^2\text{)} = 1\text{ pascal (Pa)} \cong 0,1\text{ kgf/m}^2$
 $1\text{ Pa} = 10^{-5}\text{ bar} \cong 1,10^{-5}\text{ kgf/cm}^2$
 $1\text{ bar} = 10^5\text{ Pa} \cong 1\text{ kgf/cm}^2$.

TABLEAU XI
 CARACTÉRISTIQUES DES TERRAINS
 Pression admissible à fond de fouille à 1,20 m

Terrains	Pressions en kg/cm ²	Remarques
Rocher	20 à 100	
Tuff, pierres calcaires, roche tendre	7 à 20	
Gravier, terre avec un peu de liant	5 à 7	} Suivant la teneur en eau.
Sable mordant, terre	3 à 5	
Sable de grosseur moyenne	2 à 3	
Sable d'alluvion	0 à 2	
Marne	3 à 4	} Quand il ne tend pas à s'écouler.
Marne sableuse et argile dure	2 à 3	
Marne et argile humide	0,5 à 1	} Quand il n'y a pas d'eau.
Terre rapportée	0,5 à 1	
Marécage, vase	0	} Suivant le damage.

Coefficient de frottement entre terre et béton
 (d'après Brennecke-Lohmeyer)

Terrain	Coefficient μ	
	mur lisse	mur rugueux
Limon liquide	0,05	0,10
Limon solide	0,10	0,20
Argile humide et terrain glaiseux	0,20	0,30
Sable sec	0,60	0,70
Sable humide	0,30	0,50
Gravier grossier	} 0,40	0,50
Gravier fin		

La forme à donner aux ancrages dans ces cas peut être la suivante :

En plan la forme de trapèze isocèle permet de reporter une partie de la poussée sur les terres avoisinantes. Elle permet aussi d'obtenir une meilleure stabilité au renversement. Le redan augmente encore cette stabilité en remontant l'arête de basculement en A au lieu de A' d'où diminution du moment de renversement.

Les fers sont ancrés comme indiqué sur la figure 12.

Pour l'exécution, les bords de la fouille doivent être tenus autant que possible à la verticale.

Plus le fond de la fouille est rugueux et plus le coefficient de frottement est élevé.

3^e type :

Il se présente sous la forme d'une poutre encastrée dans le sol. Il nécessite le creusement d'un puits. Il est plus difficile d'exécution à ce point de vue, mais il demande une moins bonne tenue du terrain en surface. Il intéresse des couches plus profondes (fig. 13).

6.2. CALCUL DES MASSIFS

6.2.1. Massif du 1^{er} type :

Ne se calcule pas. Mais veiller à la qualité du rocher et à réaliser une cavité suffisamment grande et rugueuse pour que la liaison béton-roche soit bonne.

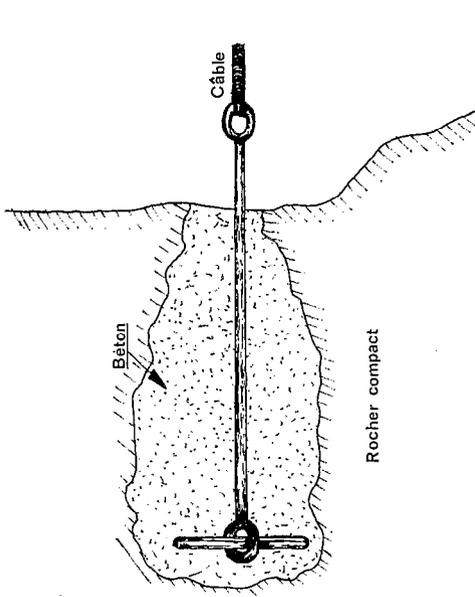


Figure 11

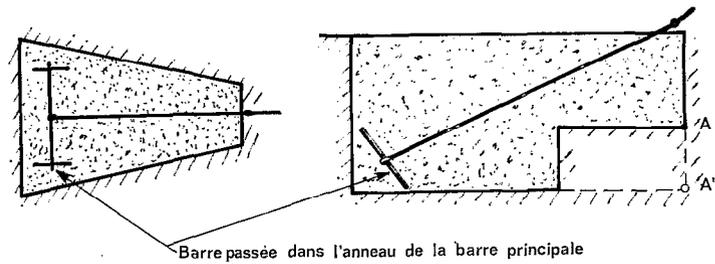


Figure 12

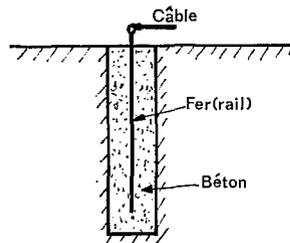


Figure 13

6.2.2. Massif du 2^e type posé sur le sol

6.2.2.1. Le câble porteur est fixé directement à l'ancrage ; il n'y a pas de composante verticale de la tension. Si T est la tension maximale à laquelle sera soumis le câble, le massif de béton sera établi pour résister à un effort :

$$P = \frac{T}{\mu} \times 2 \text{ en N}$$

μ coefficient de frottement
2 coefficient de sécurité.

Sa masse sera approximativement égale à $\frac{P}{10}$ kg et son volume $\frac{P}{10 \times 22\,000}$ m³ en prenant une masse spécifique du béton égale à 2,2 t/m³.

6.2.2.2. Le câble porteur est placé sur un support et il fait avec l'horizontale un angle α (toujours inférieur à 45°). Dans ce cas si T_h et T_v sont les composantes horizontale et verticale de la tension le massif de béton devra être prévu pour encaisser un effort :

$$P = 2 \left(\frac{T_h}{\mu} + T_v \right) \text{ en N}$$

Le volume de béton à mettre en place est $\frac{P}{10 \times 22\,000}$ m³.

6.2.3. Massif du 2^e type encastré dans le sol

En admettant un taux de travail à la compression de 90 000 N/m² la face frontale peut encaisser (fig. 14).

$$90\,000 a_2 \cdot h \text{ N}$$

Comme les faces latérales interviennent aussi dans la réaction du massif, l'effort à ne pas dépasser sera pris égal à :

$$R = 90\,000 h \cdot a_1$$

Si T est la tension du câble, on doit vérifier que :

$$\frac{R}{T} = 2 \text{ pour câble fixé directement à l'ancrage,}$$

$$\frac{R}{Th} = 2 \text{ pour câble passant sur un support.}$$

Si le rapport entre réaction et tension est égal à 2 le massif est garanti contre tout glissement. Il reste à vérifier la tenue à l'ancrage au renversement autour de l'arête A. Pour cela, il faut que le moment du poids du bloc par rapport à cette arête soit supérieur au moment de l'effort appliqué par le câble sur la fondation.

Le volume du massif est égal à

$$V = \frac{1}{2} (a_1 + a_2) \ell \cdot h - \frac{1}{2} (a_2 + a_3) b \cdot h_2 = V_1 - V_2$$

V_1 Volume du bloc sans redan
 V_2 Volume du redan

La masse de béton sera : $V \text{ m}^3 \times 2,2 \text{ T/m}^3$.

Le moment de stabilité du massif est égal au produit de la tension maximale du câble par la distance du point d'application à l'arête A :

$$M_s = T \cdot d$$

Le moment de renversement est égal à $M_r = P \cdot x_G$

x_G étant l'abscisse du centre de gravité comptée à partir de la petite base.

Si x_T est l'abscisse du centre de gravité du volume sans tenir compte du redan

$$x_T = \frac{\ell}{3} \cdot \frac{2 a_1 + a_2}{a_1 + a_2}$$

x_R est l'abscisse du centre de gravité du redan

$$x_R = \frac{b}{3} \cdot \frac{2 a_3 + a_2}{a_3 + a_2}$$

$$V \cdot x_G = V_1 \cdot x_T - V_2 \cdot x_R$$

D'où

$$x_G = \frac{V_1 \cdot x_T - V_2 \cdot x_R}{V}$$

Le coefficient de sécurité au renversement sera égal au rapport du moment de stabilité sur le moment de renversement : $\frac{M_s}{M_r}$. Il convient d'ajuster les différentes dimensions du massif pour obtenir un coefficient de sécurité égal à 2.

6.2.3.1. Exemple de calcul :

On doit construire dans un terrain latéritique un massif destiné à résister à une traction de 120 000 N. Après divers essais les dimensions suivantes ont été fixées pour le massif d'ouvrage :

$$\begin{array}{ll} a_1 = 2,00 \text{ m} & b = 0,70 \text{ m} \\ a_2 = 1,00 \text{ m} & h_1 = 0,70 \text{ m} \\ a_3 = 1,30 \text{ m} & h_2 = 0,80 \text{ m} \\ & d = 0,85 \text{ m} \\ & \ell = 2,70 \text{ m} \end{array}$$

6.2.3.2. Vérification de la stabilité à l'arrachement

En admettant un taux de travail à la compression de 90 000 N/m² pour la latérite, la face frontale peut encaisser :

$$90\,000 \times 1 \times 1,5 = 135\,000 \text{ N.}$$

Mais, si l'on tient compte de l'action des faces latérales, la réaction à ne pas dépasser peut être prise égale à

$$90\,000 \times 2 \times 1,5 = 270\,000 \text{ N.}$$

On a donc un coefficient de sécurité de

$$\frac{270\,000}{120\,000} = 2,2 \text{ pour la résistance à l'arrachement.}$$

6.2.3.3. Vérification de la sécurité au renversement.

Le volume du massif est égal à

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} (2 + 1) \times 2,7 \times 1,5 \\ &\quad - \frac{1}{2} (1,3 + 1) \times 0,7 \times 0,8 = 6,075 - 0,644 = 5,43 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

En prenant $2,2 \text{ t/m}^3$ comme masse spécifique du béton, la masse du massif est donc de

$$5,43 \times 2,2 = 11,95 \text{ t}$$

Position du centre de gravité :

Soit x_T l'abscisse comptée à partir de la petite base du centre de gravité du volume sans tenir compte du redan

$$x_T = \frac{2,7 (2 \times 2) + 1}{2 + 1} = 1,50 \text{ m}$$

x_R = l'abscisse du centre de gravité du redan

$$x_R = \frac{0,7 (2 \times 1,3) + 1}{1,3 + 1} = 0,365$$

x_G = l'abscisse du centre de gravité du massif

$$5,43 x_G = (6,075 \times 1,5) - (0,644 \times 0,365) = 8,877$$

$$x_G = \frac{8,877}{5,43} = 1,63 \text{ m}$$

Moment de renversement par rapport à l'arête A :

$$0,85 \times 120\,000 = 10\,200 \text{ m} \cdot \text{N}$$

Moment de stabilité :

$$11\,950 \times 1,63 = 19\,478 \text{ m} \cdot \text{N}$$

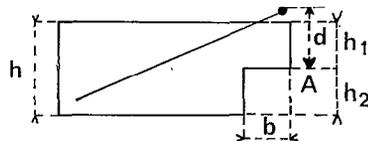


Figure 14

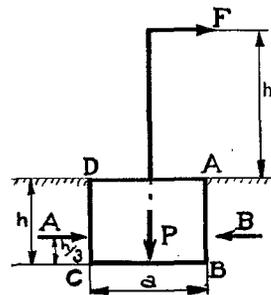
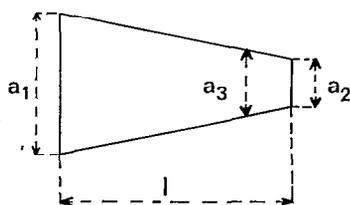


Figure 15

Coefficient de sécurité au renversement :

$$\frac{19\,478}{10\,200} = 1,91$$

Ce coefficient est acceptable. Pour le rendre égal ou légèrement supérieur à 2 il y aurait lieu de modifier encore une fois les dimensions du massif.

6.2.4. Massif du 3^e type

Le calcul des dimensions a, b, h du massif sera fait à partir des formules utilisées pour le calcul des fondations des pylônes électriques. Nous adopterons la méthode française de Valensi ou méthode du réseau d'Etat (1).

On admet que (fig. 15) :

- Sous l'action de la force extérieure F le massif tend à se renverser autour de l'arête B.
- La résistance au renversement provient de la stabilité propre du massif reposant librement sur le sol et de la résistance due au terrain environnant.

En désignant par :

σ la pression admissible à fond de fouille

b l'épaisseur du massif

la stabilité propre est égale à :

$$\frac{P}{2} \left(a - \frac{4P}{3b\sigma} \right)$$

La résistance du terrain environnant est égale à la différence entre les forces de butée B et de poussée A appliquées au tiers de la hauteur du massif à partir de la base BC. Le moment résultant de l'action du terrain est donc

$$M_o = (B - A) \frac{h}{3} = C b h^3$$

C étant le coefficient de butée des terres donné ci-dessous pour différents terrains. Ce coefficient est défini lorsqu'on connaît la densité du terrain δ_t et son angle ρ d'éboulement naturel :

$$C = \frac{\delta_t}{6} \left[\operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) - \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \right]$$

VALEURS DE φ , $\operatorname{tg} \varphi$, δ_t ET C
EN FONCTION DE DIFFÉRENTES CATÉGORIES DE SOL

	φ degrés	$\operatorname{tg} \varphi$	δ_t KN/m ³	C N/m ³
Gros sable	30	0,577	15	6 700
Sable fin	16	0,287	14	2 800
Terre humide	36	0,727	16	9 600
Terre forte	55	1,428	20	33 000
Argile sèche	30	0,577	16	7 200
Argile humide	22	0,404	13	5 200

Il faut vérifier que le moment stabilisant total est supérieur au moment de renversement suivant l'arête B, ce qui donne :

$$F (h + h_1) \leq \frac{P}{2} \left(a - \frac{4P}{3b\sigma} \right) + C b h^3$$

(1) Voir *Lignes électriques T.H.T.* par H. Carpentier, Eyrolles éditeur, et *Techniques de l'Ingénieur*, fascicule D, 640 p., 1-9 et suivantes.

Dans le cas d'un ancrage de téléphérique $h_1 = 0$, le point d'attache du câble étant situé très près de la base DA. Cette relation permet de calculer par approximations successives les dimensions a, b et h du massif.

Dans cette formule les unités employées sont :

a (m) largeur du massif dans le sens de l'effort

b (m) dimension dans le sens perpendiculaire

F (N) effort horizontal appliqué au sommet du massif

h (m) hauteur du massif

P (N) poids du massif (densité du béton 22 k N/m³)

σ (Pa) pression admissible sur le fond de la fouille.

Les pressions maximales admissibles sur le sol sont généralement de :

300 000 Pa pour la terre très forte (ou 3 bars),

200 000 à 250 000 Pa pour la terre moyenne (2 à 2,5 bars),

100 000 à 150 000 Pa pour la terre humide (1 à 1,5 bars).

6.2.4.1. Exemple de calcul :

Soit à calculer un massif devant résister à une traction de 120 000 N et implanté dans la terre humide pour laquelle

$$C = 9\,600 \text{ N/m}^3$$

Nous prendrons pour commencer un massif ayant les dimensions $a = 1 \text{ m}$, $b = 1 \text{ m}$, $h = 2 \text{ m}$. $V = 2 \text{ m}^3$.

Vérifions que :

$$F \cdot h \leq \frac{P}{2} \left(a - \frac{4P}{3b\sigma} \right) + C b h^3$$

$$\sigma = 150\,000 \text{ Pa}$$

$$120\,000 \times 2 \leq \frac{44\,000}{2} \left(1 - \frac{4 \times 44\,000}{3 \times 1 \times 150\,000} \right) + 9\,600 \times 1 \times (2)^3$$

$$240\,000 \leq 90\,195$$

Le massif est trop petit.

Prenons : $h = 3 \text{ m}$ $a = 1 \text{ m}$ $b = 1 \text{ m}$ $V = 3 \text{ m}^3$.

$$120\,000 \times 3 \leq \frac{66\,000}{2} \left(1 - \frac{4 \times 66\,000}{3 \times 1 \times 150\,000} \right) + 9\,600 \times 1 \times (3)^3$$

$$360\,000 \leq 272\,840 : \text{ la condition de stabilité n'est pas vérifiée.}$$

Prenons : $h = 3,5 \text{ m}$ $a = 1 \text{ m}$ $b = 1 \text{ m}$ $V = 3,5 \text{ m}^3$

$$120\,000 \times 3,5 \leq \frac{77\,000}{2} \left(1 - \frac{4 \times 77\,000}{3 \times 1 \times 150\,000} \right) + 9\,600 \times 1 \times (3,5)^3$$

$$420\,000 \leq 423\,748$$

L'inégalité étant satisfaite, on peut construire un massif ayant les dimensions suivantes : $1 \times 1 \times 3,5 \text{ m}$.

7. MONTAGE D'UNE STATION TÉLÉPHÉRIQUE CLASSIQUE

7.1. GÉNÉRALITÉS

Les stations mobiles types SK 1 et SK 2 de OTT ne comportent pas de câble porteur. Le câble tracteur est utilisé comme câble porteur. En général, les constructeurs livrent ces matériels complets, prêts à être installés.

La mise en place ne pose pas de gros problèmes (portées faibles) et est réalisée en quelques heures par une équipe moyennement entraînée. La mise en tension des câbles se fait à l'aide du treuil double comme indiqué dans le sous paragraphe suivant « mise en place du câble tracteur ».

Pour les grandes stations de portée supérieure à 50 m, il faut utiliser un câble porteur dont le diamètre est fonction de la portée et de la flèche maximale admissible en charge.

Une fois trouvé l'emplacement correct pour les mesures en crues : section bien calibrée, rectiligne à l'amont et à l'aval, il faut ensuite faire le lever de la section en travers et repérer la cote des plus hautes eaux connues. En fonction des transports de la rivière (arbres de grandes dimensions...), on fixe l'emplacement des ancrages du câble porteur de telle sorte que le tirant d'air sous le câble soit suffisant même pour les plus fortes crues.

Si la topographie des lieux le permet (rivière encaissée, berges abruptes) le câble porteur sera fixé directement aux ancrages placés dans la mesure du possible au même niveau. La dimension et la forme des ancrages dépendra de la tension du câble et de la nature du sol. Dans le cas de section peu ou pas encaissée, il faudra surélever le câble à l'aide de pylônes en profilés à ailes larges, soigneusement ancrés et haubanés. Dans ce cas les ancrages du câble porteur doivent être placés assez loin des poteaux de façon que l'angle du câble avec le support ne soit jamais inférieur à 45°. Le sommet des pylônes sera placé à la même hauteur, et suivant l'altitude des berges, ces pylônes pourront être de longueur différente. Le sommet des supports doit être équipé d'une selle ayant la forme indiquée sur la figure 16 (abondamment graissée lors de la mise en tension du câble) ou de poulies.

Si le câble porteur est un monotoron de 19 fils, il n'est pas possible de le fixer avec des serre-câbles. Le câble coupé à la longueur exacte est équipé à chaque bout d'une douille représentée sur la figure 6. Le scellement de cette douille se fait par culottage comme il a été indiqué au paragraphe généralités sur les câbles acier. Les câbles souples (6 torons de 7 fils sur âme textile) peuvent être fixés directement sur le tendeur avec une cosse en cœur et des serre-câbles ; ils n'ont pas besoin d'être coupés à la longueur exacte, le réglage se fait avec les serre-câbles.

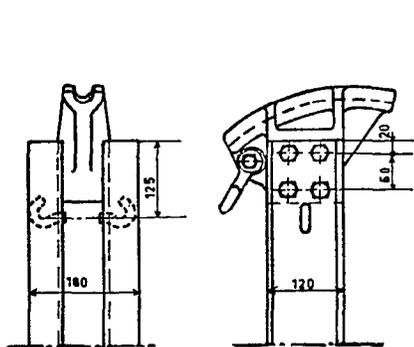


Fig. 16. — Vue de la selle pour câble porteur au sommet des poteaux supports

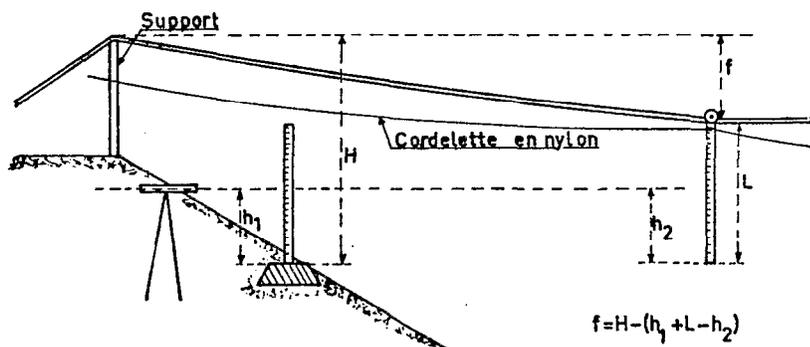


Fig. 17. — Mesure de la flèche

7.2. MESURE DE LA LONGUEUR EXACTE DU CÂBLE

Cette mesure se fait tendeurs vissés sur les trois quarts de leur longueur et fixés aux ancrages. On peut opérer de la façon suivante. On fixe entre les tendeurs un filin d'acier de 3 mm auquel on donne la même flèche (f_v) qu'au câble porteur. On mesure ensuite avec précision la longueur du petit câble. Dans le cas où il y aurait une erreur de mesure (câble trop court) on peut la rattraper en réalisant la jonction douille-tendeur avec du câble souple et des serre-câbles.

7.3. MESURE DE LA FLÈCHE

On utilise un niveau à bulle et deux mires (voir croquis 17). Une mire est équipée d'une poulie à sa partie supérieure et de deux cordelettes de nylon. Deux opérateurs placés sur chaque berge peuvent à l'aide de ces cordelettes amener la mire à l'endroit où la flèche du câble est maximale.

En contrebas du support ou de l'ancrage, on place un repère soigneusement nivelé par rapport au sommet des ancrages ou du support (différence de niveau H , H sera égal au maximum à 8 m avec des mires de 4 m, ce

qui est presque toujours suffisant). Le niveau est mis en station et on vise une mire placée sur le repère, lecture h_1 , puis la mire sur le câble, lecture h_2 . La flèche sera donnée par la relation :

$$f = H - (h_1 + L - h_2)$$

L étant la longueur totale de la mire mobile.

Un opérateur visant dans le niveau peut donc régler la flèche à la valeur désirée en commandant la manœuvre des tendeurs.

7.4. MESURE DE LA PORTÉE

La portée doit être connue pour le calcul des tensions du câble en charge et à vide.

Une méthode simple consiste à mesurer la longueur de la portée à l'aide de la stadia d'un niveau à bulle. Le résultat est assez précis, si l'on prend quelques précautions.

Un meilleur résultat sera obtenu par triangulation avec un tachéomètre.

Une vérification utile peut être faite en tendant entre les deux appuis un câble d'acier avec la flèche la plus petite possible. En effet les tableaux que nous donnons par la suite montrent qu'une variation très faible de la longueur du câble entraîne une variation assez importante de la flèche (sur une portée de 200 m, un ΔL de 8,8 mm entraîne une diminution de flèche de 50 cm).

7.5. MISE EN PLACE DU CÂBLE PORTEUR

Les manipulations du câble lors de son transport et au moment de la mise en place doivent être faites avec soin (voir généralités). Le câble est déroulé sur la berge sur toute sa longueur s'il est livré en couronne ou bien le touret est placé sur un axe s'il est livré en touret.

L'installation se fait dans la mesure du possible au moment des plus basses eaux. Si la rivière est guéable, des manœuvres sont placés à intervalles réguliers (tous les 20 m par exemple) et le câble est traversé d'une berge à l'autre. Dans le cas où la rivière présente des fonds importants le câble est passé avec un bateau ou une corde en nylon en utilisant des flotteurs intermédiaires, afin d'éviter au câble de toucher le fond ce qui, avec les gros diamètres, entraînerait un effort de traction assez élevé.

Les tendeurs placés sur chaque berge doivent avoir un développement assez grand (de l'ordre de 1 m).

La société OTT livre des tendeurs avec filetages Whitworth 1 1/2- 2 1/2 pouces, avec course de réglage de 1 m qui conviennent parfaitement même pour des portées de 250 m.

Ces tendeurs doivent au préalable être dévissés aussi largement que possible et graissés abondamment. Sur la berge opposée, on place un tire-fort (force 2 à 5 t mouflé au besoin pour les largeurs supérieures à 150 m) qui servira à amener le câble en contact avec le tendeur. Le câble porteur fixé aux tendeurs présente une grande flèche ; il est soumis à une tension relativement faible.

La mise en tension sera réalisée *uniquement* à l'aide des tendeurs. Il est inutile de prévoir autre chose. Avec deux barres à mine, on arrive très facilement à donner au câble la flèche définitive. Nous donnons ci-dessous un tableau destiné à montrer que la flèche varie très rapidement avec la longueur du câble. Pour un câble de 15 mm et des portées de 100 et 200 m, nous avons calculé la longueur de l'arc de chaînette à l'aide de la formule :

$$Lv = \frac{\theta_0}{\rho g} \operatorname{sh} \frac{\rho g \ell}{\theta_0} \quad \ell = 1/2 \text{ portée}$$

Avec une portée de 100 m, la flèche passera de 7,12 à 0,41 m soit une diminution de 6,71 m pour un raccourcissement du câble (donc des tendeurs) de 1,355 m. De même avec 200 m de portée, 1,188 m de moins sur la longueur des tendeurs entraîne une diminution de flèche de 8,36 m. Entre 35 et 40 000 N, 1 mm de moins sur la longueur du câble fait diminuer la flèche de 5 cm avec 100 m de portée, tandis que pour 200 m de portée entre 40 et 50 000 N, 1 cm de moins sur L entraîne 28 cm de moins sur f. Ces chiffres sont assez surprenants, mais il convient de ne pas les oublier au moment de la mise en tension d'un câble, ne serait-ce que pour éviter le déplacement d'un matériel lourd et finalement inutile.

TABLEAU XII

Portée 100 m			Portée 200 m		
θ_0 $\times 1\,000\text{ N}$	f_v	L_v	θ_0 $\times 1\,000\text{ N}$	f_v	L_v
2	7,12	101,359	4	14,25	202,718
4	3,56	100,339	6	9,50	201,205
6	2,37	100,150	8	7,12	200,677
8	1,78	100,085	10	5,70	200,433
10	1,42	100,054	15	3,80	200,192
15	0,95	100,024	20	2,85	200,108
20	0,71	100,013	25	2,28	200,069
25	0,57	100,008	30	1,90	200,048
30	0,47	100,006	35	1,62	200,035
35	0,41	100,004	40	1,42	200,027
40	0,36	100,003	50	1,14	200,017
50	0,28	100,002	60	0,95	200,012

7.6. MONTAGE DU TREUIL

On distinguera deux cas :

- ancrages directs,
- ancrages et supports de câble.

Dans le premier cas, il convient d'établir une plate-forme sous le câble porteur, éloignée le plus possible de l'ancrage. Le treuil sera placé soit horizontal sur un massif en béton, soit vertical sur un support en profilé à ailes larges ancré sur le sol de la plate-forme et fixé au câble porteur. La première solution nécessite des terrassements moins importants (niveau de la plate-forme à 1,50 m environ en-dessous du câble porteur, hauteur du massif supportant le treuil, 80 cm environ). Avec le support métallique le niveau de la plate-forme doit se trouver à 2,50 m environ au-dessous du câble.

Dans le deuxième cas, le treuil est fixé directement au support du câble porteur en position verticale.

Dans les deux cas, veiller à positionner correctement la manivelle pour que les manipulations n'entraînent pas une fatigue excessive des opérateurs.

Un abri sera ensuite construit pour protéger le treuil en ayant soin de ménager une ouverture assez grande côté rivière de façon à avoir une bonne visibilité sur la section et la partie amont (repérage des troncs d'arbres et autres corps flottants).

7.7. MISE EN PLACE DU CÂBLE TRACTEUR

Une poulie de renvoi doit être placée sur la berge opposée au treuil de commande. Cette poulie est fixée soit à l'ancrage du câble porteur soit au support de ce même câble.

La figure 18 montre comment il faut procéder :

- Mettre le touret du câble tracteur sur un axe à côté du treuil double.
- Passer le câble (à pied ou en bateau suivant la profondeur de la rivière) le brin B au-dessus de la poulie de renvoi, puis ramener ce brin B sur la berge du treuil.
- Enlever le touret et passer le brin A sur le treuil et sur les poulies de mouflage (1,2 ou 3 tours suivant modèles de treuils).
- Fixer le brin B à un tendeur largement dévissé puis à une élingue fixée à un point P d'amarrage, le tendeur étant libre.
- Tenir à la main le brin A pendant qu'un opérateur tourne la manivelle du treuil dans le sens « retour du chariot », le brin A étant toujours maintenu tendu, le câble tracteur se met progressivement en tension.
- Lorsqu'on approche de la flèche correcte, fixer le brin A au tendeur du brin B.
- Enlever l'élingue et régler la flèche du câble tracteur avec le tendeur.

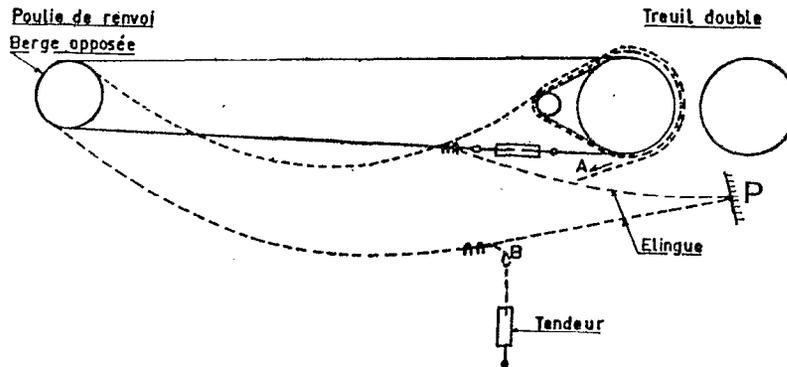


Fig. 18. — Mise sous tension des câbles tracteurs

Le tableau X donne la tension du câble tracteur en fonction de la flèche. Si l'on adopte pour le câble porteur une flèche trop faible, on risque d'avoir, pour les grandes portées, un câble tracteur trop tendu, ce qui rend les manœuvres difficiles. Il faut donc, dès que la portée dépasse 100 ou 150 m, choisir une flèche du câble porteur qui ménage un tirant d'air suffisant mais point trop faible pour éviter une tension trop importante du câble tracteur, ce qui nuirait au bon fonctionnement de l'ensemble.

Notons que sur le Mangoky au Banian (Madagascar) avec 425 m de portée nous avons été obligés de mettre deux treuils de commande, les poulies de renvoi des câbles tracteurs étant placées sur le câble porteur au milieu de la portée. Avec un seul treuil double, il n'était pas possible de manœuvrer le câble de translation.

Cependant, il ne faut pas laisser trop de mou aux différents câbles, car les risques d'enchevêtrement et de balancement peuvent gêner les mesures.

La tension des câbles tracteurs doit être réglée assez fréquemment en cours d'utilisation de la station.

7.8. MISE EN PLACE DU CHARIOT ET DU CÂBLE ÉLECTROPORTEUR

La manière de procéder pour mettre en place le chariot dépend du type du chariot. Avec certains modèles (OTT) le chariot doit être placé sur le câble porteur au moment de la mise en tension du câble tracteur. Le brin B (fig. 17) est fixé au chariot (partie inférieure). Le tendeur est également fixé au chariot par un boulon prévu à cet effet. Le chariot est ensuite amarré à l'élingue. La suite des opérations est donnée plus haut. Le brin A est fixé au tendeur lorsque la flèche atteint la valeur choisie.

Le câble électroporteur est passé à l'intérieur du tambour du treuil et connecté aux bagues pour la transmission des signaux. Il est ensuite enroulé à spires jointives sur le tambour. L'extrémité libre est passée sur la poulie inférieure du chariot.

Certains constructeurs fournissent des supports spéciaux constitués par deux poulies reliées par deux fers plats qui, placés à intervalles réguliers sur le câble porteur et entraînés par le câble tracteur (vis de blocage), sont destinés à limiter la flèche du câble électroporteur dans le cas des grandes portées.

8. RÉSUMÉ DES DIVERSES OPÉRATIONS A RÉALISER POUR LA MISE EN PLACE D'UNE STATION TÉLÉPHÉRIQUE DE JAUGEAGE

- 1) Reconnaissance sur le terrain. Choix de la section de mesure.
- 2) Lever du profil en travers et repérage du niveau des plus hautes eaux connues.
- 3) Calage du point le plus bas du câble : niveau $N_1 \cdot N_1 = \text{Niveau des plus hautes eaux} + H \cdot H$ est le tirant d'air, il tient compte de la place occupée sous le câble porteur par les câbles tracteurs et le chariot, environ 1 m, et de la hauteur possible des corps flottants. Sur les rivières transportant en crue des arbres entiers H doit être de

l'ordre de 5 m. H ne doit pas être trop grand, car la « correction air » lors de l'estimation de la profondeur devient importante.

- 4) Connaissant N_1 et à l'aide du profil en travers déterminer la position des ancrages ou du sommet des pylônes supports : niveau N_2 .
- 5) Calculer la flèche maximale admissible que pourra prendre le câble porteur en charge $f_m = N_2 - N_1$.
- 6) Mesurer approximativement la portée : mesure à la stadia à partir des emplacements prévus pour les ancrages ou les appuis. Vérifier sur le profil en travers.
- 7) En fonction de la flèche maximale et de la portée, trouver sur les tableaux V la tension maximale à laquelle sera soumis le câble.
- 8) Multiplier cette tension maximale par le coefficient de sécurité égal à 3 pour connaître la résistance à la rupture et choisir le câble.
- 9) Suivant la configuration des lieux : implantation des ancrages directs (berge abrupte et élevée) ou des ancrages et des supports (berges peu élevées). Les ancrages et les supports seront placés, dans la mesure du possible, exactement au même niveau. Travaux de terrassement, plateformes, examen de la qualité du sol ou de la roche.
- 10) Choix de la forme et calcul des ancrages. Construction et calage à l'altitude N_2 .
- 11) Mesure de la portée exacte entre appuis.
- 12) Calcul de la flèche à donner au câble à vide pour que la flèche en charge ne dépasse pas la valeur f_m (tabl. VII).
- 13) Mesure de la longueur exacte du câble à partir de la flèche à vide.
- 14) Couper le câble à la longueur exacte et poser les douilles.
- 15) Traversée du câble et fixation aux tendeurs préalablement dévissés aussi largement que possible.
- 16) Mise en tension définitive à l'aide des tendeurs en contrôlant la valeur de la flèche par la méthode indiquée (mire et niveau).
- 17) Montage du treuil, du câble tracteur et du câble électroporteur. Essais de la station.
- 18) Montage de l'abri.

9. VARIANTE : STATION TÉLÉPHÉRIQUE A TENSION DE CÂBLE PORTEUR CONSTANTE

Les installations décrites ci-dessus comportent un câble porteur amarré à deux ancrages placés sur chaque berge. Le câble est soumis à une tension variable en fonction des conditions d'utilisation, cette tension variable entraîne une variation de la flèche : minimale à vide de charge et maximale dans les conditions de fonctionnement les plus défavorables.

On peut imaginer un câble porteur tendu sous tension constante égale à $\frac{R}{3}$ suivant un schéma rappelant les installations de téléskis dans les stations de sports d'hiver. Le câble porteur est amarré à travers un fort tendeur à un ancrage fixe sur une berge. Sur l'autre berge, le câble passe sur une poulie placée au sommet d'un pylône et à son extrémité libre est suspendu un bloc de béton dont la masse est égale au tiers de la charge de rupture du câble (voir fig. 19).

Le bloc de béton assurant la tension est coulé dans un coffrage de dimensions appropriées reposant sur le sol. L'ancrage fixe et les pylônes sont mis en place. Le câble porteur est passé en travers de la rivière et fixé d'une part au tendeur largement dévissé et d'autre part au bloc de béton par l'intermédiaire d'une élingue en câble 6 torons (1 + 6 fils) d'un diamètre légèrement supérieur pour avoir même résistance de rupture (voir tabl. I et II. Exemple : si on utilise un câble porteur de 15 mm monotoron 19 fils, l'élingue devra avoir un diamètre de 18 mm environ en câble 6 torons 1 + 6 fils).

Le câble est mis légèrement en tension avec un tire-fort. La tension définitive est réalisée à l'aide du tendeur en décollant le bloc du sol de quelques centimètres. Au moment de la mise en place toutes les précautions sont prises pour que la longueur de câble entre la poulie et le bloc soit suffisante pour atteindre sans dommages la flèche maximale en charge.

Pour se placer dans le sens de la sécurité le calcul des flèches maximales en charge a été fait en prenant une charge concentrée P légèrement supérieure à la limite de rupture du câble électroporteur : soit 7 000 N. Les tableaux XIII et XIV donnent les flèches maximales en charge et à vide pour différentes portées et pour des câbles usuels monotorons 19 fils (caractéristiques données dans les tableaux V-1 à V-8).

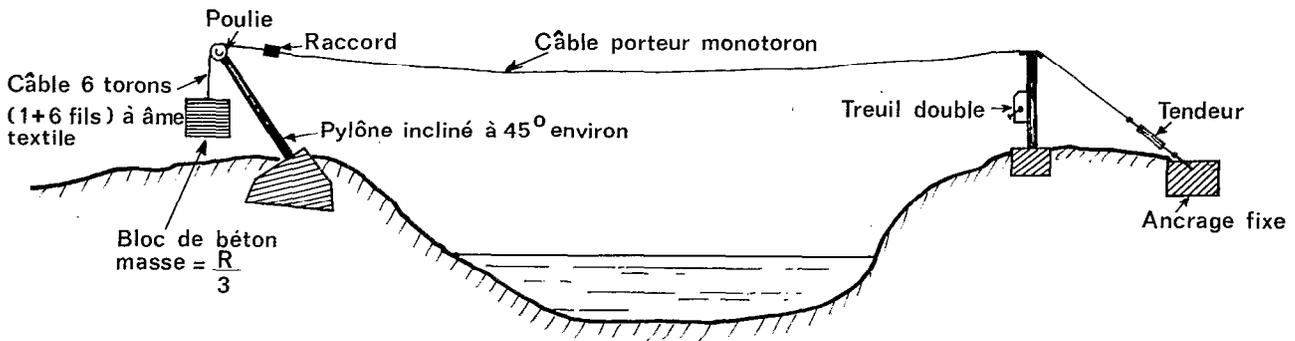


Figure 19

TABLEAU XIII

* CABLE*	FLECHE EN CHARGE EN M POUR $TC=R/3$									
* NO *	ET LES DISTANCES ENTRE APPUIS EN M.									
	* 25	* 50	* 75	* 100	* 125	* 150	* 175	* 200	* 225	* 250

* 1	* 2.79	* 5.68	* 8.68	* 11.78	* 14.99	* 18.31	* 21.73	* 25.26	* 28.89	* 32.63
* 2	* 1.72	* 3.53	* 5.42	* 7.39	* 9.44	* 11.57	* 13.79	* 16.09	* 18.47	* 20.93
* 3	* 1.13	* 2.32	* 3.58	* 4.90	* 6.29	* 7.74	* 9.26	* 10.85	* 12.50	* 14.21
* 4	* 0.91	* 1.87	* 2.90	* 3.98	* 5.13	* 6.34	* 7.60	* 8.93	* 10.32	* 11.77
* 5	* 0.76	* 1.57	* 2.44	* 3.37	* 4.36	* 5.41	* 6.51	* 7.57	* 8.88	* 10.16
* 6	* 0.55	* 1.36	* 2.14	* 2.96	* 3.85	* 4.79	* 5.79	* 6.85	* 7.97	* 9.14
* 7	* 0.46	* 0.98	* 1.54	* 2.15	* 2.82	* 3.53	* 4.30	* 5.11	* 5.98	* 6.90
* 8	* 0.29	* 0.63	* 1.02	* 1.44	* 1.91	* 2.42	* 2.98	* 3.58	* 4.22	* 4.91

Le tableau XIII permet de choisir le câble en fonction des caractéristiques de la section (valeur de la flèche maximale en charge). Le câble étant choisi, on connaît le poids du bloc de béton d'où son volume en admettant une densité du béton de $2,2 \text{ t/m}^3$.

Le tableau XIV permet, une fois l'installation réalisée, de comparer la flèche à vide réelle avec celle obtenue par le calcul.

L'avantage de ce type de montage réside dans le fait que la tension du câble porteur est constante et égale à $R/3$, quelles que soient les conditions de fonctionnement. Sa mise en œuvre avec des câbles d'un diamètre supérieur à 20 mm posera quelques problèmes pour la réalisation du bloc de béton. On peut admettre que c'est une solution valable pour les câbles de 10 à 15 mm et les portées faibles ou moyennes.

Pour diminuer le volume de l'ancrage mobile, on peut adopter le montage suivant : (fig. 20).

TABLEAU XIV

```

*****
*
* CABLE*          FLECHE A VIDE   EN M POUR TV=R/3
*
* NO *          ET LES DISTANCES ENTRE; APPUIS EN M
*
*   * 25 * 50 * 75 * 100 * 125 * 150 * 175 * 200 * 225 * 250
*
*****
*
* 1 * 0.15 * 0.62 * 1.39 * 2.48 * 3.87 * 5.58 * 7.60 * 9.94 * 12.59 * 15.56
*
* 2 * 0.09 * 0.38 * 0.86 * 1.52 * 2.38 * 3.43 * 4.67 * 6.10 * 7.73 * 9.54
*
* 3 * 0.06 * 0.25 * 0.56 * 0.99 * 1.55 * 2.23 * 3.03 * 3.96 * 5.02 * 6.19
*
* 4 * 0.05 * 0.20 * 0.45 * 0.79 * 1.24 * 1.78 * 2.43 * 3.17 * 4.01 * 4.95
*
* 5 * 0.04 * 0.16 * 0.37 * 0.66 * 1.03 * 1.49 * 2.02 * 2.54 * 3.34 * 4.13
*
* 6 * 0.03 * 0.14 * 0.32 * 0.56 * 0.88 * 1.27 * 1.73 * 2.26 * 2.87 * 3.54
*
* 7 * 0.02 * 0.10 * 0.22 * 0.39 * 0.62 * 0.89 * 1.21 * 1.59 * 2.00 * 2.48
*
* 8 * 0.01 * 0.06 * 0.13 * 0.25 * 0.39 * 0.55 * 0.76 * 0.99 * 1.25 * 1.55
*
*****

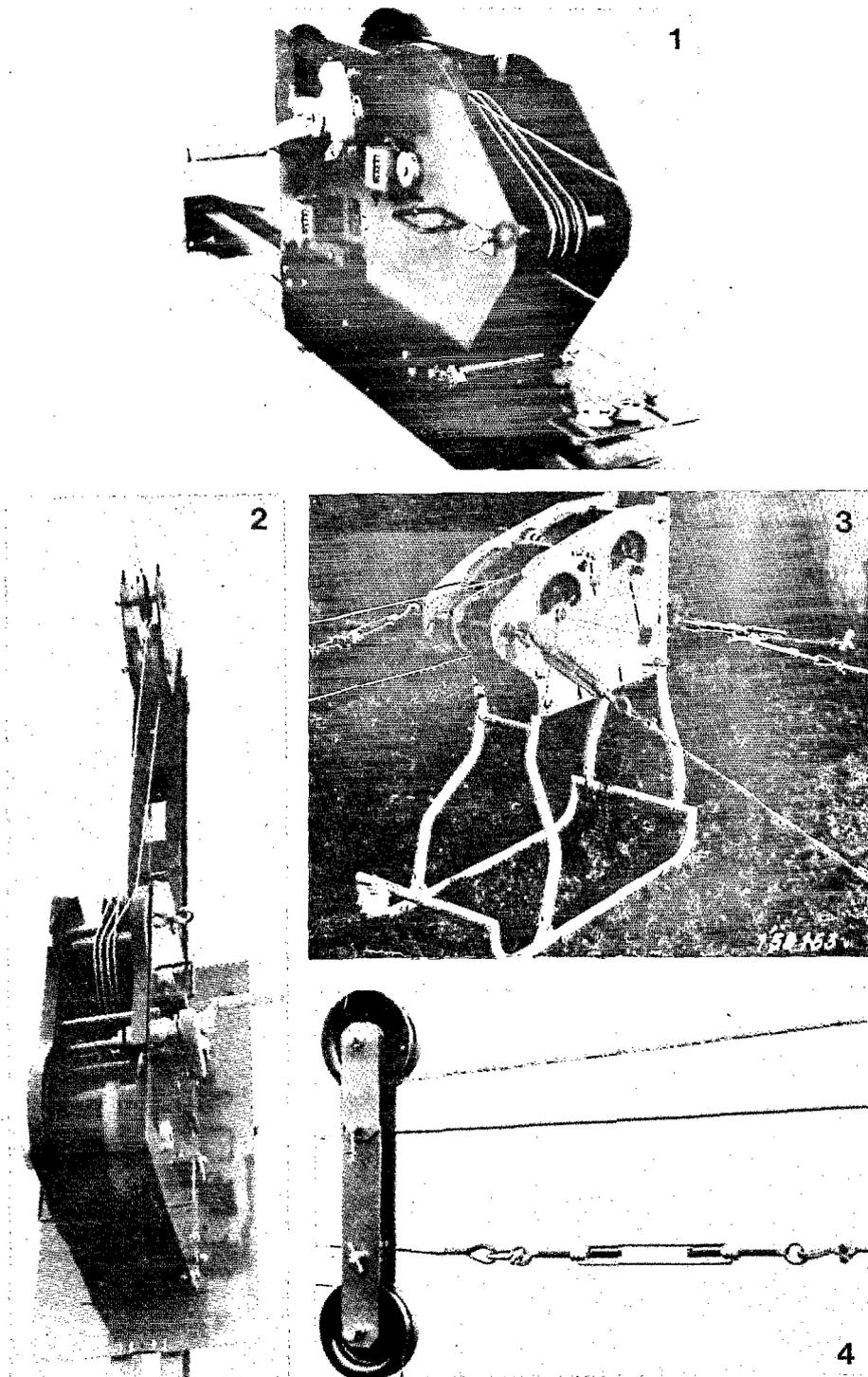
```

Le câble porteur est fixé à une poulie. Un câble souple fixé au pylône et passant dans cette première poulie et sur une autre placée au sommet du pylône réalise un mouflage dont le brin libre est relié au bloc de béton. Un mouflage simple diminuera le volume du bloc de béton de moitié. On peut aussi envisager un mouflage double ou triple...

BIBLIOGRAPHIE

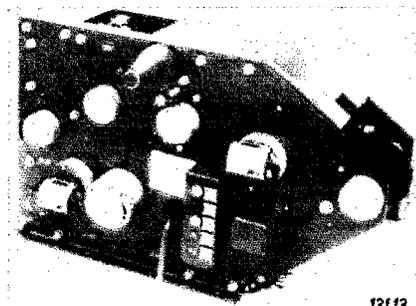
ALDEGHERI (M.) – *Les principales stations téléphériques de jaugeage de Madagascar*. Note ronéo 19 pages, figures.
 THEBAUX (J.) – *Câbles en acier*. Note technique n° 5/74. Direction de l'hydraulique du Maroc.
 CARPENTIER (H.) – *Lignes électriques T.H.T.* Eyrolles éditeur, Paris, 1954.
Câbles d'acier : 1. Caractéristiques et conditions générales d'emploi. 2. Transporteurs aériens et ponts suspendus, par les Hauts Fourneaux de la Chiers, Département tréfileries et câbleries. Editeur : Société Nouvelle Mercure, 4, place Franz Liszt. Paris.
 Documentation OTT et NEYRPIC.

PLANCHE I
Treuils doubles OTT

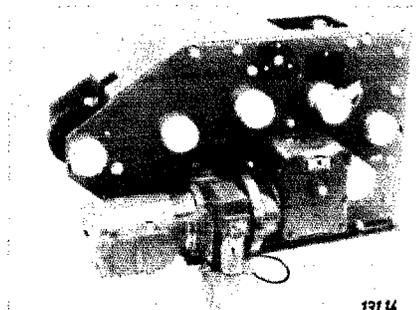


1. Treuil manuel 100 kg. — 2. Le même monté sur pylône. — 3. Treuil léger pour station téléphérique portable SK 1. — 4. Chariot de translation pour saumon de 100 kg (photos OTT)

PLANCHE II

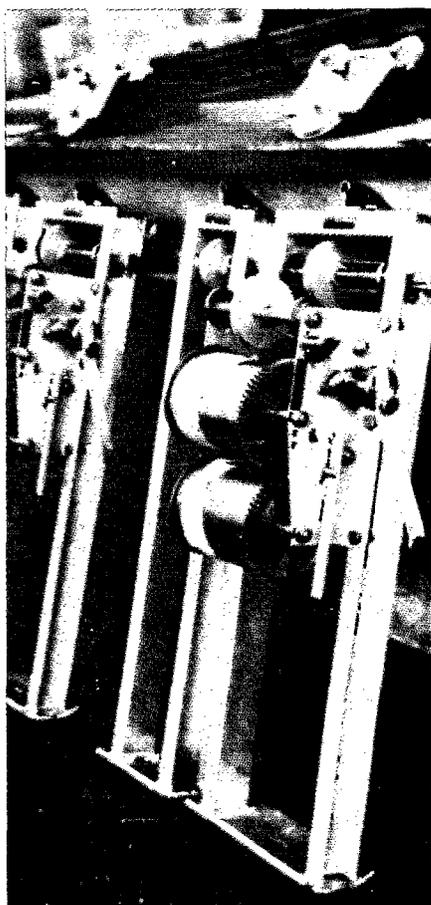


1313

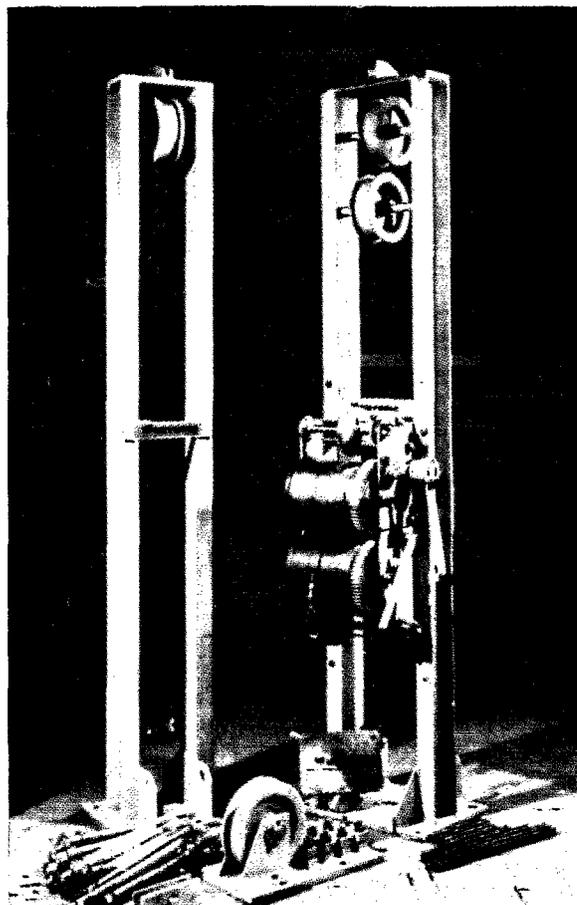


1314

Treuil double électrique OTT 100 kg (Photos OTT)

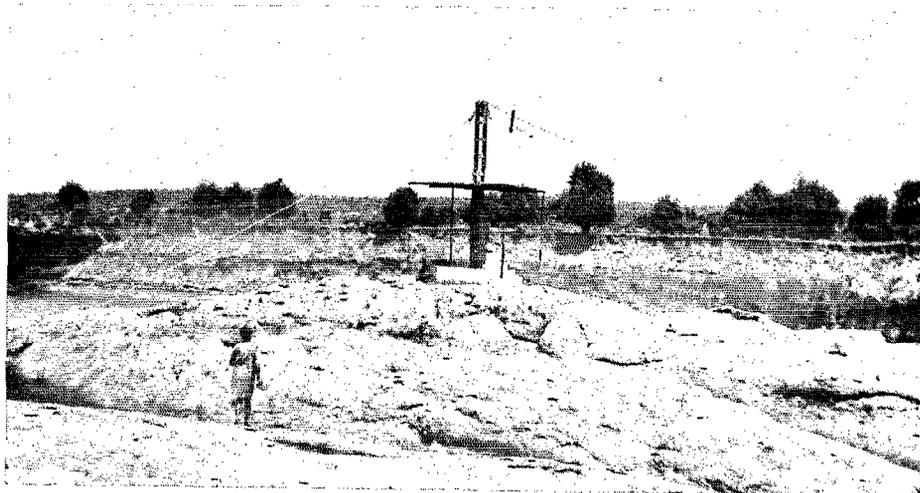


Téléphérique portable Neyrpic, réf. 2445
(Photo Neyrpic)



Treuil double Neyrpic (saumon 80 kg), réf. 2424 D
(Photo Neyrpic)

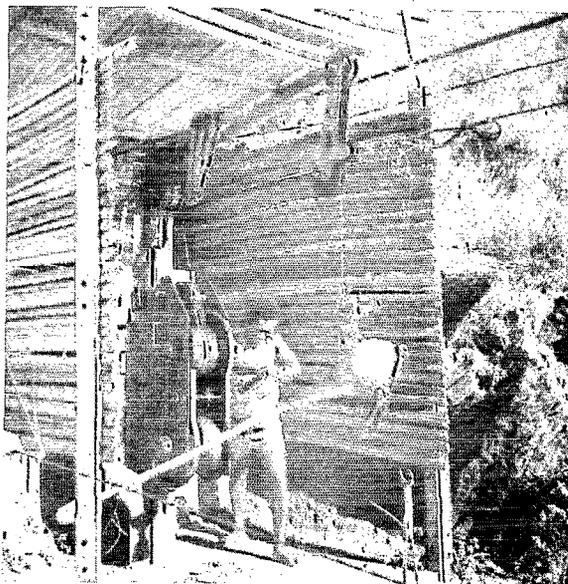
PLANCHE III



Téléphérique de Tranoroa sur la Menarandra (portée 175 m)



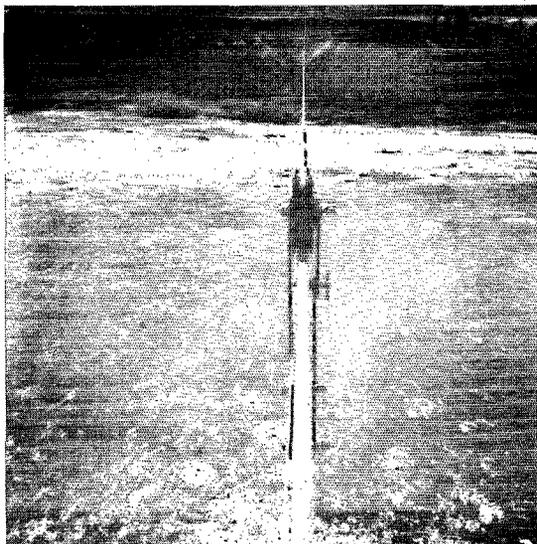
Treuil double de la station
du Mangoky au Banian



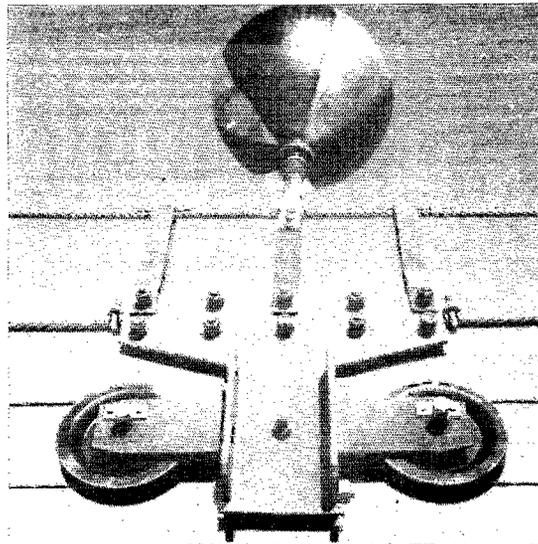
Treuil du téléphérique
de la Betsiboka à Ambodiroka

Nota : les photos des planches III à V ont été prises à Madagascar

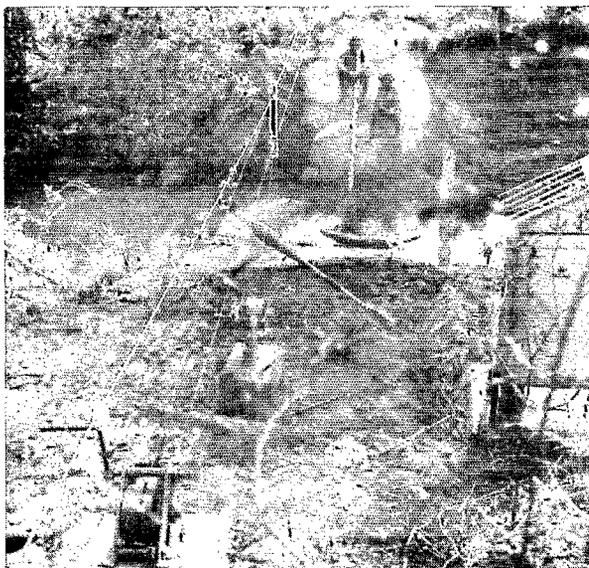
PLANCHE IV



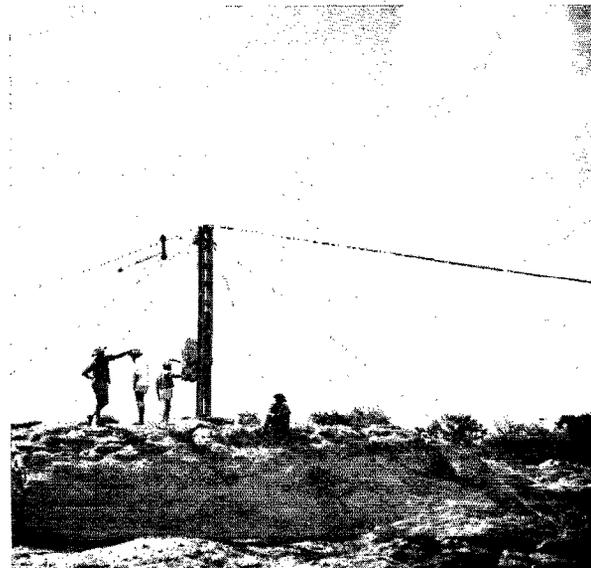
Câble porteur de la station
de Tranoroa sur la Menarandra



Poulies de renvoi sur le câble porteur du téléphérique
du Mangoky au Banian

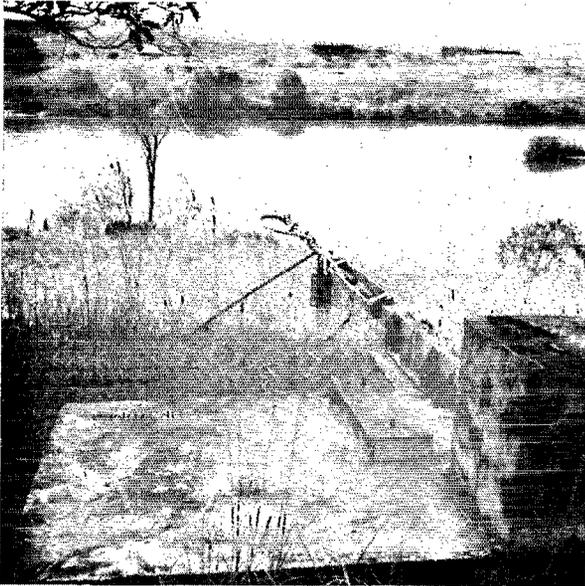


Un petit téléphérique « bricolé »
sur le bassin de l'Ankaboka à Ambodiroka

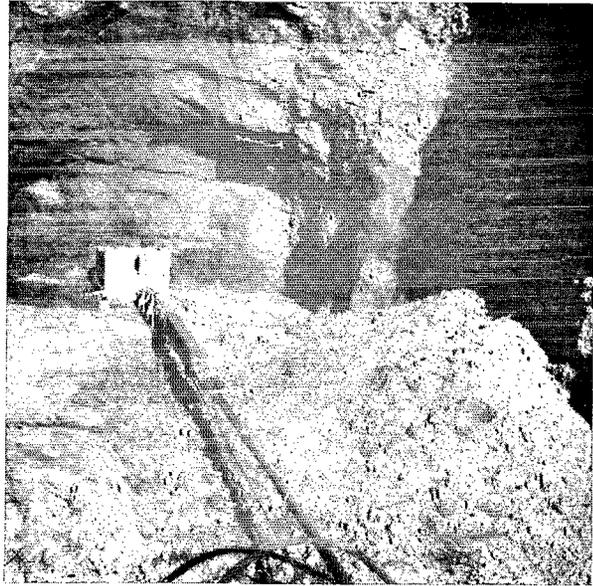


Station de Tranoroa
en cours d'installation

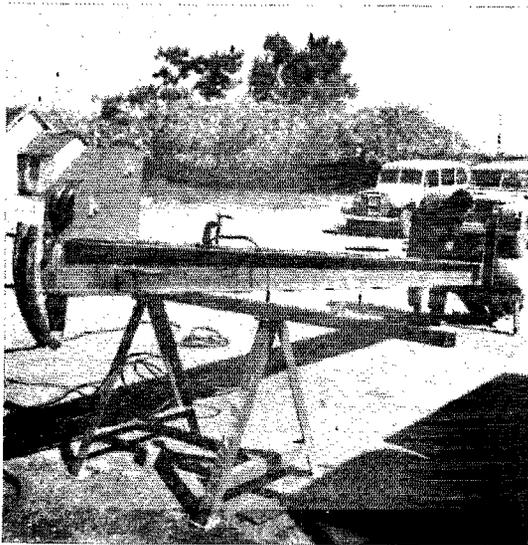
PLANCHE V



Ancrage du câble porteur
de la station de la Betsiboka à Ambodiroka



Station de l'Ikopa à Antsatrana
(200 m de portée)



Fabrication du pylône rive gauche
de la station de la Menarandra à Tranoroa



Mise en tension définitive
du câble porteur de la Menarandra à Tranoroa